POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea

Analisi di tecniche di scavo alternative per la soluzione di problemi di stabilità in un cantiere estrattivo a giorno

Relatore

Prof.ssa Marilena Cardu

Candidato

Alessio Garzena

Luglio 2019

Indice

Premessa 3
1. Inquadramento del sito 4
1.1. L'azienda 4
1.2. L'unità produttiva 5
2. La cava 7
2.1. Contesto e attività 7
2.1.1. Relazione geologica 7
2.1.1.1. Inquadramento geomorfologico 7
2.1.1.2. Inquadramento geologico 8
2.1.1.3. Rilievo strutturale 9
2.1.1.4. Indagini geognostiche 9
2.1.1.5. Modello geologico 11
2.1.2. Progetto di coltivazione 15
2.1.2.1. Disegno di coltivazione 15
2.1.2.2. Modalità di coltivazione 16
2.1.2.3. Organizzazione dei lavori 18
2.1.2.4. Programma dei lavori 19
2.1.2.5. Computo metrico 35
2.1.2.6. Stabilità dei fronti di cava 35
2.1.3. Recupero ambientale 37
2.2. Il problema 42
3. Indagini di dettaglio sul fronte instabile 49
3.1. Sondaggi 49
3.2. Rilievo foto-topografico 56
4. Analisi e confronto dei metodi di scavo 57
4.1. Situazione attuale 57
4.1.1. Volate di produzione con gradone da 8 m 69
4.1.2. Volate di produzione con gradone da 5 m 72
4.1.3. Volate di profilatura 74
4.2. Alternativa 76
4.2.1. Il ripper 76
4.2.2. Prove di utilizzo 77
4.2.3. Test sul fronte instabile 81
5. Conclusioni 82
Bibliografia 84
Ringraziamenti 85

Premessa

Il presente studio ha come oggetto la valutazione di alcune alternative alla modalità di coltivazione di un cantiere estrattivo a giorno, sito in provincia di Varese, al fine di migliorare le condizioni di stabilità dei fronti residui di cava.

La motivazione che mi ha spinto a trattare tale tema è stato l'interessamento ad una problematica specifica di cava: un evento franoso che ha avuto importanti ripercussioni sulla coltivazione della stessa. Sono venuto a conoscenza di questa situazione durante il mio tirocinio universitario e successivamente ho voluto approfondire l'argomento.

L'obiettivo di questa tesi di laurea, dunque, è quello di trovare la migliore soluzione al problema occorso, che garantisca la stabilità a lungo termine dell'area e permetta un ritorno alle condizioni standard di scavo.

La tesi è articolata in cinque capitoli: nel primo vengono inquadrati il sito produttivo e l'azienda. Nel secondo capitolo viene descritta in dettaglio la cava, ossia le sue caratteristiche geologiche, il progetto di coltivazione, il recupero ambientale e l'evento franoso avvenuto. Il terzo capitolo si concentra sulle indagini di dettaglio realizzate sul fronte instabile, attraverso una serie di sondaggi. Nel quarto capitolo l'analisi si concentra sul confronto tra diversi metodi di scavo, in particolare viene descritta la situazione attuale e l'alternativa considerata. Infine, nel quinto capitolo vengono commentati i risultati ottenuti e si espongono le conclusioni finali.

1. Inquadramento del sito

1.1. L'azienda

La storia di Holcim (Italia) inizia nel 1928 con la costruzione della prima unità produttiva di cemento a Merone in provincia di Como.
Negli anni l'Azienda è cresciuta con progressive acquisizioni e partecipazioni, sino al 1996 quando è entrata sotto il controllo del gruppo svizzero Holderbank (dal 2001 Holcim), uno dei leader mondiali nei settori del cemento, degli aggregati (pietrisco, sabbia e ghiaia), del calcestruzzo, dell'asfalto e dei servizi legati al mondo delle costruzioni.
Nel 2015, dalla fusione tra pari di Lafarge e Holcim, è nata LafargeHolcim, oggi presente in 90 paesi nel mondo con circa 115˙000 dipendenti.

Tutte le attività di Holcim (Italia) fanno capo a Holcim Gruppo (Italia) S.p.A., holding capogruppo che esercita funzioni di direzione e di coordinamento delle società controllate (di cui detiene la totalità o la maggioranza delle azioni o quote sociali) e di gestione delle partecipazioni in quelle collegate (con quote inferiori al 50%). Holcim Gruppo (Italia) S.p.A. detiene il 100% di Holcim (Italia) S.p.A. che, a sua volta, detiene il 100% di Holcim Aggregati Calcestruzzi S.r.l., di Geocycle (Italia) S.r.l., di Fusine Energia S.r.l. e di Fonte Curella S.r.l.

La struttura produttiva si compone di:

- 2 unità produttive di cemento, di cui una a ciclo completo (con forno) a Comabbio (VA) e una stazione di macinazione a Merone (CO);
- 5 cave di aggregati;
- 11 impianti di calcestruzzo;
- 3 terminali di importazione del cemento.

1.2. L'unità produttiva

La sede Holcim in provincia di Varese produce e commercializza cemento, sia in sacchi che sfuso.
L'unità produttiva è composta dallo stabilimento sito nel comune di Comabbio e dalle due unità estrattive (miniera "Santa Marta" e cava "Faraona") site nei comuni di Ternate e Travedona Monate (vedi Figura 1 e Figura 2).

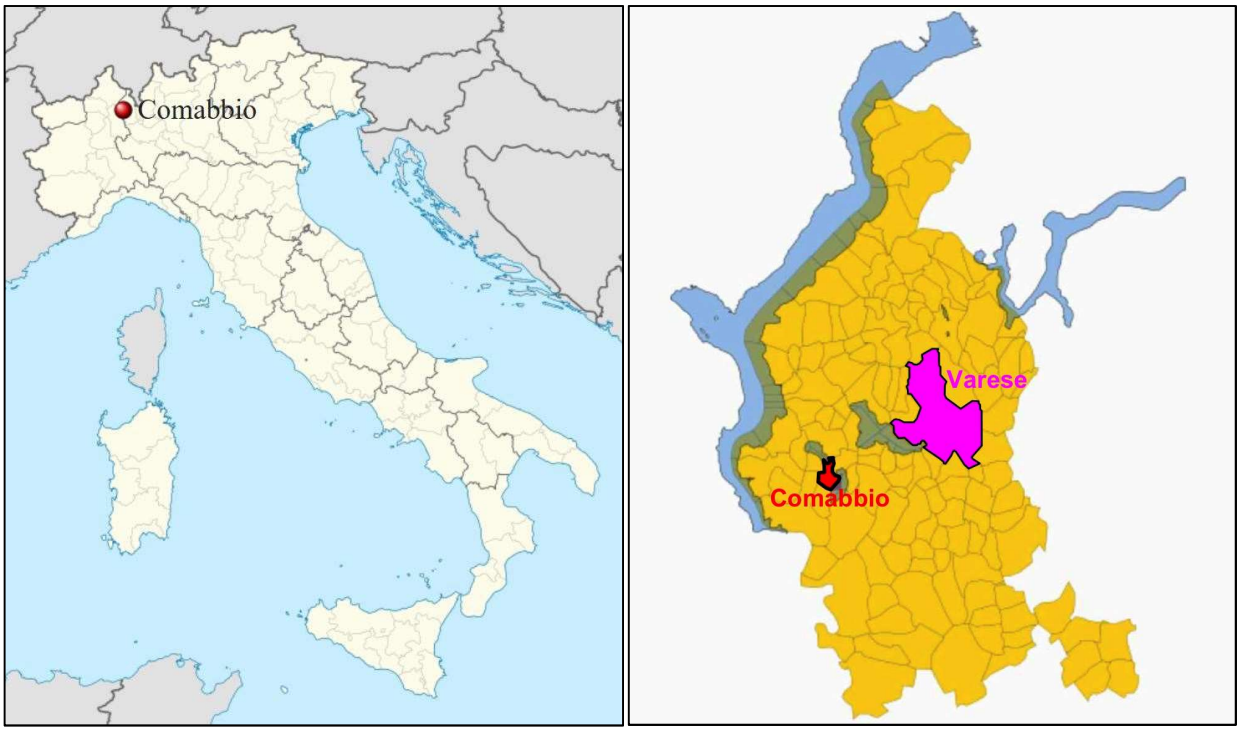


Figura 1: Inquadramento di Comabbio, in Italia e nella provincia di Varese

Nello stabilimento il materiale grezzo (tout venant) proveniente dalla cava viene sottoposto a diversi trattamenti, che lo trasformano in cemento (in polvere). Queste lavorazioni sono:

- Frantumazione primaria del tout venant, con riduzione della pezzatura;
- Miscelazione con materiali correttivi, per integrare i quantitativi di silice, ferro e alluminio;
- Stoccaggio temporaneo in apposito capannone (preomogeneizzazione);
- Ripresa del materiale con un escavatore a tazze;
- Macinazione del materiale, ad ottenere la farina cruda;
- Condizionamento intermedio in torre (precalcinazione);
- Cottura in forno rotante, ad ottenere il clinker;
- Raffreddamento del clinker;
- Stoccaggio del clinker in apposito silo;
- Miscelazione del clinker con calcare ad elevata purezza (proveniente sempre dal frantoio primario), gesso, ceneri volanti e pozzolana;
- Macinazione della miscela, con produzione del cemento;
- Stoccaggio del cemento in appositi silos;
- Spedizione del cemento, sfuso o confezionato in sacchi.

La miniera di marna denominata "Santa Marta" è stata il principale sito di approvvigionamento fino al 2013, anno in cui sono terminati i volumi autorizzati. Resta da ultimare il piano di recupero ambientale, che prevede il rimodellamento morfologico da realizzarsi con il materiale di scopertura precedentemente stoccato nell'area, integrato con conferimenti di terre e rocce da scavo.

La cava denominata "Faraona" è invece a tutt'oggi attiva, ed il calcare è estratto tramite abbattimento con esplosivo. La coltivazione avviene per fette discendenti con configurazione delle fronti a gradino di altezza pari a circa 8 m. L'esplosivo impiegato è un'emulsione in cartucce; il sistema d'innesco è realizzato mediante

detonatori e unità di connessione NONEL. I prodotti esplodenti sono commercializzati dalle aziende Maxam e EPC.
Tutte le attività di cava sono appaltate ad una ditta terza, GME (General de Maquinaria y Excavación), la cui flotta è composta da: 2 perforatrici, 2 escavatori, 1 pala, 6 dumper,1 martellone, 1 grader, 1 dozer, 1 frantoio e 1 vaglio mobili.
Le volate sono effettuate in media 3-4 volte a settimana e possono essere volate di produzione standard, di profilatura o di preminaggio; la perforazione avviene il giorno precedente allo sparo, mentre il caricamento avviene il giorno stesso. Il materiale abbattuto è caricato sui dumper tramite escavatori e portato al frantoio primario. La pala viene utilizzata come ulteriore mezzo di carico o per lavori accessori. Il dozer è utilizzato principalmente per spingere oltre il ciglio il materiale di scopertura scaricato dai dumper per il riempimento del fondo cava e, all'occorrenza, per il mantenimento di piste e piazzali, operazione di norma effettuata dal grader. Il martellone è utilizzato per l'abbattimento secondario, ovvero per ridurre la dimensione dei blocchi più grandi risultanti dalla volata. Il sistema composto da frantoio e vaglio mobili è invece utilizzato per produrre materiale di pezzatura inferiore al tout venant (< 70 mm), destinato alla vendita ad un cliente esterno, produttore di vari materiali per l'edilizia e il volume complessivo processato rappresenta una piccola percentuale della produzione annua della cava.



Figura 2: Localizzazione stabilimento, miniera e cava

2. La cava

2.1. Contesto e attività

La cava Faraona ha una superficie di circa 23.5 ha e si trova nel territorio dei comuni di Travedona Monate e Ternate, nell'area compresa fra i laghi di Comabbio, Monate e Varese.

La coltivazione della cava era stata sospesa nel 2009. In precedenza, le attività di coltivazione e recupero ambientale erano state svolte secondo il progetto autorizzato fino al 2006 e successivamente prorogato di altri 3 anni.

In previsione del temine dell'attività estrattiva nella miniera Santa Marta (avvenuto nel 2013) è sorta la necessità di riprendere la coltivazione nella cava Faraona.
Quindi nel 2011 Holcim ha presentato alla Provincia di Varese istanza per l'approvazione del Progetto di gestione produttiva dell'Ambito Territoriale Estrattivo della cava Faraona, denominato "ATE c2", ed alla Regione Lombardia istanza per la pronuncia di compatibilità ambientale. Il 12/03/2012 la Regione Lombardia-Direzione Generale Ambiente, Energia e Reti, ha rilasciato il Decreto di Compatibilità Ambientale n°1992. Il 04/04/2012 la Provincia di Varese-Settore Ecologia ed Energia, ha rilasciato l'Autorizzazione n°1358 al Progetto di Gestione Produttiva presentato per l'ATE c2.
Per la redazione del progetto attuativo sono state considerate: le prescrizioni formalizzate nei due documenti sopra citati, le indicazioni del Piano cave della Provincia di Varese (pubblicato nel 2008) e le integrazioni richieste dagli Enti a seguito della Conferenza dei servizi della procedura V.I.A. (Valutazione di Impatto Ambientale).

In fase di elaborazione del progetto sono state valutate le condizioni geologiche, geomorfologiche e strutturali dell'area; sono inoltre stati pianificati la coltivazione ed il recupero ambientale della cava.

2.1.1. Relazione geologica

A partire dal 2006 sono state effettuate le seguenti prove di monitoraggio ambientale:

- Sondaggi geognostici;
- Rilievi topografici;
- Installazione di misuratori automatici di livello idrico (level-logger);
- Installazione di piezometri;
- Prove di pompaggio;
- Slug-test;
- Installazione di una stazione meteo fissa;
- Monitoraggio del livello del Lago di Monate e misure di livello e portata dell'emissario Acqua Nera.

Queste prove hanno portato ai risultati indicati nel seguito.

2.1.1.1. Inquadramento geomorfologico

L'origine morfologica della zona è legata alle vicende del grande ghiacciaio del Verbano, che ha scavato le conche lacustri degli attuali laghi e paludi. Si era dunque formato un grande anfiteatro morenico, che rappresenta ancora oggi il limite meridionale naturale dell'area. A Nord invece il limite è dato dal rilievo prealpino del Campo dei Fiori, mentre lateralmente il fiume Olona ed il lago Maggiore chiudono la zona, rispettivamente a Est ed a Ovest.

Circa 20.000 anni fa quest'area formava un unico bacino lacustre e il livello dell'acqua era più alto dell'attuale di almeno 20 m. Il torrente Acqua Nera, uscendo da questo antico lago, si immetteva direttamente nel Verbano. Successivamente l'acqua si aprì la strada erodendo la valle del Bardello, scorrendo da Sud verso Nord. Tutto il grande ecosistema lacustre si abbassò di circa 20 m, lasciando scoperta una zona paludosa compresa tra il lago di Varese ed il lago di Comabbio: l'attuale palude Brabbia.
Ad Ovest dell'area estrattiva è presente il lago di Monate, che si è formato anch'esso in epoca glaciale ed è circondato da colline moreniche. È alimentato da sorgenti sotterranee e l'unico emissario è il torrente Acqua Nera, che esce nei pressi di Travedona e poi defluisce nel lago Maggiore.

L'attività estrattiva di Holcim interessa la formazione carbonatica di un dosso collinare, che è allineato all'incirca Nord-Sud e si estende per 4 km, dalla sponda settentrionale del lago di Comabbio alla frazione Chiosetto del comune di Travedona Monate. Le aree non soggette alla coltivazione sono coperte da bosco ceduo, con frassini, farnie, castagni, robinie e betulle.
Il dosso collinare non è perfettamente rettilineo per tutta la sua lunghezza, ma piega leggermente verso Ovest, disegnando un arco con convessità rivolta verso Est. Le quote più elevate del dosso sono intorno ai 370 m s.l.m., mentre le pendici del rilievo sono 70 m più in basso, a quota 300 m s.l.m. circa, e le pendenze dei fianchi sono pari a 30°- 40°.
Questo dosso rappresenta lo spartiacque idrografico tra i bacini del lago di Comabbio e quello di Monate.
Inoltre, dal punto di vista geo-strutturale, il rilievo corrisponde alla zona assiale di una piega anticlinale di età eocenica, originata dall'azione di eventi tettonici regionali e denominata "Formazione di Ternate", con uno spessore stimato di circa 400 m. Questa è stata modellata negli anni da fenomeni erosivi e di deposizione dei ghiacciai quaternari, che si sono ripetutamente estesi fino alla pianura Padana. I detriti risultanti dall'erosione glaciale si sono poi ridepositati al di sopra del substrato roccioso durante il ritiro dei ghiacciai, sotto forma di depositi morenici con distribuzione, spessori e composizione estremamente irregolari. L'immersione degli strati carbonatici verso Ovest ha favorito la troncatura delle testate di strato da parte della lingua glaciale, nella porzione più orientale del dosso, e l'accumulo di una spessa coltre di detriti nella parte centrale ed occidentale del rilievo.

2.1.1.2. Inquadramento geologico

Il dosso collinare è costituito da un'ossatura di sequenze carbonatiche e marnoso-carbonatiche, appartenenti alla Formazione di Ternate, caratterizzata da una successione di calcari organogeni a tessitura granulare, passanti poi a marne grigio-verdi, con presenza di micro e macro fossili in frammenti. Le lenti e gli orizzonti marnosi hanno dimensioni estremamente varie, da centimetriche a metriche; talvolta sono regolari e si estendono per centinaia di metri, con stratificazione e giacitura concordanti con il calcare. Abbastanza frequente è anche la presenza di livelli irregolari e sacche costituiti da conglomerati poligenici con cemento marnoso.
Dalle analisi effettuate sui campioni provenienti dai sondaggi è risultato che la formazione calcarea ha un contenuto medio di $CaCO_3$ dell'ordine del 90%.
Dato il livello di fratturazione che presenta la formazione carbonatica, si sarebbe portati a ritenere il complesso mediamente permeabile. Le prove idrauliche eseguite nei sondaggi contrastano invece con questa ipotesi. Nei fronti di scavo, inoltre, non si notano venute d'acqua significative, in corrispondenza del complesso carbonatico, se non limitati stillicidi dove sono presenti lenti o orizzonti marnosi, soprattutto dopo intense precipitazioni.

Soprastante, in diretto contatto con la formazione carbonatica, si nota una formazione quaternaria, costituita da materiali detritici, per lo più sciolti o poco cementati, a diversa granulometria e composizione, con ciottoli grossolani arrotondati e poco appiattiti; inoltre si ha una certa diversità litologica dei clasti (graniti, gneiss, micascisti, ecc.). Tali materiali sono presenti in diretto contatto con la Formazione di Ternate, con spessori via via crescenti da Est verso Ovest: sul versante orientale si riducono a pochi decimetri, mentre sul versante occidentale raggiungono diverse decine di metri; ciò è stato verificato nei sondaggi geognostici. L'utilizzo del materiale detritico-morenico non è previsto nel Piano cave e pertanto esso deve essere preliminarmente rimosso, e successivamente riutilizzato per il recupero morfologico dell'area.
La formazione detritico-morenica è permeabile e perciò rappresenta una sorta di "spugna" serbatoio, sul sottostante calcare impermeabile. Si riteneva perciò che la circolazione d'acqua sotterranea avvenisse per infiltrazione dell'acqua meteorica e percolazione in verticale nello strato di terreno vegetale superficiale e nel morenico, fino alla sottostante formazione carbonatica impermeabile e che da qui l'acqua scorresse verso Ovest (lago di Monate), che è la direzione di immersione del contatto stesso. In realtà il deposito morenico non è omogeneo dal punto di vista della permeabilità, come confermato dalle prove di pompaggio nei sondaggi e dalle relative misurazioni di ricarica dell'acquifero.

2.1.1.3. Rilievo strutturale

Il rilievo strutturale è stato eseguito nel 2009 e sono state completate oltre 80 misurazioni, in altrettante stazioni, le cui coordinate sono state rilevate con il sistema GPS.

È risultato che la formazione ha una stratificazione con inclinazione di 15°-25° rispetto all'orizzontale ed immersione verso Ovest-Nord Ovest. Tale struttura non è verificabile sul versante occidentale, per la presenza di una copertura morenica potente alcune decine di metri e per la mancanza totale di affioramenti, mentre è ben visibile sia in corrispondenza dei numerosi affioramenti naturali presenti sul fianco orientale del dosso, dove la copertura morenica è pressoché assente, sia lungo le scarpate dei fronti di scavo.
La formazione è mediamente fratturata, con discontinuità dovute sia alla stratificazione che a giunti e fratture ortogonali agli strati, con prevalente stratificazione diretta circa Nord-Sud ed immersione generale degli strati verso Ovest-Nord Ovest.
I rapporti giaciturali tra il substrato carbonatico e la copertura detritica non sono concordanti con l'inclinazione degli strati sedimentari sopra descritti, bensì presentano una superficie di separazione di tipo erosionale, con inclinazione di 30°-40° ed immersione verso Ovest.

Non sono stati rilevati fenomeni di carsismo nell'area.
I piezometri all'interno dei sondaggi sono stati collocati sia nella formazione carbonatica, sia nella copertura morenica, sia al contatto tra le due, per verificarne il comportamento idraulico.
Le prove di eduzione delle acque nei fori hanno rilevato tempi di ricarica molto lunghi (anche più di 5 giorni), a riprova dell'assenza di un corpo idrico sia nel substrato calcareo che nella soprastante copertura morenica. Tuttavia, alcune prove hanno rilevato tempi di ricarica più brevi, non giustificabili con la natura pressoché impermeabile della formazione carbonatica. È verosimile che questo comportamento anomalo sia stato creato da un fenomeno di debolezza strutturale locale, causato dall'incrocio di un sistema di fratture e/o faglie che ha favorito l'azione erosiva da parte delle acque meteoriche, con la creazione di vuoti successivamente riempiti da materiali terrosi e/o argillosi.
In periodi di particolare intensità delle precipitazioni meteoriche, si possono creare accumuli acquiferi locali, più o meno circolanti, per la presenza soprattutto di microfratture. Tali situazioni sono comunque molto limitate, sia arealmente sia in termini di intensità, e ciò è confermato dal fatto che oltre il 95% dei fronti in coltivazione sono sempre perfettamente asciutti.

2.1.1.4. Indagini geognostiche

Sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- Rilevamento aerofotogrammetrico dell'area, con l'identificazione degli elementi di caratterizzazione territoriale rilevanti (corsi d'acqua, fabbricati, strade, vie di accesso, ecc.);
- Rilevamento geologico superficiale, grazie al quale è stata elaborata una carta geologica dell'area (Figura 3), con l'indicazione della copertura di materiale sterile, degli affioramenti di calcare e delle faglie (vedi Par. 2.1.1.3 - "Rilievo strutturale");
- Sondaggi geognostici: nel corso del 2009 sono stati eseguiti 10 sondaggi verticali nella zona centro-meridionale dell'ATE c2, di cui 2 a carotaggio continuo e 8 a distruzione, per un totale di 626 m di perforazione. Tra il 1996 ed il 2007 erano stati realizzati altri 16 sondaggi nell'area, per un totale di 1300 m di lunghezza forata. La carta geologica (Figura 3) riporta anche l'ubicazione di tutti i sondaggi.

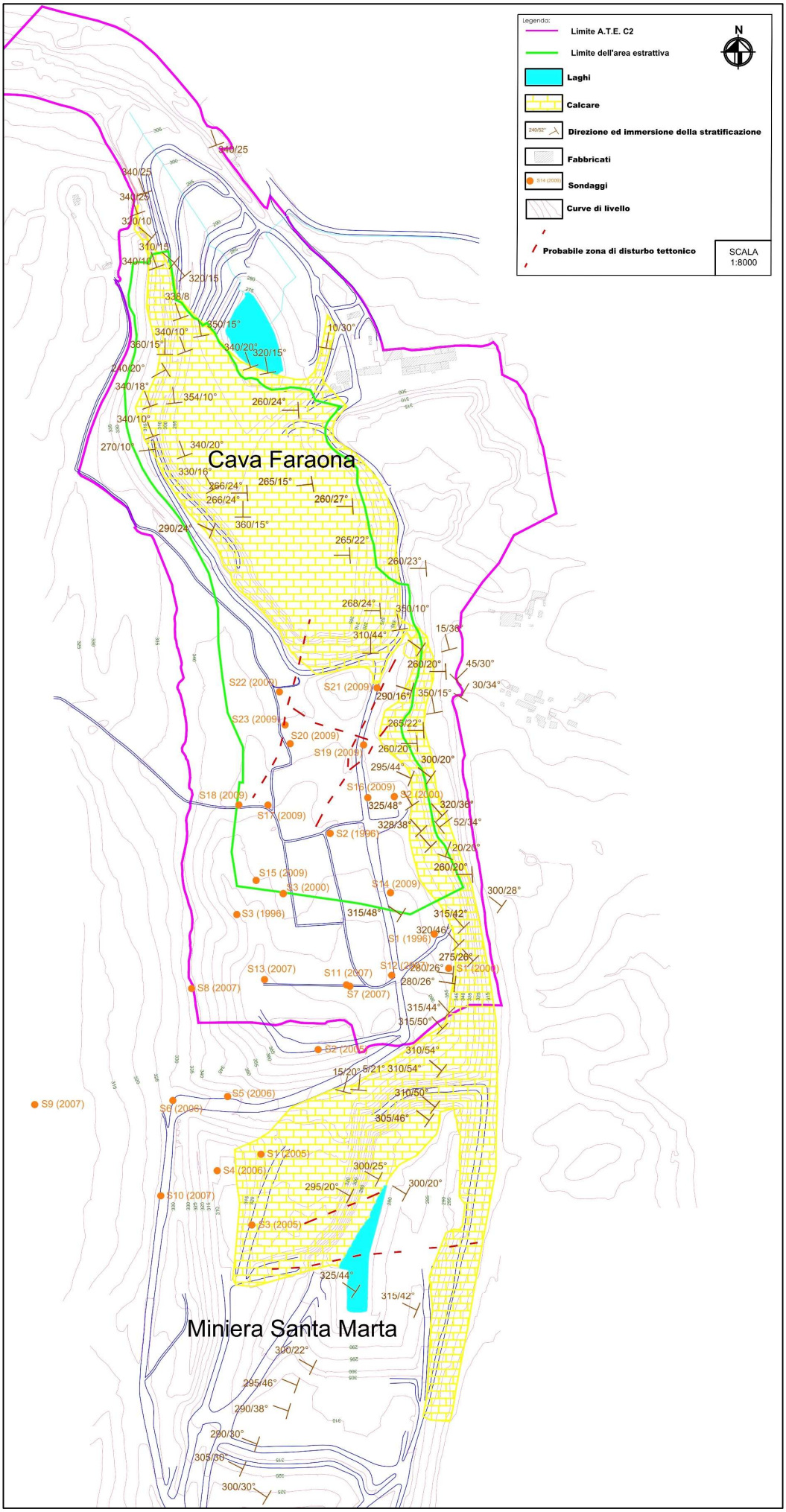


Figura 3: Carta geologica dell'area

2.1.1.5. Modello geologico

Le informazioni ricavate dalle indagini eseguite nell'area del giacimento sono state utilizzate per l'elaborazione di un modello del giacimento, che ha fornito l'andamento spaziale della formazione calcareo-marnosa, oggetto della coltivazione, e della copertura morenica.

Sono state effettuate quindi le seguenti elaborazioni:

- Superficie topografica di riferimento

È stata ricostruita a partire da:

  - Rilievo aerofotogrammetrico, effettuato nel 2004 dalla Provincia di Varese;
  - Rilievo topografico, eseguito nel 2009 tramite sistema GPS dallo Studio Staff nell'area della cava Faraona;
  - Rilievo aerofotogrammetrico, eseguito nel 2009 da Holcim e integrato con il rilievo topografico tramite sistema GPS nell'area della miniera Santa Marta.

Il rilievo aerofotogrammetrico della Provincia di Varese del 2004 costituiva la base topografica ufficiale, che è stato necessario aggiornare nelle aree che sono state oggetto di attività negli anni successivi. In questo modo nell'area di cava si è inserito il rilievo aggiornato dello Studio Staff, che rappresentava la situazione più recente dell'area interessata. Nel settore Sud, invece, si è proceduto all'aggiornamento utilizzando i rilievi che la società esegue sistematicamente nell'area della miniera. Le elaborazioni eseguite hanno portato ad una ricostruzione attendibile della superficie topografica aggiornata dell'area in coltivazione (vedi Figura 4).

- Superficie del tetto della formazione calcarea

È stata modellizzata a partire da:

  - Rilievo delle superfici affioranti, eseguito negli anni 2009 e 2010 da tecnici incaricati da Holcim;
  - Dati dei sondaggi di ricerca, eseguiti negli ultimi 10 anni da Holcim.

Si è proceduto inizialmente ad individuare il limite di affioramento del calcare nel settore Est. Tale limite è stato definito cautelativamente, considerando gli affioramenti e le aree di calcare sub-affiorante, con spessore di copertura limitato, stimato variabile da alcune decine di centimetri a 1-2 m. Sulla base quindi della superficie affiorante della formazione calcarea, della superficie topografica di riferimento e dei dati dei sondaggi eseguiti, sono state elaborate diverse sezioni verticali del giacimento, poi successivamente interpolate per la ricostruzione dell'andamento spaziale del contatto morenico-calcareo. Infine, sono stati effettuati rilievi di verifica e controllo dei volumi durante la fase operativa.

In Figura 5 è riportato il modello della superficie del contatto morenico-calcareo elaborato, mentre in Figura 6 sono riportate alcune sezioni geologiche del giacimento. In particolare, dalle figure si possono osservare l'andamento irregolare della quota del tetto della formazione calcarea, con immersione generale verso Ovest e situazioni locali variabili, e l'andamento della copertura morenica, il cui spessore varia da poche decine di centimetri nel settore Est ad alcune decine di metri nel settore Ovest.

Il modello geologico del giacimento così elaborato è stato ritenuto sufficientemente attendibile per procedere con il disegno della coltivazione.

