



*Il Commissario Straordinario  
delegato all'attuazione degli interventi  
di mitigazione del rischio idrogeologico*



Regione  
Lombardia



Parco Regionale  
Valle del Lambro

Comune di Costa Masnaga (LC)



Oggetto

UTILIZZAZIONE DELLA CAVA DI BRENNO QUALE VASCA DI LAMINAZIONE  
DEL TORRENTE BEVERA DI MOLTENO - COMUNE DI COSTA MASNAGA (LC)

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Progettisti -Timbri e Firme



PARCO REGIONALE DELLA  
VALLE DEL LAMBRO

Via Veneto 19  
TRIUGGIO

web: [www.parcovalldelambro.it](http://www.parcovalldelambro.it)  
web: [www.progettolambro.it](http://www.progettolambro.it)

Consulenze

Progettazione Idraulica: prof. ing. Maurizio ROSSO - ing. Santo LA FERLITA

Progettazione Strutturale: ing. Piergiorgio LOCATELLI

Consulenza Geotecnica: prof. ing. Claudio DI PRISCO

Consulenza Ambientale: arch. Moris LORENZI

VERSIONE N°

DATA

DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI

Elaborato

0

APRILE 2015

EMISSIONE

R04

# **CONSULENZA GEOTECNICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA "CAVA DI BRENNO"**

Aggiornamento del progetto definitivo



Versione doc. 1.1

Data doc. 8 aprile 2015

***prof. ing. Claudio G. di Prisco***

Ordinario di Geotecnica – Politecnico di Milano

Via Plinio, 48 – 20129 Milano

Tel 02 29518080

[claudio.di\\_prisco@polimi.it](mailto:claudio.di_prisco@polimi.it)

***ing. Marco M. Secondi***

Via Alfieri, 1 – 20090 Trezzano s/N (MI)

Tel. 02 49434631

[secondi@studioricercheambientali.com](mailto:secondi@studioricercheambientali.com)



## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>Pag. 3</b>
<b>2</b>	<b>Attività e documentazione</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Definizione del modello geologico-geotecnico</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Soluzioni progettuali preliminari proposte</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Progetto di sistemazione definitivo</b>	<b>11</b>
<b>5.1</b>	<b><i>ZONA A-Fronte SUD, Zona OVEST</i></b>	<b>13</b>
<b>5.2</b>	<b><i>ZONA B-Fronte SUD, Zona EST</i></b>	<b>16</b>
<b>5.3</b>	<b><i>ZONA C-Fronte NORD</i></b>	<b>16</b>
<b>5.4</b>	<b><i>Fronte OVEST della miniera</i></b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Modifiche al progetto definitivo di recupero</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Opere di impermeabilizzazione dei fronti</b>	<b>23</b>
<b>7.1</b>	<b><i>Impermeabilizzazione mediante resine chimiche</i></b>	<b>23</b>
<b>7.1.1</b>	<b>Prodotti considerati</b>	<b>25</b>
<b>7.1.2</b>	<b>Prove di laboratorio</b>	<b>27</b>
<b>7.1.2.1</b>	<b><i>Recupero del materiale in sito</i></b>	<b>27</b>
<b>7.1.2.2</b>	<b><i>Prove di imbibizione</i></b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>Monitoraggio dei fronti di miniera</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Osservazioni conclusive</b>	<b>34</b>





**prof. ing. Claudio di Prisco**

Ordinario di Geotecnica – Politecnico di Milano

Via Plinio,48 – 20129 Milano

Tel 02 29518080

e-mail claudio.di.prisco@polimi.it

**ing. Marco M. Secondi**

Via Alfieri, 1 – 20090 Trezzano sul Naviglio (MI)

Tel. 3335799606

e-mail secondi@studioricercheambientali.com

**CONSULENZA GEOTECNICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA "CAVA DI BRENNO"-Aggiornamento**

---

Questa pagina è intenzionalmente lasciata bianca.



