

**Cava di gesso  
in località “Fontamara”  
del Comune di Moncucco Torinese (AT).  
Progetto preliminare  
di coltivazione mineraria e recupero ambientale.  
RELAZIONE TECNICA  
- ex L.R. 13/2023 e D.Lgs. 152/2006 -**

Proponente:  
**FASSA S.r.l.**  
via Lazzaris, 3  
31027 Spresiano (TV)

# INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1. OGGETTO DELLO STUDIO.....	3
1.2. QUADRO AMMINISTRATIVO DELL'INTERVENTO .....	5
1.2.1. Autorizzazione ex L.R. 23/2016.....	5
1.2.2. Autorizzazione ex D.Lgs. 42/2004 .....	6
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE AMBIENTALE, PAESISTICO E TERRITORIALE.....</b>	<b>7</b>
2.1. UBICAZIONE E LOCALIZZAZIONE TOPOGRAFICA .....	7
2.2. TERRENI OGGETTO DELL'INTERVENTO .....	10
2.3. VINCOLI AMBIENTALI E TERRITORIALI .....	12
<b>3. PROGETTO DI COLTIVAZIONE MINERARIA.....</b>	<b>13</b>
3.1. SVILUPPO STORICO DELLA COLTIVAZIONE MINERARIA.....	13
3.2. STATO ATTUALE DEL SITO .....	16
3.3. IMPOSTAZIONE DELLA COLTIVAZIONE MINERARIA.....	18
3.4. CARATTERISTICHE DIMENSIONALI DELL'INTERVENTO: SUPERFICI INTERESSATE E VOLUMETRIE ESTRAIBILI ....	21
3.5. METODI E MEZZI DI COLTIVAZIONE .....	23
<b>4. RELAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>24</b>
4.1. ANALISI DELLA PROBLEMATIC (VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO) .....	24
4.2. INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO .....	25
4.3. ANALISI SISMICA .....	26
4.3.1. Inquadramento normativo.....	26
4.3.2. Stati limite di riferimento .....	28
4.3.3. Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	30
4.3.4. Categoria di risposta sismica del sottosuolo.....	32
4.3.5. Effetti sismici delle condizioni topografiche .....	34
4.3.6. Azione sismica locale.....	35
4.4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	38
4.4.1. Finalità della caratterizzazione meccanica dei litotipi.....	38
4.4.2. Assetto stratigrafico del giacimento .....	39
4.4.3. Determinazione dei criteri di resistenza della roccia intatta .....	40
4.4.3.1. Criterio di resistenza per il gesso macrocristallino .....	40
4.4.3.2. Criterio di resistenza per la marna.....	40
4.4.4. Riepilogo dei dati assunti nelle verifiche .....	41
4.5. VERIFICHE DI STABILITÀ .....	42
4.5.1. Oggetto delle verifiche.....	42
4.5.2. Stabilità dei fronti di scavo .....	43

4.5.2.1. Metodo di calcolo e parametri geotecnici .....	43
4.5.2.2. Impostazione della verifica e riferimenti normativi.....	43
4.5.2.3. Verifica analitica mediante programma di calcolo .....	44
4.5.2.4. Risultati delle verifiche di stabilità.....	45
<b>5. PROGETTO DI RECUPERO AMBIENTALE .....</b>	<b>47</b>
5.1. OBIETTIVI DEL PROGETTO DI RECUPERO .....	47
5.2. LINEE PROGETTUALI .....	49
5.3. SPECIFICHE TECNICHE .....	53
5.3.1. <i>Idrosemina a spessore</i> .....	53
5.3.2. <i>Inerbimento a spaglio</i> .....	55
5.3.3. <i>Palizzate</i> .....	56
5.3.4. <i>Gradonate vive</i> .....	58
5.3.5. <i>Rimboschimenti</i> .....	60
5.3.6. <i>Area umida</i> .....	62
5.3.7. <i>Computo metrico estimativo</i> .....	64
5.4. CURE COLTURALI .....	66

## 1. PREMESSA

### 1.1. Oggetto dello studio

La presente relazione tecnica è stata redatta, per conto della FASSA S.r.l., con sede legale in via Lazzaris 3, 31027 - Spresiano (TV), P.I. n. 02015890268, al fine di illustrare le caratteristiche del progetto di coltivazione mineraria e recupero ambientale da effettuarsi nella cava di gesso, sita in località “Fontamara” del Comune di Moncucco Torinese (AT), che la Ditta medesima intende presentare agli Uffici Competenti, per ottenere la necessaria autorizzazione ai sensi della L.R. n. 23 del 17 novembre 2016 “*Disciplina delle attività estrattive: disposizioni in materia di cave*” (B.U. 21 novembre 2016, 1° suppl. al n. 46), che ha sostituito la precedente L.R. 22.11.1978 n. 69 “*Coltivazione di cave e torbiere*”.

Il progetto preliminare appositamente redatto, costituito dalla presente relazione tecnica e dagli elaborati grafici allegati, oltre a fare il punto sull'attuale stato del sito, è finalizzato alla definizione del tipo e delle modalità di intervento previsto, al fine di illustrare le caratteristiche dell'intervento stesso.

Il presente progetto è finalizzato infatti alla valorizzazione mineraria del giacimento di gesso macrocristallino presente presso il sito in esame, in loc. “Fontamara” del Comune di Moncucco Torinese, già oggetto di coltivazione in passato, svolta sulla base delle autorizzazioni rilasciate ai sensi della allora L.R. 69/78, ma non ancora esaurito e suscettibile anzi di significative potenzialità estrattive.

Nell'ambito del presente progetto, la ripresa della coltivazione mineraria e del recupero ambientale si svilupperanno in un arco di tempo di 25 (venticinque) anni, così da valorizzare le volumetrie estraibili ancora presenti in sito e da provvedere, contestualmente all'avanzamento degli scavi, al recupero ambientale dell'area estrattiva.

Relativamente allo “*status*” della cava in oggetto, si può fare riferimento al Regolamento regionale n. 11/R del 2 ottobre 2017 “*Attuazione dell'articolo 39 della legge regionale 17 novembre 2016, n. 23 in materia di attività estrattive*” e più precisamente al relativo art. 3 “*Definizioni*”, con il quale per “nuova cava” si intende una “*porzione di territorio nella quale esista un giacimento, sino a quel momento non ancora sfruttato e per la quale non sia stata rilasciata precedentemente altra autorizzazione alla coltivazione*”.

Il presente progetto, che andrà ad interessare un giacimento già fatto oggetto di sfruttamento in passato e sui sono già state rilasciate precedenti autorizzazioni per l'attività estrattive, non si configura pertanto quale “nuova cava” bensì come “cava inattiva”, situazione che il citato art. 3 del Regolamento 11/R identifica nel caso in cui “*il sito estrattivo presenti un titolo autorizzativo scaduto, in cui la coltivazione del giacimento e il recupero ambientale non sono stati conclusi e sia ancora vigente la garanzia finanziaria (“fidejussione”) di cui all'art. 33 della L.R. 23/2016*”.

Nello specifico, la coltivazione mineraria, condotta sulla base delle più recenti autorizzazioni rilasciate ai sensi della allora L.R. 69/78, non ha potuto essere completata entro la scadenza delle autorizzazioni medesime.

Per contro, dalle verifiche effettuate da parte del Proponente risultano tuttora valide e vigenti le garanzie finanziarie a suo tempo fornite in merito al recupero ambientale: nello specifico, risulta ancora vigente la fidejussione n. 460831382911, stipulata in data 07.09.2010 dalla FASSA S.r.l. con la UNICREDIT S.p.A., per un importo pari ad € 614.620,00 e per la quale è previsto il tacito rinnovo di anno in anno.

## 1.2. Quadro amministrativo dell'intervento

### 1.2.1. Autorizzazione ex L.R. 23/2016

Come illustrato in precedenza, la presente relazione tecnica è stata redatta al fine di illustrare le caratteristiche del progetto di coltivazione mineraria e recupero ambientale da effettuarsi nella cava di gesso, sita in località “Fontamara” del Comune di Moncucco Torinese (AT), che la FASSA S.r.l., con sede legale in via Lazzaris 3, 31027 - Spresiano (TV), P.I. n. 02015890268, intende presentare agli Uffici Competenti, una volta espletata la presente procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA, per ottenere le necessarie autorizzazioni.

L'intervento in parola è infatti soggetto alle disposizioni della L.R. n. 23 del 17 novembre 2016 “*Disciplina delle attività estrattive: disposizioni in materia di cave*” (B.U. 21 novembre 2016, 1° suppl. al n. 46), che ha sostituito la precedente L.R. 22.11.1978 n. 69 “*Coltivazione di cave e torbiere*”: per la sua realizzazione, verrà pertanto presentata formale istanza, ai sensi della L.R. suddetta, per il rilascio dell'autorizzazione per l'esercizio dell'attività estrattiva.

L'attività mineraria verrà esclusivamente condotta in virtù dell'autorizzazione stessa, da concedersi ai sensi della L.R. 23/2016 e nel rispetto delle norme di legge vigenti (D.P.R. 9 aprile 1959, n. 128, sulle Norme di Polizia delle Miniere e delle Cave; D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547, e 19 marzo 1956, n. 302, sulle Norme di Prevenzione degli Infortuni sul Lavoro e di Igiene e Sicurezza del Lavoro; D.Lgs. 25.11.1996, n. 624 “*Attuazione della direttiva 92/91/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive per trivellazione e della direttiva 92/104/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive a cielo aperto o sotterranee*”, come pure il D.Lgs. 09.04.2008 n. 81 “*Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*”).

Per tutto quanto non descritto nella presente relazione, con annessi elaborati grafici, si fa esplicito riferimento a quanto illustrato nello Studio Preliminare Ambientale (di cui alla Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6, comma 9 del d.lgs. 152/2006) che viene redatto a corredo del progetto estrattivo preliminare, e che viene contestualmente presentato per l'espletamento della Fase di Verifica della procedura di VIA ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e della L.R. 13/2023.

### 1.2.2. Autorizzazione ex D.Lgs. 42/2004

L'intervento estrattivo in progetto è soggetto alle disposizioni del D.Lgs. 22 gennaio 2004 n. 42 *“Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”* (Gazzetta Ufficiale n. 45 del 24 febbraio 2004 - Supplemento Ordinario n. 28).

L'area interessata dall'intervento estrattivo in progetto risulta infatti soggetta a “vincolo paesaggistico” per effetto delle disposizioni di cui all'art. 142, 1° comma, del D.Lgs. in parola, in quanto inclusa nella perimetrazione della *“Area di notevole interesse pubblico del territorio della Conca di Vezzolano sito nei Comuni di Albugnano, Moncucco Torinese e Castelnuovo Don Bosco”*, individuata ai sensi del D.M. 1° agosto 1985; il progetto risulta pertanto soggetto ad autorizzazione paesaggistica ex art. 136, comma 1, lett. c) e d) del D.Lgs. 22 gennaio 2004 n. 42 *“Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”*.

Per la realizzazione dell'intervento in progetto, una volta conclusa la presente procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA ai sensi della L.R. 13/2023 verrà pertanto presentata formale istanza, ai sensi del suddetto D.Lgs., per il rilascio dell'autorizzazione per l'esercizio dell'attività estrattiva in una porzione di territorio sottoposta a vincolo paesaggistico.

## **2. INQUADRAMENTO GENERALE AMBIENTALE, PAESISTICO E TERRITORIALE**

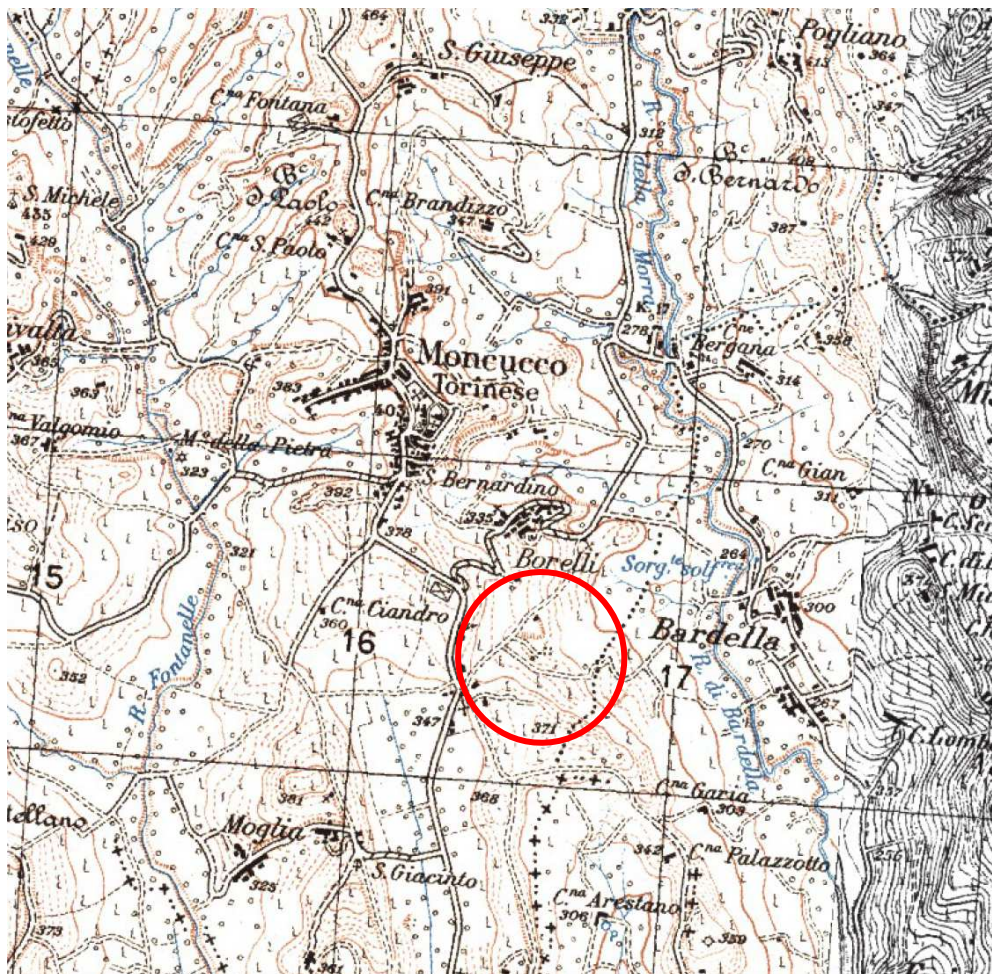
### **2.1. Ubicazione e localizzazione topografica**

Il sito di cava in esame è ubicato in Comune di Moncucco Torinese (AT), località “Fontamara”, ed è posto circa 750 m a sud-sud-est del concentrico di Moncucco Torinese. La maggior parte dei terreni di proprietà è ubicata in Comune di Moncucco, la restante parte in Comune di Castelnuovo Don Bosco.

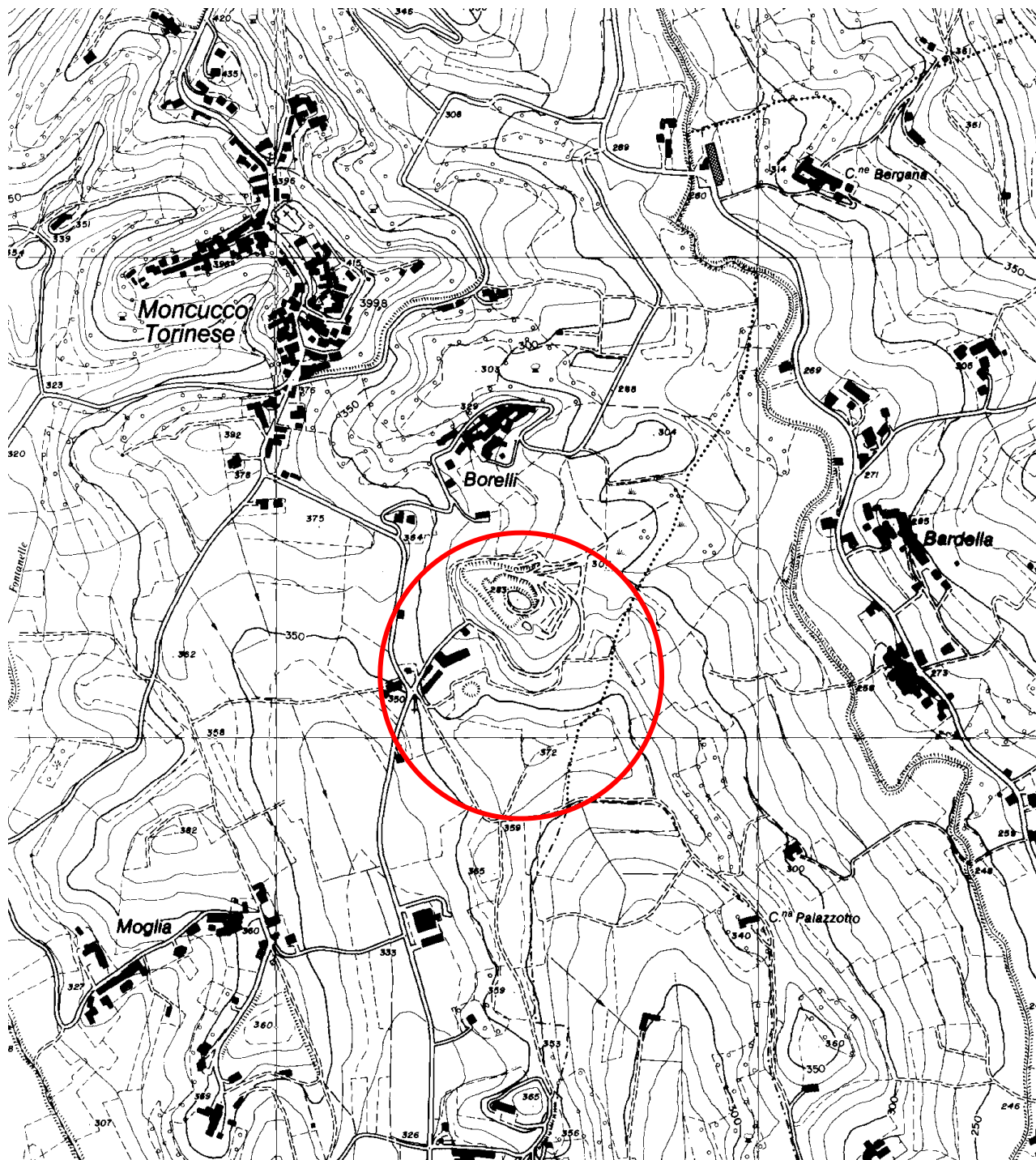
Sulla cartografia ufficiale, edita in scala 1: 25.000 a cura dell'Istituto Geografico Militare, il sito è individuabile sulla Tavoletta II SE "Buttiglieria d'Asti" del F° 56 "Torino", e di cui nel seguito è riportato in allegato un estratto.

Per un inquadramento più dettagliato, si può fare riferimento invece alla Sezione n. 156.120 “Moncucco Torinese” della Carta Tecnica Regionale, edita in scala 1:10.000 a cura del Servizio Cartografico della Regione Piemonte, e della quale nel seguito è parimenti riportato in allegato un estratto.





Individuazione dell'area di cava in esame (evidenziata dal cerchio rosso) su estratto della Tavoletta II SE "Buttiglieria d'Asti" del F° 56 "Torino". Scala 1:25.000.



Individuazione dell'area di cava in esame (evidenziata dal cerchio rosso) su estratto della Sezione n. 156.120 della Carta Tecnica Regionale. Scala 1:10.000.

## 2.2. Terreni oggetto dell'intervento

Come illustrato nell'allegata planimetria catastale (Cfr.: Tav. 1 – Estratto di mappa catastale), l'area oggetto del previsto intervento estrattivo ricade nel territorio del Comune di Moncucco Torinese (AT).

L'autorizzazione per la ripresa dell'attività estrattiva verrà infatti richiesta, una volta conclusa la presente procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA, su terreni censiti al F° XII del Nuovo Catasto Terreni del Comune di Moncucco Torinese; nel dettaglio, gli interventi sono previsti sulle particelle catastali individuate nell'allegata planimetria catastale (Cfr.: Tav. 1).

In passato, l'attività estrattiva aveva interessato sia il territorio del Comune di Moncucco T.se che quello del limitrofo Comune di Castelnuovo Don Bosco; la proposta ripresa dei lavori estrattivi, invece, interesserà esclusivamente terreni siti in territorio del Comune di Moncucco.

Da un punto di vista catastale, risultano in disponibilità alla FASSA S.r.l. i mappali che costituiscono un corpo principale di terreni, incentrati sull'area estrattiva sulla quale si è sviluppata storicamente l'attività mineraria, sin dal secolo scorso, cui si aggiungono una serie di terreni adiacenti.

L'area catastale sulla quale era stata a suo tempo rilasciata dal Comune di Moncucco T.se, con la Del. C.C. n. 16 dell'11.06.2011, la più recente autorizzazione per l'attività estrattiva, corrisponde infatti, come evidenziato sull'allegata planimetria (Cfr.: Tav. 1 – Estratto di mappa catastale), ai mappali censiti al Nuovo Catasto Terreni ai mappali n. 157, 158, 159, 160, 161, 162, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 222, 223, 224, 225, 227, 410, 412, 413, 414, 430, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 457, 480, 515 e 516 del Foglio XII.

All'area così individuata, già oggetto di autorizzazione ai sensi della allora L.R. 69/78, si aggiungono alcuni terreni limitrofi, censiti al Nuovo Catasto Terreni ai mappali n. 152, 153, 154, 155, 156, 163, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 187, 188, 190, 192, 205, 206, 208, 216, 219, 220, 221, 226, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 411, 450, 458 e 494 del medesimo Foglio XII.

Il corpo di terreni così complessivamente individuato presenta un'estensione complessiva di circa 16,2 ettari; essi sono tutti ricadenti nel territorio comunale di Moncucco Torinese, e risultano compresi tra il tracciato della “strada vicinale delle capre”, a nord – est, quello della “strada vicinale Valles” a sud – ovest, ed il confine comunale a est.

Risulta altresì in disponibilità alla FASSA S.r.l. un secondo corpo di terreni di minore estensione, posto a sud – ovest di quello principale, dal quale è separato dal tracciato della “strada vicinale Valles”, e censito in corrispondenza delle particelle catastali n. 387, 389, 390, 393, 394, 395, 396, 397, 399 e 468 del Foglio XII.

A fronte delle aree in disponibilità così individuate, la ripresa dell'attività estrattiva, oggetto della presente relazione, interesserà con l'intervento estrattivo (coltivazione mineraria e recupero ambientale) un'area di più ridotta estensione, dell'ordine di circa 5,1 ettari.

Come evidenziato graficamente sull'allegata planimetria (Cfr.: Tav. 1 – Estratto di mappa catastale), l'area effettivamente oggetto di intervento estrattivo ricade in massima parte entro la perimetrazione dell'area già a suo tempo autorizzata, e si allargherà andando ad interessare marginalmente alcuni mappali posti a ovest e sud – ovest dell'area già a suo tempo autorizzata, coinvolgendo nel settore ovest parte delle particelle catastali n. 188, 192 e 458 del F° XII, mentre nel settore sud – ovest sarà interessata l'estremità settentrionale delle particelle n. 220, 221 e 411 del medesimo F° XII.

Di tale area, per di più, la porzione settentrionale, con una estensione di circa 0,89 ettari e ricompresa all'interno dell'area già a suo tempo autorizzata, non sarà interessata dalla coltivazione mineraria, in quanto verrà adibita solamente allo stoccaggio temporaneo in cumulo del materiale derivante dalla rimozione della copertura sterile presente in superficie a ricoprire il giacimento di gesso cristallino, che dovrà essere preventivamente rimossa per consentirne la coltivazione.

## 2.3. Vincoli ambientali e territoriali

Come già segnalato, l'area interessata dall'intervento estrattivo in progetto risulta soggetta, in parte, a "vincolo paesaggistico" per effetto delle disposizioni di cui all'art. 142, 1° comma, del D.Lgs. in parola, in quanto inclusa nella perimetrazione della "*Area di notevole interesse pubblico del territorio della Conca di Vezzolano sito nei Comuni di Albugnano, Moncucco Torinese e Castelnuovo Don Bosco*", individuata ai sensi del D.M. 1° agosto 1985

In materia di vincolo idrogeologico, si è provveduto a verificare, mediante l'apposito servizio web reso disponibile dalla Regione Piemonte, la perimetrazione delle aree soggette a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. n. 3267 del 1923: l'area in oggetto non risulta sottoposta a tale vincolo.

Le principali infrastrutture della zona in esame sono riferibili alla viabilità; l'arteria principale è costituita dalla S.P. 32, che funge da strada di collegamento tra i concentrici di Moncucco e Moriondo.

Per quanto riguarda la viabilità secondaria, si possono notare alcune strade di importanza minore, sotto forma in genere di semplici campestri non asfaltate, che costituiscono la rete di collegamento tra le numerose cascine e borgate ed i centri abitati circostanti.

Nell'intorno dell'area indagata non sono presenti elettrodotti di particolare importanza, ad esclusione delle normali linee a bassa tensione, generalmente su semplici pali in cemento o addirittura in legno, che collegano alla rete elettrica e telefonica le diverse frazioni e cascine della zona.

L'idrografia superficiale è costituita essenzialmente dal Rio Fontanelle, che scorre in direzione Nord – Sud circa 1 km ad Ovest del sito estrattivo, e dal Rio di Bardella che scorre invece circa 700 m ad Est dell'area in esame.

### 3. PROGETTO DI COLTIVAZIONE MINERARIA

#### 3.1. Sviluppo storico della coltivazione mineraria

Nella cava in esame, l'attività estrattiva ha preso avvio sin dai secoli scorsi, anche se con caratteristiche "artigianali"; solamente nella seconda metà del XX secolo la coltivazione mineraria ha assunto caratteristiche di maggiore sviluppo ed entità, tanto che la presenza della cava, in quanto scavo a cielo aperto di una certa estensione, risulta riportata cartograficamente già nella edizione correntemente disponibile della cartografia I.G.M. (edita in scala 1:25.000 dall'Istituto Geografico Militare), sotto forma della Tavoletta II SE "*Buttiglieria d'Asti*" del F° 56 "*Torino*", aggiornata al 1951, di cui si ripropone in allegato un estratto nel seguito.

Il progressivo ampliamento degli scavi, nei decenni successivi, è testimoniato da quanto riportato sulla cartografia C.T.R. (Carta Tecnica Regionale), edita in scala 1:10.000 dal Servizio Cartografico della Regione Piemonte ed aggiornata al 1990 circa (Cfr.: Sezione n. 156.120 "*Moncucco Torinese*" della Carta Tecnica Regionale).

Come si evince dal raffronto tra le due cartografie successive, all'inizio degli anni '90 del secolo scorso l'attività a cielo aperto aveva raggiunto uno sviluppo dell'ordine di circa 200 m, con una conformazione ad anfiteatro che si addentrava progressivamente nel versante collinare.

Oltre che a cielo aperto, in passato gli scavi estrattivi avevano anche avuto un primo sviluppo in sotterraneo.

Si rimanda, a tale proposito, a quanto rappresentato sull'allegata planimetria di stato attuale (Cfr.: Tav. 3), sulla quale è riportata, con appositi graficismi, l'estensione delle gallerie minerarie scavate nel settore sud – orientale dell'area di cava nell'ambito delle più recenti autorizzazioni, come pure delle principali gallerie e vuoti minerari scavati in precedenza, nell'ultima parte del secolo scorso, nel settore occidentale dell'area di cava, ed ancora oggi individuabili e riconoscibili.

In termini di procedure amministrative relative al più recente periodo (post anno 2000), nella cava in oggetto l'attività estrattiva, attualmente sospesa, ha avuto inizio a seguito dell'autorizzazione rilasciata dal Comune di Moncucco (AT), ex L.R. 69/78, con la Del. C.C. n. 20 del 30.03.2004 e con il successivo Provvedimento Autorizzativo Unico n. 23, in data 29.07.2004, dello Sportello Unico Associato per le Attività Produttive "*Nord Astigiano*".

Il provvedimento era stato emesso a seguito del giudizio positivo di compatibilità ambientale espresso dalla Provincia di Asti, ex L.R. 40/98, con la D.G.P. n. 78728 del 17.10.2003, nonché del parere favorevole espresso dal Settore Gestione Beni Ambientali della Regione Piemonte, ai sensi dell'allora D.Lgs. n. 490/1999 (ora D.Lgs. 42/2004), con Determinazione Dirigenziale n. 11 del 22.01.2004.

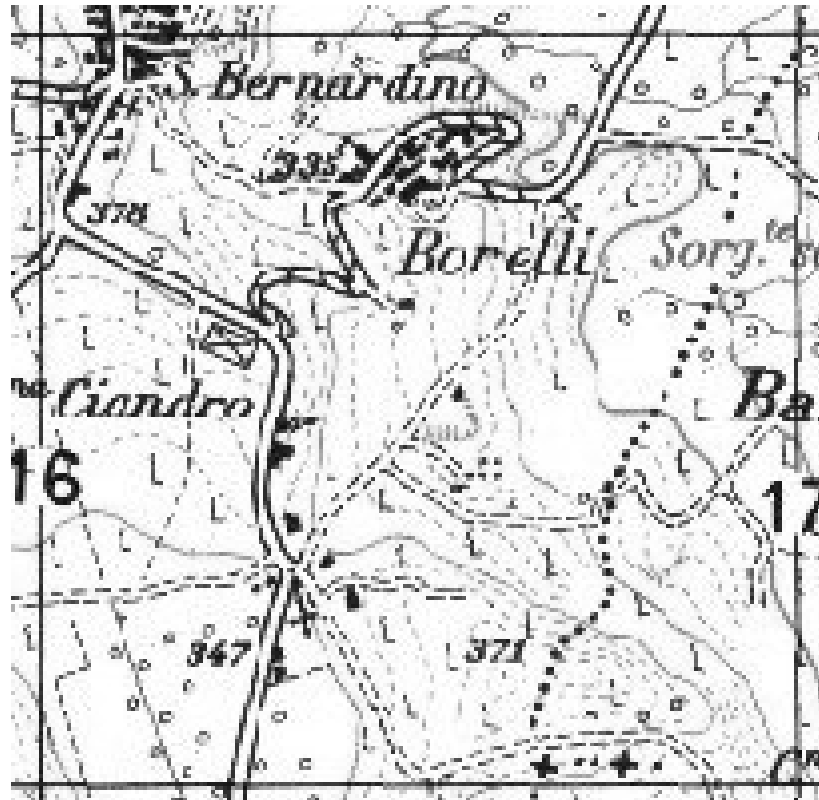
A seguito di apposita istanza presentata dalla allora FASSA S.p.A. (ora S.r.l.), l'autorizzazione per l'esercizio dell'attività estrattiva era poi stata rinnovata dal Comune di Moncucco T.se con la Del. C.C. n. 16 dell'11.06.2011, visto il "Provvedimento Autorizzativo



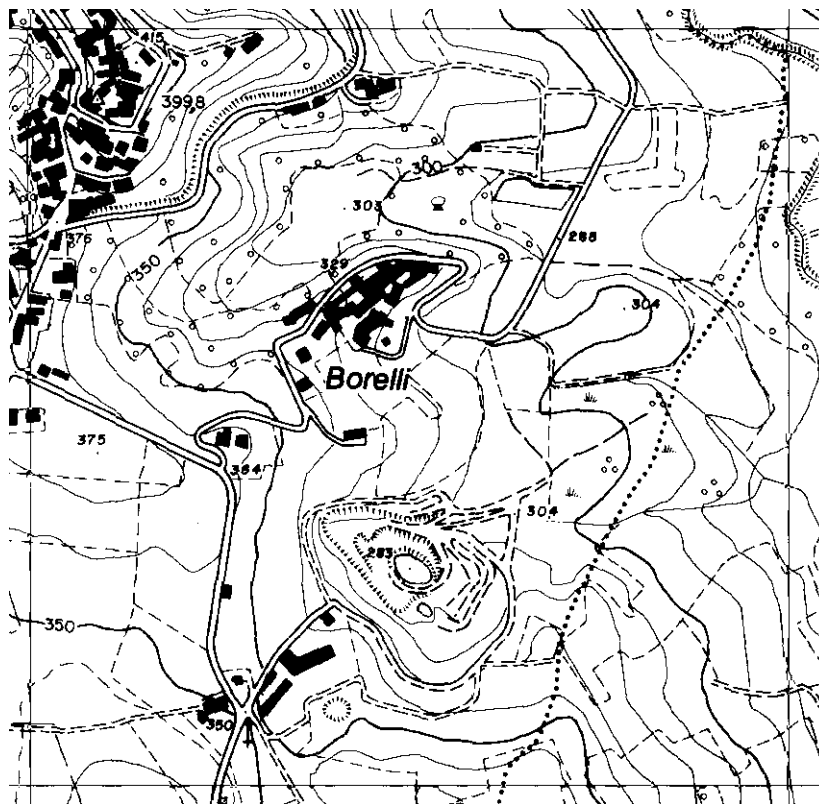
unico” n. 18 del 14.01.2011 a firma del Responsabile dello Sportello Unico delle Attività Produttive “Alto Astigiano”.

Successivamente, vista la Determinazione del Dirigente del Servizio Ambiente della Provincia di Asti n. 2208 del 06.06.2013, avente ad oggetto l’autorizzazione per le emissioni in atmosfera prodotte dallo stabilimento della Fassa S.p.A. per l’attività di cava sita in loc. Fontamara, con Determinazione n. 5 del 17.06.2013 lo stesso SUAP autorizzava la prosecuzione della coltivazione mineraria nella cava in parola, secondo le disposizioni contenute nel succitato Provvedimento Autorizzativo unico n. 18 del 14.02.2011, precisando che la durata della coltivazione mineraria della cava sarebbe scaduta il 30 giugno 2013, mentre i lavori di recupero ambientale avrebbero dovuto essere conclusi entro il 31 dicembre 2013.

In termini di avanzamento dei lavori estrattivi, pertanto, dopo il 2013 non sono più stati svolti lavori di coltivazione mineraria, né all’interno della cava a cielo aperto né in sotterraneo.



Individuazione del sito di cava su estratto della Tavoletta IMG II SE “Buttiglieria d’Asti” del F° 56 “Torino”, aggiornata al 1951 (ingrandimento alla scala 1:10.000).



Individuazione del sito di cava su estratto della Sezione n. 156.120 “Moncucco Torinese” della Carta Tecnica Regionale, aggiornata al 1991 (scala 1:10.000).



### 3.2. Stato attuale del sito

Nella cava in oggetto, la coltivazione mineraria a cielo aperto, sviluppatasi per alcuni decenni sin dalla prima metà del secolo scorso, ha dato origine ad uno scavo a fossa, ampio circa 400 m in direzione nord-sud e circa 300 m in direzione est-ovest, che si approfondisce sino ad una quota minima di poco più di 290 m s.l.m. circa.

Il fronte sud mostra un dislivello complessivo in altezza di circa un'ottantina di metri, estendendosi in verticale sino alla sommità dell'adiacente rilievo collinare.

Nei decenni trascorsi, la porzione superiore del fronte, modellata nella copertura sterile (formazioni marnoso – argillose plioceniche), è stata risagomata obliterando in buona parte l'originaria morfologia artificiale a gradoni, e facendole assumere una conformazione a “fronte unico”, sagomata secondo una pendenza di circa 30°.

La porzione inferiore è modellata invece nelle bancate di gesso cristallino costituenti il giacimento di interesse estrattivo, con la presenza di due gradoni principali, posti alle quote, rispettivamente, di circa 316 - 318 m s.l.m. e 305 – 307 m s.l.m., mentre il fondo scavo si imposta ad una quota di circa 292 - 295 m s.l.m..

Anche il fronte orientale risulta caratterizzato da una porzione altimetrica superiore a minore acclività, sagomata nei litotipi marnoso – argillosi della copertura sterile che ricopre il giacimento, e da una inferiore a maggiore acclività, spesso sotto forma di gradoni con pareti sub-verticali o comunque molto acclivi, sagomate nelle bancate di gesso cristallino, a consistenza litoide, costituente il vero e proprio giacimento oggetto di coltivazione mineraria: il limite tra le due porzioni è dato dalla pista di accesso che, scendendo da nord verso sud, consente l'accesso alla porzione più profonda del cantiere minerario.

Così pure, anche sul fronte occidentale si riconosce una porzione inferiore, caratterizzata da ripidi fronti di scavo modellati nelle bancate di gesso macrocristallino oggetto di coltivazione mineraria, rispetto a quella superiore, a minore acclività.

Si rimanda, a tale proposito, all'allegata planimetria di aggiornamento (Cfr.: Tav. 2 – Planimetria stato attuale - Aggiornamento topografico dicembre 2008), già trasmessa a suo tempo agli Uffici Competenti, quale aggiornamento sull'avanzamento dei lavori estrattivi, nell'ambito delle procedure istruttorie ed amministrative che avevano portato al rilascio del più recente provvedimento autorizzativo ex L.R. 69/78.

La planimetria in parola era stata redatta sulla base di un aggiornamento topografico a terra, eseguito ed implementato partendo dal rilievo aerofotogrammetrico preliminare dell'area di cava, che costituiva la planimetria allegata all'Istanza di rinnovo dell'autorizzazione ex L.R. 69/78, presentata nel dicembre 2008; mentre il rilievo fotogrammetrico faceva riferimento all'altimetria riportata sulla Carta Tecnica Regionale (CTR), il rilevamento topografico a terra era stato implementato mediante l'appoggio ad appositi caposaldi topografici di riferimento messi in opera all'interno del sito di cava: grazie alla disponibilità di tali punti di appoggio, il rilievo topografico

aveva potuto quindi essere esteso anche alle gallerie minerarie in sotterraneo, non rilevabili da volo aereo.

Sulla planimetria suddetta è infatti riportata anche l'estensione, al dicembre 2008, delle gallerie di coltivazione mineraria realizzate all'epoca, come pure di alcune gallerie minerarie abbandonate, scavate in passato nel settore nord-occidentale dell'area di cava.

Per un più agevole riferimento, sull'elaborato in parola alla perimetrazione dell'area oggetto del più recente provvedimento autorizzativo è stata sovrapposta quella dell'area oggetto di intervento nell'ambito del presente progetto di ripresa della coltivazione mineraria.

In termini di avanzamento dei lavori estrattivi, dopo il 2013 non sono più stati svolti lavori di coltivazione mineraria, né all'interno della cava a cielo aperto né in sotterraneo: a conferma, per una rappresentazione dello stato attuale dell'area oggetto di intervento si rimanda all'elaborato grafico parimenti allegato, sotto forma di un rilievo planoaltimetrico con restituzione a curve di livello, effettuato mediante drone per conto della FASSA S.r.l. nel dicembre 2018 (Cfr.: Tav. 3 – Planimetria stato attuale – Aggiornamento dicembre 2018).

### 3.3. Impostazione della coltivazione mineraria

Come già richiamato, in questo settore del territorio comunale di Moncucco T.se l'attività estrattiva di gesso si è insediata, storicamente, in corrispondenza della zona in esame, che da un punto di vista geologico e geomorfologico sorge presso il margine della scarpata morfologica che delimita verso est l'Altopiano di Poirino, in prossimità del piede dei rilievi della Collina di Torino, portando ad affiorare i livelli di gesso cristallino della "Formazione Gessoso – Solifera".

Gli scavi condotti in passato, come già anticipato, avevano raggiunto uno sviluppo dell'ordine di circa 200 m, con una conformazione ad anfiteatro che si addentrava progressivamente nel versante collinare: nella cava in oggetto, la coltivazione mineraria a cielo aperto, sviluppatasi per alcuni decenni sin dalla prima metà del secolo scorso, ha infatti dato origine ad uno scavo a fossa, ampio circa 400 m in direzione nord-sud e circa 300 m in direzione est-ovest, che si approfondisce sino ad una quota minima di poco più di 290 m s.l.m. circa.

Il fronte sud presenta un dislivello complessivo in altezza di circa un'ottantina di metri, estendendosi in verticale sino alla sommità dell'adiacente rilievo collinare; la porzione superiore del fronte, modellata nella copertura sterile (formazioni marnoso – argillose plioceniche), è stata risagomata obliterando in buona parte l'originaria morfologia artificiale a gradoni, mentre la porzione inferiore è modellata nelle bancate di gesso cristallino costituenti il giacimento di interesse estrattivo, con una serie di gradoni subverticali.

Situazioni analoghe sono riconoscibili sul fronte orientale e su quello occidentale della fossa di scavo, mentre quello settentrionale mostra una morfologia più dolce, scendendo gradualmente sino al fondo dello scavo.

Riprendendo tale impostazione complessiva, l'attività estrattiva in progetto si svilupperà con un progressivo arretramento e ribassamento della scarpata morfologica che delimita verso sud – ovest e verso ovest la fossa di scavo

Come illustrato sugli allegati elaborati grafici, sui quali è individuata cartograficamente l'area oggetto di ripresa della coltivazione mineraria, l'attività estrattiva verrà infatti condotta in modo tale da arretrare la scarpata del versante che delimita, nei settori settentrionale ed occidentale e soprattutto in quello sud – occidentale, il contorno dell'attuale fossa di scavo.

In particolare, l'attività verrà condotta in modo tale da consentire il progressivo arretramento e ribassamento della porzione superiore del versante, impostata nelle marne argillose della copertura sterile che ricopre il giacimento, risagomandola a fronte unico (con acclività di 30°) su un dislivello complessivo dell'ordine di circa una cinquantina di metri.

L'arretramento avverrà operando a partire dall'alto verso il basso con macchine movimento terra (sotto forma essenzialmente di escavatori cingolati); lo scavo procederà per "fette" orizzontali di ridotto spessore, mediante una serie di gradoni temporanei sovrapposti, di ridotta altezza (pari a mediamente 3 - 4 metri, così da restare entro le capacità operative delle macchine di scavo), che verranno poi obliterati in sede di profilatura finale, così da modellare la porzione sommitale del

fronte di cava secondo una pendenza di circa  $30^\circ$ , con uno sviluppo massimo in altezza che raggiungerà i 45 – 50 metri nel settore sud – occidentale dell'area di cava.

Una volta asportata questa copertura superficiale così da portare ad affiorare il gesso macrocristallino oggetto di interesse estrattivo, quest'ultimo sarà oggetto di scavo, che procederà con mezzi meccanici, soprattutto mediante un “vibro – ripper” montato su escavatore meccanico, che consentirà lo scavo della formazione gessosa, di consistenza litoide, senza dover ricorrere all'impiego dell'esplosivo.

Anche in questo caso, lo scavo avverrà per “fette” orizzontali successive, di ridotto spessore, corrispondenti ai futuri gradoni in cui sarà articolato il fronte di scavo allo stato finale: a fronte dell'altezza effettiva dei singoli fronti di scavo, che allo stato finale avranno un'altezza di circa 10 metri, in fase di coltivazione le singole “fette” verranno scavate suddividendone lo spessore in più “passate” minori successive, così da restare entro i limiti delle capacità operative delle normali macchine movimento terra.

Allo stato finale, il dislivello complessivo della porzione inferiore del fronte di scavo, modellata nelle bancate di gesso macrocristallino, sarà dell'ordine di una cinquantina di metri sul lato meridionale, per salire a circa 70 metri su quello settentrionale e con un valore massimo di circa 80 metri su quello occidentale: ciò in conseguenza della quota altimetrica a cui si imposta il tetto del giacimento di gesso cristallino, tenuto conto che al piede del fronte di scavo si avrà una superficie subpianeggiante posta ad una quota di circa 265 m s.l.m., corrispondente all'ultimo “ribasso” del piazzale di cava al termine della coltivazione mineraria.

Come rappresentato sull'allegato elaborato grafico (Cfr.: Tav. 4 – Planimetria di coltivazione – Massimo scavo), in questa fase di massimo sviluppo della coltivazione mineraria i gradoni, che si estenderanno a coprire l'intervallo altimetrico complessivo del giacimento gessoso oggetto di coltivazione, saranno caratterizzati da una acclività di circa  $70^\circ$  e da un'altezza di 10 metri, con una larghezza delle pedate di circa 5 metri, così da dare origine ad altrettante fasce pianeggianti di pari ampiezza, sulle quali provvedere alle operazioni di recupero ambientale.

Nell'ambiti di queste ultime, si provvederà al ritombamento della porzione inferiore della fossa finale di scavo: partendo dal fondo di quest'ultima, infatti, il materiale sterile di copertura, asportato nella fase iniziale ed accantonato in cumulo nel settore settentrionale dell'area di cava, nell'area graficamente individuata negli allegati elaborati, verrà riportato nella fossa di scavo e steso per strati successivi, sino ad ottenere una superficie subpianeggiante posta ad una quota di circa 292 m s.l.m.: ciò consentirà l'integrale obliterazione dei gradoni a quota più bassa.

Sul suo contorno, questa superficie finale, profilata con debole acclività verso il suo settore centrale, sarà raccordata al soprastante gradone residuale a quota 295 m s.l.m. mediante una falda perimetrale a ridotta acclività, sagomata secondo una pendenza di circa  $18^\circ$  (scarpata 1:3).

Al centro del piano finale così ricostruito, con una conformazione a “conca” a ridottissima pendenza, verrà invece realizzata una blanda depressione morfologica, dal contorno curvilineo ed ampia circa 80 x 25 metri, destinata alla raccolta delle acque meteoriche afferenti alla fossa di

coltivazione: queste ultime, infatti, si concentreranno e convoglieranno verso questa depressione centrale, profonda 1 metro circa e delimitata da scarpate a ridotta acclività (pendenza 1:5, pari a circa 11° sessagesimali), così da dare origine ad una zona umida, con un battente idrico medio dell'ordine di 50 cm circa.

In fase di coltivazione, si provvederà infatti all'emungimento delle acque meteoriche, mediante il loro pompaggio e conferimento (come già nel corso degli interventi estrattivi condotti in passato) alla rete idrografica esterna, sotto forma del rio Bardella che scorre a nord – est dell'area di cava.

Al termine dell'intervento estrattivo, le acque meteoriche si raccoglieranno al fondo della fossa di scavo, evaporando e/o infiltrandosi nel materiale di ritombamento per poi defluire attraverso il sottostante substrato gessoso, ripristinando così la circolazione idrica naturale della zona; l'eventuale ristagno (anche a carattere stagionale) di acque meteoriche sul fondo della fossa di coltivazione, concorrerà al recupero ambientale dell'area di cava, dando origine ad una zona umida naturaliforme.

La conformazione planoaltimetrica finale dell'area estrattiva, caratterizzata dalla presenza di un fronte di scavo modellato a pendio unico nella porzione superiore ed a gradoni sovrapposti in quella inferiore, al cui piede si estende la superficie subpianeggiante di fondo cava, è altresì illustrata dalle sezioni di coltivazione parimenti allegate (Cfr.: Tavv. 6 – 7).

### **3.4. Caratteristiche dimensionali dell'intervento: superfici interessate e volumetrie estraibili**

Il progetto estrattivo per il quale la FASSA S.r.l. intende presentare istanza di autorizzazione ai sensi della L.R. 23/2016 prevede la coltivazione del giacimento in oggetto su un arco temporale di ordine venticinquennale, così da pervenire al raggiungimento della configurazione rappresentata sull'allegata planimetria di progetto (Cfr.: Tav. 5 – Planimetria di coltivazione - stato finale).

La ripresa dell'attività estrattiva, oggetto della presente relazione, interesserà un'area con una estensione effettiva dell'ordine di circa 5,1 ettari; di tale area, per di più, la porzione settentrionale, con una estensione di circa 0,89 ettari, non sarà interessata dalla coltivazione mineraria, in quanto verrà adibita solamente allo stoccaggio temporaneo in cumulo del materiale derivante dalla rimozione della copertura sterile presente in superficie a ricoprire il giacimento di gesso cristallino, che dovrà essere preventivamente rimossa per consentirne la coltivazione.

L'area effettiva di scavo è stata infatti definita, in termini di massimo sviluppo della coltivazione mineraria, sulla base della necessità non solo di approfondire gli scavi così da procedere alla coltivazione del giacimento di gesso macrocristallino oggi affiorante nelle porzioni altimetriche inferiori dell'attuale fossa di scavo, ma anche di raccordarsi morfologicamente con i terreni circostanti, arretrando la porzione superiore dei versanti di scavo residuali che oggi la delimitano nel settore occidentale, sagomati nella copertura sterile marnosa che ricopre il giacimento gessoso: ciò al fine di poterla asportare per provvedere poi alla coltivazione di quest'ultimo.

Allo stato finale, al termine della coltivazione mineraria si avrà una superficie subpianeggiante di fondo scavo, coincidente con il piazzale finale di cava posto ad una quota di circa 265 m s.l.m., che corrisponde al massimo approfondimento degli scavi.

Questo piazzale di base sarà contornato, ad anfiteatro, dai fronti finali di scavo, a costituire delle scarpate artificiali che nella porzione inferiore saranno modellate nel gesso cristallino, con inclinazione, a livello dei singoli gradoni, di circa 70°, che si riducono (tenendo conto della presenza di pedate, ampie 5 metri, ogni 10 metri di dislivello verticale) a circa 50° in termini di inviluppo complessivo.

Come già anticipato, nella fascia altimetrica superiore, modellata nei materiali sterili di copertura, di natura marnoso – argillosa, i fronti di scavo saranno invece sagomati a fonte unico, con una acclività massima di circa 30°.

La coltivazione del sottostante giacimento, costituito da un potente spessore di gesso macrocristallino di origine evaporitica, verrà effettuata, come già accennato, mediante l'arretramento di una serie di gradoni, ciascuno con altezza limitata a circa 10 metri, a sua volta ripartita su più "ribassi" successivi dell'ordine dei 2 – 3 metri ciascuno, così da restare entro il campo di azione delle comuni macchine movimento terra, sotto forma di escavatori cingolati muniti di "vibro – ripper".

In termini di volumetrie estraibili, sulla base dell'impostazione così definita per la coltivazione mineraria, ed effettuando poi il calcolo suddividendo in porzioni discrete ("fette orizzontali") i volumi da asportare, il volume complessivo di materiale da scavare per il raggiungimento della morfologia di stato finale (fase di massimo scavo, rappresentata nella Tav. 4) ammonta a circa 580.000 m<sup>3</sup> di materiale gessoso in posto, cui si aggiungono circa 220.000 m<sup>3</sup> di materiale sterile di natura marnoso - argillosa, affiorante sulla superficie dei versanti residuali (derivanti dagli scavi minerari condotti nei decenni trascorsi) che contornano l'attuale fossa di scavo, e da asportare preventivamente alle operazioni di vera e propria coltivazione mineraria, accantonandolo in cumulo per rideporlo poi in sede di recupero ambientale.

Nel complesso, pertanto, la proposta progettuale che viene qui presentata, finalizzata alla valorizzazione della riserva estrattiva, costituita da un giacimento di gesso macrocristallino ad elevata purezza e ad "alto titolo" ai fini degli impieghi produttivi (produzione diintonaci a base gesso), renderà quindi possibile l'estrazione di una volumetria complessiva di minerale gessoso dell'ordine di circa 580.000 m<sup>3</sup>.

A fronte di questa cubatura teorica, si deve però considerare la possibile presenza di vuoti e cavità nel corpo del giacimento, connessi e conseguenti a pregressi interventi estrattivi in sotterraneo, condotti nel secolo scorso e non più individuabili cartograficamente.

Statisticamente, il quadro conoscitivo disponibile indica che il volume di questi vuoti sotterranei di origine antropica può essere stimato come dell'ordine di circa 35.000 m<sup>3</sup>: ne deriva che la volumetria utile netta di minerale gessoso estraibile nel proposto intervento minerario è valutabile come dell'ordine di circa 545.000 m<sup>3</sup>.

La coltivazione mineraria, in corrispondenza ai livelli gessosi, verrà altresì condotta adottando particolari precauzioni e cautele, al fine di tenere preventivamente conto della possibile presenza di cavità: a tale scopo, verranno adattati, al contesto dello scavo a cielo aperto, i protocolli con i quali la FASSA S.r.l. già opera nelle attività estrattive in sotterraneo da essa esercite nel Monferrato astigiano (cave di Moncalvo e Calliano), incentrate sull'effettuazione di "fori esplorativi" in avanzamento, al fine di accertare preliminarmente la continuità delle bancate gessose e l'eventuale presenza di cavità di origine antropica e/o naturale.

A fronte della prevista durata dell'intervento estrattivo, di ordine venticinquennale, la volumetria prevista dal progetto è tale da permettere, operando su ritmi produttivi medi dell'ordine dei 20 – 25.000 m<sup>3</sup> annui, di valorizzare la finalità della cava come risorsa estrattiva funzionale a fornire agli impianti produttivi della FASSA S.r.l. (in particolare lo stabilimento di Moncalvo) e/o ad altri operatori del settore delle volumetrie significative di minerale gessoso di elevata qualità.

### 3.5. Metodi e mezzi di coltivazione

Nell'ambito del previsto progetto estrattivo le modalità di coltivazione mineraria saranno funzionali alla natura del materiale da estrarre, costituito innanzitutto, per quanto riguarda la copertura sterile da asportare preliminarmente, da un misto marnoso – argilloso caratterizzato da un buon addensamento, ma con caratteristiche tali da consentire comunque lo scavo mediante le comuni macchine movimento terra.

I lavori di asportazione della copertura sterile marnoso – argillosa, preliminari alla coltivazione del giacimento, potranno quindi essere condotti con le usuali tecniche di scavo meccanico, incentrate sull'utilizzo di escavatori idraulici cingolati.

Per lo scavo del gesso cristallo costituente il vero e proprio giacimento di interesse estrattivo, invece, tenuto conto della consistenza litoide di tale materiale (pur con caratteristiche di roccia “tenera” rispetto ai litotipi calcarei), l'escavatore potrà essere dotato di un “vibro – ripper”, così da evitare non solo l'impiego dell'esplosivo (che determinerebbe ovvie ricadute in termini di umore e vibrazioni) ma anche dei comuni “martelloni demolitori”.

In termini di caratteristiche operative dei mezzi di questo tipo, nei modelli comunemente disponibili in commercio, risultano significative le capacità in termini di scavo, in termini soprattutto di sbraccio di scavo massimo: a seconda del modello di braccio articolato installato, si raggiungono infatti altezze di scavo massime di alcuni metri, con valori analoghi in termini di profondità massima di scavo rispetto al piano di appoggio dei cingoli.

Ciò consentirà di operare sui gradoni della cava in esame, modellati nel gesso cristallino e la cui altezza finale sarà di 10 metri, suddividendo ogni successiva “fetta” del giacimento in più passate di minore spessore.

L'escavatore impiegato per l'estrazione del materiale gessoso in banco verrà coadiuvato da una pala gommata, per caricare il materiale utile sui dumpers e/o camion adibiti al trasporto del materiale stesso.

Al riguardo, si potrà procedere con un “doppio passaggio”, utilizzando innanzitutto dei dumpers (caratterizzati da maggiori capacità di carico e, soprattutto, di movimento sulle piste di cava) per trasportare il materiale grezzo estratto dai gradoni al limitrofo piazzale di cava, dove verrà sottoposto ad una pre – lavorazione, mediante un frantoio mobile associato ad un vaglio anch'esso mobile, così da ridurre la pezzatura per agevolarne il successivo trasporto.

Il materiale semi – lavorato così ottenuto verrà poi caricato, mediante la pala gommata, sui consueti camion e semiarticolati che, più idonei al trasporto su strada e su lunghe distanze, potranno conferirlo ai siti di destinazione, sotto forma degli impianti produttivi della FASSA S.r.l. e/o di altri operatori del settore, nel caso di vendita a terzi.



## **4. RELAZIONE GEOTECNICA**

### **4.1. Analisi della problematica (verifiche di stabilità dei fronti di scavo)**

Nel presente capitolo, si è provveduto a verificare, da un punto di vista geotecnico, la compatibilità dell'intervento estrattivo con la stabilità dell'area interessata, provvedendo a valutare in modo analitico la stabilità dei fronti finali di coltivazione.

Ai fini delle verifiche, si è fatto riferimento anche all'esperienza maturata dalla FASSA S.r.l. nella progettazione e gestione di analoghi interventi estrattivi, nelle cave di gesso in sotterraneo da essa esercite nel Monferrato astigiano (Moncalvo e Calliano).

In particolare, ai fini delle verifiche di stabilità riportate nel presente capitolo, si è fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica dei diversi livelli stratigrafici costituenti la formazione gessifera presente nel sottosuolo del Monferrato astigiano, sviluppata ed implementata, negli anni trascorsi, nell'ambito della progettazione dei diversi lotti ed ampliamenti delle cave suddette.

## 4.2. Inquadramento litostratigrafico

Ai fini delle verifiche di stabilità dei fronti di scavo nell'ambito dell'attività estrattiva in progetto, sulla base di quanto discusso ed illustrato nel precedente cap. 3, si può quindi considerare che il versante oggetto di scavo è modellato, per la porzione superiore, nella copertura sterile marnoso – argillosa riferibile alle formazioni plioceniche post – evaporitiche, mentre nella porzione inferiore affiorano le bancate di gesso cristallino delle formazioni evaporitiche messiniane.

Analoga “ripartizione” si avrà allo stato di massimo scavo ed in quello finale, in cui la porzione superiore del fronte di scavo sarà sagomata, con profilo a fronte unico e pendenza di circa 30°, nei livelli marnoso – argillosi della copertura sterile, mentre quella inferiore sarà modellata a gradoni, ciascuno alto dieci metri e separati da pedate orizzontali ampie 5 metri, sagomati, con una acclività del singolo gradone di circa 70°, nel gesso cristallino di consistenza litoide.

Di conseguenza, le verifiche di stabilità sono state sviluppate sulla base di questa configurazione geometrica e stratigrafica dei fronti di scavo, tenuto conto altresì che la superficie stratigrafica che separa le due formazioni presenta, come si evince dall'assetto geologico e litostratigrafico della zona, una debole pendenza verso sud.

Le verifiche sono state poi svolte, cautelativamente, nella situazione di massimo scavo, in cui si avrà il massimo possibile sviluppo in altezza dei fronti di scavo che delimiteranno la fossa di cava, prima delle operazioni di ritombamento parziale di quest'ultima.

## 4.3. Analisi sismica

### 4.3.1. Inquadramento normativo

La normativa di riferimento, in materia sismica, è costituita dal D.M. 17.01.2018 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC 2018), che ha aggiornato le precedenti normative di cui al D.M. 14.01.2008, a corredo delle quali era stata emanata la specifica Circolare esplicativa del Consiglio Superiore LL.PP. 02.02.2009, n. 617: “*Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*” (G.U. n. 47 del 26.02.2009).

Tali norme disciplinano la progettazione di opere di fondazione e di sostegno dei terreni soggette ad azioni sismiche, nonché i requisiti cui devono soddisfare i siti di costruzione ed i terreni di fondazione in presenza di tali azioni.

Si tratta dunque di norme pensate e concepite per il settore delle costruzioni, e la cui applicazione all’ambito estrattivo (peraltro non esplicitata formalmente, a livello normativo, in modo chiaro ed univoco) è di non facile trasposizione, anche solo da un punto di vista terminologico.

Lo scopo delle norme è di assicurare che, in caso di terremoto, sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile.

Per effetto delle modifiche e degli aggiornamenti introdotti dal citato D.M. 14.01.2008 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC) e riprese dal più recente D.M. 17.01.2018, l’azione sismica viene ora valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, procedendo all’analisi sito per sito e costruzione per costruzione, e non più riferendosi ad una zona sismica territorialmente coincidente con singole entità amministrative, ad un’unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva invece in precedenza.

Diversamente dalle 4 zone previste in precedenza, la pericolosità sismica di un sito è ora descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Nelle NTC tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “*periodo di riferimento*” ( $V_R$ ) e la probabilità di accadimento è denominata “*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*” ( $P_vR$ ).

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è quindi definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica  $P_vR$ :

- A.  $a_g$  = accelerazione massima al sito;
- B.  $F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- C.  $T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di  $a_g$  è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento (attualmente fornita dallo INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), mentre  $F_o$  e  $T_c^*$  sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

I valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  sono riportati nell'allegato B alle NTC, nel quale di essi si fornisce la rappresentazione in termini di andamento medio in funzione del periodo di ritorno ( $T_R$ ) per l'intero territorio nazionale.

### 4.3.2. Stati limite di riferimento

Ai sensi del par. 3.2.1. delle NTC 2018, gli stati limite di riferimento nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Le modifiche apportate, rispetto alle precedenti disposizioni, dalle NTC del 2008, confermate e riprese nelle nuove norme di cui al D.M. 17.01.2018, sono state definite in un quadro operativo finalizzato a sfruttare al meglio la puntuale definizione della pericolosità di cui si dispone, hanno portato a fare riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica.