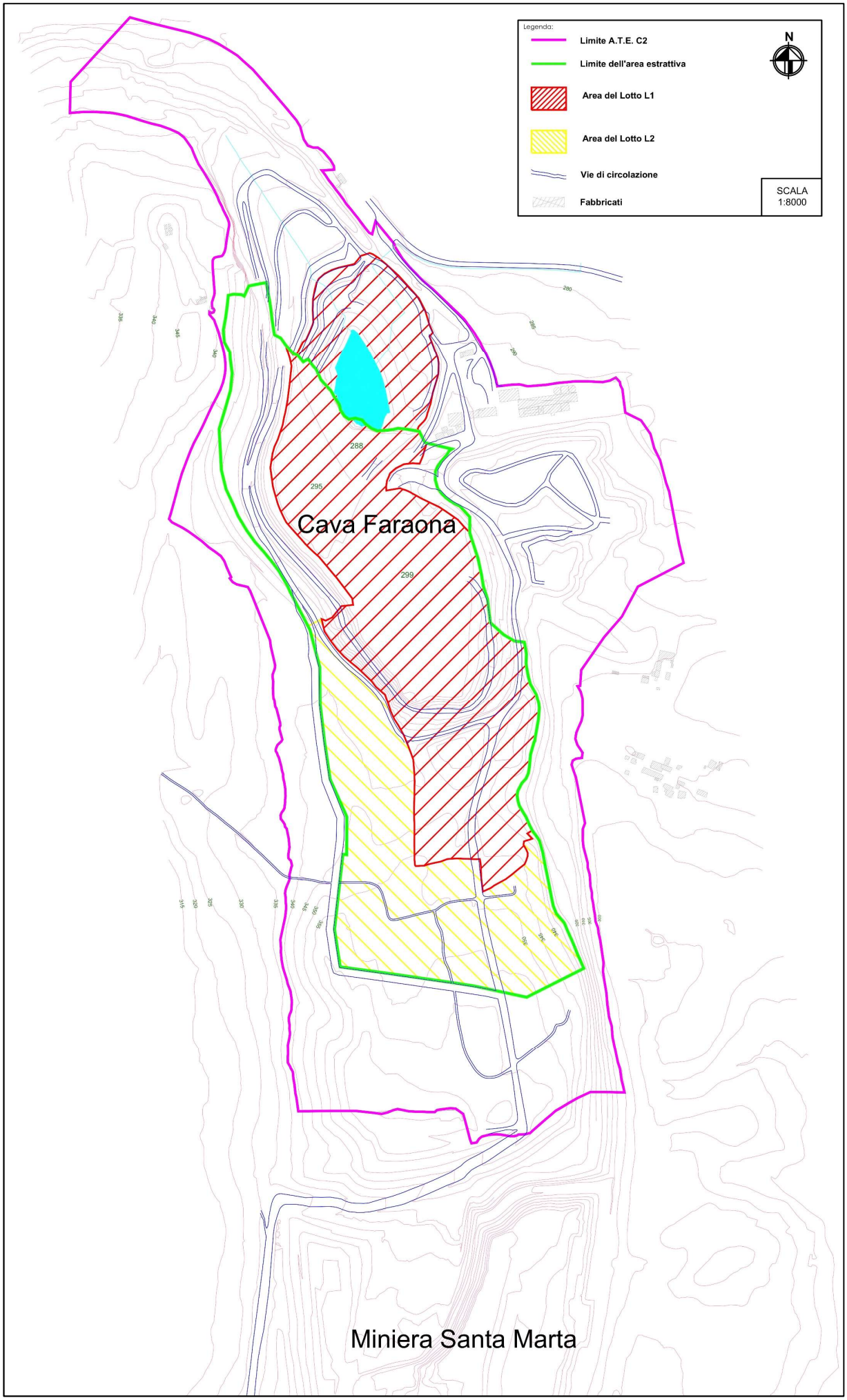


Figura 4: Rilievo dello stato di fatto dell'area nel 2010

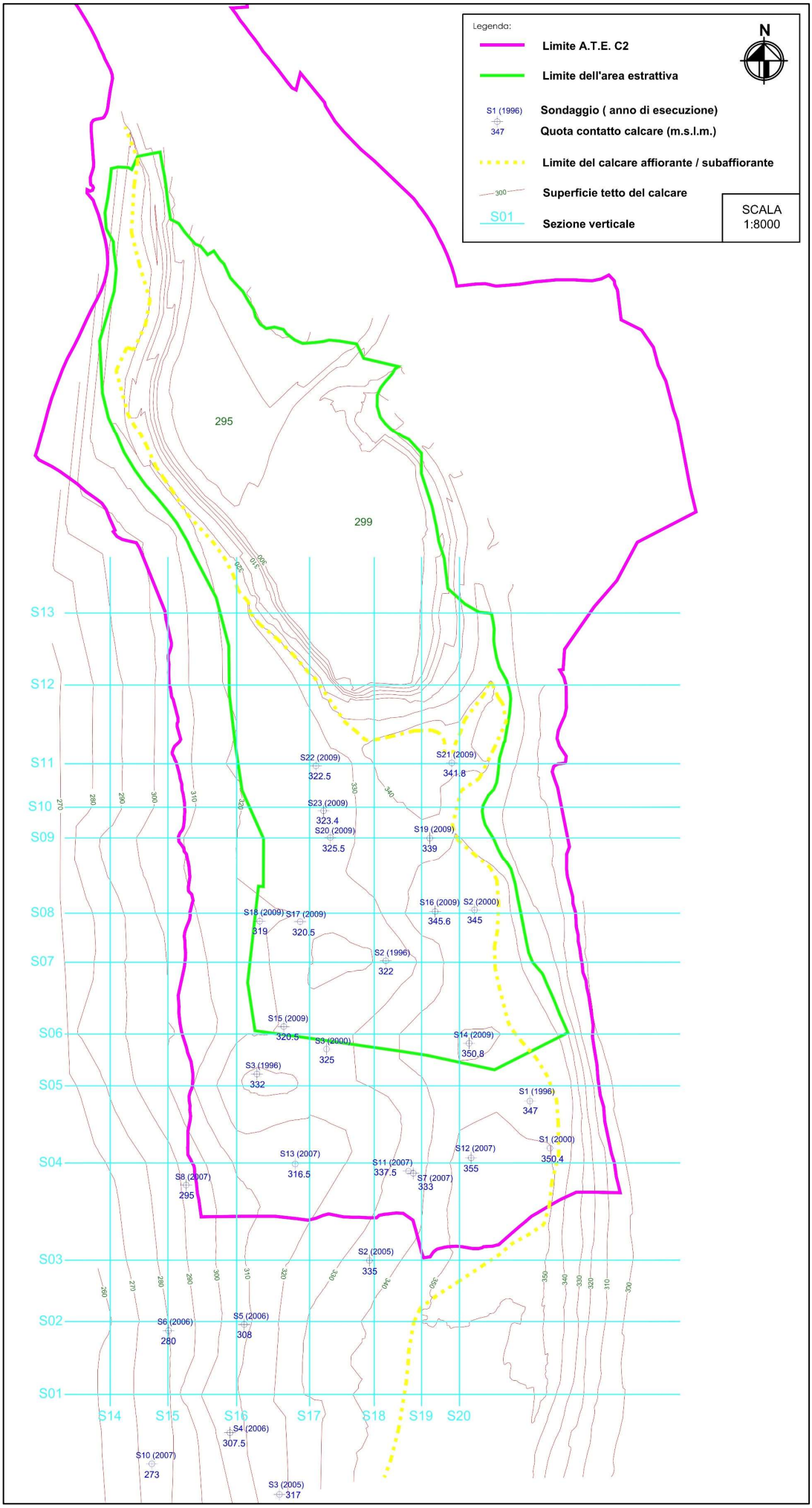


Figura 5: Modello del tetto del calcare

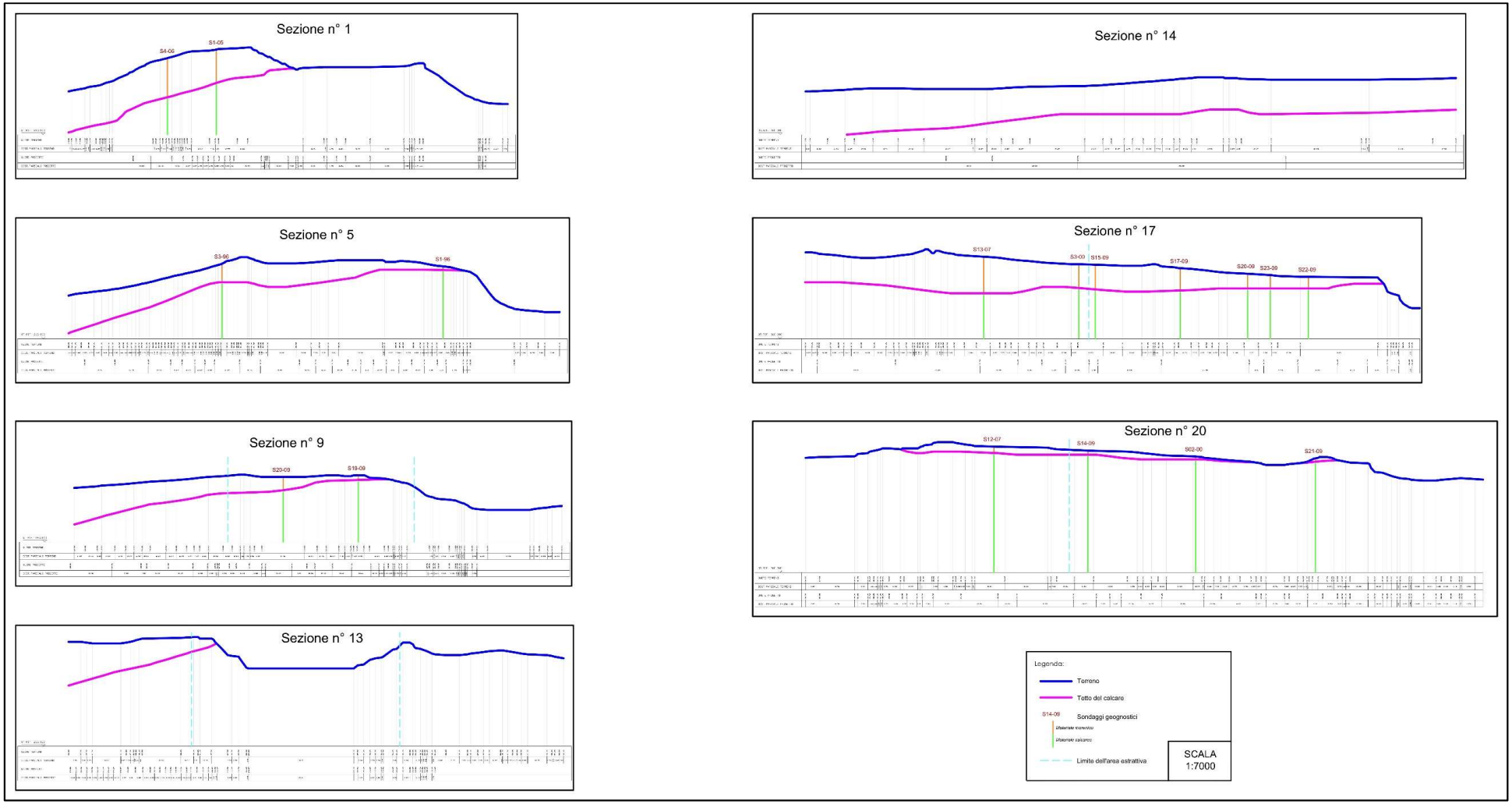


Figura 6: Sezioni geologiche del giacimento

2.1.2. Progetto di coltivazione

Il progetto di gestione dell'ATE c2 è stato sviluppato all'interno dell'area estrattiva individuata nel Piano cave della Provincia di Varese, allo scopo di garantire l'approvvigionamento della materia prima (il calcare) per la produzione di cemento nello stabilimento di Comabbio.

Secondo il Piano cave è consentita la coltivazione di 4˙800˙000 m^3 di materiale su una superficie complessiva di 25.4 ha, comprensivi anche della zona della cava già oggetto di pregressa attività estrattiva.
Nel corso del 2009 l'attività estrattiva è proseguita secondo il progetto precedentemente autorizzato, in funzione della proroga concessa. Lo stato di fatto riportato in Figura 4 corrisponde alla situazione di gennaio 2010, dopo l'interruzione dell'attività in seguito alla scadenza della proroga. In particolare, era stato valutato il volume di materiale calcareo coltivato nel corso dell'anno 2009, stimato in 82˙326 m^3.
Di conseguenza, il volume totale di materiale calcareo coltivabile nell'ambito del progetto era risultato pari a 3˙988˙003 m^3, di cui 3˙905˙677 m^3 rientranti nel progetto del 2011 e 82˙326 già coltivati nel 2009; vengono così rispettati i limiti imposti dal Piano cave.
Il volume complessivo della coltivazione è di 4˙816˙514 m^3, dei quali 3˙905˙677 m^3 di calcare e 910˙837 m^3 di materiale morenico.

Sono previste cinque fasi di avanzamento dei lavori per garantire la contemporaneità delle attività di coltivazione e di recupero ambientale, in modo da ridurre le aree esposte ed il conseguente impatto sul paesaggio. Nella progettazione si sono pianificate la coltivazione ed il recupero ambientale da Nord verso Sud, per anticipare la sistemazione della parte settentrionale e poi isolarla dal resto della cava.
Le scelte progettuali sono state effettuate considerando i parametri tecnici di precedenti progetti di coltivazione e i risultati di studi specifici sugli aspetti ambientali e di sicurezza.

2.1.2.1. Disegno di coltivazione

La geometria prevista per i fronti finali di cava è la seguente:

<u>Materiale morenico</u>

- altezza gradoni 4 m;
- larghezza berme 2.5 m;
- pendenza media scarpate 35°;
- pendenza media fronte 26°.

<u>Calcare</u>

- altezza gradoni 10 m;
- larghezza berme 5 m;
- pendenza media scarpate 60°;
- pendenza media fronte 48°.

<u>Piste di cava</u>

- larghezza piste principali 16 m;
- larghezza piste secondarie 5-10 m;
- pendenza media piste 10%.

Il progetto ha previsto l'avvio della coltivazione nel settore Nord, procedendo poi verso Sud. La prima fase ha interessato l'area settentrionale ed è stata propedeutica alla collocazione dello sterile di scopertura. La seconda fase corrispondeva alla prima fase di scopertura su circa la metà della nuova area, mentre la terza fase ha riguardato la coltivazione dell'area scoperta nella fase

precedente. La quarta fase (attualmente in corso) è relativa alla conclusione dell'attività di scopertura e, infine, la quinta fase interesserà il completamento della coltivazione.
Il rimodellamento morfologico è stato avviato nella seconda fase, sta procedendo in parallelo alla scopertura e sarà completato nella quinta fase, una volta esaurita la coltivazione.
Le operazioni si completeranno in un arco temporale di circa 16 anni (compresi nel ventennio di validità del Piano cave provinciale), di cui 11 anni di attività e 5 di manutenzione.

La coltivazione del materiale è iniziata quindi nell'area più a Nord del giacimento, già oggetto di precedente attività, ed è proceduta nel seguente modo:

- approfondimento fino alla quota prevista per il fondo cava (275 m s.l.m.), mediante coltivazione con la tecnica dello splateamento dall'alto verso il basso;
- sgombero del materiale e trasporto all'impianto di lavorazione presso lo stabilimento, attraverso la strada interna esistente.

La morfologia finale di coltivazione, riportata in Figura 14, prevede:

- quota di massimo scavo tra 355 m s.l.m. e 275 m s.l.m.;
- pista di servizio esterna all'area di coltivazione in corrispondenza del confine Sud-Ovest, utilizzata per il trasporto del materiale allo stabilimento;
- pista principale di accesso all'area di coltivazione, che si sviluppa sulla scarpata Sud e poi sulla scarpata Ovest verso Nord fino al raggiungimento della quota 310 m s.l.m., dove è presente un tornante che consente il proseguimento della pista verso Sud. Il tracciato della pista è stato così disegnato allo scopo di garantire l'accesso all'area in coltivazione per tutta la durata dell'attività, evitando interferenze con le aree recuperate a Nord. Inoltre, tale tracciato consente di minimizzare la distanza di trasporto, comportando quindi una riduzione degli impatti (polveri, rumore, emissioni, consumi carburante, ecc.);
- pista di servizio sul fronte Est a quota 330 m s.l.m., il cui accesso dalla pista principale avviene con un collegamento alla quota 340 m s.l.m.

La configurazione finale di scavo riportata in Figura 14 costituisce una situazione morfologica che, di fatto, non sarà mai riscontrata nel corso delle attività in quanto contemporaneamente alla coltivazione si procederà al rimodellamento delle aree esaurite utilizzando il materiale morenico proveniente dalle operazioni di scopertura. La situazione morfologica finale dell'area, una volta completate tutte le attività di coltivazione e recupero morfologico, è riportata in Figura 15 ed è caratterizzata da:

- piazzale finale a quota 289 m s.l.m., con raccordi di pendenza contenuta con le scarpate in roccia a quota 295-300 m s.l.m.;
- mantenimento della pista principale e delle piste ausiliari realizzate;
- sviluppo di ulteriori piste, per consentire il raccordo con le piste/vie di circolazione esterne e per facilitare la manutenzione e la futura fruibilità del sito;
- laghetto artificiale con funzione di vasca di raccolta delle acque meteoriche a quota 280 m s.l.m., per consentire un deflusso verso l'esterno;
- sistema di canalette per il convogliamento delle acque meteoriche verso la vasca di raccolta;
- utilizzo di terreno vegetale anche dall'esterno (nella quantità del 5-10%), in modo da garantire una buona riuscita degli interventi di recupero ambientale.

2.1.2.2. Modalità di coltivazione

La coltivazione viene effettuata a cielo aperto, secondo modalità e metodologie collaudate nel corso degli anni, che hanno consentito di ottenere buoni risultati produttivi e un elevato grado di sicurezza nello svolgimento delle operazioni.

Le principali attività previste per la coltivazione della cava sono: la scopertura, lo scavo del materiale, lo sgombero e il trasporto e, infine, la frantumazione.

Scopertura

Nelle aree non ancora interessate dall'attività estrattiva, la fase iniziale dei lavori è la rimozione della copertura di materiale morenico, presente con spessori crescenti da Est a Ovest.
Il materiale morenico viene estratto con un escavatore e caricato sui dumper adibiti al trasporto nell'area di cava esaurita, dove viene utilizzato per il recupero morfologico. Prima di procedere allo scavo del materiale morenico è necessario il taglio delle piante che coprono l'area.
I lavori di scopertura vengono pianificati prima della fine della coltivazione della fase precedente, al fine di garantire la continuità della produzione di calcare per lo stabilimento. Per il taglio della copertura arborea e la rimozione del materiale morenico è necessario un periodo da 6 a 12 mesi.

Scavo del materiale

Il progetto di coltivazione ha previsto lo splateamento dall'alto verso il basso, mediante perforazione, caricamento e brillamento delle volate, con altezza del banco variabile da 5 a 8 m.
È prevista l'estrazione del calcare mediante abbattimento con esplosivo, seguito da movimentazione con escavatore cingolato a benna rovescia e/o pala caricatrice gommata. Lo schema di abbattimento prevede, nella sua configurazione standard, l'esecuzione, mediante perforatrice idraulica, di fori sub-verticali da 76 mm di diametro, con maglia di 2.5 m x 2.5 m e lunghezza variabile da 5 a 8 m, in funzione delle esigenze operative, rispettando le previsioni progettuali e le prescrizioni degli atti autorizzati.
I fori vengono caricati con esplosivo di 2^A categoria, di tipo emulsione (consegnato giornalmente dalla ditta produttrice in cartucce da 60 mm), e innescati con detonatori non elettrici. Nelle aree vicine alle pareti di abbandono vengono adottate modalità di abbattimento controllato, idonee a limitare l'effetto delle vibrazioni sulle aree limitrofe alla cava. Eventuali blocchi di dimensioni superiori a 1 m^3, non adeguati al trasporto e all'alimentazione del frantoio, vengono ridotti di pezzatura sul piazzale di cava mediante l'utilizzo di un martello demolitore.
Nella fase di scavo si provvede anche alla sistemazione delle piste interne, delle vie di circolazione, nonché delle pedate dei gradoni, con pendenze adeguate a garantire il deflusso naturale delle acque meteoriche verso la vasca di raccolta.

Sgombero e trasporto del materiale

Il tout-venant è movimentato sui piazzali, creati dal fronte in arretramento, con mezzi di carico, che provvedono al caricamento dei dumper per il trasporto alla tramoggia di alimentazione dell'impianto di frantumazione primaria, presente nell'area dello stabilimento. I dumper percorrono la pista interna per poi immettersi nell'attuale pista di collegamento tra la cava e lo stabilimento, senza alcuna interferenza con la viabilità pubblica. In prossimità dello scarico è installata una pesa, che viene utilizza per il controllo giornaliero del quantitativo di materiale estratto.
Per la preparazione di strade e piazzali (livellamento) vengono utilizzati una pala gommata, un dozer e un grader.

Frantumazione

Il calcare proveniente dalla cava, in pezzatura tout-venant, viene frantumato in un frantoio a martelli, dotato di una capacità produttiva media di 800 t/h, distribuita su circa 12 ore giornaliere di utilizzo, ed una potenza installata di 1˙200 kW. Successivamente avviene una miscelazione con materiali correttivi, al fine di integrare i quantitativi di silice, ferro e alluminio.
La qualità delle materie prime viene analizzata in continuo da uno spettrometro a raggi gamma, che corregge in automatico eventuali scostamenti di uno o più elementi dalla ricetta impostata.

Il trasporto del materiale frantumato e miscelato avviene a mezzo di nastri trasportatori, che adducono il materiale nel capannone della preomogeneizzazione, avente una capacità complessiva di 85˙000 t.

2.1.2.3. Organizzazione dei lavori

Le infrastrutture realizzate sul sito sono le seguenti:

Vie di circolazione

È stata sviluppata una pista principale di accesso all'area di coltivazione larga circa 16 m, utilizzata per il trasporto del materiale allo stabilimento. Il tracciato di tale pista e delle altre vie esistenti e di futura realizzazione è evidenziato nelle tavole di progetto. Solo le piste riportate in Figura 15 sono definitive, mentre le altre scompariranno con l'avanzamento della coltivazione. Le vie definitive permetteranno l'accesso in futuro all'area, in modo da consentire l'esecuzione di operazioni di manutenzione e garantire la fruibilità del sito.

Opere di regimazione delle acque

Le acque di dilavamento meteorico provenienti dai cigli di scavo vengono canalizzate attraverso la creazione di cunette di raccolta e smaltimento, disposte al piede delle scarpate e abbinate a canalette trasversali; i gradoni, inoltre, sono realizzati in leggera pendenza, in modo da convogliare i flussi verso la vasca di raccolta, da dove poi le acque vengono inviate al punto di scarico esterno.

Area di servizio

È previsto l'utilizzo dell'area di servizio adiacente alla miniera Santa Marta, la quale è attrezzata con ufficio, servizi, impianto di lavaggio, capannone attrezzi e tettoia per il parcheggio dei mezzi.

Opere di recinzione e segnaletica

Sono predisposte opere di recinzione e segnaletica secondo normativa, al fine di garantire la sicurezza in corso d'opera.

Le attività di coltivazione sono normalmente effettuate in un turno da 8-9 ore/giorno, 5 giorni/settimana, per complessivi circa 240 giorni/anno. In funzione delle necessità, in particolare per quanto riguarda le attività di carico e trasporto, vengono aumentate le ore di lavoro fino ad un massimo di due turni/giorno (per un totale di 16 ore/giorno).

Nelle attività di coltivazione e trasporto del calcare si impiegano 9-10 unità lavorative, costituite da:

- 1 direttore responsabile;
- 1 sorvegliante;
- 2 addetti alla perforazione e sparo delle mine;
- 2 operatori degli escavatori/della pala;
- 3-4 autisti dei dumper.

I mezzi meccanici impiegati in queste attività sono i seguenti:

- 2 perforatrici (Atlas Copco KK);
- 2 escavatori cingolati (1 CAT 385B e 1 CAT 336D);
- 1 pala gommata (CAT 988H);
- 6 dumper (2 CAT 775F, 2 CAT 773F e 2 CAT 769D).

La produzione annua è variabile in funzione del fabbisogno della cementeria (che dipende a sua volta dall'andamento del mercato del cemento); nel progetto è stata assunta una produzione media annua di 480˙000 m^3, compatibile con la configurazione standard operativa del cantiere. Gli eventuali incrementi di fabbisogno vengono soddisfatti aumentando le ore lavorative giornaliere.

Contemporaneamente alla coltivazione del calcare sono previsti, in alcuni periodi, la rimozione della copertura morenica e il suo utilizzo per il rimodellamento morfologico delle aree esaurite.

Non trattandosi di un'attività continuativa nel tempo, si impiega una squadra ridotta composta da:

- 1 sorvegliante;

- 2 operatori degli escavatori/della pala;
- 2-3 autisti dei dumper.

I mezzi meccanici impiegati in questa attività sono i seguenti:

- 1 escavatore cingolato (CAT 385B / CAT 336D);
- 1 pala gommata (CAT 988H);
- 3 dumper (1 CAT 775F, 1 CAT 773F e 1 CAT 769D).

2.1.2.4. Programma dei lavori

Sono previste cinque fasi per garantire la contemporaneità delle attività di coltivazione e recupero ambientale della cava, in modo da ridurre le aree esposte ed il conseguente impatto sul paesaggio.

Il programma di lavoro è stato elaborato in base al fabbisogno stimato dell'impianto, tenendo presente anche della necessità di limitare per quanto possibile l'impatto ambientale del progetto. Il programma così elaborato prevede il completamento della coltivazione in circa 9 anni ed un periodo successivo di 2 anni per la realizzazione delle opere di recupero.
Le cinque fasi previste sono evidenziate nel cronoprogramma riportato in Tabella 1; esso è stato definito sulla base del fabbisogno medio annuo dello stabilimento di 480˙000 m^3, pari a 1˙200˙000 t (la densità media del calcare è pari a 2.5 t/m^3) che, distribuite equamente nell'arco dei 12 mesi di attività, corrispondono a circa 100˙000 t/mese.
È previsto un ulteriore periodo di 5 anni, successivo al completamento degli interventi, destinato alla manutenzione delle opere di recupero ambientale.

Sono stati individuati due lotti principali "L1" e "L2", riportati in Figura 4, di cui il primo comprende le fasi 1 e 2, mentre il secondo le fasi 3, 4 e 5.

Tabella 1: Cronoprogramma delle attività

| Attività di Progetto | Fasi | F1 | | | | F2 | | | | | F3 | | | | | | | | F4 | | | | | F5 | | | | | | | |

Fase 1 – Durata 1-2 anni

La prima fase del progetto di gestione dell'ATE c2 ha riguardato una superficie di circa 72˙000 m^2, con la coltivazione di 476˙875 m^3 di materiale utile (vedi Figura 7).

Essa ha interessato la zona Nord della cava e in tale area è stato realizzato un approfondimento del precedente piazzale (295 m s.l.m.), fino ai 275 m s.l.m. previsti per il fondo scavo.

È stato mantenuto in posto un setto di calcare lungo il confine Nord del piazzale, a quota 275 m s.l.m., avente altezza di circa 10 m e spessore di 5 m. Tale rilevato consente la tenuta del laghetto di raccolta delle acque meteoriche ed il deposito in condizioni di sicurezza del materiale morenico.

Nel corso della Fase 1 è stata realizzata una pista temporanea sul lato Est della cava, larga 16 m e inclinata del 10%, come continuazione della pista di accesso alla cava sul lato Nord-Est, che era già esistente fino alla quota del precedente piazzale (295 m s.l.m.). Nel corso della successiva Fase 2 è stata realizzata una nuova pista definitiva con accesso da Sud, quindi il fronte Est è stato completamente rimodellato ed il materiale calcareo sul quale si sviluppava la pista è stato integralmente recuperato.

La Fase 1 del progetto può essere definita come una fase propedeutica al prosieguo razionale della coltivazione, con un duplice obiettivo:

- creare uno spazio adeguato alla messa a dimora della copertura morenica da rimuovere nelle successive fasi;
- rendere più rapido il recupero definitivo della zona Nord della cava.

Al termine di questa fase, circa 6 mesi prima del completamento dell'estrazione del calcare, è stato necessario iniziare i lavori di scopertura nell'area interessata dalla coltivazione nella successiva Fase 2, in modo da garantire la continuità nell'approvvigionamento di calcare allo stabilimento.