## 1. Introduzione

Questo documento è stato redatto su incarico dell'Ente Parco Regionale della Valle del Lambro (nel seguito "Ente") dal Prof. Claudio Giulio di Prisco, professore Ordinario di Geotecnica presso il Politecnico di Milano, residente in Milano in via Plinio 48.

La consulenza geotecnica riguarda il progetto di riutilizzo e sistemazione dell'area di miniera "Cava di Brenno" e concerne in particolare la stabilità delle scarpate della cava, a fronte del suo impiego quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno.

Come già individuato all'interno dei precedenti documenti relativi al problema in oggetto, l'incarico si è articolato in cinque fasi:

- prima fase: esame critico del documento progettuale di sistemazione proposto dall'Ente. dal titolo "Relazione Generale", coordinatore e progettista ing. D. Giuffrè (Progetto Preliminare Doc.01 del 14/03/2014), e degli allegati grafici di progetto versione gennaio e Febbraio 2014.
- Seconda fase: definizione di possibili criticità geotecniche residue concernenti la stabilità dei fronti di scavo a valle di quanto proposto all'interno del progetto definitivo a cura dello Studio Griffini S.r.l.
- Terza fase: individuazione, in via sintetica, di soluzioni alternative utili alla progettazione finale dell'opera, e definizione di eventuali opere integrative da realizzare.
- Quarta fase: analisi del sistema di impermeabilizzazione spondale proposto e sua eventuale ottimizzazione.
- Quinta fase: definizione di un sistema di monitoraggio dei fronti di scavo.

L'incarico è stato espletato in stretto e costante rapporto con i seguenti soggetti:

- Ufficio Tecnico del Parco Valle Lambro (in particolare con il responsabile del procedimento), che ha fornito le necessarie indicazioni per lo svolgimento dell'incarico;
- Dipartimento di Riqualificazione Fluviale del Parco Valle Lambro;
- Studio Griffini S.r.l., che ha progettato le opere di stabilizzazione dei versanti e le opere di recupero ambientale;
- Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l., che ha progettato le opere idrauliche.

## 2. Attività e documentazione

A seguito degli incontri e dei colloqui resi necessari fra gli Scriventi e i progettisti, è stato possibile il reperimento della documentazione progettuale, oltre che la definizione delle criticità rilevate e delle

possibili soluzioni. Quanto discusso e presentato nei paragrafi che seguiranno, è il risultato dell'analisi dei seguenti documenti:

- "Relazione Generale" relativa al progetto preliminare di utilizzazione della cava di Brenno quale invaso di laminazione (data 14/03/2014), contenente le scelte progettuali individuate dall'Ente e volte alla riqualificazione dell'area ad invaso di laminazione;
- relazione di consulenza geotecnica redatto dagli Scriventi nel settembre 2010 ed aggiornata in data 05/05/2014, dal titolo "Consulenza Geotecnica Relativa al Progetto di Riqualificazione dell'area di Miniera Cava di Brenno" (individuazione di possibili criticità geomeccaniche riguardanti la stabilità dei fronti di coltivazione della miniera). Nel seguito, tale documento sarà individuato come "Relazione di Consulenza";
- relazione redatta dallo Studio Griffini S.r.l. intitolato "Miniera di Brenno della Torre Comune di Costa Masnaga (LC) – Stabilizzazione Fronti di Scavo Relitti – Progetto Definitivo – Relazione Generale e Relazione di Calcolo", Rev. A del 20/11/2014, relativo alla progettazione delle opere di sistemazione e stabilizzazione dei fronti di miniera;
- relazione redatta dallo Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l. intitolata "Utilizzazione della Cava di Brenno quale Vasca di Laminazione del Torrente Bevera di Molteno-Comune di Costa Masnaga (LC) – PROGETTO DEFINITIVO – Relazione Illustrativa Generale", ver. 0 del dicembre 2014, contenente indicazioni illustrative generali del progetto e disamina delle opere idrauliche progettate;
- elaborati grafici progettuali (BRE\_PRG Var A6 RM p.dwg, Progetto di Sistemazione Definitiva, vers. Gennaio 2014 e Tav. Sezioni\_Altern\_6A.dwg, contenenti le sezioni topografiche, vers. Febbraio 2014);
- elaborati progettuali delle opere di stabilizzazione redatti da Studio Griffini S.r.l. ed aventi codici da 077-DX-001-A a 077-DX-006-A;
- elaborati progettuali delle opere di idrauliche redatti da Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l. ed aventi codici T04, T05, T06, T08, T09, T11 e T12.