Sono stati dunque portati a due gli Stati Limite di Esercizio (SLE), facendo precedere lo Stato Limite di Danno (SLD) - ridefinito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee nelle condizioni postsismiche - dallo Stato Limite di immediata Operatività (SLO), particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono restare operative durante e subito dopo il terremoto (ospedali, caserme, centri della protezione civile, etc.), in tal modo articolando meglio le prestazioni della struttura in termini di esercizio.

Gli stati limite di esercizio sono così definiti:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

In modo analogo, sono stati portati a due gli Stati Limite Ultimi (SLU) facendo seguire allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), individuato definendo puntualmente lo stato limite ultimo, lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC), particolarmente utile come riferimento progettuale per alcune tipologie strutturali (strutture con isolamento e dissipazione di energia) e, più in generale, nel quadro complessivo della progettazione antisismica.

Più precisamente, gli stati limite ultimi sono così definiti:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I quattro stati limite così definiti consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite ordinati per azione sismica crescente (**SLO**, **SLD**, **SLV**, **SLC**), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti, per individuare così univocamente ed in modo quasi “continuo” le caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione.

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti (Cfr.: Tabella 3.2.I delle NTC 2018) valori della probabilità di superamento  $P_{VR}$  pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, valori che restano immutati qualunque sia la classe d'uso della costruzione considerata; tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento  $V_R$  proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

**Tab. 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

### 4.3.3. Periodo di riferimento per l'azione sismica

Ai sensi del par. 2.4.3. delle NTC 2018, 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  $C_U$ .

A tale proposito, la vita nominale  $V_N$  di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali, così da poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC 2018.

Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso in esame, la problematica da affrontare è decisamente specifica ed in qualche modo anche radicalmente “anomala” rispetto al contesto per cui sono state concepite e definite le normative sismiche, in quanto non si tratta di una “costruzione”, ossia di un'opera artificiale destinata ad ospitare persone e/o strutture ed impianti, bensì di una cava, ossia di un sito in cui viene asportata, da parte dell'uomo, una porzione di “geomassa” naturale rappresentata dal giacimento estrattivo.

Dal punto di vista della “vita nominale”, pertanto, nella cava in oggetto i fronti di scavo possono essere attribuiti alla tipologia individuata dalle NTC come tipo di costruzione “2 – Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari”; quale vita nominale dei fronti di coltivazione della cava in oggetto si può pertanto adottare, cautelativamente, un valore di  $V_N = 50$  anni.

Per quanto riguarda invece la classe d'uso, in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise, secondo le NTC, in classi d'uso così definite:

- *Classe I*: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- *Classe II*: 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 *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

- *Classe III*: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- *Classe IV*: 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.

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nell'allegata Tab. 2.4.II delle NTC 2018:

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

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

Anche su tale tematica, si deve ricordare il carattere assolutamente peculiare e specifico delle attività estrattive, che non possono essere assimilate concettualmente né ad una "costruzione" destinata ad ospitare persone o attività, né ad una "industria".

Nel caso in esame, l'opera in progetto può essere attribuita, cautelativamente, alla **classe d'uso II**, in quanto non è previsto un grosso affollamento dell'area né in fase di produzione e coltivazione, né in una fase successiva; si può pertanto adottare un valore di  $C_U = 1$ .

Il periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava risulta quindi pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1 = 50 \text{ anni.}$$

Una volta valutato il periodo di riferimento  $V_R$  della costruzione (espresso in anni), ottenuto come prodotto tra la vita nominale  $V_N$  fissata all'atto della progettazione ed il coefficiente d'uso  $C_U$  che compete alla classe d'uso nella quale la costruzione ricade (par. 2.4 delle NTC 2018), si ricava poi, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma.

Si utilizza a tal fine la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \times V_N / \ln(1 - P_{VR}).$$



#### 4.3.4. Categoria di risposta sismica del sottosuolo

In assenza di indagini di microzonazione sismica a scala di pianificazione territoriale, al momento non ancora disponibili per l'area in esame, in base alle NTC 2018 per la definizione dell'azione sismica si deve fare riferimento alla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione; le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono funzione infatti delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Le nuove NTC di cui al D.M. 17.01.2018 consentono di fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

Le condizioni di riferimento rigido citate in precedenza, infatti, non corrispondono in generale a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della “risposta sismica locale”, termine con il quale si intende l'azione sismica quale essa emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido a causa di effetti stratigrafici e topografici.

Dal punto di vista degli effetti stratigrafici, ai fini della classificazione dell'azione sismica di progetto, già prevista ai sensi della precedente O.P.C.M. 20.03.2003 n. 3274 ed aggiornata dalle NTC del 2008, poi ripresa ed aggiornata dalle più recenti NTC 2018, si definiscono delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

Più dettagliatamente, la nuova normativa distingue le seguenti 5 categorie di terreni di fondazione (Tab. 3.2.II delle NTC 2018):

- A. Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- B. Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- C. Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- D. Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento

delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;

- E. Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nel caso in esame, per le verifiche di stabilità condotte alla scala del fronte globale di scavo si è attribuito al sito di cava una categoria di suolo di tipo “C” per tenere conto soprattutto della natura marnoso – argillosa dei depositi della copertura sterile in cui è modellata la porzione superiore del fronte di scavo.

Per contro, nelle verifiche di stabilità condotte alla scala del singolo “gradone tipo” secondo il quale sarà modellata la porzione inferiore del fronte di scavo, sotto forma di un gradone con acclività di 70° sagomato direttamente nelle bancate di gesso “selenitico” di natura e consistenza litoide, si è fatto riferimento ad una categoria di suolo di tipo “A”.

#### 4.3.5. Effetti sismici delle condizioni topografiche

Per quanto riguarda gli effetti sismici connessi alle condizioni topografiche, nel caso di configurazioni superficiali semplici, come quella in esame, si può adottare la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III delle NTC 2018:

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in esame, trattandosi di fronti di scavo con pendenza superiore ai  $15^\circ$  ed altezza superiore ai 30 metri, la categoria topografica può essere assunta, cautelativamente, come pari a **T2**.

### 4.3.6. Azione sismica locale

Come si è visto in precedenza, la pericolosità sismica del territorio nazionale è stata definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica  $P_{VR}$ :

$a_g$  = accelerazione massima al sito;

$F_o$  = 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.

Il valore di  $a_g$  è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento (attualmente fornita dallo INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), mentre  $F_o$  e  $T_c^*$  sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

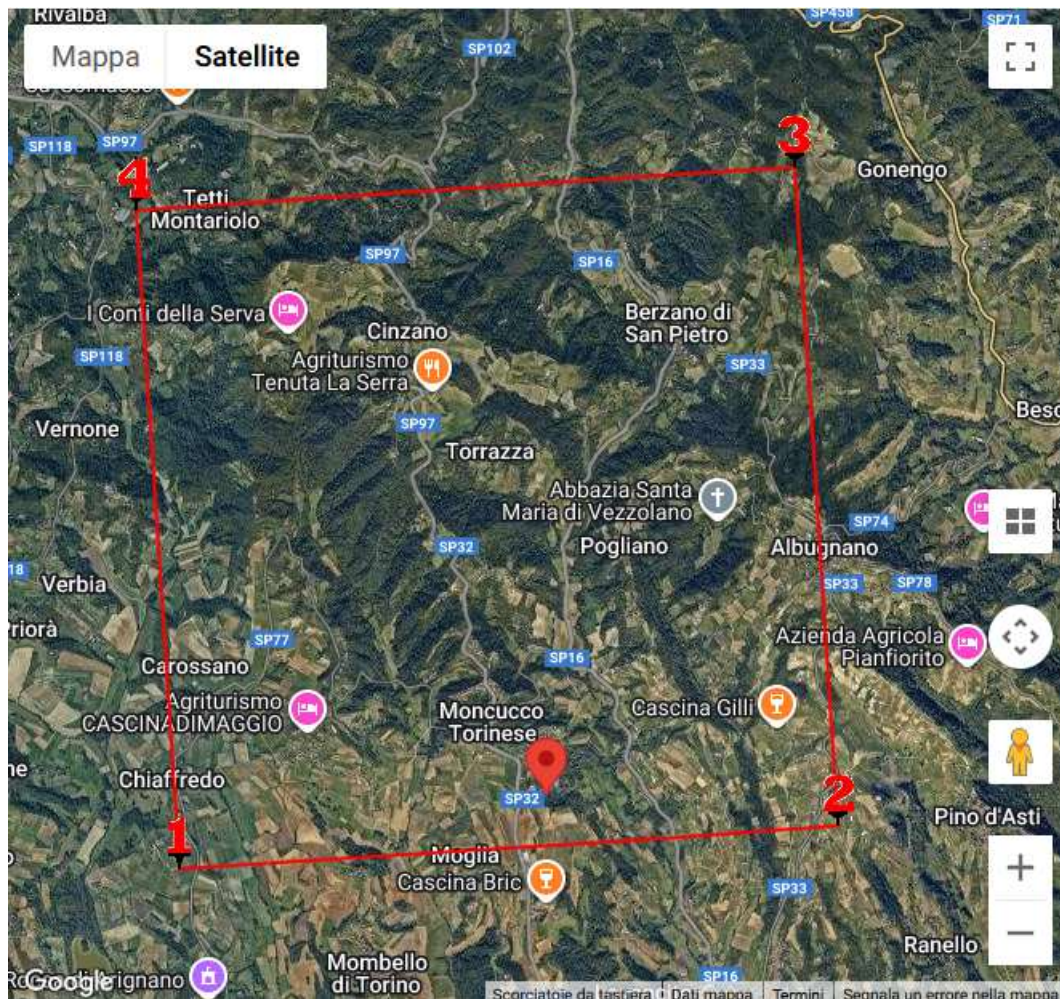
I valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  sono riportati in forma tabellare nell'allegato B alle NTC, nel quale di essi si fornisce la rappresentazione in termini di andamento medio in funzione del periodo di ritorno ( $T_R$ ) per l'intero territorio nazionale: i parametri in questione sono stati infatti calcolati per una maglia di “punti nodali” disposti a coprire l'intero territorio nazionale (il cosiddetto “reticolo di riferimento”).

Oltre alle tabelle allegate alle NTC, sono disponibili appositi programmi di calcolo, alcuni dei quali consultabili *on line*, che procedono automaticamente, sulla base dell'esatta ubicazione di un sito, espressa mediante le sue coordinate geografiche con i dati di latitudine e longitudine, ad una quantificazione delle sollecitazioni sismiche locali, interpolando opportunamente i dati relativi ai punti nodali tra i quali viene a ricadere il sito stesso.

Di seguito vengono riportati, come primo inquadramento, i dati relativi all'azione sismica locale, quantificata mediante i principali parametri sismici, tra i quali  $K_h$  e  $K_v$ , calcolati presso il sito in esame (visualizzato rispetto ai quattro punti nodali del “reticolo di riferimento” che lo contornano), ottenuti mediante l'apposito software disponibile *on line* sul sito *web* della GeoStru Software (fonte: <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>).

## Determinazione dei parametri sismici (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>)

Individuazione del sito rispetto ai “nodi” della maglia di calcolo



## Calcolo dei coefficienti sismici

### Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.018	2.617	0.161
Danno (SLD)	50	0.022	2.602	0.188
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.042	2.699	0.280
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.050	2.749	0.297
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

1

us (m)

0.1

Cat. Sottosuolo C

Cat. Topografica T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,92	1,82	1,60	1,57
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]
 

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.015	0.018
kv	0.003	0.004	0.008	0.009
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.319	0.390	0.746	0.881
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Determinazione dei parametri sismici  
(<http://www.geostru.com/geoapp/parametri-sismici.aspx>)

## 4.4. Caratterizzazione geotecnica

### 4.4.1. Finalità della caratterizzazione meccanica dei litotipi

Lo studio della stabilità dei fronti finali di scavo viene svolto valutando le tensioni di taglio indotte dalle forze gravitazionali lungo potenziali superfici di scivolamento (forze destabilizzanti), così da confrontarle con la resistenza al taglio lungo tali superfici. Se sussiste l'equilibrio, la resistenza al taglio disponibile lungo ogni potenziale superficie uguaglia o supera le tensioni tangenziali indotte dalla gravità: è quindi necessario definire per il caso in esame tale valore di resistenza al taglio, onde valutare correttamente le condizioni di stabilità.

Secondo il criterio di rottura di Mohr – Coulomb, si ipotizza che la resistenza al taglio  $\tau$  dei depositi limoso - argillosi oggetto di coltivazione sia legata alle caratteristiche geotecniche del deposito stesso secondo l'espressione:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi,$$

in cui  $c$  e  $\phi$  rappresentano i parametri coesione e angolo d'attrito interno, in condizioni drenate, mentre  $\sigma$  indica la sollecitazione efficace normale al piano di rottura.

Di questi parametri geomeccanici, si può osservare che la coesione  $c$  è dovuta alle interazioni di tipo fisico, e in alcuni casi anche di tipo chimico, tra le particelle, che nel caso di terreni con percentuali rilevanti di limi ed argille, come quelli che costituiscono la copertura sterile, marnoso – argillosa, che ricopre in superficie il giacimento oggetto di prevista coltivazione, diviene una caratteristica significativa del materiale, e ancor più nel caso di materiali a vera e propria consistenza litoide, come il gesso cristallino oggetto di coltivazione mineraria.

#### 4.4.2. Assetto stratigrafico del giacimento

L'area di interesse, dove è in progetto la ripresa dell'attività estrattiva del materiale gessoso, è caratterizzata da fronti di scavo, derivanti dalla coltivazione mineraria condotta nei decenni trascorsi, che presentano inclinazione variabile, localmente con scarpate e pareti sub – verticali, modellate nei litotipi gessosi di interesse estrattivo.

Più nello specifico, i pendii che delimitano l'attuale fossa di coltivazione sono modellati, nella loro parte sommitale, nella copertura sterile marnoso – argillosa, corrispondente alla formazione delle “Argille di Lugagnano” di età pliocenica, con uno spessore affiorante massimo dell'ordine di una cinquantina di metri; in questa porzione sommitale, i fronti di scavo mostrano un'inclinazione di 30° circa mentre, scendendo lungo i pendii stessi, nella porzione inferiore affiora la formazione gessosa di interesse estrattivo, corrispondente al c.d. “Complesso Caotico della Valle Versa”.

Per la caratterizzazione geomeccanica del giacimento in questione, si è fatto riferimento alle campagne di indagini geognostiche realizzate negli anni trascorsi per la caratterizzazione geotecnica dell'ammasso gessoso e marnoso, costituito dalle medesime formazioni affioranti presso il sito in esame, oggetto di coltivazione presso un'attività estrattiva gestita anch'essa dalla Fassa S.r.l., in aree limitrofe del Monferrato astigiano (Moncalvo).

Nel prosieguo della presente relazione, si farà riferimento, pertanto, ai parametri geotecnici dei materiali oggetto di coltivazione (gesso macrocristallino e marna sterile) ottenuti mediante tale caratterizzazione, svolta in un contesto geologico e stratigrafico del tutto analogo.

A corredo della predisposizione del progetto di coltivazione presso il suddetto sito estrattivo, erano stati prelevati infatti dei campioni di gesso macrocristallino e marna, sui quali erano poi state eseguite le prove di laboratorio.

Sui campioni così prelevati erano poi state effettuate le seguenti prove:

- determinazione del peso apparente;
- prove di compressione monoassiale;
- determinazione dei moduli elastici tangente e secante ( $E_t$ ,  $E_s$ );
- prove di taglio diretto ed individuazione del criterio di rottura della roccia;
- prove triassiali.

Nel seguito si riassumono i risultati delle prove di laboratorio così effettuate.



### 4.4.3. Determinazione dei criteri di resistenza della roccia intatta

#### 4.4.3.1. Criterio di resistenza per il gesso macrocristallino

Per ottenere il criterio di resistenza della roccia intatta, si deve determinare una retta-inviluppo dei cerchi di Mohr caratteristici delle condizioni del provino a rottura.

I risultati della prova di taglio sono costituiti da coppie di valori ( $\sigma - \tau$ ) che rappresentano la condizione di tangenza del cerchio di Mohr, relativo a quello stato tensionale, con l'inviluppo di resistenza del materiale.

Ipotizzando un criterio di resistenza, si può risalire alla curva di inviluppo del materiale; nel caso in esame si è utilizzato il criterio lineare di Mohr-Coulomb: interpolando i valori si è trovato l'inviluppo lineare di equazione  $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$ , dal quale si ricavano dunque i valori di coesione  $c$  ed angolo di attrito  $\varphi$  del materiale.

Per il gesso macrocristallino, si riportano i valori ottenuti mediante le prove eseguite su campioni di questo tipo di materiale prelevati in siti di cava, eserciti dalla Fassa S.r.l., che interessano le stesse formazioni affioranti e che saranno oggetto di coltivazione mineraria nella cava in oggetto. I risultati delle prove eseguite sui campioni così prelevati avevano evidenziato che per il gesso macrocristallino il criterio di resistenza del materiale è dato da:

$$\tau_u = 0.35 + \sigma_n \operatorname{tg} 40$$

e quello cautelativamente utilizzato nelle verifiche di stabilità è dato da:

$$\tau = 0.20 + \sigma_n \operatorname{tg} 35$$

L'inviluppo rettilineo definito da queste equazioni, su un piano  $\sigma$ - $\tau$ , è valido per la roccia intatta; per la presenza di discontinuità, fratture ecc..., la massa rocciosa risulta, invece, generalmente caratterizzata da parametri limite di resistenza inferiori rispetto a quelli relativi alla roccia intatta. Nel nostro caso però, vista la sostanziale assenza di fratture riscontrata nel giacimento oggetto di coltivazione, tali valori possono essere considerati validi anche per la roccia in posto.

#### 4.4.3.2. Criterio di resistenza per la marna

Per la argillosa, la caratterizzazione geotecnica, svolta su campioni prelevati in siti estrattivi analoghi a quello oggetto di studio, in cui vengono coltivate le medesime formazioni geologiche, è avvenuta tramite prova triassiale, la quale ha permesso di trovare un valore di coesione  $c = 0.20$  MPa ed un valore dell'angolo di attrito  $\varphi = 31.7^\circ$ , per quanto riguarda i valori di picco, così che il criterio di resistenza può essere espresso come:

$$\tau_p = 0.20 + \sigma_n \operatorname{tg} 31.7$$

Il criterio di resistenza utilizzato nelle verifiche di stabilità, in via maggiormente cautelativa, tuttavia è il seguente:

$$\tau_p = 0.10 + \sigma_n \operatorname{tg} 25$$

#### 4.4.4. Riepilogo dei dati assunti nelle verifiche

Come già richiamato, le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi interessati dai previsti lavori di coltivazione possono essere definite sulla base dei risultati delle campagne di indagini geognostiche realizzate presso siti estrattivi analoghi, eserciti dalla Fassa S.r.l. in aree limitrofe del Monferrato astigiano, nelle quali vengono coltivate le medesime formazioni geologiche affioranti presso il sito in esame, che sono stati anche comparati con i dati reperibili in letteratura tecnica.

I risultati ottenuti dalle analisi di laboratorio effettuate in occasione della caratterizzazione geomeccanica del giacimento presso l'analogo sito estrattivo esercito dalla Fassa S.r.l. in aree limitrofe del Monferrato hanno pertanto consentito di modellizzare anche il giacimento di Moncucco Torinese, ai fini delle verifiche di stabilità, i cui risultati verranno illustrati nel seguito della presente relazione. Le verifiche in parola sono state svolte comunque adottando modalità il più possibile cautelative, riducendo i valori dei parametri geotecnici così da garantire un maggior margine di sicurezza.

Nel seguito, si riportano i valori finali, assunti nelle elaborazioni numeriche e nei calcoli di stabilità, dei parametri geotecnici individuati e scelti per il *gesso macrocristallino* e la *marna argillosa* costituente gli interstrati che separano le principali bancate gessose oggetto di coltivazione, cui può essere assimilata la copertura marnoso – argillosa pliocenica che ricopre il giacimento di gesso nella cava in esame.

➤ GESSO MACROCRISTALLINO

- Peso specifico:  $\gamma = 2.18 \text{ gr/cm}^3$ ;
- Compressione monoassiale:  $C_o = 8,20 \text{ MPa}$ ;
- Modulo di elasticità tangente:  $E_t = 14,77 \text{ GPa}$ ;
- Modulo di elasticità secante:  $E_s = 18,92 \text{ MPa}$ ;
- Resistenza a trazione:  $T_o = 0,56 \text{ MPa}$ ;
- Coesione residua:  $C = 0,20 \text{ MPa}$ ;
- Angolo di attrito di picco:  $\varphi_p = 35^\circ$ .

➤ MARNA

- Peso specifico:  $\gamma = 1.95 \text{ gr/cm}^3$ ;
- Compressione monoassiale:  $C_o = 0,48 \text{ MPa}$ ;
- Modulo di elasticità tangente:  $E_t = 0,12 \text{ GPa}$ ;
- Modulo di elasticità secante:  $E_s = 0,16 \text{ GPa}$ ;
- Resistenza a trazione:  $T_o = 0,10 \text{ MPa}$ ;
- Coesione residua:  $C = 0,10 \text{ MPa}$ ;
- Angolo di attrito di picco:  $\varphi_p = 25^\circ$ .

## 4.5. Verifiche di stabilità

### 4.5.1. Oggetto delle verifiche

Nei paragrafi che seguono sono descritte le verifiche di stabilità dei fronti di scavo di prevista realizzazione presso l'area di cava oggetto di studio, illustrandone i metodi di calcolo ed i risultati.

In particolare, in termini di modellazione finale del sito di cava, ossia di geometria e pendenza dei fronti finali di scavo, il progetto qui proposto prevede di modellare delle scarpate artificiali con inclinazione, nella porzione superiore del fronte (sagomata nei litotipi marnoso – argillosi della copertura sterile) non superiore a circa  $30^\circ$ , con profilatura a “fronte unico”.

Nella sottostante porzione inferiore, sagomata nei livelli litoidi di gesso cristallino, il fronte sarà invece modellato su gradoni sovrapposti, alti 10 metri e con acclività di  $70^\circ$ ; per effetto della presenza di pedate, ampie 5 metri, intercalate ogni 10 metri di dislivello verticale, l'acclività della porzione inferiore del fronte finale di scavo si ridurrà a circa  $50^\circ$ , in termini di involucro complessivo.

Ai fini delle verifiche di stabilità riportate nel presente capitolo, si è fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica dei livelli stratigrafici presenti nel sottosuolo dell'area in esame, sviluppata, negli anni trascorsi, nell'ambito della progettazione di interventi estrattivi eserciti dal Proponente in analoghi contesti geologici, finalizzati cioè all'estrazione del gesso cristallino presente nel sottosuolo del Monferrato astigiano.

A tale riguardo, in termini di parametri geotecnici, tutti i valori indicati devono intendersi come “parametri caratteristici”: nelle verifiche in condizioni statiche il programma di calcolo utilizzato procede poi, automaticamente, alla riduzione dei valori suddetti, dividendoli per coefficienti “correttivi” previsti dalle NTC2018 (pari ad 1,25 per la coesione e ad 1,25 per la tangente dell'angolo di attrito).

Nel calcolo in condizioni sismiche, invece, le norme tecniche non prevedono tale riduzione: nelle zone a sismicità non particolarmente elevata, come quella in esame, le verifiche in condizioni sismiche risultano pertanto meno restrittive di quelle in condizioni statiche.

Per completezza, tutte le verifiche sono state svolte comunque sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, ed i loro risultati, in termini di relazioni e tabulati di calcolo, sono riportati in allegato alla presente relazione.

## 4.5.2. Stabilità dei fronti di scavo

### 4.5.2.1. Metodo di calcolo e parametri geotecnici

Tutti i metodi di calcolo per lo studio dei problemi di stabilità basati sul concetto del cosiddetto equilibrio limite hanno in comune le seguenti assunzioni:

- l'analisi di stabilità è condotta su generiche superfici di scivolamento ben definite, considerando l'equilibrio della massa di terreno individuata da tale superficie sottoposta alle forze al contorno;
- l'equilibrio globale è studiato sulla base delle equazioni della statica;
- l'analisi è effettuata in condizioni di deformazioni piane; tale assunzione comporta comunque una valutazione cautelativa del fattore di sicurezza rispetto al caso tridimensionale;
- il fattore di sicurezza è implicitamente assunto costante lungo tutta la superficie di scivolamento.

A tale proposito, relativamente alla scelta dei parametri geotecnici, alla luce di quanto precedentemente discusso in merito alla caratterizzazione geotecnica delle formazioni in cui saranno modellati i fronti di scavo nella loro configurazione di progetto (individuata, cautelativamente, nella situazione di massimo scavo, prima delle operazioni di ritombamento), si sono adottati i seguenti parametri:

➤ marna argillosa (sterile di copertura):

coesione:	$c = 0,1 \text{ MPa};$
angolo di resistenza al taglio:	$\phi = 25^\circ;$
peso di volume naturale:	$\Gamma = 1,95 \text{ t/m}^3.$

➤ gesso cristallino (giacimento di interesse estrattivo):

coesione:	$c = 0,2 \text{ MPa};$
angolo di resistenza al taglio:	$\phi = 35^\circ;$
peso di volume naturale:	$\Gamma = 2,18 \text{ t/m}^3.$

### 4.5.2.2. Impostazione della verifica e riferimenti normativi

La verifica analitica di stabilità, sulla base dei parametri adottati in precedenza, è stata condotta mediante il cosiddetto metodo dell'equilibrio limite: questo metodo comporta la ricerca di una superficie critica di scivolamento all'interno della scarpata, detta superficie di rottura; in particolare, ci si propone di individuare, tra le possibili superfici di scivolamento, quella avente fattore di sicurezza minimo.

Operativamente, la scarpata in esame è trattata come un piano, trascurando ogni effetto dovuto alla costrizione laterale; avendo scelto un'ipotetica linea di scivolamento all'interno del pendio, si individua quindi la massa di terreno di cui si vuole esaminare l'equilibrio, suddividendola poi in conci: l'equilibrio dell'intera massa viene infine studiato come somma delle condizioni di equilibrio di ogni singolo concio.

Il calcolo viene effettuato ipotizzando che, data la sostanziale omogeneità del materiale in cui è modellata la scarpata, le linee di scivolamento abbiano forma circolare e passino per il piede della stessa; le forze di taglio mobilitabili lungo la superficie di scivolamento sono poi determinate in accordo con il criterio di Coulomb.

Il calcolo procede poi iterativamente, mediante l'uso di un elaboratore elettronico, sino ad individuare la superficie di scivolamento critica, caratterizzata dal fattore di sicurezza minimo, inteso come rapporto tra gli sforzi di taglio disponibili e quelli mobilitati dalla gravità.

L'analisi di stabilità delle scarpate finali di scavo nella cava in progetto è stata sviluppata facendo riferimento ai criteri riportati nelle vigenti normative in materia di costruzioni, sotto forma del Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 *“Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»* (c.d. “NTC2018”), pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 22.02.2018 (Suppl. Ordinario n. 8), con relativa “Circolare esplicativa”.

A tale proposito, si deve considerare che le Norme in parola, così come le precedenti *“Norme Tecniche per le Costruzioni”* (D.M. 14.01.2008), entrate in vigore il 1° luglio 2009 e da esse abrogate e sostituite, hanno modificato profondamente l'approccio progettuale alle verifiche geotecniche, comprese quelle sulla stabilità dei pendii.

A fronte dell'approccio previsto dal precedente D.M. 11.03.1988 (la cui applicazione alle attività estrattive era peraltro esplicitamente esclusa per legge), nel quale la verifica di stabilità era svolta partendo dai parametri geotecnici “integri”, le nuove NTC (sia nell'edizione del 2008 che in quella del 2018) prevedono invece, nei diversi approcci progettuali, l'applicazione preliminare di “coefficienti di sicurezza parziali” (fattori correttivi) ai singoli parametri geotecnici.

#### **4.5.2.3. Verifica analitica mediante programma di calcolo**

La verifica numerica di stabilità è stata effettuata mediante l'ausilio del programma di calcolo *“ISGEOPENDIP”* della casa produttrice *CDM Dolmen*, che consente un'analisi di tipo iterativo, per approssimazioni successive, dell'elevato numero di superfici di tentativo che devono essere prese in considerazione secondo il metodo dell'equilibrio limite globale.

L'analisi viene effettuata nell'ipotesi che le superfici di scivolamento possano essere schematizzate attraverso sviluppi cilindrici, e quindi i calcoli sono effettuati per uno spessore unitario nella direzione del fronte.

Il metodo applicato prevede che la scarpata in esame sia suddivisa in un numero prefissato di conci o “strisce” verticali, a ciascuno dei quali, note le caratteristiche geometriche, si attribuiscono gli appropriati parametri fisico - meccanici.

Relativamente al metodo di calcolo, i metodi generalmente utilizzati per le analisi di stabilità dei pendii si differenziano tra loro per le diverse ipotesi statiche effettuate: lo studio globale di un pendio suddiviso in conci costituisce un problema iperstatico, in quanto non è possibile conoscere a priori le direzioni ed i punti di applicazione delle forze all'interfaccia dei conci.

Senza considerare la deformabilità dei materiali interessati dal potenziale fenomeno di instabilità, si presuppone la conoscenza, nel corpo del pendio, della potenziale superficie di scivolamento; tale superficie è ricercata tra quelle di una famiglia di superfici circolari che presenta il fattore di sicurezza minimo: tale fattore è definito come rapporto tra le massime forze resistenti mobilitabili sulla superficie di scivolamento stessa e le forze realmente mobilitate.

Pertanto gli unici parametri fisico - meccanici che concorrono alla definizione del fenomeno sono:

- peso di volume del materiale;
- caratteristiche di resistenza al taglio del materiale;
- condizioni della falda;
- caratteristiche geometriche del pendio;
- sollecitazioni sismiche.

La verifica globale della scarpata è stata effettuata per mezzo del suddetto programma di calcolo iterativo, che procede alla ricerca automatica della superficie di scivolamento più critica, determinandone il relativo fattore di sicurezza.

Il software utilizzato procede ai calcoli sulla base del c.d. “metodo di Janbu semplificato”; con questo metodo di calcolo, vengono trascurate le forze di taglio di “interstriscia”, ammettendo che le “strisce” verticali interagiscano solo con sforzi normali, calcolando l'equilibrio alla traslazione verticale.

Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della eventuale presenza di falda, dei carichi e delle sollecitazioni sismiche.

Le verifiche sono state condotte con l'ausilio del suddetto programma di calcolo automatico ed i relativi tabulati di calcolo sono riportati in allegato.

Per la verifica, è stata considerata la sezione tipo rappresentativa del fronte meridionale di scavo, che delimiterà verso sud la fossa di coltivazione, come illustrata e rappresentata negli elaborati grafici allegati al progetto di coltivazione, nella configurazione prevista in progetto nella situazione di massimo scavo, ossia con il massimo possibile sviluppo altimetrico del fronte, prima di procedere alle operazioni di ritombamento parziale della fossa di coltivazione.

#### **4.5.2.4. Risultati delle verifiche di stabilità**

Sulla sezione-tipo del fronte di scavo, individuata sul lato meridionale dell'area di cava, nella configurazione che esso presenterà in fase di massimo scavo (prima cioè del parziale ritombamento finale) è stata effettuata la verifica di stabilità globale del pendio.

In particolare, le superfici analizzate passano per il piede dei pendii o tratti di pendio analizzati, così da indagare ed analizzare dei cinematismi potenzialmente in grado di “instabilizzarne” anche delle porzioni di entità significativa e rilevante.

I risultati completi delle analisi sono riportati negli allegati tabulati di calcolo; qui di seguito si evidenziano le caratteristiche geometriche delle scarpate considerate per il calcolo di stabilità, nella configurazione finale secondo la quale saranno modellati i fronti di scavo.

La verifica analitica è stata effettuata considerando la conformazione finale prevista dal progetto, che prevede di modellare delle scarpate artificiali con inclinazione, nella porzione superiore del fronte (sagomata nei litotipi marnoso – argillosi della copertura sterile) non superiore a circa 30°, con profilatura a “fronte unico”.

Nella sottostante porzione inferiore, sagomata nei livelli litoidi di gesso cristallino, il fronte sarà invece modellato su gradoni sovrapposti, alti 10 metri e con acclività di 70°; per effetto della presenza di pedate, ampie 5 metri, intercalate ogni 10 metri di dislivello verticale, l'acclività della porzione inferiore del fronte finale di scavo si ridurrà a circa 50°, in termini di involucro complessivo.

La verifica è stata condotta innanzitutto sulla porzione superiore del fronte di scavo, sagomata a fronte unico della copertura sterile, con acclività di 30°.

Come evidenziato dalle allegate relazioni di calcolo, la superficie con fattore di sicurezza minimo risulta caratterizzata da un valore di  $F_s = 2,139$ , che sale a  $F_s = 2,606$  in condizioni sismiche.

La verifica è poi stata ripetuta considerando la porzione inferiore del fronte, sagomata a gradoni modellati nel gesso cristallino; in particolare, si è provveduto a verificare la stabilità del singolo gradone – tipo, alto 10 metri e con acclività di 70°.

In questo secondo caso, come illustrato nelle allegate relazioni di calcolo, la superficie con fattore di sicurezza minimo risulta caratterizzata da un valore di  $F_s = 4,375$ , che sale a  $F_s = 5,384$  in condizioni sismiche.

La verifica è stata infine svolta relativamente al fronte globale di scavo, nel suo massimo sviluppo verticale in fase di massimo approfondimento della coltivazione, prima delle operazioni di ritombamento parziale della fossa di scavo; la verifica è stata condotta in modo da ipotizzare superfici di scivolamento tali da interessare una porzione significativa del fronte stesso.

In questo terzo caso, come si evince dalle allegate relazioni di calcolo, la superficie con fattore di sicurezza minimo risulta caratterizzata da un valore di  $F_s = 2,433$ , che sale a  $F_s = 2,982$  in condizioni sismiche.

In tutti i casi ipotizzati, le analisi di stabilità eseguite risultano dunque soddisfatte ai sensi del D.M. 17.01.2018, in quanto i fattori di sicurezza ottenuti sono superiori ai valori minimi previsti dal D.M. medesimo (pari ad  $F_s = 1,1$ ).

## 5. PROGETTO DI RECUPERO AMBIENTALE

### 5.1. Obiettivi del progetto di recupero

Il presente progetto di recupero ambientale interessa una cava di gesso a cielo aperto impostata su versante, caratterizzata da fronti gradonati e da una morfologia artificiale derivante dalle fasi estrattive.

L'intervento persegue la ricomposizione funzionale, ecologica e paesaggistica del sito, con priorità a soluzioni di ingegneria naturalistica e a misure basate sui processi naturali, in coerenza con il contesto paesaggistico tutelato in cui l'area ricade.

Il recupero si fonda sull'assetto morfologico generato dal progetto estrattivo, da cui risulta tecnicamente e logisticamente vincolato: tutte le opere previste ne rispettano pendenze, geometrie e quote residue, intervenendo per migliorarne stabilità, qualità ecologica e inserimento visivo.

Si considera inoltre che le cave di versante a fronte gradonato presentano criticità e opportunità specifiche: la successione di gradoni e berme condiziona i deflussi superficiali e i processi erosivi; i ripiani possono divenire superfici di appoggio per suoli tecnici e nuclei vegetazionali; i cigli e i piedritti necessitano di attenzioni mirate per la stabilità dei pendii.

Il progetto valorizza tali elementi con interventi mirati che trasformano le strutture estrattive in matrici di rinaturalizzazione, garantendo al contempo la sicurezza idrogeologica e la fruibilità controllata.

Di fatto, gli obiettivi generali possono essere ricondotti ai comparti idrogeologici, naturalistici e paesaggistici, come definito nel seguito

<b>Obiettivi idrogeologici</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione dell'erosione superficiale e del trasporto solido mediante regimazione diffusa dei deflussi.</li> <li>• Incremento della stabilità locale dei fronti attraverso opere di ingegneria naturalistica (palizzate, , gradonate vive) e rinverdimenti antierosivi sui ripiani e sulle scarpate.</li> <li>• Ripristino di un bilancio idrico sostenibile evitando concentrazioni puntuali e favorendo l'alimentazione del suolo tecnico.</li> </ul>
<b>Obiettivi naturalistici</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ricostruzione di un mosaico di habitat pionieri e semimaturi compatibili con le condizioni edafiche gessose, mediante suoli tecnici a bassa fertilità controllata ed idrosemina con miscugli autoctoni.</li> <li>• Impianto di nuclei arbustivi e arborei autoctoni (specie mesoxerofile e calcicole/gessicole) organizzati per fasce microstazionali e ombreggiamento, per massimizzare</li> </ul>



	<p>attecchimento e resilienza.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Creazione di corridoi ecologici lungo le berme e connessioni con la matrice territoriale circostante, includendo microhabitat (rocce affioranti, legno morto, cavità per erpetofauna) a sostegno della biodiversità, adottando i concetti delle NBS (Nature based solutions).</li> </ul>
<b>Obiettivi paesaggistici</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitigazione visiva dei fronti mediante inserimento di mascheramenti vegetali graduati ed irregolari, salvaguardando prospettive e quinte paesistiche di pregio.</li> <li>• Definizione di un linguaggio unitario di modelli di recupero (uso di specie vegetali autoctone e proprie del corredo della vegetazione potenziale collinare, pendii in riporto variati, rilascio di affioramenti in gesso di riconoscibilità geologica) anche per garantire coerenza estetica e riconoscibilità dell'intervento nel quadro di tutela paesaggistica vigente.</li> </ul>

L'impostazione progettuale assume come dato l'assetto morfologico risultante dall'attività estrattiva: le geometrie dei gradoni, berme e scarpate, piste e piazzali costituiscono l'ossatura degli interventi.

Le opere sono quindi additive e adattive, senza alterare in modo sostanziale i profili di equilibrio fissati dal progetto minerario.

La cantierizzazione privilegia tecniche a basso impatto, fasi modulari e stagionalità idonee all'attecchimento; la scelta delle specie e dei miscugli è limitata a provenienze locali, con tracciabilità del materiale di propagazione.

Con tale approccio integrato—idrogeologico, naturalistico e paesaggistico—il progetto mira a trasformare la cava da elemento di discontinuità a infrastruttura ecologica e paesaggistica coerente con i valori del contesto tutelato, nel rispetto dei vincoli morfologici e funzionali posti dall'originario assetto estrattivo.

Si rimanda, al riguardo, all'allegata planimetria di recupero ambientale (Cfr.: Tav. 8), nella quale sono individuati i vari settori di intervento, rappresentando con appositi graficismi le diverse tipologie degli interventi previsti e gli areali interessati.

Si precisa, a tale proposito, che l'elaborato in parola è finalizzato ad illustrare e rappresentare graficamente le modalità di recupero ambientale della porzione dell'area di cava che sarà effettivamente oggetto di intervento nell'ambito della presente proposta progettuale; nelle restanti porzioni dell'area estrattiva verranno invece mantenute le opere di recupero ambientale già svolte in passato, nell'ambito delle precedenti autorizzazioni, e che si presentano ormai di fatto consolidate e stabilizzate.

## 5.2. Linee progettuali

La coltivazione a cielo aperto sarà costituita essenzialmente da un ulteriore arretramento di alcune porzioni dei fronti esistenti, accentuando la conformazione della cava, per così dire, ad “anfiteatro”.

Considerando l’assetto morfologico finale di progetto che, come già evidenziato, costituisce l’elemento fondante su cui definire le opere di recupero, possono essere definite le seguenti unità progettuali:

1. il pendio sormontante il fronte gradonato residuo, modellato secondo pendenze non superiori ai 30° e sagomato su marna;
2. il fronte gradonato residuo sagomato in gesso cristallino;
3. la falda di raccordo in riporto realizzata tra il piazzale di base ed il fronte gradonato, impostata su una pendenza media pari a 18°;
4. il piazzale di base, che sarà ritombato fino ad ottenere una conformazione subpianeggiante ed in cui è prevista una depressione centrale per la raccolta dei deflussi meteorici;
5. l’area di allocazione provvisoria dei cumuli di materiale derivante dallo scavo della copertura sterile che, una volta esauriti questi ultimi, verrà riportata alla conformazione originale.

Per quanto riguarda il recupero dell’unità 1, si osserva preliminarmente che quest’ultima coincide con il settore della cava più esposto alla vista; il modello di recupero prevede il rinverdimento totale del pendio.

Data la pendenza pari a 30°, in tale area sarà steso un terreno di copertura con spessore massimo di 0,40 m per evitare fenomeni di scivolamento.

Per incrementare la stabilità del riporto si realizzeranno palizzate semplici disposte “a scacchiera”, costituite da tondoni di legno di castagno fissati mediante paletti in acciaio; a tergo di ciascuna palizzata saranno messi a dimora arbusti pionieri autoctoni.

I moduli di palizzata saranno alternati con gradonate vive, anche per favorire il drenaggio superficiale e la rapida strutturazione dell’apparato radicale.

Il terreno così stabilizzato sarà successivamente inerbito tramite idrosemina potenziata (miscela di sementi autoctone, fibre cellulosiche, collanti e ammendanti), al fine di assicurare un rapido attecchimento e la copertura continua del suolo.

L’intervento consentirà la rivegetazione integrale del versante, contribuendo alla stabilizzazione del pendio e al raggiungimento degli obiettivi idrogeologici, naturalistici e paesaggistici previsti dal progetto.

Nel caso del recupero del fronte gradonato occorre premettere che le scarpate subverticali modellate nel materiale gessoso in parte scompariranno grazie al parziale riempimento del piazzale inferiore di cava, mentre le rimanenti si assimileranno nel contesto paesaggistico circostante grazie all’esecuzione di interventi di rinverdimento lungo i gradoni; eventualmente si può ipotizzare di intervenire nell’accelerazione dei processi di ossidazione contrattamenti locali con litoinvecchiamenti

su alcune porzioni residue delle scarpate in gesso a vista, in particolare su quei settori a maggior intervisibilità.

Di fatto, la morfologia non consente un rinverdimento continuo: l'intervento sarà quindi limitato alle pedate dei gradoni, mentre i fronti a vista verranno mantenuti quali elementi di diversificazione ambientale.

Tale scelta, supportata da idonee misure di rinaturalizzazione, offre un valore eco-paesaggistico aggiunto, anche in considerazione della rapida ossidazione delle superfici gessose che attenua le discontinuità cromatiche.

Pertanto, sulle pedate sarà riportato terreno vegetale con spessore massimo di 0,30 m, contenuto a valle mediante palizzate semplici in tondoni di castagno ancorate con paletti in acciaio, posate a distanza di sicurezza dal ciglio (indicativamente 0,5–1,0 m) per garantire stabilità.

A tergo delle palizzate saranno messi a dimora arbusti ed alberelli pionieri autoctoni, disposti con andamento irregolare in piccoli gruppi o come esemplari isolati, così da mitigare il geometrismo artificiale derivante dall'alternanza alzata-pedata del fronte gradonato e migliorare la qualità percettiva del fronte.

La scelta di disporre arbusti ed alberelli in posizione frontale della pedata permetterà di rilasciare una fascia di almeno 2 m, tra il ciglio dell'alzata retrostante e gli arbusti tale da essere transitabile per operazioni di manutenzione del verde.

Le superfici di riporto saranno integralmente inerbite mediante idrosemina potenziata, promuovendo un rapido attecchimento e la progressiva integrazione del fronte nel contesto paesaggistico senza compromettere la funzione didattico-naturalistica delle porzioni rocciose affioranti.

Dalle succitate operazioni resterà escluso il gradone posto a quota 295 m s.l.m. la cui transitabilità con mezzi meccanici dovrà essere garantita per esigenze di manutenzione e controllo anche in fase di decommissioning.

La falda di raccordo tra il fronte gradonato e il piazzale di base è progettata con pendenza pari a 18° al fine, oltre che di raccordare morfologicamente i suddetti morfotipi, di obliterare la porzione inferiore del fronte di scavo e conferire all'area una morfologia finale caratterizzata da un piazzale sub-pianeggiante che si connetta gradualmente alla residua parete, a debole acclività (30°–35°).

Tale modellamento, congiuntamente al ritombamento del piazzale descritto successivamente, consente di ridurre l'altezza complessiva del fronte, migliorando le condizioni per il recupero vegetazionale e assicurando un più efficace raccordo con le forme collinari del contesto.

Sul pendio così conformato, data la moderata inclinazione, sarà riportato terreno di coltivo con spessore massimo di 0,50 m, idoneo anche all'insediamento di alberi da alto fusto, il cui sviluppo contribuirà nel tempo al mascheramento del residuo affioramento roccioso.

Previo inerbimento tecnico mediante idrosemina potenziata dell'intera fascia di falda, si procederà al rimboschimento con specie autoctone; il sesto d'impianto sarà a quinconce con

distanza di 3 m, alternando arbusti e alberi pionieri per favorire rapida copertura, diversità strutturale e stabilità del suolo, in coerenza con gli obiettivi idrogeologici, naturalistici e paesaggistici del progetto.

Il piazzale di base sarà oggetto di ritombamento mediante sterili della stessa cava fino al raggiungimento della quota 291,00 - 292,00 m s.l.m., conformandolo come un piano debolmente inclinato con una zona centrale lievemente ribassata.

Tale modellazione favorirà la formazione di uno stagno temporaneo nella conca centrale, il cui battente idrico e la superficie varieranno in funzione delle precipitazioni stagionali, generando un'area umida di pregio ecologico. Anche in questo caso lo spessore del terreno vegetale sarà pari a 0,50 m.

L'habitat sarà valorizzato promuovendo l'insediamento di specie elofite (es. canna palustre) integrate da nuclei di saliceto arbustivo lungo il margine umido–asciutto, mentre l'intero piano sarà inerbito con semina a spaglio per garantire rapida copertura e controllo dell'erosione.

L'assetto proposto riproduce un ambiente più diversificato e funzionale rispetto all'attuale bacino idrico, incrementando la biodiversità e la qualità eco–paesaggistica dell'area.

Per la gestione idraulica, un'opportuna soglia di troppo pieno convoglierà gli esuberanti nel reticolo idrografico naturale.

Infine, per quanto riguarda il recupero dell'area destinata allo stoccaggio dei cumuli, una volta liberata e resa disponibile, essa presenterà un pendio privo di copertura vegetale pur mantenendo la morfologia pregressa. Al fine di garantire una rapida protezione del suolo e la ripresa dei processi pedobiologici si procederà innanzitutto con inerbimento tramite idrosemina potenziata (miscela di sementi autoctone, fibre cellulosiche, collanti e ammendanti).

Contestualmente (o immediatamente a seguire), l'intera superficie sarà sottoposta a rimboschimento adottando i medesimi criteri progettuali già definiti per la falda di raccordo tra fronte residuo e piazzale, con sesto a quinconce di 3 m e impiego di specie autoctone a stratificazione mista (alberi ad alto fusto e arbusti), allo scopo di accelerare la successione ecologica e ricostituire la continuità del bosco preesistente alle operazioni di stoccaggio.

L'impianto sarà accompagnato da opportune misure di protezione e manutenzione (pacciamatura localizzata, protezioni antifauna, irrigazioni di soccorso in prima stagione vegetativa) per massimizzare l'attecchimento, favorire la stabilità dei versanti e restituire al contesto un assetto coerente con gli obiettivi del progetto.

In ultimo, al fine di sintetizzare l'entità dei riporti di terra di coltivo nelle varie unità di progetto, si schematizza quanto segue.

<b>Unità progettuale</b>	<b>Spessore riporto terreno di coltivo (cm)</b>	<b>Quantità riporto terreno di coltivo (m<sup>3</sup>)</b>
Pendio a 30°	40	5.485

Pedate gradoni	30	1.850
Falda di raccordo	50	3.570
Piano di fondo cava	50	12.780

Verrà utilizzato il terreno in cumulo proveniente dalle operazioni di scotico; laddove non risultasse sufficiente per il completamento del recupero, verrà utilizzato terreno di provenienza esterna di idonee caratteristiche agronomiche.

## 5.3. Specifiche tecniche

### 5.3.1. Idrosemina a spessore

La tipologia di intervento è prevista sul pendio di sormonto al fronte gradonato, sulle pedate del fronte gradonato, sulla falda di raccordo e nell'area di stoccaggio cumuli.

L'idrosemina a spessore consiste in una variante della tradizionale idrosemina; ai materiali della miscela tradizionale, viene aggiunto "mulch" costituito da una matrice in fibre di legno che, oltre a fornire lo "spessore organico" atto a costituire un minimo substrato organico di germinazione, risulta nel contempo vicariante la messa in opera di biostuoie, il cui compito è assolto da una matrice di fibre di legno e da fibre sintetiche in soluzione colloidale; queste, direttamente adesivate alla superficie di intervento, formano, asciugandosi, una copertura corticale avente caratteristiche simili a quelle delle biostuoie, agendo nel contempo da idroritettore.

Ne risulta implementato l'effetto di contenimento dell'erosione da parte delle acque meteoriche e la germinabilità delle sementi erbacee seminate; inoltre, la colorazione verde dei materiali utilizzati, oltre a permettere una più corretta distribuzione della miscela, risulta esteticamente più gradevole, migliorando l'inserimento paesaggistico delle scarpate nel lasso temporale intercorrente dall'intervento allo sviluppo del cotico erbaceo.

Inoltre, l'apporto delle fibre di legno si traduce in un miglioramento in termini di dotazione di sostanza organica, di cui il suolo oggetto dell'intervento risulterà presumibilmente povero.

La miscela di idrosemina, oltre che dal miscuglio di semina e le cui specifiche sono descritte in seguito, risulta costituita dai seguenti elementi:

- mulch a base di fibre di legno, fibre sintetiche, gel colloidale, collante e colorante: 460 g/m<sup>2</sup>;
- micorrize: 2 g/m<sup>2</sup>;
- concime organo-minerale: 200 g/m<sup>2</sup>;
- sementi erbacee: 35 g/m<sup>2</sup>.

Il miscuglio di semina risulta strutturato sulla composizione (% in peso) riportata nell'apposita tabella.

Si tratta di specie pioniere, adatte a terreni grezzi e sciolti, idonee per inerbimenti su scarpate aride, differenziate in graminacee (dominanti) e leguminose.

In particolare, tra le specie erbacee, le graminacee concorrono ad assicurare la formazione del cotico, assolvendo prevalentemente la funzioni di specie stabilizzatrici del substrato terroso e limitando l'erosione idrica dello stesso, mentre le leguminose hanno il compito di migliorare il suolo con il loro apporto in azoto; le altre specie di cui si prevede l'utilizzo assolveranno il compito di indirizzare l'intervento verso la successione vegetazionale potenziale dell'area.

La scelta, in generale, è stata fatta anche in modo da utilizzare piante con apparati radicali differenti tra loro e, quindi, in modo da ridurre la concorrenza radicale e di sfruttare al meglio il suolo in tutta la sua profondità.

La dose d'intervento è di 30 g/m<sup>2</sup>.

**Composizione del miscuglio di semina**

<b>Specie</b>	<b>% n° semi</b>	<b>Peso kg/ha</b>	<b>% peso</b>
<b>GRAMINACEE (%)</b>	<b>65,0</b>	<b>199,0</b>	<b>46,4</b>
<i>Agropyron repens</i>	5,0	38,5	9,0
<i>Poa pratensis</i>	5,0	50,0	11,6
<i>Dactylis glomerata</i>	10,0	22,2	5,2
<i>Festuca arundinacea</i>	15,0	15,0	3,5
<i>Festuca rubra</i>	20,0	40,0	9,3
<i>Lolium perenne</i>	10,0	33,3	7,8
<b>LEGUMINOSE (%)</b>	<b>30,0</b>	<b>223,5</b>	<b>51,9</b>
<i>Anthyllis vulneraria</i>	5,0	25,0	5,8
<i>Lotus corniculatus</i>	7,0	15,6	3,6
<i>Medicago lupulina</i>	7,0	28,6	6,6
<i>Onobrychis viciifolia</i>	3,0	142,9	33,2
<i>Trifolium hybridum</i>	8,0	11,4	2,7
<b>ALTRE DICOTILEDONI (%)</b>	<b>5,0</b>	<b>7,3</b>	<b>1,7</b>
<i>Achillea millefolium</i>	3,0	0,9	0,2
<i>Plantago lanceolata</i>	2,0	6,4	1,5
<b>TOTALE</b>	<b>100,0</b>	<b>429,7</b>	<b>100,0</b>

Le modalità d'esecuzione prevedono di differire l'intervento su due passate, delle quali:

- la prima distribuendo una miscela costituita da concime, collante, sementi, pectoattivatori (micorrize) con una minima quantità di colorante per una migliore misurazione visiva;
- la seconda applicando il “mulch”, costituito da fibre di legno, fibre sintetiche, gel colloidale, collante e colorante, fino a formare uno spessore centimetrico continuo sulla superficie d'intervento.

### 5.3.2. Inerbimento a spaglio

L'intervento è previsto nelle aree di fondo cava, dove, grazie alla morfologia piana, non si rende necessaria l'idrosemina a supplire criticità in termini di difesa del suolo; consiste nell'inerbimento mediante spargimento manuale a spaglio o con mezzo meccanico di idonea miscela di sementi e di eventuali concimanti organici e/o inorganici. L'esecuzione dell'intervento segue le seguenti fasi:

- preparazione superficiale del terreno;
- spargimento del miscuglio di sementi (30 g/m<sup>2</sup>) che dovrà essere poi leggermente ricoperto dal terreno;
- spargimento delle sostanze concimanti mediante esclusivo apporto di concime organico (considerata la maggior efficienza dell'organizzazione con interrimento si stima sufficiente l'apporto di circa 200 q/ha).

Poiché, al contrario del fronte di cava, il sito di intervento potrebbe essere oggetto di situazioni di idromorfia temporanea, si propone l'utilizzo di un miscuglio contenente specie mesoigrofile: la composizione del miscuglio è riportata nella seguente tabella.

**Composizione del miscuglio di semina**

<b>Specie</b>		<b>% in peso</b>
<i>Lolium perenne</i>	Belcampo	10%
<i>Festuca rubra</i>	Echo	25%
<i>Alopecurus pratensis</i>		5%
<i>Festuca pratensis</i>		15%
<i>Poa pratensis</i>		15%
<i>Phleum pratense</i>		15%
<i>Trifolium pratense</i>		5%
<i>Lotus corniculatus</i>	S. Gabriele	5%
<i>Medicago lupulina</i>		5%



### 5.3.3. Palizzate

L'intervento è previsto:

- con disposizione a scacchiera alternata nell'ambito del pendio di sormonto del fronte gradonato;
- al piede dei riporti su pedata nell'ambito del fronte gradonato.

Di fatto, la “palizzata viva” è una struttura costituita da uno o due tondoni di legname durabile disposti orizzontalmente, sorretti da picchetti in acciaio o in legname verticali infissi nel substrato, alternate a materiale vegetale vivo (talee, ramaglia di specie atte alla riproduzione vegetativa e/o piantine a radice nuda o in fitocella).

Le palizzate andranno posizionate e fissate con piloti in acciaio stondati nella parte a vista, previa sistemazione della sede, prima di effettuare il riporto del substrato fertile, e avranno il compito di fermare meglio il materiale di riporto sulle scarpate.

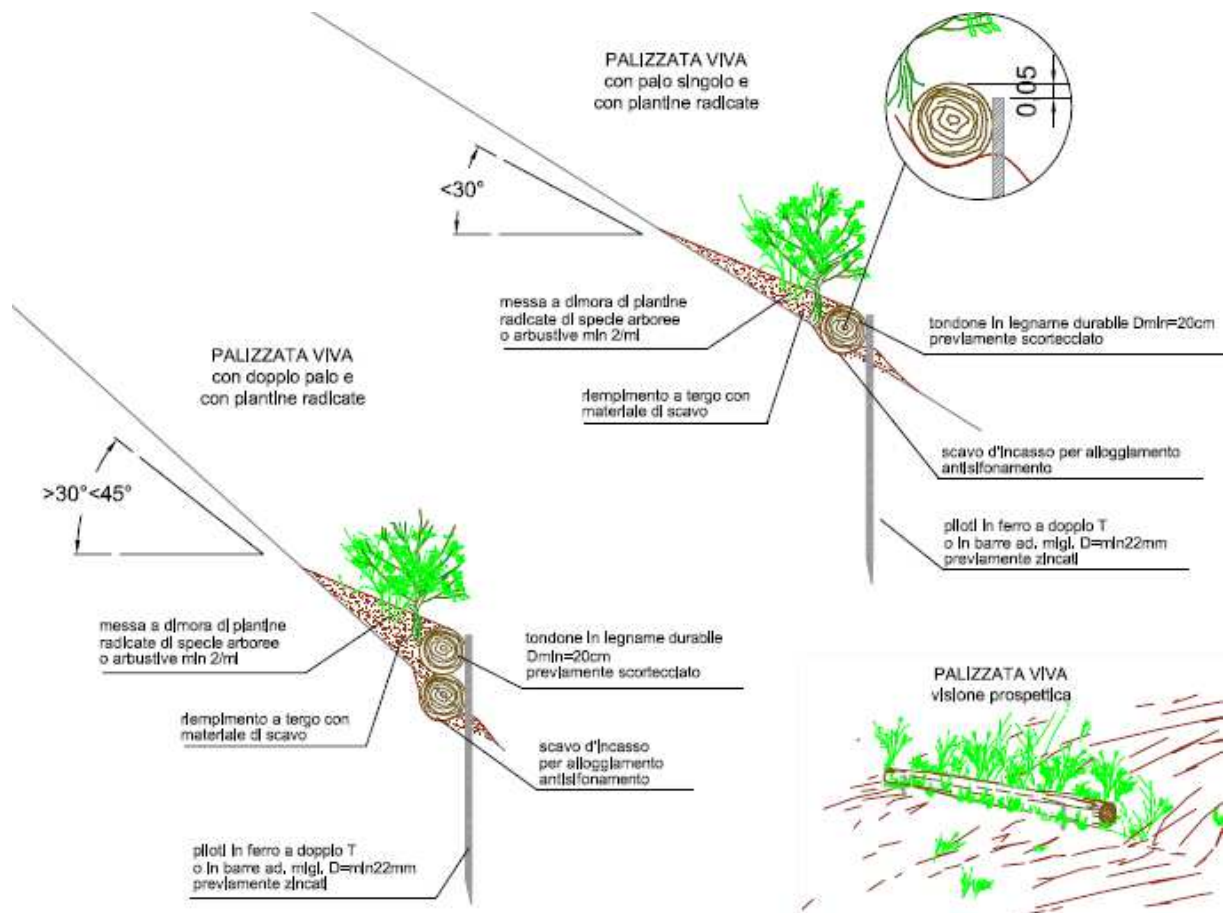
A tergo delle palizzate si provvederà alla messa a dimora:

- di specie arbustive, in ragione a 3 ai 5 esemplari al metro lineare;
- (in alternativa) di specie arboree di 2a/3a grandezza (alberelli);

scelte fra le seguenti specie:

<b>Arbusti</b>	Biancospino ( <i>Crataegus monogynai</i> )
	Ginestra odorosa ( <i>Spartium junceum</i> )
	Sanguinello ( <i>Cornus sanguinea</i> )
	Prugnolo ( <i>Prunus spinosa</i> )
	Lantana ( <i>Viburnum lantana</i> )
	Nocciolo ( <i>Corylus avellana</i> )
<b>2a/3a grandezza (alberelli)</b>	Salicone ( <i>Salix caprea</i> )
	Ciavardello ( <i>Sorbus torminalis</i> )
	Bagolaro ( <i>Celtis australis</i> )
	Pero selvatico ( <i>Pyrus pyraster</i> )

*Schemi tipo indicativi delle palizzate semplici*



### 5.3.4. Gradonate vive

L'intervento è previsto esclusivamente nell'ambito dell'unità progettuale del pendio a 30° sormontante il fronte gradonato.

Le sistemazioni a siepe-cespuglio, nel caso all'oggetto, saranno realizzate coniugando il metodo Schiechtl con quello proposto da Coturier <sup>(1)</sup>, mediante lo scavo, lungo le curve di livello e dove previsto dal progetto, di brevi tratti di trincee ("tasche"), in funzione della pendenza e della profondità del substrato, e la successiva posa di talee di *Salix purpurea*, nonché di piantine radicate di arbusti pionieri

Il ricoprimento di talee e piantine avverrà con terreno ed inerte caratterizzato da una buona percentuale di frazione fine.

Lo scavo delle banchine dovrà essere effettuato in modo da realizzare, lungo le curve di livello, dei tratti di banchina, iniziando dal basso fino a concludere alla sommità della scarpata; inoltre, si provvederà a mantenere una contropendenza trasversale della trincea pari ad almeno il 10 %.