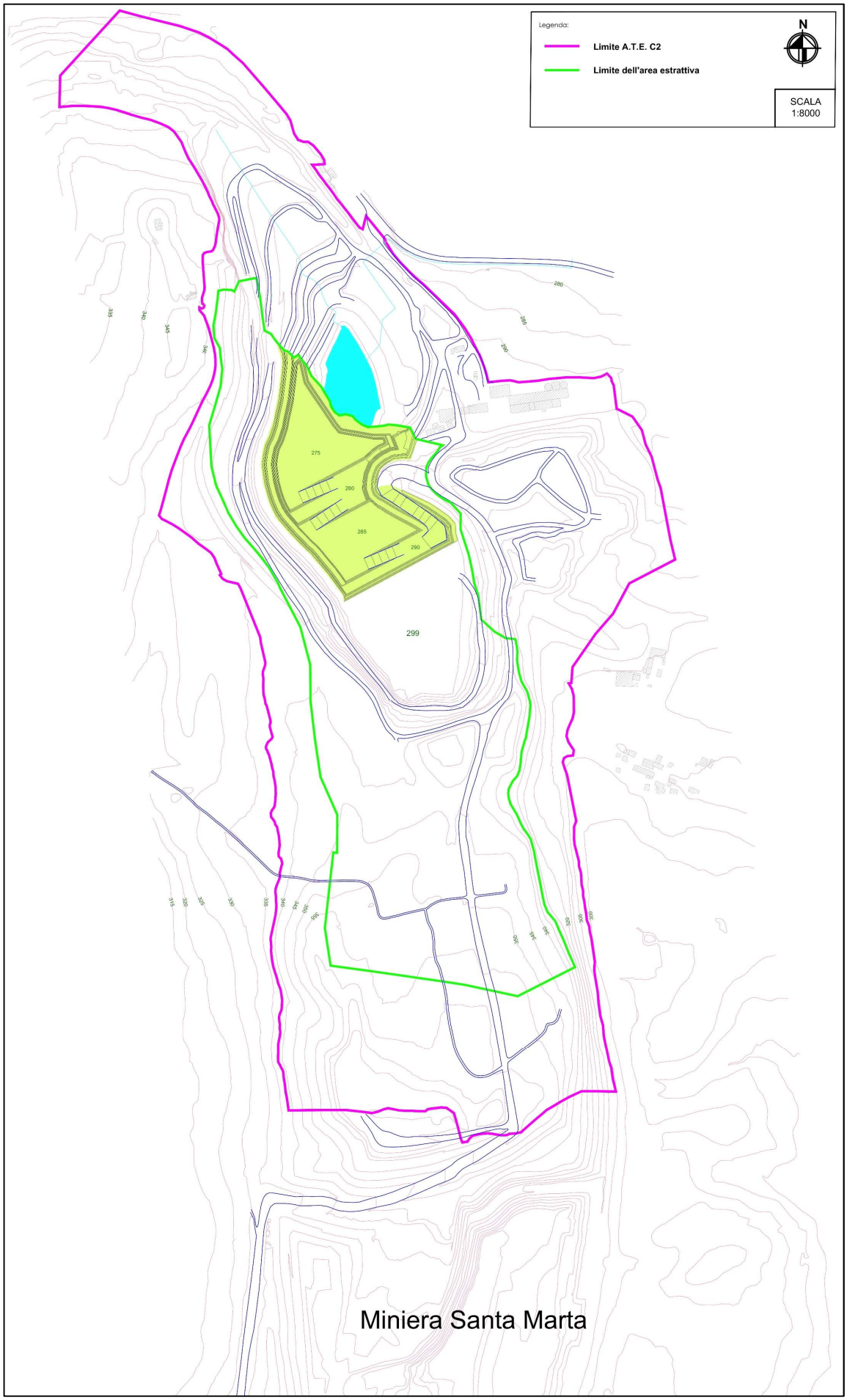


Figura 7: Fase 1, Configurazione di scavo

Fase 2 – Durata 1-1.5 anni

La seconda fase di scavo si è articolata su una superficie di 105˙000 m^2, con la coltivazione di un volume di materiale utile pari a 633˙425 m^3 (vedi Figura 8).

Questa ha previsto che la coltivazione si sviluppasse ulteriormente nel settore centro-meridionale dell'ambito estrattivo, con l'arretramento del fronte di scavo verso Sud di circa 170 m e l'ampliamento della fossa a fondo scavo (sempre a quota 275 m s.l.m.). Inoltre, è stato creato un piazzale temporaneo a quota variabile (320-330 m s.l.m.) nella parte Sud dell'area.

Tale fase ha riguardato la coltivazione ex-novo di terreni vergini, non interessati da precedenti coltivazioni, e ha previsto la rimozione della copertura del giacimento da circa 20 cm di terreno vegetale e da uno spessore di materiale morenico variabile da alcuni metri nel settore Est fino a 25-30 m in quello Ovest. Il terreno vegetale presente al di sopra del materiale morenico è stato accantonato nelle fasi iniziali in aree adiacenti a quelle di scavo, quindi sul piazzale a quota 275 m s.l.m. ed è stato successivamente riutilizzato per completare le operazioni di recupero ambientale. Il materiale di scopertura è stato utilizzato per il recupero morfologico dell'area Nord della cava. In particolare, il progetto di recupero ha previsto il riempimento del fondo cava fino a quota 289 m s.l.m. circa; quindi, un volume di circa 306˙000 m^3 è stato collocato a dimora in modo definitivo. La parte eccedente, circa 92˙000 m^3, è stata utilizzata per la creazione di una pista interna di circolazione tra le quote 320 e 299 m s.l.m. L'obiettivo della pista è stato duplice: disporre di due accessi alternativi al piazzale di fondo scavo e ridurre o eliminare la circolazione dei dumper in prossimità delle aree già recuperate.

Per raggiungere il nuovo cantiere, è stata realizzata una pista che entra dal settore Sud della cava e segue il versante Ovest fino alla quota 320 m s.l.m., per poi collegarsi alla pista temporanea interna costruita con materiale di scopertura. La pista, che ha una pendenza di progetto del 10% ed una larghezza di 16 m, è stata completata nel corso delle successive fasi ed integra la viabilità permanente dell'ambito.

Il recupero morfologico realizzato entro la fine della Fase 2 è illustrato in Figura 9. Le attività di recupero ambientale sono procedute da Nord verso Sud, contestualmente al progredire della coltivazione.

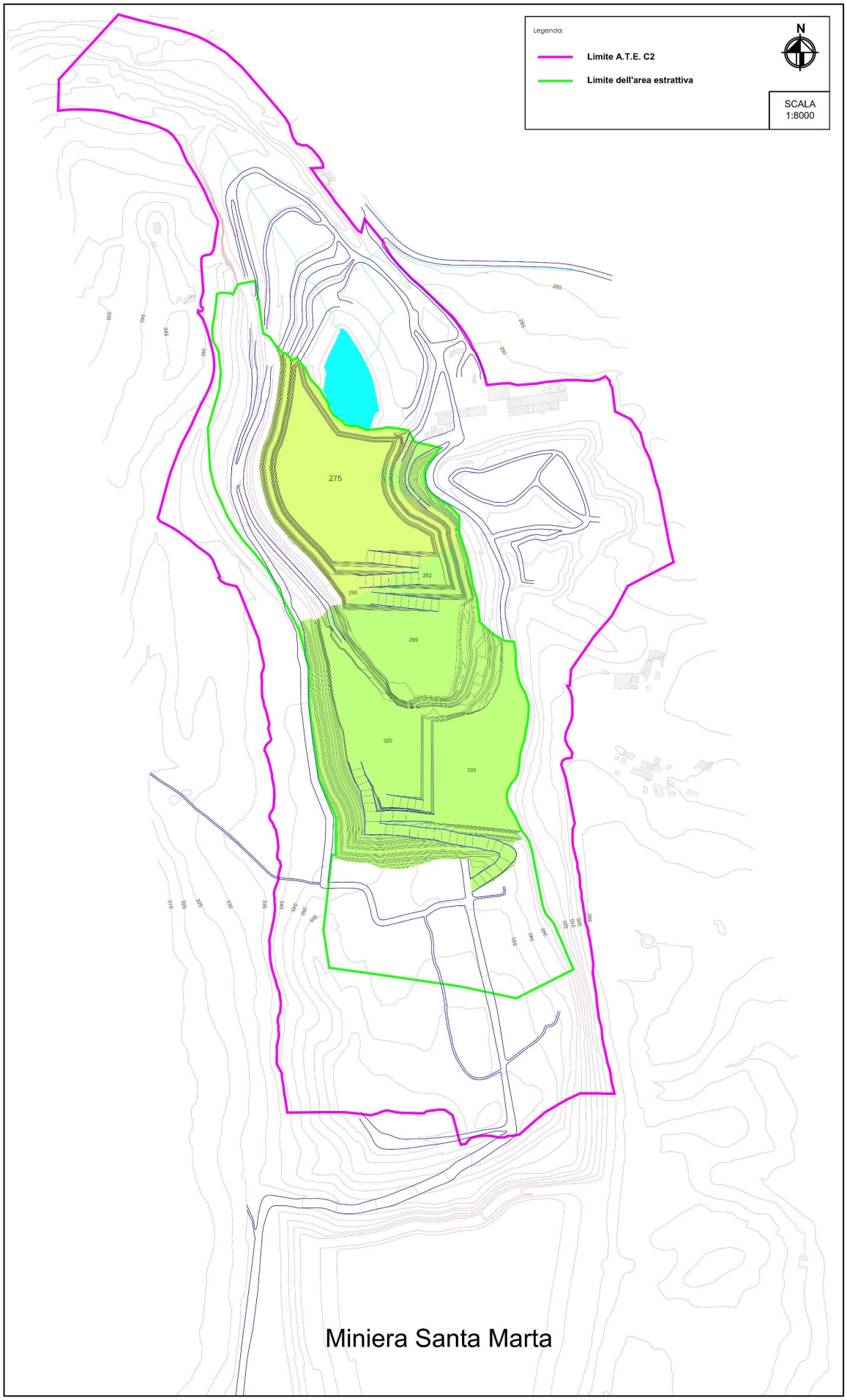


Figura 8: Fase 2, Configurazione di scavo

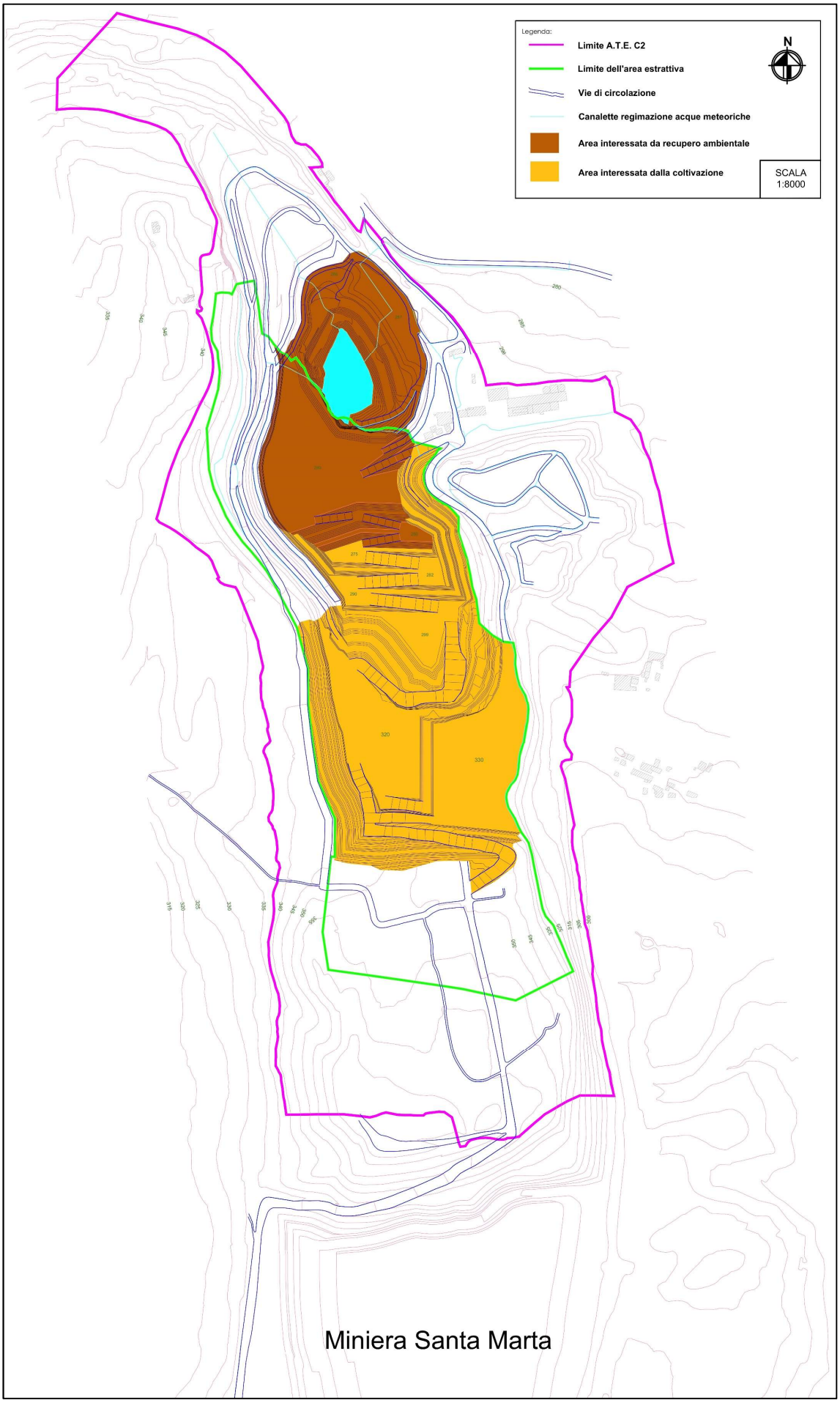


Figura 9: Fase 2, Coltivazione e recupero morfologico

Fase 3 – Durata 2-2.5 anni

Nella terza fase di scavo si è approfondita la coltivazione nell'area interessata dalle attività di scopertura nella Fase 2, con la coltivazione di un volume di materiale utile pari a 908˙823 m^3 (vedi Figura 10).

Il materiale di scopertura utilizzato per la creazione della pista interna di circolazione tra le quote 320 e 299 m s.l.m. è stato rimosso contemporaneamente all'approfondimento della coltivazione ed è stato messo a dimora definitiva nella parte Nord. Per raggiungere i piazzali di coltivazione, è stata ulteriormente sviluppata la pista sul versante Ovest fino alla quota 310 m s.l.m., dove è stato realizzato un tornante per lo sviluppo successivo in direzione Sud, in modo da consentire l'accesso ad un piazzale intermedio di scavo a quota 290 m s.l.m.

Il materiale di scopertura utilizzato per il recupero dell'area Nord è stato oggetto di rimodellamento morfologico secondo lo schema finale di progetto riportato in Figura 15. Nell'ambito di questi interventi è stato creato un laghetto a quota 285 m s.l.m. per la raccolta e la decantazione delle acque meteoriche e sono state avviate le operazioni di rinverdimento.

Il recupero morfologico realizzato entro la fine della Fase 3 è illustrato in Figura 11. Operativamente le attività di recupero ambientale sono procedute, anche qui, da Nord verso Sud secondo quanto illustrato nel progetto, contestualmente al progredire della coltivazione.

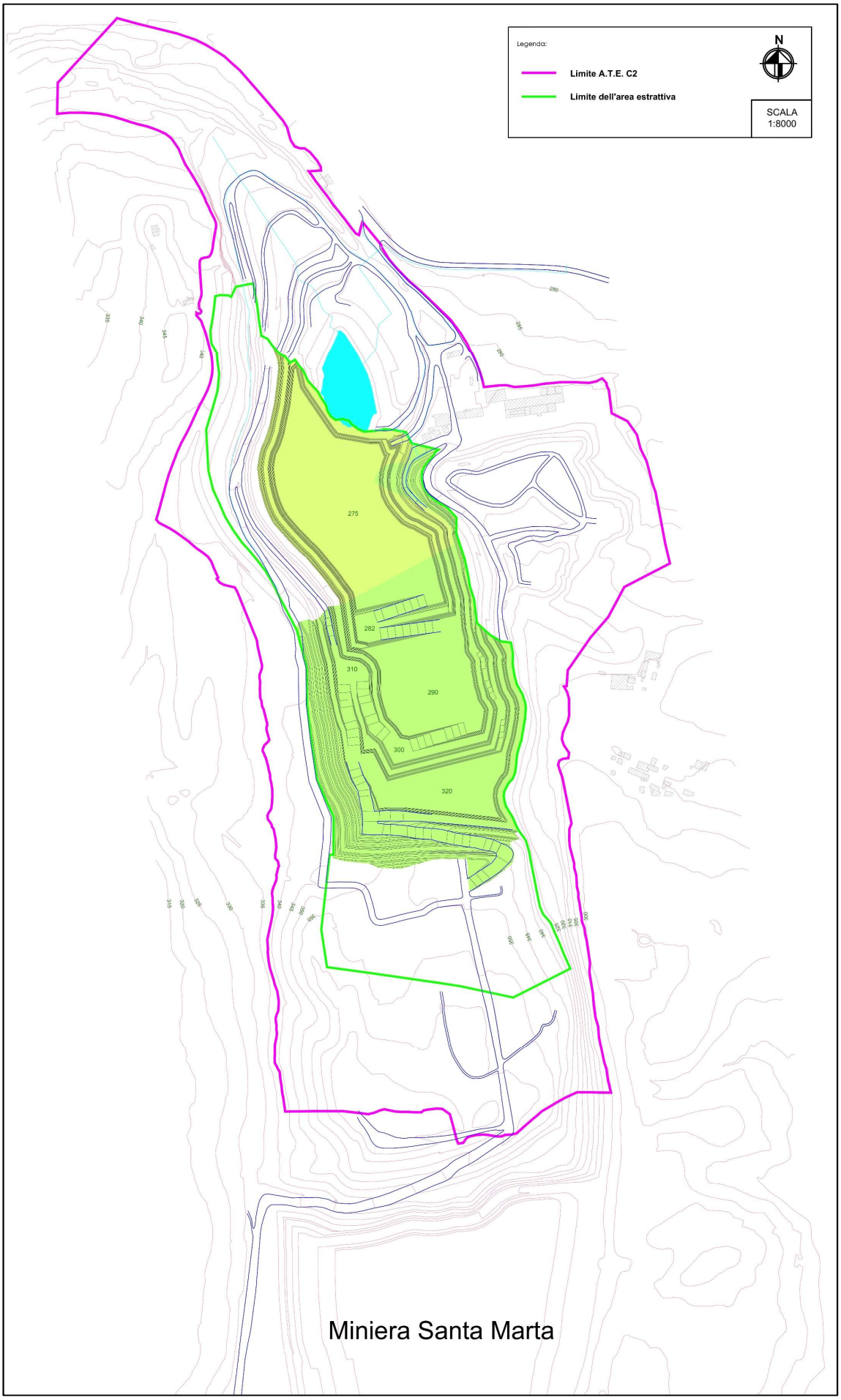


Figura 10: Fase 3, Configurazione di scavo

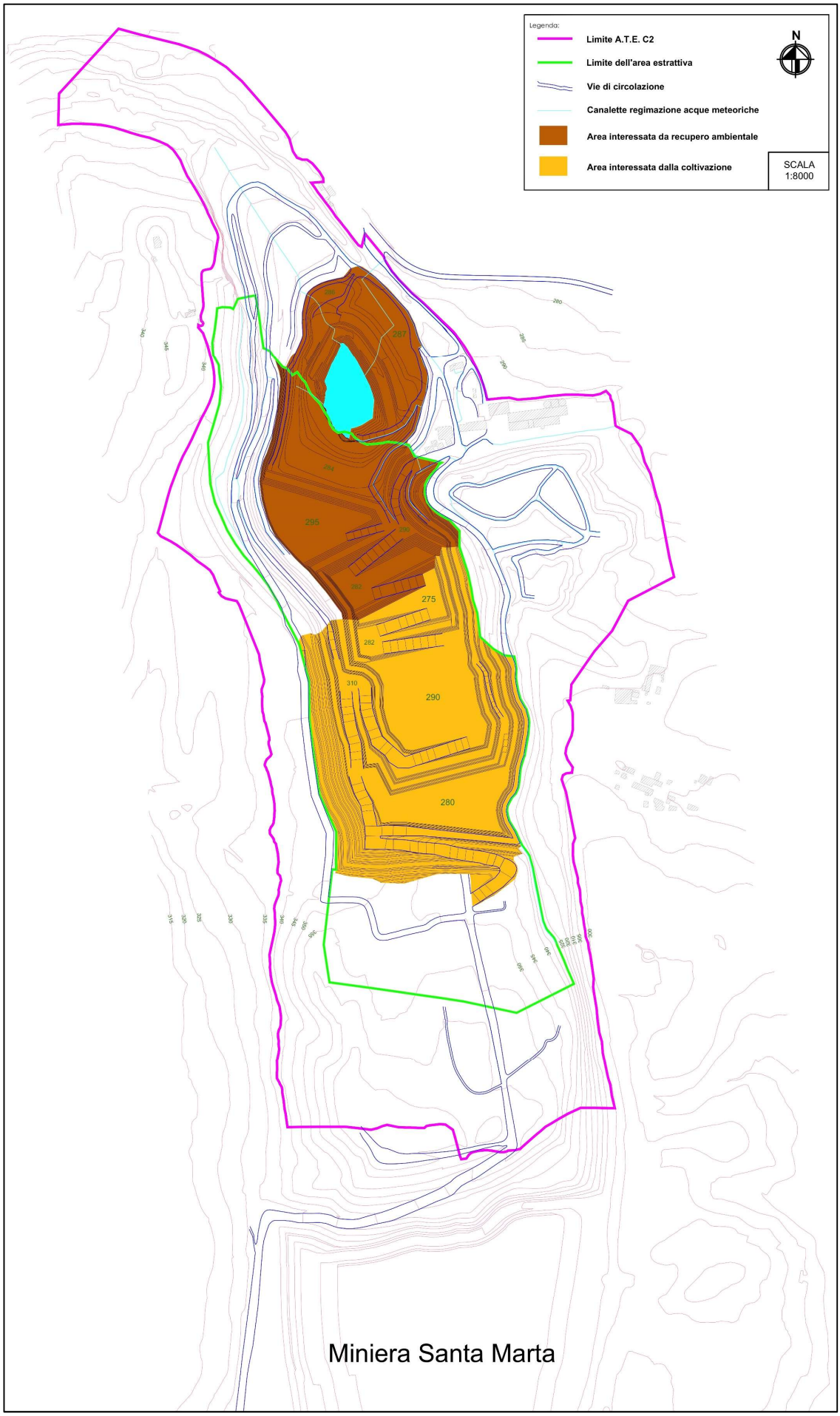


Figura 11: Fase 3, Coltivazione e recupero morfologico

Fase 4 – Durata 1-1.5 anni

La quarta fase di scavo, attualmente in corso, interesserà una superficie di circa 118˙000 m^2, con la coltivazione di un volume di materiale utile pari a 569˙899 m^3 (vedi Figura 12).

Questa fase prevede che la coltivazione si sviluppi ulteriormente nel settore Sud della cava, con l'arretramento del fronte di scavo fino al limite della concessione.

È stato creato un piazzale intermedio a quota 330-320 m s.l.m. nella zona Sud. L'accesso all'area di scavo è garantito mediante la pista principale, che si sviluppa sui fronti Sud ed Ovest da quota 356 m s.l.m. fino a 327 m s.l.m., dove si collega con il tratto costruito nelle fasi precedenti.

Il materiale di scopertura verrà messo a dimora nell'area centrale quando sarà stata raggiunta la quota di fondo scavo di 275 m s.l.m. Per lo stoccaggio dell'intero volume, circa 510˙500 m^3, sarà necessario un accumulo fino a quota 295 m s.l.m. Anche in questa fase il terreno vegetale derivante dalle operazioni di rimozione della copertura sarà utilizzato ai fini del recupero ambientale.

Il recupero morfologico da realizzarsi entro la fine della Fase 4 è illustrato in Figura 13.

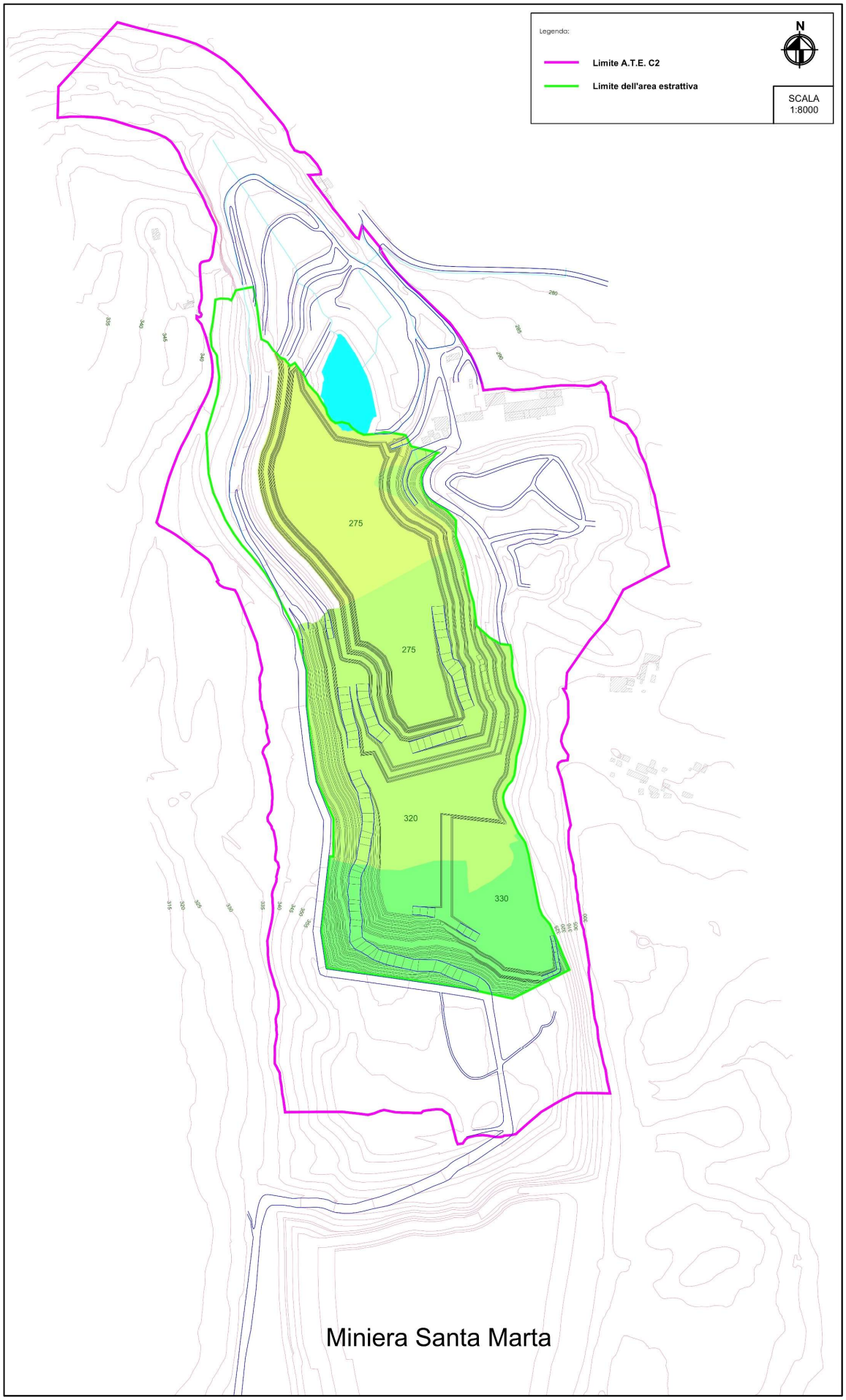


Figura 12: Fase 4, Configurazione di scavo

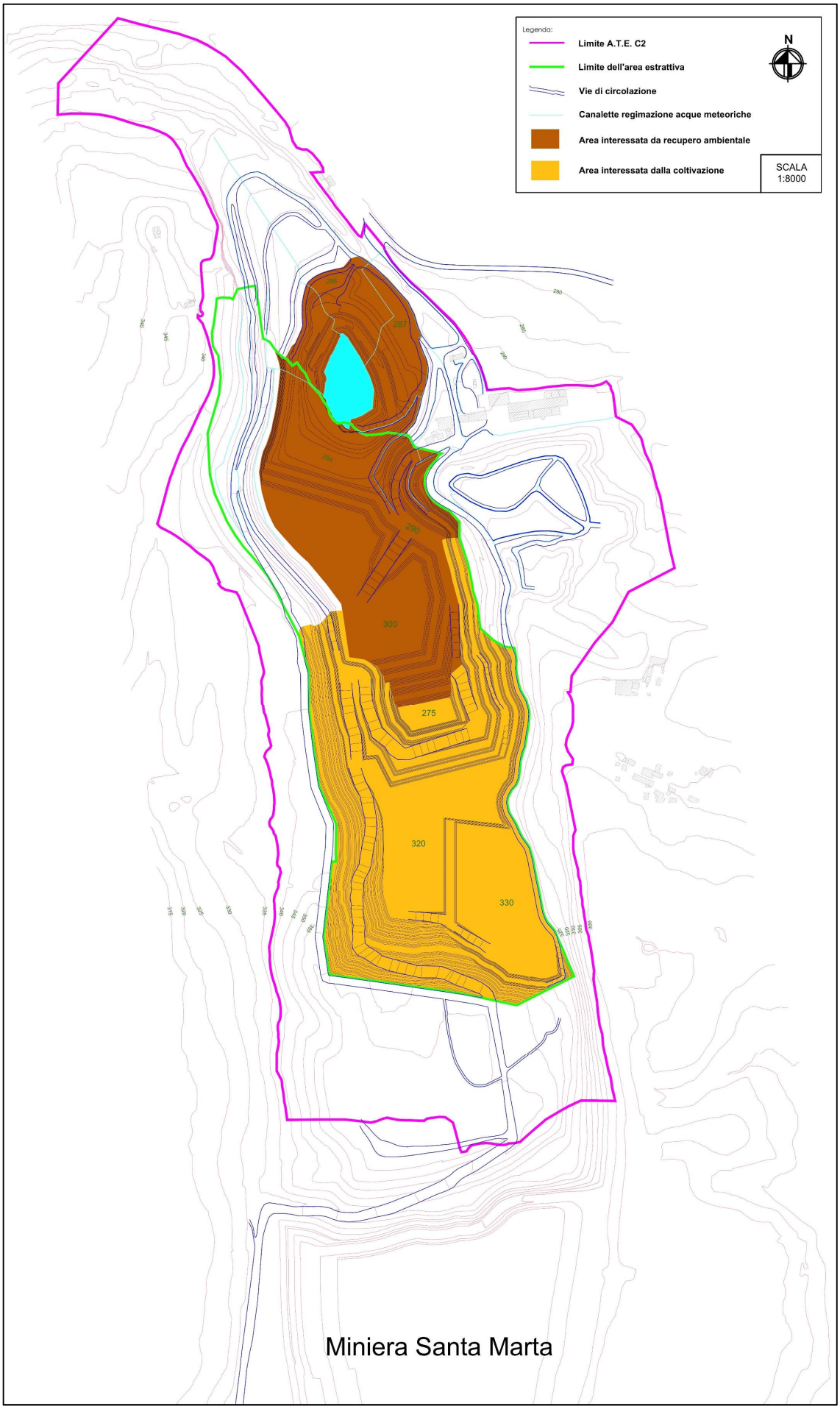


Figura 13: Fase 4, Coltivazione e recupero morfologico

Fase 5 – Durata 4 anni

La quinta fase di scavo interesserà una superficie di circa 118˙000 m^2, con la coltivazione di un volume di materiale utile pari a 1˙316˙655 m^3 (vedi Figura 14). Si tratta della fase finale di coltivazione all'interno dell'area estrattiva prevista nel Piano Cave, comprendente anche lo stadio conclusivo di recupero morfologico e sistemazione del sito.