### **3. Definizione del modello geologico-geotecnico**

Si richiamano qui brevemente gli aspetti salienti emersi durante le precedenti fasi della consulenza geotecnica, sulla base dei quali sono state basate le scelte progettuali relative alla messa in sicurezza dei fronti di scavo:



CONSULENZA GEOTECNICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA "CAVA DI BRENNO"-Aggiornamento

- la formazione geologica è prevalentemente costituita da una successione di calcari in strati di spessore centimetrico/decimetrico, con alternanza di fogliazioni marnose, ricoperti da materiale morenico immerso in una matrice limoso-argillosa.
- La microstruttura del materiale calcareo-marnoso è caratterizzata dalla successione di piani di sedimentazione più resistenti e fundamentalmente insensibili all'azione dell'acqua e piani a matrice argillosa (argillitica) più sensibili al processo di imbibizione.
- I parametri geomeccanici caratteristici dei materiali coinvolti (coesione ed angolo di attrito), sono fortemente influenzati dal grado di saturazione della matrice, ovvero dalla possibilità che il futuro invaso di laminazione induca un imbibimento dei fronti.
- La presenza di una piega sinclinale avente vergenza verso Sud permette di individuare quanto illustrato in Figura 1.

Il comportamento meccanico alla meso-scala del materiale in oggetto richiede un'attenta descrizione geo-strutturale dei piani di stratificazione in relazione alla giacitura dei fronti di scavo della cava. A tal proposito e con riferimento nuovamente alle immagini di Figura 1, è possibile affermare che essenzialmente tre sono a grandi linee le geometrie di riferimento:

- ZONA A – fotografie D/E/F: pareti sub-verticali e piani di stratificazione a reggipoggio. Meccanismo di rottura più probabile: flessionale.
- ZONA B – fotografie A/B: pareti sub-verticali e piani di stratificazione a franappoggio. Data l'inclinazione elevata dei piani di stratificazione, la rottura per taglio è improbabile; il meccanismo di rottura più probabile è quello di instabilità euleriana.
- ZONA C – fotografia C: pareti sub-verticali e piani di stratificazione con normale ortogonale alla parete stessa. È escluso ogni processo di rottura coinvolgente i piani di debolezza.