Alla base di ogni banchina, si provvederà alla posa di un letto di talee disposte a pettine, l'uno accanto all'altra, ed alla posa di piantine radicate in pane di terra di specie arbustive pioniere (quindi meno sensibili agli estremi climatici).

Le talee dovranno essere di salice rosso (*Salix purpurea*), e dovranno essere messe a dimora con una densità di almeno 5 talee (diametro minimo 2 cm) al metro; le piantine radicate dovranno essere disposte ad intervalli di 1 m l'una dall'altra.

Rispetto alle gradonate con sole talee, sarà possibile indirizzare la successione vegetazionale verso forme più stabili, riducendone i tempi di sviluppo in situazioni meno ottimali rispetto alla gradonata in rilevato.

Indicativamente, la composizione di 1 m di gradonata viva con talee e piantine radicate in pane di terra, escludendo la ramaglia di piccole dimensioni (circa 5 elementi al metro lineare), potrà essere di:

- 5 talee di *Salix purpurea*,
- 1 piantina radicata scelta alternativamente tra nocciolo (*Corylus avellana*), prugnolo (*Prunus spinosa*), ciavardello (*Sorbus torminalis*), biancospino (*Crataegus monogyna*), e sanguinello (*Cornus sanguinea*).

Per quanto concerne le dimensioni del materiale vegetale, dovranno essere utilizzate talee di lunghezza compresa tra 0,5 e 1 m. Le piantine radicate dovranno essere preferibilmente in contenitore, ed avere dimensioni inferiori al metro di altezza.

L'interasse tra le banchine sarà pari a 3 m, in funzione delle pendenze e della morfologia del versante. Una volta posate le talee, si provvederà al riempimento delle banchine con il materiale di scavo proveniente dalla banchina superiore.

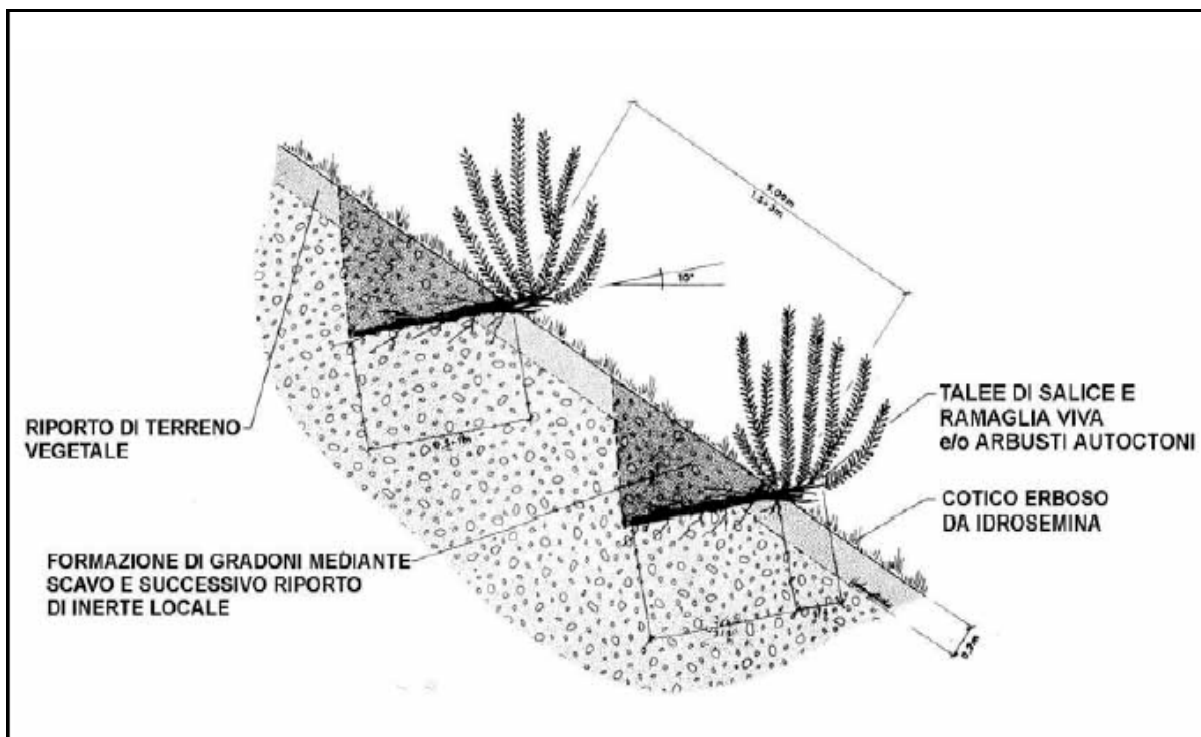
<sup>(1)</sup> SCHIECHTL H.M. *Bioingegneria forestale*. Ed. Castaldi Feltre. 1988.

Lo scavo delle banchine dovrà avvenire per brevi tratti, provvedendo a ricoprire questi in tempi brevi in modo sia da evitare di favorire l'origine di piccoli smottamenti secondari, sia per conservare l'umidità del terreno.

Indicativamente, per la realizzazione dell'intervento, si prevede di utilizzare il seguente materiale:

- talee e ramaglia di salice: lunghezza circa 1 m e diametro da 1 a 8 - 10 cm;
- piantine radicate in contenitore di altezza inferiore o uguale ad 1 m e diametro del fusto di 1 – 3 cm.

### *Sezione tipo di una gradonata viva*



### 5.3.5. Rimboschimenti

I rimboschimenti, nel presente progetto, sono riferibili alla “falda di raccordo” e la zona deputata all'alloggiamento dei cumuli.

La tipologia d'impianto prevede un senso d'impianto a quinconce di tipo curvilineo, con una consociazione per gruppi monospecifici: la distanza tra le singole piante, potrà variare da 1 m (per le specie arbustive) a 3 m (per le specie arboree costruttrici).

Nel rispetto degli intendimenti progettuali, la scelta delle specie è fatta su base tipologica, facendo pertanto riferimento alle tipologie forestali dell'orizzonte collinare, differenziando le specie destinate ad occupare i diversi spazi nella struttura del futuro soprassuolo.

Si prevede pertanto di mettere a dimora le seguenti specie:

- **Specie costruttrici**, ovvero quelle fisionomicamente caratterizzanti la futura cenosi, unitariamente alle specie compagne (60 % sul totale del materiale d'impianto):

SPECIE	% d'impianto
Pioppo bianco ( <i>Populus alba</i> )	20
Rovere ( <i>Quercus petraea</i> )	10
Farnia ( <i>Quercus robur</i> )	5
Pioppo nero ( <i>Populus nigra</i> )	15
Ciliegio selvatico ( <i>Prunus avium</i> )	10

- **Specie a medio sviluppo costituenti il futuro piano intermedio**, ovvero quelle caratterizzanti gli stadi intermedi della dinamica vegetazionale (20 % del materiale d'impianto):

SPECIE	% d'impianto
Salicone ( <i>Salix caprea</i> )	10
Acer campestre ( <i>Acer campestre</i> )	5
Ciavardello ( <i>Sorbus torminalis</i> )	5

- **Specie arbustive di accompagnamento**, ovvero di complemento all'ecosistema forestale, importanti in quanto nicchie ecologiche di numerose specie faunistiche (20 % del materiale d'impianto):

SPECIE	% d'impianto
nocciolo ( <i>Corylus avellana</i> )	4
lantana ( <i>Viburnum lantana</i> )	4
biancospino ( <i>Crataegus monogyna</i> )	4
ligustro ( <i>Ligustrum vulgare</i> )	2
corniolo ( <i>Cornus mas</i> )	2
sanguinello ( <i>Cornus sanguinea</i> )	2
ginestra odorosa ( <i>Spartium junecum</i> )	2

La scelta di fare riferimento ad una percentuale elevata di specie pioniere e della componente arbustiva nasce dall'esigenza di realizzare una tempestiva ricopertura del suolo; inoltre, le specie

scelte sono in genere miglioratrici del suolo, in grado cioè di ricostituire, in tempi brevi, un cospicuo strato di lettiera, grazie ad una rilevante produzione di rametti e foglie che, cadendo al suolo e decomponendosi, migliorano rapidamente il substrato.

Il materiale da utilizzare dovrà consistere in postime da vivaio avente altezza di almeno 50 cm e non più di 1,5 m, sufficientemente sviluppato e lignificato, allevato e commercializzato in contenitore e/o in pane di terra, in modo da limitare lo stress da trapianto e di favorire le possibilità di riuscita dell'intervento.

Può risultare opportuno l'utilizzo di pacciamanti biodegradabili individuali (quadretti individuali di stuoie o tavolette rigide) in fibre di cellulosa o altro materiale organico da inserire dopo l'impianto.

### 5.3.6. Area umida

Nell'ambito del corrente progetto di recupero, la tipologia dovrebbe interessare alcuni tratti della zona ribassata del fondo cava, sfruttando le situazioni di idromorfia morfopedologica che si verranno a creare con il deflusso delle acque meteoriche.

Le modalità realizzative delle aree umide, sulla base del modello naturale, verteranno sulla costituzione di canneti lungo alcuni tratti della zona ribassata; il canneto impiantato tenderà ad evolvere in modo naturale e graduale, perseguendo ugualmente lo scopo di rendere il più naturale possibile l'area, senza peraltro incorrere in situazioni di squilibrio ecologico.

Il canneto sarà realizzato secondo quanto indicato dalle tecniche di ingegneria naturalistica <sup>(2)</sup>, ovvero con la tecnica della piantagione di canneti con pane di terra (metodo Bittman). Operativamente si procederà collocando dei pani di terra (o ecocelle) contenenti culmi e rizomi di canne palustri autoctoni in fossi di piantagione preparati in precedenza, con una densità di almeno 1 ecocella/m<sup>2</sup>.

Detto materiale può essere reperito in commercio, oppure può essere semplicemente ottenuto da popolamenti naturali mediante prelievo con scavo o pelatura meccanica, senza pregiudicare la stabilità ecologica degli stessi popolamenti: i pani di terra o ecocelle potranno avere forma quadrangolare o a dadi, e dimensioni indicative di 30x30x30 cm.

A tergo del canneto, ad integrazione dello stesso, verrà realizzata una fascia di boscaglia igrofila a salici; mettendo a dimora talee a chiodo di salice rosso (*Salix purpurea*), e salice grigio (*Salix cinerea*), cioè specie adatte a vegetare su terreni idromorfi, secondo le seguenti quantità:

Specie	Impianto (%)
salice rosso ( <i>Salix purpurea</i> )	70
salice grigio ( <i>Salix cinerea</i> )	30

Il materiale utilizzabile consisterà in talee con diametro intorno a 1-5 cm e lunghezza di 50 cm.

Le talee dovranno essere prelevate, trasportate e conservate in modo da mantenere le proprietà vegetative; la messa a dimora dovrà essere effettuata di preferenza nel periodo autunno - invernale.

In merito alla tecnica di messa a dimora le talee, una volta preparato (ossia portato alle dimensioni richieste dalle opere in costruzione) dovrà essere immediatamente impiegato, al fine di ridurre i rischi di eccessiva perdita d'acqua (disidratazione).

Il sesto d'impianto risulterà fitto ed irregolare, con distanze d'impianto da 1 x 1 m, a 1 x 1,05 m.

<sup>(2)</sup> Cfr.: SCHIECHTL H.M. "Bioingegneria forestale." Ed. Castaldi, Feltre. 1989.

Una volta sviluppatesi, queste specie raggiungeranno altezze e dimensioni differenti, originando pertanto una formazione arboreo - arbustiva caratterizzata da una struttura verticale pluristratificata ed eterogenea.



### **5.3.7. Computo metrico estimativo**

Al fine di determinare gli oneri di recupero ambientale si è fatto riferimento alle voci di cui al punto c. “Cave in ambienti collinari, coltivabili senza l'uso di esplosivo” della Deliberazione della Giunta Regionale 5 aprile 2019, n. 17-8699.

Per quanto riguarda le opere di cui alla realizzazione dell'area umida si è fatto invece riferimento al punto b) “Cave in ambienti pianeggianti”, non essendo le attività in questione presenti tra quelle del già citato punto c).

## Computo degli oneri di recupero ambientale

Codice	Voce	U.M.	C.U.	Quantità	Costo totale (€)
c.1.1	Terreno vegetale da rimettere in sito, come previsto al precedente paragrafo I; il terreno vegetale dev'essere valutato in base alla potenza sito-caratteristica e comunque non inferiore a 30 cm.	m3	9,38 €	12.780	119.876,40 €
c.1.2	Ripristino delle quote finali previste in progetto, escluso l'utilizzo di terreno vegetale; a) nel caso di utilizzo di materiali sterili di cava e limi prodotti in cava.	m3	1,16 €	220.000	255.200,00 €
c.1.3	Profilatura, secondo le indicazioni prescritte, delle scarpate poste sopra il livello della falda freatica da eseguirsi con mezzi meccanici.	m2	1,63 €	17.470	28.476,10 €
c.2.1	Formazione di prato con semina manuale, comprese le lavorazioni del terreno e la concimazione.	m2	1,08 €	6.680	7.214,40 €
c.2.2	Fornitura e messa a dimora di specie arbustive di piccole dimensioni (in contenitore) compreso lo scavo, la piantagione, il reinterro, la concimazione organica e chimica, il primo annaffiamento e l'ancoraggio.	cad	5,875 €	1.230	7.226,25 €
c.2.3	Fornitura e messa a dimora di specie arboree di piccole dimensioni (in contenitore) compreso lo scavo, la piantagione, il reinterro, la concimazione organica e chimica, il primo annaffiamento e l'ancoraggio.	cad	5,35 €	1.240	6.634,00 €
c.2.5	Fornitura e messa in opera di protezioni individuali delle piante con reti o con materiale plastico stabilizzato tipo tubulare per evitare danni da mammiferi.	cad	2,20 €	1.770	3.894,00 €
c.2.7	Fornitura e messa in opera di cordonate, gradonate, palificate o altre opere di ingegneria naturalistica.	m	33,69 €	1.190	40.091,10 €
c.2.9	Intervento di idrosemina effettuato in luogo accessibile a mezzi meccanici, con disponibilità idrica, su superfici già pronte per la semina, apporto del seme, dei concimi organici e chimici e del collante, senza interventi di manutenzione successivi.	m <sup>2</sup>	1,78 €	32.340	57.565,20 €
b.2.5	Realizzazione di popolamenti vegetali tipici delle aree umide (quali i canneti), compresa la fornitura e la messa a dimora di rizomi o di piante coltivate di specie idonee della costituzione di aree a cariceto - canneto.	m <sup>2</sup>	3,89 €	460	1.789,40 €
b.2.4	Cure colturali e manutenzione dei lavori di rimboschimento, rinverdimento e ingegneria naturalistica comprendente rincalzi, ripuliture, sostituzioni, irrigazione e sfalci delle aree recuperate, per tre anni successivi all'esecuzione dei lavori	m <sup>2</sup> x 3 anni	2,04 €	39.480	80.539,20 €
TOTALE					608.506,05 €

## 5.4. Cure colturali

Il programma di gestione e manutenzione delle opere di sistemazione ambientale dell'area di cava, sulla base delle soluzioni progettuali ipotizzate, risulterà finalizzato al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- prevedere gli interventi di manutenzione necessari, con particolare riferimento alle opere realizzate, alle modalità di realizzazione delle stesse ed ai materiali impiegati;
- pianificare gli interventi di manutenzione nel senso di dare indicazione delle scadenze temporali da prevedersi per ciascun ambito manutentivo o per la manutenzione delle varie parti di opera realizzata;
- programmare, prevedendo le necessarie risorse, alle scadenze definite in fase di pianificazione per l'effettuazione degli interventi manutentivi.

Le tre precedenti azioni devono essere fissate per garantire non solo l'efficienza e la funzionalità dell'opera realizzata, ma anche il mantenimento del valore economico della stessa.

Ciò premesso, si evidenzia come, per le opere in progetto, sia previsto l'uso di materiali e tecniche realizzative che rispondono ad elevati livelli qualitativi; inoltre, tenendo conto che ne viene prevista una durata nel tempo superiore a 50 anni, lo standard di efficienza che deve mantenere nel tempo il complesso di opere di nuova realizzazione si stabilisce di tipo alto; quindi, si prevede che controlli e verifiche siano effettuati con frequenza elevata e gli interventi di manutenzione straordinaria siano da eseguirsi immediatamente dopo la segnalazione di necessità di intervento.

Peraltro, per quanto concerne le "opere a verde", si rileva come sia intrinseco al concetto di rinaturalizzazione il fatto di innescare dinamismi naturali senza interventi antropici se non nelle prime fasi d'intervento, essendo l'obiettivo finale la costituzione di ecosistemi stabili in grado di autoregolarsi; ne consegue l'assenza, o la presenza minima, di interventi manutentivi.

Di seguito si sintetizzano le operazioni di manutenzione ordinaria correlabili ai tipi d'opera descritti nei precedenti paragrafi:

- risarcimento delle fallanze degli alberi ed arbusti: da effettuarsi 1 volta all'anno per i primi 3 anni dalla realizzazione dell'intervento;
- riconoscimento ed eliminazione di eventuali infestanti: in caso di riscontro della presenza di specie aliene si provvederà alle azioni di contrasto desunte dalla DGR 46-5100 del 18 dicembre 2012, recentemente aggiornata con la D.G.R. n. 14-85 del 2/8/2024, in particolare seguendo le indicazioni specifiche delle schede monografiche delle singole specie rinvenute;
- sfalcio del cotico sulle aree di piazzale e sui gradoni: 2 volte all'anno durante la stagione vegetativa per i primi 3 anni dall'intervento;
- irrigazioni consuetudinarie: durante il trimestre estivo per almeno 3 anni dalla fine dei vari interventi.

Torino, 10 ottobre 2025

dott. ing. Giuseppe ACCATTINO  
(n. 4140 Ordine Ingegneri Provincia di Torino)

dott. geol. Dario FAULE  
(n. 248 Ordine Regionale Geologi del Piemonte)

dott. for. Giorgio ULIANA  
(n. 471 Ordine Dott. Agr. e For. Prov. di Torino)

## **ELABORATI GRAFICI**

Tav. 1 – Estratto di mappa catastale

Tav. 2 – Planimetria stato attuale – Aggiornamento topografico dicembre 2008

Tav. 3 – Planimetria stato attuale – Aggiornamento dicembre 2018

Tav. 4 – Planimetria di coltivazione – Massimo scavo

Tav. 5 – Planimetria di coltivazione – Stato finale

Tav. 6 – Sezioni di coltivazione – Sezz. 1-1/2-2, 3-3, 4-4, 5-5

Tav. 7 – Sezioni di coltivazione – Sezz. 6-6, 7-7

Tav. 8 – Planimetria di recupero ambientale

**VERIFICHE DI STABILITA'**  
**Relazioni e tabulati di calcolo**

## Relazione di Calcolo Statico



Relazione di calcolo: verifica di stabilità del fronte di scavo in condizioni statiche

Porzione superiore del fronte di scavo, sagomata nella copertura sterile marnosa



# 1 Caratteristiche terreni.

## Marna argillosa

Coesione: 1 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 25 [°]

Peso secco: 0.00191 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00201 [daN/cm<sup>3</sup>]

## Gesso macrocristallino

Coesione: 2 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 35 [°]

Peso secco: 0.00214 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00224 [daN/cm<sup>3</sup>]

# 2 Stratigrafia.

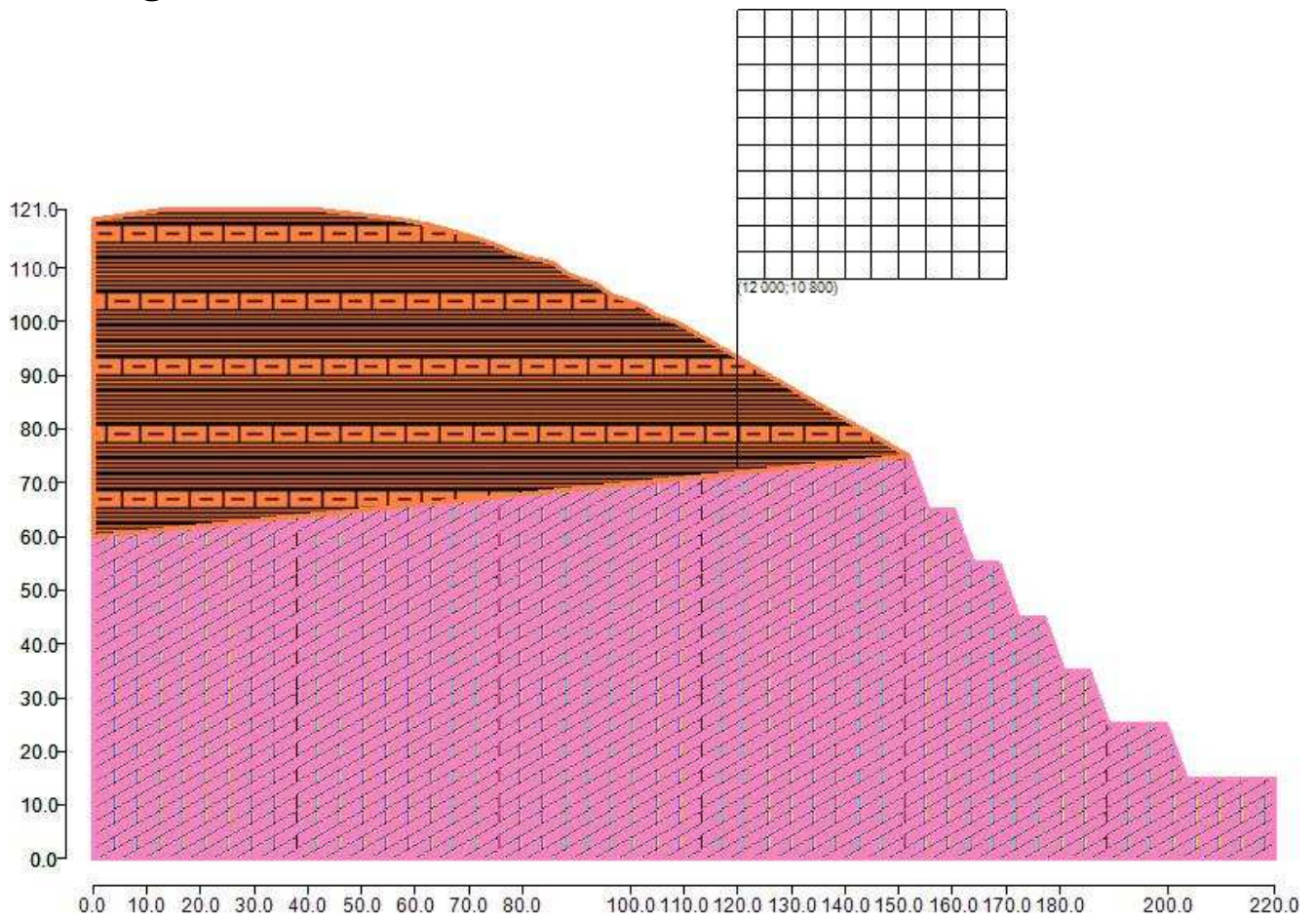


Figura 1: Rappresentazione del pendio.

Sono stati definiti 2 strati di cui si riportano le coordinate.

#### Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	0	6000
2	15187.41	7500
3	15260.31	7300
4	15406.1	6900
5	15551.9	6500
6	16027.53	6500
7	16100.43	6300
8	16246.22	5900
9	16392.02	5500
10	16867.65	5500
11	16977	5200
12	17122.79	4800
13	17232.14	4500
14	17707.78	4500
15	17817.12	4200
16	17926.47	3900
17	18072.26	3500
18	18547.9	3500
19	18657.24	3200
20	18803.68	2800
21	18912.38	2500
22	19988.2	2500
23	20133.99	2100
24	20243.34	1800
25	20352.68	1500
26	22000	1500
27	22000	0
28	0	0

Tabella 1: Coordinate dello strato n. 1

Tipo di terreno presente nello strato 1: Gesso macrocristallino.

#### Strato 2

	x [cm]	y [cm]
1	0	11900
2	1404.09	12100
3	4078.67	12100
4	5770.74	11900
5	6278.09	11800
6	6997.3	11600
7	7310.62	11500
8	7578.45	11400
9	7765.9	11300
10	8117.8	11200
11	8554.29	11100
12	8820.72	10900
13	9075.87	10800
14	9372.35	10700
15	9646.45	10500
16	10210.98	10300
17	10530.89	10099.85
18	10827.58	10000
19	11025.06	9900
20	11371.92	9700
21	11718.78	9500

22	12239.08	9200
23	12932.8	8800
24	13453.1	8500
25	14146.82	8100
26	15187.41	7500
27	0	6000

Tabella 2: Coordinate dello strato n. 2

Tipo di terreno presente nello strato 2: Marna argillosa.

### 3 Normativa di riferimento.

La normativa utilizzata per quanto riguarda il calcolo statico è:

NTC 2018: Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

L'approccio progettuale che è stato scelto è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1.25$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1.4$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1.25$
- per il peso di volume:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1.3$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.1$
- per gli ancoraggi:  $\gamma_a = 1.2$ ,  $\xi_a = 1.8$
- per i pali (trasversale):  $\gamma_p = 1.6$ ,  $\xi_p = 1.7$
- per le terre rinforzate (sfilamento):  $\gamma_{T,po} = 2.5$
- per le terre rinforzate (scorrimento diretto):  $\gamma_{T,ds} = 1.5$
- per le terre rinforzate (resistenza a trazione):  $\gamma_{T,rt} = 1.5$
- per le opere di sostegno (scorrimento piano di posa):  $\gamma_{R,h} = 1.1$
- per le opere di sostegno (capacità portante piano di posa):  $\gamma_{R,v} = 1.4$
- per le opere di sostegno (ribaltamento):  $\gamma_{R,o} = 1.15$

## 4 Generazione superfici di rottura.

Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

La maglia di centri ha origine nel punto C (12000 [cm], 10800 [cm]), in direzione orizzontale ha passo pari a 500 [cm], in direzione verticale ha passo pari a 500 [cm].

Il raggio iniziale è pari a 3000 cm, si hanno 103000 [cm], si hanno 10 incrementi di 50 [cm].

Il numero di centri è 121 ed il numero di superfici circolari generate è 250.

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.

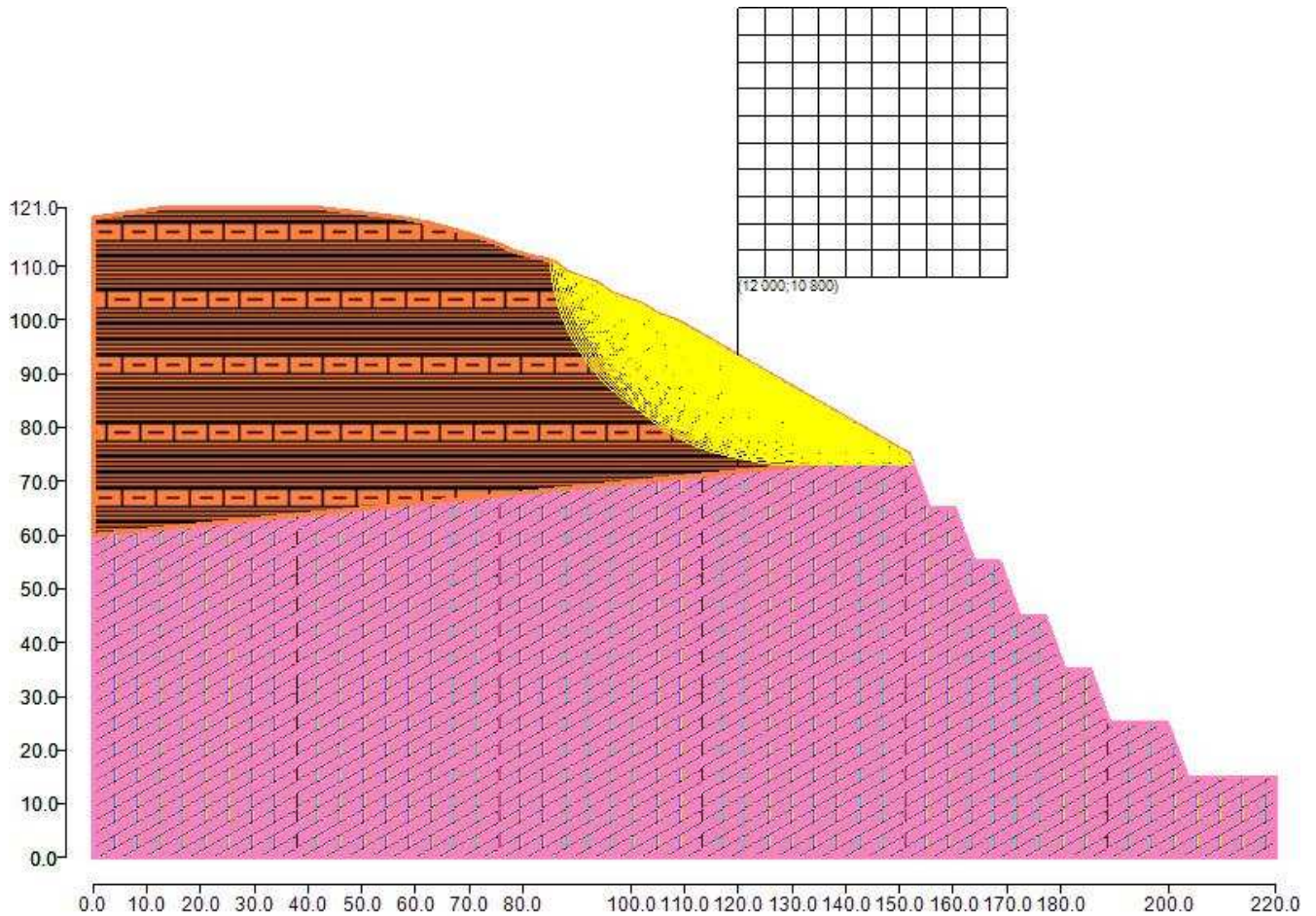


Figura 2: Superfici di rottura e maglia centri

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

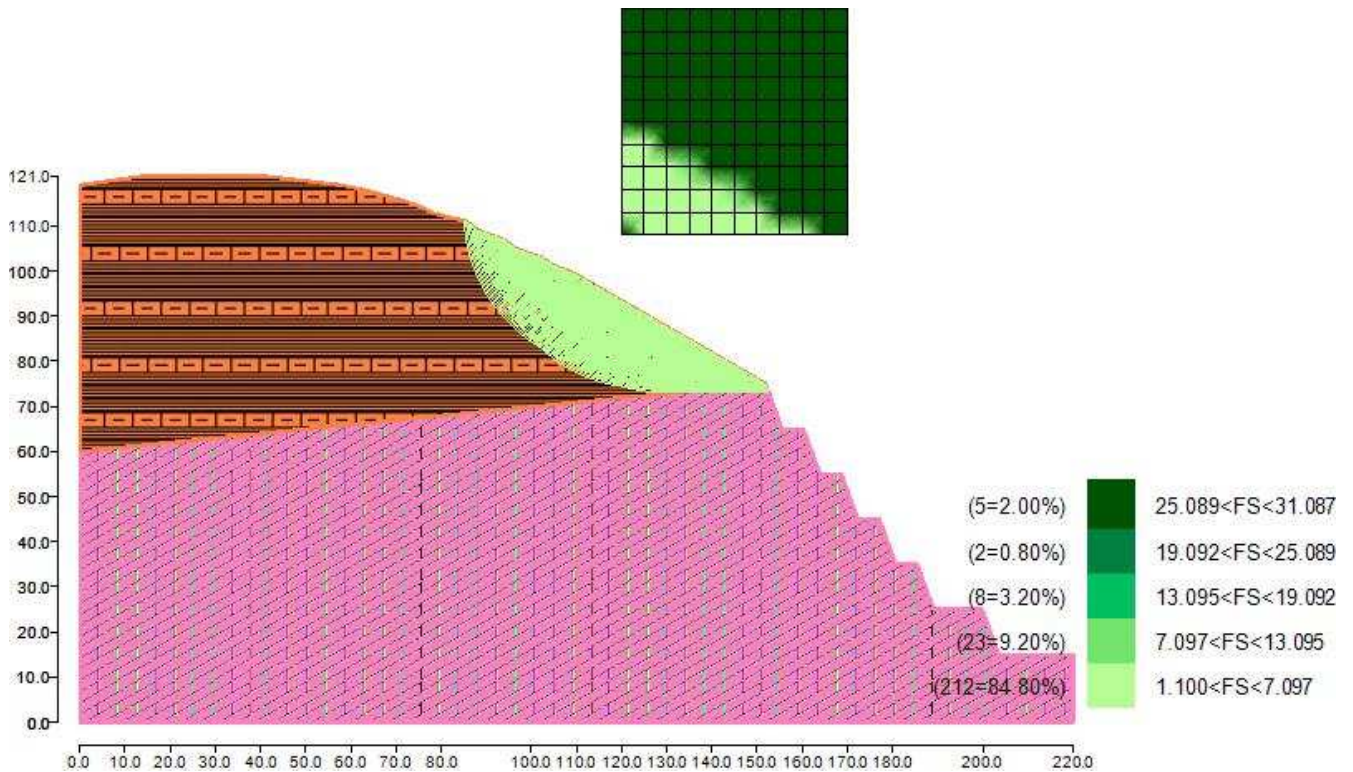


## 5 Metodi utilizzati nel calcolo.

### Metodo di FELLENIUS (1927)

Metodo valido per superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Per ciascuna striscia si fa l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base, l'ipotesi semplificativa consiste nel trascurare le forze di interstriscia ( $E = X = 0$ ). Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **2.139** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 23 e della superficie numero 10. Le coordinate del centro sono: C (13000 [cm] , 10800 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3450 [cm].



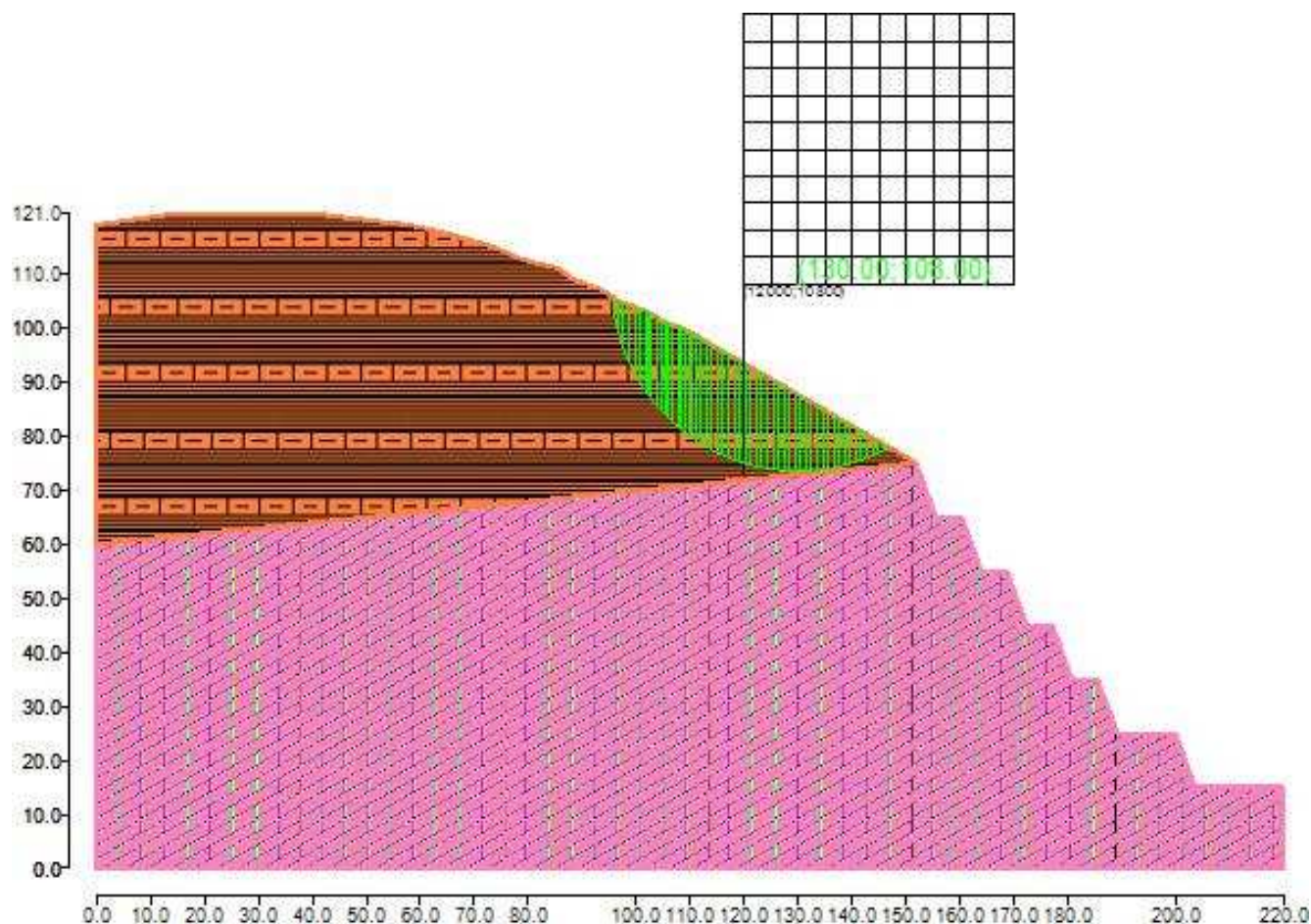


Figura 4: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 3: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	88.4	81	4306.21	654.85	46750.58	11	25	0	0	0	0
2	14.14	76	1446.97	351.6	4786.38	11	25	0	0	0	0
3	102.54	73	13846.83	4139.75	28983.56	11	25	0	0	0	0
4	102.54	68	18768.1	7174.07	24137.27	11	25	0	0	0	0
5	102.54	63	22489.19	10070.77	22076.05	11	25	0	0	0	0
6	102.54	60	25508.23	12830.34	21095.7	11	25	0	0	0	0
7	102.54	57	28043.04	15452.06	20652.25	11	25	0	0	0	0
8	37.68	54	10873.47	6317.42	7544.5	11	25	0	0	0	0
9	64.87	53	19247.78	11571.52	12948.53	11	25	0	0	0	0
10	102.54	51	31477.33	19893.9	20401.3	11	25	0	0	0	0
11	102.54	48	32574.35	21721.52	20405.28	11	25	0	0	0	0
12	49.96	46	16210.75	11199.78	9962.79	11	25	0	0	0	0
13	52.59	45	17344.93	12247.4	10526.6	11	25	0	0	0	0
14	102.54	43	34774.34	25310.92	20712.72	11	25	0	0	0	0
15	102.54	41	35917.23	27109.38	20981.78	11	25	0	0	0	0
16	39.02	39	13941.22	10765.65	8058.37	11	25	0	0	0	0
17	63.52	38	22921.49	17974.76	13185.88	11	25	0	0	0	0
18	102.54	37	37415.93	30030.09	21423.65	11	25	0	0	0	0
19	31.41	35	11553.84	9436.47	6597.19	11	25	0	0	0	0
20	71.13	34	26254.02	21712.44	14980.35	11	25	0	0	0	0
21	102.54	32	37980.91	32038.78	21676.83	11	25	0	0	0	0
22	102.54	30	38053.37	32792.77	21752.63	11	25	0	0	0	0

23	70.64	29	26211.97	22963.6	15017.52	11	25	0	0	0	0
24	31.9	28	11825.11	10454.62	6786.42	11	25	0	0	0	0
25	102.54	27	37923.22	33907.25	21824.01	11	25	0	0	0	0
26	102.54	25	37730.42	34273.77	21816.48	11	25	0	0	0	0
27	102.54	23	37457.89	34517.01	21778.8	11	25	0	0	0	0
28	7.33	22	2666.78	2474.93	1555.41	11	25	0	0	0	0
29	95.21	21	34443.43	32165.73	20155.41	11	25	0	0	0	0
30	102.54	19	36686.62	34644.91	21611.03	11	25	0	0	0	0
31	102.54	17	36193.31	34535.05	21480.5	11	25	0	0	0	0
32	102.54	16	35631.23	34312.92	21318.91	11	25	0	0	0	0
33	102.54	14	35002.26	33981.23	21126.48	11	25	0	0	0	0
34	14.92	13	5036.99	4910.48	3056.12	11	25	0	0	0	0
35	87.62	12	29272.98	28633.52	17848.07	11	25	0	0	0	0
36	102.54	10	33549.78	32999.85	20650.6	11	25	0	0	0	0
37	102.54	9	32728.81	32355.57	20368.18	11	25	0	0	0	0
38	102.54	7	31846.01	31612.54	20056.95	11	25	0	0	0	0
39	102.54	5	30902.15	30773.54	19717.66	11	25	0	0	0	0
40	102.54	4	29897.81	29841.38	19351.15	11	25	0	0	0	0
41	93.38	2	26303.17	26288.83	17281.59	11	25	0	0	0	0
42	9.16	1	2531.45	2531.03	1677.17	11	25	0	0	0	0
43	102.54	0	27709.19	27709.14	18540.23	11	25	0	0	0	0
44	102.54	2	26525.26	26515.04	18097.92	11	25	0	0	0	0
45	102.54	3	25281.54	25239.73	17632.6	11	25	0	0	0	0
46	102.54	5	23977.79	23886.42	17145.54	11	25	0	0	0	0
47	100.97	7	22277.07	22124.82	16386.59	11	25	0	0	0	0
48	1.57	8	336.79	333.86	251.65	11	25	0	0	0	0
49	102.54	8	21188.47	20959.33	16111.91	11	25	0	0	0	0
50	102.54	10	19701.59	19392.67	15568.47	11	25	0	0	0	0
51	102.54	12	18152.09	17762.3	15009.61	11	25	0	0	0	0
52	102.54	14	16538.82	16072.27	14437.26	11	25	0	0	0	0
53	102.54	15	14860.47	14326.84	13853.55	11	25	0	0	0	0
54	102.54	17	13115.44	12530.55	13260.81	11	25	0	0	0	0
55	76.89	19	8650.16	8191.54	9551.24	11	25	0	0	0	0
56	25.65	20	2655.06	2500.58	3112.02	11	25	0	0	0	0
57	102.54	21	9417.74	8805.21	12058.85	11	25	0	0	0	0
58	102.54	23	7460.46	6886.99	11455.68	11	25	0	0	0	0
59	102.54	24	5427.21	4939.75	10855.71	11	25	0	0	0	0
60	102.54	26	3314.69	2970.16	10263.03	11	25	0	0	0	0
61	102.54	28	1119.09	985.59	9682.29	11	25	0	0	0	0

Tabella 4: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
2	1	120 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	2.473
2	2	120 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	2.437
2	3	120 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	2.403
2	4	120 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	2.372
2	5	120 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	2.343
2	6	120 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.318
2	7	120 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.299
2	8	120 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.277
2	9	120 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.256
2	10	120 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.236
2	11	120 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.208
3	1	120 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	2.923
3	2	120 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	2.830
3	3	120 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	2.749
3	4	120 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	2.678

3	5	120 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	2.615
3	6	120 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	2.559
3	7	120 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	2.508
3	8	120 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	2.467
3	9	120 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	2.429
3	10	120 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	2.392
3	11	120 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	2.356
4	1	120 [cm]	123 [cm]	30 [cm]	4.712
4	2	120 [cm]	123 [cm]	30.5 [cm]	4.377
4	3	120 [cm]	123 [cm]	31 [cm]	4.053
4	4	120 [cm]	123 [cm]	31.5 [cm]	3.768
4	5	120 [cm]	123 [cm]	32 [cm]	3.539
4	6	120 [cm]	123 [cm]	32.5 [cm]	3.352
4	7	120 [cm]	123 [cm]	33 [cm]	3.196
4	8	120 [cm]	123 [cm]	33.5 [cm]	3.065
4	9	120 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	2.952
4	10	120 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	2.853
4	11	120 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	2.773
5	1	120 [cm]	128 [cm]	31 [cm]	27.877
5	2	120 [cm]	128 [cm]	31.5 [cm]	14.236
5	3	120 [cm]	128 [cm]	32 [cm]	10.027
5	4	120 [cm]	128 [cm]	32.5 [cm]	7.927
5	5	120 [cm]	128 [cm]	33 [cm]	6.735
5	6	120 [cm]	128 [cm]	33.5 [cm]	6.013
5	7	120 [cm]	128 [cm]	34 [cm]	5.264
5	8	120 [cm]	128 [cm]	34.5 [cm]	4.697
5	9	120 [cm]	128 [cm]	35 [cm]	4.276
12	1	125 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	2.350
12	2	125 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.328
12	3	125 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.306
12	4	125 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.277
12	5	125 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.256
12	6	125 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.237
12	7	125 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.216
12	8	125 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.198
12	9	125 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.180
13	1	125 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	2.568
13	2	125 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	2.524
13	3	125 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	2.482
13	4	125 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	2.441
13	5	125 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	2.399
13	6	125 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.358
13	7	125 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.320
13	8	125 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.286
13	9	125 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.255
13	10	125 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.226
13	11	125 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.199
14	1	125 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	3.344
14	2	125 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	3.190
14	3	125 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	3.060
14	4	125 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	2.953
14	5	125 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	2.868
14	6	125 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	2.788
14	7	125 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	2.713
14	8	125 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	2.635
14	9	125 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	2.563
14	10	125 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	2.500
14	11	125 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	2.443
15	1	125 [cm]	123 [cm]	30 [cm]	8.837
15	2	125 [cm]	123 [cm]	30.5 [cm]	7.191



15	3	125 [cm]	123 [cm]	31 [cm]	6.011
15	4	125 [cm]	123 [cm]	31.5 [cm]	5.236
15	5	125 [cm]	123 [cm]	32 [cm]	4.686
15	6	125 [cm]	123 [cm]	32.5 [cm]	4.273
15	7	125 [cm]	123 [cm]	33 [cm]	3.953
15	8	125 [cm]	123 [cm]	33.5 [cm]	3.696
15	9	125 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	3.507
15	10	125 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	3.352
15	11	125 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	3.207
16	1	125 [cm]	128 [cm]	33 [cm]	31.087
16	2	125 [cm]	128 [cm]	33.5 [cm]	16.912
16	3	125 [cm]	128 [cm]	34 [cm]	11.686
16	4	125 [cm]	128 [cm]	34.5 [cm]	8.549
16	5	125 [cm]	128 [cm]	35 [cm]	6.900
23	1	130 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	2.374
23	2	130 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.337
23	3	130 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.303
23	4	130 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.273
23	5	130 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.245
23	6	130 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.219
23	7	130 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.196
23	8	130 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.174
23	9	130 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.153
23	10	130 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	2.139
23	11	130 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	2.168
24	1	130 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	2.812
24	2	130 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	2.719
24	3	130 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	2.639
24	4	130 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	2.568
24	5	130 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	2.505
24	6	130 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.449
24	7	130 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.399
24	8	130 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.354
24	9	130 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.314
24	10	130 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.277
24	11	130 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.248
25	1	130 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	4.496
25	2	130 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	4.155
25	3	130 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	3.868
25	4	130 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	3.625
25	5	130 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	3.405
25	6	130 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	3.218
25	7	130 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	3.063
25	8	130 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	2.933
25	9	130 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	2.821
25	10	130 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	2.725
25	11	130 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	2.640
26	1	130 [cm]	123 [cm]	31.5 [cm]	15.726
26	2	130 [cm]	123 [cm]	32 [cm]	10.189
26	3	130 [cm]	123 [cm]	32.5 [cm]	7.752
26	4	130 [cm]	123 [cm]	33 [cm]	6.387
26	5	130 [cm]	123 [cm]	33.5 [cm]	5.602
26	6	130 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	4.997
26	7	130 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	4.496
26	8	130 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	4.086
34	1	135 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	2.506
34	2	135 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.450
34	3	135 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.405
34	4	135 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.363
34	5	135 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.324

34	6	135 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.288
34	7	135 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.254
34	8	135 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.219
34	9	135 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.188
34	10	135 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	2.175
34	11	135 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	2.457
35	1	135 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	3.386
35	2	135 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	3.195
35	3	135 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	3.039
35	4	135 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	2.908
35	5	135 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	2.796
35	6	135 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.710
35	7	135 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.631
35	8	135 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.560
35	9	135 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.496
35	10	135 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.435
35	11	135 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.376
36	1	135 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	11.705
36	2	135 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	8.524
36	3	135 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	6.806
36	4	135 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	5.715
36	5	135 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	4.974
36	6	135 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	4.428
36	7	135 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	4.017
36	8	135 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	3.704
36	9	135 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	3.457
36	10	135 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	3.270
36	11	135 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	3.117
37	1	135 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	15.842
37	2	135 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	10.314
37	3	135 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	7.741
45	1	140 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	2.877
45	2	140 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.771
45	3	140 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.678
45	4	140 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.594
45	5	140 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.520
45	6	140 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.454
45	7	140 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.393
45	8	140 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.338
45	9	140 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.289
45	10	140 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	2.615
45	11	140 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	2.713
46	1	140 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	5.237
46	2	140 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	4.645
46	3	140 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	4.202
46	4	140 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	3.858
46	5	140 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	3.583
46	6	140 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	3.359
46	7	140 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	3.171
46	8	140 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	3.011
46	9	140 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.875
46	10	140 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.756
46	11	140 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.651
47	1	140 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	19.491
47	2	140 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	11.654
47	3	140 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	8.484
47	4	140 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	6.769
47	5	140 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	5.696
47	6	140 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	4.961
47	7	140 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	4.427

56	1	145 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	3.697
56	2	145 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	3.458
56	3	145 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	3.260
56	4	145 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	3.093
56	5	145 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.952
56	6	145 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.830
56	7	145 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.724
56	8	145 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.631
56	9	145 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.930
56	10	145 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	2.933
56	11	145 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	2.915
57	1	145 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	25.488
57	2	145 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	13.420
57	3	145 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	9.325
57	4	145 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	7.265
57	5	145 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	6.026
57	6	145 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	5.200
57	7	145 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	4.609
57	8	145 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	4.166
57	9	145 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	3.823
57	10	145 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	3.548
57	11	145 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	3.324
58	1	145 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	19.400
58	2	145 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	11.607
67	1	150 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	6.403
67	2	150 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	5.466
67	3	150 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	4.810
67	4	150 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	4.325
67	5	150 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	3.952
67	6	150 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	3.657
67	7	150 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	3.418
67	8	150 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	3.480
67	9	150 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	3.427
67	10	150 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	3.348
67	11	150 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	3.265
68	1	150 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	25.343
68	2	150 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	13.362
68	3	150 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	9.283
68	4	150 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	7.229
68	5	150 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	5.993
68	6	150 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	5.168
78	1	155 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	15.797
78	2	155 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	10.323
78	3	155 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	7.808
78	4	155 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	6.366
78	5	155 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	5.430
78	6	155 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	4.943
78	7	155 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	4.595
78	8	155 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	4.298
78	9	155 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	4.047
79	1	155 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	25.204
89	1	160 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	15.728
89	2	160 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	10.284
89	3	160 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	7.949
89	4	160 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	6.622

### Metodo di BISHOP (1955)

Il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **2.286** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 23 e della superficie numero 10. Le coordinate del centro sono: C (13000 [cm] ,10800 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3450 [cm].

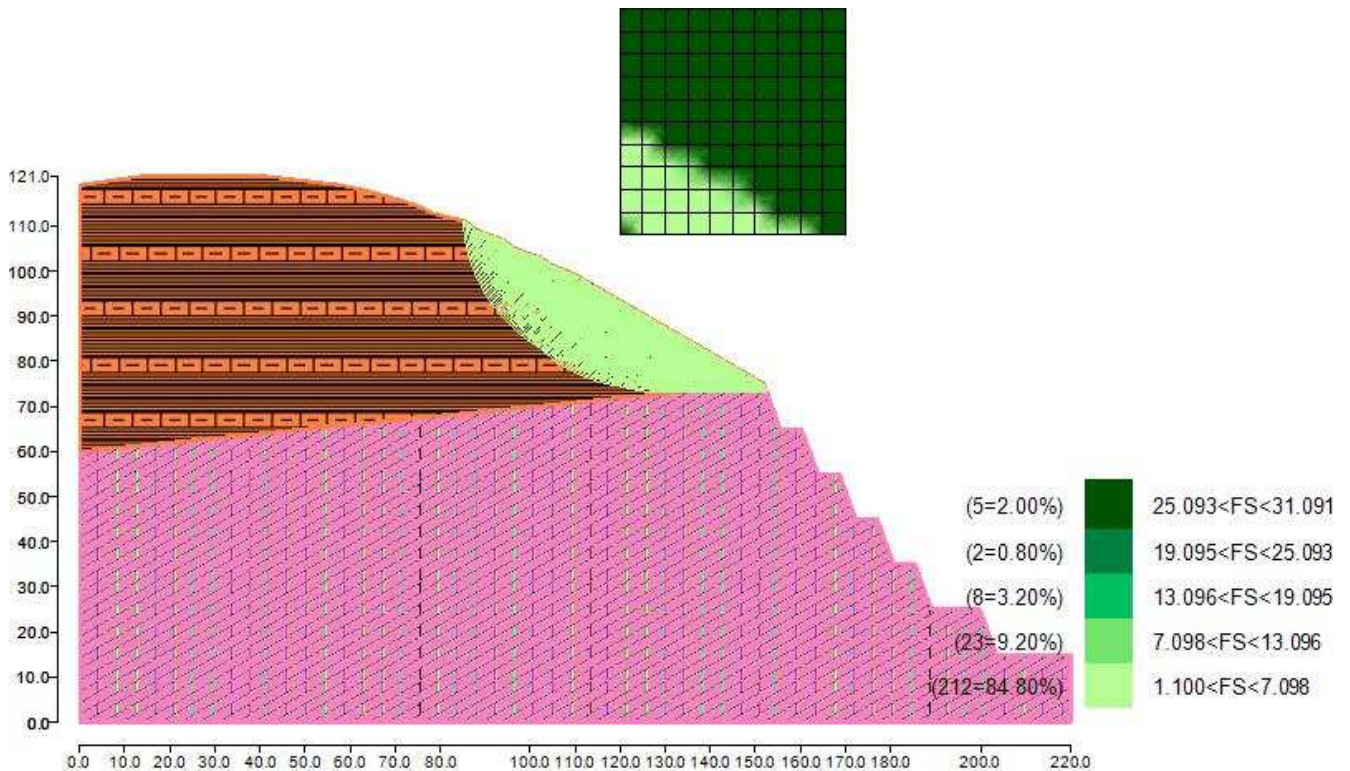


Figura 5: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

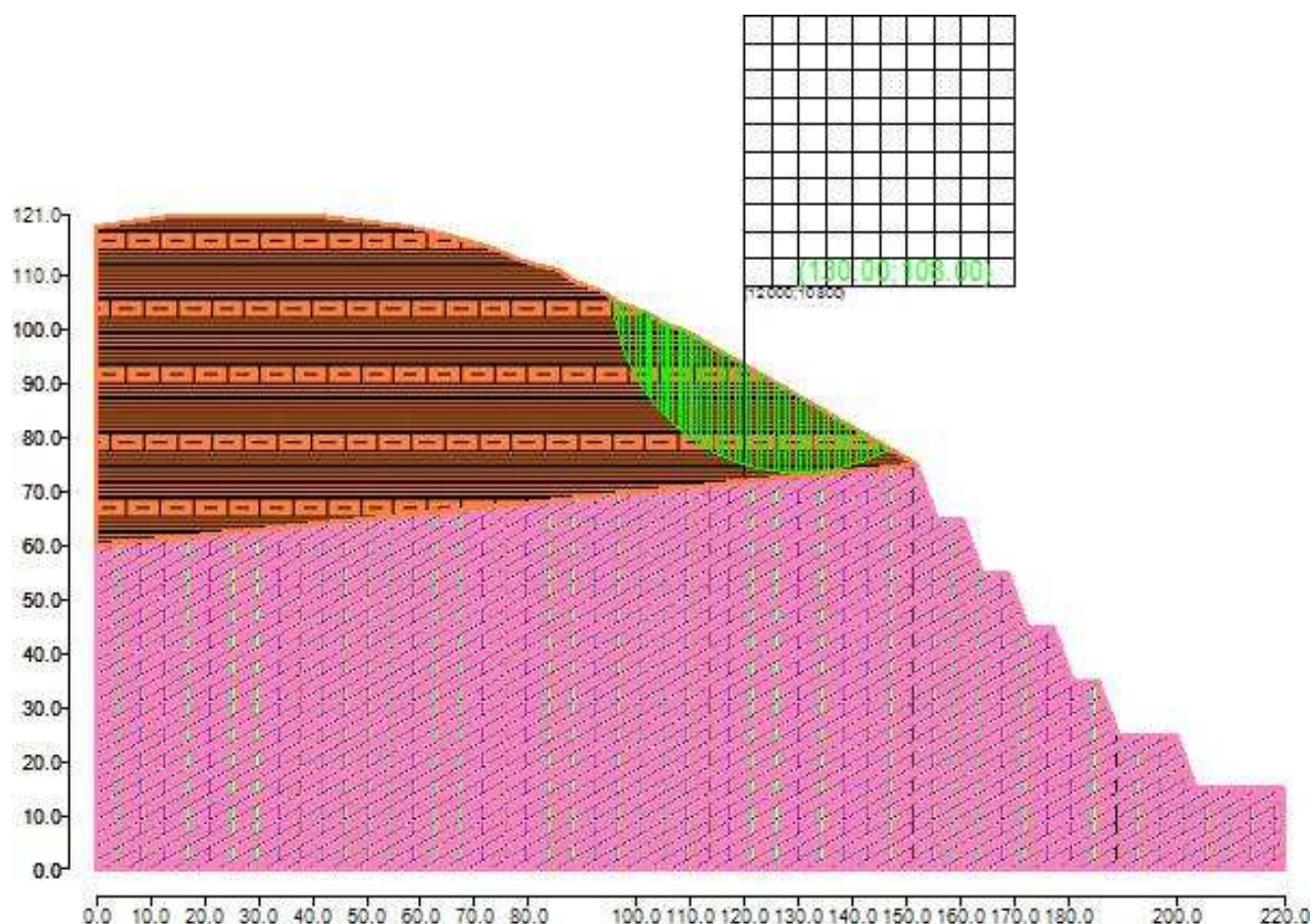


Figura 6: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 5: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	88.4	81	4306.21	-50397.99	27705.52	1	25	0	-15876.64	0	0
2	14.14	76	1446.97	-1313.67	4165.16	1	25	15876.64	-19832.27	0	0
3	102.54	73	13846.83	5281.1	29409.34	1	25	19832.27	-51173.6	0	0
4	102.54	68	18768.1	18949.89	28530.2	1	25	51173.6	-84072.63	0	0
5	102.54	63	22489.19	25823.14	27952.41	1	25	84072.63	-116757.65	0	0
6	102.54	60	25508.23	30044.06	27517.21	1	25	116757.65	-148560.08	0	0
7	102.54	57	28043.04	32909.62	27164.72	1	25	148560.08	-179155.96	0	0
8	37.68	54	10873.47	12648.79	9906.4	1	25	179155.96	-190058.02	0	0
9	64.87	53	19247.78	22190.72	16909.98	1	25	190058.02	-208250.5	0	0
10	102.54	51	31477.33	35707.8	26300.62	1	25	208250.5	-235350.78	0	0
11	102.54	48	32574.35	36236.08	25819.88	1	25	235350.78	-260467.21	0	0
12	49.96	46	16210.75	17783.01	12418.64	1	25	260467.21	-272001.98	0	0
13	52.59	45	17344.93	18867.02	12996.03	1	25	272001.98	-283714.89	0	0
14	102.54	43	34774.34	37390.12	25218.82	1	25	283714.89	-305451.92	0	0
15	102.54	41	35917.23	38062.86	25067.93	1	25	305451.92	-325709.98	0	0
16	39.02	39	13941.22	14635.9	9502.15	1	25	325709.98	-333026.68	0	0
17	63.52	38	22921.49	23903.49	15397.57	1	25	333026.68	-344433.46	0	0
18	102.54	37	37415.93	38617.15	24627.02	1	25	344433.46	-361476.57	0	0
19	31.41	35	11553.84	11832.84	7491.15	1	25	361476.57	-366364.44	0	0
20	71.13	34	26254.02	26737.09	16854.78	1	25	366364.44	-376843.34	0	0
21	102.54	32	37980.91	38338.27	24026.83	1	25	376843.34	-390521.08	0	0
22	102.54	30	38053.37	38054.77	23715.6	1	25	390521.08	-402556.29	0	0