L'accesso ai piazzali di coltivazione sarà garantito attraverso lo sviluppo della pista principale sui fronti Ovest e Sud.

Una volta esaurita la fase di scavo si procederà al rimodellamento morfologico del materiale morenico messo a dimora temporanea nella Fase 4, al fine di ricolmare il piazzale di fondo cava fino a quota 289 m s.l.m. Successivamente saranno completati tutti gli interventi di sistemazione finale (vie di circolazione, regimazione acque meteoriche, ecc.) e di rinaturalizzazione dell'intero comparto.

Il recupero morfologico definitivo è illustrato in Figura 15.

La sistemazione finale del sito è riportata in Figura 16.

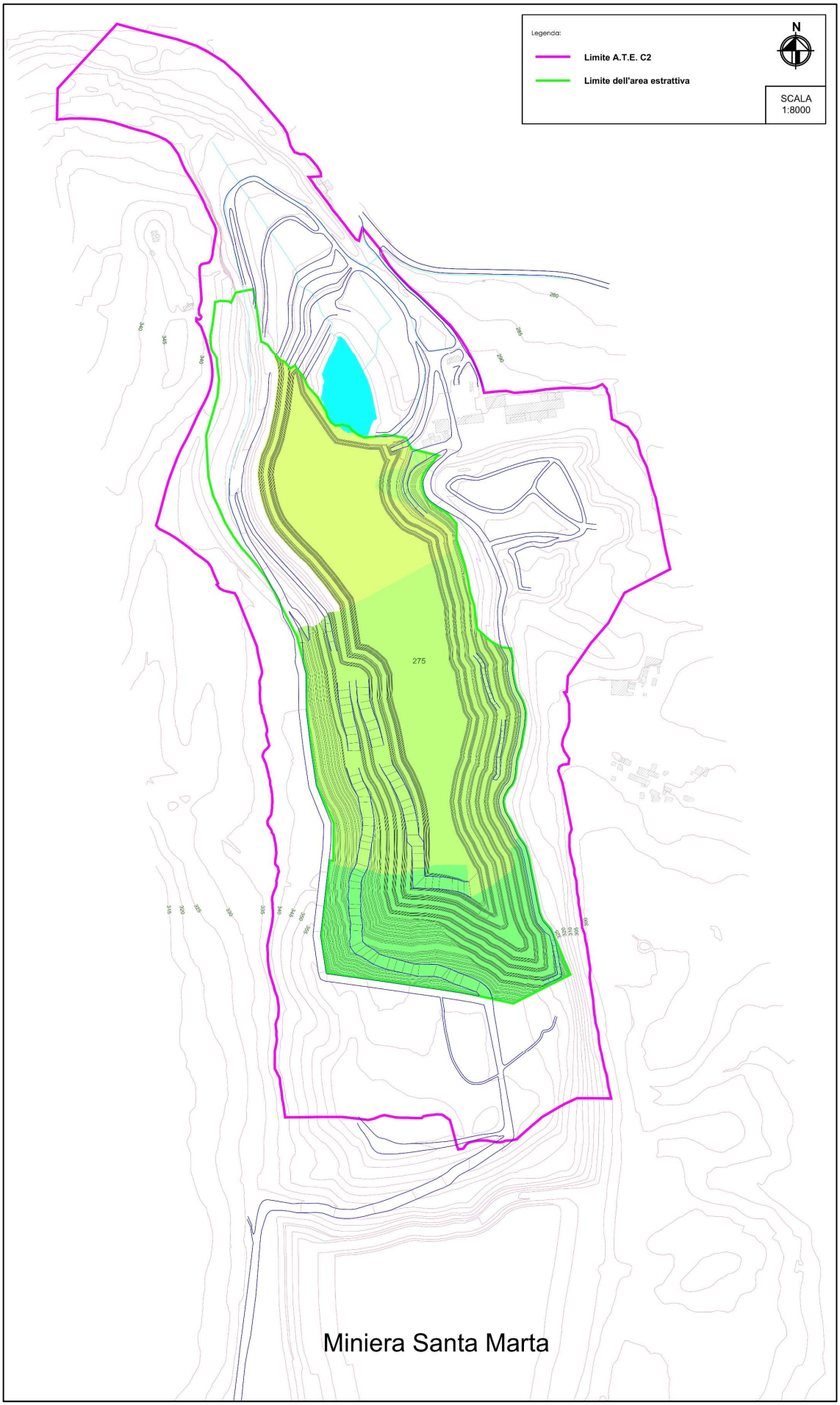


Figura 14: Fase 5, Configurazione di scavo

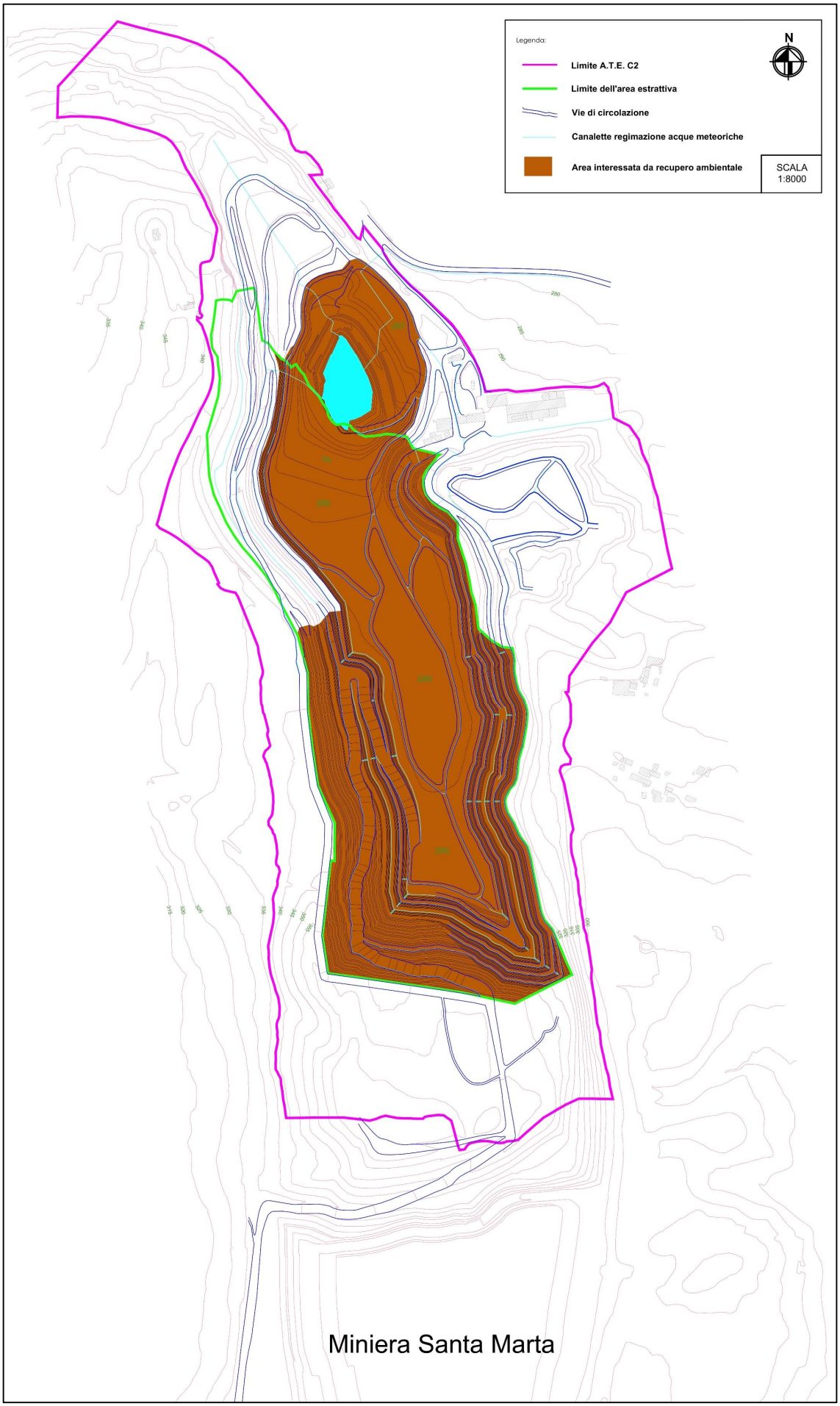


Figura 15: Fase 5, Coltivazione e recupero morfologico



Figura 16: Sistemazione finale del sito

2.1.2.5. Computo metrico

Sulla base di un rilievo dello stato di fatto, l'area del progetto di gestione produttiva dell'ATE c2 è stata definita in 224˙400 m^2 e il computo metrico del materiale utile estraibile nel periodo 2012-2022 ammonta a 3˙905˙677 m^3.

Al fine di dettagliare al meglio la suddivisione per fasi dei volumi estraibili, è stata predisposta una tabella riassuntiva (Tabella 2) contenente:

- il volume, sia complessivo sia relativo ad ogni fase, di materiale utile. Si precisa che si prevede una produzione di sterile da destinare a riutilizzo nel corso del recupero ambientale pari circa al 18% del tout-venant;
- il volume, sia complessivo sia relativo ad ogni fase, di materiale morenico di scopertura da utilizzare per il recupero morfologico.

Tabella 2: Volumetrie di scavo da progetto

Fase	**Calcare** (m^3)	**Materiale morenico** (m^3)
1	476˙875	0
2	633˙425	398˙231
3	908˙823	1˙140
4	569˙899	510˙467
5	1˙316˙655	999
Totale (m^3)	**3˙905˙677**	**910˙837**

2.1.2.6. Stabilità dei fronti di cava

La verifica di stabilità dei fronti è stata eseguita sulla base delle informazioni provenienti dall'attività già svolta nell'area della cava Faraona e della miniera Santa Marta, nonché sulla base delle informazioni ottenute dai rilevamenti, dalla campagna di sondaggi geognostici eseguiti nell'area e dalle relative prove geotecniche di laboratorio sui campioni.

Nella fase iniziale si è proceduto a verificare la stabilità dei fronti di scavo valutando diverse geometrie di scavo, compatibili con il Piano Cave, in particolare per quanto riguarda l'altezza dei gradoni e la larghezza delle pedate. In questa fase di analisi preliminare sono state considerate anche le diverse caratteristiche geologico-strutturali dell'area: potenza del materiale morenico di copertura da rimuovere, posizione degli strati, presenza di faglie o fratture, deposito del materiale di copertura, ecc.

L'analisi ha portato ad assumere i parametri geometrici, per il disegno della coltivazione, riportati al capitolo 2.1.2.1 - "Disegno di coltivazione".
La configurazione finale di scavo, così come quelle relative alle fasi intermedie, tengono conto dei citati parametri e di tutte le altre esigenze tecnico-operative dell'attività: avanzamento simultaneo della coltivazione di materiale calcareo e della rimozione di copertura morenica, accessibilità ai fronti di scavo in tutte le fasi di avanzamento, condizioni di sicurezza nella fase esecutiva, ottimizzazione delle operazioni al fine di ridurre i costi operativi e limitare gli impatti ambientali, ecc.

Le analisi eseguite hanno evidenziato tre diverse situazioni geologico-strutturali:

- fronte Ovest: è molto ampio (600-700 m), parallelo alla direzione della stratificazione e gli strati saranno attaccati a reggipoggio. Tale configurazione presenta condizioni favorevoli per la stabilità dei fronti. Inoltre, si ha la presenza della copertura morenica con spessori variabili fino a 25 m;
- fronte Sud: è di minori dimensioni, perpendicolare alla stratificazione e quindi presenta le migliori condizioni per la stabilità dei fronti di scavo;
- fronte Est: è molto ampio (500-600 m), parallelo alla direzione della stratificazione e gli strati saranno attaccati a franapoggio (vedi Figura 17). In questo caso lo spessore della copertura morenica è molto

contenuto. Qui si hanno le condizioni più critiche per la stabilità, a causa della posizione degli strati, che devono essere attaccati a franapoggio, e della presenza di livelli marnoso-argillosi, che costituiscono zone di debolezza.



Figura 17: Stratificazione a franapoggio sul fronte Est

Le verifiche numeriche avevano confermato che le condizioni di stabilità a scala globale e locale erano garantite, con le geometrie di scavo proposte.
Tuttavia, in presenza di strati argillosi con persistenza elevata, e nel caso in cui detti piani vengano intersecati dai fronti di scavo, si potrebbero creare condizioni di possibili scivolamenti planari lungo strato.
Si era stabilito che l'effettiva presenza di un assetto geologico-strutturale di questo tipo e le sue caratteristiche geometriche venissero verificate nel corso dell'avanzamento degli scavi. Infatti, l'accertamento della presenza di un tale assetto richiedeva l'esecuzione di indagini geognostiche molto dettagliate e molto invasive, che non erano attuabili nelle fasi iniziali di coltivazione.

Infine, per quanto riguarda gli interventi di rimodellamento morfologico con materiale morenico proveniente dalla scopertura del giacimento, il progetto prevede il riempimento del piazzale finale di scavo, dalla quota 275 m s.l.m. fino alla quota 289 m s.l.m., con morfologia sub-pianeggiante raccordata alle pareti in roccia con pendenze molto contenute, mediamente inferiori a 26°, che garantiscono la stabilità delle nuove superfici. Alla fine di ogni fase di scopertura, è necessario procedere alla messa a dimora temporanea di una parte del materiale asportato, che viene successivamente movimentato per effettuare il rimodellamento finale. Anche in questo caso le condizioni di stabilità sono garantite dalle pendenze e dalle altezze contenute delle scarpate. Inoltre, l'adeguata regimazione delle acque meteoriche e le opere di rinverdimento contribuiranno alla stabilità.

Si riteneva quindi che le geometrie di scavo previste dal progetto permettessero di garantire le condizioni di stabilità generali e locali, sia nelle situazioni intermedie durante l'esecuzione dei lavori che nella sistemazione finale dell'area.

2.1.3. Recupero ambientale

Il recupero ambientale di una cava consiste in un insieme di interventi atti a garantire che, cessata l'attività estrattiva, il sito possa essere opportunamente reinserito, in tempi rapidi, nel sistema territoriale e nel contesto ambientale esistente. Ciò è previsto dalla normativa vigente (Piano cave della Provincia di Varese e Legge Regionale n°14 del 1988 della Regione Lombardia "Nuove norme per la disciplina della coltivazione di sostanze minerali di cava") e la proposta progettuale di coltivazione deve sempre essere accompagnata da un progetto di recupero morfologico ed ambientale che interessi l'intero comparto.

I potenziali problemi ambientali legati ad un sito di cava dismesso riguardano:

- Paesaggio: interruzione della continuità vegetazionale, formazione di zone degradate, modificazione radicale della morfologia, deposito di ingenti residui rocciosi derivanti dall'attività estrattiva (discariche);
- Vegetazione: compromissione della copertura vegetale originaria, eliminazione del soprassuolo, asportazione del suolo stesso;
- Stabilità: interferenza con le condizioni naturali di drenaggio, infiltrazioni e scorrimenti di acque superficiali non canalizzate, processi di erosione, abbondono delle superfici di coltivazione in condizioni di instabilità;
- Inquinamento: luogo di discarica abusiva di rifiuti, con il rischio di contaminazione delle falde acquifere.

Gli obiettivi primari da raggiungere per una corretta politica di recupero ambientale sono quindi:

- la sicurezza sotto i profili idrogeologico e geomorfologico;
- l'avvio di un processo di rinaturalizzazione che sia in grado di integrarsi con i luoghi e le forme del paesaggio antropico;
- la restituzione alla comunità delle aree dismesse per una pluralità di usi collettivi, cogliendo, dove possibile, l'occasione di un riequilibrio del carico antropico sul territorio.

Secondo il DUSAF, una banca dati geografica della Regione Lombardia che classifica il territorio sulla base delle principali tipologie di copertura e di utilizzo del suolo, il comparto della cava appartiene ad un'ampia area, pressoché omogenea, ricoperta da formazioni boschive (vedi Figura 18). In particolare, la copertura arborea dell'area è costituita da castagneti e boschi mesofili, con significativa presenza di roverella.

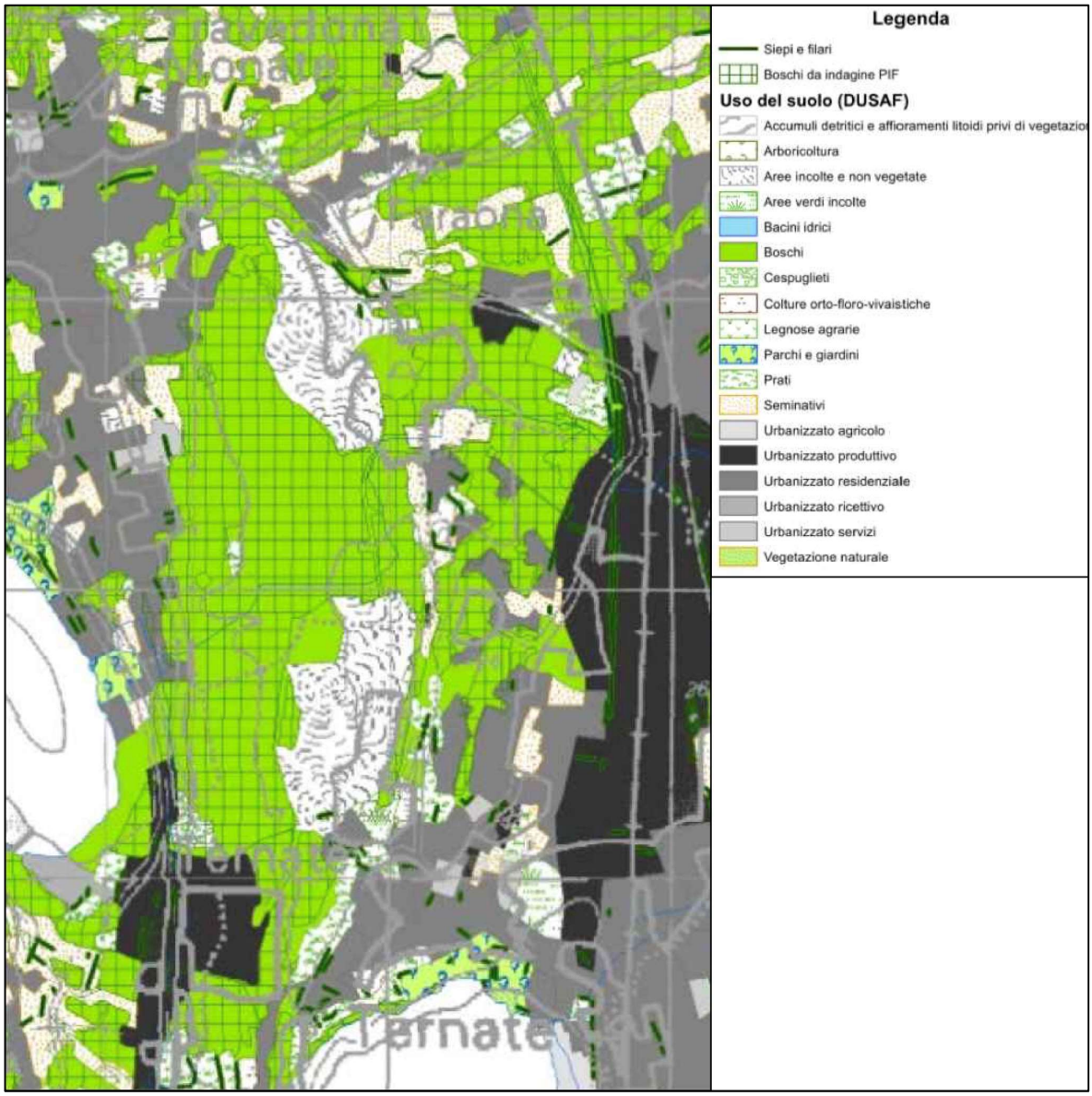


Figura 18: Tavola dell'uso del suolo DUSAF

Nell'area oggetto di studio si possono identificare, in funzione del recupero ambientale, quattro diversi ambiti (vedi Figura 19):

- comparti con recuperi attuati;
- comparti con recuperi in corso di attuazione;
- comparti di cantiere;
- aree naturaliformi.

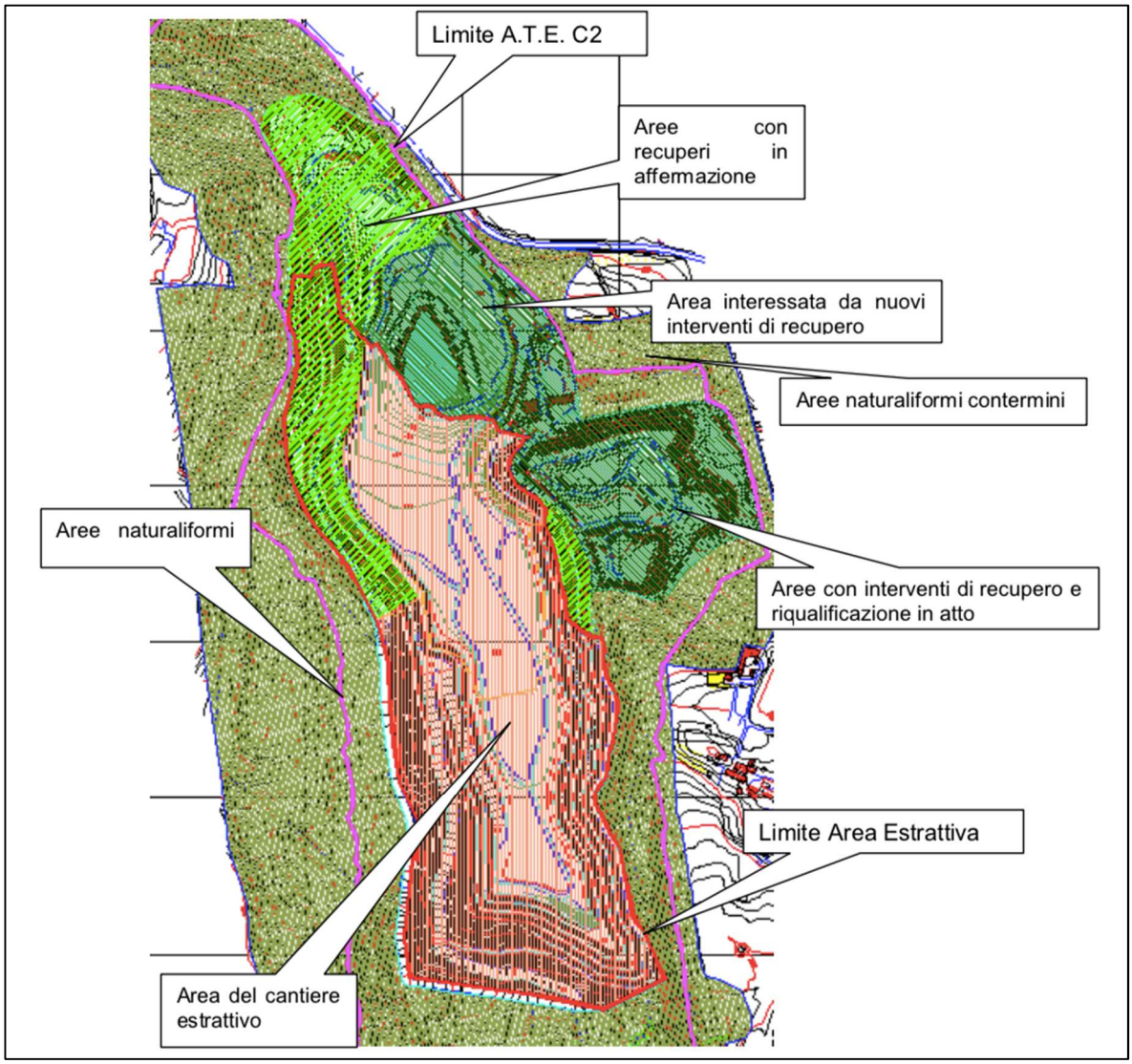


Figura 19: Compartimentazione dell'area di cantiere

L'individuazione e la collocazione delle aree boscate e non boscate all'interno dell'ambito è guidata dalla necessità e dalla opportunità di assegnare, prioritariamente, alle aree acclivi il riconoscimento di formazioni con soprassuolo boscato ed arbustato ed alle aree pianeggianti e sub-pianeggianti il carattere di comparti aperti prativi. Questa configurazione permette di manifestare il minor impatto sotto il profilo paesaggistico ed è in grado di promuovere il miglior reinserimento dell'area nel contesto ambientale.

La ricostruzione dei soprassuoli nell'area del cantiere minerario segue tre schemi principali:

- Pedate dei gradoni: ricostruzione del soprassuolo morenico (vedi Figura 20);

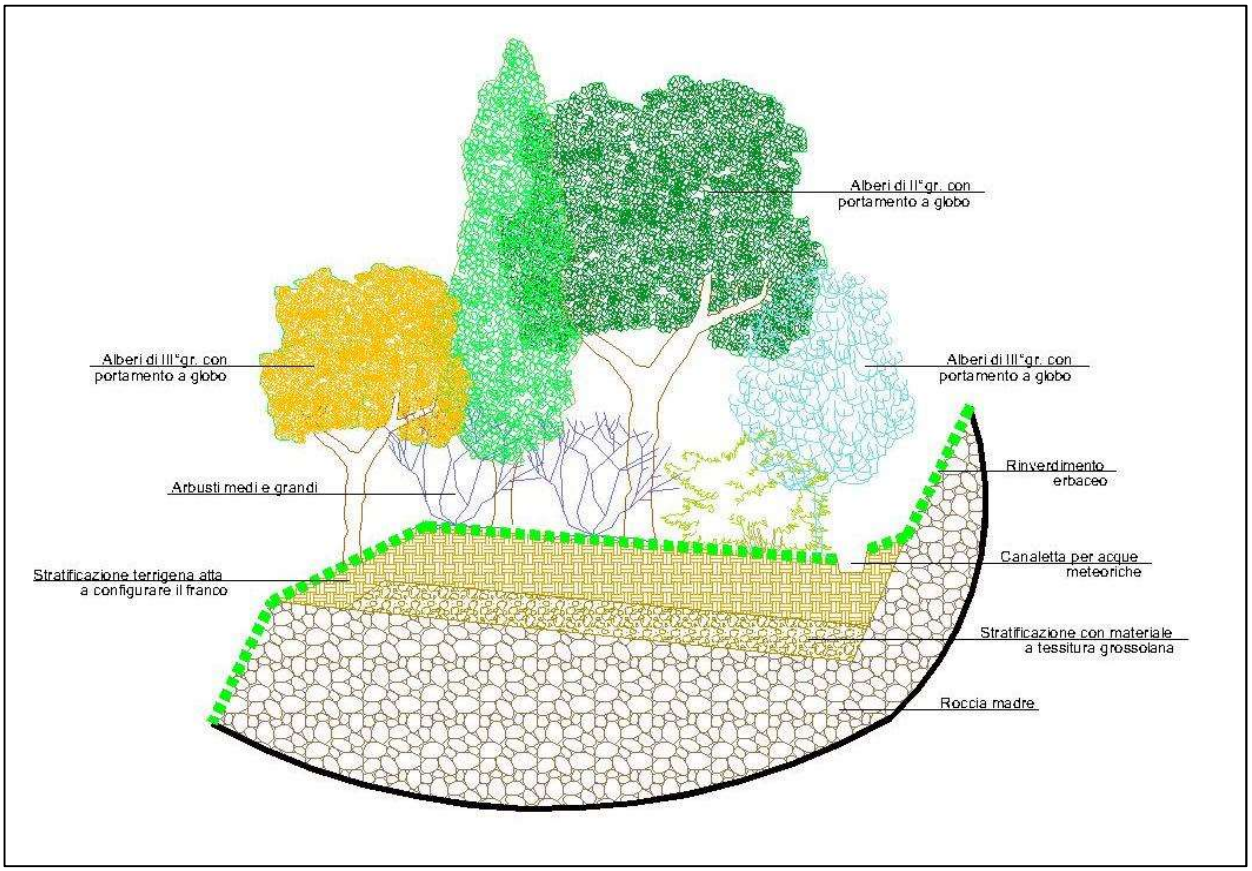


Figura 20: Schema del recupero ambientale su gradone di materiale morenico

- Pedate dei gradoni: ricostruzione del soprassuolo su calcare adeguatamente riconfigurato per permettere l'affranco della vegetazione (vedi Figura 21);

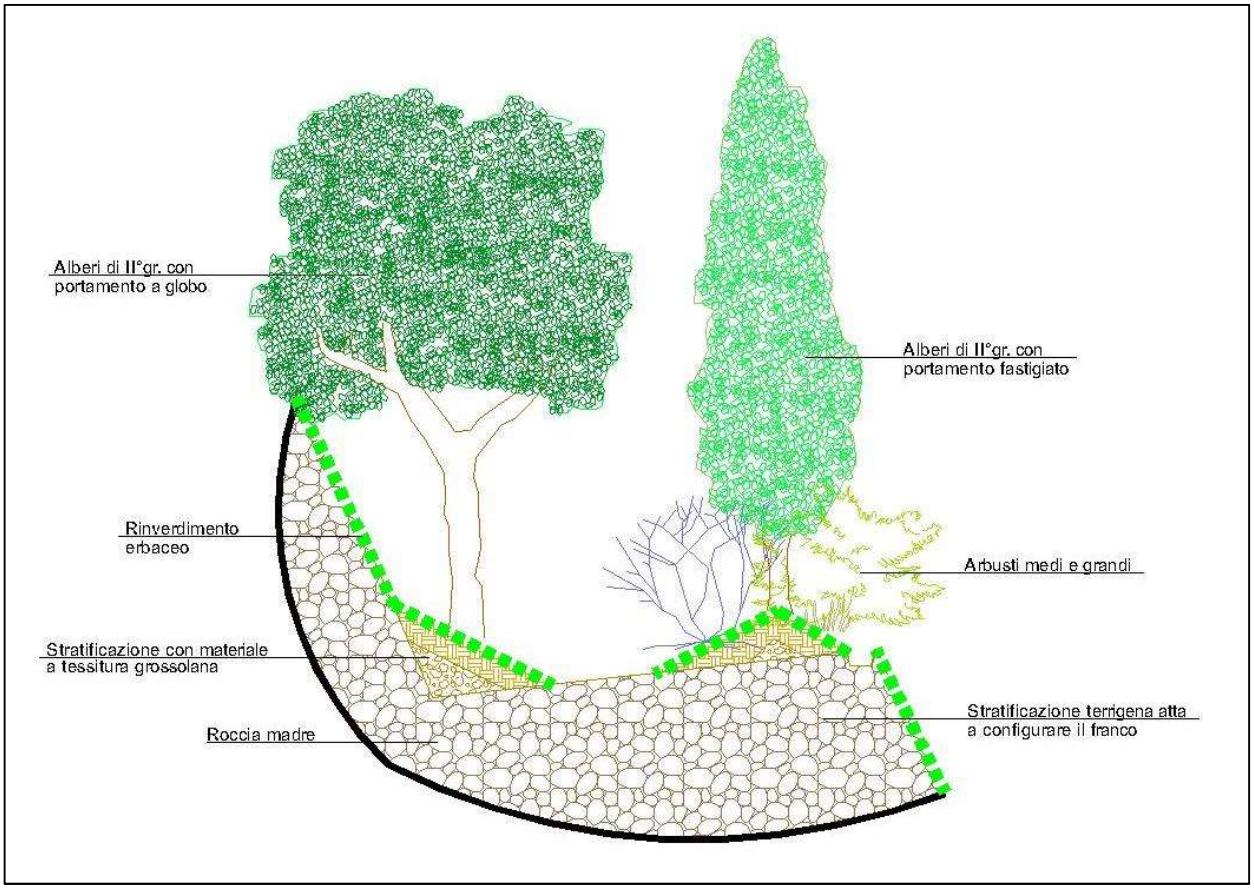


Figura 21: Schema del recupero ambientale su gradone di calcare

- Aree pianeggianti e sub-pianeggianti: formazione di cortine, frange pluristratificate, diaframmi e nuclei (vedi Figura 22).