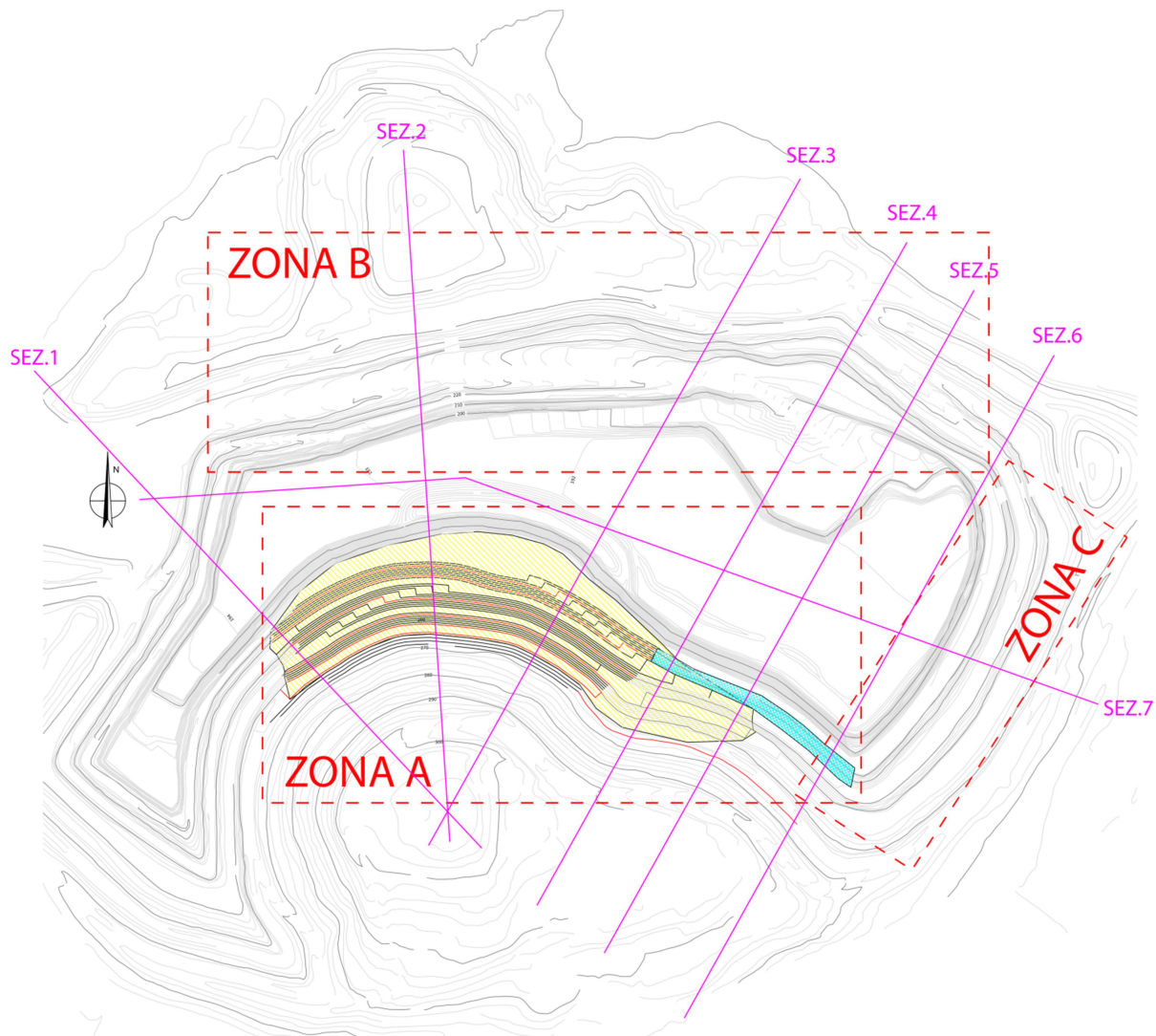
La zona Ovest della cava (fotografie H/G), non è stata, al contrario delle precedenti, tenuta in considerazione dal punto di vista della stabilità geotecnica poiché, al momento delle redazioni della "Relazione di Consulenza", i fronti interessati non sarebbero dovuti essere interessati dalla presenza dell'invaso di laminazione. ***Al contrario, in sede di progettazione definitiva e come verrà discusso nei prossimi paragrafi, sarebbe stato previsto che anche tale area serva quale porzione di invaso di laminazione.***





A ciascuna delle zone precedentemente definite (e schematizzate in Figura 2), oltre che ad una possibile rottura generalizzata per taglio, è associabile un preciso fenomeno di instabilità locale. Rimandando ogni dettaglio alla Relazione di Consulenza, è quindi stato schematicamente possibile suddividere l'area di miniera nelle zone seguenti:

- ZONA A – Meccanismo di rottura più probabile: flessionale.
- ZONA B – Meccanismo di rottura più probabile: instabilità euleriana.
- ZONA C – È escluso ogni processo di rottura coinvolgente i piani di debolezza.