23	70.64	29	26211.97	26031.37	16161.94	1	25	402556.29	-409917.99	0	0
24	31.9	28	11825.11	11699.93	7250.97	1	25	409917.99	-412998.45	0	0
25	102.54	27	37923.22	37354.54	23110.01	1	25	412998.45	-421892.18	0	0
26	102.54	25	37730.42	36945.32	22813.09	1	25	421892.18	-429287.17	0	0
27	102.54	23	37457.89	36500.2	22518.63	1	25	429287.17	-435231.84	0	0
28	7.33	22	2666.78	2592.92	1599.43	1	25	435231.84	-435602.85	0	0
29	95.21	21	34443.43	33429.59	20626.88	1	25	435602.85	-439775.52	0	0
30	102.54	19	36686.62	35508.85	21933.32	1	25	439775.52	-442966.92	0	0
31	102.54	17	36193.31	34964.63	21640.75	1	25	442966.92	-444856.84	0	0
32	102.54	16	35631.23	34388.72	21347.18	1	25	444856.84	-445496.6	0	0
33	102.54	14	35002.26	33781.16	21051.85	1	25	445496.6	-444938.71	0	0
34	14.92	13	5036.99	4863.32	3038.53	1	25	444938.71	-444761.19	0	0
35	87.62	12	29272.98	28280.86	17716.51	1	25	444761.19	-443237.64	0	0
36	102.54	10	33549.78	32469.84	20452.88	1	25	443237.64	-440447.34	0	0
37	102.54	9	32728.81	31764.73	20147.77	1	25	440447.34	-436625.51	0	0
38	102.54	7	31846.01	31025.33	19837.89	1	25	436625.51	-431831.12	0	0
39	102.54	5	30902.15	30250.26	19522.46	1	25	431831.12	-426125.29	0	0
40	102.54	4	29897.81	29437.91	19200.64	1	25	426125.29	-419571.56	0	0
41	93.38	2	26303.17	26069.15	17199.64	1	25	419571.56	-412921.82	0	0
42	9.16	1	2531.45	2518.6	1672.53	1	25	412921.82	-412236.64	0	0
43	102.54	0	27709.19	27693.35	18534.34	1	25	412236.64	-404188.94	0	0
44	102.54	2	26525.26	26756.32	18187.93	1	25	404188.94	-395501.57	0	0
45	102.54	3	25281.54	25772.28	17831.27	1	25	395501.57	-386251	0	0
46	102.54	5	23977.79	24737.84	17463.16	1	25	386251	-376517.94	0	0
47	100.97	7	22277.07	23294.57	16822.96	1	25	376517.94	-366546.07	0	0
48	1.57	8	336.79	354.79	259.46	1	25	366546.07	-366387.95	0	0
49	102.54	8	21188.47	22501.7	16687.28	1	25	366387.95	-355951.67	0	0
50	102.54	10	19701.59	21290.49	16276.44	1	25	355951.67	-345306.01	0	0
51	102.54	12	18152.09	20009.71	15847.99	1	25	345306.01	-334554.64	0	0
52	102.54	14	16538.82	18652.7	15399.88	1	25	334554.64	-323808.91	0	0
53	102.54	15	14860.47	17211.75	14929.76	1	25	323808.91	-313189.01	0	0
54	102.54	17	13115.44	15677.96	14434.94	1	25	313189.01	-302825.18	0	0
55	76.89	19	8650.16	10689.22	10482.99	1	25	302825.18	-295307.85	0	0
56	25.65	20	2655.06	3354.3	3430.5	1	25	295307.85	-292860.66	0	0
57	102.54	21	9417.74	12288.55	13358.29	1	25	292860.66	-283447.84	0	0
58	102.54	23	7460.46	10406.41	12768.58	1	25	283447.84	-274758.96	0	0
59	102.54	24	5427.21	8377.48	12138.14	1	25	274758.96	-266983.07	0	0
60	102.54	26	3314.69	6181.33	11460.95	1	25	266983.07	-260330.84	0	0
61	102.54	28	1119.09	3793.28	10729.69	1	25	260330.84	-255038.61	0	0

Tabella 6: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
2	1	12000	11300	3000	2.600
2	2	12000	11300	3050	2.570
2	3	12000	11300	3100	2.540
2	4	12000	11300	3150	2.513
2	5	12000	11300	3200	2.488
2	6	12000	11300	3250	2.464
2	7	12000	11300	3300	2.447
2	8	12000	11300	3350	2.428
2	9	12000	11300	3400	2.410
2	10	12000	11300	3450	2.392
2	11	12000	11300	3500	2.368
3	1	12000	11800	3000	2.997
3	2	12000	11800	3050	2.910
3	3	12000	11800	3100	2.833
3	4	12000	11800	3150	2.767
3	5	12000	11800	3200	2.708

3	6	12000	11800	3250	2.656
3	7	12000	11800	3300	2.609
3	8	12000	11800	3350	2.570
3	9	12000	11800	3400	2.534
3	10	12000	11800	3450	2.501
3	11	12000	11800	3500	2.468
4	1	12000	12300	3000	4.739
4	2	12000	12300	3050	4.404
4	3	12000	12300	3100	4.085
4	4	12000	12300	3150	3.807
4	5	12000	12300	3200	3.584
4	6	12000	12300	3250	3.402
4	7	12000	12300	3300	3.250
4	8	12000	12300	3350	3.123
4	9	12000	12300	3400	3.014
4	10	12000	12300	3450	2.919
4	11	12000	12300	3500	2.842
5	1	12000	12800	3100	27.877
5	2	12000	12800	3150	14.243
5	3	12000	12800	3200	10.038
5	4	12000	12800	3250	7.941
5	5	12000	12800	3300	6.749
5	6	12000	12800	3350	6.024
5	7	12000	12800	3400	5.282
5	8	12000	12800	3450	4.720
5	9	12000	12800	3500	4.305
12	1	12500	10800	3000	2.493
12	2	12500	10800	3050	2.473
12	3	12500	10800	3100	2.454
12	4	12500	10800	3150	2.426
12	5	12500	10800	3200	2.411
12	6	12500	10800	3250	2.398
12	7	12500	10800	3300	2.382
12	8	12500	10800	3350	2.367
12	9	12500	10800	3400	2.354
13	1	12500	11300	3000	2.664
13	2	12500	11300	3050	2.622
13	3	12500	11300	3100	2.582
13	4	12500	11300	3150	2.544
13	5	12500	11300	3200	2.507
13	6	12500	11300	3250	2.470
13	7	12500	11300	3300	2.438
13	8	12500	11300	3350	2.409
13	9	12500	11300	3400	2.382
13	10	12500	11300	3450	2.357
13	11	12500	11300	3500	2.333
14	1	12500	11800	3000	3.394
14	2	12500	11800	3050	3.244
14	3	12500	11800	3100	3.118
14	4	12500	11800	3150	3.014
14	5	12500	11800	3200	2.931
14	6	12500	11800	3250	2.853
14	7	12500	11800	3300	2.781
14	8	12500	11800	3350	2.708
14	9	12500	11800	3400	2.641
14	10	12500	11800	3450	2.583
14	11	12500	11800	3500	2.531
15	1	12500	12300	3000	8.843
15	2	12500	12300	3050	7.200
15	3	12500	12300	3100	6.027

15	4	12500	12300	3150	5.257
15	5	12500	12300	3200	4.711
15	6	12500	12300	3250	4.303
15	7	12500	12300	3300	3.986
15	8	12500	12300	3350	3.733
15	9	12500	12300	3400	3.545
15	10	12500	12300	3450	3.391
15	11	12500	12300	3500	3.248
16	1	12500	12800	3300	31.091
16	2	12500	12800	3350	16.914
16	3	12500	12800	3400	11.687
16	4	12500	12800	3450	8.557
16	5	12500	12800	3500	6.913
23	1	13000	10800	3000	2.489
23	2	13000	10800	3050	2.456
23	3	13000	10800	3100	2.427
23	4	13000	10800	3150	2.401
23	5	13000	10800	3200	2.377
23	6	13000	10800	3250	2.355
23	7	13000	10800	3300	2.335
23	8	13000	10800	3350	2.317
23	9	13000	10800	3400	2.298
23	10	13000	10800	3450	2.286
23	11	13000	10800	3500	2.323
24	1	13000	11300	3000	2.878
24	2	13000	11300	3050	2.790
24	3	13000	11300	3100	2.714
24	4	13000	11300	3150	2.648
24	5	13000	11300	3200	2.589
24	6	13000	11300	3250	2.538
24	7	13000	11300	3300	2.492
24	8	13000	11300	3350	2.451
24	9	13000	11300	3400	2.414
24	10	13000	11300	3450	2.381
24	11	13000	11300	3500	2.354
25	1	13000	11800	3000	4.526
25	2	13000	11800	3050	4.185
25	3	13000	11800	3100	3.900
25	4	13000	11800	3150	3.659
25	5	13000	11800	3200	3.444
25	6	13000	11800	3250	3.263
25	7	13000	11800	3300	3.112
25	8	13000	11800	3350	2.986
25	9	13000	11800	3400	2.878
25	10	13000	11800	3450	2.786
25	11	13000	11800	3500	2.705
26	1	13000	12300	3150	15.732
26	2	13000	12300	3200	10.200
26	3	13000	12300	3250	7.767
26	4	13000	12300	3300	6.405
26	5	13000	12300	3350	5.619
26	6	13000	12300	3400	5.014
26	7	13000	12300	3450	4.517
26	8	13000	12300	3500	4.112
34	1	13500	10800	3000	2.596
34	2	13500	10800	3050	2.544
34	3	13500	10800	3100	2.500
34	4	13500	10800	3150	2.462
34	5	13500	10800	3200	2.426
34	6	13500	10800	3250	2.392



34	7	13500	10800	3300	2.362
34	8	13500	10800	3350	2.330
34	9	13500	10800	3400	2.303
34	10	13500	10800	3450	2.298
34	11	13500	10800	3500	2.623
35	1	13500	11300	3000	3.429
35	2	13500	11300	3050	3.244
35	3	13500	11300	3100	3.092
35	4	13500	11300	3150	2.965
35	5	13500	11300	3200	2.858
35	6	13500	11300	3250	2.773
35	7	13500	11300	3300	2.697
35	8	13500	11300	3350	2.629
35	9	13500	11300	3400	2.568
35	10	13500	11300	3450	2.510
35	11	13500	11300	3500	2.456
36	1	13500	11800	3000	11.712
36	2	13500	11800	3050	8.534
36	3	13500	11800	3100	6.819
36	4	13500	11800	3150	5.732
36	5	13500	11800	3200	4.995
36	6	13500	11800	3250	4.454
36	7	13500	11800	3300	4.048
36	8	13500	11800	3350	3.739
36	9	13500	11800	3400	3.496
36	10	13500	11800	3450	3.311
36	11	13500	11800	3500	3.159
37	1	13500	12300	3400	15.847
37	2	13500	12300	3450	10.321
37	3	13500	12300	3500	7.752
45	1	14000	10800	3000	2.936
45	2	14000	10800	3050	2.834
45	3	14000	10800	3100	2.745
45	4	14000	10800	3150	2.665
45	5	14000	10800	3200	2.595
45	6	14000	10800	3250	2.534
45	7	14000	10800	3300	2.477
45	8	14000	10800	3350	2.427
45	9	14000	10800	3400	2.382
45	10	14000	10800	3450	2.756
45	11	14000	10800	3500	2.871
46	1	14000	11300	3000	5.256
46	2	14000	11300	3050	4.669
46	3	14000	11300	3100	4.229
46	4	14000	11300	3150	3.889
46	5	14000	11300	3200	3.618
46	6	14000	11300	3250	3.397
46	7	14000	11300	3300	3.213
46	8	14000	11300	3350	3.057
46	9	14000	11300	3400	2.925
46	10	14000	11300	3450	2.811
46	11	14000	11300	3500	2.711
47	1	14000	11800	3200	19.494
47	2	14000	11800	3250	11.660
47	3	14000	11800	3300	8.493
47	4	14000	11800	3350	6.782
47	5	14000	11800	3400	5.711
47	6	14000	11800	3450	4.980
47	7	14000	11800	3500	4.449
56	1	14500	10800	3000	3.732

56	2	14500	10800	3050	3.497
56	3	14500	10800	3100	3.303
56	4	14500	10800	3150	3.140
56	5	14500	10800	3200	3.002
56	6	14500	10800	3250	2.884
56	7	14500	10800	3300	2.782
56	8	14500	10800	3350	2.693
56	9	14500	10800	3400	3.032
56	10	14500	10800	3450	3.042
56	11	14500	10800	3500	3.028
57	1	14500	11300	3000	25.490
57	2	14500	11300	3050	13.425
57	3	14500	11300	3100	9.334
57	4	14500	11300	3150	7.277
57	5	14500	11300	3200	6.041
57	6	14500	11300	3250	5.218
57	7	14500	11300	3300	4.631
57	8	14500	11300	3350	4.191
57	9	14500	11300	3400	3.851
57	10	14500	11300	3450	3.580
57	11	14500	11300	3500	3.359
58	1	14500	11800	3450	19.403
58	2	14500	11800	3500	11.613
67	1	15000	10800	3000	6.418
67	2	15000	10800	3050	5.484
67	3	15000	10800	3100	4.831
67	4	15000	10800	3150	4.350
67	5	15000	10800	3200	3.981
67	6	15000	10800	3250	3.690
67	7	15000	10800	3300	3.454
67	8	15000	10800	3350	3.537
67	9	15000	10800	3400	3.491
67	10	15000	10800	3450	3.417
67	11	15000	10800	3500	3.337
68	1	15000	11300	3250	25.345
68	2	15000	11300	3300	13.367
68	3	15000	11300	3350	9.291
68	4	15000	11300	3400	7.240
68	5	15000	11300	3450	6.007
68	6	15000	11300	3500	5.185
78	1	15500	10800	3100	15.802
78	2	15500	10800	3150	10.330
78	3	15500	10800	3200	7.819
78	4	15500	10800	3250	6.379
78	5	15500	10800	3300	5.447
78	6	15500	10800	3350	4.967
78	7	15500	10800	3400	4.624
78	8	15500	10800	3450	4.331
78	9	15500	10800	3500	4.083
79	1	15500	11300	3500	25.206
89	1	16000	10800	3350	15.732
89	2	16000	10800	3400	10.291
89	3	16000	10800	3450	7.955
89	4	16000	10800	3500	6.629

6 Confronto tra i fattori di sicurezza ottenuti.

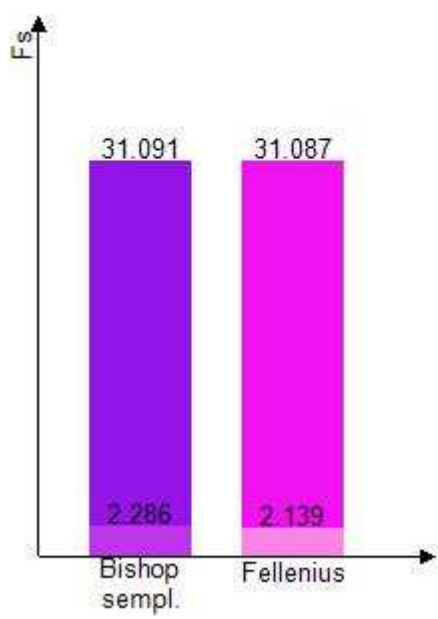


Figura 7: Confronto tra i fattori di sicurezza calcolati

## Relazione di Calcolo Sismico



**CDM DOLMEN**  
CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO

Relazione di calcolo: verifica di stabilità del fronte di scavo in condizioni sismiche

Porzione superiore del fronte di scavo, sagomata nella copertura sterile marnosa

# 1 Caratteristiche terreni.

## Marna argillosa

Coesione: 1 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 25 [°]

Peso secco: 0.00191 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00201 [daN/cm<sup>3</sup>]

## Gesso macrocristallino

Coesione: 2 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 35 [°]

Peso secco: 0.00214 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00224 [daN/cm<sup>3</sup>]

# 2 Stratigrafia.

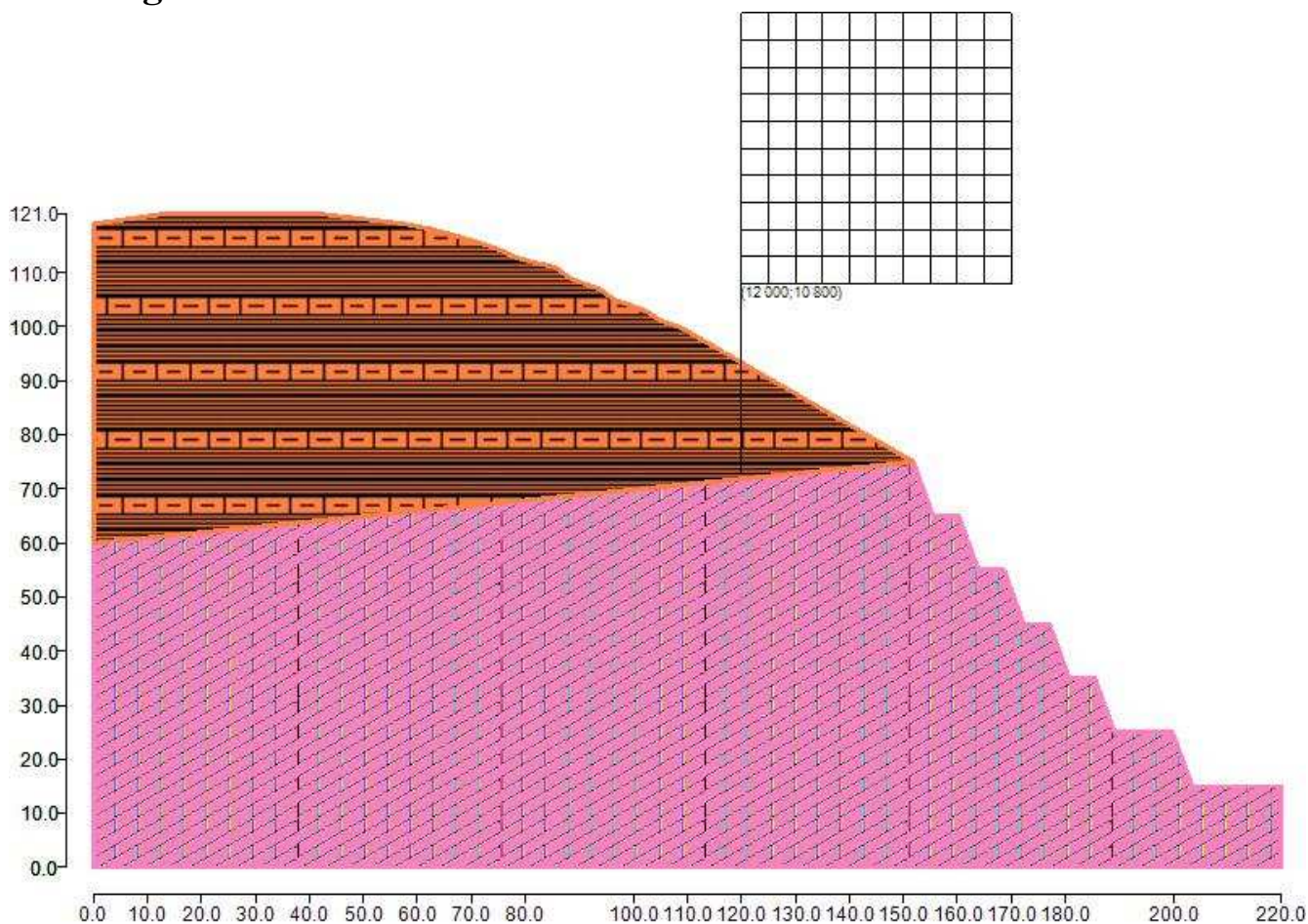


Figura 1: Rappresentazione del pendio.

Sono stati definiti 2 strati di cui si riportano le coordinate.

#### Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	0	6000
2	15187.41	7500
3	15260.31	7300
4	15406.1	6900
5	15551.9	6500
6	16027.53	6500
7	16100.43	6300
8	16246.22	5900
9	16392.02	5500
10	16867.65	5500
11	16977	5200
12	17122.79	4800
13	17232.14	4500
14	17707.78	4500
15	17817.12	4200
16	17926.47	3900
17	18072.26	3500
18	18547.9	3500
19	18657.24	3200
20	18803.68	2800
21	18912.38	2500
22	19988.2	2500
23	20133.99	2100
24	20243.34	1800
25	20352.68	1500
26	22000	1500
27	22000	0
28	0	0

Tabella 1: Coordinate dello strato n. 1

Tipo di terreno presente nello strato 1: Gesso macrocristallino.

#### Strato 2

	x [cm]	y [cm]
1	0	11900
2	1404.09	12100
3	4078.67	12100
4	5770.74	11900
5	6278.09	11800
6	6997.3	11600
7	7310.62	11500
8	7578.45	11400
9	7765.9	11300
10	8117.8	11200
11	8554.29	11100
12	8820.72	10900
13	9075.87	10800
14	9372.35	10700
15	9646.45	10500
16	10210.98	10300

17	10530.89	10099.85
18	10827.58	10000
19	11025.06	9900
20	11371.92	9700
21	11718.78	9500
22	12239.08	9200
23	12932.8	8800
24	13453.1	8500
25	14146.82	8100
26	15187.41	7500
27	0	6000

Tabella 2: Coordinate dello strato n. 2

Tipo di terreno presente nello strato 2: Marna argillosa.

### 3 Normativa di riferimento.

La normativa utilizzata per quanto riguarda il calcolo statico è:

NTC 2018: Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

L'approccio progettuale che è stato scelto è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1$
- per il peso di volume:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.2$
- per gli ancoraggi:  $\gamma_a = 1.2$ ,  $\xi_a = 1.8$
- per i pali (trasversale):  $\gamma_p = 1.6$ ,  $\xi_p = 1.7$
- per le terre rinforzate (sfilamento):  $\gamma_{T,po} = 2.5$
- per le terre rinforzate (scorrimento diretto):  $\gamma_{T,ds} = 1.5$
- per le terre rinforzate (resistenza a trazione):  $\gamma_{T,rt} = 1.5$
- per le opere di sostegno (scorrimento piano di posa):  $\gamma_{R,h} = 1$
- per le opere di sostegno (capacità portante piano di posa):  $\gamma_{R,v} = 1.2$
- per le opere di sostegno (ribaltamento):  $\gamma_{R,o} = 1$

### 4 Calcolo sismico.

L'analisi della stabilità del pendio è eseguita in accordo con quanto previsto dalle Nuove Norme Tecniche, ossia si applica un'azione pseudostatica equivalente proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno parzialmente instabile. Il calcolo è svolto secondo quanto previsto dal paragrafo 7.11.3.5.2 Metodi di analisi.

Il fattore di amplificazione spettrale massima è pari a 2.6963 e l'accelerazione massima orizzontale attesa dal sito è pari a  $0.4152 [m/s^2]$ .

La categoria di sottosuolo è la categoria C, la categoria topografica è la categoria T2.

Il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_s$  è ricavato dalla Tabella 7.11.I, e vale 0.20.

Il coefficiente sismico orizzontale ricavato è pari a: 0.015.

## 5 Generazione superfici di rottura.

Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

La maglia di centri ha origine nel punto C (12000 [cm], 10800 [cm]), in direzione orizzontale ha passo pari a 500 [cm], in direzione verticale ha passo pari a 500 [cm].

Il raggio iniziale è pari a 3000 cm, si hanno 103000 [cm], si hanno 10 incrementi di 50 [cm].

Il numero di centri è 121 ed il numero di superfici circolari generate è 250.

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.

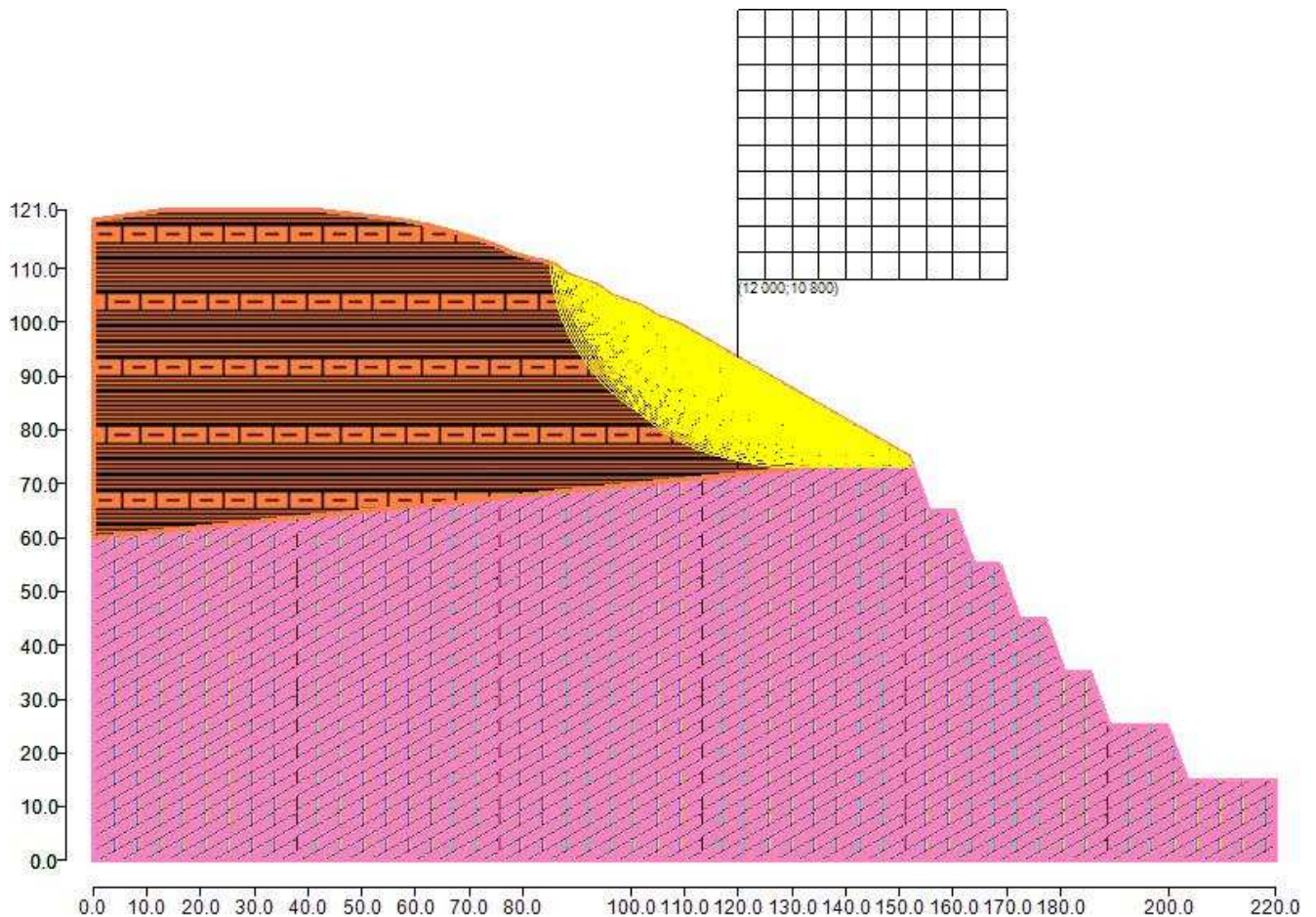


Figura 2: Superfici di rottura e maglia centri

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

- sisma



## 6 Metodi utilizzati nel calcolo.

### Metodo di FELLENIUS (1927)

Metodo valido per superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Per ciascuna striscia si fa l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base, l'ipotesi semplificativa consiste nel trascurare le forze di interstriscia ( $E = X = 0$ ). Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **2.606** ( $>1.200$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 23 e della superficie numero 10. Le coordinate del centro sono: C (13000 [cm] , 10800 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3450 [cm].

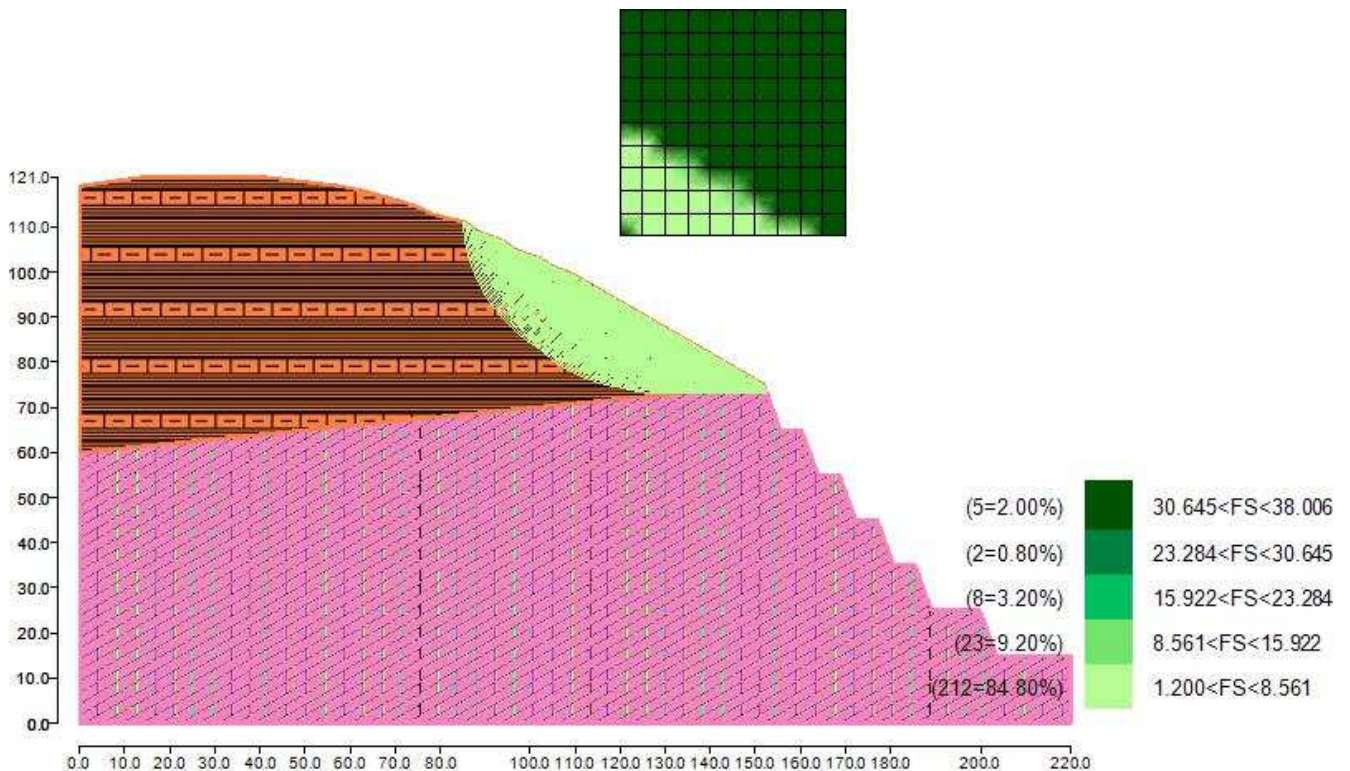


Figura 3: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

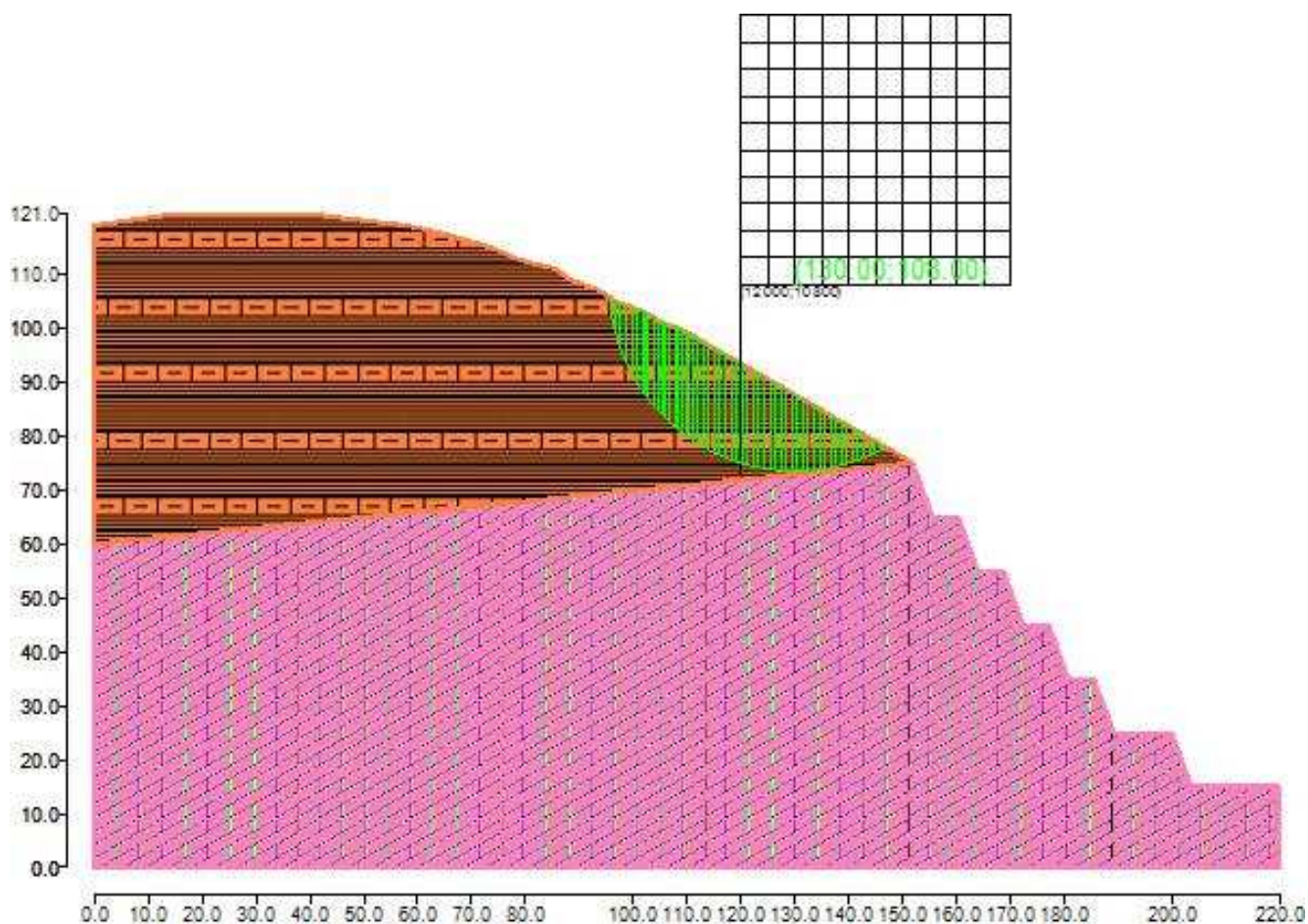


Figura 4: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 3: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	88.4	81	4306.21	584.99	58405.65	11	25	0	0	0	0
2	14.14	76	1446.97	327.53	5971.75	11	25	0	0	0	0
3	102.54	73	13846.83	3906.8	36120.82	11	25	0	0	0	0
4	102.54	68	18768.1	6855.05	30022.83	11	25	0	0	0	0
5	102.54	63	22489.19	9687.54	27416.36	11	25	0	0	0	0
6	102.54	60	25508.23	12396.52	26167.33	11	25	0	0	0	0
7	102.54	57	28043.04	14977.62	25594.08	11	25	0	0	0	0
8	37.68	54	10873.47	6134.38	9345.28	11	25	0	0	0	0
9	64.87	53	19247.78	11248.89	16035.22	11	25	0	0	0	0
10	102.54	51	31477.33	19370.48	25257.56	11	25	0	0	0	0
11	102.54	48	32574.35	21185.99	25256.87	11	25	0	0	0	0
12	49.96	46	16210.75	10935.79	12330.39	11	25	0	0	0	0
13	52.59	45	17344.93	11966.86	13027.44	11	25	0	0	0	0
14	102.54	43	34774.34	24754.58	25631.47	11	25	0	0	0	0
15	102.54	41	35917.23	26543.67	25963.42	11	25	0	0	0	0
16	39.02	39	13941.22	10548.59	9971.75	11	25	0	0	0	0
17	63.52	38	22921.49	17620.98	16317.39	11	25	0	0	0	0
18	102.54	37	37415.93	29461.04	26514.22	11	25	0	0	0	0
19	31.41	35	11553.84	9262.94	8165.57	11	25	0	0	0	0
20	71.13	34	26254.02	21322.01	18543.38	11	25	0	0	0	0
21	102.54	32	37980.91	31483.72	26837.21	11	25	0	0	0	0
22	102.54	30	38053.37	32248.61	26937.05	11	25	0	0	0	0

23	70.64	29	26211.97	22595.95	18600.47	11	25	0	0	0	0
24	31.9	28	11825.11	10290.72	8406.6	11	25	0	0	0	0
25	102.54	27	37923.22	33389.97	27038.8	11	25	0	0	0	0
26	102.54	25	37730.42	33772.11	27036.67	11	25	0	0	0	0
27	102.54	23	37457.89	34032.21	26997.44	11	25	0	0	0	0
28	7.33	22	2666.78	2440.93	1928.41	11	25	0	0	0	0
29	95.21	21	34443.43	31732.86	24992.41	11	25	0	0	0	0
30	102.54	19	36686.62	34196.94	26804.89	11	25	0	0	0	0
31	102.54	17	36193.31	34106.79	26650.92	11	25	0	0	0	0
32	102.54	16	35631.23	33905.06	26458.45	11	25	0	0	0	0
33	102.54	14	35002.26	33594.34	26227.69	11	25	0	0	0	0
34	14.92	13	5036.99	4855.96	3794.73	11	25	0	0	0	0
35	87.62	12	29272.98	28322.56	22165.08	11	25	0	0	0	0
36	102.54	10	33549.78	32656.15	25652.98	11	25	0	0	0	0
37	102.54	9	32728.81	32033.87	25310.21	11	25	0	0	0	0
38	102.54	7	31846.01	31312.96	24931.49	11	25	0	0	0	0
39	102.54	5	30902.15	30496.09	24517.7	11	25	0	0	0	0
40	102.54	4	29897.81	29585.97	24069.84	11	25	0	0	0	0
41	93.38	2	26303.17	26075.25	21502.39	11	25	0	0	0	0
42	9.16	1	2531.45	2511.04	2087.15	11	25	0	0	0	0
43	102.54	0	27709.19	27497.14	23076.43	11	25	0	0	0	0
44	102.54	2	26525.26	26324.19	22533.41	11	25	0	0	0	0
45	102.54	3	25281.54	25069.53	21961.39	11	25	0	0	0	0
46	102.54	5	23977.79	23736.26	21361.91	11	25	0	0	0	0
47	100.97	7	22277.07	21995.83	20423.09	11	25	0	0	0	0
48	1.57	8	336.79	331.99	313.69	11	25	0	0	0	0
49	102.54	8	21188.47	20846.97	20087.49	11	25	0	0	0	0
50	102.54	10	19701.59	19297.85	19416.37	11	25	0	0	0	0
51	102.54	12	18152.09	17683.96	18725.48	11	25	0	0	0	0
52	102.54	14	16538.82	16009.23	18017.18	11	25	0	0	0	0
53	102.54	15	14860.47	14277.81	17294.07	11	25	0	0	0	0
54	102.54	17	13115.44	12494.09	16559.01	11	25	0	0	0	0
55	76.89	19	8650.16	8171.47	11929.69	11	25	0	0	0	0
56	25.65	20	2655.06	2495.12	3887.48	11	25	0	0	0	0
57	102.54	21	9417.74	8789.03	15066.01	11	25	0	0	0	0
58	102.54	23	7460.46	6878.23	14315.51	11	25	0	0	0	0
59	102.54	24	5427.21	4936.37	13568.06	11	25	0	0	0	0
60	102.54	26	3314.69	2969.95	12828.69	11	25	0	0	0	0
61	102.54	28	1119.09	986.15	12103.13	11	25	0	0	0	0

Tabella 4: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
2	1	120 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	3.011
2	2	120 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	2.967
2	3	120 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	2.925
2	4	120 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	2.887
2	5	120 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	2.852
2	6	120 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.821
2	7	120 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.797
2	8	120 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.770
2	9	120 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.745
2	10	120 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.720
2	11	120 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.685
3	1	120 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	3.561
3	2	120 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	3.447
3	3	120 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	3.348
3	4	120 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	3.262

3	5	120 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	3.184
3	6	120 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	3.115
3	7	120 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	3.052
3	8	120 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	3.002
3	9	120 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	2.955
3	10	120 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	2.911
3	11	120 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	2.867
4	1	120 [cm]	123 [cm]	30 [cm]	5.744
4	2	120 [cm]	123 [cm]	30.5 [cm]	5.335
4	3	120 [cm]	123 [cm]	31 [cm]	4.940
4	4	120 [cm]	123 [cm]	31.5 [cm]	4.592
4	5	120 [cm]	123 [cm]	32 [cm]	4.313
4	6	120 [cm]	123 [cm]	32.5 [cm]	4.084
4	7	120 [cm]	123 [cm]	33 [cm]	3.893
4	8	120 [cm]	123 [cm]	33.5 [cm]	3.733
4	9	120 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	3.594
4	10	120 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	3.473
4	11	120 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	3.375
5	1	120 [cm]	128 [cm]	31 [cm]	34.000
5	2	120 [cm]	128 [cm]	31.5 [cm]	17.366
5	3	120 [cm]	128 [cm]	32 [cm]	12.228
5	4	120 [cm]	128 [cm]	32.5 [cm]	9.664
5	5	120 [cm]	128 [cm]	33 [cm]	8.207
5	6	120 [cm]	128 [cm]	33.5 [cm]	7.328
5	7	120 [cm]	128 [cm]	34 [cm]	6.416
5	8	120 [cm]	128 [cm]	34.5 [cm]	5.724
5	9	120 [cm]	128 [cm]	35 [cm]	5.210
12	1	125 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	2.863
12	2	125 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.836
12	3	125 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.809
12	4	125 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.773
12	5	125 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.747
12	6	125 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.724
12	7	125 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.699
12	8	125 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.676
12	9	125 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.654
13	1	125 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	3.131
13	2	125 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	3.076
13	3	125 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	3.024
13	4	125 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	2.974
13	5	125 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	2.923
13	6	125 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.872
13	7	125 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.826
13	8	125 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.784
13	9	125 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.746
13	10	125 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.711
13	11	125 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.677
14	1	125 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	4.080
14	2	125 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	3.892
14	3	125 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	3.732
14	4	125 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	3.601
14	5	125 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	3.497
14	6	125 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	3.399
14	7	125 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	3.307
14	8	125 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	3.211
14	9	125 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	3.123
14	10	125 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	3.046
14	11	125 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	2.976
15	1	125 [cm]	123 [cm]	30 [cm]	10.801

15	2	125 [cm]	123 [cm]	30.5 [cm]	8.789
15	3	125 [cm]	123 [cm]	31 [cm]	7.345
15	4	125 [cm]	123 [cm]	31.5 [cm]	6.396
15	5	125 [cm]	123 [cm]	32 [cm]	5.722
15	6	125 [cm]	123 [cm]	32.5 [cm]	5.217
15	7	125 [cm]	123 [cm]	33 [cm]	4.824
15	8	125 [cm]	123 [cm]	33.5 [cm]	4.509
15	9	125 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	4.277
15	10	125 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	4.087
15	11	125 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	3.911
16	1	125 [cm]	128 [cm]	33 [cm]	38.006
16	2	125 [cm]	128 [cm]	33.5 [cm]	20.658
16	3	125 [cm]	128 [cm]	34 [cm]	14.278
16	4	125 [cm]	128 [cm]	34.5 [cm]	10.444
16	5	125 [cm]	128 [cm]	35 [cm]	8.427
23	1	130 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	2.895
23	2	130 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.850
23	3	130 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.808
23	4	130 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.771
23	5	130 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.736
23	6	130 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.705
23	7	130 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.676
23	8	130 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.649
23	9	130 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.623
23	10	130 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	2.606
23	11	130 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	2.641
24	1	130 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	3.433
24	2	130 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	3.319
24	3	130 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	3.220
24	4	130 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	3.133
24	5	130 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	3.056
24	6	130 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	2.987
24	7	130 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	2.926
24	8	130 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	2.870
24	9	130 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	2.820
24	10	130 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.775
24	11	130 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.740
25	1	130 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	5.498
25	2	130 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	5.079
25	3	130 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	4.727
25	4	130 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	4.429
25	5	130 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	4.159
25	6	130 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	3.930
25	7	130 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	3.740
25	8	130 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	3.580
25	9	130 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	3.443
25	10	130 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	3.324
25	11	130 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	3.221
26	1	130 [cm]	123 [cm]	31.5 [cm]	19.278
26	2	130 [cm]	123 [cm]	32 [cm]	12.483
26	3	130 [cm]	123 [cm]	32.5 [cm]	9.491
26	4	130 [cm]	123 [cm]	33 [cm]	7.814
26	5	130 [cm]	123 [cm]	33.5 [cm]	6.850
26	6	130 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	6.109
26	7	130 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	5.496
26	8	130 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	4.992
34	1	135 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	3.060
34	2	135 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	2.991
34	3	135 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	2.935

34	4	135 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	2.883
34	5	135 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	2.836
34	6	135 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.791
34	7	135 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.749
34	8	135 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.707
34	9	135 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.668
34	10	135 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	2.652
34	11	135 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	2.997
35	1	135 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	4.140
35	2	135 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	3.906
35	3	135 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	3.714
35	4	135 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	3.553
35	5	135 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	3.416
35	6	135 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	3.309
35	7	135 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	3.213
35	8	135 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	3.125
35	9	135 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	3.046
35	10	135 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	2.971
35	11	135 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	2.899
36	1	135 [cm]	118 [cm]	30 [cm]	14.348
36	2	135 [cm]	118 [cm]	30.5 [cm]	10.445
36	3	135 [cm]	118 [cm]	31 [cm]	8.337
36	4	135 [cm]	118 [cm]	31.5 [cm]	6.999
36	5	135 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	6.089
36	6	135 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	5.419
36	7	135 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	4.914
36	8	135 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	4.530
36	9	135 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	4.227
36	10	135 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	3.996
36	11	135 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	3.808
37	1	135 [cm]	123 [cm]	34 [cm]	19.424
37	2	135 [cm]	123 [cm]	34.5 [cm]	12.641
37	3	135 [cm]	123 [cm]	35 [cm]	9.483
45	1	140 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	3.516
45	2	140 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	3.386
45	3	140 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	3.271
45	4	140 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	3.168
45	5	140 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	3.077
45	6	140 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	2.997
45	7	140 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	2.922
45	8	140 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	2.855
45	9	140 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	2.794
45	10	140 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	3.193
45	11	140 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	3.312
46	1	140 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	6.411
46	2	140 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	5.686
46	3	140 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	5.142
46	4	140 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	4.720
46	5	140 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	4.383
46	6	140 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	4.107
46	7	140 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	3.877
46	8	140 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	3.680
46	9	140 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	3.514
46	10	140 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	3.367
46	11	140 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	3.239
47	1	140 [cm]	118 [cm]	32 [cm]	23.900
47	2	140 [cm]	118 [cm]	32.5 [cm]	14.285
47	3	140 [cm]	118 [cm]	33 [cm]	10.396
47	4	140 [cm]	118 [cm]	33.5 [cm]	8.292

47	5	140 [cm]	118 [cm]	34 [cm]	6.975
47	6	140 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	6.074
47	7	140 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	5.418
56	1	145 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	4.522
56	2	145 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	4.229
56	3	145 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	3.986
56	4	145 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	3.781
56	5	145 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	3.608
56	6	145 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	3.458
56	7	145 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	3.328
56	8	145 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	3.214
56	9	145 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	3.580
56	10	145 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	3.584
56	11	145 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	3.561
57	1	145 [cm]	113 [cm]	30 [cm]	31.258
57	2	145 [cm]	113 [cm]	30.5 [cm]	16.452
57	3	145 [cm]	113 [cm]	31 [cm]	11.428
57	4	145 [cm]	113 [cm]	31.5 [cm]	8.901
57	5	145 [cm]	113 [cm]	32 [cm]	7.381
57	6	145 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	6.366
57	7	145 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	5.642
57	8	145 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	5.098
57	9	145 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	4.676
57	10	145 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	4.340
57	11	145 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	4.064
58	1	145 [cm]	118 [cm]	34.5 [cm]	23.789
58	2	145 [cm]	118 [cm]	35 [cm]	14.227
67	1	150 [cm]	108 [cm]	30 [cm]	7.843
67	2	150 [cm]	108 [cm]	30.5 [cm]	6.693
67	3	150 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	5.888
67	4	150 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	5.293
67	5	150 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	4.836
67	6	150 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	4.473
67	7	150 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	4.180
67	8	150 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	4.256
67	9	150 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	4.190
67	10	150 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	4.094
67	11	150 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	3.992
68	1	150 [cm]	113 [cm]	32.5 [cm]	31.080
68	2	150 [cm]	113 [cm]	33 [cm]	16.380
68	3	150 [cm]	113 [cm]	33.5 [cm]	11.377
68	4	150 [cm]	113 [cm]	34 [cm]	8.857
68	5	150 [cm]	113 [cm]	34.5 [cm]	7.340
68	6	150 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	6.327
78	1	155 [cm]	108 [cm]	31 [cm]	19.369
78	2	155 [cm]	108 [cm]	31.5 [cm]	12.652
78	3	155 [cm]	108 [cm]	32 [cm]	9.567
78	4	155 [cm]	108 [cm]	32.5 [cm]	7.797
78	5	155 [cm]	108 [cm]	33 [cm]	6.649
78	6	155 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	6.051
78	7	155 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	5.624
78	8	155 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	5.261
78	9	155 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	4.953
79	1	155 [cm]	113 [cm]	35 [cm]	30.910
89	1	160 [cm]	108 [cm]	33.5 [cm]	19.284
89	2	160 [cm]	108 [cm]	34 [cm]	12.604
89	3	160 [cm]	108 [cm]	34.5 [cm]	9.741
89	4	160 [cm]	108 [cm]	35 [cm]	8.115



### Metodo di BISHOP (1955)

Il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **2.784 (>1.200)**, si ha in corrispondenza del centro numero 23 e della superficie numero 10. Le coordinate del centro sono: C (13000 [cm] ,10800 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3450 [cm].

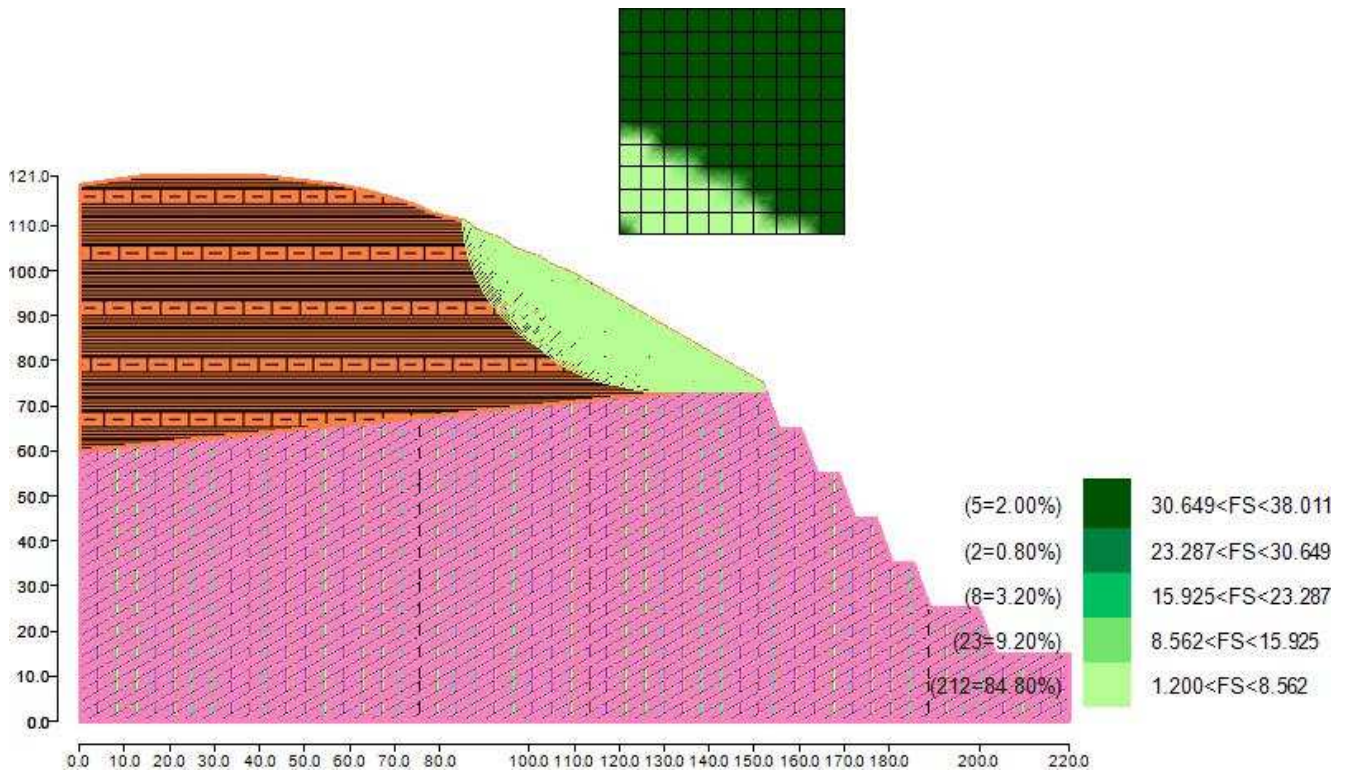


Figura 5: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri



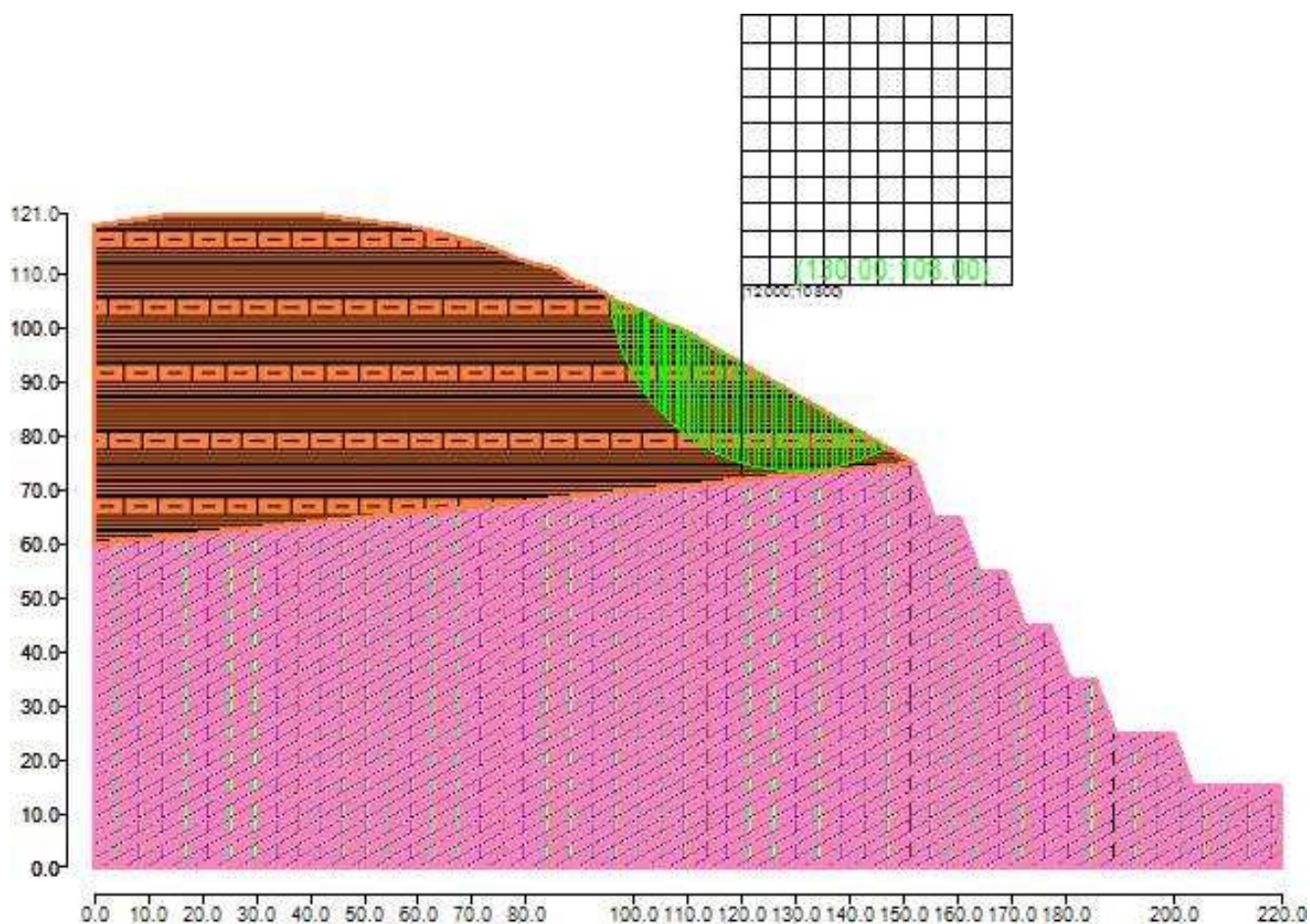


Figura 6: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 5: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	88.4	81	4306.21	-51503.58	34116.35	1	25	0	-15592.08	0	0
2	14.14	76	1446.97	-1456.7	5139.75	1	25	15592.08	-19501.28	0	0
3	102.54	73	13846.83	4340.04	36322.85	1	25	19501.28	-50532.59	0	0
4	102.54	68	18768.1	18112.89	35272.45	1	25	50532.59	-83180.47	0	0
5	102.54	63	22489.19	25050.16	34580.07	1	25	83180.47	-115670.6	0	0
6	102.54	60	25508.23	29317.16	34057.55	1	25	115670.6	-147329.68	0	0
7	102.54	57	28043.04	32218.79	33633.77	1	25	147329.68	-177829.28	0	0
8	37.68	54	10873.47	12402.61	12268.2	1	25	177829.28	-188707.06	0	0
9	64.87	53	19247.78	21777.46	20944.77	1	25	188707.06	-206870.6	0	0
10	102.54	51	31477.33	35081.92	32583.92	1	25	206870.6	-233955.62	0	0
11	102.54	48	32574.35	35639.98	31996.88	1	25	233955.62	-259090.84	0	0
12	49.96	46	16210.75	17502.33	15392.42	1	25	259090.84	-270646.08	0	0
13	52.59	45	17344.93	18577.04	16109.82	1	25	270646.08	-282388.31	0	0
14	102.54	43	34774.34	36837.12	31265.66	1	25	282388.31	-304205.18	0	0
15	102.54	41	35917.23	37525.23	31084.21	1	25	304205.18	-324571.47	0	0
16	39.02	39	13941.22	14435.12	11784.06	1	25	324571.47	-331936.42	0	0
17	63.52	38	22921.49	23581.76	19096.94	1	25	331936.42	-343429.26	0	0
18	102.54	37	37415.93	38112.01	30548.23	1	25	343429.26	-360629.09	0	0
19	31.41	35	11553.84	11681.43	9293.33	1	25	360629.09	-365569.14	0	0
20	71.13	34	26254.02	26400.33	20911.44	1	25	365569.14	-376172.69	0	0