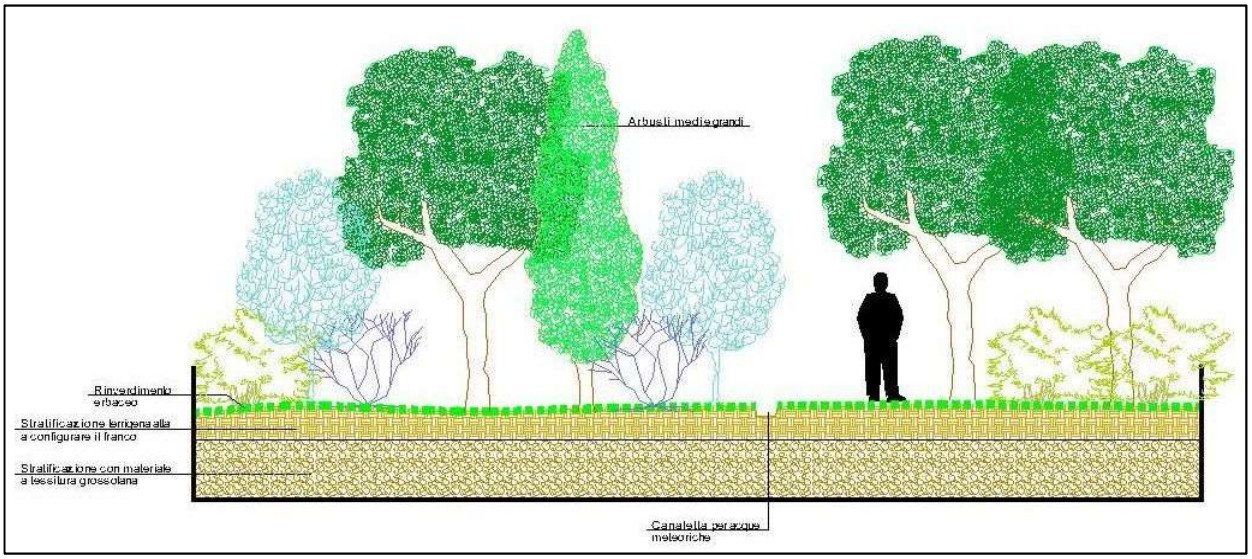


Figura 22: Schema del recupero ambientale su area pianeggiante

La proposta progettuale, che interessa un'area di circa 32 ha, prevede che il soprassuolo esponga per il 20% circa della superficie i caratteri delle aree aperte e per l'80% circa una composizione boscata pluristratificata. La densità media di specie vegetali sarà pari a circa 2˙000 piante/ha, riconducibile ad un sesto d'impianto pari a:

- 2.50 m x 2.50 m per le piante arboree;
- 2.00 m x 2.00 m per gli elementi arbustivi.

Si prevede poi una riduzione della popolazione iniziale a circa 1/3, a causa di morienze, diradamenti e sfolli, con il passaggio ad una densità di 600-700 piante/ha nella fase finale di formazione del climax.
Inoltre, l'area interessata dalle operazioni di recupero ambientale verrà idroseminata con essenze erbacee.
È quindi prevista la messa a dimora di:

- 10˙300 elementi di specie arboree;
- 19˙100 elementi di specie arbustive;
- la seminagione di circa 24 ha di prato rustico.

Al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi del piano di rinaturalizzazione è stata necessaria l'implementazione di un impianto di irrigazione di soccorso per garantire umidità al terreno. Questo è un sistema di sub-irrigazione che prevede l'utilizzo di ali gocciolanti interrate (vedi Figura 23); l'acqua in tal modo viene distribuita direttamente vicino alle radici e l'impianto irriguo si rende completamente invisibile.

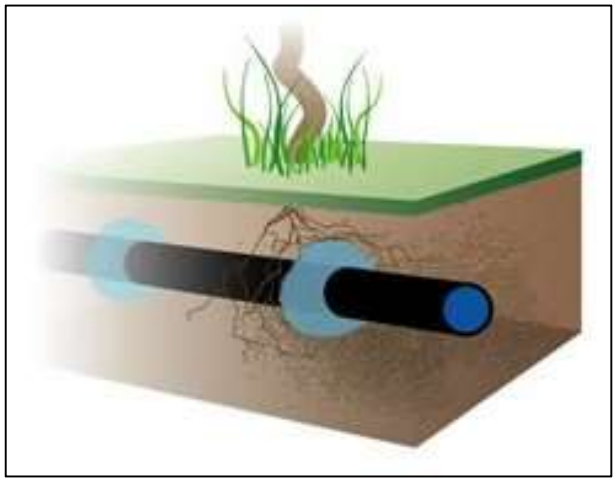


Figura 23: Schema di impianto di sub-irrigazione

In Figura 16 è riportata la planimetria relativa alla sistemazione finale del sito.

2.2. Il problema

In data 23 giugno 2017 si è verificato un processo di instabilità che ha interessato il fronte Est della cava Faraona (vedi Figura 24 e Figura 25).



Figura 24: Panoramica del fronte orientale di cava



Figura 25:Piano di scivolamento sul fronte orientale

Questo è stato causato da uno scivolamento lungo strato al di sotto del gradone di quota 320 m s.l.m. e ha comportato la sospensione delle attività di scavo in questa zona, in attesa di definire le modalità di intervento ottimali per la prosecuzione delle attività in sicurezza.

Lo Studio Griffini S.r.l. è stato incaricato di analizzare le caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche della zona orientale dell'ambito territoriale, allo scopo di fornire un quadro conoscitivo in merito alle condizioni di stabilità dei fronti, utile ai fini della programmazione delle operazioni di coltivazione mineraria e della previsione e gestione delle problematiche connesse. Quindi nel 2018 sono stati condotti alcuni sopralluoghi, da integrare con le conoscenze e le osservazioni dirette acquisite da Holcim attraverso le ispezioni e i rilievi periodici effettuati in sito a partire dal 2004. Di seguito si riportano le considerazioni risultanti da questa analisi.

La giacitura media degli strati immergente, come detto in precedenza, verso Ovest, determina che la stratificazione risulti a franapoggio sui fronti del lato orientale dell'area mineraria; questo aspetto, se unito alla presenza di livelli marnosi-argillosi molto continui ed estesi, comporta la formazione di superfici di debolezza lungo i quali si possono sviluppare processi di scivolamento, anche quando l'inclinazione degli strati è relativamente blanda.

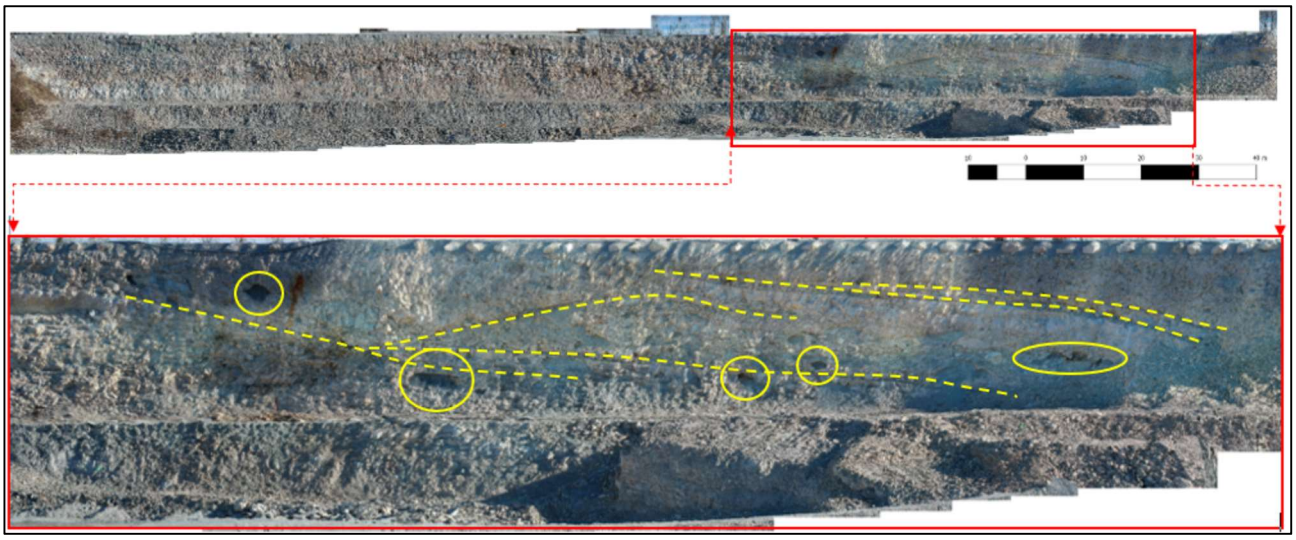


Figura 26: Dettaglio del fronte Est tra le quote 320 e 330 m s.l.m. con evidenziati gli inclusi argillitici e i piani di discontinuità principali

Tuttavia, è risultato che i livelli e gli inclusi marnosi-argillosi sono concentrati nella metà stratigrafica superiore del deposito e che, pertanto, è meno probabile che la problematica possa evidenziarsi al di sotto delle quote 290-300 m s.l.m. Inoltre, lo stato di fratturazione risulta più intenso anch'esso alle quote più elevate, rispetto alle porzioni più profonde dell'ammasso.

Si è pensato quindi di riprendere lo scavo del fronte orientale adeguando le geometrie di scavo in modo da permettere di ottenere profili sufficientemente stabili anche in presenza di piani di debolezza, purché la loro persistenza areale non sia eccessiva, ossia purché la continuità (lunghezza del piano di debolezza) lungo strato nella direzione di massima pendenza non sia superiore al 50÷60 % della lunghezza teorica massima (vedi Figura 27).

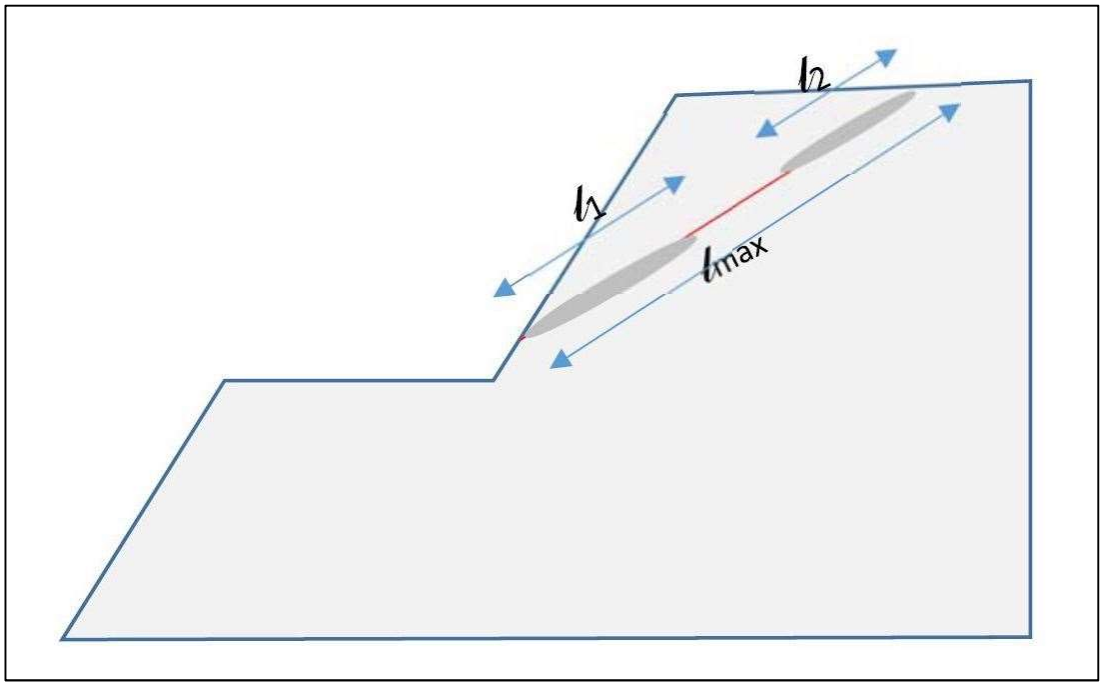


Figura 27: Schema sulla persistenza dei piani di debolezza

Verificate queste condizioni preliminari gli scavi possono essere eseguiti in sicurezza anche con la geometria di scavo di progetto (larghezza berme 5 m, altezza gradoni 10 m e inclinazione fronti 60°).

Il fronte orientale però è interessato da fasce di debolezza, concentrate particolarmente negli strati sommitali (tra 320 e 330 m s.l.m.) e in quelli immediatamente sottostanti (tra 310 e 320 m s.l.m.), la cui persistenza non è quantificabile con precisione, ma dai rilievi superficiali appare al limite della persistenza critica. In queste condizioni, si è suggerito di adottare una geometria di scavo più cautelativa di quella di progetto (con conseguente perdita di volume coltivabile), mantenendo nella zona settentrionale, dove sono evidenti i piani di debolezza, una larghezza delle berme di 10 m e nella rimanente porzione meridionale del fronte una larghezza variabile tra 6 e 8 m. Questa larghezza ha riguardato sia il gradone di quota 320 m s.l.m. sia quello sottostante di quota 310 m s.l.m., con un'inclinazione dei fronti non superiore a 65°; inoltre è stato realizzato anche un gradone intermedio a quota 315 m s.l.m.
Lo scavo in questa zona viene, in ogni caso, condotto con estrema cautela, controllando con attenzione la presenza e l'estensione dei piani di debolezza con il procedere della coltivazione. Inoltre, nel caso di precipitazioni meteoriche intense, si sospendono le attività di scavo in corso, che riprendono una volta finito l'evento piovoso, solo dopo un'accurata ispezione visiva per l'accertamento della eventuale presenza di fratture di neoformazione, determinate dalla diminuzione della resistenza al taglio dei livelli.

In Figura 28 è riportato lo schema planimetrico della variante per l'avanzamento degli scavi, mentre in Figura 29, Figura 30 e Figura 31 sono riportate tre sezioni sul fronte orientale.



Figura 28: Planimetria generale della variante per l'avanzamento degli scavi

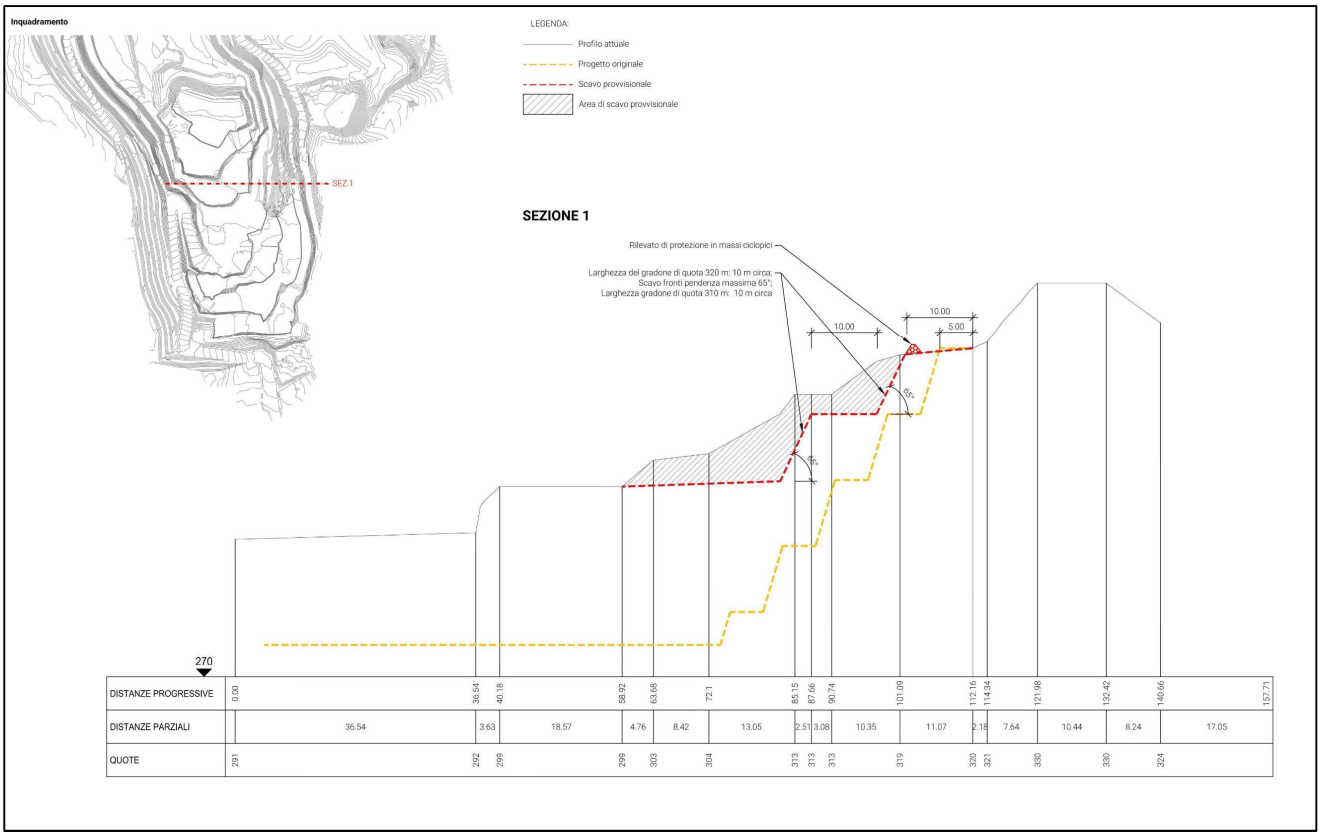


Figura 29: Sezione 1 della variante per l'avanzamento degli scavi

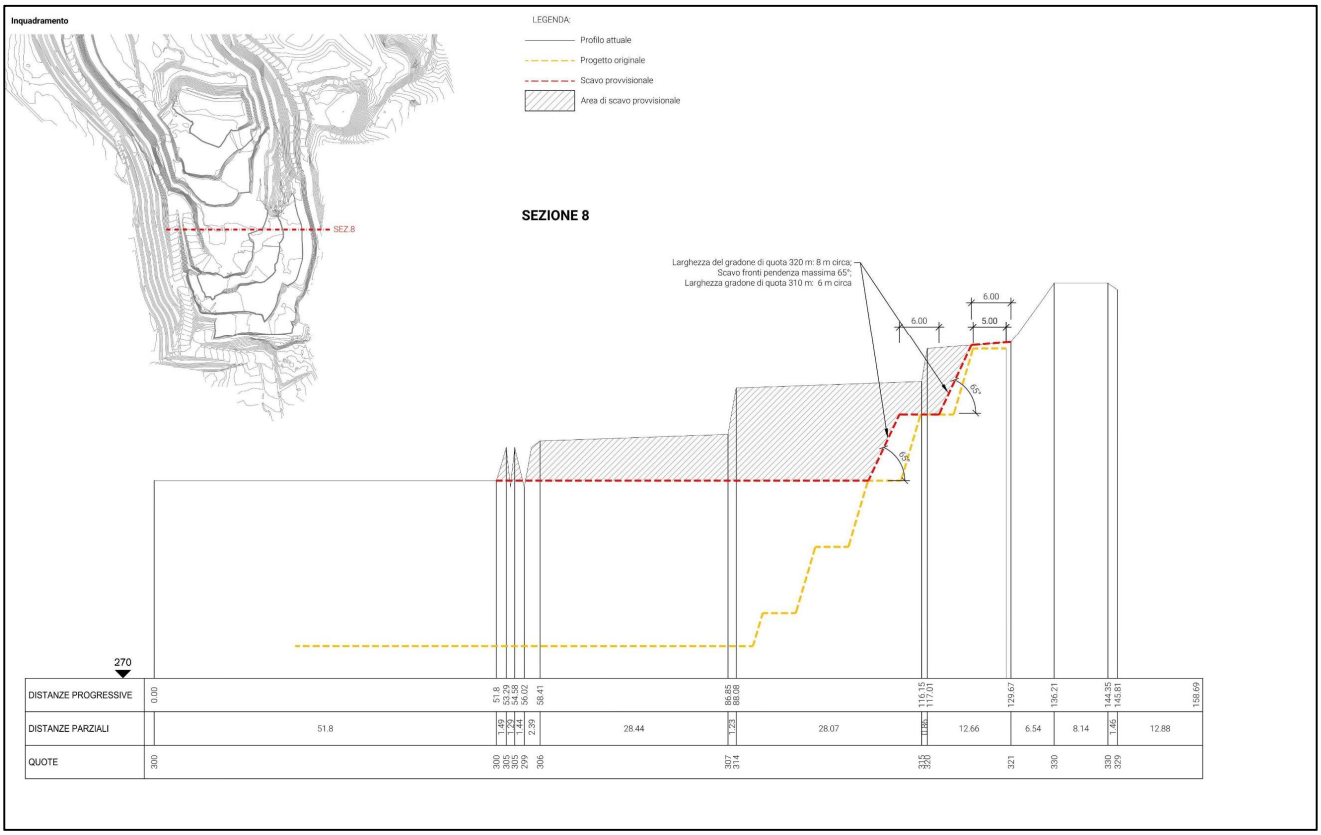


Figura 30: Sezione 8 della variante per l'avanzamento degli scavi

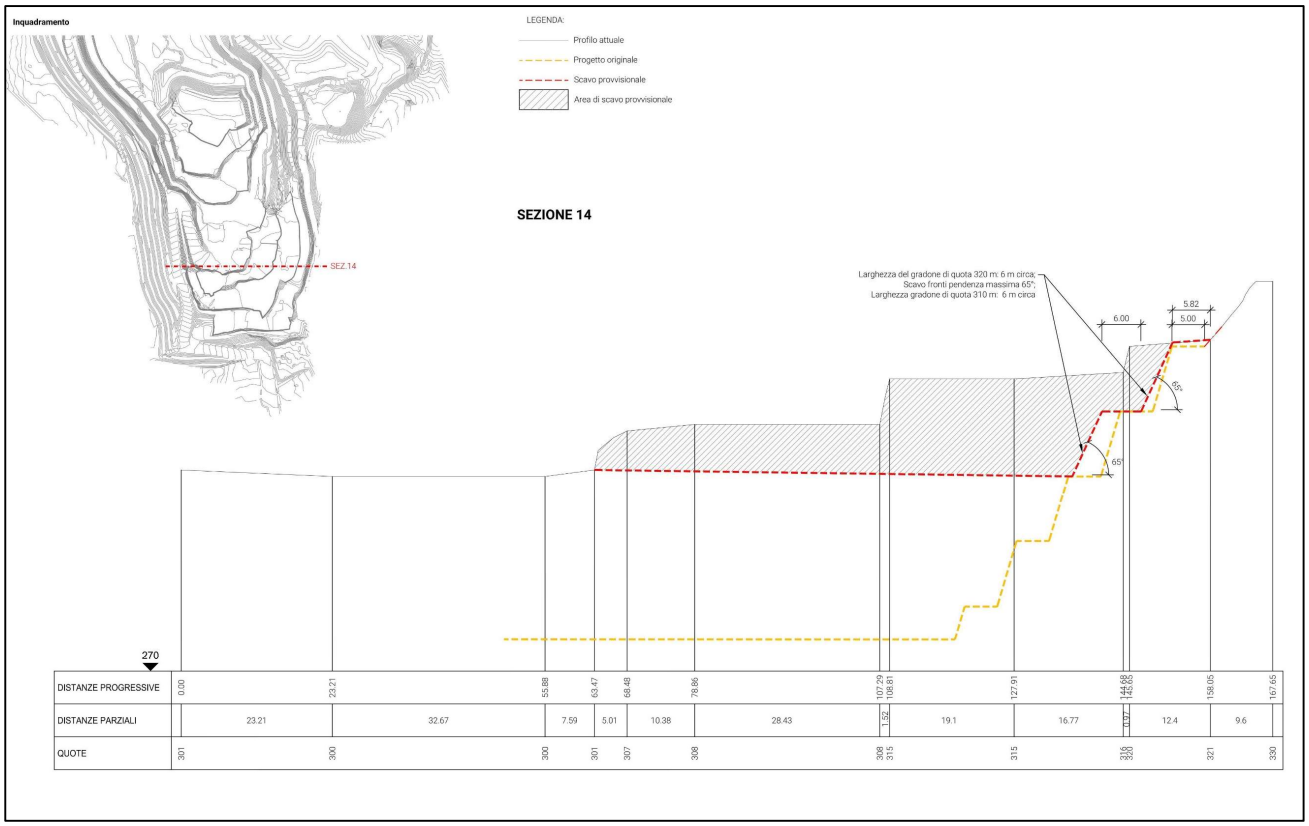


Figura 31: Sezione 14 della variante per l'avanzamento degli scavi

Nonostante questa soluzione garantisca la stabilità della zona orientale della cava a breve termine, nel lungo periodo si potrebbero presentare comunque problemi legati alla lenta, ma continua, disgregazione dei fronti finali, causata sempre dalla disposizione a franapoggio degli strati e dalla presenza dei livelli marnosi-argillosi.

A riprova di questo, nel mese di ottobre 2018 si è verificato un fenomeno sul gradone a quota 320 m s.l.m. (vedi Figura 32). Il cedimento è stato caratterizzato da una frattura di trazione che si è sviluppata per circa 10 m, con una larghezza massima di 4 m, uno spessore massimo di 2 m e un volume complessivo stimabile in 40-50 m^3.



Figura 32: Frattura di trazione presente sul gradone a quota 320 m s.l.m. del fronte Est

Un evento ancora più significativo si è verificato nel mese di aprile 2019, con uno scivolamento planare di dimensioni importanti al di sotto del gradone di quota 320 m s.l.m. (vedi Figura 33). Le cause scatenanti della frana sono state le intense precipitazioni dei giorni precedenti l'evento, ma questo ha confermato definitivamente che la variante per l'avanzato degli scavi non rappresenta una soluzione definitiva del problema. Inoltre, vista l'ampiezza del fenomeno e il rischio di innesco di altri scivolamenti, sono state nuovamente sospese tutte le attività di scavo in questa zona.



Figura 33: Frana sul fronte Est a quota 320 m s.l.m.

3. Indagini di dettaglio sul fronte instabile

3.1. Sondaggi

Per risolvere i problemi indicati sopra si è deciso di effettuare analisi di dettaglio in questa zona, attraverso alcuni sondaggi esplorativi. Un sondaggio è una perforazione, eseguita in terra o in roccia, che ha lo scopo di fornire informazioni sul sottosuolo, sotto forma di campioni analizzabili, o anche di misurazioni in sito, eseguite nel foro.

In cava sono stati effettuati sondaggi in roccia a carotaggio con sonda rotativa (vedi Figura 34 e Figura 35), al fine di prelevare una serie di “carote” (vedi Figura 36).