**Figura 2: soluzione di progetto per la sistemazione della miniera di Brenno (fonte Progetto di Sistemazione Definitiva-Variante A1, Tav. A1.4, Gennaio 2014).**



## 4. Soluzioni progettuali preliminari proposte

Nella precedente Relazione di Consulenza, gli Scriventi hanno suggerito quanto segue:

- innalzamento del fondo cava così da limitare il processo di degrado al piede delle scarpate indotto dall'eventuale imbibimento legato alla presenza del futuro invaso,
- riprofilatura delle scarpate maggiormente suscettibili di instabilità, riducendone la pendenza a valori prossimi a 20°, con contestuale innalzamento del fondo della miniera, al fine di garantire la stabilità globale dei fronti;
- progettazione di interventi di stabilizzazione dei fronti con ridefinizione della geometria delle scarpate e delle condizioni idrauliche al contorno.

Le indicazioni fornite si sarebbero tradotte essenzialmente in:

- impermeabilizzazione delle pareti, mediante spritz-beton armato;
- parziale riempimento del fondo cava dall'attuale quota 190 m.s.l.m., sino alla quota 203 m.s.l.m. e realizzazione di scarpate artificiali aventi pendenza circa pari a 20° lungo i fronti Nord e Sud (Zone A e B), al fine di garantire la stabilità globale dei fronti eventualmente non soddisfino i criteri di sicurezza;
- individuazione, in fase di progetto definitivo, delle opere di stabilizzazione da adottare per minimizzare le possibili instabilità coinvolgenti i piani di debolezza delle Zone A e B (instabilità flessionali ed euleriane, rispettivamente);
- realizzazione di due scarpate artificiali, aventi inclinazioni pari a 20°, nelle zone Est ed Ovest della miniera, con creazione di spiagge artificiali alla quota 236 m.s.l.m.;
- contestuale possibilità di invaso fino alla quota 236 m.s.l.m.

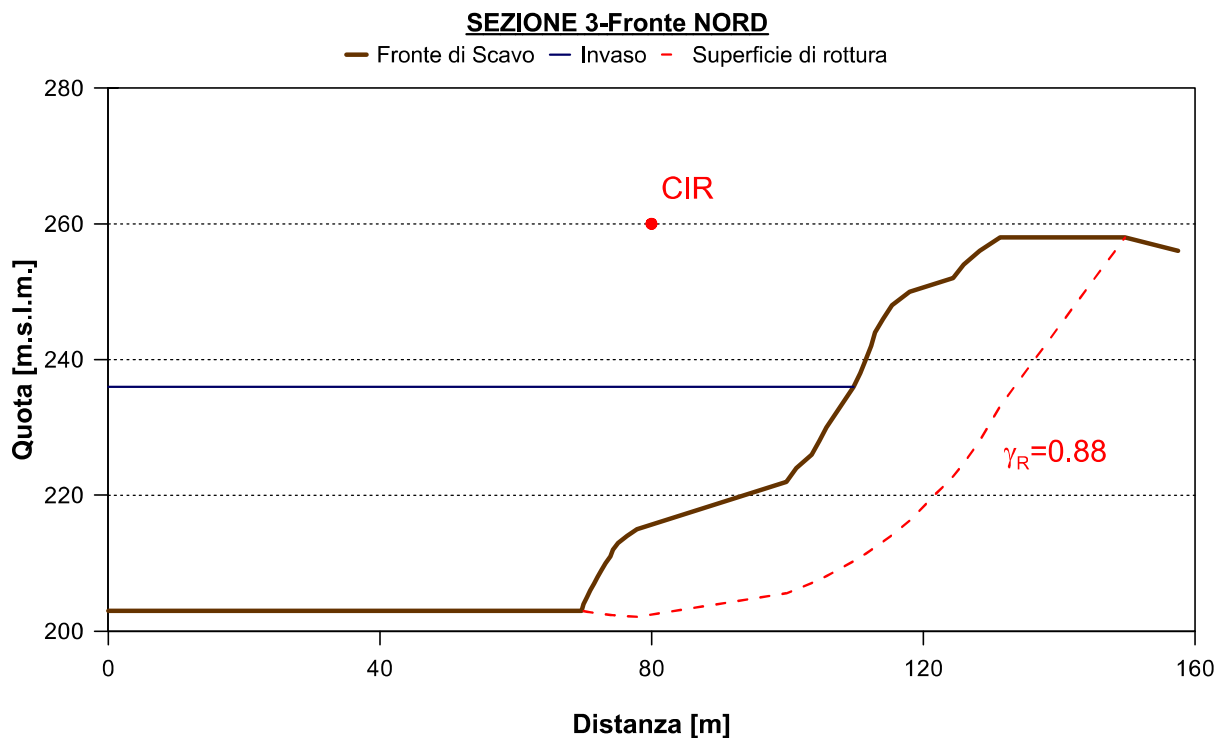
Particolare attenzione era riservata agli specifici interventi di stabilizzazione delle zone A e B di Figura 2, e nel seguito riassunti.