21	102.54	32	37980.91	37867.54	29814.03	1	25	376172.69	-390044.62	0	0
22	102.54	30	38053.37	37600.74	29432.78	1	25	390044.62	-402289.51	0	0
23	70.64	29	26211.97	25727.93	20060.93	1	25	402289.51	-409803.76	0	0
24	31.9	28	11825.11	11565.36	9000.97	1	25	409803.76	-412955.07	0	0
25	102.54	27	37923.22	36932.19	28690.56	1	25	412955.07	-422084.18	0	0
26	102.54	25	37730.42	36538.12	28326.48	1	25	422084.18	-429724.95	0	0
27	102.54	23	37457.89	36107.8	27965.3	1	25	429724.95	-435924.21	0	0
28	7.33	22	2666.78	2565.41	1986.46	1	25	435924.21	-436313.73	0	0
29	95.21	21	34443.43	33079.18	25620.21	1	25	436313.73	-440729.81	0	0
30	102.54	19	36686.62	35145.2	27247.07	1	25	440729.81	-444188.97	0	0
31	102.54	17	36193.31	34615.04	26887.92	1	25	444188.97	-446351.06	0	0
32	102.54	16	35631.23	34053.04	26527.45	1	25	446351.06	-447266.03	0	0
33	102.54	14	35002.26	33459.28	26164.71	1	25	447266.03	-446984.98	0	0
34	14.92	13	5036.99	4817.62	3776.85	1	25	446984.98	-446847.8	0	0
35	87.62	12	29272.98	28018.37	22023.24	1	25	446847.8	-445561.07	0	0
36	102.54	10	33549.78	32175.36	25428.79	1	25	445561.07	-443046.86	0	0
37	102.54	9	32728.81	31483.93	25053.77	1	25	443046.86	-439498.74	0	0
38	102.54	7	31846.01	30758.21	24672.8	1	25	439498.74	-434974.37	0	0
39	102.54	5	30902.15	29996.89	24284.92	1	25	434974.37	-429533.52	0	0
40	102.54	4	29897.81	29198.37	23889.1	1	25	429533.52	-423238.43	0	0
41	93.38	2	26303.17	25863.13	21403.48	1	25	423238.43	-416817.57	0	0
42	9.16	1	2531.45	2499.01	2081.53	1	25	416817.57	-416154.47	0	0
43	102.54	0	27709.19	27481.83	23069.29	1	25	416154.47	-408348.7	0	0
44	102.54	2	26525.26	26559.05	22642.93	1	25	408348.7	-399892.89	0	0
45	102.54	3	25281.54	25589.46	22203.84	1	25	399892.89	-390862.13	0	0
46	102.54	5	23977.79	24569.72	21750.55	1	25	390862.13	-381335.74	0	0
47	100.97	7	22277.07	23143.64	20958.32	1	25	381335.74	-371553.12	0	0
48	1.57	8	336.79	352.56	323.28	1	25	371553.12	-371397.83	0	0
49	102.54	8	21188.47	22363.79	20794.79	1	25	371397.83	-361137.6	0	0
50	102.54	10	19701.59	21168.18	20288.52	1	25	361137.6	-350650.45	0	0
51	102.54	12	18152.09	19903.39	19760.41	1	25	350650.45	-340038.51	0	0
52	102.54	14	16538.82	18562.78	19207.92	1	25	340038.51	-329411.53	0	0
53	102.54	15	14860.47	17138.71	18628.14	1	25	329411.53	-318888.05	0	0
54	102.54	17	13115.44	15622.32	18017.73	1	25	318888.05	-308596.58	0	0
55	76.89	19	8650.16	10659.24	13089.76	1	25	308596.58	-301116.64	0	0
56	25.65	20	2655.06	3346.58	4284.52	1	25	301116.64	-298678.57	0	0
57	102.54	21	9417.74	12269.48	16688.97	1	25	298678.57	-289284.47	0	0
58	102.54	23	7460.46	10406.64	15960.83	1	25	289284.47	-280584.55	0	0
59	102.54	24	5427.21	8397.78	15182.14	1	25	280584.55	-272765.74	0	0
60	102.54	26	3314.69	6222.55	14345.4	1	25	272765.74	-266036.45	0	0
61	102.54	28	1119.09	3856.34	13441.52	1	25	266036.45	-260630.61	0	0

Tabella 6: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
2	1	12000	11300	3000	3.165
2	2	12000	11300	3050	3.127
2	3	12000	11300	3100	3.090
2	4	12000	11300	3150	3.057
2	5	12000	11300	3200	3.026
2	6	12000	11300	3250	2.997
2	7	12000	11300	3300	2.976
2	8	12000	11300	3350	2.952
2	9	12000	11300	3400	2.930
2	10	12000	11300	3450	2.908

2	11	12000	11300	3500	2.879
3	1	12000	11800	3000	3.650
3	2	12000	11800	3050	3.543
3	3	12000	11800	3100	3.450
3	4	12000	11800	3150	3.369
3	5	12000	11800	3200	3.296
3	6	12000	11800	3250	3.232
3	7	12000	11800	3300	3.174
3	8	12000	11800	3350	3.127
3	9	12000	11800	3400	3.083
3	10	12000	11800	3450	3.042
3	11	12000	11800	3500	3.001
4	1	12000	12300	3000	5.776
4	2	12000	12300	3050	5.367
4	3	12000	12300	3100	4.978
4	4	12000	12300	3150	4.638
4	5	12000	12300	3200	4.366
4	6	12000	12300	3250	4.143
4	7	12000	12300	3300	3.958
4	8	12000	12300	3350	3.803
4	9	12000	12300	3400	3.670
4	10	12000	12300	3450	3.554
4	11	12000	12300	3500	3.459
5	1	12000	12800	3100	34.000
5	2	12000	12800	3150	17.375
5	3	12000	12800	3200	12.241
5	4	12000	12800	3250	9.681
5	5	12000	12800	3300	8.225
5	6	12000	12800	3350	7.341
5	7	12000	12800	3400	6.436
5	8	12000	12800	3450	5.752
5	9	12000	12800	3500	5.245
12	1	12500	10800	3000	3.035
12	2	12500	10800	3050	3.011
12	3	12500	10800	3100	2.987
12	4	12500	10800	3150	2.953
12	5	12500	10800	3200	2.934
12	6	12500	10800	3250	2.918
12	7	12500	10800	3300	2.898
12	8	12500	10800	3350	2.880
12	9	12500	10800	3400	2.864
13	1	12500	11300	3000	3.246
13	2	12500	11300	3050	3.194
13	3	12500	11300	3100	3.145
13	4	12500	11300	3150	3.099
13	5	12500	11300	3200	3.052
13	6	12500	11300	3250	3.008
13	7	12500	11300	3300	2.968
13	8	12500	11300	3350	2.932
13	9	12500	11300	3400	2.899
13	10	12500	11300	3450	2.869
13	11	12500	11300	3500	2.840
14	1	12500	11800	3000	4.140
14	2	12500	11800	3050	3.957
14	3	12500	11800	3100	3.802
14	4	12500	11800	3150	3.675
14	5	12500	11800	3200	3.573
14	6	12500	11800	3250	3.477
14	7	12500	11800	3300	3.388

14	8	12500	11800	3350	3.299
14	9	12500	11800	3400	3.217
14	10	12500	11800	3450	3.146
14	11	12500	11800	3500	3.082
15	1	12500	12300	3000	10.809
15	2	12500	12300	3050	8.799
15	3	12500	12300	3100	7.364
15	4	12500	12300	3150	6.421
15	5	12500	12300	3200	5.752
15	6	12500	12300	3250	5.252
15	7	12500	12300	3300	4.864
15	8	12500	12300	3350	4.553
15	9	12500	12300	3400	4.323
15	10	12500	12300	3450	4.134
15	11	12500	12300	3500	3.960
16	1	12500	12800	3300	38.011
16	2	12500	12800	3350	20.659
16	3	12500	12800	3400	14.278
16	4	12500	12800	3450	10.454
16	5	12500	12800	3500	8.443
23	1	13000	10800	3000	3.034
23	2	13000	10800	3050	2.994
23	3	13000	10800	3100	2.958
23	4	13000	10800	3150	2.925
23	5	13000	10800	3200	2.896
23	6	13000	10800	3250	2.869
23	7	13000	10800	3300	2.845
23	8	13000	10800	3350	2.822
23	9	13000	10800	3400	2.798
23	10	13000	10800	3450	2.784
23	11	13000	10800	3500	2.829
24	1	13000	11300	3000	3.512
24	2	13000	11300	3050	3.405
24	3	13000	11300	3100	3.311
24	4	13000	11300	3150	3.230
24	5	13000	11300	3200	3.158
24	6	13000	11300	3250	3.095
24	7	13000	11300	3300	3.038
24	8	13000	11300	3350	2.988
24	9	13000	11300	3400	2.942
24	10	13000	11300	3450	2.902
24	11	13000	11300	3500	2.868
25	1	13000	11800	3000	5.534
25	2	13000	11800	3050	5.116
25	3	13000	11800	3100	4.765
25	4	13000	11800	3150	4.470
25	5	13000	11800	3200	4.207
25	6	13000	11800	3250	3.984
25	7	13000	11800	3300	3.799
25	8	13000	11800	3350	3.644
25	9	13000	11800	3400	3.512
25	10	13000	11800	3450	3.398
25	11	13000	11800	3500	3.299
26	1	13000	12300	3150	19.286
26	2	13000	12300	3200	12.497
26	3	13000	12300	3250	9.509
26	4	13000	12300	3300	7.836
26	5	13000	12300	3350	6.871
26	6	13000	12300	3400	6.130

26	7	13000	12300	3450	5.521
26	8	13000	12300	3500	5.023
34	1	13500	10800	3000	3.168
34	2	13500	10800	3050	3.104
34	3	13500	10800	3100	3.050
34	4	13500	10800	3150	3.002
34	5	13500	10800	3200	2.958
34	6	13500	10800	3250	2.917
34	7	13500	10800	3300	2.879
34	8	13500	10800	3350	2.841
34	9	13500	10800	3400	2.808
34	10	13500	10800	3450	2.801
34	11	13500	10800	3500	3.198
35	1	13500	11300	3000	4.192
35	2	13500	11300	3050	3.965
35	3	13500	11300	3100	3.778
35	4	13500	11300	3150	3.622
35	5	13500	11300	3200	3.490
35	6	13500	11300	3250	3.386
35	7	13500	11300	3300	3.293
35	8	13500	11300	3350	3.209
35	9	13500	11300	3400	3.133
35	10	13500	11300	3450	3.062
35	11	13500	11300	3500	2.996
36	1	13500	11800	3000	14.356
36	2	13500	11800	3050	10.457
36	3	13500	11800	3100	8.352
36	4	13500	11800	3150	7.019
36	5	13500	11800	3200	6.114
36	6	13500	11800	3250	5.450
36	7	13500	11800	3300	4.951
36	8	13500	11800	3350	4.572
36	9	13500	11800	3400	4.273
36	10	13500	11800	3450	4.045
36	11	13500	11800	3500	3.859
37	1	13500	12300	3400	19.429
37	2	13500	12300	3450	12.649
37	3	13500	12300	3500	9.496
45	1	14000	10800	3000	3.587
45	2	14000	10800	3050	3.461
45	3	14000	10800	3100	3.352
45	4	14000	10800	3150	3.254
45	5	14000	10800	3200	3.168
45	6	14000	10800	3250	3.092
45	7	14000	10800	3300	3.023
45	8	14000	10800	3350	2.961
45	9	14000	10800	3400	2.906
45	10	14000	10800	3450	3.364
45	11	14000	10800	3500	3.505
46	1	14000	11300	3000	6.435
46	2	14000	11300	3050	5.714
46	3	14000	11300	3100	5.175
46	4	14000	11300	3150	4.757
46	5	14000	11300	3200	4.424
46	6	14000	11300	3250	4.153
46	7	14000	11300	3300	3.927
46	8	14000	11300	3350	3.736
46	9	14000	11300	3400	3.574
46	10	14000	11300	3450	3.433

46	11	14000	11300	3500	3.310
47	1	14000	11800	3200	23.905
47	2	14000	11800	3250	14.292
47	3	14000	11800	3300	10.407
47	4	14000	11800	3350	8.307
47	5	14000	11800	3400	6.994
47	6	14000	11800	3450	6.096
47	7	14000	11800	3500	5.444
56	1	14500	10800	3000	4.565
56	2	14500	10800	3050	4.276
56	3	14500	10800	3100	4.037
56	4	14500	10800	3150	3.838
56	5	14500	10800	3200	3.669
56	6	14500	10800	3250	3.524
56	7	14500	10800	3300	3.398
56	8	14500	10800	3350	3.288
56	9	14500	10800	3400	3.705
56	10	14500	10800	3450	3.717
56	11	14500	10800	3500	3.699
57	1	14500	11300	3000	31.261
57	2	14500	11300	3050	16.458
57	3	14500	11300	3100	11.438
57	4	14500	11300	3150	8.915
57	5	14500	11300	3200	7.398
57	6	14500	11300	3250	6.388
57	7	14500	11300	3300	5.667
57	8	14500	11300	3350	5.128
57	9	14500	11300	3400	4.711
57	10	14500	11300	3450	4.378
57	11	14500	11300	3500	4.107
58	1	14500	11800	3450	23.793
58	2	14500	11800	3500	14.234
67	1	15000	10800	3000	7.861
67	2	15000	10800	3050	6.715
67	3	15000	10800	3100	5.914
67	4	15000	10800	3150	5.323
67	5	15000	10800	3200	4.870
67	6	15000	10800	3250	4.512
67	7	15000	10800	3300	4.223
67	8	15000	10800	3350	4.325
67	9	15000	10800	3400	4.268
67	10	15000	10800	3450	4.178
67	11	15000	10800	3500	4.080
68	1	15000	11300	3250	31.083
68	2	15000	11300	3300	16.387
68	3	15000	11300	3350	11.386
68	4	15000	11300	3400	8.870
68	5	15000	11300	3450	7.356
68	6	15000	11300	3500	6.347
78	1	15500	10800	3100	19.374
78	2	15500	10800	3150	12.661
78	3	15500	10800	3200	9.580
78	4	15500	10800	3250	7.813
78	5	15500	10800	3300	6.669
78	6	15500	10800	3350	6.080
78	7	15500	10800	3400	5.660
78	8	15500	10800	3450	5.301
78	9	15500	10800	3500	4.997
79	1	15500	11300	3500	30.913

89	1	16000	10800	3350	19.289
89	2	16000	10800	3400	12.613
89	3	16000	10800	3450	9.748
89	4	16000	10800	3500	8.123

## 7 Confronto tra i fattori di sicurezza ottenuti.

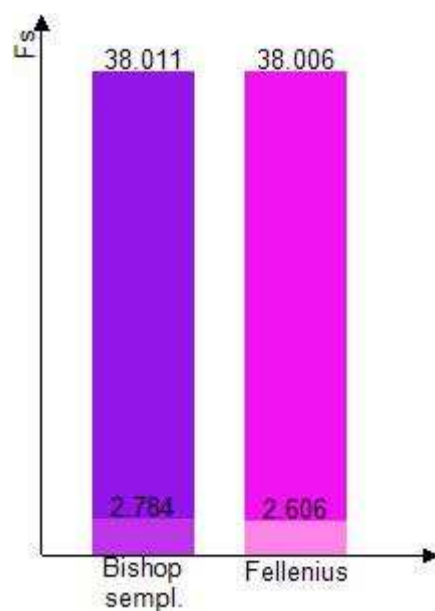


Figura 7: Confronto tra i fattori di sicurezza calcolati

## Relazione di Calcolo Statico



**CDM DOLMEN**  
CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO

Relazione di calcolo: verifica di stabilità del fronte di scavo in condizioni statiche

Porzione inferiore del fronte di scavo: stabilità del singolo gradone, sagomato nel gesso cristallino



# 1 Caratteristiche terreni.

## Gesso macrocristallino

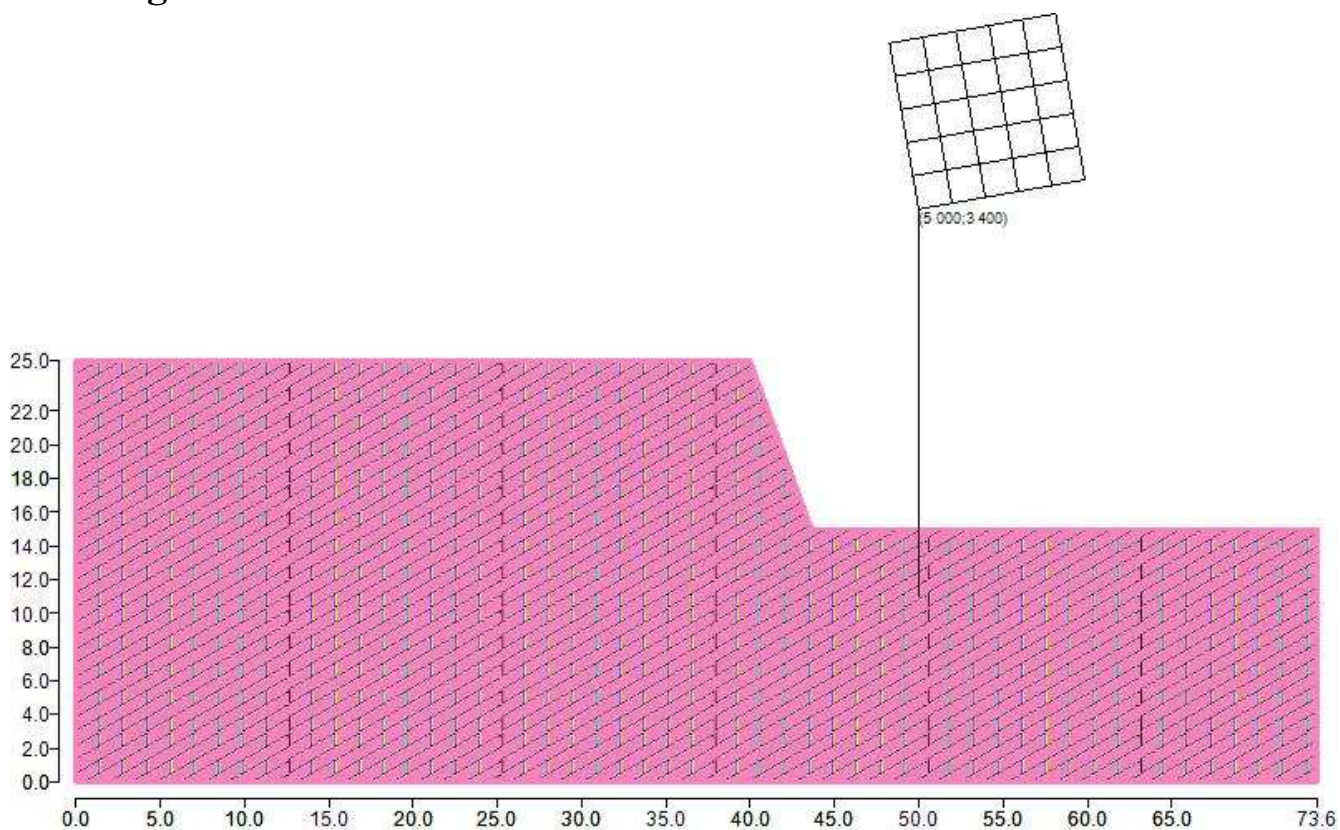
Coesione: 2 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 35 [°]

Peso secco: 0.00214 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00224 [daN/cm<sup>3</sup>]

## 2 Stratigrafia.



E' stato definito un solo strato di cui si riportano le coordinate.

### Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	0	2500
2	4000	2500
3	4364.49	1500
4	7364.49	1500
5	7364.49	0
6	0	0

Tabella 1: Coordinate dello strato n. 1

Tipo di terreno presente nello strato 1: Gesso macrocristallino.

## 3 Normativa di riferimento.

La normativa utilizzata per quanto riguarda il calcolo statico è:

NTC 2018: Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

L'approccio progettuale che è stato scelto è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1.25$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1.4$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1.25$
- per il peso di volume:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1.3$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.1$
- per gli ancoraggi:  $\gamma_a = 1.2$ ,  $\xi_a = 1.8$
- per i pali (trasversale):  $\gamma_p = 1.6$ ,  $\xi_p = 1.7$
- per le terre rinforzate (sfilamento):  $\gamma_{T,po} = 2.5$
- per le terre rinforzate (scorrimento diretto):  $\gamma_{T,ds} = 1.5$
- per le terre rinforzate (resistenza a trazione):  $\gamma_{T,rt} = 1.5$
- per le opere di sostegno (scorrimento piano di posa):  $\gamma_{R,h} = 1.1$
- per le opere di sostegno (capacità portante piano di posa):  $\gamma_{R,v} = 1.4$
- per le opere di sostegno (ribaltamento):  $\gamma_{R,o} = 1.15$

## 4 Generazione superfici di rottura.

Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

La maglia di centri ha origine nel punto C (5000 [cm], 3400 [cm]), in direzione orizzontale ha passo pari a 200 [cm], in direzione verticale ha passo pari a 200 [cm].

Il raggio iniziale è pari a 1800 cm, si hanno 101800 [cm], si hanno 10 incrementi di 50 [cm].

Il numero di centri è 36 ed il numero di superfici circolari generate è 169.

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.

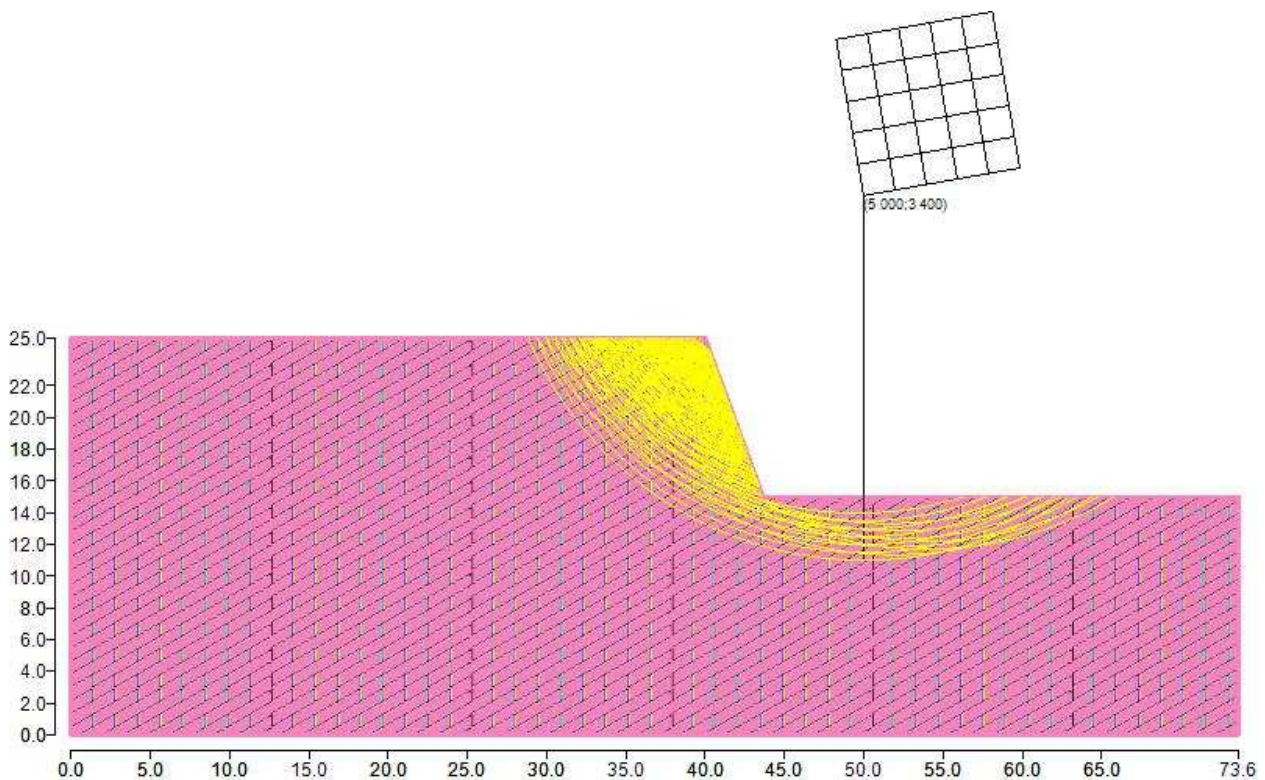


Figura 2: Superfici di rottura e maglia centri

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

## 5 Metodi utilizzati nel calcolo.

### Metodo di FELLENIUS (1927)

Metodo valido per superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Per ciascuna striscia si fa l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base, l'ipotesi semplificativa consiste nel trascurare le forze di interstriscia ( $E = X = 0$ ). Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **4.413** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 1 e della superficie numero 5. Le coordinate del centro sono: C (5000 [cm] ,3400 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 2000 [cm].

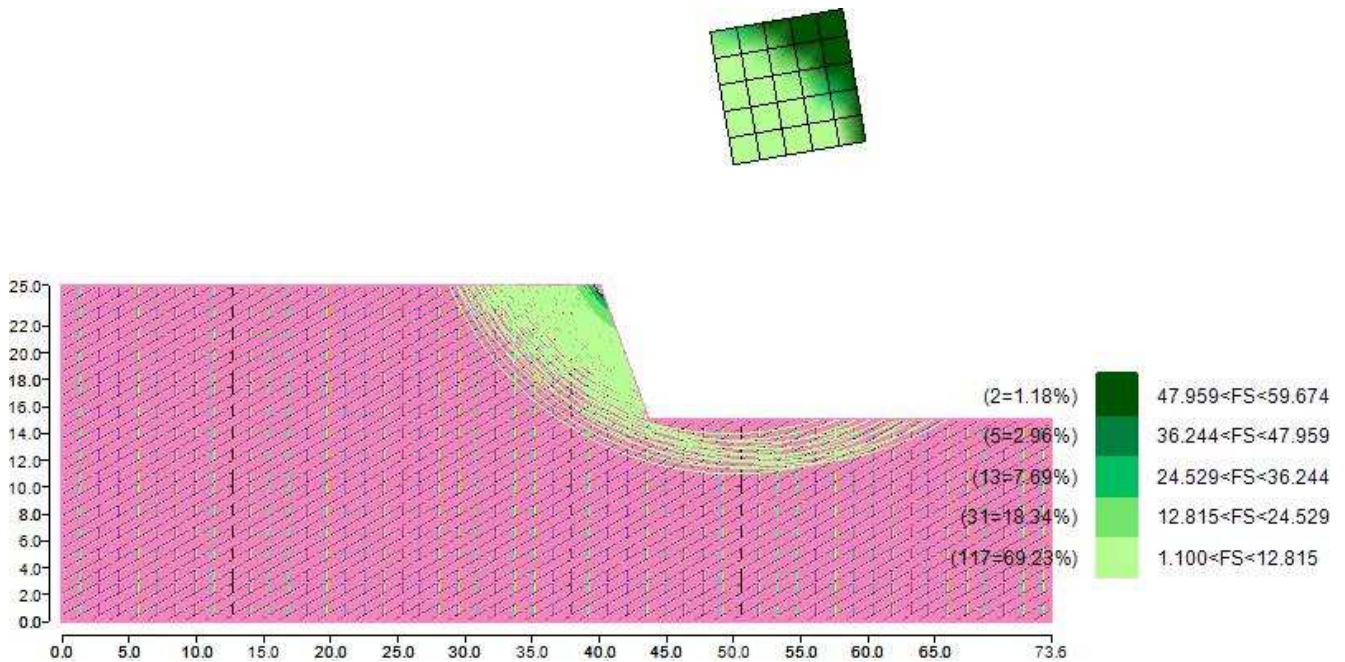


Figura 3: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri



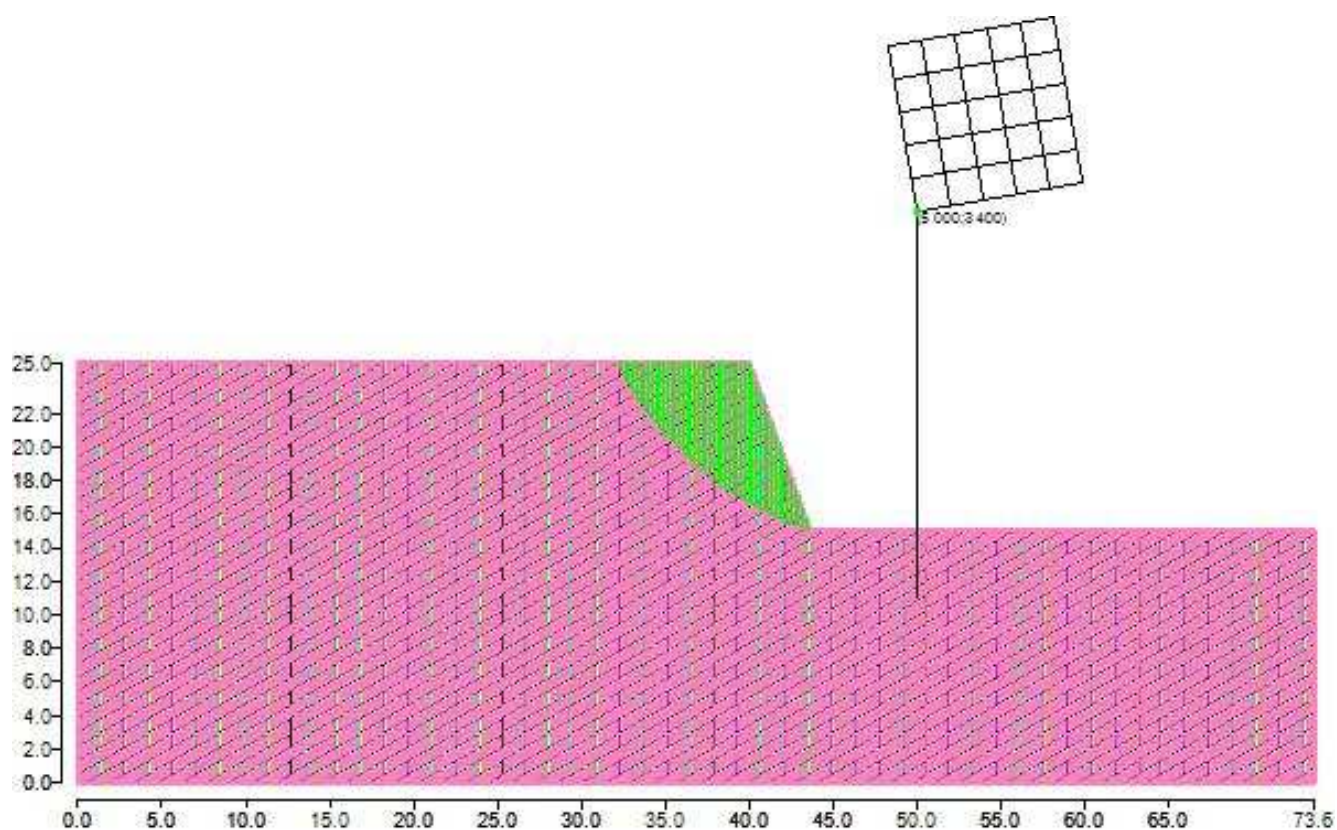


Figura 4: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 2: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	22.98	63	108.75	50.14	8002.41	22	35	0	0	0	0
2	22.98	61	320.05	154.45	7705.85	22	35	0	0	0	0
3	22.98	60	519.74	261.36	7458.16	22	35	0	0	0	0
4	22.98	59	709.17	370.28	7249.48	22	35	0	0	0	0
5	22.98	57	889.44	480.7	7072.54	22	35	0	0	0	0
6	22.98	56	1061.45	592.24	6921.78	22	35	0	0	0	0
7	22.98	55	1225.97	704.53	6792.88	22	35	0	0	0	0
8	22.98	54	1383.63	817.31	6682.45	22	35	0	0	0	0
9	22.98	53	1534.98	930.33	6587.73	22	35	0	0	0	0
10	22.98	52	1680.48	1043.38	6506.52	22	35	0	0	0	0
11	22.98	51	1820.54	1156.27	6436.98	22	35	0	0	0	0
12	22.98	50	1955.54	1268.84	6377.59	22	35	0	0	0	0
13	22.98	49	2085.77	1380.96	6327.07	22	35	0	0	0	0
14	22.98	48	2211.52	1492.49	6284.34	22	35	0	0	0	0
15	22.98	47	2333.04	1603.32	6248.48	22	35	0	0	0	0
16	22.98	46	2450.55	1713.36	6218.69	22	35	0	0	0	0
17	22.98	45	2564.26	1822.51	6194.29	22	35	0	0	0	0
18	22.98	44	2674.36	1930.69	6174.68	22	35	0	0	0	0
19	22.98	43	2780.99	2037.82	6159.34	22	35	0	0	0	0
20	22.98	42	2884.33	2143.84	6147.8	22	35	0	0	0	0
21	22.98	41	2984.5	2248.69	6139.67	22	35	0	0	0	0
22	22.98	40	3081.63	2352.31	6134.58	22	35	0	0	0	0
23	22.98	39	3175.84	2454.64	6132.21	22	35	0	0	0	0
24	22.98	39	3267.24	2555.65	6132.28	22	35	0	0	0	0

25	22.98	38	3355.92	2655.27	6134.52	22	35	0	0	0	0
26	22.98	37	3441.98	2753.48	6138.7	22	35	0	0	0	0
27	22.98	36	3525.51	2850.23	6144.62	22	35	0	0	0	0
28	22.98	35	3606.57	2945.49	6152.09	22	35	0	0	0	0
29	22.98	34	3685.25	3039.23	6160.93	22	35	0	0	0	0
30	22.98	34	3761.61	3131.41	6170.99	22	35	0	0	0	0
31	22.98	33	3835.72	3222	6182.12	22	35	0	0	0	0
32	22.98	32	3907.64	3310.99	6194.19	22	35	0	0	0	0
33	22.98	31	3977.42	3398.34	6207.08	22	35	0	0	0	0
34	22.98	31	4045.13	3484.02	6220.69	22	35	0	0	0	0
35	4.72	30	838.53	725.62	1278.63	22	35	0	0	0	0
36	18.26	30	3174.43	2757.44	4908.69	22	35	0	0	0	0
37	22.98	29	3773.03	3299.28	6053	22	35	0	0	0	0
38	22.98	28	3524.7	3104.26	5913.79	22	35	0	0	0	0
39	22.98	28	3274.48	2903.81	5772.86	22	35	0	0	0	0
40	22.98	27	3022.39	2698.07	5630.24	22	35	0	0	0	0
41	22.98	26	2768.47	2487.21	5485.95	22	35	0	0	0	0
42	22.98	25	2512.77	2271.37	5340.02	22	35	0	0	0	0
43	22.98	25	2255.31	2050.7	5192.48	22	35	0	0	0	0
44	22.98	24	1996.11	1825.35	5043.38	22	35	0	0	0	0
45	22.98	23	1735.22	1595.45	4892.74	22	35	0	0	0	0
46	22.98	22	1472.66	1361.15	4740.59	22	35	0	0	0	0
47	22.98	22	1208.46	1122.59	4586.99	22	35	0	0	0	0
48	22.98	21	942.63	879.89	4431.97	22	35	0	0	0	0
49	22.98	20	675.21	633.19	4275.57	22	35	0	0	0	0
50	22.98	20	406.21	382.63	4117.83	22	35	0	0	0	0
51	22.98	19	135.66	128.33	3958.81	22	35	0	0	0	0

Tabella 3: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
1	1	50 [cm]	34 [cm]	18 [cm]	5.697
1	2	50 [cm]	34 [cm]	18.5 [cm]	5.279
1	3	50 [cm]	34 [cm]	19 [cm]	4.937
1	4	50 [cm]	34 [cm]	19.5 [cm]	4.653
1	5	50 [cm]	34 [cm]	20 [cm]	4.413
1	6	50 [cm]	34 [cm]	20.5 [cm]	7.387
1	7	50 [cm]	34 [cm]	21 [cm]	7.236
1	8	50 [cm]	34 [cm]	21.5 [cm]	7.117
1	9	50 [cm]	34 [cm]	22 [cm]	7.026
1	10	50 [cm]	34 [cm]	22.5 [cm]	6.957
1	11	50 [cm]	34 [cm]	23 [cm]	6.908
2	1	49.65 [cm]	35.97 [cm]	18 [cm]	7.900
2	2	49.65 [cm]	35.97 [cm]	18.5 [cm]	7.062
2	3	49.65 [cm]	35.97 [cm]	19 [cm]	6.417
2	4	49.65 [cm]	35.97 [cm]	19.5 [cm]	5.906
2	5	49.65 [cm]	35.97 [cm]	20 [cm]	5.491
2	6	49.65 [cm]	35.97 [cm]	20.5 [cm]	5.148
2	7	49.65 [cm]	35.97 [cm]	21 [cm]	4.859
2	8	49.65 [cm]	35.97 [cm]	21.5 [cm]	4.613
2	9	49.65 [cm]	35.97 [cm]	22 [cm]	7.199
2	10	49.65 [cm]	35.97 [cm]	22.5 [cm]	7.098
2	11	49.65 [cm]	35.97 [cm]	23 [cm]	7.008
3	1	49.31 [cm]	37.94 [cm]	18 [cm]	13.462
3	2	49.31 [cm]	37.94 [cm]	18.5 [cm]	11.072
3	3	49.31 [cm]	37.94 [cm]	19 [cm]	9.469
3	4	49.31 [cm]	37.94 [cm]	19.5 [cm]	8.321

3	5	49.31 [cm]	37.94 [cm]	20 [cm]	7.458
3	6	49.31 [cm]	37.94 [cm]	20.5 [cm]	6.788
3	7	49.31 [cm]	37.94 [cm]	21 [cm]	6.251
3	8	49.31 [cm]	37.94 [cm]	21.5 [cm]	5.813
3	9	49.31 [cm]	37.94 [cm]	22 [cm]	5.448
3	10	49.31 [cm]	37.94 [cm]	22.5 [cm]	5.140
3	11	49.31 [cm]	37.94 [cm]	23 [cm]	4.876
4	1	48.96 [cm]	39.91 [cm]	18 [cm]	48.443
4	2	48.96 [cm]	39.91 [cm]	18.5 [cm]	26.915
4	3	48.96 [cm]	39.91 [cm]	19 [cm]	18.822
4	4	48.96 [cm]	39.91 [cm]	19.5 [cm]	14.592
4	5	48.96 [cm]	39.91 [cm]	20 [cm]	11.998
4	6	48.96 [cm]	39.91 [cm]	20.5 [cm]	10.249
4	7	48.96 [cm]	39.91 [cm]	21 [cm]	8.991
4	8	48.96 [cm]	39.91 [cm]	21.5 [cm]	8.043
4	9	48.96 [cm]	39.91 [cm]	22 [cm]	7.306
4	10	48.96 [cm]	39.91 [cm]	22.5 [cm]	6.715
4	11	48.96 [cm]	39.91 [cm]	23 [cm]	6.231
5	1	48.61 [cm]	41.88 [cm]	19.5 [cm]	59.674
5	2	48.61 [cm]	41.88 [cm]	20 [cm]	31.490
5	3	48.61 [cm]	41.88 [cm]	20.5 [cm]	21.533
5	4	48.61 [cm]	41.88 [cm]	21 [cm]	16.466
5	5	48.61 [cm]	41.88 [cm]	21.5 [cm]	13.407
5	6	48.61 [cm]	41.88 [cm]	22 [cm]	11.365
5	7	48.61 [cm]	41.88 [cm]	22.5 [cm]	9.907
5	8	48.61 [cm]	41.88 [cm]	23 [cm]	8.817
6	1	48.26 [cm]	43.85 [cm]	21.5 [cm]	39.953
6	2	48.26 [cm]	43.85 [cm]	22 [cm]	25.917
6	3	48.26 [cm]	43.85 [cm]	22.5 [cm]	19.259
6	4	48.26 [cm]	43.85 [cm]	23 [cm]	15.392
7	1	51.97 [cm]	34.35 [cm]	18 [cm]	7.720
7	2	51.97 [cm]	34.35 [cm]	18.5 [cm]	6.751
7	3	51.97 [cm]	34.35 [cm]	19 [cm]	6.041
7	4	51.97 [cm]	34.35 [cm]	19.5 [cm]	5.497
7	5	51.97 [cm]	34.35 [cm]	20 [cm]	5.069
7	6	51.97 [cm]	34.35 [cm]	20.5 [cm]	4.723
7	7	51.97 [cm]	34.35 [cm]	21 [cm]	4.437
7	8	51.97 [cm]	34.35 [cm]	21.5 [cm]	8.685
7	9	51.97 [cm]	34.35 [cm]	22 [cm]	8.352
7	10	51.97 [cm]	34.35 [cm]	22.5 [cm]	8.098
7	11	51.97 [cm]	34.35 [cm]	23 [cm]	7.904
8	1	51.62 [cm]	36.32 [cm]	18 [cm]	12.739
8	2	51.62 [cm]	36.32 [cm]	18.5 [cm]	10.206
8	3	51.62 [cm]	36.32 [cm]	19 [cm]	8.593
8	4	51.62 [cm]	36.32 [cm]	19.5 [cm]	7.477
8	5	51.62 [cm]	36.32 [cm]	20 [cm]	6.660
8	6	51.62 [cm]	36.32 [cm]	20.5 [cm]	6.036
8	7	51.62 [cm]	36.32 [cm]	21 [cm]	5.545
8	8	51.62 [cm]	36.32 [cm]	21.5 [cm]	5.149
8	9	51.62 [cm]	36.32 [cm]	22 [cm]	4.822
8	10	51.62 [cm]	36.32 [cm]	22.5 [cm]	4.548
8	11	51.62 [cm]	36.32 [cm]	23 [cm]	8.330
9	1	51.28 [cm]	38.29 [cm]	18 [cm]	41.188
9	2	51.28 [cm]	38.29 [cm]	18.5 [cm]	22.501
9	3	51.28 [cm]	38.29 [cm]	19 [cm]	15.705
9	4	51.28 [cm]	38.29 [cm]	19.5 [cm]	12.198
9	5	51.28 [cm]	38.29 [cm]	20 [cm]	10.062
9	6	51.28 [cm]	38.29 [cm]	20.5 [cm]	8.626
9	7	51.28 [cm]	38.29 [cm]	21 [cm]	7.595

9	8	51.28 [cm]	38.29 [cm]	21.5 [cm]	6.820
9	9	51.28 [cm]	38.29 [cm]	22 [cm]	6.217
9	10	51.28 [cm]	38.29 [cm]	22.5 [cm]	5.734
9	11	51.28 [cm]	38.29 [cm]	23 [cm]	5.340
10	1	50.93 [cm]	40.26 [cm]	19.5 [cm]	35.878
10	2	50.93 [cm]	40.26 [cm]	20 [cm]	21.742
10	3	50.93 [cm]	40.26 [cm]	20.5 [cm]	15.777
10	4	50.93 [cm]	40.26 [cm]	21 [cm]	12.493
10	5	50.93 [cm]	40.26 [cm]	21.5 [cm]	10.418
10	6	50.93 [cm]	40.26 [cm]	22 [cm]	8.990
10	7	50.93 [cm]	40.26 [cm]	22.5 [cm]	7.948
10	8	50.93 [cm]	40.26 [cm]	23 [cm]	7.156
11	1	50.58 [cm]	42.23 [cm]	21 [cm]	37.126
11	2	50.58 [cm]	42.23 [cm]	21.5 [cm]	23.002
11	3	50.58 [cm]	42.23 [cm]	22 [cm]	16.817
11	4	50.58 [cm]	42.23 [cm]	22.5 [cm]	13.355
11	5	50.58 [cm]	42.23 [cm]	23 [cm]	11.145
12	1	50.23 [cm]	44.2 [cm]	22.5 [cm]	42.906
12	2	50.23 [cm]	44.2 [cm]	23 [cm]	25.947
13	1	53.94 [cm]	34.69 [cm]	18 [cm]	18.185
13	2	53.94 [cm]	34.69 [cm]	18.5 [cm]	12.507
13	3	53.94 [cm]	34.69 [cm]	19 [cm]	9.670
13	4	53.94 [cm]	34.69 [cm]	19.5 [cm]	7.974
13	5	53.94 [cm]	34.69 [cm]	20 [cm]	6.848
13	6	53.94 [cm]	34.69 [cm]	20.5 [cm]	6.048
13	7	53.94 [cm]	34.69 [cm]	21 [cm]	5.451
13	8	53.94 [cm]	34.69 [cm]	21.5 [cm]	4.989
13	9	53.94 [cm]	34.69 [cm]	22 [cm]	4.620
13	10	53.94 [cm]	34.69 [cm]	22.5 [cm]	10.585
13	11	53.94 [cm]	34.69 [cm]	23 [cm]	9.948
14	1	53.59 [cm]	36.66 [cm]	18.5 [cm]	34.059
14	2	53.59 [cm]	36.66 [cm]	19 [cm]	18.824
14	3	53.59 [cm]	36.66 [cm]	19.5 [cm]	13.214
14	4	53.59 [cm]	36.66 [cm]	20 [cm]	10.309
14	5	53.59 [cm]	36.66 [cm]	20.5 [cm]	8.536
14	6	53.59 [cm]	36.66 [cm]	21 [cm]	7.345
14	7	53.59 [cm]	36.66 [cm]	21.5 [cm]	6.490
14	8	53.59 [cm]	36.66 [cm]	22 [cm]	5.847
14	9	53.59 [cm]	36.66 [cm]	22.5 [cm]	5.347
14	10	53.59 [cm]	36.66 [cm]	23 [cm]	4.947
15	1	53.24 [cm]	38.63 [cm]	19.5 [cm]	44.441
15	2	53.24 [cm]	38.63 [cm]	20 [cm]	22.519
15	3	53.24 [cm]	38.63 [cm]	20.5 [cm]	15.316
15	4	53.24 [cm]	38.63 [cm]	21 [cm]	11.744
15	5	53.24 [cm]	38.63 [cm]	21.5 [cm]	9.614
15	6	53.24 [cm]	38.63 [cm]	22 [cm]	8.202
15	7	53.24 [cm]	38.63 [cm]	22.5 [cm]	7.198
15	8	53.24 [cm]	38.63 [cm]	23 [cm]	6.449
16	1	52.9 [cm]	40.6 [cm]	21 [cm]	31.951
16	2	52.9 [cm]	40.6 [cm]	21.5 [cm]	19.633
16	3	52.9 [cm]	40.6 [cm]	22 [cm]	14.344
16	4	52.9 [cm]	40.6 [cm]	22.5 [cm]	11.408
16	5	52.9 [cm]	40.6 [cm]	23 [cm]	9.544
17	1	52.55 [cm]	42.57 [cm]	22.5 [cm]	29.290
17	2	52.55 [cm]	42.57 [cm]	23 [cm]	19.217
19	1	55.91 [cm]	35.04 [cm]	19.5 [cm]	25.547
19	2	55.91 [cm]	35.04 [cm]	20 [cm]	15.050
19	3	55.91 [cm]	35.04 [cm]	20.5 [cm]	10.842
19	4	55.91 [cm]	35.04 [cm]	21 [cm]	8.585

19	5	55.91 [cm]	35.04 [cm]	21.5 [cm]	7.183
19	6	55.91 [cm]	35.04 [cm]	22 [cm]	6.229
19	7	55.91 [cm]	35.04 [cm]	22.5 [cm]	5.539
19	8	55.91 [cm]	35.04 [cm]	23 [cm]	5.017
20	1	55.56 [cm]	37.01 [cm]	20.5 [cm]	22.899
20	2	55.56 [cm]	37.01 [cm]	21 [cm]	14.669
20	3	55.56 [cm]	37.01 [cm]	21.5 [cm]	10.939
20	4	55.56 [cm]	37.01 [cm]	22 [cm]	8.819
20	5	55.56 [cm]	37.01 [cm]	22.5 [cm]	7.455
20	6	55.56 [cm]	37.01 [cm]	23 [cm]	6.506
21	1	55.21 [cm]	38.98 [cm]	21.5 [cm]	24.983
21	2	55.21 [cm]	38.98 [cm]	22 [cm]	15.979
21	3	55.21 [cm]	38.98 [cm]	22.5 [cm]	11.897
21	4	55.21 [cm]	38.98 [cm]	23 [cm]	9.573
22	1	54.87 [cm]	40.95 [cm]	22.5 [cm]	32.393
22	2	54.87 [cm]	40.95 [cm]	23 [cm]	19.233
25	1	57.88 [cm]	35.39 [cm]	21 [cm]	52.489
25	2	57.88 [cm]	35.39 [cm]	21.5 [cm]	20.635
25	3	57.88 [cm]	35.39 [cm]	22 [cm]	13.060
25	4	57.88 [cm]	35.39 [cm]	22.5 [cm]	9.699
25	5	57.88 [cm]	35.39 [cm]	23 [cm]	7.809
26	1	57.53 [cm]	37.36 [cm]	22 [cm]	33.335
26	2	57.53 [cm]	37.36 [cm]	22.5 [cm]	17.735
26	3	57.53 [cm]	37.36 [cm]	23 [cm]	12.261
27	1	57.18 [cm]	39.33 [cm]	23 [cm]	31.621



### Metodo di BISHOP (1955)

Il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **4.375 ( $>1.100$ )**, si ha in corrispondenza del centro numero 1 e della superficie numero 5. Le coordinate del centro sono: C (5000 [cm] ,3400 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 2000 [cm].

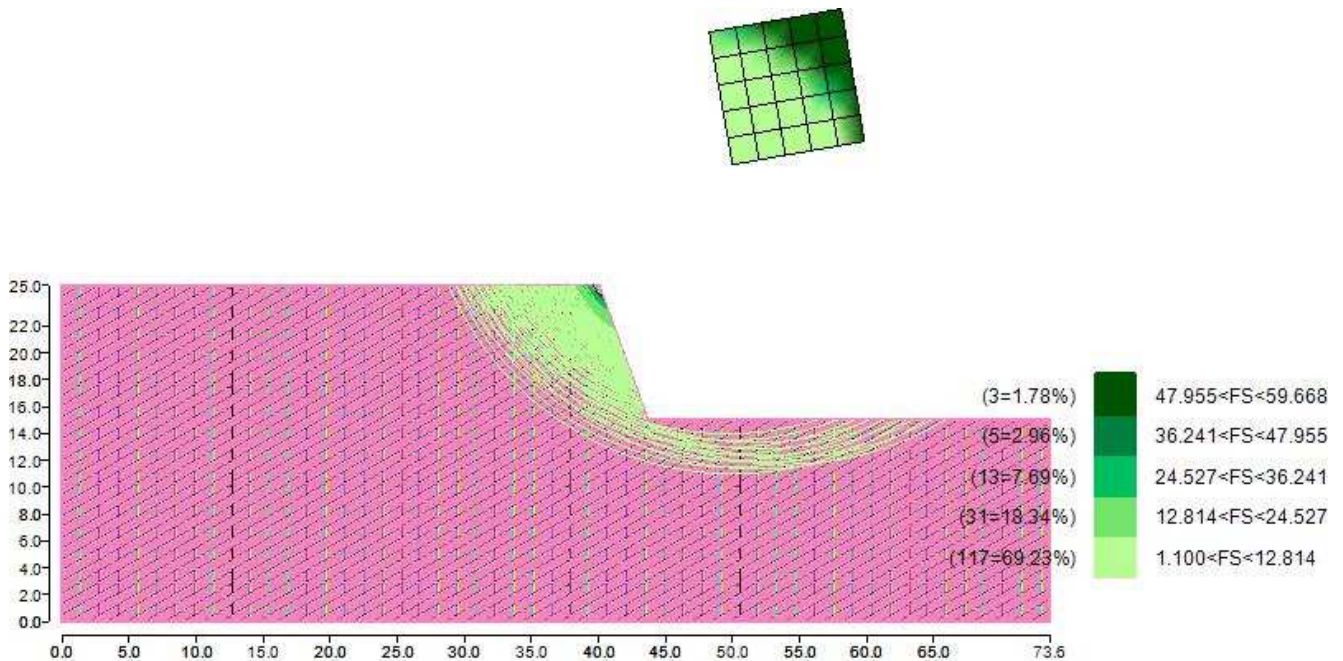


Figura 5: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

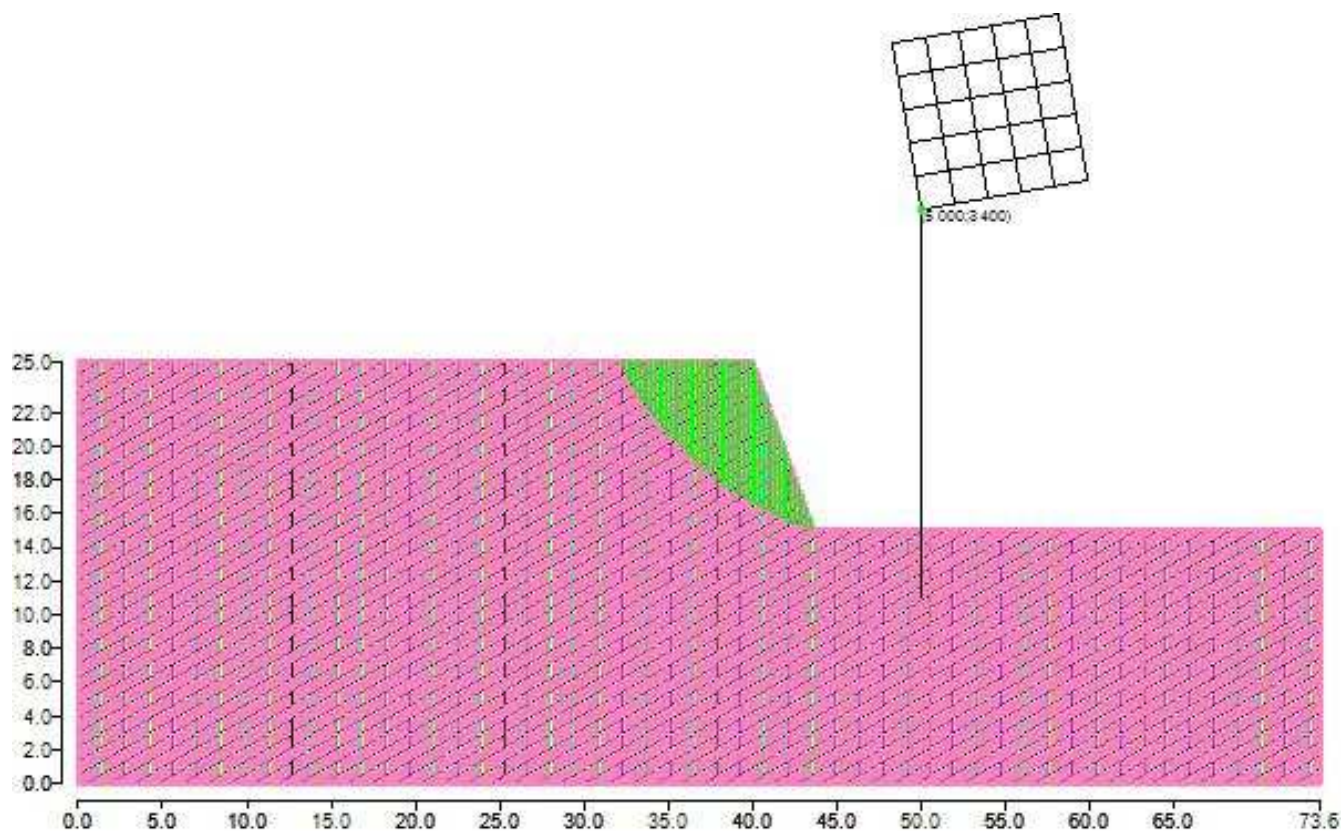


Figura 6: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 4: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	22.98	63	108.75	-2624.63	6504.09	2	35	0	-1277.1	0	0
2	22.98	61	320.05	-2026.3	6484.28	2	35	1277.1	-2178.07	0	0
3	22.98	60	519.74	-1506.98	6467.59	2	35	2178.07	-2762.77	0	0
4	22.98	59	709.17	-1050.78	6453.46	2	35	2762.77	-3079.21	0	0
5	22.98	57	889.44	-645.95	6441.43	2	35	3079.21	-3166.63	0	0
6	22.98	56	1061.45	-283.6	6431.17	2	35	3166.63	-3057.58	0	0
7	22.98	55	1225.97	43.18	6422.42	2	35	3057.58	-2779.41	0	0
8	22.98	54	1383.63	339.8	6414.96	2	35	2779.41	-2355.41	0	0
9	22.98	53	1534.98	610.58	6408.62	2	35	2355.41	-1805.56	0	0
10	22.98	52	1680.48	859.04	6403.26	2	35	1805.56	-1147.18	0	0
11	22.98	51	1820.54	1088.04	6398.76	2	35	1147.18	-395.41	0	0
12	22.98	50	1955.54	1299.97	6395.03	2	35	395.41	-436.45	0	0
13	22.98	49	2085.77	1496.83	6391.98	2	35	436.45	-1336.6	0	0
14	22.98	48	2211.52	1680.29	6389.54	2	35	1336.6	-2294.58	0	0
15	22.98	47	2333.04	1851.78	6387.66	2	35	2294.58	-3300.99	0	0
16	22.98	46	2450.55	2012.53	6386.28	2	35	3300.99	-4347.39	0	0
17	22.98	45	2564.26	2163.59	6385.35	2	35	4347.39	-5426.17	0	0
18	22.98	44	2674.36	2305.89	6384.85	2	35	5426.17	-6530.42	0	0
19	22.98	43	2780.99	2440.2	6384.74	2	35	6530.42	-7653.87	0	0
20	22.98	42	2884.33	2567.25	6384.98	2	35	7653.87	-8790.76	0	0
21	22.98	41	2984.5	2687.64	6385.55	2	35	8790.76	-9935.86	0	0
22	22.98	40	3081.63	2801.91	6386.43	2	35	9935.86	-11084.34	0	0
23	22.98	39	3175.84	2910.56	6387.6	2	35	11084.34	-12231.76	0	0

24	22.98	39	3267.24	3014.01	6389.04	2	35	12231.76	-13374.02	0	0
25	22.98	38	3355.92	3112.66	6390.73	2	35	13374.02	-14507.34	0	0
26	22.98	37	3441.98	3206.84	6392.66	2	35	14507.34	-15628.18	0	0
27	22.98	36	3525.51	3296.87	6394.82	2	35	15628.18	-16733.31	0	0
28	22.98	35	3606.57	3383.04	6397.19	2	35	16733.31	-17819.66	0	0
29	22.98	34	3685.25	3465.6	6399.77	2	35	17819.66	-18884.41	0	0
30	22.98	34	3761.61	3544.77	6402.54	2	35	18884.41	-19924.92	0	0
31	22.98	33	3835.72	3620.78	6405.5	2	35	19924.92	-20938.7	0	0
32	22.98	32	3907.64	3693.82	6408.64	2	35	20938.7	-21923.45	0	0
33	22.98	31	3977.42	3764.06	6411.95	2	35	21923.45	-22876.99	0	0
34	22.98	31	4045.13	3831.66	6415.43	2	35	22876.99	-23797.28	0	0
35	4.72	30	838.53	794.66	1317.31	2	35	23797.28	-23981.89	0	0
36	18.26	30	3174.43	2997.15	5042.97	2	35	23981.89	-24639.99	0	0
37	22.98	29	3773.03	3530.9	6182.74	2	35	24639.99	-25320.3	0	0
38	22.98	28	3524.7	3264.25	6003.41	2	35	25320.3	-25843.89	0	0
39	22.98	28	3274.48	2998.6	5825.96	2	35	25843.89	-26218.96	0	0
40	22.98	27	3022.39	2733.82	5650.26	2	35	26218.96	-26453.5	0	0
41	22.98	26	2768.47	2469.78	5476.19	2	35	26453.5	-26555.35	0	0
42	22.98	25	2512.77	2206.37	5303.61	2	35	26555.35	-26532.2	0	0
43	22.98	25	2255.31	1943.47	5132.42	2	35	26532.2	-26391.57	0	0
44	22.98	24	1996.11	1680.96	4962.5	2	35	26391.57	-26140.89	0	0
45	22.98	23	1735.22	1418.74	4793.75	2	35	26140.89	-25787.45	0	0
46	22.98	22	1472.66	1156.7	4626.07	2	35	25787.45	-25338.45	0	0
47	22.98	22	1208.46	894.74	4459.36	2	35	25338.45	-24800.98	0	0
48	22.98	21	942.63	632.76	4293.53	2	35	24800.98	-24182.05	0	0
49	22.98	20	675.21	370.65	4128.5	2	35	24182.05	-23488.58	0	0
50	22.98	20	406.21	108.33	3964.18	2	35	23488.58	-22727.44	0	0
51	22.98	19	135.66	-154.31	3800.48	2	35	22727.44	-21905.42	0	0

Tabella 5: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
1	1	5000	3400	1800	5.660
1	2	5000	3400	1850	5.242
1	3	5000	3400	1900	4.899
1	4	5000	3400	1950	4.615
1	5	5000	3400	2000	4.375
1	6	5000	3400	2050	7.575
1	7	5000	3400	2100	7.445
1	8	5000	3400	2150	7.346
1	9	5000	3400	2200	7.276
1	10	5000	3400	2250	7.230
1	11	5000	3400	2300	7.203
2	1	4965.27	3596.96	1800	7.874
2	2	4965.27	3596.96	1850	7.035
2	3	4965.27	3596.96	1900	6.389
2	4	4965.27	3596.96	1950	5.878
2	5	4965.27	3596.96	2000	5.462
2	6	4965.27	3596.96	2050	5.119
2	7	4965.27	3596.96	2100	4.830
2	8	4965.27	3596.96	2150	4.585
2	9	4965.27	3596.96	2200	7.347
2	10	4965.27	3596.96	2250	7.267
2	11	4965.27	3596.96	2300	7.196
3	1	4930.54	3793.92	1800	13.445
3	2	4930.54	3793.92	1850	11.053
3	3	4930.54	3793.92	1900	9.448