Figura 34: Macchinario per carotaggio



Figura 35: Macchinario per carotaggio



Figura 36: Cassetta di campionamento per sondaggi

Una sonda per carotaggi è costituita da una serie di elementi (vedi Figura 37):

1. Sonda (imprime alla barra di trascinamento il moto di taglio e quello di alimentazione)
2. Barra di trascinamento (barra tubolare che trasmette il moto di rotazione e quello di avanzamento alla batteria di aste, quando questa è resa solidale alla barra mediante il mandrino)
3. Mandrino (rende solidali, durante la perforazione, la barra di trascinamento con la batteria)
4. Batteria di aste (trasmette i movimenti e adduce il fluido di spurgo e di raffreddamento all'utensile)

5. Tubo carotiere (accoglie la carota man mano che il tagliatore la isola)
6. Estrattore (si serra sulla carota, una volta che questa è isolata, e consente di “strapparla”)
7. Tagliatore (è l’utensile di taglio anulare che isola la carota)
8. Serbatoio d’acqua
9. Pompa di circolazione (fa circolare l’acqua di spurgo e di raffreddamento alla portata ed alla pressione di mandata desiderate)
10. Testa di adduzione (consente di immettere l’acqua nella batteria di aste di perforazione, mentre questa è in rotazione)
11. Argano (aziona la fune per il sollevamento o la calata degli oggetti che si trovano nel foro: batteria; carotiere, utensili; tubaggi; apparecchi di pescaggio, ecc.)
12. Puleggia di rinvio (porta la fune in asse col foro)
13. Gancio (vi si sospende ciò che deve essere calato in foro o estratto da esso)
14. Foro di sonda
15. Quota di bocca foro

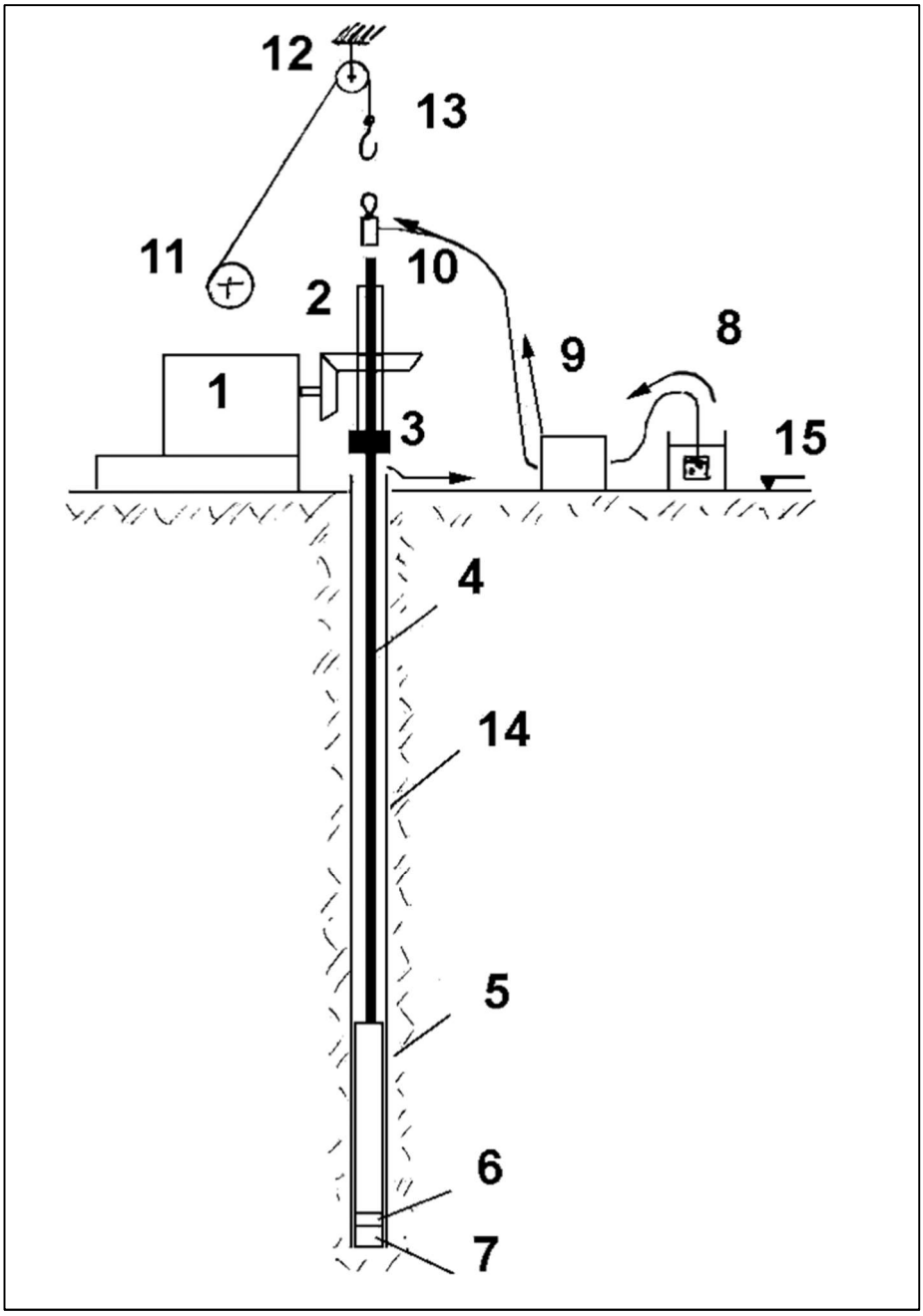


Figura 37: Elementi di una sonda per carotaggi

Le aste della sonda erano lunghe 1,5 m e in acciaio (vedi Figura 38), con filettatura femmina a un estremo e maschio all'altro, in modo da poterle avvitare una sull'altra senza necessità di raccordi. Il carotiere utilizzato non era semplice ma doppio, così la carota veniva accolta in un tubo immobile reso folle, attraverso un sistema di cuscinetti a sfere, rispetto al tubo esterno, il quale trasmetteva la rotazione al tagliatore. La velocità di avanzamento della sonda è stata di circa 3 cm/min, valore basso perché la roccia è abbastanza dura, nonostante sia fratturata. Sono stati poi impiegati due tipi di tagliatori, uno diamantato e uno in widia (vedi Figura 39), i quali venivano alternati in base alla situazione (il primo era più efficiente quando si incontravano strati argillosi, mentre il secondo avanzava meglio in presenza di roccia). L'asportazione dei detriti distaccati dall'utensile è avvenuta per circolazione diretta, ovvero la pompa inviava acqua chiara nel condotto e la torbida risaliva nell'intercapedine tra aste e foro; il liquido è stato utilizzato quasi sempre a perdere.



Figura 38: Batteria di aste



Figura 39: Corone del tagliatore

La procedura di esecuzione dei sondaggi è stata la seguente:

- Perforazione fino al limite dell'asta;
- Estrazione dell'asta;
- Rimozione della carota (vedi Figura 40);
- Aggiunta di un'ulteriore asta e reinserimento in foro (vedi Figura 41);
- Ripresa della perforazione.

Per un risparmio di tempo si è sfruttato un secondo carotiere vuoto, in modo da procedere allo svuotamento di quello estratto mentre si continuava la perforazione con quello di riserva.
Nei primi metri di ogni foro quest'ultimo è stato intubato, per evitare che si potesse richiudere.



Figura 40: Rimozione del carotiere



Figura 41: Reinserimento della sonda in foro

Sono stati realizzati 7 fori profondi 25 m, a diverse quote della parete Est oggetto di studio (vedi Figura 42). In particolare, i sondaggi S-01, S-04 e S-07 sono stati eseguiti sul gradone di quota 320 m s.l.m., i sondaggi S-02 e S-05 sul gradone di quota 315 m s.l.m., il sondaggio S-06 sul gradone di quota 310 m s.l.m. e il sondaggio S-03 sul gradone di quota 300 m s.l.m.

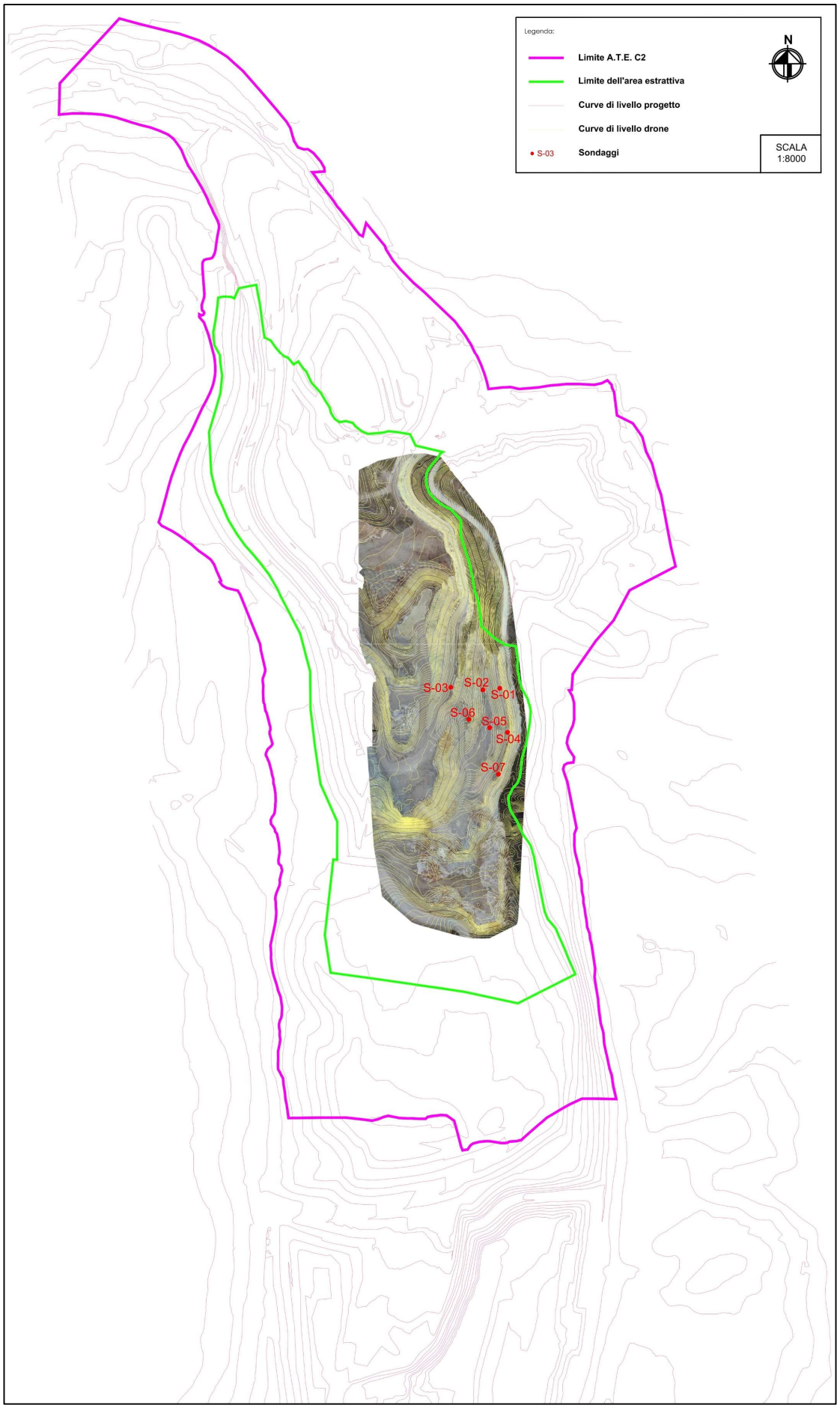


Figura 42: Localizzazione dei sondaggi effettuati

La stratigrafia del sottosuolo ricavata ha presentato una serie di strati calcarei intervallati da sottili lenti di argilla, più alcune “brecce” di natura calcareo-marnosa.

Analizzando le carote si è giunti ad una considerazione valevole per tutti i campioni estratti: i livelli marnosi-argillosi sono concentrati prevalentemente nei primi 10-15 m di foro, e quindi sono meno presenti negli strati profondi. Lo stato di fratturazione (medio) invece risulta abbastanza costante con la profondità, senza subire significative variazioni.

3.2. Rilievo foto-topografico

Parallelamente ai sondaggi è stato eseguito un rilievo topografico che ha permesso di georeferenziare un modello 3D della parete Est della cava (vedi Figura 43, Figura 44 e Figura 45), ricavato dalle foto realizzate con un drone.

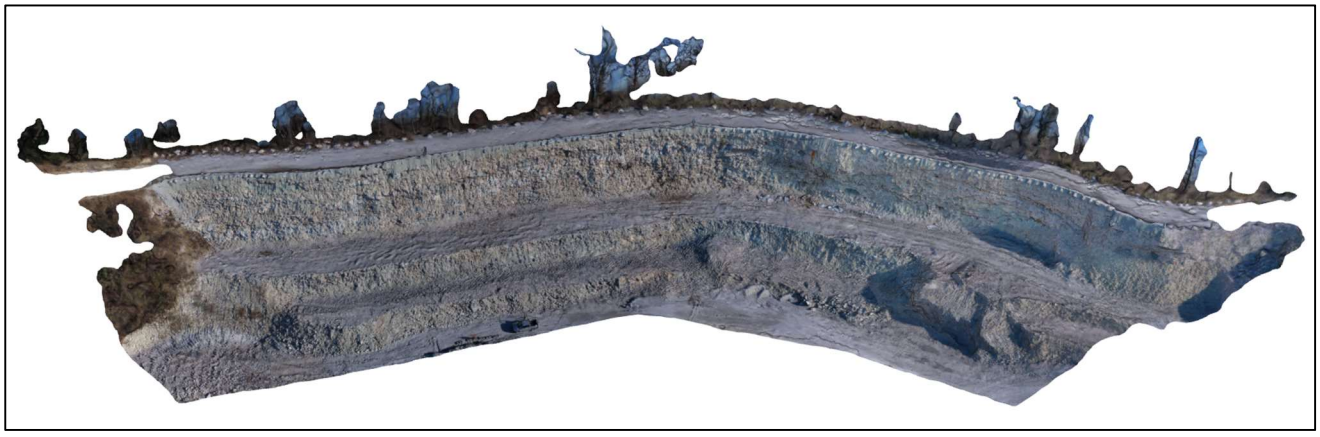


Figura 43: Modello della parete Est



Figura 44: Vista frontale della parete Est

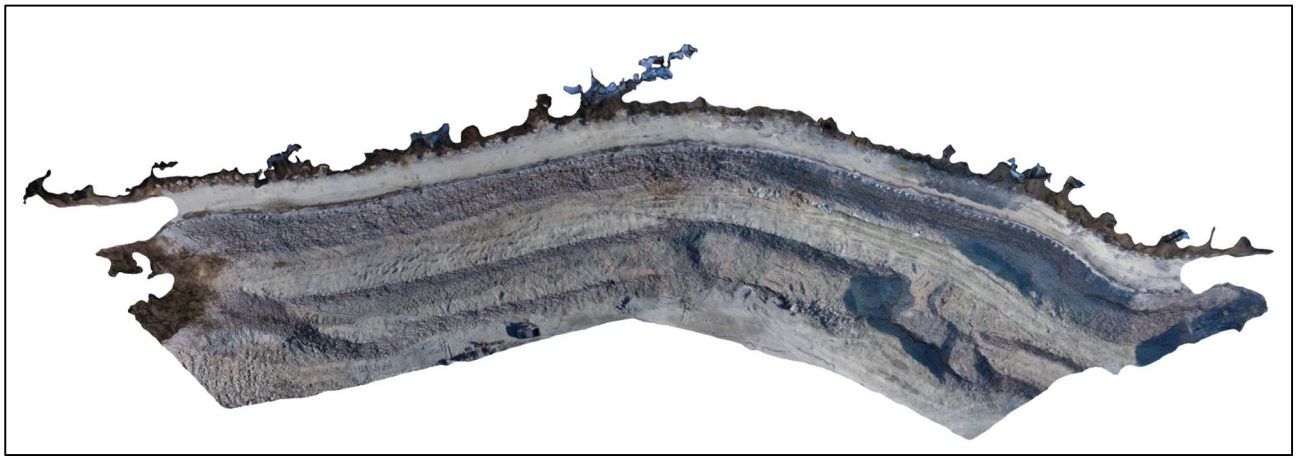


Figura 45: Vista dall’alto della parete Est

4. Analisi e confronto dei metodi di scavo

4.1. Situazione attuale

Attualmente la cava è coltivata mediante esplosivo, combinato all'uso di un martello demolitore per la riduzione di pezzatura dei blocchi di dimensione eccessiva.

Le volate effettuate in cava sono di 3 tipi:

- Volate di produzione standard;
- Volate di profilatura;
- Volate di preminaggio.

Le volate di produzione hanno come unico obbiettivo l'abbattimento del materiale da trattare e sono caratterizzate da gradoni aventi altezza pari ad 8 o 5 m, in base alle necessità operative e geometriche di avanzamento della coltivazione. Le volate di profilatura, invece, servono per lasciare un fronte finale di cava ben definito e stabile a lungo termine; sono caratterizzate da gradoni aventi altezza pari a 5 m. Infine le volate di preminaggio sono effettuate sul primo banco superficiale di calcare (che risulta ancora contaminato dal materiale morenico) e servono solo per smuovere il materiale (che viene poi attaccato con mezzi meccanici), attraverso l'uso di cariche ridotte che minimizzano il rischio di proiezioni pericolose.

I prodotti esplodenti vengono acquistati dalle aziende Maxam e EPC, i due principali fornitori in Italia; qui di seguito se ne riportano le caratteristiche.

Maxam

- *Esplosivo RIOHIT AL*

Sono emulsioni, ovvero esplosivi di ultima generazione che si caratterizzano per l'estrema sicurezza di impiego rispetto agli esplosivi tradizionali, quali le dinamiti; essi risultano praticamente non innescabili per urto o frizione. Le emulsioni sono costituite da due elementi base: una fase acquosa ossidante (soluzione concentrata di nitrati in acqua) ed una fase oleosa combustibile (oli, cere e paraffine). Attraverso l'uso di idonei agenti emulsionanti e uno specifico processo produttivo i due componenti vengono tra loro mescolati allo stato liquido producendo una emulsione del tipo "acqua dispersa in una matrice oleosa". Non contenendo alcuna sostanza di tipo tossico, il loro maneggiamento non genera alcun disturbo fisiologico (mal di testa, nausea, ecc.). Sono stati concepiti per l'impiego a cielo aperto; la serie comprende varie tipologie di prodotto in grado di rispondere alle diverse esigenze e condizioni operative. Caratterizzati da elevate energie, velocità e volumi di gas, assicurano un efficace abbattimento dell'ammasso roccioso, un buon rapporto di comminuzione ed una pezzatura uniforme; sono impiegabili anche in presenza di acqua nei fori. Dispongono della marcatura CE n° 0589.EXP.0537/98.

Tabella 3: Caratteristiche tecniche RIOHIT AL

Densità (g/cm^3)	1.1
Velocità di detonazione (m/s)	3˙000÷6˙000
Energia di detonazione (MJ/kg)	4.46
Volume di gas (l/kg)	843
Distanza di colpo (mm)	>80

Tabella 4: Condizioni di impiego e stoccaggio RIOHIT AL

Sensibilità alla miccia detonante (g/m)	12
Miccia detonante consigliata per l'innesco (g/m)	15
Sensibilità al detonatore (scala Sellier-Bellot)	8
Resistenza all'acqua	Ottima

Massima pressione idrostatica (Mpa)	0.30
Temperatura di utilizzo (°C)	-20÷50
Impiego in sotterraneo	SI
Impiego in presenza di polveri infiammabili	NO
Temperatura di stoccaggio (°C)	0÷45
Periodo di utilizzabilità (mesi)	12

Gli esplosivi sono confezionati in cartucce (vedi Figura 46) aventi lunghezza di 60 cm e diametro variabile da 50 a 90 mm. L'involucro delle cartucce è costituito da un film di polietilene ad alta densità. Le cartucce sono contenute in casse di cartone omologate per il trasporto di esplosivo, con un peso netto di 25 kg. Il peso delle cartucce, in funzione del loro diametro, è riportato in Tabella 5.

Tabella 5: Confezioni RIOHIT AL

Diametro cartuccia (mm)	**Lunghezza cartuccia** (mm)	**Peso cartuccia** (kg)	**N° cartucce per cassa**
50	600	1.40	18
60		2.10	10
70		2.77	9
80		3.75	6
90		5.00	5



Figura 46: Cartuccia di esplosivo RIOHIT

- *Miccia detonante RIOCORD*

La miccia detonante RIOCORD è costituita da un cordone flessibile di materiale plastico con un'anima di esplosivo (pentrite), ricoperto da una guaina che conferisce flessibilità, resistenza alla trazione, ai tagli e all'abrasione, nonché l'impermeabilità ad acqua ed olio, sia alle basse che alle alte temperature (vedi Figura 47). In relazione agli impieghi, il contenuto di pentrite può variare da 6 a 100 grammi per metro, mentre la velocità di detonazione è pari a circa 7500 m/s. Dispone della marcatura CE n° LOM.97.EXP.3040.

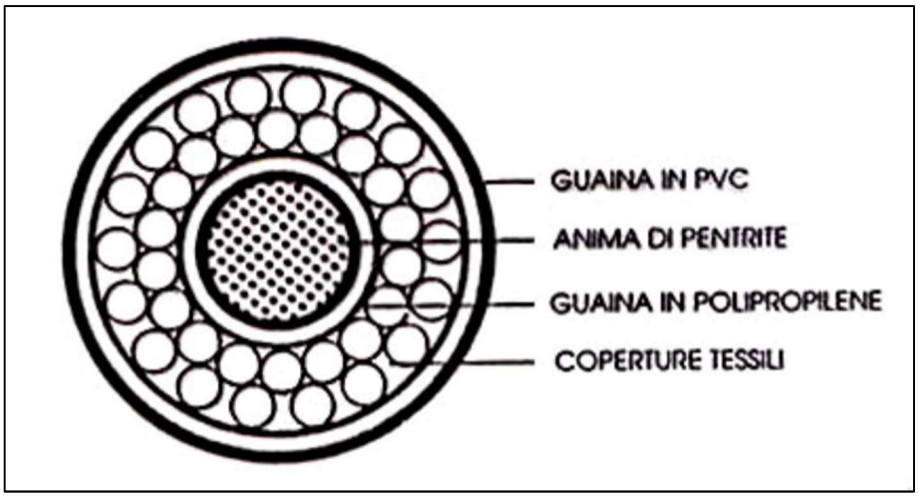


Figura 47: Componenti della miccia detonante

Questa miccia detonante viene abitualmente utilizzata per l'innesco delle cariche esplosive ad essa collegate, per il taglio delle pietre ornamentali o per la profilatura delle pareti rocciose. Si può impiegare inoltre per trasmettere la detonazione ai tubi dei detonatori ad onda d'urto. Oltre al modello "Standard" esiste una variante "Rinforzata", che viene impiegata quando sono richieste elevate resistenze a trazione e all'abrasione.
Il suo innesco si ottiene con un detonatore elettrico, ad onda d'urto o a fuoco oppure con un altro spezzone di miccia collegato con nastro adesivo, nodo adeguato o specifico connettore.
La miccia detonante viene avvolta in bobine di plastica (vedi Figura 48) e queste vengono confezionate in casse di cartone omologate per il trasporto.

Tabella 6: Dati tecnici RIOCORD

Prodotto	**Contenuto di pentrite** (g/m)	**Diametro** (mm)	**Lunghezza bobina** (m)	**Peso netto** (kg)	**Colore rivestimento**
RIOCORD 6	6	3.6	200	10.6	Magenta
RIOCORD 10	10	4.0	125	10.0	Rosso
RIOCORD 12	12	4.4	125	11.0	Blu
RIOCORD 20	20	5.7	100	13.6	Bianco
RIOCORD 40	40	7.8	100	12.6	Verde
RIOCORD 80	80	10.3	50	12.5	Giallo
RIOCORD 100	100	11.2	50	12.6	Rosso

Tabella 7: Condizioni di impiego e stoccaggio RIOCORD

Resistenza a trazione (kg)	50
Temperatura di utilizzo (°C)	-20÷50
Impiego in presenza di polveri infiammabili	NO
Temperatura di stoccaggio (°C)	-5÷50
Periodo di utilizzabilità (mesi)	24



Figura 48: Bobine di miccia detonante

- *Detonatori Nonel a doppio ritardo RIONEL DDX*

La serie RIONEL DDX è composta da un detonatore da inserire in foro e un connettore di superficie (vedi Figura 49). Questi consentono di eseguire sequenze di brillamento in modo molto semplice ed efficiente, soprattutto quando si hanno volate con un gran numero di fori. Dispongono della marcatura CE n° LOM.99.EXP.4032/3.

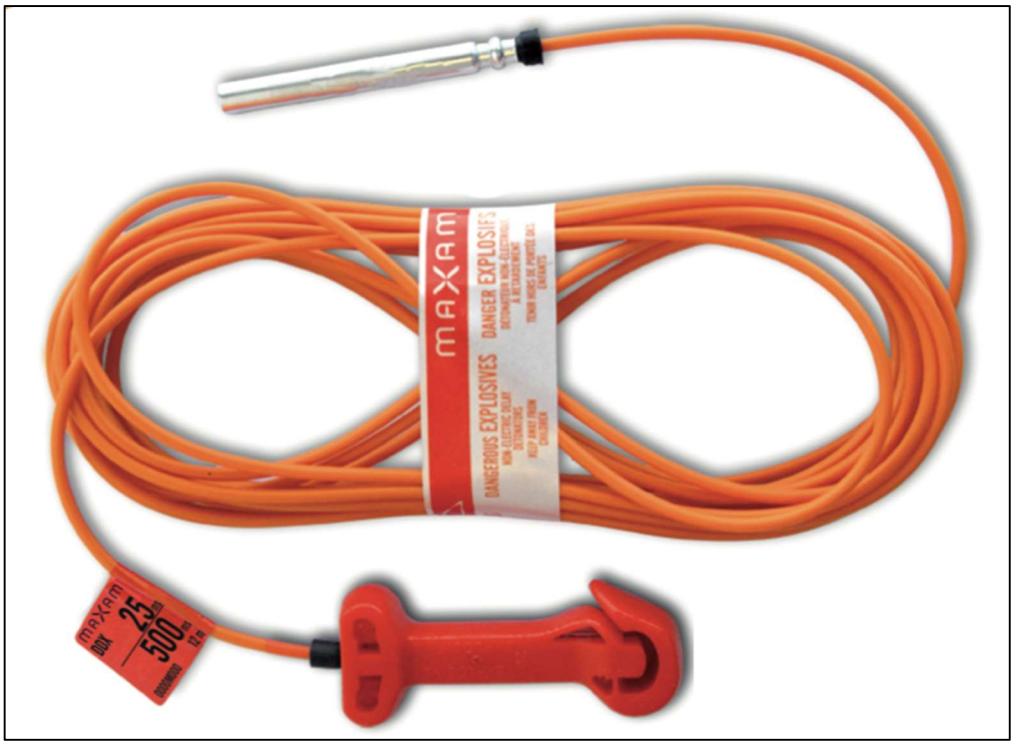


Figura 49: Detonatore RIONEL DDX

I tubi in materiale plastico sono cavi e rivestiti internamente con HMX (un esplosivo secondario) in polvere, che consente la trasmissione di un'onda d'urto (confinata) che poi attiva il detonatore (vedi Figura 50).

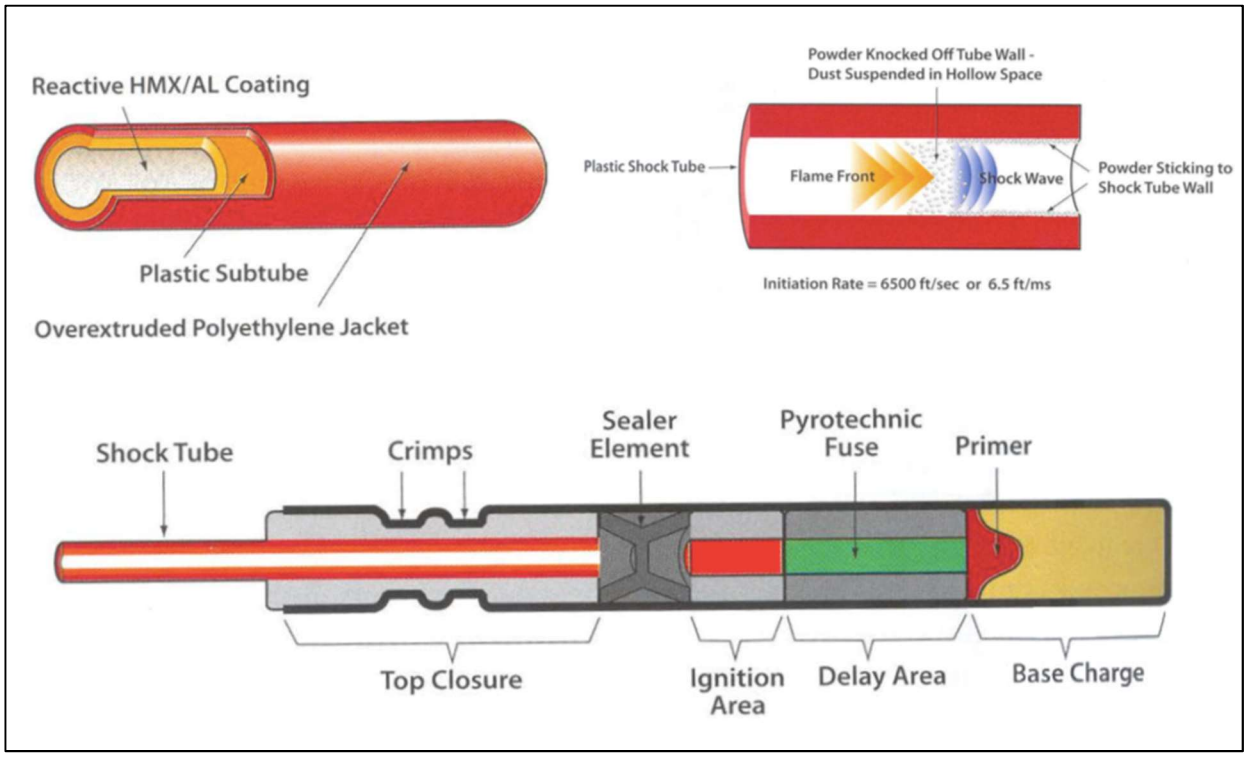


Figura 50: Componenti del sistema Nonel

I connettori di superficie contengono un detonatore a bassa carica che riduce al minimo rumore e vibrazioni. Sono codificati a colori in base al loro tempo di ritardo (vedi Tabella 8) e ognuno di essi può accettare un massimo di 6 tubi.

Tabella 8: Combinazioni di detonatori in foro e connettori RIONEL DDX

Colore connettore	**Ritardo in superficie** (ms)	**Ritardo in foro** (ms)
Giallo	17	500
Rosso	25	
Bianco	42	
Nero	67	

I detonatori vengono confezionati in casse di cartone omologate per il trasporto. Il peso e la lunghezza dei prodotti commercializzati sono riportati in Tabella 9.