- ZONA A – rottura flessionale, stratificazione a reggipoggio, realizzazione di impermeabilizzazione con spritz-beton, con riprofilatura generalizzata dei fronti al fine di diminuirne la pendenza media, agendo, qualora le richieste analisi con modelli agli elementi discreti ne evidenzino la necessità, anche con locali interventi attivi di stabilizzazione.
- ZONA B – instabilità euleriana, stratificazione a franappoggio, realizzazione di impermeabilizzazione con spritz-beton, con riprofilatura localizzata dei fronti al fine di diminuirne la pendenza media (ove ritenuto opportuno dal progettista), agendo anche con locali interventi attivi di stabilizzazione.

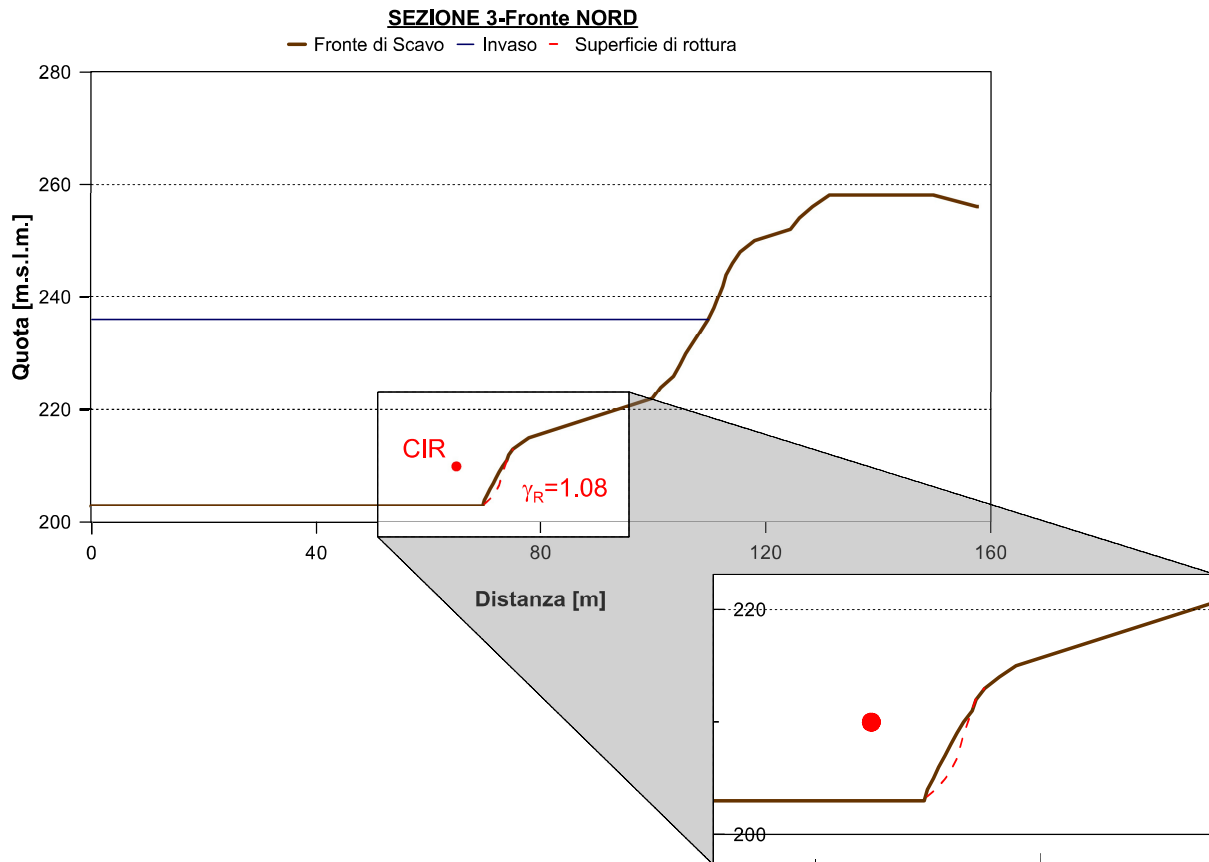
**CONSULENZA GEOTECNICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA "CAVA DI BRENNO"-Aggiornamento**