3	4	4930.54	3793.92	1950	8.299
3	5	4930.54	3793.92	2000	7.435
3	6	4930.54	3793.92	2050	6.764
3	7	4930.54	3793.92	2100	6.228
3	8	4930.54	3793.92	2150	5.789
3	9	4930.54	3793.92	2200	5.425
3	10	4930.54	3793.92	2250	5.117
3	11	4930.54	3793.92	2300	4.854
4	1	4895.81	3990.88	1800	48.437
4	2	4895.81	3990.88	1850	26.905
4	3	4895.81	3990.88	1900	18.809
4	4	4895.81	3990.88	1950	14.576
4	5	4895.81	3990.88	2000	11.981
4	6	4895.81	3990.88	2050	10.230
4	7	4895.81	3990.88	2100	8.971
4	8	4895.81	3990.88	2150	8.024
4	9	4895.81	3990.88	2200	7.286
4	10	4895.81	3990.88	2250	6.695
4	11	4895.81	3990.88	2300	6.212
5	1	4861.08	4187.85	1950	59.668
5	2	4861.08	4187.85	2000	31.481
5	3	4861.08	4187.85	2050	21.521
5	4	4861.08	4187.85	2100	16.452
5	5	4861.08	4187.85	2150	13.391
5	6	4861.08	4187.85	2200	11.348
5	7	4861.08	4187.85	2250	9.890
5	8	4861.08	4187.85	2300	8.800
6	1	4826.35	4384.81	2150	39.945
6	2	4826.35	4384.81	2200	25.906
6	3	4826.35	4384.81	2250	19.246
6	4	4826.35	4384.81	2300	15.378
7	1	5196.96	3434.73	1800	7.690
7	2	5196.96	3434.73	1850	6.718
7	3	5196.96	3434.73	1900	6.005
7	4	5196.96	3434.73	1950	5.459
7	5	5196.96	3434.73	2000	5.030
7	6	5196.96	3434.73	2050	4.682
7	7	5196.96	3434.73	2100	4.396
7	8	5196.96	3434.73	2150	8.945
7	9	5196.96	3434.73	2200	8.630
7	10	5196.96	3434.73	2250	8.396
7	11	5196.96	3434.73	2300	8.222
8	1	5162.23	3631.69	1800	12.721
8	2	5162.23	3631.69	1850	10.185
8	3	5162.23	3631.69	1900	8.569
8	4	5162.23	3631.69	1950	7.451
8	5	5162.23	3631.69	2000	6.632
8	6	5162.23	3631.69	2050	6.007
8	7	5162.23	3631.69	2100	5.515
8	8	5162.23	3631.69	2150	5.118
8	9	5162.23	3631.69	2200	4.790
8	10	5162.23	3631.69	2250	4.516
8	11	5162.23	3631.69	2300	8.541
9	1	5127.5	3828.65	1800	41.182
9	2	5127.5	3828.65	1850	22.491
9	3	5127.5	3828.65	1900	15.692
9	4	5127.5	3828.65	1950	12.182
9	5	5127.5	3828.65	2000	10.043
9	6	5127.5	3828.65	2050	8.604

9	7	5127.5	3828.65	2100	7.572
9	8	5127.5	3828.65	2150	6.796
9	9	5127.5	3828.65	2200	6.192
9	10	5127.5	3828.65	2250	5.709
9	11	5127.5	3828.65	2300	5.314
10	1	5092.77	4025.61	1950	35.871
10	2	5092.77	4025.61	2000	21.732
10	3	5092.77	4025.61	2050	15.763
10	4	5092.77	4025.61	2100	12.477
10	5	5092.77	4025.61	2150	10.400
10	6	5092.77	4025.61	2200	8.970
10	7	5092.77	4025.61	2250	7.928
10	8	5092.77	4025.61	2300	7.134
11	1	5058.04	4222.58	2100	37.119
11	2	5058.04	4222.58	2150	22.992
11	3	5058.04	4222.58	2200	16.805
11	4	5058.04	4222.58	2250	13.340
11	5	5058.04	4222.58	2300	11.129
12	1	5023.31	4419.54	2250	42.900
12	2	5023.31	4419.54	2300	25.938
13	1	5393.92	3469.46	1800	18.174
13	2	5393.92	3469.46	1850	12.489
13	3	5393.92	3469.46	1900	9.646
13	4	5393.92	3469.46	1950	7.946
13	5	5393.92	3469.46	2000	6.817
13	6	5393.92	3469.46	2050	6.013
13	7	5393.92	3469.46	2100	5.413
13	8	5393.92	3469.46	2150	4.949
13	9	5393.92	3469.46	2200	4.579
13	10	5393.92	3469.46	2250	10.930
13	11	5393.92	3469.46	2300	10.309
14	1	5359.19	3666.42	1850	34.054
14	2	5359.19	3666.42	1900	18.813
14	3	5359.19	3666.42	1950	13.199
14	4	5359.19	3666.42	2000	10.289
14	5	5359.19	3666.42	2050	8.514
14	6	5359.19	3666.42	2100	7.319
14	7	5359.19	3666.42	2150	6.462
14	8	5359.19	3666.42	2200	5.818
14	9	5359.19	3666.42	2250	5.316
14	10	5359.19	3666.42	2300	4.914
15	1	5324.46	3863.38	1950	44.437
15	2	5324.46	3863.38	2000	22.510
15	3	5324.46	3863.38	2050	15.303
15	4	5324.46	3863.38	2100	11.728
15	5	5324.46	3863.38	2150	9.595
15	6	5324.46	3863.38	2200	8.181
15	7	5324.46	3863.38	2250	7.175
15	8	5324.46	3863.38	2300	6.424
16	1	5289.73	4060.34	2100	31.945
16	2	5289.73	4060.34	2150	19.623
16	3	5289.73	4060.34	2200	14.331
16	4	5289.73	4060.34	2250	11.393
16	5	5289.73	4060.34	2300	9.526
17	1	5255	4257.31	2250	29.283
17	2	5255	4257.31	2300	19.207
19	1	5590.88	3504.19	1950	25.542
19	2	5590.88	3504.19	2000	15.038
19	3	5590.88	3504.19	2050	10.823

19	4	5590.88	3504.19	2100	8.561
19	5	5590.88	3504.19	2150	7.154
19	6	5590.88	3504.19	2200	6.195
19	7	5590.88	3504.19	2250	5.502
19	8	5590.88	3504.19	2300	4.978
20	1	5556.16	3701.15	2050	22.892
20	2	5556.16	3701.15	2100	14.657
20	3	5556.16	3701.15	2150	10.923
20	4	5556.16	3701.15	2200	8.799
20	5	5556.16	3701.15	2250	7.431
20	6	5556.16	3701.15	2300	6.479
21	1	5521.43	3898.11	2150	24.976
21	2	5521.43	3898.11	2200	15.968
21	3	5521.43	3898.11	2250	11.883
21	4	5521.43	3898.11	2300	9.556
22	1	5486.7	4095.07	2250	32.388
22	2	5486.7	4095.07	2300	19.224
25	1	5787.85	3538.92	2100	52.490
25	2	5787.85	3538.92	2150	20.630
25	3	5787.85	3538.92	2200	13.048
25	4	5787.85	3538.92	2250	9.679
25	5	5787.85	3538.92	2300	7.783
26	1	5753.12	3735.88	2200	33.332
26	2	5753.12	3735.88	2250	17.727
26	3	5753.12	3735.88	2300	12.248
27	1	5718.39	3932.84	2300	31.617

## 6 Confronto tra i fattori di sicurezza ottenuti.

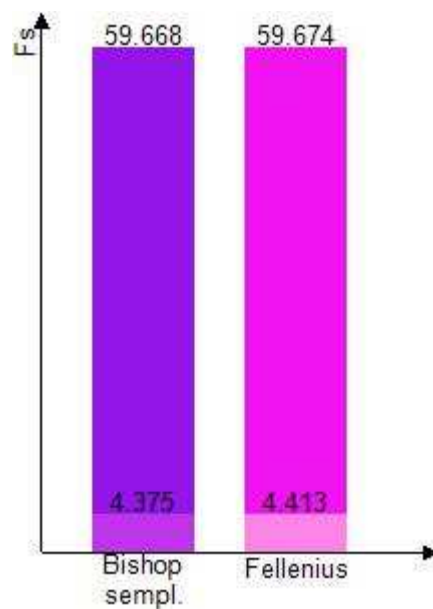


Figura 7: Confronto tra i fattori di sicurezza calcolati

## Relazione di Calcolo Sismico



**CDM DOLMEN**  
CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO

Relazione di calcolo: verifica di stabilità del fronte di scavo in condizioni sismiche

Porzione inferiore del fronte di scavo: stabilità del singolo gradone, sagomato nel gesso cristallino



# 1 Caratteristiche terreni.

## Gesso macrocristallino

Coesione: 2 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 35 [°]

Peso secco: 0.00214 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00224 [daN/cm<sup>3</sup>]

## 2 Stratigrafia.

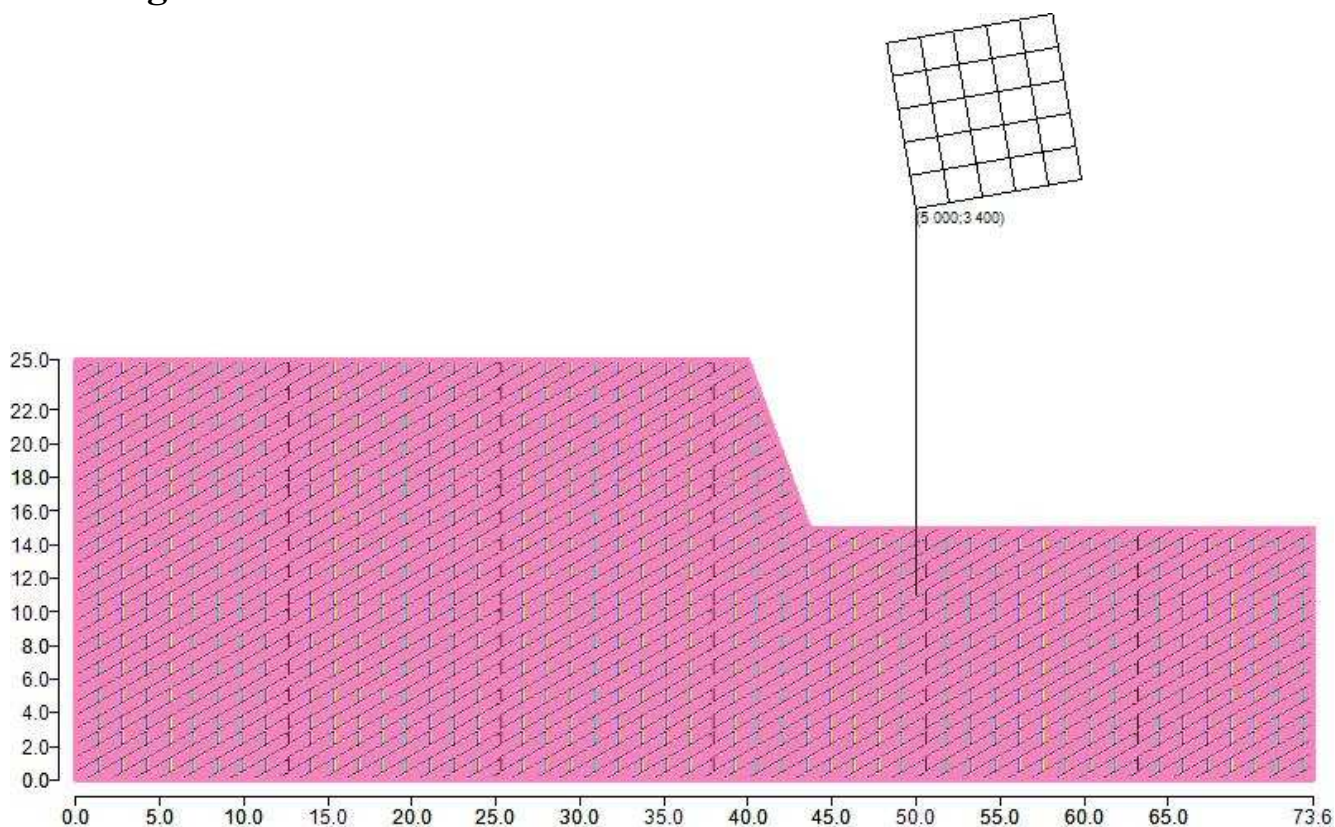


Figura 1: Rappresentazione del pendio.

E' stato definito un solo strato di cui si riportano le coordinate.

### Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	0	2500
2	4000	2500
3	4364.49	1500
4	7364.49	1500
5	7364.49	0
6	0	0

Tabella 1: Coordinate dello strato n. 1

Tipo di terreno presente nello strato 1: Gesso macrocristallino.

## 3 Normativa di riferimento.

La normativa utilizzata per quanto riguarda il calcolo statico è:

NTC 2018: Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.



L'approccio progettuale che è stato scelto è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1$
- per il peso di volume:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.2$
- per gli ancoraggi:  $\gamma_a = 1.2$ ,  $\xi_a = 1.8$
- per i pali (trasversale):  $\gamma_p = 1.6$ ,  $\xi_p = 1.7$
- per le terre rinforzate (sfilamento):  $\gamma_{T,po} = 2.5$
- per le terre rinforzate (scorrimento diretto):  $\gamma_{T,ds} = 1.5$
- per le terre rinforzate (resistenza a trazione):  $\gamma_{T,rt} = 1.5$
- per le opere di sostegno (scorrimento piano di posa):  $\gamma_{R,h} = 1$
- per le opere di sostegno (capacità portante piano di posa):  $\gamma_{R,v} = 1.2$
- per le opere di sostegno (ribaltamento):  $\gamma_{R,o} = 1$

## 4 Calcolo sismico.

L'analisi della stabilità del pendio è eseguita in accordo con quanto previsto dalle Nuove Norme Tecniche, ossia si applica un'azione pseudostatica equivalente proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno parzialmente instabile. Il calcolo è svolto secondo quanto previsto dal paragrafo 7.11.3.5.2 Metodi di analisi.

Il fattore di amplificazione spettrale massima è pari a 2.6963 e l'accelerazione massima orizzontale attesa dal sito è pari a  $0.4152 \text{ [m/s}^2\text{]}$ .

La categoria di sottosuolo è la categoria A, la categoria topografica è la categoria T2.

Il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_s$  è ricavato dal capitolo 7.11.4, e vale 0.38.

Il coefficiente sismico orizzontale ricavato è pari a: 0.019.

## 5 Generazione superfici di rottura.

Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

La maglia di centri ha origine nel punto C (5000 [cm], 3400 [cm]), in direzione orizzontale ha passo pari a 200 [cm], in direzione verticale ha passo pari a 200 [cm].

Il raggio iniziale è pari a 1800 cm, si hanno 101800 [cm], si hanno 10 incrementi di 50 [cm].

Il numero di centri è 36 ed il numero di superfici circolari generate è 169.

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.

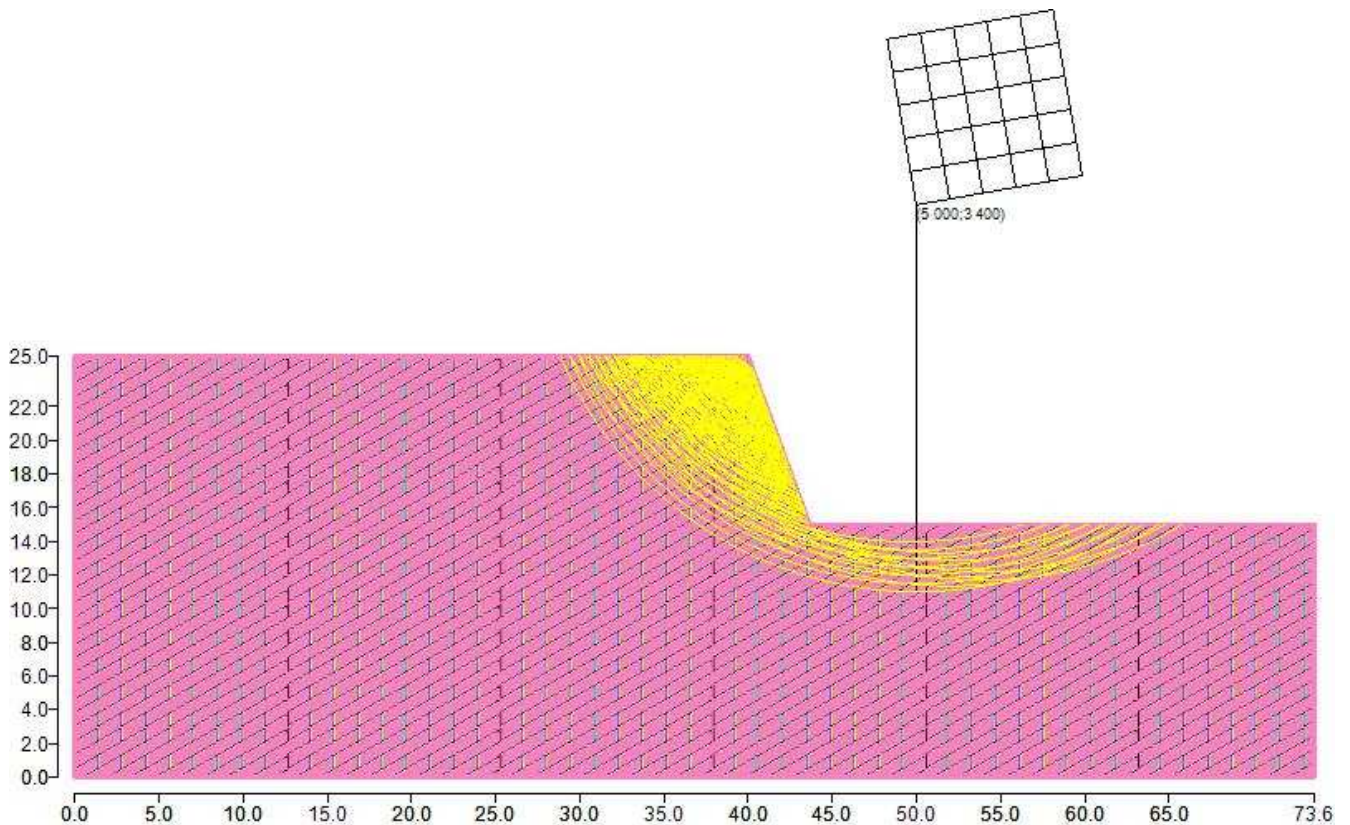


Figura 2: Superfici di rottura e maglia centri

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

- sisma

## 6 Metodi utilizzati nel calcolo.

### Metodo di FELLENIUS (1927)

Metodo valido per superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Per ciascuna striscia si fa l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base, l'ipotesi semplificativa consiste nel trascurare le forze di interstriscia ( $E = X = 0$ ). Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **5.430** ( $>1.200$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 1 e della superficie numero 5. Le coordinate del centro sono: C (5000 [cm] ,3400 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 2000 [cm].

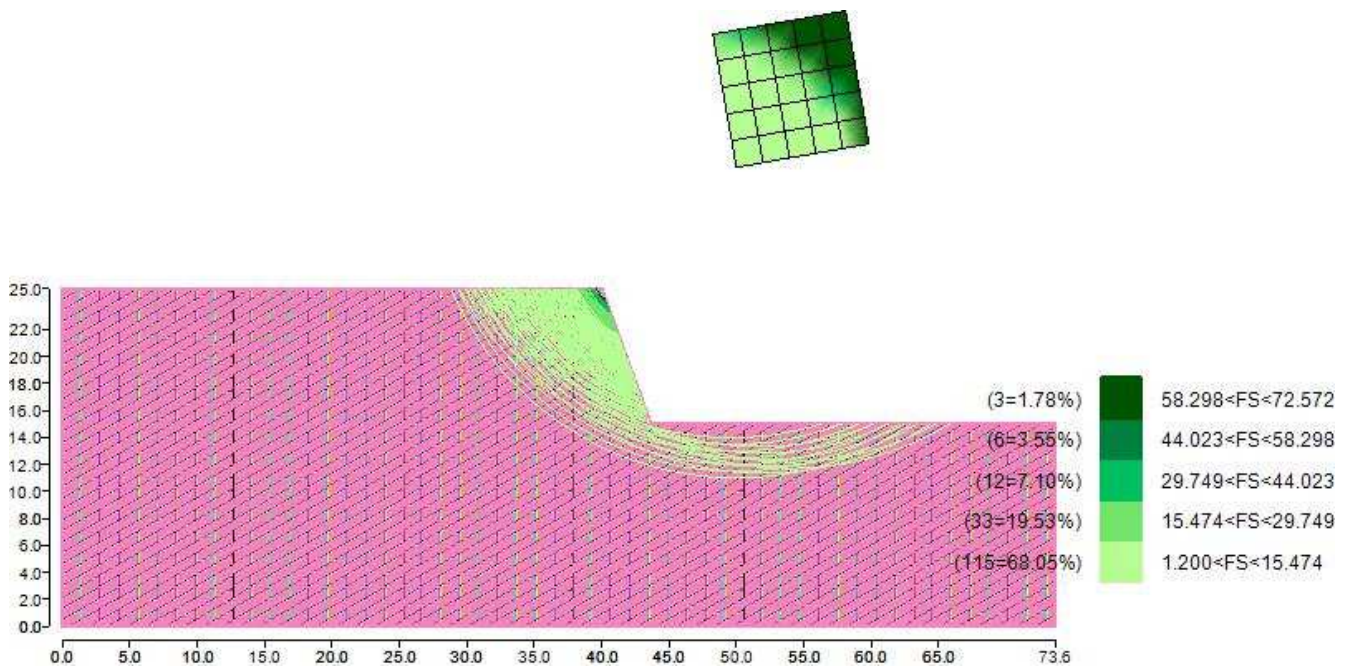


Figura 3: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

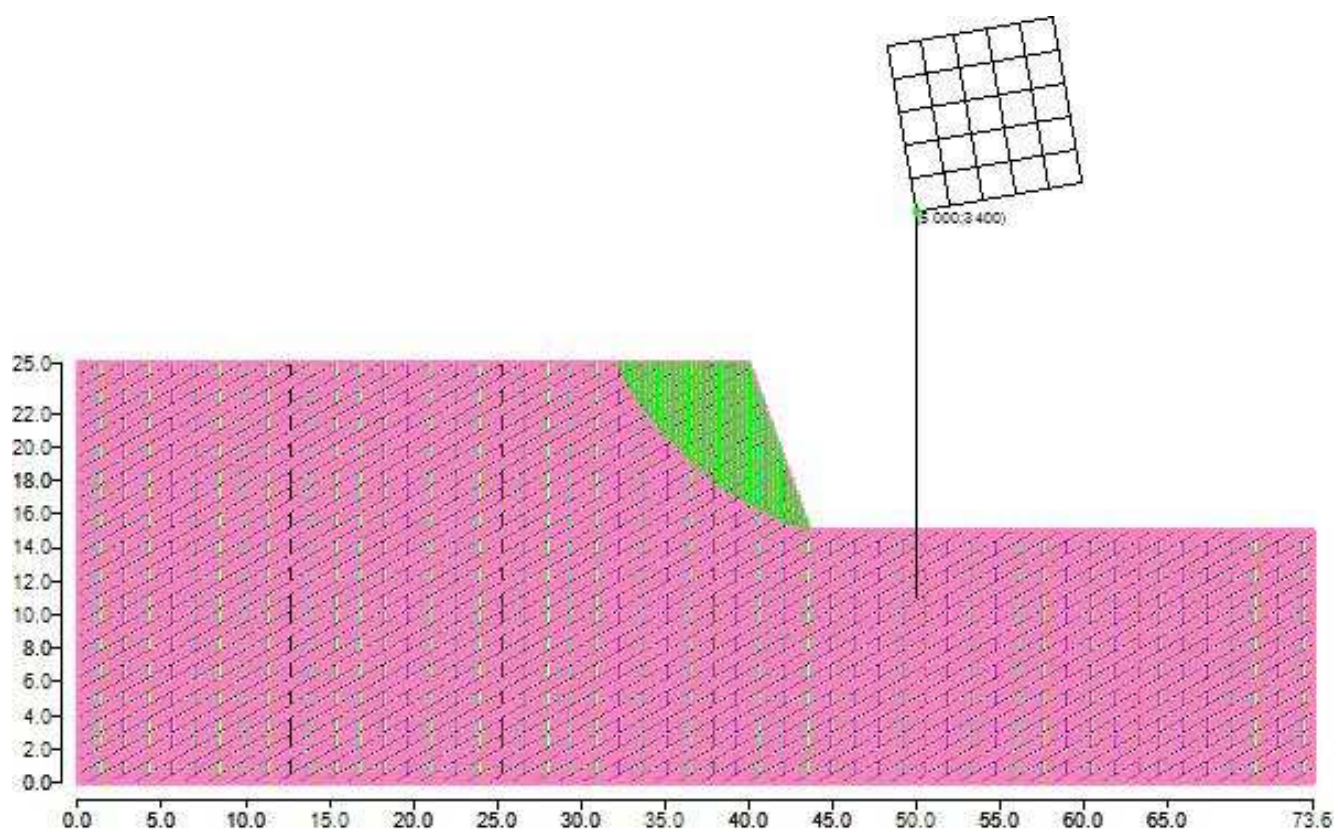


Figura 4: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 2: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	22.98	63	108.75	47.8	10001.36	22	35	0	0	0	0
2	22.98	61	320.05	147.55	9627.48	22	35	0	0	0	0
3	22.98	60	519.74	250.17	9314.85	22	35	0	0	0	0
4	22.98	59	709.17	355.03	9051.18	22	35	0	0	0	0
5	22.98	57	889.44	461.62	8827.31	22	35	0	0	0	0
6	22.98	56	1061.45	569.51	8636.32	22	35	0	0	0	0
7	22.98	55	1225.97	678.36	8472.78	22	35	0	0	0	0
8	22.98	54	1383.63	787.87	8332.44	22	35	0	0	0	0
9	22.98	53	1534.98	897.78	8211.87	22	35	0	0	0	0
10	22.98	52	1680.48	1007.87	8108.29	22	35	0	0	0	0
11	22.98	51	1820.54	1117.96	8019.4	22	35	0	0	0	0
12	22.98	50	1955.54	1227.86	7943.29	22	35	0	0	0	0
13	22.98	49	2085.77	1337.45	7878.37	22	35	0	0	0	0
14	22.98	48	2211.52	1446.57	7823.27	22	35	0	0	0	0
15	22.98	47	2333.04	1555.12	7776.85	22	35	0	0	0	0
16	22.98	46	2450.55	1662.99	7738.1	22	35	0	0	0	0
17	22.98	45	2564.26	1770.09	7706.16	22	35	0	0	0	0
18	22.98	44	2674.36	1876.32	7680.28	22	35	0	0	0	0
19	22.98	43	2780.99	1981.61	7659.81	22	35	0	0	0	0
20	22.98	42	2884.33	2085.9	7644.18	22	35	0	0	0	0
21	22.98	41	2984.5	2189.1	7632.86	22	35	0	0	0	0
22	22.98	40	3081.63	2291.17	7625.41	22	35	0	0	0	0
23	22.98	39	3175.84	2392.04	7621.43	22	35	0	0	0	0
24	22.98	39	3267.24	2491.68	7620.55	22	35	0	0	0	0

25	22.98	38	3355.92	2590.02	7622.46	22	35	0	0	0	0
26	22.98	37	3441.98	2687.03	7626.85	22	35	0	0	0	0
27	22.98	36	3525.51	2782.66	7633.46	22	35	0	0	0	0
28	22.98	35	3606.57	2876.88	7642.07	22	35	0	0	0	0
29	22.98	34	3685.25	2969.65	7652.44	22	35	0	0	0	0
30	22.98	34	3761.61	3060.94	7664.39	22	35	0	0	0	0
31	22.98	33	3835.72	3150.72	7677.73	22	35	0	0	0	0
32	22.98	32	3907.64	3238.96	7692.3	22	35	0	0	0	0
33	22.98	31	3977.42	3325.63	7707.94	22	35	0	0	0	0
34	22.98	31	4045.13	3410.71	7724.53	22	35	0	0	0	0
35	4.72	30	838.53	710.5	1587.7	22	35	0	0	0	0
36	18.26	30	3174.43	2700.46	6095.97	22	35	0	0	0	0
37	22.98	29	3773.03	3232.1	7519.21	22	35	0	0	0	0
38	22.98	28	3524.7	3042.07	7348.69	22	35	0	0	0	0
39	22.98	28	3274.48	2846.56	7175.99	22	35	0	0	0	0
40	22.98	27	3022.39	2645.73	7001.15	22	35	0	0	0	0
41	22.98	26	2768.47	2439.72	6824.19	22	35	0	0	0	0
42	22.98	25	2512.77	2228.69	6645.14	22	35	0	0	0	0
43	22.98	25	2255.31	2012.78	6464.06	22	35	0	0	0	0
44	22.98	24	1996.11	1792.13	6280.96	22	35	0	0	0	0
45	22.98	23	1735.22	1566.88	6095.91	22	35	0	0	0	0
46	22.98	22	1472.66	1337.16	5908.94	22	35	0	0	0	0
47	22.98	22	1208.46	1103.11	5720.1	22	35	0	0	0	0
48	22.98	21	942.63	864.87	5529.44	22	35	0	0	0	0
49	22.98	20	675.21	622.56	5337.01	22	35	0	0	0	0
50	22.98	20	406.21	376.31	5142.86	22	35	0	0	0	0
51	22.98	19	135.66	126.24	4947.05	22	35	0	0	0	0

Tabella 3: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
1	1	50 [cm]	34 [cm]	18 [cm]	7.022
1	2	50 [cm]	34 [cm]	18.5 [cm]	6.504
1	3	50 [cm]	34 [cm]	19 [cm]	6.081
1	4	50 [cm]	34 [cm]	19.5 [cm]	5.728
1	5	50 [cm]	34 [cm]	20 [cm]	5.430
1	6	50 [cm]	34 [cm]	20.5 [cm]	9.031
1	7	50 [cm]	34 [cm]	21 [cm]	8.820
1	8	50 [cm]	34 [cm]	21.5 [cm]	8.652
1	9	50 [cm]	34 [cm]	22 [cm]	8.519
1	10	50 [cm]	34 [cm]	22.5 [cm]	8.415
1	11	50 [cm]	34 [cm]	23 [cm]	8.337
2	1	49.65 [cm]	35.97 [cm]	18 [cm]	9.718
2	2	49.65 [cm]	35.97 [cm]	18.5 [cm]	8.684
2	3	49.65 [cm]	35.97 [cm]	19 [cm]	7.888
2	4	49.65 [cm]	35.97 [cm]	19.5 [cm]	7.257
2	5	49.65 [cm]	35.97 [cm]	20 [cm]	6.745
2	6	49.65 [cm]	35.97 [cm]	20.5 [cm]	6.321
2	7	49.65 [cm]	35.97 [cm]	21 [cm]	5.964
2	8	49.65 [cm]	35.97 [cm]	21.5 [cm]	5.660
2	9	49.65 [cm]	35.97 [cm]	22 [cm]	8.803
2	10	49.65 [cm]	35.97 [cm]	22.5 [cm]	8.654
2	11	49.65 [cm]	35.97 [cm]	23 [cm]	8.520
3	1	49.31 [cm]	37.94 [cm]	18 [cm]	16.518
3	2	49.31 [cm]	37.94 [cm]	18.5 [cm]	13.581
3	3	49.31 [cm]	37.94 [cm]	19 [cm]	11.611
3	4	49.31 [cm]	37.94 [cm]	19.5 [cm]	10.200



3	5	49.31 [cm]	37.94 [cm]	20 [cm]	9.140
3	6	49.31 [cm]	37.94 [cm]	20.5 [cm]	8.316
3	7	49.31 [cm]	37.94 [cm]	21 [cm]	7.656
3	8	49.31 [cm]	37.94 [cm]	21.5 [cm]	7.118
3	9	49.31 [cm]	37.94 [cm]	22 [cm]	6.669
3	10	49.31 [cm]	37.94 [cm]	22.5 [cm]	6.290
3	11	49.31 [cm]	37.94 [cm]	23 [cm]	5.966
4	1	48.96 [cm]	39.91 [cm]	18 [cm]	59.217
4	2	48.96 [cm]	39.91 [cm]	18.5 [cm]	32.897
4	3	48.96 [cm]	39.91 [cm]	19 [cm]	23.003
4	4	48.96 [cm]	39.91 [cm]	19.5 [cm]	17.830
4	5	48.96 [cm]	39.91 [cm]	20 [cm]	14.659
4	6	48.96 [cm]	39.91 [cm]	20.5 [cm]	12.519
4	7	48.96 [cm]	39.91 [cm]	21 [cm]	10.981
4	8	48.96 [cm]	39.91 [cm]	21.5 [cm]	9.822
4	9	48.96 [cm]	39.91 [cm]	22 [cm]	8.920
4	10	48.96 [cm]	39.91 [cm]	22.5 [cm]	8.197
4	11	48.96 [cm]	39.91 [cm]	23 [cm]	7.606
5	1	48.61 [cm]	41.88 [cm]	19.5 [cm]	72.572
5	2	48.61 [cm]	41.88 [cm]	20 [cm]	38.304
5	3	48.61 [cm]	41.88 [cm]	20.5 [cm]	26.197
5	4	48.61 [cm]	41.88 [cm]	21 [cm]	20.034
5	5	48.61 [cm]	41.88 [cm]	21.5 [cm]	16.312
5	6	48.61 [cm]	41.88 [cm]	22 [cm]	13.828
5	7	48.61 [cm]	41.88 [cm]	22.5 [cm]	12.055
5	8	48.61 [cm]	41.88 [cm]	23 [cm]	10.728
6	1	48.26 [cm]	43.85 [cm]	21.5 [cm]	48.345
6	2	48.26 [cm]	43.85 [cm]	22 [cm]	31.376
6	3	48.26 [cm]	43.85 [cm]	22.5 [cm]	23.325
6	4	48.26 [cm]	43.85 [cm]	23 [cm]	18.647
7	1	51.97 [cm]	34.35 [cm]	18 [cm]	9.553
7	2	51.97 [cm]	34.35 [cm]	18.5 [cm]	8.349
7	3	51.97 [cm]	34.35 [cm]	19 [cm]	7.465
7	4	51.97 [cm]	34.35 [cm]	19.5 [cm]	6.790
7	5	51.97 [cm]	34.35 [cm]	20 [cm]	6.258
7	6	51.97 [cm]	34.35 [cm]	20.5 [cm]	5.827
7	7	51.97 [cm]	34.35 [cm]	21 [cm]	5.472
7	8	51.97 [cm]	34.35 [cm]	21.5 [cm]	10.571
7	9	51.97 [cm]	34.35 [cm]	22 [cm]	10.134
7	10	51.97 [cm]	34.35 [cm]	22.5 [cm]	9.798
7	11	51.97 [cm]	34.35 [cm]	23 [cm]	9.538
8	1	51.62 [cm]	36.32 [cm]	18 [cm]	15.738
8	2	51.62 [cm]	36.32 [cm]	18.5 [cm]	12.601
8	3	51.62 [cm]	36.32 [cm]	19 [cm]	10.604
8	4	51.62 [cm]	36.32 [cm]	19.5 [cm]	9.222
8	5	51.62 [cm]	36.32 [cm]	20 [cm]	8.210
8	6	51.62 [cm]	36.32 [cm]	20.5 [cm]	7.438
8	7	51.62 [cm]	36.32 [cm]	21 [cm]	6.830
8	8	51.62 [cm]	36.32 [cm]	21.5 [cm]	6.339
8	9	51.62 [cm]	36.32 [cm]	22 [cm]	5.934
8	10	51.62 [cm]	36.32 [cm]	22.5 [cm]	5.595
8	11	51.62 [cm]	36.32 [cm]	23 [cm]	10.155
9	1	51.28 [cm]	38.29 [cm]	18 [cm]	50.784
9	2	51.28 [cm]	38.29 [cm]	18.5 [cm]	27.728
9	3	51.28 [cm]	38.29 [cm]	19 [cm]	19.344
9	4	51.28 [cm]	38.29 [cm]	19.5 [cm]	15.017
9	5	51.28 [cm]	38.29 [cm]	20 [cm]	12.381
9	6	51.28 [cm]	38.29 [cm]	20.5 [cm]	10.609
9	7	51.28 [cm]	38.29 [cm]	21 [cm]	9.338

9	8	51.28 [cm]	38.29 [cm]	21.5 [cm]	8.382
9	9	51.28 [cm]	38.29 [cm]	22 [cm]	7.638
9	10	51.28 [cm]	38.29 [cm]	22.5 [cm]	7.042
9	11	51.28 [cm]	38.29 [cm]	23 [cm]	6.555
10	1	50.93 [cm]	40.26 [cm]	19.5 [cm]	44.060
10	2	50.93 [cm]	40.26 [cm]	20 [cm]	26.691
10	3	50.93 [cm]	40.26 [cm]	20.5 [cm]	19.361
10	4	50.93 [cm]	40.26 [cm]	21 [cm]	15.326
10	5	50.93 [cm]	40.26 [cm]	21.5 [cm]	12.776
10	6	50.93 [cm]	40.26 [cm]	22 [cm]	11.021
10	7	50.93 [cm]	40.26 [cm]	22.5 [cm]	9.741
10	8	50.93 [cm]	40.26 [cm]	23 [cm]	8.767
11	1	50.58 [cm]	42.23 [cm]	21 [cm]	45.407
11	2	50.58 [cm]	42.23 [cm]	21.5 [cm]	28.128
11	3	50.58 [cm]	42.23 [cm]	22 [cm]	20.561
11	4	50.58 [cm]	42.23 [cm]	22.5 [cm]	16.325
11	5	50.58 [cm]	42.23 [cm]	23 [cm]	13.621
12	1	50.23 [cm]	44.2 [cm]	22.5 [cm]	52.253
12	2	50.23 [cm]	44.2 [cm]	23 [cm]	31.601
13	1	53.94 [cm]	34.69 [cm]	18 [cm]	22.597
13	2	53.94 [cm]	34.69 [cm]	18.5 [cm]	15.527
13	3	53.94 [cm]	34.69 [cm]	19 [cm]	11.996
13	4	53.94 [cm]	34.69 [cm]	19.5 [cm]	9.885
13	5	53.94 [cm]	34.69 [cm]	20 [cm]	8.484
13	6	53.94 [cm]	34.69 [cm]	20.5 [cm]	7.488
13	7	53.94 [cm]	34.69 [cm]	21 [cm]	6.745
13	8	53.94 [cm]	34.69 [cm]	21.5 [cm]	6.169
13	9	53.94 [cm]	34.69 [cm]	22 [cm]	5.710
13	10	53.94 [cm]	34.69 [cm]	22.5 [cm]	12.784
13	11	53.94 [cm]	34.69 [cm]	23 [cm]	11.979
14	1	53.59 [cm]	36.66 [cm]	18.5 [cm]	42.237
14	2	53.59 [cm]	36.66 [cm]	19 [cm]	23.325
14	3	53.59 [cm]	36.66 [cm]	19.5 [cm]	16.362
14	4	53.59 [cm]	36.66 [cm]	20 [cm]	12.756
14	5	53.59 [cm]	36.66 [cm]	20.5 [cm]	10.556
14	6	53.59 [cm]	36.66 [cm]	21 [cm]	9.077
14	7	53.59 [cm]	36.66 [cm]	21.5 [cm]	8.016
14	8	53.59 [cm]	36.66 [cm]	22 [cm]	7.219
14	9	53.59 [cm]	36.66 [cm]	22.5 [cm]	6.598
14	10	53.59 [cm]	36.66 [cm]	23 [cm]	6.102
15	1	53.24 [cm]	38.63 [cm]	19.5 [cm]	54.951
15	2	53.24 [cm]	38.63 [cm]	20 [cm]	27.826
15	3	53.24 [cm]	38.63 [cm]	20.5 [cm]	18.914
15	4	53.24 [cm]	38.63 [cm]	21 [cm]	14.494
15	5	53.24 [cm]	38.63 [cm]	21.5 [cm]	11.859
15	6	53.24 [cm]	38.63 [cm]	22 [cm]	10.112
15	7	53.24 [cm]	38.63 [cm]	22.5 [cm]	8.870
15	8	53.24 [cm]	38.63 [cm]	23 [cm]	7.944
16	1	52.9 [cm]	40.6 [cm]	21 [cm]	39.367
16	2	52.9 [cm]	40.6 [cm]	21.5 [cm]	24.178
16	3	52.9 [cm]	40.6 [cm]	22 [cm]	17.656
16	4	52.9 [cm]	40.6 [cm]	22.5 [cm]	14.036
16	5	52.9 [cm]	40.6 [cm]	23 [cm]	11.737
17	1	52.55 [cm]	42.57 [cm]	22.5 [cm]	35.963
17	2	52.55 [cm]	42.57 [cm]	23 [cm]	23.587
19	1	55.91 [cm]	35.04 [cm]	19.5 [cm]	31.802
19	2	55.91 [cm]	35.04 [cm]	20 [cm]	18.717
19	3	55.91 [cm]	35.04 [cm]	20.5 [cm]	13.472
19	4	55.91 [cm]	35.04 [cm]	21 [cm]	10.660

19	5	55.91 [cm]	35.04 [cm]	21.5 [cm]	8.912
19	6	55.91 [cm]	35.04 [cm]	22 [cm]	7.723
19	7	55.91 [cm]	35.04 [cm]	22.5 [cm]	6.863
19	8	55.91 [cm]	35.04 [cm]	23 [cm]	6.213
20	1	55.56 [cm]	37.01 [cm]	20.5 [cm]	28.431
20	2	55.56 [cm]	37.01 [cm]	21 [cm]	18.197
20	3	55.56 [cm]	37.01 [cm]	21.5 [cm]	13.561
20	4	55.56 [cm]	37.01 [cm]	22 [cm]	10.925
20	5	55.56 [cm]	37.01 [cm]	22.5 [cm]	9.230
20	6	55.56 [cm]	37.01 [cm]	23 [cm]	8.049
21	1	55.21 [cm]	38.98 [cm]	21.5 [cm]	30.939
21	2	55.21 [cm]	38.98 [cm]	22 [cm]	19.775
21	3	55.21 [cm]	38.98 [cm]	22.5 [cm]	14.714
21	4	55.21 [cm]	38.98 [cm]	23 [cm]	11.833
22	1	54.87 [cm]	40.95 [cm]	22.5 [cm]	40.013
22	2	54.87 [cm]	40.95 [cm]	23 [cm]	23.744
25	1	57.88 [cm]	35.39 [cm]	21 [cm]	65.453
25	2	57.88 [cm]	35.39 [cm]	21.5 [cm]	25.704
25	3	57.88 [cm]	35.39 [cm]	22 [cm]	16.253
25	4	57.88 [cm]	35.39 [cm]	22.5 [cm]	12.060
25	5	57.88 [cm]	35.39 [cm]	23 [cm]	9.702
26	1	57.53 [cm]	37.36 [cm]	22 [cm]	41.459
26	2	57.53 [cm]	37.36 [cm]	22.5 [cm]	22.038
26	3	57.53 [cm]	37.36 [cm]	23 [cm]	15.224
27	1	57.18 [cm]	39.33 [cm]	23 [cm]	39.234



### Metodo di BISHOP (1955)

Il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **5.384 (>1.200)**, si ha in corrispondenza del centro numero 1 e della superficie numero 5. Le coordinate del centro sono: C (5000 [cm] ,3400 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 2000 [cm].

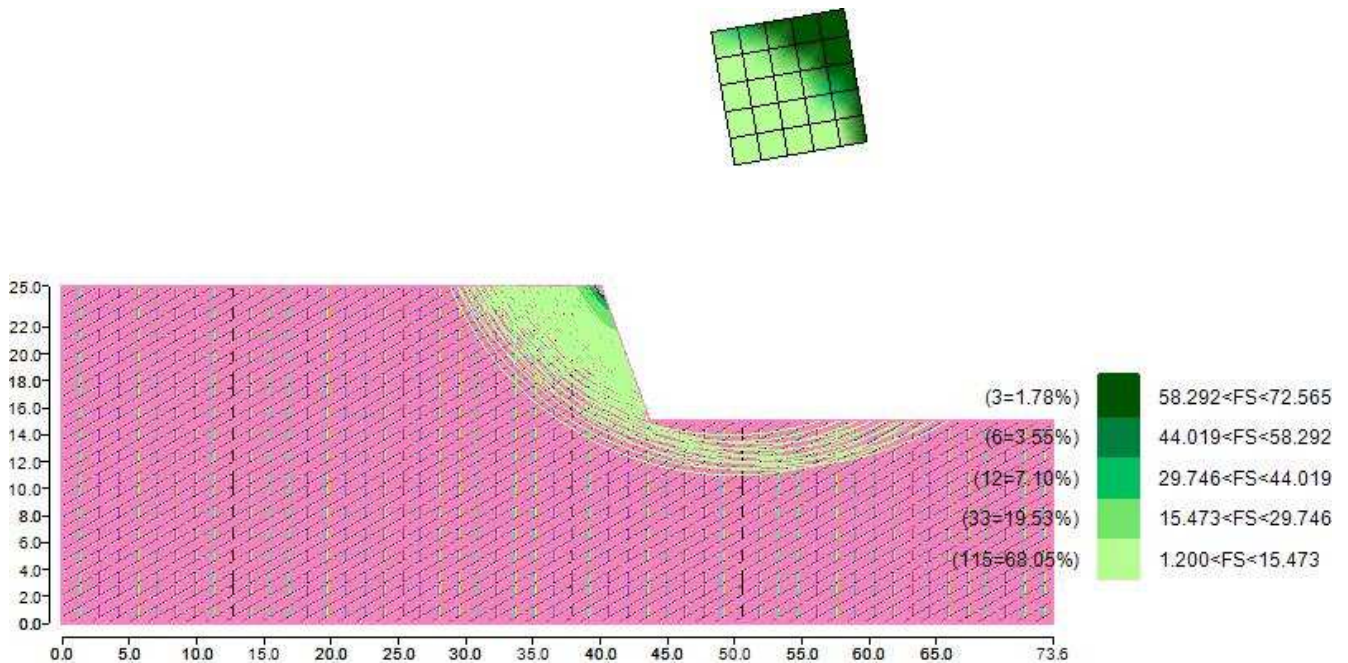


Figura 5: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

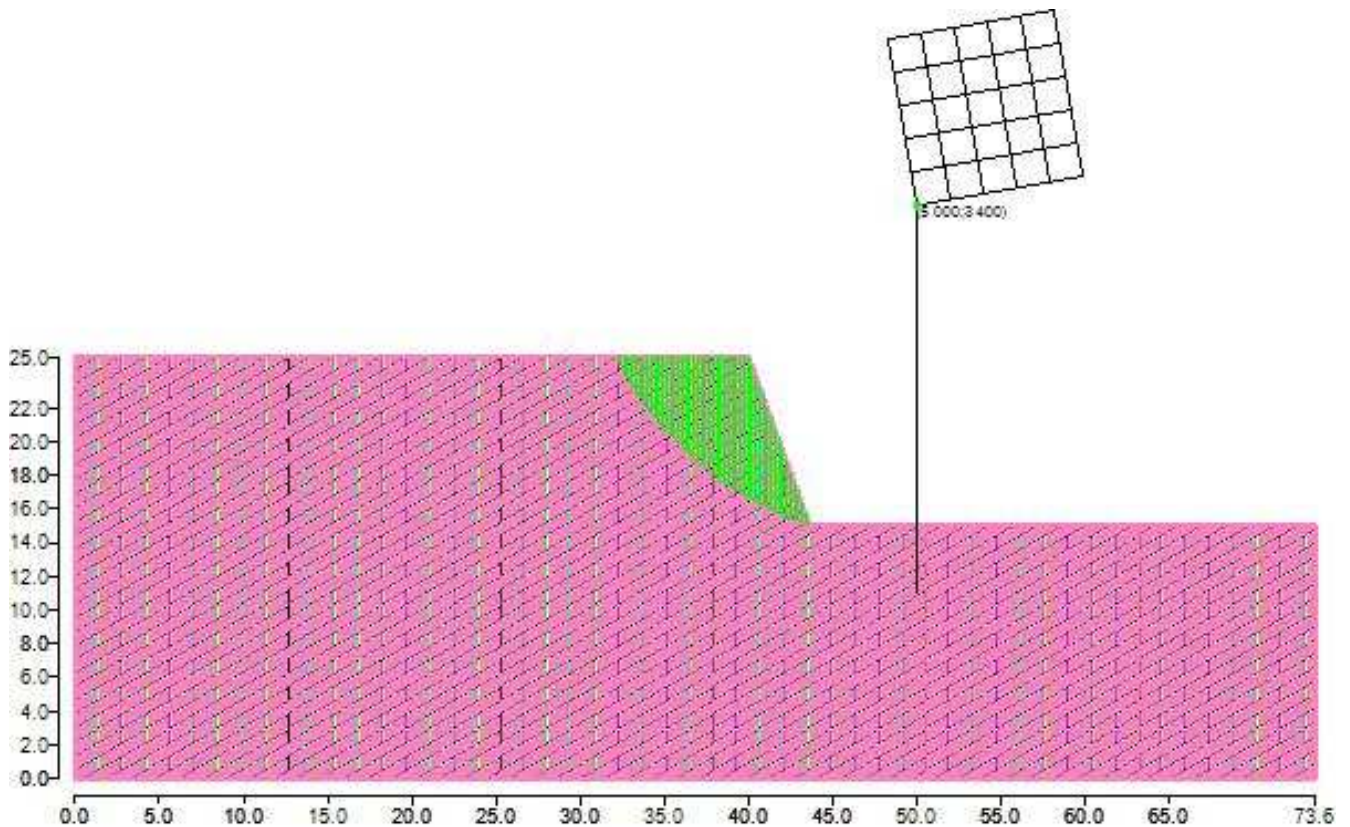


Figura 6: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 4: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	22.98	63	108.75	-2662.42	8103.65	2	35	0	-1295.48	0	0
2	22.98	61	320.05	-2065.68	8077.77	2	35	1295.48	-2214.05	0	0
3	22.98	60	519.74	-1547.77	8055.92	2	35	2214.05	-2815.27	0	0
4	22.98	59	709.17	-1092.83	8037.38	2	35	2815.27	-3146.92	0	0
5	22.98	57	889.44	-689.13	8021.56	2	35	3146.92	-3248.06	0	0
6	22.98	56	1061.45	-327.78	8008.03	2	35	3248.06	-3151.11	0	0
7	22.98	55	1225.97	-1.92	7996.44	2	35	3151.11	-2883.33	0	0
8	22.98	54	1383.63	293.87	7986.54	2	35	2883.33	-2467.93	0	0
9	22.98	53	1534.98	563.89	7978.08	2	35	2467.93	-1924.85	0	0
10	22.98	52	1680.48	811.65	7970.89	2	35	1924.85	-1271.35	0	0
11	22.98	51	1820.54	1040.01	7964.82	2	35	1271.35	-522.54	0	0
12	22.98	50	1955.54	1251.35	7959.74	2	35	522.54	-308.27	0	0
13	22.98	49	2085.77	1447.66	7955.54	2	35	308.27	-1209.34	0	0
14	22.98	48	2211.52	1630.62	7952.14	2	35	1209.34	-2170.17	0	0
15	22.98	47	2333.04	1801.65	7949.46	2	35	2170.17	-3181.39	0	0
16	22.98	46	2450.55	1961.96	7947.44	2	35	3181.39	-4234.55	0	0
17	22.98	45	2564.26	2112.62	7946	2	35	4234.55	-5322.02	0	0
18	22.98	44	2674.36	2254.54	7945.11	2	35	5322.02	-6436.9	0	0
19	22.98	43	2780.99	2388.51	7944.73	2	35	6436.9	-7572.89	0	0
20	22.98	42	2884.33	2515.23	7944.8	2	35	7572.89	-8724.24	0	0
21	22.98	41	2984.5	2635.32	7945.31	2	35	8724.24	-9885.68	0	0
22	22.98	40	3081.63	2749.31	7946.21	2	35	9885.68	-11052.37	0	0
23	22.98	39	3175.84	2857.7	7947.49	2	35	11052.37	-12219.87	0	0
24	22.98	39	3267.24	2960.91	7949.11	2	35	12219.87	-13384.04	0	0
25	22.98	38	3355.92	3059.33	7951.07	2	35	13384.04	-14541.08	0	0
26	22.98	37	3441.98	3153.3	7953.34	2	35	14541.08	-15687.45	0	0
27	22.98	36	3525.51	3243.14	7955.9	2	35	15687.45	-16819.88	0	0
28	22.98	35	3606.57	3329.13	7958.74	2	35	16819.88	-17935.29	0	0
29	22.98	34	3685.25	3411.51	7961.84	2	35	17935.29	-19030.84	0	0
30	22.98	34	3761.61	3490.54	7965.2	2	35	19030.84	-20103.85	0	0
31	22.98	33	3835.72	3566.41	7968.8	2	35	20103.85	-21151.83	0	0
32	22.98	32	3907.64	3639.31	7972.63	2	35	21151.83	-22172.44	0	0
33	22.98	31	3977.42	3709.43	7976.68	2	35	22172.44	-23163.49	0	0
34	22.98	31	4045.13	3776.93	7980.96	2	35	23163.49	-24122.91	0	0
35	4.72	30	838.53	783.41	1638.76	2	35	24122.91	-24315.75	0	0
36	18.26	30	3174.43	2954.68	6273.98	2	35	24315.75	-25005.06	0	0
37	22.98	29	3773.03	3480.55	7693.18	2	35	25005.06	-25722.34	0	0
38	22.98	28	3524.7	3217.3	7471.39	2	35	25722.34	-26280.22	0	0
39	22.98	28	3274.48	2955	7251.93	2	35	26280.22	-26686.78	0	0
40	22.98	27	3022.39	2693.54	7034.62	2	35	26686.78	-26949.88	0	0
41	22.98	26	2768.47	2432.77	6819.32	2	35	26949.88	-27077.26	0	0
42	22.98	25	2512.77	2172.6	6605.87	2	35	27077.26	-27076.47	0	0
43	22.98	25	2255.31	1912.9	6394.12	2	35	27076.47	-26954.96	0	0
44	22.98	24	1996.11	1653.57	6183.95	2	35	26954.96	-26720.02	0	0
45	22.98	23	1735.22	1394.5	5975.21	2	35	26720.02	-26378.85	0	0
46	22.98	22	1472.66	1135.59	5767.8	2	35	26378.85	-25938.54	0	0
47	22.98	22	1208.46	876.73	5561.59	2	35	25938.54	-25406.07	0	0
48	22.98	21	942.63	617.83	5356.46	2	35	25406.07	-24788.35	0	0
49	22.98	20	675.21	358.78	5152.31	2	35	24788.35	-24092.22	0	0
50	22.98	20	406.21	99.5	4949.04	2	35	24092.22	-23324.43	0	0
51	22.98	19	135.66	-160.11	4746.54	2	35	23324.43	-22491.68	0	0

Tabella 5: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
1	1	5000	3400	1800	6.978
1	2	5000	3400	1850	6.459
1	3	5000	3400	1900	6.034
1	4	5000	3400	1950	5.682
1	5	5000	3400	2000	5.384
1	6	5000	3400	2050	9.264
1	7	5000	3400	2100	9.077
1	8	5000	3400	2150	8.932
1	9	5000	3400	2200	8.823
1	10	5000	3400	2250	8.745
1	11	5000	3400	2300	8.692
2	1	4965.27	3596.96	1800	9.687
2	2	4965.27	3596.96	1850	8.651
2	3	4965.27	3596.96	1900	7.854
2	4	4965.27	3596.96	1950	7.222
2	5	4965.27	3596.96	2000	6.710
2	6	4965.27	3596.96	2050	6.286
2	7	4965.27	3596.96	2100	5.929
2	8	4965.27	3596.96	2150	5.626
2	9	4965.27	3596.96	2200	8.986
2	10	4965.27	3596.96	2250	8.862
2	11	4965.27	3596.96	2300	8.751
3	1	4930.54	3793.92	1800	16.498
3	2	4930.54	3793.92	1850	13.557
3	3	4930.54	3793.92	1900	11.585
3	4	4930.54	3793.92	1950	10.173
3	5	4930.54	3793.92	2000	9.112
3	6	4930.54	3793.92	2050	8.287
3	7	4930.54	3793.92	2100	7.627
3	8	4930.54	3793.92	2150	7.089
3	9	4930.54	3793.92	2200	6.641
3	10	4930.54	3793.92	2250	6.262
3	11	4930.54	3793.92	2300	5.939
4	1	4895.81	3990.88	1800	59.210
4	2	4895.81	3990.88	1850	32.885
4	3	4895.81	3990.88	1900	22.986
4	4	4895.81	3990.88	1950	17.811
4	5	4895.81	3990.88	2000	14.638
4	6	4895.81	3990.88	2050	12.496
4	7	4895.81	3990.88	2100	10.957
4	8	4895.81	3990.88	2150	9.798
4	9	4895.81	3990.88	2200	8.895
4	10	4895.81	3990.88	2250	8.173
4	11	4895.81	3990.88	2300	7.582
5	1	4861.08	4187.85	1950	72.565
5	2	4861.08	4187.85	2000	38.293
5	3	4861.08	4187.85	2050	26.182
5	4	4861.08	4187.85	2100	20.016
5	5	4861.08	4187.85	2150	16.293
5	6	4861.08	4187.85	2200	13.808
5	7	4861.08	4187.85	2250	12.034
5	8	4861.08	4187.85	2300	10.707
6	1	4826.35	4384.81	2150	48.335
6	2	4826.35	4384.81	2200	31.362
6	3	4826.35	4384.81	2250	23.309
6	4	4826.35	4384.81	2300	18.629

7	1	5196.96	3434.73	1800	9.516
7	2	5196.96	3434.73	1850	8.308
7	3	5196.96	3434.73	1900	7.422
7	4	5196.96	3434.73	1950	6.744
7	5	5196.96	3434.73	2000	6.210
7	6	5196.96	3434.73	2050	5.778
7	7	5196.96	3434.73	2100	5.423
7	8	5196.96	3434.73	2150	10.889
7	9	5196.96	3434.73	2200	10.472
7	10	5196.96	3434.73	2250	10.158
7	11	5196.96	3434.73	2300	9.921
8	1	5162.23	3631.69	1800	15.717
8	2	5162.23	3631.69	1850	12.576
8	3	5162.23	3631.69	1900	10.575
8	4	5162.23	3631.69	1950	9.190
8	5	5162.23	3631.69	2000	8.176
8	6	5162.23	3631.69	2050	7.402
8	7	5162.23	3631.69	2100	6.793
8	8	5162.23	3631.69	2150	6.301
8	9	5162.23	3631.69	2200	5.895
8	10	5162.23	3631.69	2250	5.556
8	11	5162.23	3631.69	2300	10.413
9	1	5127.5	3828.65	1800	50.777
9	2	5127.5	3828.65	1850	27.716
9	3	5127.5	3828.65	1900	19.327
9	4	5127.5	3828.65	1950	14.997
9	5	5127.5	3828.65	2000	12.358
9	6	5127.5	3828.65	2050	10.583
9	7	5127.5	3828.65	2100	9.310
9	8	5127.5	3828.65	2150	8.352
9	9	5127.5	3828.65	2200	7.607
9	10	5127.5	3828.65	2250	7.011
9	11	5127.5	3828.65	2300	6.524
10	1	5092.77	4025.61	1950	44.052
10	2	5092.77	4025.61	2000	26.678
10	3	5092.77	4025.61	2050	19.344
10	4	5092.77	4025.61	2100	15.306
10	5	5092.77	4025.61	2150	12.754
10	6	5092.77	4025.61	2200	10.998
10	7	5092.77	4025.61	2250	9.716
10	8	5092.77	4025.61	2300	8.741
11	1	5058.04	4222.58	2100	45.399
11	2	5058.04	4222.58	2150	28.116
11	3	5058.04	4222.58	2200	20.546
11	4	5058.04	4222.58	2250	16.307
11	5	5058.04	4222.58	2300	13.601
12	1	5023.31	4419.54	2250	52.246
12	2	5023.31	4419.54	2300	31.590
13	1	5393.92	3469.46	1800	22.584
13	2	5393.92	3469.46	1850	15.506
13	3	5393.92	3469.46	1900	11.967
13	4	5393.92	3469.46	1950	9.851
13	5	5393.92	3469.46	2000	8.445
13	6	5393.92	3469.46	2050	7.445
13	7	5393.92	3469.46	2100	6.698
13	8	5393.92	3469.46	2150	6.120
13	9	5393.92	3469.46	2200	5.660
13	10	5393.92	3469.46	2250	13.198
13	11	5393.92	3469.46	2300	12.411

14	1	5359.19	3666.42	1850	42.231
14	2	5359.19	3666.42	1900	23.313
14	3	5359.19	3666.42	1950	16.344
14	4	5359.19	3666.42	2000	12.733
14	5	5359.19	3666.42	2050	10.529
14	6	5359.19	3666.42	2100	9.046
14	7	5359.19	3666.42	2150	7.982
14	8	5359.19	3666.42	2200	7.183
14	9	5359.19	3666.42	2250	6.559
14	10	5359.19	3666.42	2300	6.062
15	1	5324.46	3863.38	1950	54.946
15	2	5324.46	3863.38	2000	27.816
15	3	5324.46	3863.38	2050	18.899
15	4	5324.46	3863.38	2100	14.475
15	5	5324.46	3863.38	2150	11.836
15	6	5324.46	3863.38	2200	10.086
15	7	5324.46	3863.38	2250	8.842
15	8	5324.46	3863.38	2300	7.914
16	1	5289.73	4060.34	2100	39.359
16	2	5289.73	4060.34	2150	24.166
16	3	5289.73	4060.34	2200	17.640
16	4	5289.73	4060.34	2250	14.017
16	5	5289.73	4060.34	2300	11.716
17	1	5255	4257.31	2250	35.955
17	2	5255	4257.31	2300	23.574
19	1	5590.88	3504.19	1950	31.797
19	2	5590.88	3504.19	2000	18.702
19	3	5590.88	3504.19	2050	13.449
19	4	5590.88	3504.19	2100	10.630
19	5	5590.88	3504.19	2150	8.877
19	6	5590.88	3504.19	2200	7.682
19	7	5590.88	3504.19	2250	6.818
19	8	5590.88	3504.19	2300	6.165
20	1	5556.16	3701.15	2050	28.422
20	2	5556.16	3701.15	2100	18.183
20	3	5556.16	3701.15	2150	13.541
20	4	5556.16	3701.15	2200	10.900
20	5	5556.16	3701.15	2250	9.200
20	6	5556.16	3701.15	2300	8.016
21	1	5521.43	3898.11	2150	30.931
21	2	5521.43	3898.11	2200	19.762
21	3	5521.43	3898.11	2250	14.696
21	4	5521.43	3898.11	2300	11.812
22	1	5486.7	4095.07	2250	40.007
22	2	5486.7	4095.07	2300	23.733
25	1	5787.85	3538.92	2100	65.456
25	2	5787.85	3538.92	2150	25.698
25	3	5787.85	3538.92	2200	16.238
25	4	5787.85	3538.92	2250	12.036
25	5	5787.85	3538.92	2300	9.671
26	1	5753.12	3735.88	2200	41.456
26	2	5753.12	3735.88	2250	22.029
26	3	5753.12	3735.88	2300	15.208
27	1	5718.39	3932.84	2300	39.229

## 7 Confronto tra i fattori di sicurezza ottenuti.

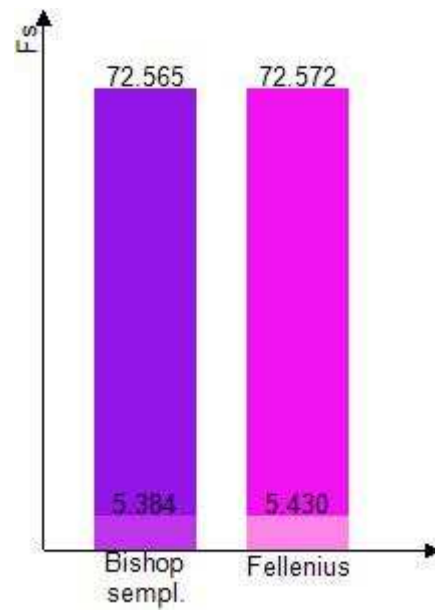


Figura 7: Confronto tra i fattori di sicurezza calcolati

# Relazione di Calcolo Statico



**CDM DOLMEN**  
CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO

Relazione di calcolo: verifica di stabilità del fronte di scavo in condizioni statiche

Verifica globale dell'intero fronte di scavo



# 1 Caratteristiche terreni.

## Marna argillosa

Coesione: 1 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 25 [°]

Peso secco: 0.00191 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00201 [daN/cm<sup>3</sup>]

## Gesso macrocristallino

Coesione: 2 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 35 [°]

Peso secco: 0.00214 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00224 [daN/cm<sup>3</sup>]

# 2 Stratigrafia.

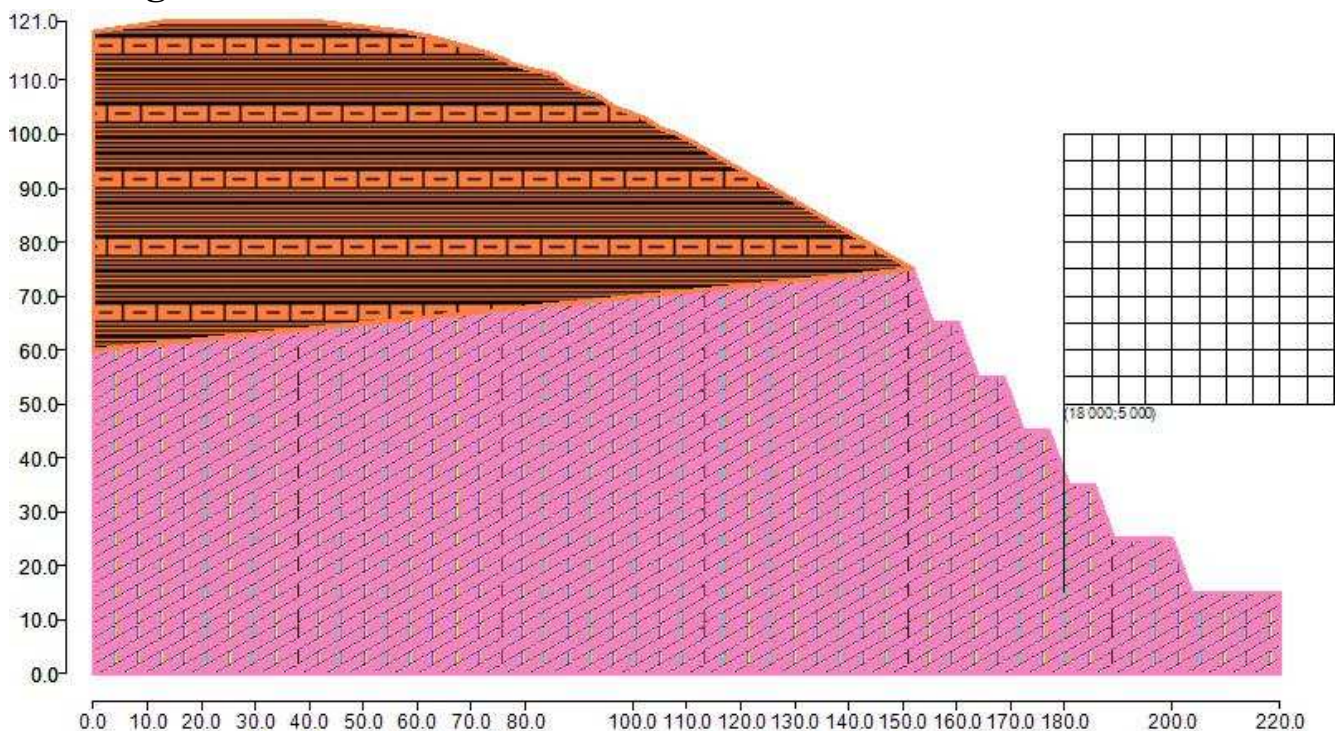


Figura 1: Rappresentazione del pendio.