Tabella 9: Confezioni RIONEL DDX

Lunghezza (m)	**Unità per cassa**	**Peso netto** (kg)
4.8	180	10
6	180	12
9	120	10
12	120	12
15	72	8
18	72	9
21	72	9
24	54	8
30	40	8

- *Connettori Nonel di superficie RIONEL SCX*

I connettori RIONEL SCX vengono impiegati per la temporizzazione di una volata, in quanto introducono un ritardo tra il brillamento dei diversi fori attraverso semplici collegamenti superficiali. Dispongono della marcatura CE n° LOM.99.EXP.4033/1.

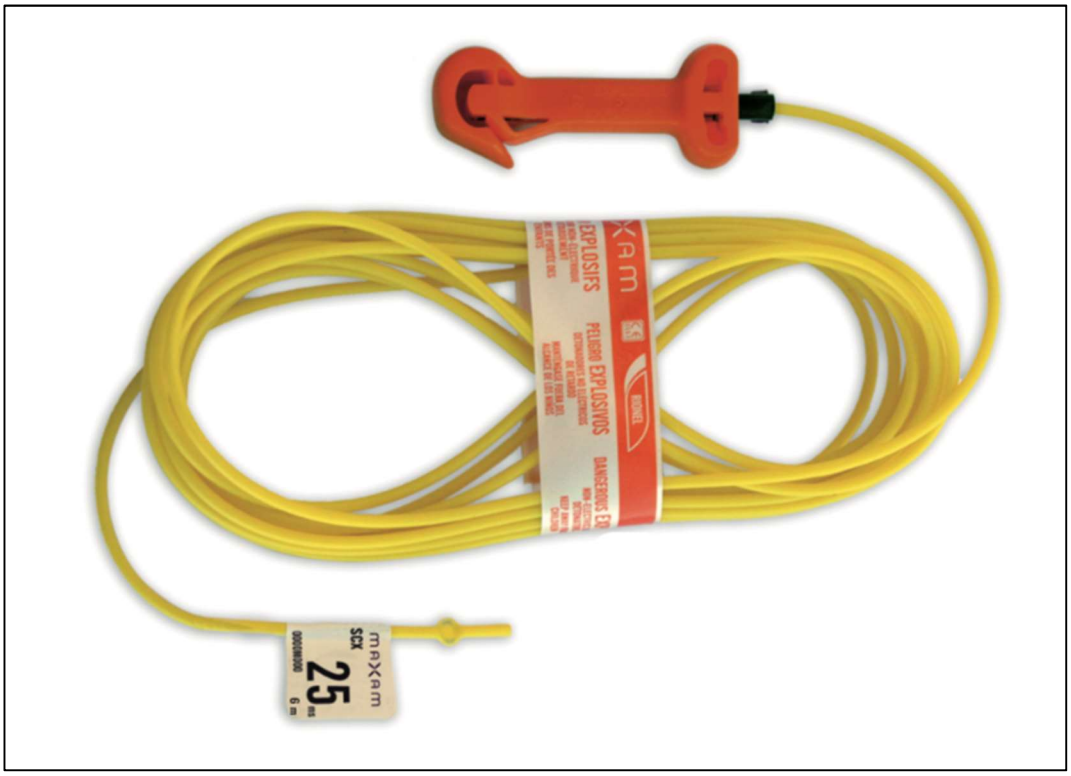


Figura 51: Connettore RIONEL SCX

I componenti e il funzionamento di questo prodotto sono analoghi a quelli del RIONEL DDX, ad eccezione del detonatore in foro che è assente.
I ritardi disponibili vengono codificati con un colore e sono riportati in Tabella 10.

Tabella 10: Ritardi dei connettori RIONEL SCX

Colore connettore	**Ritardo** (ms)
Rosa	0
Verde scuro	9
Giallo	17
Rosso	25
Verde chiaro	33
Bianco	42
Nero	67
Blu	100
Viola	150
Arancione	200

I connettori vengono confezionati in casse di cartone omologate per il trasporto. Il peso e la lunghezza dei prodotti commercializzati sono riportati in Tabella 11.

Tabella 11: Confezioni RIONEL SCX

Lunghezza (m)	**Unità per cassa**	**Peso netto** (kg)
3.6	210	10
4.8	180	9
6	180	11
9	120	9
12	120	11

- *Detonatori elettrici RIODET*

I detonatori elettrici RIODET sono progettati per essere utilizzati nelle applicazioni minerarie, estrattive, edilizie e sotterranee. Dispongono della marcatura CE n° LOM.CE/Ep.97.2027/2.

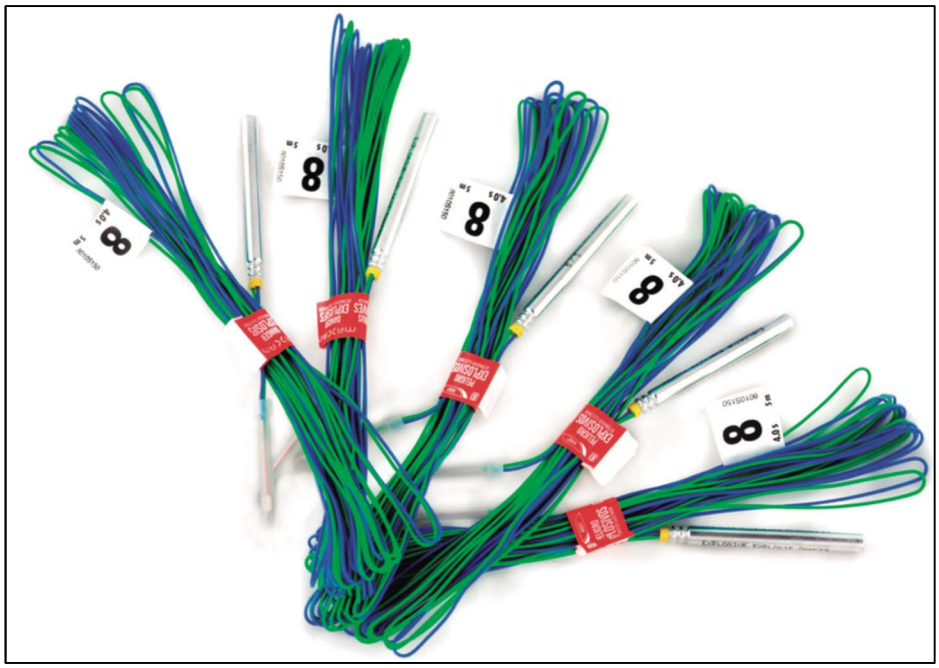


Figura 52: Detonatori elettrici RIODET

Sono disponibili in tre varianti: istantanei, a micro ritardo e a lungo ritardo. I detonatori a micro ritardo dispongono di 25 periodi di ritardo e offrono flessibilità nella progettazione di volate di breve durata. I detonatori a lungo ritardo dispongono di 16 periodi di ritardo e offrono flessibilità nella progettazione di volate di lunga durata. In Figura 53 sono riportati i componenti di un detonatore elettrico istantaneo e di un detonatore elettrico con ritardo.



Figura 53: Componenti di un detonatore elettrico istantaneo (sinistra) e con ritardo (destra)

I RIODET sono commercializzati con tre diversi tipi di sensibilità: sensibili (S), insensibili (I) e altamente sensibili (H).

Il cavo di questi detonatori è semplice da installare e presenta un cappuccio di protezione facile da rimuovere. Per facilitare l'identificazione, il periodo di ritardo di ciascun detonatore è impresso sul fondo dello stesso e sul suo cartellino.

I RIODET vengono testati con una pressione di 100 m di colonna d'acqua per 48 ore; questo li rende ottimali per l'impiego in condizioni metereologiche complicate.

EPC

- *Esplosivo EXEM 100*

L'esplosivo EXEM 100 è un'emulsione che può essere impiegata in lavori da mina a cielo aperto ed in sotterraneo, anche in presenza di acqua. Dispone della marcatura CE n° 0080.EXP.10.0018.

Tabella 12: Caratteristiche tecniche EXEM 100

Densità (kg/m^3)	1˙270
Velocità di detonazione (m/s)	5˙500
Energia di detonazione (MJ/kg)	4.30
Volume di gas (l/kg)	790
Pressione di detonazione (Mpa)	14˙300

Tabella 13: Limiti d'impiego EXEM 100

Sensibilità al detonatore (scala Sellier-Bellot)	8
Temperatura di utilizzo (°C)	-10÷60
Diametro critico (mm)	25
Pressione statica (Mpa)	<0.35
Resistenza all'acqua	Ottima

Questo esplosivo ha un aspetto pastoso di colore grigio e viene confezionato con guaine di polietilene, sotto forma di cartucce (vedi Figura 54) di lunghezza 45 cm imballate in casse di cartone omologate per il trasporto, con un peso netto di 25 kg. Il peso delle cartucce, in funzione del loro diametro, è riportato in Tabella 14.

Tabella 14: Confezioni EXEM 100

Diametro cartuccia (mm)	**Lunghezza cartuccia** (mm)	**Peso cartuccia** (kg)	**N° cartucce per cassa**
50	450	1.00	25
60		1.56	16
70		2.10	12
80		2.80	9
90		3.15	8



Figura 54: Cartucce di esplosivo EXEM 100

- *Miccia detonante SEICORD*

La miccia detonante SEICORD è costituita da un'anima di pentrite (esplosivo detonante secondario) ricoperta da nastro e fili di polipropilene e da una guaina esterna in PVC (vedi Figura 55). In relazione agli impieghi, il contenuto di pentrite può variare da 6 a 100 grammi per metro, mentre la velocità di detonazione è pari a circa 7500 m/s. Dispone della marcatura CE n° 0080.EXP.02.0155.

La miccia detonante viene avvolta in bobine di plastica e queste vengono confezionate in casse di cartone omologate per il trasporto.

Tabella 15: Dati tecnici SEICORD

Prodotto	**Contenuto di pentrite** (g/m)	**Diametro** (mm)	**Lunghezza bobina** (m)	**Resistenza a trazione** (kg)	**Resistenza all'acqua** (Mpa)	**Colore rivestimento**
SEICORD 6	6	4.7	100	75	0.25	Grigio
SEICORD 10	10	5.5		75		Giallo
SEICORD 12	12	6		75		Arancione
SEICORD 15	15	6.5		75		Verde
SEICORD 20	20	10.5		110		Azzurro
SEICORD 40	40	9		110		Marrone
SEICORD 60	60	11		130		Bianco
SEICORD 80	80	11.5		130		Lilla
SEICORD 100	100	13		130		Ocra

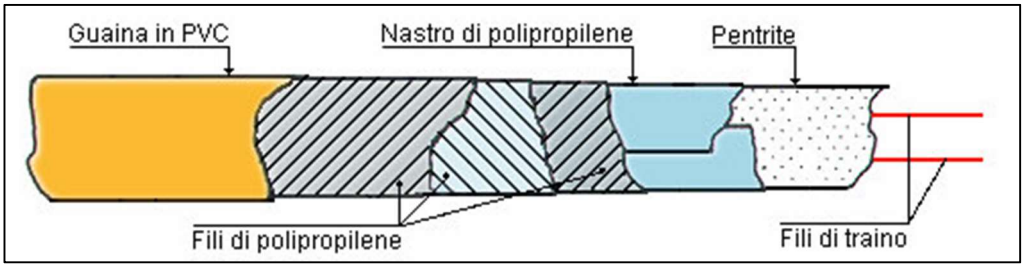


Figura 55: Miccia detonante SEICORD

- *Detonatori Nonel a doppio ritardo DAVEYQUICK*

Il DAVEYQUICK è un sistema d'innesco non elettrico a tubo conduttore d'onda che si compone di un detonatore a ritardo 500 ms collegato a un tubo conduttore d'onda e un raccordo di superficie a ritardo 25 ms, collegato all'altra estremità del tubo (vedi Figura 56). Dispongono della marcatura CE n° 0080.EXP.02.0039.



Figura 56: Detonatore DAVEYQUICK

Le lunghezze disponibili variano da 6 a 30 m, con intervalli di 3 m.
Il tubo connettore d'onda è rivestito sulla parete interna da un esplosivo in polvere, definito Octagene, che consente la trasmissione dell'onda d'urto nel tubo alla velocità di circa 2˙000 m/s ed

è caratterizzato da un triplo rivestimento che gli conferisce un'ottima elasticità e un'elevata resistenza meccanica. Il detonatore di fondo foro è caricato con 0.8 g di pentrite e un manicotto elastomerico garantisce una tenuta perfetta. Il raccordo di superficie è un mini detonatore senza pentrite e può ricevere fino a cinque tubi connettori d'onda, permettendo così l'innesco di altre cinque cariche. La durata del detonatore è pari a due anni.
Per quanto riguarda il principio di funzionamento, i detonatori vanno inseriti nelle cartucce che entrano nei fori. Il collegamento avviene a partire dal primo foro in ordine di successione d'innesco. La lunghezza del DAVEYQUICK deve essere uguale per tutti i fori e deve essere stabilita in funzione della massima profondità del foro e del massimo interasse. Il collegamento tra le file dei fori può essere effettuato con raccordi DAVEYNEL.

- *Connettori Nonel di superficie DAVEYNEL*

I connettori DAVEYNEL sono costituiti da un detonatore ritardato inserito in un blocchetto di materiale plastico e un tubo connettore d'onda (vedi Figura 57). Dispongono della marcatura CE n° 0080.EXP.00.0064.



Figura 57: Connettore DAVEYNEL

Le lunghezze disponibili variano da 6 a 100 m, mentre i ritardi vengono codificati con un colore e sono riportati in Tabella 16.

Tabella 16: Ritardi dei connettori DAVEYNEL

Ritardo (ms)	Colore
17	Giallo
25	Rosso
42	Bianco
65	Azzurro
100	Arancione

Il tubo connettore d'onda è rivestito sulla parete interna da un esplosivo in polvere, definito Octagene, che consente la trasmissione dell'onda d'urto nel tubo alla velocità di circa 2˙000 m/s ed è caratterizzato da un triplo rivestimento che gli conferisce un'alta resistenza a trazione e una notevole flessibilità. Il detonatore inserito nel raccordo di superficie contiene una carica di 0.25 g di esplosivo e può ricevere fino a cinque tubi connettori d'onda. La durata del detonatore è pari a due anni.

- *Detonatori elettrici 0-HU*

I detonatori elettrici 0-HU sono istantanei e vengono impiegati per l'innesco di esplosivi o di miccia detonante, sia per attività a cielo aperto che in sotterraneo. Dispongono della marcatura CE n° 0589.EXP.2343/99.

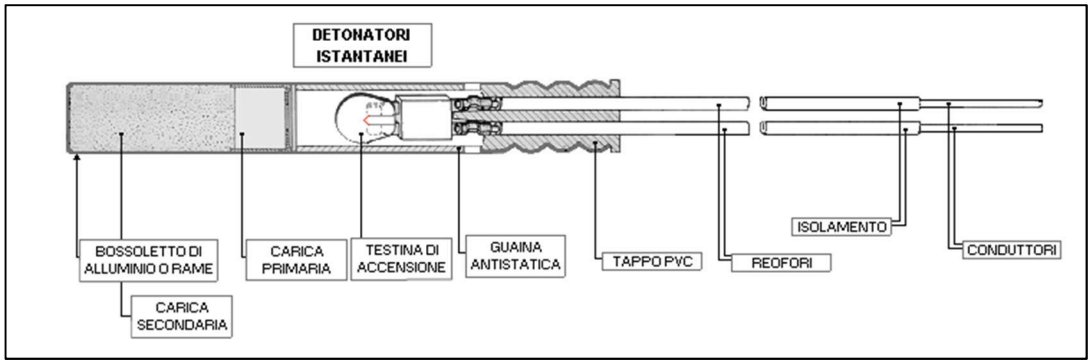


Figura 58: Componenti di un detonatore elettrico 0-HU

Le lunghezze disponibili dei reofori in rame sono 3 e 6 m.
Questi detonatori vengono testati con una pressione statica di 0.3 Mpa per 24 ore e la temperatura limite d'impiego va da -10 a 50 °C.

4.1.1. Volate di produzione con gradone da 8 m

Geometria della volata (vedi Figura 60):

- Altezza gradone: 8 m;
- Diametro di perforazione: 76 mm;
- Inclinazione fori (subverticale): 80°;
- Sottoperforazione: 0.5 m;
- Lunghezza di perforazione: 8.55 m;
- Spalla: 2.8 m;
- Interasse: 2.8 m;
- Borraggio: 2 m;
- Borraggio intermedio: 1 m;
- Numero massimo di mine/volata: 50 (3 file).

Gli accorgimenti adottati durante la perforazione sono i seguenti:

- Se durante la perforazione intervengono cause (roccia fratturata, presenza di argilla, dislocazioni, venute d'acqua) che compromettono la corretta esecuzione del foro, questo viene abbandonato e rifatto in un'altra zona;
- A fine perforazione il foro viene pulito con immissione di aria compressa attraverso l'asta di perforazione, in modo da eliminare tutti i residui di materiale al suo interno;
- Se la perforazione viene eseguita su uno o più strati friabili, il foro viene intubato.

Esplosivo utilizzato:

- Emulsione in cartucce, con le seguenti caratteristiche:
  - $Ø_c$ 50 mm, lunghezza 60 cm e massa 1.4 kg;
  - $Ø_c$ 60 mm, lunghezza 60 cm e massa 2.1 kg.

Carica e disposizione delle cartucce in un foro (caricamento frazionato con 2 detonatori per foro):

- $Ø_c$ 50 mm: 5.5 cartucce, pari a una carica di 7.7 kg;
- $Ø_c$ 60 mm: 4 cartucce, pari a una carica di 8.4 kg;
- Carica complessiva in foro: 16.1 kg;
- Le prime 4 cartucce ($Ø_c$ 60 mm) vengono inserite a fondo foro, con innesco sulla prima cartuccia;
- Si inserisce il borraggio intermedio pari a circa 1 m;
- Si completa il caricamento del foro con le rimanenti 5.5 cartucce ($Ø_c$ 50 mm), con innesco sulla prima.
- Si inserisce il borraggio finale pari a circa 2 m.

La lunghezza complessiva caricata è di circa 5.7 m (si tiene poi conto di un accorciamento minimo delle cartucce a causa del costipamento in foro).

Innesco di una mina:

- Tramite due detonatori ad onda d'urto NONEL, inseriti rispettivamente uno nella prima cartuccia, a fondo foro, e l'altro nella prima cartuccia dopo il borraggio intermedio (vedi Figura 59). Il tubo del detonatore innescante la carica superiore viene agganciato al tubo del detonatore innescante la carica inferiore.

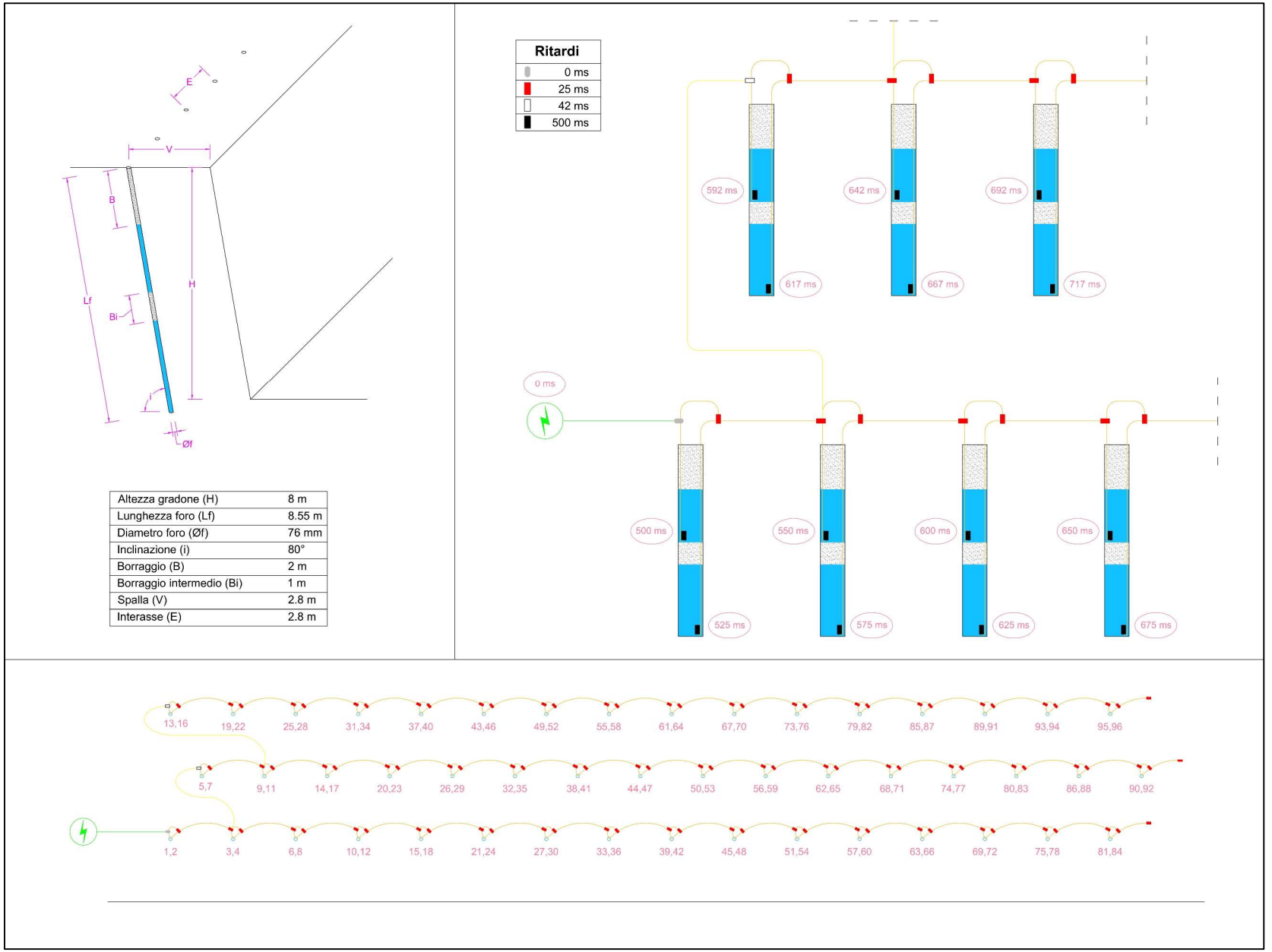


Figura 59: Inserimento del detonatore nella cartuccia di esplosivo

Innesco della volata:

- Tramite detonatore elettrico istantaneo ad alta intensità, collegato con nastro isolante al tubo di connessione della prima mina.

I tempi di ritardo vengono impartiti mediante unità di connessione con diversi tempi di ritardo: 25 ms tra le mine, distinguendo anche tra carica di fondo e di colonna, e 42 ms tra le file.
Si ha così una carica per ritardo di 8.05 kg.



Altezza gradone (H)	8 m
Lunghezza foro (Lf)	8.55 m
Diametro foro (Øf)	76 mm
Inclinazione (i)	80°
Borraggio (B)	2 m
Borraggio intermedio (Bi)	1 m
Spalla (V)	2.8 m
Interasse (E)	2.8 m

Figura 60: Schemi delle volate di produzione con gradone da 8 m

4.1.2. Volate di produzione con gradone da 5 m

Geometria della volata (vedi Figura 61):

- Altezza gradone: 5 m;
- Diametro di perforazione: 76 mm;
- Inclinazione fori (subverticale): 80°;
- Sottoperforazione: 0.3 m;
- Lunghezza di perforazione: 5.35 m;
- Spalla: 2.5 m;
- Interasse: 2.5 m;
- Borraggio: 2 m;
- Numero massimo di mine/volata: 98 (3-4 file).

Gli accorgimenti da adottare durante la perforazione sono i seguenti:

- Se durante la perforazione intervengono cause (roccia fratturata, presenza di argilla, dislocazioni, venute d'acqua) che compromettono la corretta esecuzione del foro, questo viene abbandonato e rifatto in un'altra zona;
- A fine perforazione il foro viene pulito con immissione di aria compressa attraverso l'asta di perforazione, in modo da eliminare tutti i residui di materiale nel foro stesso;
- Se la perforazione viene eseguita su uno o più strati friabili, il foro viene intubato.

Esplosivo utilizzato:

- Emulsione in cartucce, con le seguenti caratteristiche:
  - $Ø_c$ 50 mm, lunghezza 60 cm e massa 1.4 kg.

Carica e disposizione delle cartucce in un foro:

- $Ø_c$ 50 mm: 5.5 cartucce, pari a una carica di 7.7 kg;
- Carica complessiva in foro: 7.7 kg;
- Le 5.5 cartucce ($Ø_c$ 50 mm) vengono inserite a fondo foro, con innesco sulla prima cartuccia;
- Si inserisce il borraggio finale pari a circa 2 m.

La lunghezza complessiva caricata è di circa 3.3 m (si tiene poi conto di un accorciamento minimo delle cartucce a causa del costipamento in foro).

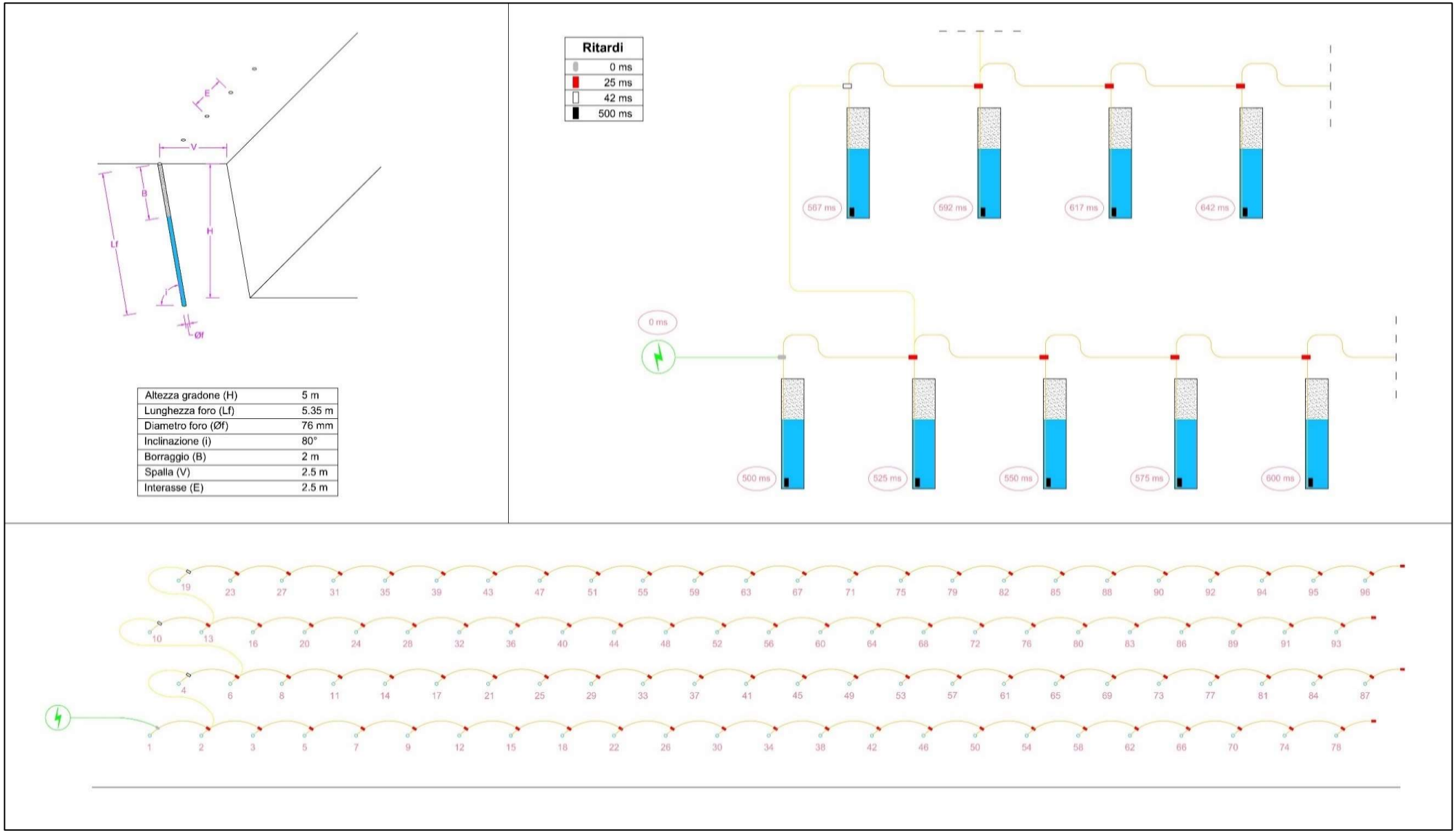
Innesco di una mina:

- Tramite detonatore ad onda d'urto NONEL, inserito nella cartuccia di fondo foro.

Innesco della volata:

- Tramite detonatore elettrico istantaneo ad alta intensità, collegato con nastro isolante al tubo di connessione della prima mina.

I tempi di ritardo vengono impartiti mediante unità di connessione con diversi tempi di ritardo: 25 ms tra le mine e 42 ms tra le file.
Si ha così una carica per ritardo di 7.7 kg.



Altezza gradone (H)	5 m
Lunghezza foro (Lf)	5.35 m
Diametro foro (Øf)	76 mm
Inclinazione (i)	80°
Borraggio (B)	2 m
Spalla (V)	2.5 m
Interasse (E)	2.5 m

Figura 61: Schemi delle volate di produzione con gradone da 5 m

4.1.3. Volate di profilatura

Questo tipo di volate vengono effettuate prima di quelle di produzione su un dato fronte della cava, secondo la tecnica del "presplitting", in modo da isolare il fronte finale dal volume che deve ancora essere abbattuto.

Geometria della volata (vedi Figura 62):

- Altezza gradone: 5 m;
- Diametro di perforazione: 76 mm;
- Inclinazione (subverticale): 55°.
- Lunghezza di perforazione: 6.1 m;
- Interasse: 1 m;
- Borraggio: 2 m.

Gli accorgimenti da adottare durante la perforazione sono i seguenti:

- Se durante la perforazione intervengono cause (roccia fratturata, presenza di argilla, dislocazioni, venute d'acqua) che compromettono la corretta esecuzione del foro, questo viene abbandonato e rifatto in un'altra zona;
- A fine perforazione il foro viene pulito con immissione di aria compressa attraverso l'asta di perforazione, in modo da eliminare tutti i residui di materiale nel foro stesso;
- Se la perforazione viene eseguita su uno o più strati friabili, il foro viene intubato.