Sono stati definiti 2 strati di cui si riportano le coordinate.

## Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	0	6000
2	15187.41	7500
3	15260.31	7300
4	15406.1	6900
5	15551.9	6500
6	16027.53	6500
7	16100.43	6300
8	16246.22	5900
9	16392.02	5500
10	16867.65	5500
11	16977	5200
12	17122.79	4800
13	17232.14	4500
14	17707.78	4500



15	17817.12	4200
16	17926.47	3900
17	18072.26	3500
18	18547.9	3500
19	18657.24	3200
20	18803.68	2800
21	18912.38	2500
22	19988.2	2500
23	20133.99	2100
24	20243.34	1800
25	20352.68	1500
26	22000	1500
27	22000	0
28	0	0

Tabella 1: Coordinate dello strato n. 1

Tipo di terreno presente nello strato 1: Gesso macrocristallino.

#### Strato 2

	x [cm]	y [cm]
1	0	11900
2	1404.09	12100
3	4078.67	12100
4	5770.74	11900
5	6278.09	11800
6	6997.3	11600
7	7310.62	11500
8	7578.45	11400
9	7765.9	11300
10	8117.8	11200
11	8554.29	11100
12	8820.72	10900
13	9075.87	10800
14	9372.35	10700
15	9646.45	10500
16	10210.98	10300
17	10530.89	10099.85
18	10827.58	10000
19	11025.06	9900
20	11371.92	9700
21	11718.78	9500
22	12239.08	9200
23	12932.8	8800
24	13453.1	8500
25	14146.82	8100
26	15187.41	7500
27	0	6000

Tabella 2: Coordinate dello strato n. 2

Tipo di terreno presente nello strato 2: Marna argillosa.

### 3 Normativa di riferimento.

La normativa utilizzata per quanto riguarda il calcolo statico è:

NTC 2018: Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

L'approccio progettuale che è stato scelto è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1.25$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1.4$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1.25$
- per il peso di volume:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1.3$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.1$
- per gli ancoraggi:  $\gamma_a = 1.2$ ,  $\xi_a = 1.8$
- per i pali (trasversale):  $\gamma_p = 1.6$ ,  $\xi_p = 1.7$
- per le terre rinforzate (sfilamento):  $\gamma_{T,po} = 2.5$
- per le terre rinforzate (scorrimento diretto):  $\gamma_{T,ds} = 1.5$
- per le terre rinforzate (resistenza a trazione):  $\gamma_{T,rt} = 1.5$
- per le opere di sostegno (scorrimento piano di posa):  $\gamma_{R,h} = 1.1$
- per le opere di sostegno (capacità portante piano di posa):  $\gamma_{R,v} = 1.4$
- per le opere di sostegno (ribaltamento):  $\gamma_{R,o} = 1.15$

## 4 Generazione superfici di rottura.

Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

La maglia di centri ha origine nel punto C (18000 [cm], 5000 [cm]), in direzione orizzontale ha passo pari a 500 [cm], in direzione verticale ha passo pari a 500 [cm].

Il raggio iniziale è pari a 3000 cm, si hanno 103000 [cm], si hanno 10 incrementi di 50 [cm].

Il numero di centri è 121 ed il numero di superfici circolari generate è 214.

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.

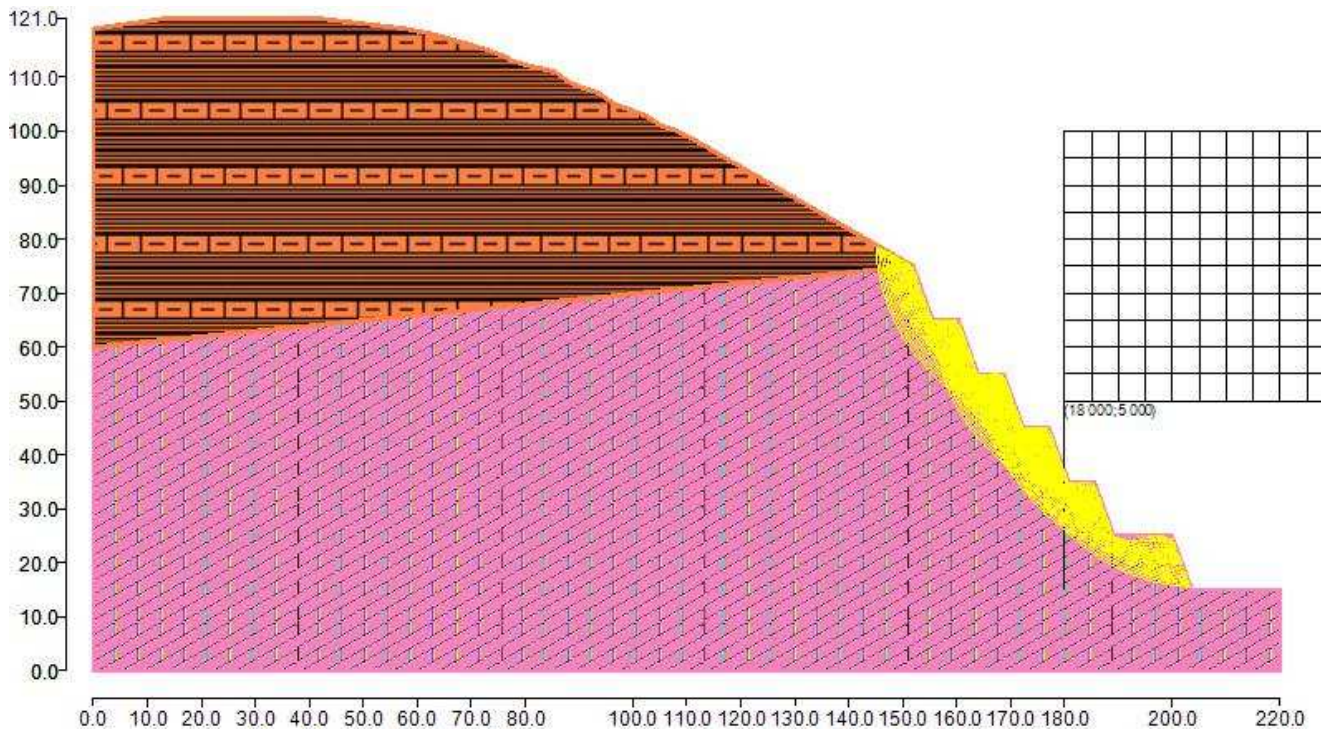


Figura 2: Superfici di rottura e maglia centri

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

## 5 Metodi utilizzati nel calcolo.

### Metodo di FELLENIUS (1927)

Metodo valido per superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Per ciascuna striscia si fa l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base, l'ipotesi semplificativa consiste nel trascurare le forze di interstriscia ( $E = X = 0$ ). Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **2.465 ( $>1.100$ )**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono: C (18000 [cm] ,8000 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3500 [cm].

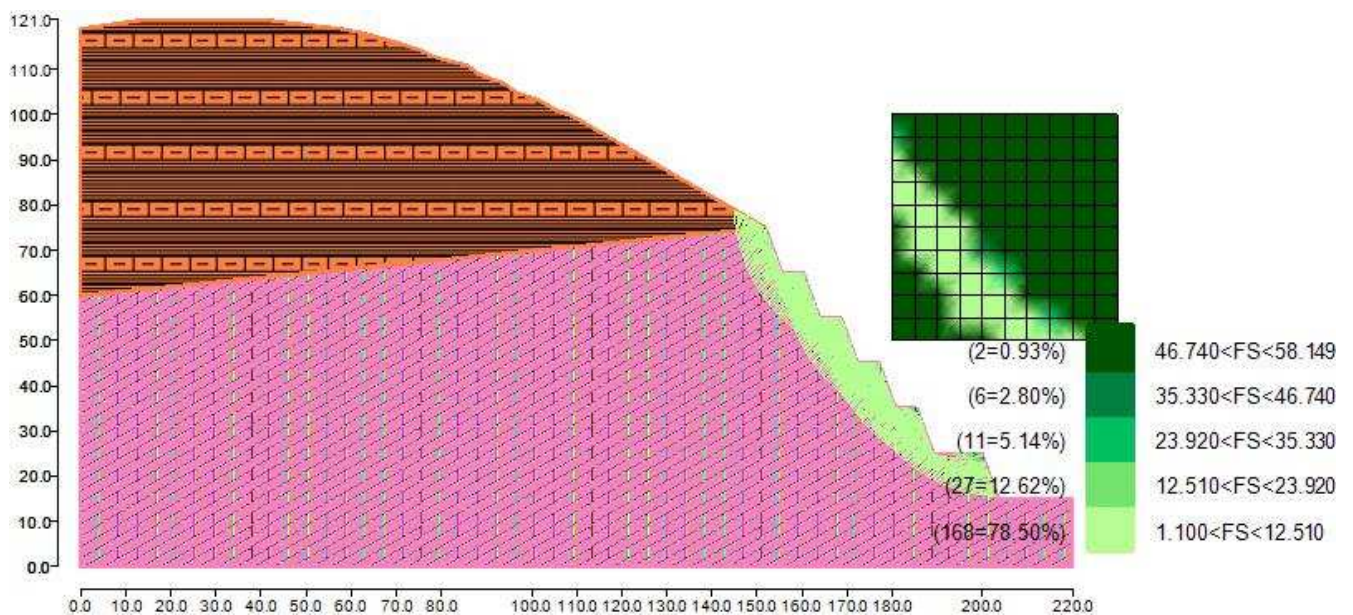


Figura 3: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

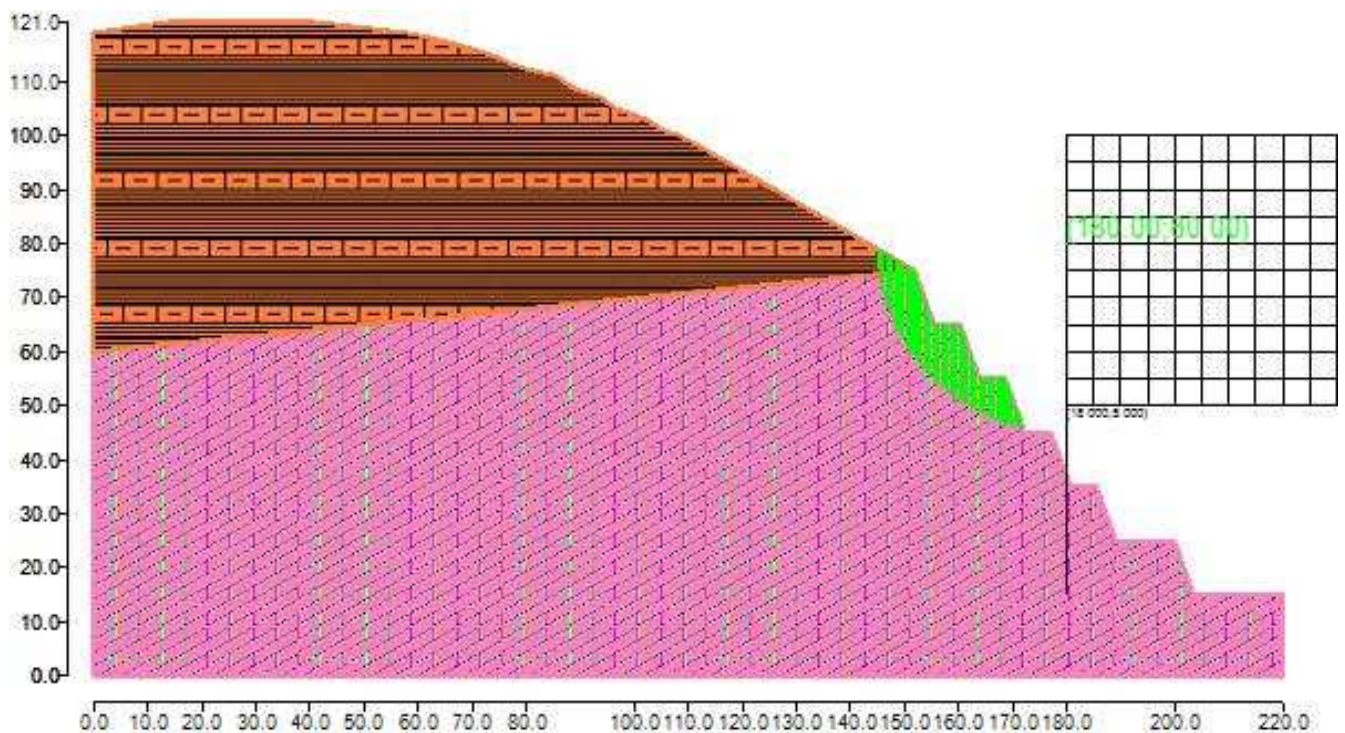


Figura 4: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica



Tabella 3: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	44.08	85	1824.53	174.47	36941.47	11	25	0	0	0	0
2	9.85	80	871.04	147.36	9402.07	22	35	0	0	0	0
3	53.93	78	6341.78	1350	41293.45	22	35	0	0	0	0
4	53.93	74	8544.21	2350.76	32681.31	22	35	0	0	0	0
5	53.93	71	10225.31	3318.06	28451.65	22	35	0	0	0	0
6	53.93	68	11608.94	4254.71	25928.29	22	35	0	0	0	0
7	53.93	66	12791.05	5161.51	24276.07	22	35	0	0	0	0
8	53.93	64	13823.9	6039.03	23136.11	22	35	0	0	0	0
9	53.93	62	14739.9	6887.83	22324.93	22	35	0	0	0	0
10	53.93	60	15560.8	7708.45	21737.68	22	35	0	0	0	0
11	53.93	59	16302.09	8501.38	21309.55	22	35	0	0	0	0
12	53.93	57	16975.27	9267.12	20998.03	22	35	0	0	0	0
13	53.93	55	17589.15	10006.11	20774	22	35	0	0	0	0
14	38.65	54	12955.06	7612.34	14788.88	22	35	0	0	0	0
15	15.28	53	5142.02	3075.45	5810.71	22	35	0	0	0	0
16	53.93	52	17573.48	10738.34	20137.24	22	35	0	0	0	0
17	3.69	52	1167.96	726.06	1355.32	22	35	0	0	0	0
18	50.25	51	15484.66	9773.53	18212.3	22	35	0	0	0	0
19	53.93	50	15692.09	10184.67	19000.73	22	35	0	0	0	0
20	41.61	48	11429.07	7597.18	14271.14	22	35	0	0	0	0
21	12.32	48	3269.35	2201.3	4161.54	22	35	0	0	0	0
22	53.93	47	13669.55	9343.36	17858.68	22	35	0	0	0	0
23	53.93	46	12612.04	8823.54	17277.03	22	35	0	0	0	0
24	25.61	45	5611.22	3989.95	7997.73	22	35	0	0	0	0
25	28.32	44	6152.37	4421.1	8782.73	22	35	0	0	0	0
26	53.93	43	12165.32	8877.82	16797.81	22	35	0	0	0	0
27	53.93	42	12736.51	9474.74	16907.43	22	35	0	0	0	0
28	53.93	41	13284.38	10062.46	17028.96	22	35	0	0	0	0
29	53.93	40	13810.15	10640.45	17160.3	22	35	0	0	0	0
30	53.93	38	14314.92	11208.23	17299.62	22	35	0	0	0	0
31	53.93	37	14799.7	11765.4	17445.36	22	35	0	0	0	0
32	53.93	36	15265.37	12311.56	17596.16	22	35	0	0	0	0
33	53.93	35	15712.73	12846.37	17750.81	22	35	0	0	0	0
34	15.84	34	4698.45	3873.98	5244.41	22	35	0	0	0	0
35	38.09	34	11019.06	9143.08	12466.52	22	35	0	0	0	0
36	34.81	33	9505.48	7952.89	11111.82	22	35	0	0	0	0
37	19.12	33	4990.91	4200.66	5988.39	22	35	0	0	0	0
38	53.93	32	13184.23	11183.6	16437.66	22	35	0	0	0	0
39	53.93	31	11857.26	10169.78	15757.92	22	35	0	0	0	0
40	18.8	30	3819.01	3299.01	5330.25	22	35	0	0	0	0
41	35.13	30	6696.93	5814.83	9731.17	22	35	0	0	0	0
42	53.93	29	9158.29	8017.38	14348.33	22	35	0	0	0	0
43	53.93	28	7787.18	6881.97	13619.37	22	35	0	0	0	0
44	2.8	27	366.84	325.76	687.25	22	35	0	0	0	0
45	51.13	27	6802.96	6067.91	12571.12	22	35	0	0	0	0
46	53.93	26	7476.54	6724.41	13361.27	22	35	0	0	0	0
47	53.93	25	7772.57	7047.61	13464.78	22	35	0	0	0	0
48	53.93	24	8055.72	7360.81	13567.22	22	35	0	0	0	0
49	53.93	23	8326.29	7663.82	13668.23	22	35	0	0	0	0
50	53.93	22	8584.56	7956.42	13767.47	22	35	0	0	0	0
51	53.93	21	8830.78	8238.45	13864.62	22	35	0	0	0	0
52	53.93	20	9065.18	8509.72	13959.41	22	35	0	0	0	0
53	46.97	19	8076.43	7623.3	12231.73	22	35	0	0	0	0

54	6.97	19	1197.63	1133.63	1812.5	22	35	0	0	0	0
55	53.93	18	8424.94	7999.27	13569.41	22	35	0	0	0	0
56	48.45	17	6283.57	5995.69	11482.96	22	35	0	0	0	0
57	5.48	17	634.06	606.52	1256.7	22	35	0	0	0	0
58	53.93	16	5398.72	5177.98	11897.68	22	35	0	0	0	0
59	53.93	16	3869.13	3728.01	11044.25	22	35	0	0	0	0
60	32.44	15	1586.45	1533.89	6227.79	22	35	0	0	0	0
61	21.49	14	743.01	719.88	3952.32	22	35	0	0	0	0
62	53.93	14	778.02	755.9	9305.32	22	35	0	0	0	0

Tabella 4: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
7	1	180 [cm]	80 [cm]	30 [cm]	5.385
7	2	180 [cm]	80 [cm]	30.5 [cm]	4.628
7	3	180 [cm]	80 [cm]	31 [cm]	4.098
7	4	180 [cm]	80 [cm]	31.5 [cm]	3.706
7	5	180 [cm]	80 [cm]	32 [cm]	3.405
7	6	180 [cm]	80 [cm]	32.5 [cm]	3.166
7	7	180 [cm]	80 [cm]	33 [cm]	2.973
7	8	180 [cm]	80 [cm]	33.5 [cm]	2.813
7	9	180 [cm]	80 [cm]	34 [cm]	2.678
7	10	180 [cm]	80 [cm]	34.5 [cm]	2.564
7	11	180 [cm]	80 [cm]	35 [cm]	2.465
8	1	180 [cm]	85 [cm]	30.5 [cm]	18.925
8	2	180 [cm]	85 [cm]	31 [cm]	11.065
8	3	180 [cm]	85 [cm]	31.5 [cm]	7.952
8	4	180 [cm]	85 [cm]	32 [cm]	6.013
8	5	180 [cm]	85 [cm]	32.5 [cm]	5.013
8	6	180 [cm]	85 [cm]	33 [cm]	4.350
8	7	180 [cm]	85 [cm]	33.5 [cm]	3.877
8	8	180 [cm]	85 [cm]	34 [cm]	3.523
8	9	180 [cm]	85 [cm]	34.5 [cm]	3.721
8	10	180 [cm]	85 [cm]	35 [cm]	3.426
9	1	180 [cm]	90 [cm]	32.5 [cm]	24.509
9	2	180 [cm]	90 [cm]	33 [cm]	13.597
9	3	180 [cm]	90 [cm]	33.5 [cm]	9.492
9	4	180 [cm]	90 [cm]	34 [cm]	7.354
9	5	180 [cm]	90 [cm]	34.5 [cm]	6.048
9	6	180 [cm]	90 [cm]	35 [cm]	6.090
10	1	180 [cm]	95 [cm]	35 [cm]	33.344
16	1	185 [cm]	70 [cm]	30 [cm]	3.335
16	2	185 [cm]	70 [cm]	30.5 [cm]	3.272
16	3	185 [cm]	70 [cm]	31 [cm]	3.170
17	1	185 [cm]	75 [cm]	30 [cm]	5.038
17	2	185 [cm]	75 [cm]	30.5 [cm]	4.451
17	3	185 [cm]	75 [cm]	31 [cm]	4.023
17	4	185 [cm]	75 [cm]	31.5 [cm]	4.136
17	5	185 [cm]	75 [cm]	32 [cm]	3.955
17	6	185 [cm]	75 [cm]	32.5 [cm]	3.716
17	7	185 [cm]	75 [cm]	33 [cm]	3.881
18	1	185 [cm]	80 [cm]	30 [cm]	16.093
18	2	185 [cm]	80 [cm]	30.5 [cm]	11.168
18	3	185 [cm]	80 [cm]	31 [cm]	8.642
18	4	185 [cm]	80 [cm]	31.5 [cm]	7.112
18	5	185 [cm]	80 [cm]	32 [cm]	6.088
18	6	185 [cm]	80 [cm]	32.5 [cm]	5.356

18	7	185 [cm]	80 [cm]	33.5 [cm]	6.310
18	8	185 [cm]	80 [cm]	34 [cm]	5.178
18	9	185 [cm]	80 [cm]	34.5 [cm]	4.444
18	10	185 [cm]	80 [cm]	35 [cm]	3.929
19	1	185 [cm]	85 [cm]	32.5 [cm]	27.966
19	2	185 [cm]	85 [cm]	33 [cm]	16.555
19	3	185 [cm]	85 [cm]	33.5 [cm]	11.885
19	4	185 [cm]	85 [cm]	34 [cm]	9.354
19	5	185 [cm]	85 [cm]	34.5 [cm]	7.769
19	6	185 [cm]	85 [cm]	35 [cm]	24.506
26	1	190 [cm]	65 [cm]	30 [cm]	3.751
26	2	190 [cm]	65 [cm]	30.5 [cm]	3.422
26	3	190 [cm]	65 [cm]	31 [cm]	3.164
26	4	190 [cm]	65 [cm]	31.5 [cm]	3.275
26	5	190 [cm]	65 [cm]	32 [cm]	3.076
26	6	190 [cm]	65 [cm]	32.5 [cm]	2.912
26	7	190 [cm]	65 [cm]	33 [cm]	2.776
26	8	190 [cm]	65 [cm]	33.5 [cm]	2.661
26	9	190 [cm]	65 [cm]	34 [cm]	2.563
27	1	190 [cm]	70 [cm]	30 [cm]	33.692
27	2	190 [cm]	70 [cm]	30.5 [cm]	6.438
27	3	190 [cm]	70 [cm]	31 [cm]	5.857
27	4	190 [cm]	70 [cm]	31.5 [cm]	4.928
27	5	190 [cm]	70 [cm]	32 [cm]	4.304
27	6	190 [cm]	70 [cm]	32.5 [cm]	3.858
27	7	190 [cm]	70 [cm]	33 [cm]	3.523
27	8	190 [cm]	70 [cm]	33.5 [cm]	3.263
27	9	190 [cm]	70 [cm]	34 [cm]	3.055
27	10	190 [cm]	70 [cm]	34.5 [cm]	2.885
27	11	190 [cm]	70 [cm]	35 [cm]	2.781
28	1	190 [cm]	75 [cm]	30 [cm]	27.465
28	2	190 [cm]	75 [cm]	30.5 [cm]	16.910
28	3	190 [cm]	75 [cm]	31 [cm]	12.352
28	4	190 [cm]	75 [cm]	32 [cm]	18.591
28	5	190 [cm]	75 [cm]	32.5 [cm]	11.001
28	6	190 [cm]	75 [cm]	33 [cm]	6.905
28	7	190 [cm]	75 [cm]	33.5 [cm]	5.575
28	8	190 [cm]	75 [cm]	34 [cm]	4.746
28	9	190 [cm]	75 [cm]	34.5 [cm]	4.180
28	10	190 [cm]	75 [cm]	35 [cm]	4.380
29	1	190 [cm]	80 [cm]	34 [cm]	22.538
29	2	190 [cm]	80 [cm]	34.5 [cm]	13.268
29	3	190 [cm]	80 [cm]	35 [cm]	9.515
35	1	195 [cm]	55 [cm]	30 [cm]	2.705
35	2	195 [cm]	55 [cm]	30.5 [cm]	2.598
35	3	195 [cm]	55 [cm]	31 [cm]	3.015
36	1	195 [cm]	60 [cm]	30 [cm]	3.876
36	2	195 [cm]	60 [cm]	30.5 [cm]	3.566
36	3	195 [cm]	60 [cm]	31 [cm]	3.323
36	4	195 [cm]	60 [cm]	31.5 [cm]	3.134
36	5	195 [cm]	60 [cm]	32 [cm]	3.090
36	6	195 [cm]	60 [cm]	32.5 [cm]	3.010
37	1	195 [cm]	65 [cm]	30 [cm]	7.745
37	2	195 [cm]	65 [cm]	30.5 [cm]	6.396
37	3	195 [cm]	65 [cm]	31 [cm]	5.329
37	4	195 [cm]	65 [cm]	31.5 [cm]	4.629
37	5	195 [cm]	65 [cm]	32 [cm]	4.135
37	6	195 [cm]	65 [cm]	32.5 [cm]	3.768
37	7	195 [cm]	65 [cm]	33 [cm]	3.841

37	8	195 [cm]	65 [cm]	33.5 [cm]	4.183
37	9	195 [cm]	65 [cm]	34 [cm]	3.906
37	10	195 [cm]	65 [cm]	34.5 [cm]	3.650
37	11	195 [cm]	65 [cm]	35 [cm]	3.373
38	1	195 [cm]	70 [cm]	31 [cm]	23.925
38	2	195 [cm]	70 [cm]	31.5 [cm]	14.097
38	3	195 [cm]	70 [cm]	32 [cm]	10.109
38	4	195 [cm]	70 [cm]	32.5 [cm]	7.961
38	5	195 [cm]	70 [cm]	33 [cm]	6.623
38	6	195 [cm]	70 [cm]	33.5 [cm]	5.711
38	7	195 [cm]	70 [cm]	34 [cm]	5.898
38	8	195 [cm]	70 [cm]	35 [cm]	5.663
39	1	195 [cm]	75 [cm]	33.5 [cm]	42.907
39	2	195 [cm]	75 [cm]	34 [cm]	20.343
39	3	195 [cm]	75 [cm]	34.5 [cm]	13.485
39	4	195 [cm]	75 [cm]	35 [cm]	10.183
46	1	200 [cm]	55 [cm]	30 [cm]	4.461
46	2	200 [cm]	55 [cm]	30.5 [cm]	4.167
46	3	200 [cm]	55 [cm]	31 [cm]	3.875
46	4	200 [cm]	55 [cm]	31.5 [cm]	3.565
46	5	200 [cm]	55 [cm]	32 [cm]	4.097
46	6	200 [cm]	55 [cm]	32.5 [cm]	3.769
46	7	200 [cm]	55 [cm]	33 [cm]	3.510
46	8	200 [cm]	55 [cm]	33.5 [cm]	3.301
46	9	200 [cm]	55 [cm]	34 [cm]	3.128
46	10	200 [cm]	55 [cm]	34.5 [cm]	2.984
46	11	200 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	2.861
47	1	200 [cm]	60 [cm]	30 [cm]	7.313
47	2	200 [cm]	60 [cm]	30.5 [cm]	6.272
47	3	200 [cm]	60 [cm]	31 [cm]	5.526
47	4	200 [cm]	60 [cm]	31.5 [cm]	7.478
47	5	200 [cm]	60 [cm]	32 [cm]	6.525
47	6	200 [cm]	60 [cm]	32.5 [cm]	5.324
47	7	200 [cm]	60 [cm]	33 [cm]	4.557
47	8	200 [cm]	60 [cm]	33.5 [cm]	4.027
47	9	200 [cm]	60 [cm]	34 [cm]	3.638
47	10	200 [cm]	60 [cm]	34.5 [cm]	3.342
47	11	200 [cm]	60 [cm]	35 [cm]	3.108
48	1	200 [cm]	65 [cm]	31 [cm]	34.813
48	2	200 [cm]	65 [cm]	31.5 [cm]	18.992
48	3	200 [cm]	65 [cm]	32 [cm]	13.213
48	4	200 [cm]	65 [cm]	32.5 [cm]	10.227
48	5	200 [cm]	65 [cm]	33.5 [cm]	18.094
48	6	200 [cm]	65 [cm]	34 [cm]	10.724
48	7	200 [cm]	65 [cm]	34.5 [cm]	6.237
48	8	200 [cm]	65 [cm]	35 [cm]	5.147
49	1	200 [cm]	70 [cm]	34.5 [cm]	38.767
49	2	200 [cm]	70 [cm]	35 [cm]	58.149
56	1	205 [cm]	50 [cm]	30 [cm]	5.697
56	2	205 [cm]	50 [cm]	30.5 [cm]	4.980
56	3	205 [cm]	50 [cm]	31 [cm]	4.464
56	4	205 [cm]	50 [cm]	31.5 [cm]	4.077
56	5	205 [cm]	50 [cm]	32 [cm]	3.775
56	6	205 [cm]	50 [cm]	32.5 [cm]	3.534
56	7	205 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	3.336
56	8	205 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	3.264
56	9	205 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	3.174
56	10	205 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	3.085
57	1	205 [cm]	55 [cm]	30 [cm]	35.826



57	2	205 [cm]	55 [cm]	30.5 [cm]	15.222
57	3	205 [cm]	55 [cm]	31 [cm]	9.919
57	4	205 [cm]	55 [cm]	31.5 [cm]	7.159
57	5	205 [cm]	55 [cm]	32 [cm]	5.758
57	6	205 [cm]	55 [cm]	32.5 [cm]	4.892
57	7	205 [cm]	55 [cm]	33 [cm]	4.304
57	8	205 [cm]	55 [cm]	33.5 [cm]	3.878
57	9	205 [cm]	55 [cm]	34 [cm]	4.742
57	10	205 [cm]	55 [cm]	34.5 [cm]	4.572
57	11	205 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	4.326
58	1	205 [cm]	60 [cm]	32 [cm]	54.293
58	2	205 [cm]	60 [cm]	32.5 [cm]	20.378
58	3	205 [cm]	60 [cm]	33 [cm]	12.678
58	4	205 [cm]	60 [cm]	33.5 [cm]	9.308
58	5	205 [cm]	60 [cm]	34 [cm]	7.427
58	6	205 [cm]	60 [cm]	34.5 [cm]	6.230
58	7	205 [cm]	60 [cm]	35 [cm]	6.186
59	1	205 [cm]	65 [cm]	35 [cm]	28.327
67	1	210 [cm]	50 [cm]	30 [cm]	13.989
67	2	210 [cm]	50 [cm]	30.5 [cm]	10.169
67	3	210 [cm]	50 [cm]	31 [cm]	8.068
67	4	210 [cm]	50 [cm]	31.5 [cm]	6.739
67	5	210 [cm]	50 [cm]	32 [cm]	5.828
67	6	210 [cm]	50 [cm]	32.5 [cm]	5.166
67	7	210 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	6.714
67	8	210 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	5.757
67	9	210 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	4.947
67	10	210 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	4.379
67	11	210 [cm]	50 [cm]	35 [cm]	3.960
68	1	210 [cm]	55 [cm]	32.5 [cm]	22.998
68	2	210 [cm]	55 [cm]	33 [cm]	14.765
68	3	210 [cm]	55 [cm]	33.5 [cm]	10.986
68	4	210 [cm]	55 [cm]	34 [cm]	8.820
68	5	210 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	17.745
78	1	215 [cm]	50 [cm]	30 [cm]	37.570
78	2	215 [cm]	50 [cm]	30.5 [cm]	23.261
78	3	215 [cm]	50 [cm]	31 [cm]	16.986
78	4	215 [cm]	50 [cm]	31.5 [cm]	13.467
78	5	215 [cm]	50 [cm]	32 [cm]	11.220
78	6	215 [cm]	50 [cm]	32.5 [cm]	9.661
78	7	215 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	8.519
78	8	215 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	41.483
78	9	215 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	18.013
78	10	215 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	11.633
78	11	215 [cm]	50 [cm]	35 [cm]	8.684
79	1	215 [cm]	55 [cm]	34.5 [cm]	37.146
79	2	215 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	24.158
89	1	220 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	27.028
89	2	220 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	17.760
89	3	220 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	13.351
89	4	220 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	10.776
89	5	220 [cm]	50 [cm]	35 [cm]	9.090

### Metodo di BISHOP (1955)

Il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma. Il fattore di sicurezza critico è **2.433** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono: C (18000 [cm] ,8000 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3500 [cm].

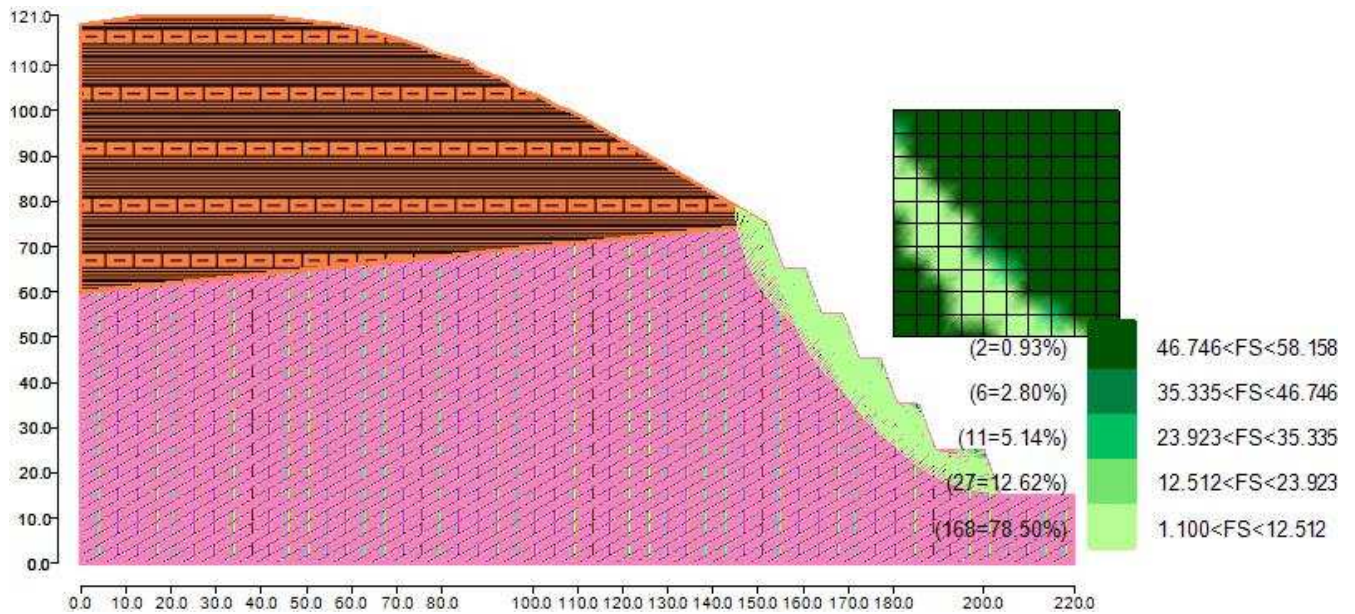


Figura 5: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

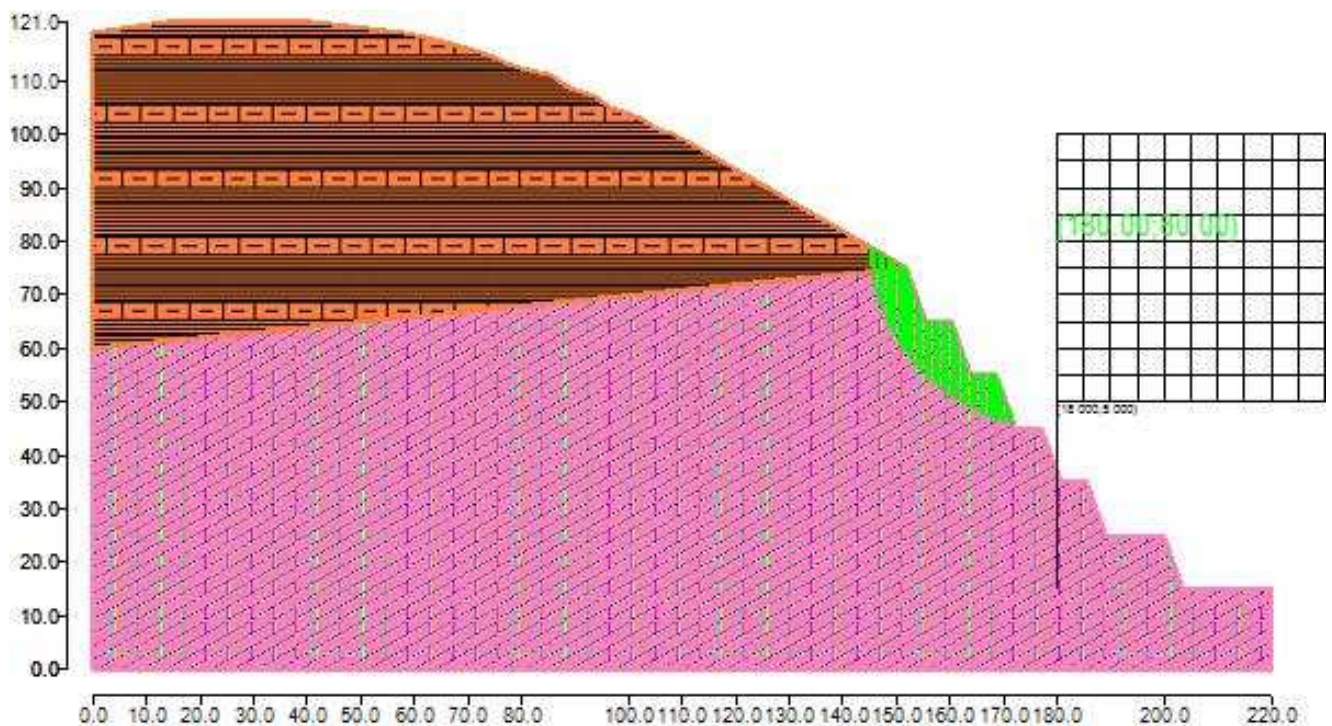


Figura 6: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 5: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	44.08	85	1824.53	-53417.34	16949.25	1	25	0	-12027.98	0	0
2	9.85	80	871.04	-7330.74	5213.1	2	35	12027.98	-14960.47	0	0
3	53.93	78	6341.78	-22690.74	27826.65	2	35	14960.47	-32634.92	0	0
4	53.93	74	8544.21	-7747.92	27024.37	2	35	32634.92	-51387.23	0	0
5	53.93	71	10225.31	-203.93	26478.75	2	35	51387.23	-70313.28	0	0
6	53.93	68	11608.94	4490.42	26060.32	2	35	70313.28	-89075.84	0	0
7	53.93	66	12791.05	7736.37	25718.43	2	35	89075.84	-107510.96	0	0
8	53.93	64	13823.9	10129.87	25427.66	2	35	107510.96	-125527.59	0	0
9	53.93	62	14739.9	11972.92	25173.42	2	35	125527.59	-143071.2	0	0
10	53.93	60	15560.8	13436.83	24946.52	2	35	143071.2	-160107.57	0	0
11	53.93	59	16302.09	14626.87	24740.84	2	35	160107.57	-176614.76	0	0
12	53.93	57	16975.27	15611.66	24552.03	2	35	176614.76	-192578.67	0	0
13	53.93	55	17589.15	16438.07	24376.96	2	35	192578.67	-207990.43	0	0
14	38.65	54	12955.06	12219.21	17369.5	2	35	207990.43	-218693.11	0	0
15	15.28	53	5142.02	4850.47	6805.01	2	35	218693.11	-222786.88	0	0
16	53.93	52	17573.48	16362.98	23287.97	2	35	222786.88	-235983.3	0	0
17	3.69	52	1167.96	1075.69	1551.17	2	35	235983.3	-236817.58	0	0
18	50.25	51	15484.66	14110.07	20641.48	2	35	236817.58	-247364.75	0	0
19	53.93	50	15692.09	13997.46	21136.53	2	35	247364.75	-257073.08	0	0
20	41.61	48	11429.07	9985.23	15608.84	2	35	257073.08	-263504.53	0	0
21	12.32	48	3269.35	2821.2	4508.79	2	35	263504.53	-265241.87	0	0
22	53.93	47	13669.55	11606.1	19126.18	2	35	265241.87	-271980.69	0	0
23	53.93	46	12612.04	10404.92	18162.86	2	35	271980.69	-277398.31	0	0
24	25.61	45	5611.22	4520.84	8295.11	2	35	277398.31	-279538.36	0	0
25	28.32	44	6152.37	4951.08	9079.61	2	35	279538.36	-281761.42	0	0
26	53.93	43	12165.32	9968.42	17408.72	2	35	281761.42	-286005.48	0	0
27	53.93	42	12736.51	10639.24	17559.74	2	35	286005.48	-290231.95	0	0
28	53.93	41	13284.38	11267.71	17704.11	2	35	290231.95	-294407.33	0	0
29	53.93	40	13810.15	11858.25	17842.47	2	35	294407.33	-298501.72	0	0
30	53.93	38	14314.92	12414.61	17975.39	2	35	298501.72	-302488.37	0	0
31	53.93	37	14799.7	12940.07	18103.37	2	35	302488.37	-306343.17	0	0
32	53.93	36	15265.37	13437.46	18226.85	2	35	306343.17	-310044.4	0	0
33	53.93	35	15712.73	13909.27	18346.21	2	35	310044.4	-313572.35	0	0
34	15.84	34	4698.45	4172.42	5411.58	2	35	313572.35	-314573.01	0	0
35	38.09	34	11019.06	9741.59	12801.79	2	35	314573.01	-316724.68	0	0
36	34.81	33	9505.48	8317.23	11315.91	2	35	316724.68	-318297.62	0	0
37	19.12	33	4990.91	4331.73	6061.82	2	35	318297.62	-319008.93	0	0
38	53.93	32	13184.23	11308	16507.34	2	35	319008.93	-320457.24	0	0
39	53.93	31	11857.26	9970.51	15646.29	2	35	320457.24	-321136.47	0	0
40	18.8	30	3819.01	3162.08	5253.54	2	35	321136.47	-321204.92	0	0
41	35.13	30	6696.93	5473.27	9539.84	2	35	321204.92	-321111.05	0	0
42	53.93	29	9158.29	7297.7	13945.2	2	35	321111.05	-320437.56	0	0
43	53.93	28	7787.18	5960.54	13103.22	2	35	320437.56	-319176.66	0	0
44	2.8	27	366.84	273.14	657.78	2	35	319176.66	-319096.33	0	0
45	51.13	27	6802.96	5119.31	12039.75	2	35	319096.33	-317597.59	0	0
46	53.93	26	7476.54	5753.12	12817.19	2	35	317597.59	-315964.69	0	0
47	53.93	25	7772.57	6100.27	12934.11	2	35	315964.69	-314264.98	0	0
48	53.93	24	8055.72	6432.34	13047.12	2	35	314264.98	-312485.93	0	0
49	53.93	23	8326.29	6750.18	13156.44	2	35	312485.93	-310615.93	0	0
50	53.93	22	8584.56	7054.54	13262.27	2	35	310615.93	-308644.25	0	0
51	53.93	21	8830.78	7346.13	13364.78	2	35	308644.25	-306560.96	0	0
52	53.93	20	9065.18	7625.59	13464.15	2	35	306560.96	-304356.87	0	0
53	46.97	19	8076.43	6859.5	11803.87	2	35	304356.87	-302332.35	0	0
54	6.97	19	1197.63	1020.36	1749.05	2	35	302332.35	-302021.74	0	0

55	53.93	18	8424.94	7098.75	13064.97	2	35	302021.74	-299438.11	0	0
56	48.45	17	6283.57	5165.58	11017.96	2	35	299438.11	-296881.19	0	0
57	5.48	17	634.06	512.11	1203.82	2	35	296881.19	-296579.76	0	0
58	53.93	16	5398.72	4249.31	11377.47	2	35	296579.76	-293497.8	0	0
59	53.93	16	3869.13	2813.61	10532.03	2	35	293497.8	-290244.77	0	0
60	32.44	15	1586.45	997.77	5927.47	2	35	290244.77	-288227.99	0	0
61	21.49	14	743.01	372.35	3757.65	2	35	288227.99	-286873.81	0	0
62	53.93	14	778.02	-83.99	8834.84	2	35	286873.81	-283433.15	0	0

Tabella 6: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
7	1	18000	8000	3000	5.339
7	2	18000	8000	3050	4.587
7	3	18000	8000	3100	4.060
7	4	18000	8000	3150	3.669
7	5	18000	8000	3200	3.369
7	6	18000	8000	3250	3.132
7	7	18000	8000	3300	2.939
7	8	18000	8000	3350	2.780
7	9	18000	8000	3400	2.645
7	10	18000	8000	3450	2.531
7	11	18000	8000	3500	2.433
8	1	18000	8500	3050	18.949
8	2	18000	8500	3100	11.076
8	3	18000	8500	3150	7.950
8	4	18000	8500	3200	5.995
8	5	18000	8500	3250	4.995
8	6	18000	8500	3300	4.331
8	7	18000	8500	3350	3.857
8	8	18000	8500	3400	3.502
8	9	18000	8500	3450	3.759
8	10	18000	8500	3500	3.457
9	1	18000	9000	3250	24.529
9	2	18000	9000	3300	13.615
9	3	18000	9000	3350	9.506
9	4	18000	9000	3400	7.363
9	5	18000	9000	3450	6.052
9	6	18000	9000	3500	6.124
10	1	18000	9500	3500	33.358
16	1	18500	7000	3000	3.305
16	2	18500	7000	3050	3.179
16	3	18500	7000	3100	3.025
17	1	18500	7500	3000	5.024
17	2	18500	7500	3050	4.432
17	3	18500	7500	3100	4.002
17	4	18500	7500	3150	4.006
17	5	18500	7500	3200	3.763
17	6	18500	7500	3250	3.477
17	7	18500	7500	3300	3.682
18	1	18500	8000	3000	16.089
18	2	18500	8000	3050	11.159
18	3	18500	8000	3100	8.629
18	4	18500	8000	3150	7.094
18	5	18500	8000	3200	6.066
18	6	18500	8000	3250	5.332

18	7	18500	8000	3350	6.101
18	8	18500	8000	3400	5.029
18	9	18500	8000	3450	4.327
18	10	18500	8000	3500	3.831
19	1	18500	8500	3250	27.963
19	2	18500	8500	3300	16.549
19	3	18500	8500	3350	11.877
19	4	18500	8500	3400	9.343
19	5	18500	8500	3450	7.756
19	6	18500	8500	3500	24.531
26	1	19000	6500	3000	3.479
26	2	19000	6500	3050	3.194
26	3	19000	6500	3100	2.965
26	4	19000	6500	3150	3.166
26	5	19000	6500	3200	2.980
26	6	19000	6500	3250	2.826
26	7	19000	6500	3300	2.698
26	8	19000	6500	3350	2.591
26	9	19000	6500	3400	2.499
27	1	19000	7000	3000	33.591
27	2	19000	7000	3050	6.209
27	3	19000	7000	3100	5.768
27	4	19000	7000	3150	4.856
27	5	19000	7000	3200	4.243
27	6	19000	7000	3250	3.803
27	7	19000	7000	3300	3.472
27	8	19000	7000	3350	3.215
27	9	19000	7000	3400	3.009
27	10	19000	7000	3450	2.842
27	11	19000	7000	3500	2.720
28	1	19000	7500	3000	27.461
28	2	19000	7500	3050	16.903
28	3	19000	7500	3100	12.342
28	4	19000	7500	3200	18.599
28	5	19000	7500	3250	10.991
28	6	19000	7500	3300	6.852
28	7	19000	7500	3350	5.529
28	8	19000	7500	3400	4.703
28	9	19000	7500	3450	4.138
28	10	19000	7500	3500	4.401
29	1	19000	8000	3400	22.541
29	2	19000	8000	3450	13.266
29	3	19000	8000	3500	9.506
35	1	19500	5500	3000	2.582
35	2	19500	5500	3050	2.484
35	3	19500	5500	3100	3.028
36	1	19500	6000	3000	3.853
36	2	19500	6000	3050	3.543
36	3	19500	6000	3100	3.299
36	4	19500	6000	3150	3.106
36	5	19500	6000	3200	3.001
36	6	19500	6000	3250	2.874
37	1	19500	6500	3000	7.720
37	2	19500	6500	3050	6.379
37	3	19500	6500	3100	5.307
37	4	19500	6500	3150	4.604
37	5	19500	6500	3200	4.108
37	6	19500	6500	3250	3.738
37	7	19500	6500	3300	3.719

37	8	19500	6500	3350	4.070
37	9	19500	6500	3400	3.750
37	10	19500	6500	3450	3.458
37	11	19500	6500	3500	3.184
38	1	19500	7000	3100	23.926
38	2	19500	7000	3150	14.092
38	3	19500	7000	3200	10.100
38	4	19500	7000	3250	7.946
38	5	19500	7000	3300	6.604
38	6	19500	7000	3350	5.689
38	7	19500	7000	3400	5.912
38	8	19500	7000	3500	5.456
39	1	19500	7500	3350	42.906
39	2	19500	7500	3400	20.340
39	3	19500	7500	3450	13.479
39	4	19500	7500	3500	10.174
46	1	20000	5500	3000	4.294
46	2	20000	5500	3050	3.945
46	3	20000	5500	3100	3.607
46	4	20000	5500	3150	3.285
46	5	20000	5500	3200	4.029
46	6	20000	5500	3250	3.719
46	7	20000	5500	3300	3.474
46	8	20000	5500	3350	3.275
46	9	20000	5500	3400	3.110
46	10	20000	5500	3450	2.973
46	11	20000	5500	3500	2.856
47	1	20000	6000	3000	7.296
47	2	20000	6000	3050	6.251
47	3	20000	6000	3100	5.502
47	4	20000	6000	3150	7.195
47	5	20000	6000	3200	6.369
47	6	20000	6000	3250	5.212
47	7	20000	6000	3300	4.468
47	8	20000	6000	3350	3.950
47	9	20000	6000	3400	3.570
47	10	20000	6000	3450	3.280
47	11	20000	6000	3500	3.051
48	1	20000	6500	3100	34.810
48	2	20000	6500	3150	18.986
48	3	20000	6500	3200	13.205
48	4	20000	6500	3250	10.217
48	5	20000	6500	3350	18.102
48	6	20000	6500	3400	10.712
48	7	20000	6500	3450	6.172
48	8	20000	6500	3500	5.091
49	1	20000	7000	3450	38.764
49	2	20000	7000	3500	58.158
56	1	20500	5000	3000	5.718
56	2	20500	5000	3050	5.004
56	3	20500	5000	3100	4.490
56	4	20500	5000	3150	4.103
56	5	20500	5000	3200	3.801
56	6	20500	5000	3250	3.560
56	7	20500	5000	3300	3.363
56	8	20500	5000	3350	3.244
56	9	20500	5000	3400	3.112
56	10	20500	5000	3450	2.991
57	1	20500	5500	3000	35.846

57	2	20500	5500	3050	15.224
57	3	20500	5500	3100	9.904
57	4	20500	5500	3150	7.127
57	5	20500	5500	3200	5.726
57	6	20500	5500	3250	4.859
57	7	20500	5500	3300	4.270
57	8	20500	5500	3350	3.843
57	9	20500	5500	3400	4.825
57	10	20500	5500	3450	4.583
57	11	20500	5500	3500	4.282
58	1	20500	6000	3200	54.297
58	2	20500	6000	3250	20.379
58	3	20500	6000	3300	12.674
58	4	20500	6000	3350	9.298
58	5	20500	6000	3400	7.411
58	6	20500	6000	3450	6.210
58	7	20500	6000	3500	6.196
59	1	20500	6500	3500	28.325
67	1	21000	5000	3000	13.984
67	2	21000	5000	3050	10.159
67	3	21000	5000	3100	8.053
67	4	21000	5000	3150	6.719
67	5	21000	5000	3200	5.805
67	6	21000	5000	3250	5.141
67	7	21000	5000	3300	6.563
67	8	21000	5000	3350	5.619
67	9	21000	5000	3400	4.855
67	10	21000	5000	3450	4.315
67	11	21000	5000	3500	3.912
68	1	21000	5500	3250	22.994
68	2	21000	5500	3300	14.759
68	3	21000	5500	3350	10.977
68	4	21000	5500	3400	8.808
68	5	21000	5500	3500	17.753
78	1	21500	5000	3000	37.565
78	2	21500	5000	3050	23.253
78	3	21500	5000	3100	16.976
78	4	21500	5000	3150	13.456
78	5	21500	5000	3200	11.207
78	6	21500	5000	3250	9.648
78	7	21500	5000	3300	8.504
78	8	21500	5000	3350	41.489
78	9	21500	5000	3400	18.015
78	10	21500	5000	3450	11.629
78	11	21500	5000	3500	8.673
79	1	21500	5500	3450	37.141
79	2	21500	5500	3500	24.151
89	1	22000	5000	3300	27.023
89	2	22000	5000	3350	17.753
89	3	22000	5000	3400	13.342
89	4	22000	5000	3450	10.766
89	5	22000	5000	3500	9.078

**6 Confronto tra i fattori di sicurezza ottenuti.**

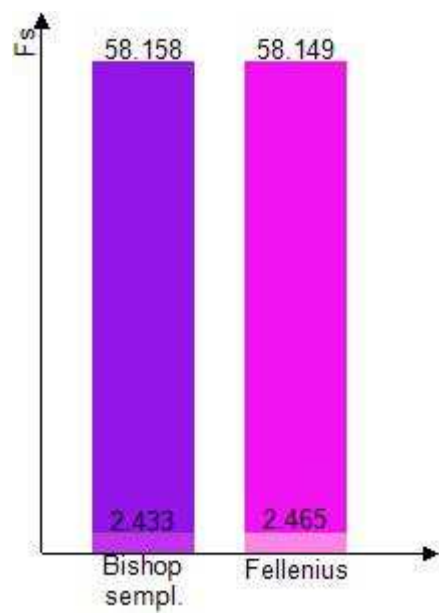


Figura 7: Confronto tra i fattori di sicurezza calcolati



# Relazione di Calcolo Sismico



**CDM DOLMEN**  
CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO

Relazione di calcolo: verifica di stabilità del fronte di scavo in condizioni sismiche

Verifica globale dell'intero fronte di scavo

# 1 Caratteristiche terreni.

## Marna argillosa

Coesione: 1 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 25 [°]

Peso secco: 0.00191 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00201 [daN/cm<sup>3</sup>]

## Gesso macrocristallino

Coesione: 2 [daN/cm<sup>2</sup>]

Angolo di resistenza al taglio: 35 [°]

Peso secco: 0.00214 [daN/cm<sup>3</sup>]

Peso saturo: 0.00224 [daN/cm<sup>3</sup>]

# 2 Stratigrafia.

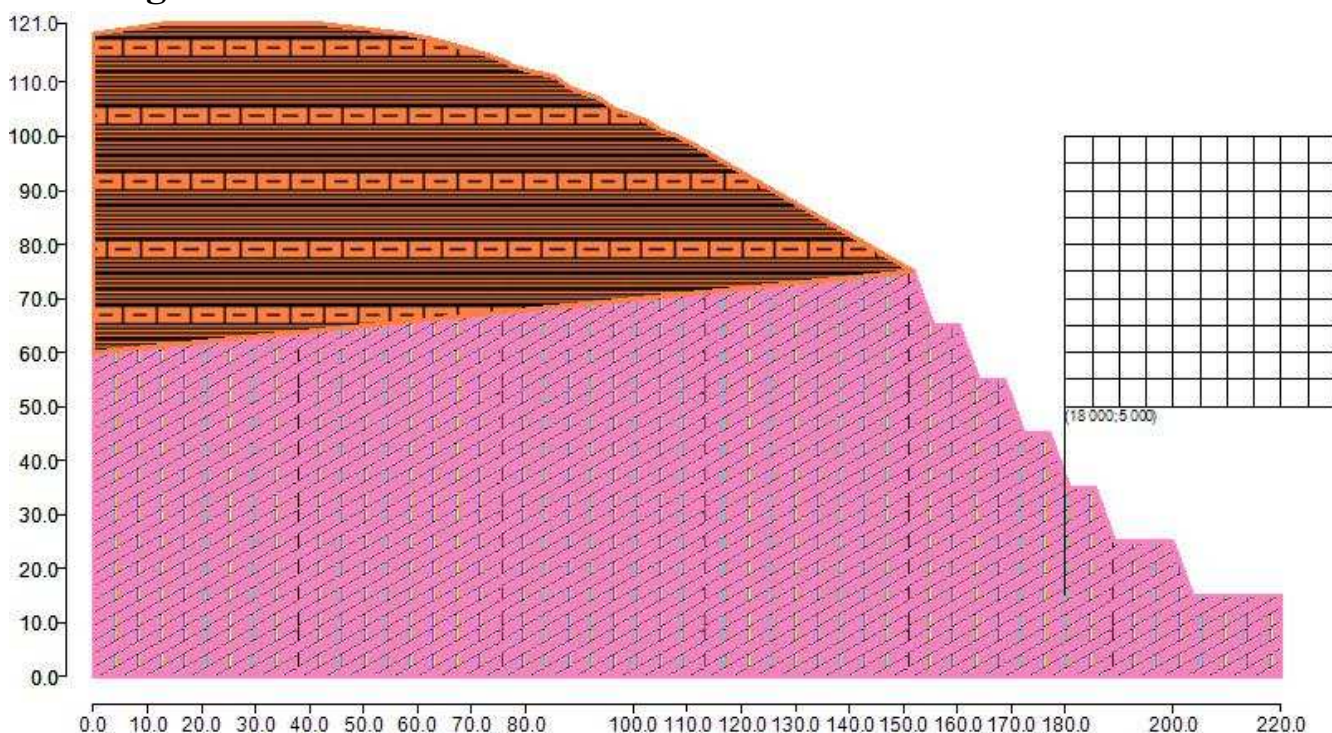


Figura 1: Rappresentazione del pendio.

Sono stati definiti 2 strati di cui si riportano le coordinate.

## Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	0	6000
2	15187.41	7500
3	15260.31	7300
4	15406.1	6900
5	15551.9	6500
6	16027.53	6500
7	16100.43	6300
8	16246.22	5900
9	16392.02	5500
10	16867.65	5500
11	16977	5200
12	17122.79	4800
13	17232.14	4500
14	17707.78	4500

15	17817.12	4200
16	17926.47	3900
17	18072.26	3500
18	18547.9	3500
19	18657.24	3200
20	18803.68	2800
21	18912.38	2500
22	19988.2	2500
23	20133.99	2100
24	20243.34	1800
25	20352.68	1500
26	22000	1500
27	22000	0
28	0	0

Tabella 1: Coordinate dello strato n. 1

Tipo di terreno presente nello strato 1: Gesso macrocristallino.

#### Strato 2

	x [cm]	y [cm]
1	0	11900
2	1404.09	12100
3	4078.67	12100
4	5770.74	11900
5	6278.09	11800
6	6997.3	11600
7	7310.62	11500
8	7578.45	11400
9	7765.9	11300
10	8117.8	11200
11	8554.29	11100
12	8820.72	10900
13	9075.87	10800
14	9372.35	10700
15	9646.45	10500
16	10210.98	10300
17	10530.89	10099.85
18	10827.58	10000
19	11025.06	9900
20	11371.92	9700
21	11718.78	9500
22	12239.08	9200
23	12932.8	8800
24	13453.1	8500
25	14146.82	8100
26	15187.41	7500
27	0	6000

Tabella 2: Coordinate dello strato n. 2

Tipo di terreno presente nello strato 2: Marna argillosa.

### 3 Normativa di riferimento.

La normativa utilizzata per quanto riguarda il calcolo statico è:

NTC 2018: Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

L'approccio progettuale che è stato scelto è l'Approccio 1, la combinazione è la numero 2.

I fattori parziali sono:

- per la coesione:  $\gamma_c = 1$
- per la coesione non drenata:  $\gamma_{cu} = 1$
- per l'angolo di attrito:  $\gamma_\phi = 1$
- per il peso di volume:  $\gamma_\gamma = 1$
- per i carichi permanenti:  $\gamma_g = 1$
- per i carichi variabili:  $\gamma_q = 1$
- per la resistenza globale a taglio:  $\gamma_R = 1.2$
- per gli ancoraggi:  $\gamma_a = 1.2$ ,  $\xi_a = 1.8$
- per i pali (trasversale):  $\gamma_p = 1.6$ ,  $\xi_p = 1.7$
- per le terre rinforzate (sfilamento):  $\gamma_{T,po} = 2.5$
- per le terre rinforzate (scorrimento diretto):  $\gamma_{T,ds} = 1.5$
- per le terre rinforzate (resistenza a trazione):  $\gamma_{T,rt} = 1.5$
- per le opere di sostegno (scorrimento piano di posa):  $\gamma_{R,h} = 1$
- per le opere di sostegno (capacità portante piano di posa):  $\gamma_{R,v} = 1.2$
- per le opere di sostegno (ribaltamento):  $\gamma_{R,o} = 1$

### 4 Calcolo sismico.

L'analisi della stabilità del pendio è eseguita in accordo con quanto previsto dalle Nuove Norme Tecniche, ossia si applica un'azione pseudostatica equivalente proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno parzialmente instabile. Il calcolo è svolto secondo quanto previsto dal paragrafo 7.11.3.5.2 Metodi di analisi.

Il fattore di amplificazione spettrale massima è pari a 2.6963 e l'accelerazione massima orizzontale attesa dal sito è pari a  $0.4152 \text{ [m/s}^2\text{]}$ .

La categoria di sottosuolo è la categoria C, la categoria topografica è la categoria T2.

Il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_s$  è ricavato dal capitolo 7.11.4, e vale 0.38.

Il coefficiente sismico orizzontale ricavato è pari a: 0.029.

## 5 Generazione superfici di rottura.

Le superfici di rottura generate sono generiche e hanno forma circolare.

La maglia di centri ha origine nel punto C (18000 [cm], 5000 [cm]), in direzione orizzontale ha passo pari a 500 [cm], in direzione verticale ha passo pari a 500 [cm].

Il raggio iniziale è pari a 3000 cm, si hanno 103000 [cm], si hanno 10 incrementi di 50 [cm].

Il numero di centri è 121 ed il numero di superfici circolari generate è 214.

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.

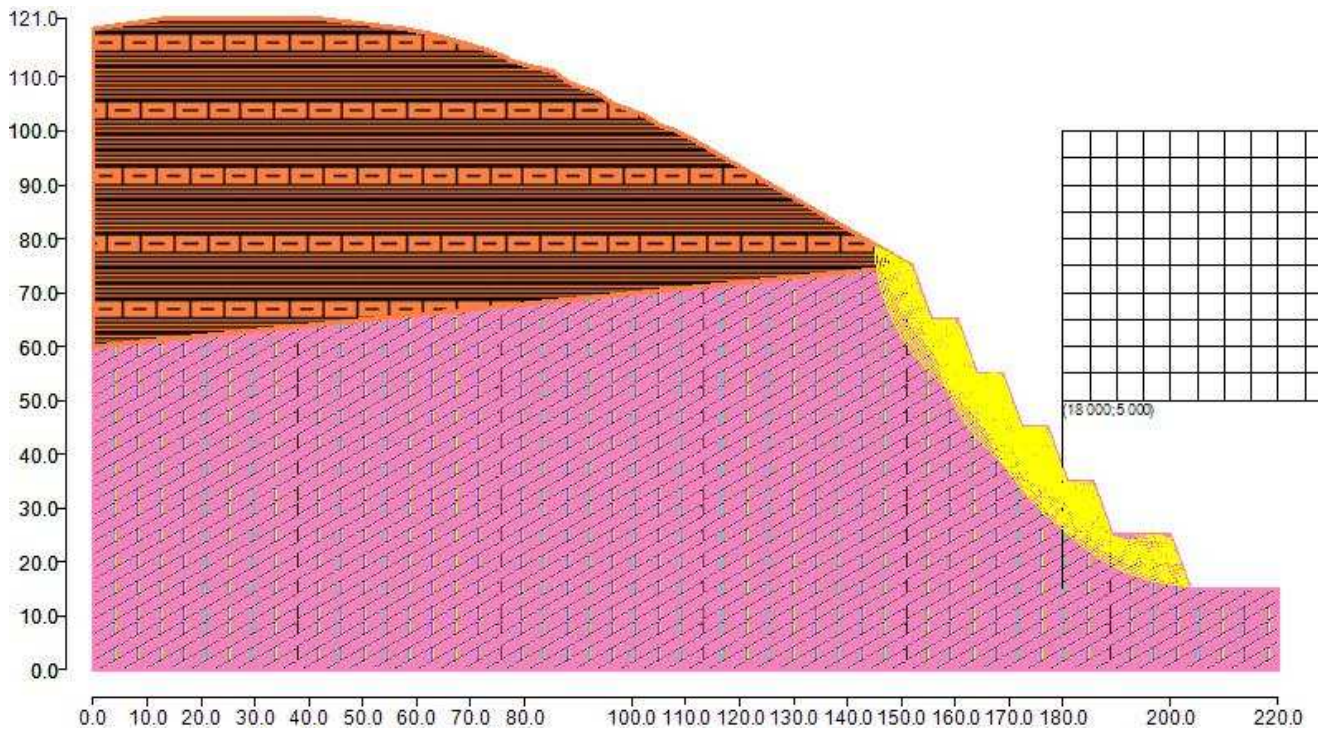


Figura 2: Superfici di rottura e maglia centri

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

- sisma



## 6 Metodi utilizzati nel calcolo.

### Metodo di FELLENIUS (1927)

Metodo valido per superfici di scorrimento di forma qualsiasi. Per ciascuna striscia si fa l'equilibrio alla traslazione in direzione normale alla base, l'ipotesi semplificativa consiste nel trascurare le forze di interstriscia ( $E = X = 0$ ). Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **3.022 ( $>1.200$ )**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono: C (18000 [cm], 8000 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3500 [cm].

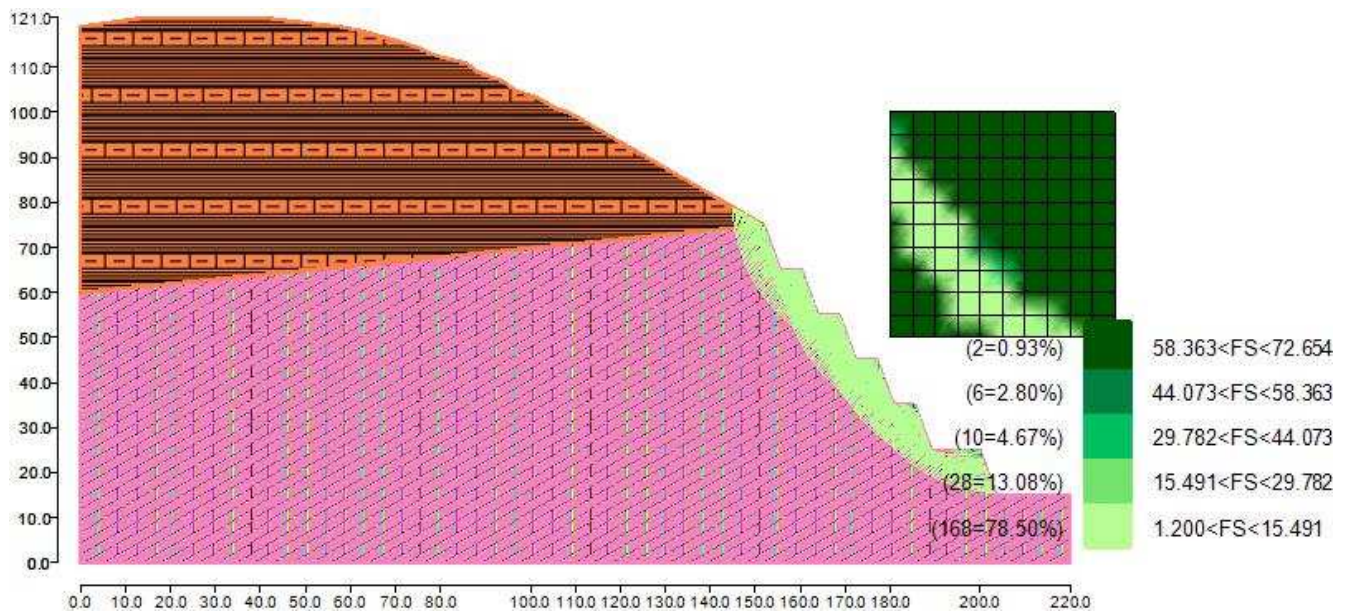


Figura 3: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

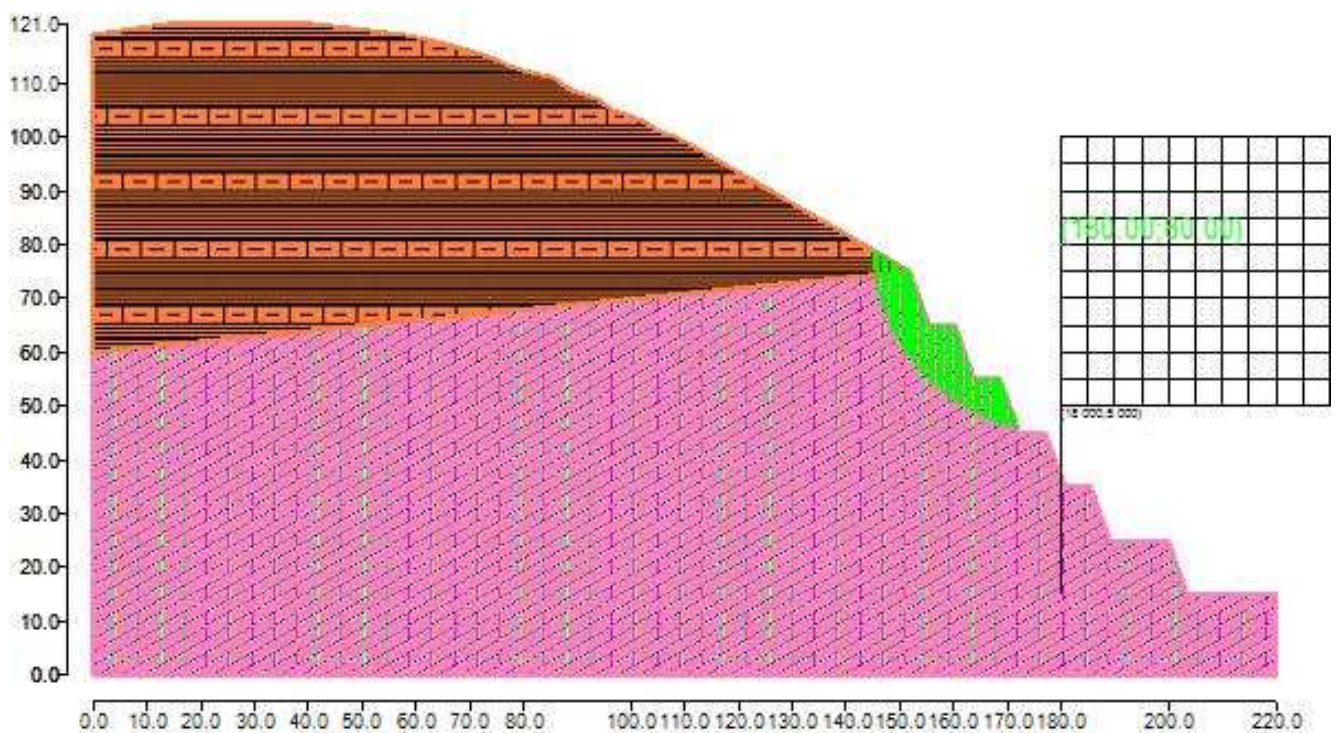


Figura 4: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 3: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	44.08	85	1824.53	119.35	46151.13	11	25	0	0	0	0
2	9.85	80	871.04	120.36	11733.69	22	35	0	0	0	0
3	53.93	78	6341.78	1151	51477.48	22	35	0	0	0	0
4	53.93	74	8544.21	2078.84	40661.23	22	35	0	0	0	0
5	53.93	71	10225.31	2989.92	35334.79	22	35	0	0	0	0
6	53.93	68	11608.94	3880.31	32148.2	22	35	0	0	0	0
7	53.93	66	12791.05	4747.84	30055.44	22	35	0	0	0	0
8	53.93	64	13823.9	5591.47	28606.75	22	35	0	0	0	0
9	53.93	62	14739.9	6410.71	27572.07	22	35	0	0	0	0
10	53.93	60	15560.8	7205.37	26819.85	22	35	0	0	0	0
11	53.93	59	16302.09	7975.46	26268.68	22	35	0	0	0	0
12	53.93	57	16975.27	8721.05	25865.18	22	35	0	0	0	0
13	53.93	55	17589.15	9442.31	25572.71	22	35	0	0	0	0
14	38.65	54	12955.06	7198.54	18196.36	22	35	0	0	0	0
15	15.28	53	5142.02	2911.58	7148.65	22	35	0	0	0	0
16	53.93	52	17573.48	10179.99	24780.59	22	35	0	0	0	0
17	3.69	52	1167.96	689.06	1668.24	22	35	0	0	0	0
18	50.25	51	15484.66	9284.19	22422.73	22	35	0	0	0	0
19	53.93	50	15692.09	9691.48	23405.58	22	35	0	0	0	0
20	41.61	48	11429.07	7239.9	17588.76	22	35	0	0	0	0
21	12.32	48	3269.35	2099.42	5130.59	22	35	0	0	0	0
22	53.93	47	13669.55	8919.12	22026.28	22	35	0	0	0	0
23	53.93	46	12612.04	8434.8	21324.09	22	35	0	0	0	0
24	25.61	45	5611.22	3817.92	9876.7	22	35	0	0	0	0
25	28.32	44	6152.37	4233.18	10846.83	22	35	0	0	0	0
26	53.93	43	12165.32	8508.4	20738.59	22	35	0	0	0	0
27	53.93	42	12736.51	9091.05	20865.63	22	35	0	0	0	0
28	53.93	41	13284.38	9665.59	21008.31	22	35	0	0	0	0
29	53.93	40	13810.15	10231.43	21163.98	22	35	0	0	0	0
30	53.93	38	14314.92	10788.07	21330.32	22	35	0	0	0	0
31	53.93	37	14799.7	11335.04	21505.36	22	35	0	0	0	0
32	53.93	36	15265.37	11871.92	21687.36	22	35	0	0	0	0
33	53.93	35	15712.73	12398.34	21874.8	22	35	0	0	0	0
34	15.84	34	4698.45	3740.9	6462.33	22	35	0	0	0	0
35	38.09	34	11019.06	8832.58	15365.74	22	35	0	0	0	0
36	34.81	33	9505.48	7686.96	13703.57	22	35	0	0	0	0
37	19.12	33	4990.91	4061.79	7388.25	22	35	0	0	0	0
38	53.93	32	13184.23	10819.46	20292.1	22	35	0	0	0	0
39	53.93	31	11857.26	9845.97	19470.66	22	35	0	0	0	0
40	18.8	30	3819.01	3195.53	6590.35	22	35	0	0	0	0
41	35.13	30	6696.93	5634.42	12037.64	22	35	0	0	0	0
42	53.93	29	9158.29	7773.1	17764.37	22	35	0	0	0	0
43	53.93	28	7787.18	6676.79	16880.54	22	35	0	0	0	0
44	2.8	27	366.84	316.15	852.34	22	35	0	0	0	0
45	51.13	27	6802.96	5890.97	15590.01	22	35	0	0	0	0
46	53.93	26	7476.54	6532.4	16567.14	22	35	0	0	0	0
47	53.93	25	7772.57	6850.64	16693.05	22	35	0	0	0	0
48	53.93	24	8055.72	7159.44	16818.03	22	35	0	0	0	0
49	53.93	23	8326.29	7458.59	16941.59	22	35	0	0	0	0
50	53.93	22	8584.56	7747.87	17063.31	22	35	0	0	0	0
51	53.93	21	8830.78	8027.07	17182.77	22	35	0	0	0	0
52	53.93	20	9065.18	8296.02	17299.63	22	35	0	0	0	0
53	46.97	19	8076.43	7435.68	15158.29	22	35	0	0	0	0

54	6.97	19	1197.63	1106.03	2246.29	22	35	0	0	0	0
55	53.93	18	8424.94	7806.87	16827.04	22	35	0	0	0	0
56	48.45	17	6283.57	5854.43	14254.78	22	35	0	0	0	0
57	5.48	17	634.06	592.39	1560.98	22	35	0	0	0	0
58	53.93	16	5398.72	5058.75	14788.62	22	35	0	0	0	0
59	53.93	16	3869.13	3644.04	13746.52	22	35	0	0	0	0
60	32.44	15	1586.45	1499.96	7760.98	22	35	0	0	0	0
61	21.49	14	743.01	704.13	4929.37	22	35	0	0	0	0
62	53.93	14	778.02	739.61	11620.25	22	35	0	0	0	0

Tabella 4: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
7	1	180 [cm]	80 [cm]	30 [cm]	6.641
7	2	180 [cm]	80 [cm]	30.5 [cm]	5.703
7	3	180 [cm]	80 [cm]	31 [cm]	5.046
7	4	180 [cm]	80 [cm]	31.5 [cm]	4.561
7	5	180 [cm]	80 [cm]	32 [cm]	4.188
7	6	180 [cm]	80 [cm]	32.5 [cm]	3.892
7	7	180 [cm]	80 [cm]	33 [cm]	3.652
7	8	180 [cm]	80 [cm]	33.5 [cm]	3.454
7	9	180 [cm]	80 [cm]	34 [cm]	3.287
7	10	180 [cm]	80 [cm]	34.5 [cm]	3.144
7	11	180 [cm]	80 [cm]	35 [cm]	3.022
8	1	180 [cm]	85 [cm]	30.5 [cm]	23.671
8	2	180 [cm]	85 [cm]	31 [cm]	13.819
8	3	180 [cm]	85 [cm]	31.5 [cm]	9.918
8	4	180 [cm]	85 [cm]	32 [cm]	7.431
8	5	180 [cm]	85 [cm]	32.5 [cm]	6.191
8	6	180 [cm]	85 [cm]	33 [cm]	5.368
8	7	180 [cm]	85 [cm]	33.5 [cm]	4.782
8	8	180 [cm]	85 [cm]	34 [cm]	4.342
8	9	180 [cm]	85 [cm]	34.5 [cm]	4.579
8	10	180 [cm]	85 [cm]	35 [cm]	4.211
9	1	180 [cm]	90 [cm]	32.5 [cm]	30.551
9	2	180 [cm]	90 [cm]	33 [cm]	16.929
9	3	180 [cm]	90 [cm]	33.5 [cm]	11.805
9	4	180 [cm]	90 [cm]	34 [cm]	9.137
9	5	180 [cm]	90 [cm]	34.5 [cm]	7.507
9	6	180 [cm]	90 [cm]	35 [cm]	7.516
10	1	180 [cm]	95 [cm]	35 [cm]	41.389
16	1	185 [cm]	70 [cm]	30 [cm]	4.094
16	2	185 [cm]	70 [cm]	30.5 [cm]	4.015
16	3	185 [cm]	70 [cm]	31 [cm]	3.889
17	1	185 [cm]	75 [cm]	30 [cm]	6.208
17	2	185 [cm]	75 [cm]	30.5 [cm]	5.479
17	3	185 [cm]	75 [cm]	31 [cm]	4.949
17	4	185 [cm]	75 [cm]	31.5 [cm]	5.089
17	5	185 [cm]	75 [cm]	32 [cm]	4.867
17	6	185 [cm]	75 [cm]	32.5 [cm]	4.573
17	7	185 [cm]	75 [cm]	33 [cm]	4.773
18	1	185 [cm]	80 [cm]	30 [cm]	19.994
18	2	185 [cm]	80 [cm]	30.5 [cm]	13.859
18	3	185 [cm]	80 [cm]	31 [cm]	10.713
18	4	185 [cm]	80 [cm]	31.5 [cm]	8.807
18	5	185 [cm]	80 [cm]	32 [cm]	7.531
18	6	185 [cm]	80 [cm]	32.5 [cm]	6.620



18	7	185 [cm]	80 [cm]	33.5 [cm]	7.772
18	8	185 [cm]	80 [cm]	34 [cm]	6.379
18	9	185 [cm]	80 [cm]	34.5 [cm]	5.473
18	10	185 [cm]	80 [cm]	35 [cm]	4.837
19	1	185 [cm]	85 [cm]	32.5 [cm]	34.596
19	2	185 [cm]	85 [cm]	33 [cm]	20.459
19	3	185 [cm]	85 [cm]	33.5 [cm]	14.674
19	4	185 [cm]	85 [cm]	34 [cm]	11.538
19	5	185 [cm]	85 [cm]	34.5 [cm]	9.575
19	6	185 [cm]	85 [cm]	35 [cm]	30.699
26	1	190 [cm]	65 [cm]	30 [cm]	4.616
26	2	190 [cm]	65 [cm]	30.5 [cm]	4.210
26	3	190 [cm]	65 [cm]	31 [cm]	3.891
26	4	190 [cm]	65 [cm]	31.5 [cm]	4.027
26	5	190 [cm]	65 [cm]	32 [cm]	3.779
26	6	190 [cm]	65 [cm]	32.5 [cm]	3.575
26	7	190 [cm]	65 [cm]	33 [cm]	3.406
26	8	190 [cm]	65 [cm]	33.5 [cm]	3.262
26	9	190 [cm]	65 [cm]	34 [cm]	3.140
27	1	190 [cm]	70 [cm]	30 [cm]	42.256
27	2	190 [cm]	70 [cm]	30.5 [cm]	7.964
27	3	190 [cm]	70 [cm]	31 [cm]	7.220
27	4	190 [cm]	70 [cm]	31.5 [cm]	6.071
27	5	190 [cm]	70 [cm]	32 [cm]	5.300
27	6	190 [cm]	70 [cm]	32.5 [cm]	4.747
27	7	190 [cm]	70 [cm]	33 [cm]	4.332
27	8	190 [cm]	70 [cm]	33.5 [cm]	4.010
27	9	190 [cm]	70 [cm]	34 [cm]	3.752
27	10	190 [cm]	70 [cm]	34.5 [cm]	3.542
27	11	190 [cm]	70 [cm]	35 [cm]	3.412
28	1	190 [cm]	75 [cm]	30 [cm]	33.851
28	2	190 [cm]	75 [cm]	30.5 [cm]	20.823
28	3	190 [cm]	75 [cm]	31 [cm]	15.197
28	4	190 [cm]	75 [cm]	32 [cm]	23.258
28	5	190 [cm]	75 [cm]	32.5 [cm]	13.741
28	6	190 [cm]	75 [cm]	33 [cm]	8.534
28	7	190 [cm]	75 [cm]	33.5 [cm]	6.886
28	8	190 [cm]	75 [cm]	34 [cm]	5.859
28	9	190 [cm]	75 [cm]	34.5 [cm]	5.156
28	10	190 [cm]	75 [cm]	35 [cm]	5.392
29	1	190 [cm]	80 [cm]	34 [cm]	28.103
29	2	190 [cm]	80 [cm]	34.5 [cm]	16.522
29	3	190 [cm]	80 [cm]	35 [cm]	11.833
35	1	195 [cm]	55 [cm]	30 [cm]	3.320
35	2	195 [cm]	55 [cm]	30.5 [cm]	3.187
35	3	195 [cm]	55 [cm]	31 [cm]	3.697
36	1	195 [cm]	60 [cm]	30 [cm]	4.768
36	2	195 [cm]	60 [cm]	30.5 [cm]	4.383
36	3	195 [cm]	60 [cm]	31 [cm]	4.081
36	4	195 [cm]	60 [cm]	31.5 [cm]	3.846
36	5	195 [cm]	60 [cm]	32 [cm]	3.791
36	6	195 [cm]	60 [cm]	32.5 [cm]	3.692
37	1	195 [cm]	65 [cm]	30 [cm]	9.648
37	2	195 [cm]	65 [cm]	30.5 [cm]	7.896
37	3	195 [cm]	65 [cm]	31 [cm]	6.572
37	4	195 [cm]	65 [cm]	31.5 [cm]	5.705
37	5	195 [cm]	65 [cm]	32 [cm]	5.092
37	6	195 [cm]	65 [cm]	32.5 [cm]	4.636
37	7	195 [cm]	65 [cm]	33 [cm]	4.726

37	8	195 [cm]	65 [cm]	33.5 [cm]	5.143
37	9	195 [cm]	65 [cm]	34 [cm]	4.801
37	10	195 [cm]	65 [cm]	34.5 [cm]	4.485
37	11	195 [cm]	65 [cm]	35 [cm]	4.144
38	1	195 [cm]	70 [cm]	31 [cm]	29.783
38	2	195 [cm]	70 [cm]	31.5 [cm]	17.525
38	3	195 [cm]	70 [cm]	32 [cm]	12.553
38	4	195 [cm]	70 [cm]	32.5 [cm]	9.875
38	5	195 [cm]	70 [cm]	33 [cm]	8.206
38	6	195 [cm]	70 [cm]	33.5 [cm]	7.070
38	7	195 [cm]	70 [cm]	34 [cm]	7.259
38	8	195 [cm]	70 [cm]	35 [cm]	6.974
39	1	195 [cm]	75 [cm]	33.5 [cm]	53.181
39	2	195 [cm]	75 [cm]	34 [cm]	25.188
39	3	195 [cm]	75 [cm]	34.5 [cm]	16.680
39	4	195 [cm]	75 [cm]	35 [cm]	12.583
46	1	200 [cm]	55 [cm]	30 [cm]	5.487
46	2	200 [cm]	55 [cm]	30.5 [cm]	5.126
46	3	200 [cm]	55 [cm]	31 [cm]	4.768
46	4	200 [cm]	55 [cm]	31.5 [cm]	4.387
46	5	200 [cm]	55 [cm]	32 [cm]	5.030
46	6	200 [cm]	55 [cm]	32.5 [cm]	4.622
46	7	200 [cm]	55 [cm]	33 [cm]	4.301
46	8	200 [cm]	55 [cm]	33.5 [cm]	4.041
46	9	200 [cm]	55 [cm]	34 [cm]	3.827
46	10	200 [cm]	55 [cm]	34.5 [cm]	3.648
46	11	200 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	3.495
47	1	200 [cm]	60 [cm]	30 [cm]	9.045
47	2	200 [cm]	60 [cm]	30.5 [cm]	7.750
47	3	200 [cm]	60 [cm]	31 [cm]	6.822
47	4	200 [cm]	60 [cm]	31.5 [cm]	9.249
47	5	200 [cm]	60 [cm]	32 [cm]	8.041
47	6	200 [cm]	60 [cm]	32.5 [cm]	6.560
47	7	200 [cm]	60 [cm]	33 [cm]	5.613
47	8	200 [cm]	60 [cm]	33.5 [cm]	4.957
47	9	200 [cm]	60 [cm]	34 [cm]	4.476
47	10	200 [cm]	60 [cm]	34.5 [cm]	4.109
47	11	200 [cm]	60 [cm]	35 [cm]	3.820
48	1	200 [cm]	65 [cm]	31 [cm]	43.001
48	2	200 [cm]	65 [cm]	31.5 [cm]	23.436
48	3	200 [cm]	65 [cm]	32 [cm]	16.290
48	4	200 [cm]	65 [cm]	32.5 [cm]	12.598
48	5	200 [cm]	65 [cm]	33.5 [cm]	22.644
48	6	200 [cm]	65 [cm]	34 [cm]	13.399
48	7	200 [cm]	65 [cm]	34.5 [cm]	7.710
48	8	200 [cm]	65 [cm]	35 [cm]	6.359
49	1	200 [cm]	70 [cm]	34.5 [cm]	47.599
49	2	200 [cm]	70 [cm]	35 [cm]	72.654
56	1	205 [cm]	50 [cm]	30 [cm]	6.961
56	2	205 [cm]	50 [cm]	30.5 [cm]	6.082
56	3	205 [cm]	50 [cm]	31 [cm]	5.451
56	4	205 [cm]	50 [cm]	31.5 [cm]	4.975
56	5	205 [cm]	50 [cm]	32 [cm]	4.605
56	6	205 [cm]	50 [cm]	32.5 [cm]	4.309
56	7	205 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	4.067
56	8	205 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	3.978
56	9	205 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	3.868
56	10	205 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	3.760
57	1	205 [cm]	55 [cm]	30 [cm]	44.855

57	2	205 [cm]	55 [cm]	30.5 [cm]	19.024
57	3	205 [cm]	55 [cm]	31 [cm]	12.378
57	4	205 [cm]	55 [cm]	31.5 [cm]	8.845
57	5	205 [cm]	55 [cm]	32 [cm]	7.109
57	6	205 [cm]	55 [cm]	32.5 [cm]	6.035
57	7	205 [cm]	55 [cm]	33 [cm]	5.305
57	8	205 [cm]	55 [cm]	33.5 [cm]	4.777
57	9	205 [cm]	55 [cm]	34 [cm]	5.801
57	10	205 [cm]	55 [cm]	34.5 [cm]	5.589
57	11	205 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	5.287
58	1	205 [cm]	60 [cm]	32 [cm]	67.724
58	2	205 [cm]	60 [cm]	32.5 [cm]	25.382
58	3	205 [cm]	60 [cm]	33 [cm]	15.771
58	4	205 [cm]	60 [cm]	33.5 [cm]	11.565
58	5	205 [cm]	60 [cm]	34 [cm]	9.217
58	6	205 [cm]	60 [cm]	34.5 [cm]	7.724
58	7	205 [cm]	60 [cm]	35 [cm]	7.621
59	1	205 [cm]	65 [cm]	35 [cm]	35.136
67	1	210 [cm]	50 [cm]	30 [cm]	17.371
67	2	210 [cm]	50 [cm]	30.5 [cm]	12.613
67	3	210 [cm]	50 [cm]	31 [cm]	9.996
67	4	210 [cm]	50 [cm]	31.5 [cm]	8.341
67	5	210 [cm]	50 [cm]	32 [cm]	7.206
67	6	210 [cm]	50 [cm]	32.5 [cm]	6.382
67	7	210 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	8.166
67	8	210 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	7.015
67	9	210 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	6.033
67	10	210 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	5.343
67	11	210 [cm]	50 [cm]	35 [cm]	4.832
68	1	210 [cm]	55 [cm]	32.5 [cm]	28.436
68	2	210 [cm]	55 [cm]	33 [cm]	18.239
68	3	210 [cm]	55 [cm]	33.5 [cm]	13.558
68	4	210 [cm]	55 [cm]	34 [cm]	10.875
68	5	210 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	22.213
78	1	215 [cm]	50 [cm]	30 [cm]	45.424
78	2	215 [cm]	50 [cm]	30.5 [cm]	28.115
78	3	215 [cm]	50 [cm]	31 [cm]	20.524
78	4	215 [cm]	50 [cm]	31.5 [cm]	16.268
78	5	215 [cm]	50 [cm]	32 [cm]	13.549
78	6	215 [cm]	50 [cm]	32.5 [cm]	11.664
78	7	215 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	10.282
78	8	215 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	51.771
78	9	215 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	22.448
78	10	215 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	14.478
78	11	215 [cm]	50 [cm]	35 [cm]	10.794
79	1	215 [cm]	55 [cm]	34.5 [cm]	44.526
79	2	215 [cm]	55 [cm]	35 [cm]	28.959
89	1	220 [cm]	50 [cm]	33 [cm]	33.032
89	2	220 [cm]	50 [cm]	33.5 [cm]	21.692
89	3	220 [cm]	50 [cm]	34 [cm]	16.296
89	4	220 [cm]	50 [cm]	34.5 [cm]	13.146
89	5	220 [cm]	50 [cm]	35 [cm]	11.083

### Metodo di BISHOP (1955)

Il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

Il fattore di sicurezza critico è **2.982 ( $>1.200$ )**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono: C (18000 [cm] ,8000 [cm]). Il raggio della superficie critica è pari a 3500 [cm].

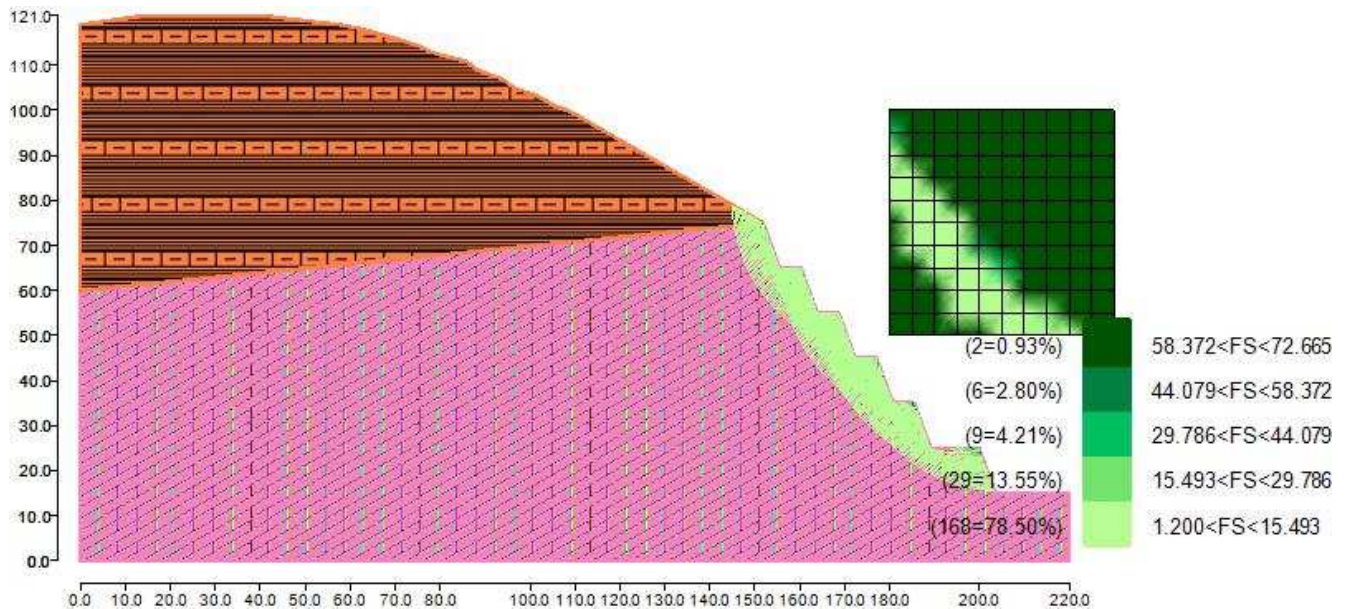


Figura 5: Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri

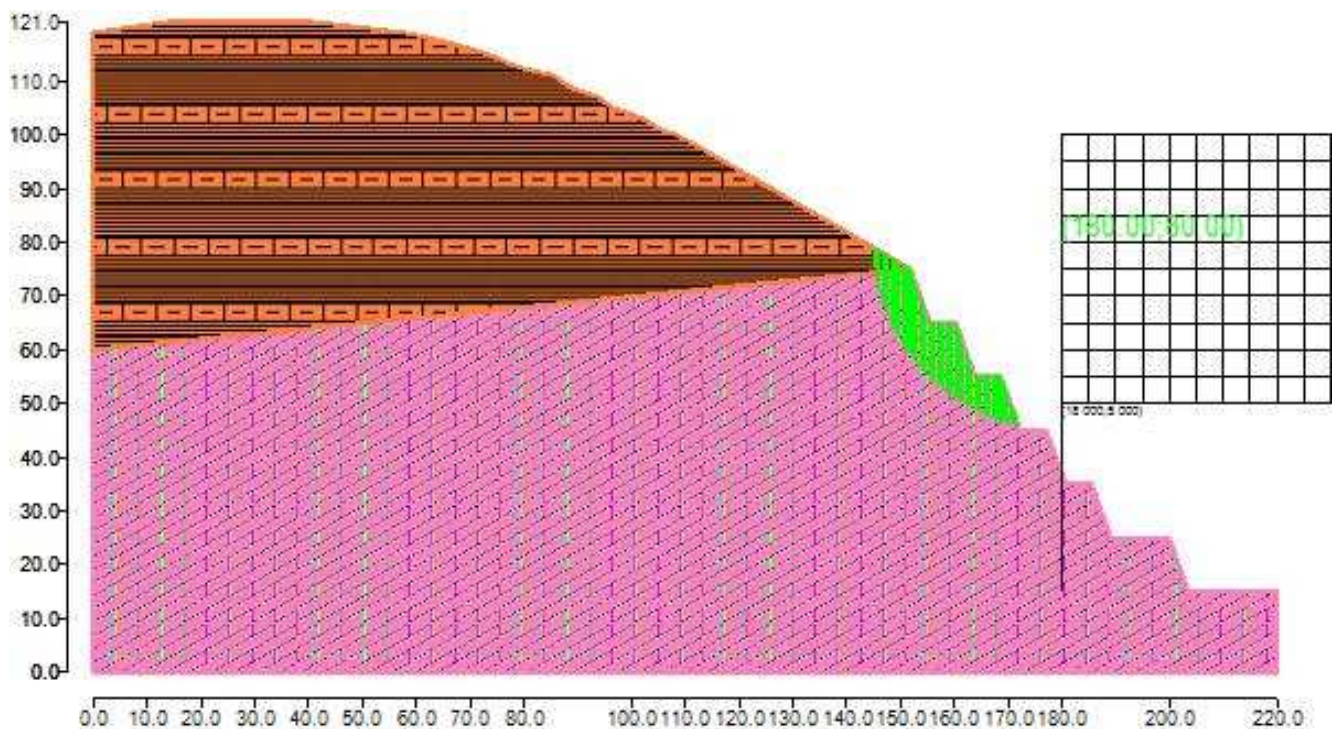


Figura 6: Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

Tabella 5: Caratteristiche geometriche e tensionali delle strisce.

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/c m <sup>2</sup> ]	Phi [°]	Es [daN]	Ed [daN]	Xs [daN]	Xd [daN]
1	44.08	85	1824.53	-54072.13	20881.23	1	25	0	-11769.45	0	0
2	9.85	80	871.04	-7467.22	6420.81	2	35	11769.45	-14643.05	0	0
3	53.93	78	6341.78	-23401.58	34285.58	2	35	14643.05	-32018.78	0	0
4	53.93	74	8544.21	-8419.57	33310.17	2	35	32018.78	-50522.69	0	0
5	53.93	71	10225.31	-849.92	32646.11	2	35	50522.69	-69248.2	0	0
6	53.93	68	11608.94	3863.74	32136.6	2	35	69248.2	-87854.03	0	0
7	53.93	66	12791.05	7125.33	31720.18	2	35	87854.03	-106172.54	0	0
8	53.93	64	13823.9	9532.08	31366	2	35	106172.54	-124109.56	0	0
9	53.93	62	14739.9	11386.71	31056.3	2	35	124109.56	-141607.79	0	0
10	53.93	60	15560.8	12860.98	30779.94	2	35	141607.79	-158630.68	0	0
11	53.93	59	16302.09	14060.45	30529.43	2	35	158630.68	-175154.21	0	0
12	53.93	57	16975.27	15053.94	30299.52	2	35	175154.21	-191162.46	0	0
13	53.93	55	17589.15	15888.45	30086.35	2	35	191162.46	-206644.89	0	0
14	38.65	54	12955.06	11830.01	21439.35	2	35	206644.89	-217413.63	0	0
15	15.28	53	5142.02	4698.99	8400.21	2	35	217413.63	-221536.4	0	0
16	53.93	52	17573.48	15854.31	28753.79	2	35	221536.4	-234840.9	0	0
17	3.69	52	1167.96	1042.35	1915.62	2	35	234840.9	-235682.83	0	0
18	50.25	51	15484.66	13673.24	25495.98	2	35	235682.83	-246336.49	0	0
19	53.93	50	15692.09	13563.89	26117.07	2	35	246336.49	-256161.7	0	0
20	41.61	48	11429.07	9674.63	19293.57	2	35	256161.7	-262683.3	0	0
21	12.32	48	3269.35	2733.09	5574.29	2	35	262683.3	-264447.11	0	0
22	53.93	47	13669.55	11240.9	23652.01	2	35	264447.11	-271299.61	0	0
23	53.93	46	12612.04	10071.9	22470.4	2	35	271299.61	-276825.47	0	0
24	25.61	45	5611.22	4373.61	10265.8	2	35	276825.47	-279014.34	0	0
25	28.32	44	6152.37	4791.45	11237.74	2	35	279014.34	-281292.52	0	0
26	53.93	43	12165.32	9661.13	21545.74	2	35	281292.52	-285653.5	0	0
27	53.93	42	12736.51	10327.87	21731.66	2	35	285653.5	-290012.51	0	0
28	53.93	41	13284.38	10952.62	21909.51	2	35	290012.51	-294335.86	0	0
29	53.93	40	13810.15	11539.74	22080.07	2	35	294335.86	-298593.47	0	0
30	53.93	38	14314.92	12092.98	22244.03	2	35	298593.47	-302758.37	0	0
31	53.93	37	14799.7	12615.56	22401.99	2	35	302758.37	-306806.24	0	0
32	53.93	36	15265.37	13110.32	22554.5	2	35	306806.24	-310715.12	0	0
33	53.93	35	15712.73	13579.71	22702.01	2	35	310715.12	-314465.06	0	0
34	15.84	34	4698.45	4075.17	6696.39	2	35	314465.06	-315533.64	0	0
35	38.09	34	11019.06	9514.66	15843.34	2	35	315533.64	-317845.58	0	0
36	34.81	33	9505.48	8122.08	14008.24	2	35	317845.58	-319556.88	0	0
37	19.12	33	4990.91	4229.44	7505.64	2	35	319556.88	-320340.76	0	0
38	53.93	32	13184.23	11038.14	20445.22	2	35	320340.76	-321979.93	0	0
39	53.93	31	11857.26	9727.72	19387.86	2	35	321979.93	-322828.55	0	0
40	18.8	30	3819.01	3083.71	6512.06	2	35	322828.55	-322950.73	0	0
41	35.13	30	6696.93	5335.47	11828.31	2	35	322950.73	-322949.68	0	0
42	53.93	29	9158.29	7107.81	17298.53	2	35	322949.68	-322398.62	0	0
43	53.93	28	7787.18	5796.55	16264.19	2	35	322398.62	-321234.78	0	0
44	2.8	27	366.84	265.33	816.75	2	35	321234.78	-321158.77	0	0
45	51.13	27	6802.96	4975.98	14949.33	2	35	321158.77	-319742.22	0	0
46	53.93	26	7476.54	5599.31	15913.79	2	35	319742.22	-318204.41	0	0
47	53.93	25	7772.57	5943.97	16058.2	2	35	318204.41	-316608.28	0	0
48	53.93	24	8055.72	6273.75	16197.86	2	35	316608.28	-314941.09	0	0
49	53.93	23	8326.29	6589.48	16333.03	2	35	314941.09	-313191.05	0	0
50	53.93	22	8584.56	6891.91	16463.96	2	35	313191.05	-311347.24	0	0
51	53.93	21	8830.78	7181.74	16590.87	2	35	311347.24	-309399.53	0	0
52	53.93	20	9065.18	7459.6	16713.96	2	35	309399.53	-307338.53	0	0
53	46.97	19	8076.43	6713.77	14652.8	2	35	307338.53	-305444.58	0	0
54	6.97	19	1197.63	998.88	2171.27	2	35	305444.58	-305153.48	0	0

55	53.93	18	8424.94	6946.72	16224.75	2	35	305153.48	-302702.25	0	0
56	48.45	17	6283.57	5050.43	13691.82	2	35	302702.25	-300235.62	0	0
57	5.48	17	634.06	500.35	1496.54	2	35	300235.62	-299942.66	0	0
58	53.93	16	5398.72	4147.38	14150.47	2	35	299942.66	-296924.79	0	0
59	53.93	16	3869.13	2736.55	13111.08	2	35	296924.79	-293700.13	0	0
60	32.44	15	1586.45	963.34	7385.23	2	35	293700.13	-291682.79	0	0
61	21.49	14	743.01	354.46	4684.53	2	35	291682.79	-290320.82	0	0
62	53.93	14	778.02	-111.63	11024.2	2	35	290320.82	-286834.13	0	0

Tabella 6: Fattori di sicurezza calcolati per ogni superficie.

N. centro	N. Superficie	x centro [cm]	y centro [cm]	Raggio [cm]	Fs
7	1	18000	8000	3000	6.580
7	2	18000	8000	3050	5.649
7	3	18000	8000	3100	4.996
7	4	18000	8000	3150	4.513
7	5	18000	8000	3200	4.142
7	6	18000	8000	3250	3.847
7	7	18000	8000	3300	3.608
7	8	18000	8000	3350	3.411
7	9	18000	8000	3400	3.244
7	10	18000	8000	3450	3.103
7	11	18000	8000	3500	2.982
8	1	18000	8500	3050	23.702
8	2	18000	8500	3100	13.834
8	3	18000	8500	3150	9.917
8	4	18000	8500	3200	7.406
8	5	18000	8500	3250	6.167
8	6	18000	8500	3300	5.344
8	7	18000	8500	3350	4.757
8	8	18000	8500	3400	4.317
8	9	18000	8500	3450	4.625
8	10	18000	8500	3500	4.250
9	1	18000	9000	3250	30.576
9	2	18000	9000	3300	16.951
9	3	18000	9000	3350	11.823
9	4	18000	9000	3400	9.149
9	5	18000	9000	3450	7.514
9	6	18000	9000	3500	7.558
10	1	18000	9500	3500	41.406
16	1	18500	7000	3000	4.056
16	2	18500	7000	3050	3.898
16	3	18500	7000	3100	3.708
17	1	18500	7500	3000	6.190
17	2	18500	7500	3050	5.456
17	3	18500	7500	3100	4.922
17	4	18500	7500	3150	4.926
17	5	18500	7500	3200	4.626
17	6	18500	7500	3250	4.273
17	7	18500	7500	3300	4.522
18	1	18500	8000	3000	19.990
18	2	18500	8000	3050	13.849
18	3	18500	8000	3100	10.697
18	4	18500	8000	3150	8.785
18	5	18500	8000	3200	7.506
18	6	18500	8000	3250	6.591
18	7	18500	8000	3350	7.509

18	8	18500	8000	3400	6.190
18	9	18500	8000	3450	5.324
18	10	18500	8000	3500	4.713
19	1	18500	8500	3250	34.592
19	2	18500	8500	3300	20.452
19	3	18500	8500	3350	14.664
19	4	18500	8500	3400	11.525
19	5	18500	8500	3450	9.559
19	6	18500	8500	3500	30.731
26	1	19000	6500	3000	4.273
26	2	19000	6500	3050	3.924
26	3	19000	6500	3100	3.641
26	4	19000	6500	3150	3.890
26	5	19000	6500	3200	3.658
26	6	19000	6500	3250	3.466
26	7	19000	6500	3300	3.308
26	8	19000	6500	3350	3.174
26	9	19000	6500	3400	3.060
27	1	19000	7000	3000	42.130
27	2	19000	7000	3050	7.677
27	3	19000	7000	3100	7.106
27	4	19000	7000	3150	5.980
27	5	19000	7000	3200	5.221
27	6	19000	7000	3250	4.676
27	7	19000	7000	3300	4.267
27	8	19000	7000	3350	3.948
27	9	19000	7000	3400	3.694
27	10	19000	7000	3450	3.487
27	11	19000	7000	3500	3.335
28	1	19000	7500	3000	33.846
28	2	19000	7500	3050	20.815
28	3	19000	7500	3100	15.186
28	4	19000	7500	3200	23.269
28	5	19000	7500	3250	13.729
28	6	19000	7500	3300	8.467
28	7	19000	7500	3350	6.827
28	8	19000	7500	3400	5.804
28	9	19000	7500	3450	5.103
28	10	19000	7500	3500	5.417
29	1	19000	8000	3400	28.108
29	2	19000	8000	3450	16.520
29	3	19000	8000	3500	11.824
35	1	19500	5500	3000	3.166
35	2	19500	5500	3050	3.044
35	3	19500	5500	3100	3.713
36	1	19500	6000	3000	4.738
36	2	19500	6000	3050	4.353
36	3	19500	6000	3100	4.050
36	4	19500	6000	3150	3.811
36	5	19500	6000	3200	3.680
36	6	19500	6000	3250	3.522
37	1	19500	6500	3000	9.618
37	2	19500	6500	3050	7.874
37	3	19500	6500	3100	6.545
37	4	19500	6500	3150	5.674
37	5	19500	6500	3200	5.058
37	6	19500	6500	3250	4.600
37	7	19500	6500	3300	4.574
37	8	19500	6500	3350	5.002

37	9	19500	6500	3400	4.605
37	10	19500	6500	3450	4.244
37	11	19500	6500	3500	3.906
38	1	19500	7000	3100	29.784
38	2	19500	7000	3150	17.521
38	3	19500	7000	3200	12.542
38	4	19500	7000	3250	9.857
38	5	19500	7000	3300	8.184
38	6	19500	7000	3350	7.043
38	7	19500	7000	3400	7.277
38	8	19500	7000	3500	6.715
39	1	19500	7500	3350	53.179
39	2	19500	7500	3400	25.183
39	3	19500	7500	3450	16.672
39	4	19500	7500	3500	12.572
46	1	20000	5500	3000	5.278
46	2	20000	5500	3050	4.848
46	3	20000	5500	3100	4.433
46	4	20000	5500	3150	4.036
46	5	20000	5500	3200	4.940
46	6	20000	5500	3250	4.556
46	7	20000	5500	3300	4.252
46	8	20000	5500	3350	4.005
46	9	20000	5500	3400	3.801
46	10	20000	5500	3450	3.630
46	11	20000	5500	3500	3.485
47	1	20000	6000	3000	9.024
47	2	20000	6000	3050	7.725
47	3	20000	6000	3100	6.793
47	4	20000	6000	3150	8.895
47	5	20000	6000	3200	7.843
47	6	20000	6000	3250	6.417
47	7	20000	6000	3300	5.498
47	8	20000	6000	3350	4.859
47	9	20000	6000	3400	4.389
47	10	20000	6000	3450	4.030
47	11	20000	6000	3500	3.747
48	1	20000	6500	3100	42.998
48	2	20000	6500	3150	23.429
48	3	20000	6500	3200	16.280
48	4	20000	6500	3250	12.585
48	5	20000	6500	3350	22.654
48	6	20000	6500	3400	13.385
48	7	20000	6500	3450	7.628
48	8	20000	6500	3500	6.288
49	1	20000	7000	3450	47.595
49	2	20000	7000	3500	72.665
56	1	20500	5000	3000	6.980
56	2	20500	5000	3050	6.106
56	3	20500	5000	3100	5.477
56	4	20500	5000	3150	5.002
56	5	20500	5000	3200	4.633
56	6	20500	5000	3250	4.337
56	7	20500	5000	3300	4.095
56	8	20500	5000	3350	3.949
56	9	20500	5000	3400	3.787
56	10	20500	5000	3450	3.639
57	1	20500	5500	3000	44.880
57	2	20500	5500	3050	19.026



57	3	20500	5500	3100	12.360
57	4	20500	5500	3150	8.803
57	5	20500	5500	3200	7.068
57	6	20500	5500	3250	5.994
57	7	20500	5500	3300	5.263
57	8	20500	5500	3350	4.733
57	9	20500	5500	3400	5.902
57	10	20500	5500	3450	5.600
57	11	20500	5500	3500	5.228
58	1	20500	6000	3200	67.729
58	2	20500	6000	3250	25.384
58	3	20500	6000	3300	15.766
58	4	20500	6000	3350	11.554
58	5	20500	6000	3400	9.199
58	6	20500	6000	3450	7.700
58	7	20500	6000	3500	7.634
59	1	20500	6500	3500	35.134
67	1	21000	5000	3000	17.365
67	2	21000	5000	3050	12.601
67	3	21000	5000	3100	9.978
67	4	21000	5000	3150	8.318
67	5	21000	5000	3200	7.179
67	6	21000	5000	3250	6.352
67	7	21000	5000	3300	7.974
67	8	21000	5000	3350	6.836
67	9	21000	5000	3400	5.912
67	10	21000	5000	3450	5.256
67	11	21000	5000	3500	4.767
68	1	21000	5500	3250	28.432
68	2	21000	5500	3300	18.231
68	3	21000	5500	3350	13.547
68	4	21000	5500	3400	10.861
68	5	21000	5500	3500	22.223
78	1	21500	5000	3000	45.419
78	2	21500	5000	3050	28.106
78	3	21500	5000	3100	20.513
78	4	21500	5000	3150	16.255
78	5	21500	5000	3200	13.534
78	6	21500	5000	3250	11.647
78	7	21500	5000	3300	10.264
78	8	21500	5000	3350	51.778
78	9	21500	5000	3400	22.451
78	10	21500	5000	3450	14.474
78	11	21500	5000	3500	10.782
79	1	21500	5500	3450	44.520
79	2	21500	5500	3500	28.950
89	1	22000	5000	3300	33.027
89	2	22000	5000	3350	21.683
89	3	22000	5000	3400	16.285
89	4	22000	5000	3450	13.133
89	5	22000	5000	3500	11.068

## 7 Confronto tra i fattori di sicurezza ottenuti.

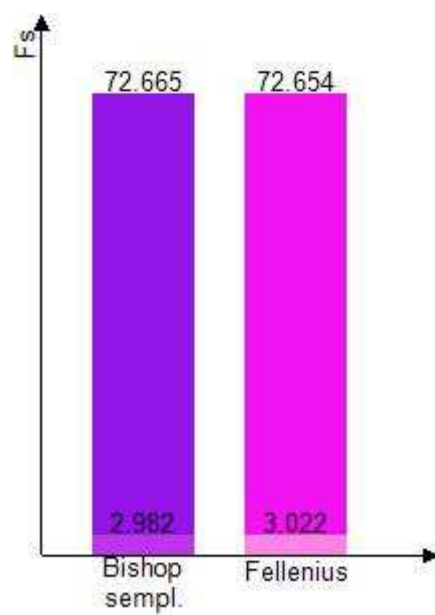


Figura 7: Confronto tra i fattori di sicurezza calcolati