Esplosivo utilizzato:

- Emulsione in cartucce, con le seguenti caratteristiche:
  - $Ø_c$ 50 mm, lunghezza 60 cm e massa 1.4 kg.
- Miccia detonante, con le seguenti misure:
  - Massa 80 g/m.

Carica e disposizione delle cartucce per singolo foro:

- $Ø_c$ 50 mm: 2 cartucce, pari a una carica di 2.8 kg;
- Carica complessiva in foro: 2.8 kg;
- Si inserisce la miccia detonante nella prima cartuccia;
- Si collega la seconda cartuccia alla miccia detonante;
- Le cartucce e la miccia detonante vengono calate in foro;
- Si inserisce il borraggio finale pari a circa 2 m.

Innesco di una mina:

- Tramite detonatore ad onda d'urto NONEL, collegato allo spezzone di miccia detonante che fuoriesce dal foro.

Innesco della volata:

- Tramite detonatore elettrico istantaneo ad alta intensità, collegato con nastro isolante al tubo di connessione del primo foro.

Le mine vengono collegate singolarmente, con unità di connessione aventi ritardo pari a 25 ms fra un foro e il successivo, in modo da ottenere una carica per ritardo di 3.3 kg (considerando anche la miccia detonante).

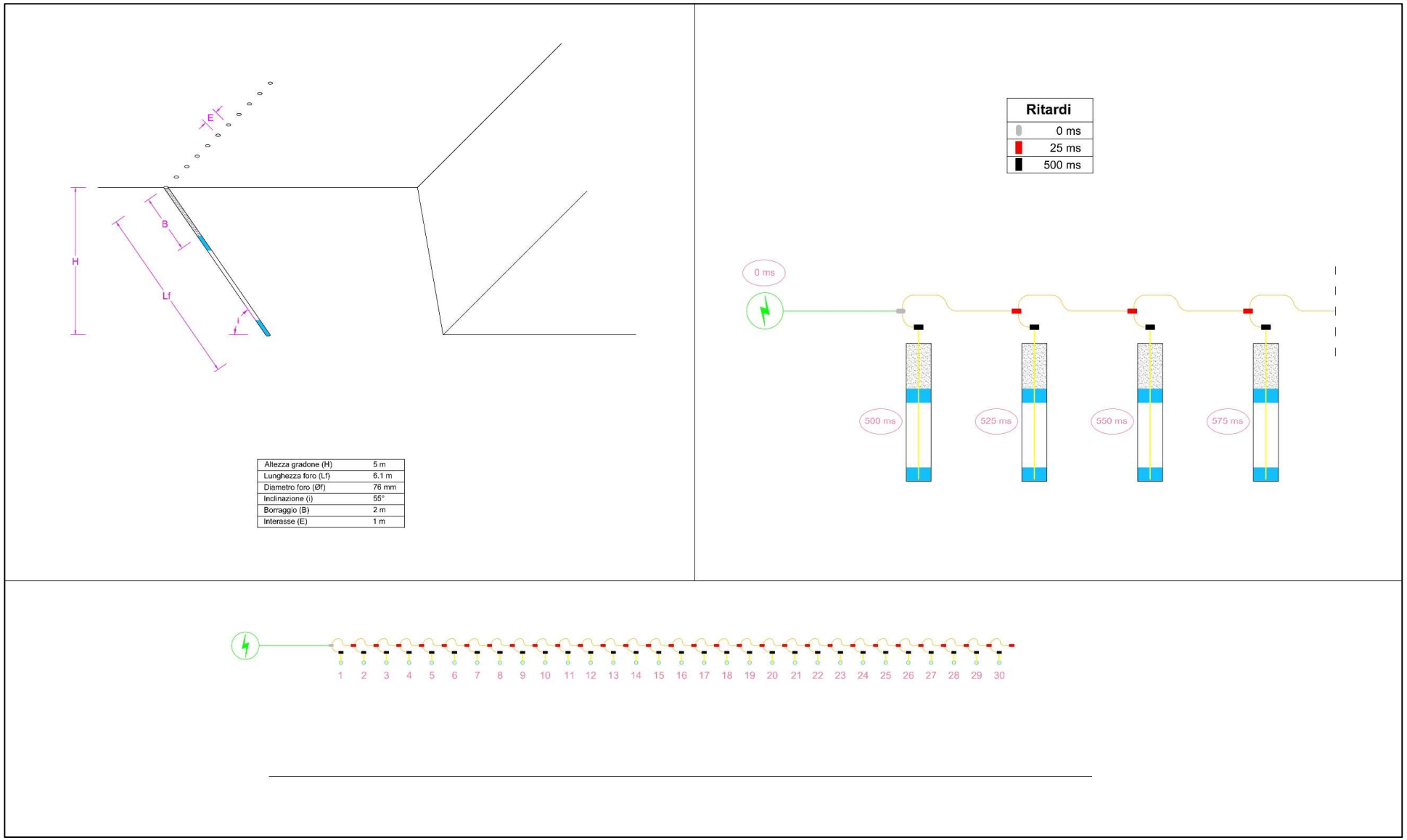


Figura 62: Schemi delle volate di profilatura

4.2. Alternativa

L'alternativa presa in considerazione ha previsto l'uso di un particolare martello demolitore, o meglio di un ripper eccentrico, negli ultimi metri prima dei fronti finali di cava, in sostituzione delle classiche volate di produzione con esplosivo. In questo modo si è cercato di lasciare una parete più sana e minimizzare il danneggiamento della roccia che rimane in posto, mantenendo sempre la stessa geometria di scavo.

4.2.1. Il ripper

Nel 2009 la casa costruttrice spagnola Grado Cero ha messo a punto un macchinario innovativo: il Xcentric Ripper "XR", che consente di svolgere attività di scavo e demolizione in breve tempo, con bassi costi e un livello di rumorosità minimo nella maggior parte dei contesti. La presenza di un accumulatore ad aria che accumula l'energia delle masse eccentriche nella fase di risalita e la scarica nella loro fase di discesa, contribuisce ad aumentare la forza di penetrazione del dente, che riesce ad ottenere, in molteplici contesti di roccia fratturata, fino a cinque volte la produttività di un martello demolitore standard.
Il circuito idraulico dello Xcentric Ripper XR è perfettamente isolato e non può essere danneggiato dall'esterno da polvere, acqua, sporcizia o altre sostanze, quindi può funzionare senza problemi anche nelle condizioni operative più complicate. È possibile inoltre utilizzarlo in tutti i tipi di lavoro subacqueo, come ad esempio all'interno di porti, canali o in mare aperto, senza la necessità di svolgere interventi di preparazione speciali.

È stata lanciata poi ad Aprile 2017 una nuova serie evoluta del ripper idraulico, denominata "XR Mining Series" in quanto, grazie ad una buona produttività, trova largo impiego in cave e miniere. In questi contesti garantisce il comfort dell'operatore e l'affidabilità del macchinario, che può lavorare anche 3 turni al giorno, 7 giorni su 7.
La tecnologia alla base di questo ripper è la medesima della serie XR ma il meccanismo di funzionamento è stato migliorato al fine di aumentare la produttività e l'affidabilità, con una maggiore energia di impatto e una minore frequenza dei colpi.
Di seguito si riportano alcuni vantaggi della nuova serie rispetto alla prima:

- più potenza: i componenti eccentrici della trasmissione determinano una maggiore erogazione di potenza sul dente, garantendo al ripper prestazioni superiori rispetto alla prima serie, anche su fronti rocciosi non particolarmente fratturati;
- più energia per colpo: la maggiore potenza è frutto di un incremento sostanziale dell'energia erogata ad ogni colpo, mentre la frequenza dei colpi, a parità di peso del ripper, è diminuita, parallelamente alla minore richiesta di olio, a beneficio dell'idraulica della macchina operatrice e soprattutto della stabilità per le minori vibrazioni indotte. La maggiore energia per colpo deriva da masse eccentriche di maggiori dimensioni e dalla corsa più lunga del braccio di supporto del dente;
- più robustezza: il braccio del ripper è stato rimodellato e rinforzato;
- più visibilità: la struttura è stata oggetto di migliorie estetiche per garantire all'operatore maggior comfort nell'operatività di cantiere e nelle operazioni di controllo/manutenzione.

Il modello di ripper scelto è stato lo XR 42 (vedi Figura 63), le cui specifiche tecniche sono indicate in Tabella 17.

Tabella 17: Specifiche tecniche Xcentric Ripper XR 42

Peso escavatore racc.to (t)	**Peso operativo** (kg)	**Pressione olio** (bar)	**Portata olio** (l/min)	**Frequenza** (1/min)
32-40	4˙200	240	200	1˙100

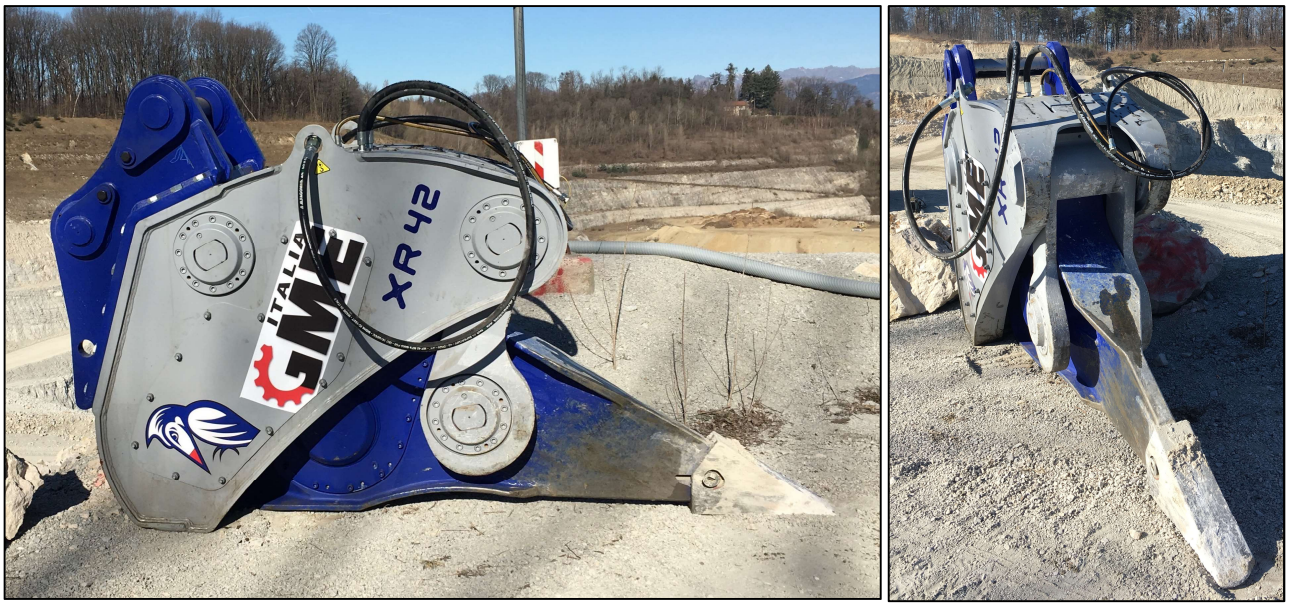


Figura 63: Xcentric Ripper XR 42

4.2.2. Prove di utilizzo

Prima di utilizzare direttamente il ripper per lo scopo prefissato, è stato necessario procedere con alcune prove di produttività dello stesso, in modo da verificarne la compatibilità con le specifiche caratteristiche del sito.

Sono stati quindi presi in considerazione tre punti della cava in cui effettuare le prove (vedi Figura 64) e i risultati, in termini di produttività, sono riportati in Tabella 18.
Il punto di attacco B (vedi Figura 65) si trovava a quota 330 m s.l.m. ed era caratterizzato da un materiale abbastanza compatto, dove il ripper ha avuto problemi ad avanzare e quindi la produttività ottenuta è stata bassa. Il punto di attacco C (vedi Figura 66), a quota 335 m s.l.m., invece presentava un calcare più sfogliato, di conseguenza il ripper è riuscito ad operare bene e qui si sono ottenuti dei buoni valori di produttività. Il punto di attacco A (vedi Figura 67) si trovava a quota 315 m s.l.m. e rappresentava un punto di contatto tra due volate non perfettamente combacianti, qui il ripper ha funzionato abbastanza bene.

Tabella 18: Risultati delle prove di utilizzo del ripper

Giorno	**Punto**	**Tempo** (h)	**Volume** (m^3)	**Peso** (t)	**Produttività** (t/h)
18-feb	C	3	39	98	32,5
	B	1	9	23	22,5
22-feb	B	1	8	20	20,0
6-mar	A	3,5	40	100	28,6
13-mar	B	1,5	13	33	21,7
14-mar	B	2,5	20	50	20,0
	C	0,5	7	18	35,0
	B	1,75	15	38	21,4
19-mar	C	3,6	45	113	31,3
5-apr	C	0,5	7	18	35,0

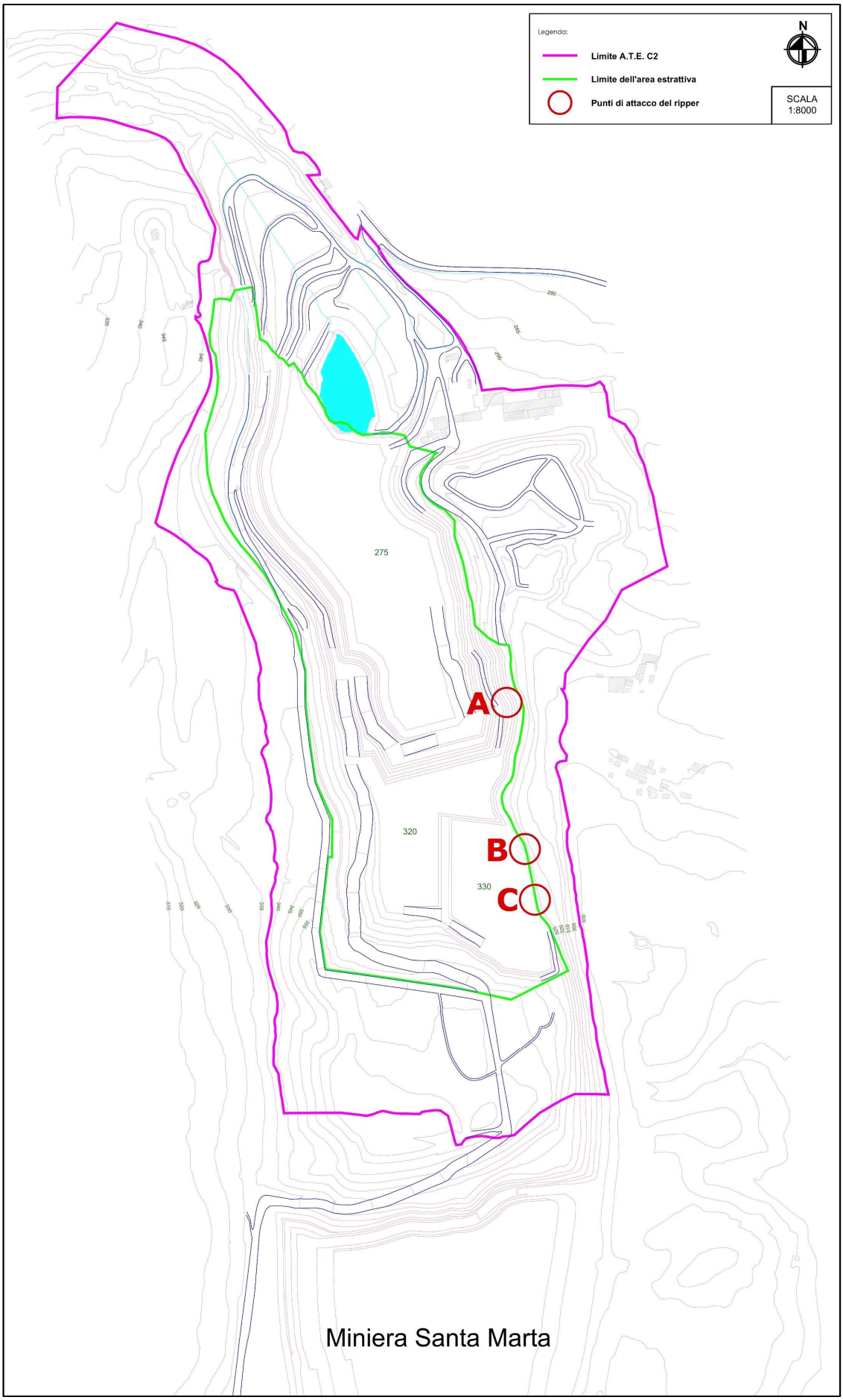


Figura 64: Punti di attacco de ripper



Figura 65: Punto di attacco B del ripper



Figura 66: Punto di attacco C del ripper



Figura 67: Punto di attacco A del ripper

Al termine di queste prove di utilizzo iniziali si è giunti ad alcune considerazioni:

- Il ripper dovrebbe essere regolarmente affiancato da un escavatore che si occupi di sistemare il piano di movimentazione della macchina e/o di allontanare il materiale disgregato; per limiti imposti dal parco macchine invece lo stesso ripper si è occupato di entrambe le operazioni durante la fase di attacco e questo ha portato ad un aumento dei tempi di utilizzo e quindi ad una diminuzione della produttività.
- Le caratteristiche geologico-strutturali della cava non la rendono completamente idonea ad essere coltivata con il ripper, in particolare nelle zone in cui il calcare risulta più compatto il macchinario avanza con difficoltà, realizza numerosi colpi a vuoto, risultano blocchi di dimensioni eccessive ed il ripper si usura velocemente, con conseguenti rotture dei componenti. In queste situazioni si è reso necessario l'uso del martello demolitore standard per riuscire ad attaccare il materiale.
- Il ripper lavora più per strappo che per taglio e pertanto non si riesce ad avere un'ottima finitura della parete, nonostante questa risulti più sana e di conseguenza meno soggetta ai fenomeni di degrado superficiale causati dalle piogge.
- Se si usa il ripper in maniera continuativa il rumore può rappresentare un problema di impatto ambientale.

Quindi il ripper riesce a funzionare bene solo quando si ha un materiale già sufficientemente fratturato, e in questi casi si sono anche ottenuti dei valori interessanti di produttività, mentre il martello demolitore standard lavora bene praticamente sempre.

4.2.3. Test sul fronte instabile

Il test su un fronte instabile era stato preventivato al fine di valutare il minor danneggiamento causato dal ripper alla roccia che rimane in posto e quantificare il miglioramento della situazione rispetto all'uso del solo esplosivo, in termini di bontà della parete finale. Tuttavia, in seguito alla frana di aprile si è definitivamente compreso che questi eventi sono causati dalla disposizione a franapoggio degli strati di calcare e dal loro stato di fratturazione, caratteristiche sulle quali non si può intervenire direttamente. Quindi una parete più sana in superficie non permetterebbe comunque di evitare tali fenomeni, che prima o poi si innescherebbero in qualsiasi caso, e si è deciso di non effettuare il test su un fronte finale sensibile in quanto lo scavo mediante il ripper non rappresenta una soluzione definitiva del problema.

Il ripper è stato comunque mantenuto nel parco macchine della cava al fine di essere utilizzato nei casi in cui il calcare in posto risulti particolarmente fratturato (in queste situazioni si sono ottenuti interessanti valori di produttività) o quando si realizzano volate esposte sul ciglio di cava, per evitare rischi di proiezioni pericolose all'esterno dell'ambito territoriale.

5. Conclusioni

La coltivazione di calcare presso la cava Faraona della Holcim di Comabbio ha avuto alcune complicazioni negli ultimi due anni, a causa di una serie di eventi franosi avvenuti sul fronte Est dell'area. Le cause all'origine di tali fenomeni sono da imputare alla disposizione a franapoggio degli strati di roccia e alla presenza di sottili livelli marnoso-argillosi, che hanno isolato determinati volumi in condizioni di potenziale scivolamento, mentre la causa scatenante è sempre stata una intensa precipitazione.

Un primo tentativo di soluzione del problema è consistito nell'adottare per i fronti finali di cava una geometria più cautelativa, con una maggiore larghezza dei gradoni e una minore inclinazione delle pareti. Tuttavia, ciò non ha dato gli effetti sperati, in quanto gli eventi franosi non sono cessati.
Si è quindi tentata l'introduzione di una modifica della tecnica di scavo, passando dall'esplosivo ad una macchina specifica, ossia un ripper eccentrico installato sul braccio dell'escavatore e utilizzato negli ultimi metri prima di raggiungere il fronte di abbandono. L'idea era quella di limitare il disturbo sulla roccia destinata a rimanere in posto, rendendola così più stabile.
Parallelamente sono state commissionate indagini di dettaglio sull'area in esame, al fine di comprendere meglio le caratteristiche del sottosuolo. Tali indagini hanno consentito di verificare che i livelli marnosi-argillosi, che tendono a generare possibili piani di scivolamento, sono concentrati nei primi metri di sottosuolo, mentre il problema è meno evidente in profondità.
I risultati dei sondaggi, unitamente al fatto che il ripper non ha consentito di ottenere valori soddisfacenti di produttività , dimostrandosi non idoneo all'impiego in una cava con queste caratteristiche, hanno portato la Società a richiedere un'ulteriore variante al progetto di coltivazione.

In particolare, la nuova proposta (Figura 68) prevede: un'altezza dei gradoni di 5 m, una larghezza di 5 m, un'inclinazione dei fronti di circa 80° e una berma di 5 m ogni due gradoni. La stabilità sarà tuttavia assicurata da una controscarpa in materiale sciolto (terra o terra mista a roccia, con successivo rinverdimento), che ricoprirà completamente i gradoni, in modo da ottenere un'inclinazione costante di circa 40°. In questo modo gli strati sarebbero bloccati al piede e meno soggetti alla degradazione superficiale causata dagli agenti atmosferici.
Questa morfologia è prevista per i gradoni alle quote 320, 310 e 300 m s.l.m.

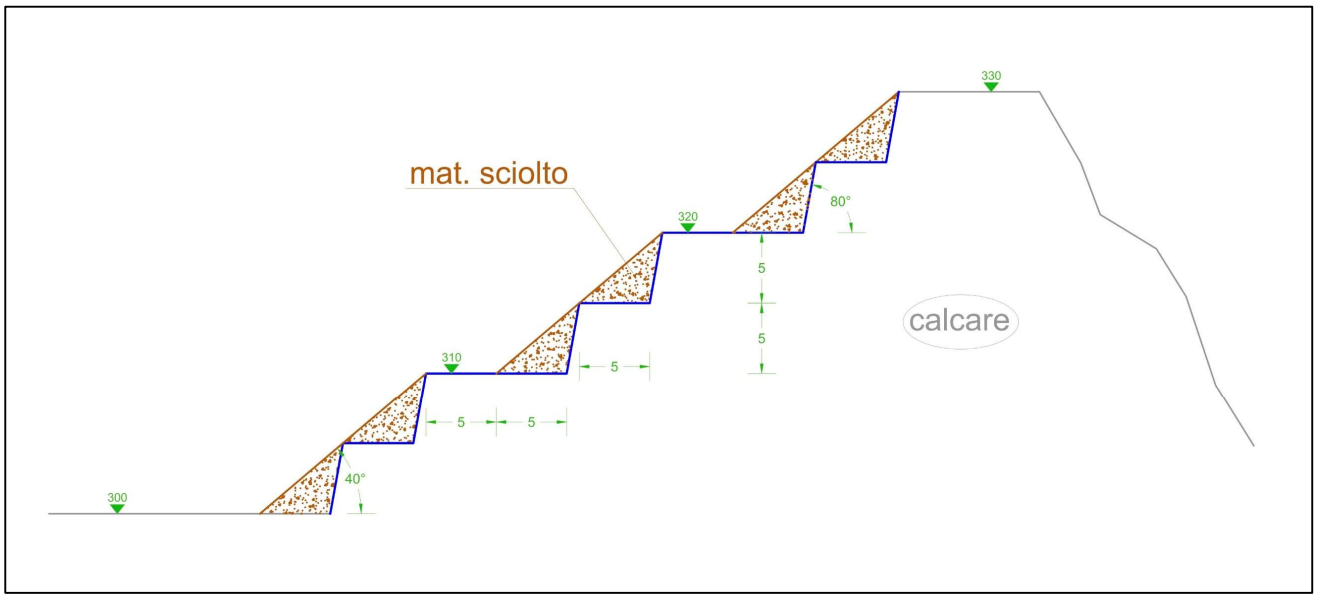


Figura 68: Configurazione di scavo con controscarpa in materiale sciolto

Allo stesso tempo, la Società sta facendo richiesta per l'autorizzazione all'abbassamento della quota superiore di cava della parete Est da 330 a 310 o 320 m s.l.m. (vedi Figura 69), sfruttando i risultati dei sondaggi relativamente ai livelli marnoso-argillosi: essendo questi concentrati negli strati superficiali, con un ciglio sommitale più basso probabilmente essi non rappresenterebbero più un problema, in quanto se ne incontrerebbero in minore quantità; in tal modo potrebbero essere perseguiti una maggiore stabilità dell'area e un più elevato recupero di calcare.

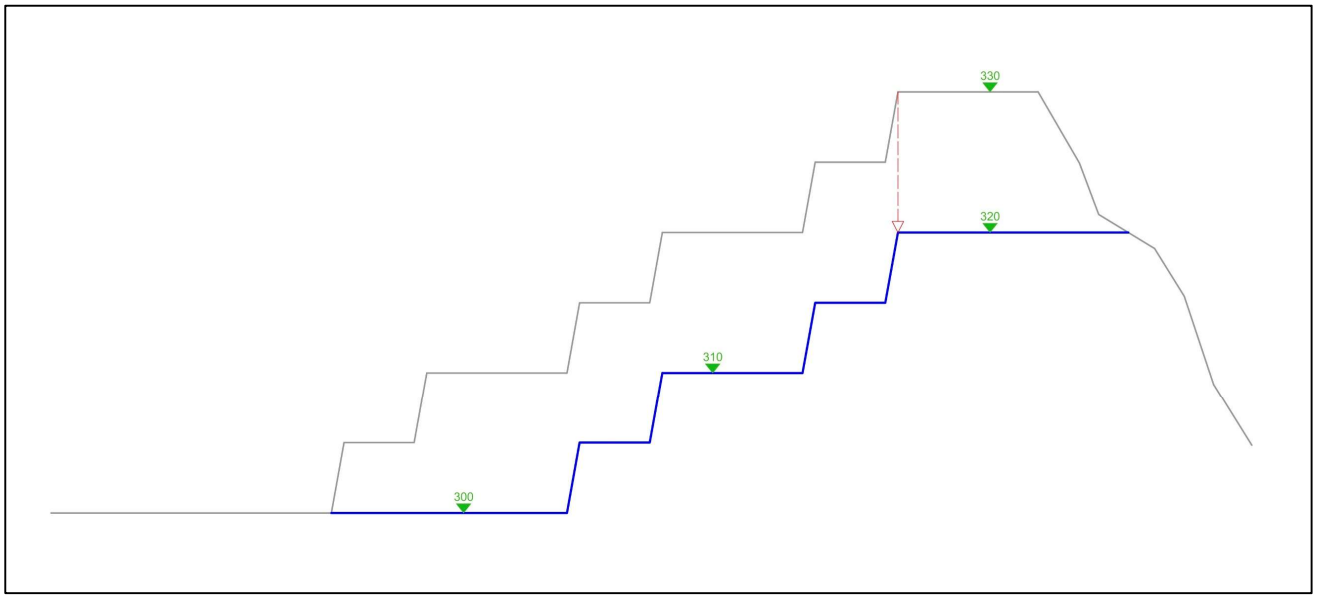


Figura 69: Configurazione di scavo con abbassamento della quota superiore di cava

Le due proposte suggerite permetterebbero di risolvere il problema della stabilità dei fronti e di ottenere una buona finitura delle pareti, scarpate meno soggette agli eventi atmosferici e un migliore rinverdimento dell'area. Esse sono in corso di valutazione, sia per discutere i risultati operativi sia per tenere conto degli aspetti autorizzativi, e in caso positivo, verranno attuate nei prossimi mesi.

Bibliografia

- Prof.ssa M. Cardu, dispense del corso “Ingegneria degli scavi”, 2016.
- Prof.ssa M. Cardu e prof. C. Oggeri, dispense del corso “Cantieri per infrastrutture”, 2017.
- Holcim (Italia) S.p.A., Progetto attuativo dell’ambito territoriale estrattivo ATE c2, “Relazione geologica ed idrogeologica, Relazione tecnica sulla coltivazione e recupero ambientale”, 2011.
- Studio Griffini, Polo 6 – ATE c2 – Cava Faraona - Ternate (VA), Caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche del fronte orientale, “Nota tecnica sopralluogo del 18 Giugno 2018, Proposta per avanzamento scavi provvisionali”.
- Studio Griffini, Polo 6 – ATE c2 – Cava Faraona - Ternate (VA), Monitoraggio periodico condizioni di stabilità dei fronti in fase di coltivazione, “Rapporto di sintesi Dicembre 2018”.
- Provincia di Varese, “Piano Cave”, 2008.
- SEI EPC Italia SpA, “Gli esplosivi industriali”, 2016.
- T. S. Spathis, D. P. Gribble, A. C. Torrance e T. N. Little, “11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting”, 2015.
- N. Pennisi, “Tecniche di abbattimento controllato in una cava a cielo aperto per l’ottimizzazione della profilatura dei fronti di scavo”, Tesi di laurea, 2018.

Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura dell'elaborato con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine, anche se a me spetta la responsabilità nel caso di errori contenuti in questa tesi.

Ringrazio in primis Luca Ferrando, Franco Giacinto, Marcelino Linares e la professoressa Marilena Cardu per l'immensa disponibilità, l'idea dell'argomento e l'aiuto nel reperimento di dati e informazioni.
Vorrei poi ringraziare i colleghi e gli amici che mi hanno incoraggiato o che hanno speso parte del proprio tempo per leggere e discutere con me le bozze del lavoro.
Un ringraziamento particolare va infine alle persone a me più care: la mia fidanzata Jessica, la mia famiglia ed i miei amici, perché lo studio non è tutto nella vita.