Per quanto relativo a possibili rotture generalizzate per taglio dei fronti di coltivazione, all'interno della Relazione di Consulenza si osservava che, dall'applicazione degli approcci di Normativa, per le sezioni considerate ed impiegando i parametri geomeccanici per il materiale imbibito (supponendo pertanto assenza o degrado del sistema di impermeabilizzazione):

- ZONA A: risulta stabile sia in termini globali che per rotture localizzate;
- ZONA B: sono possibili rotture globali e localizzate per taglio, le quali dovranno pertanto essere attentamente considerate in fase di progetto definitivo. Ci si riferisce in particolare al caso esemplificativo relativo alla Sezione n.3-Fronte NORD, individuata all'interno della Relazione di Consulenza e qui riproposta:



**Figura 3: SEZ.3 NORD, superficie di rottura globale (sistemazione di progetto-Gennaio 2014).**



**Figura 4: superficie di rottura di una scarpata della SEZ.3 NORD, posta al di sotto della quota di invaso ed in assenza di riprofilatura.**

Pur consci che l'impiego di parametri geomeccanici fortemente cautelativi potrebbe essere irrealistico, si era comunque suggerita la possibilità di considerare una riprofilatura dei fronti atta a minimizzare il rischio di rotture quali quelle sopra descritte.

Lungo le scarpate proprie della Zona C, in fase preliminare non interessata dall'invaso, si suggeriva, vista l'esclusione di possibili fenomeni di instabilità legati ai piani di debolezza, di introdurre mere prescrizioni relative alle velocità di svuotamento dell'invaso, atte ad evitare possibili pericolosi processi di filtrazione diretti dalle scarpate, verso l'invaso stesso.

Infine, si sottolinea che, in sede di progetto definitivo:

- **non è stato previsto il parziale riempimento del fondo cava dall'attuale quota 190 m.s.l.m., sino alla quota 203 m.s.l.m.;**
- **non verranno realizzate le due spiagge artificiali nelle zone Est ed Ovest della miniera.**

Di conseguenza in questa relazione sarà considerata anche la zona Ovest, precedentemente non interessata dell'invaso, individuando una possibile soluzione di progetto relativa alla sua messa in sicurezza.

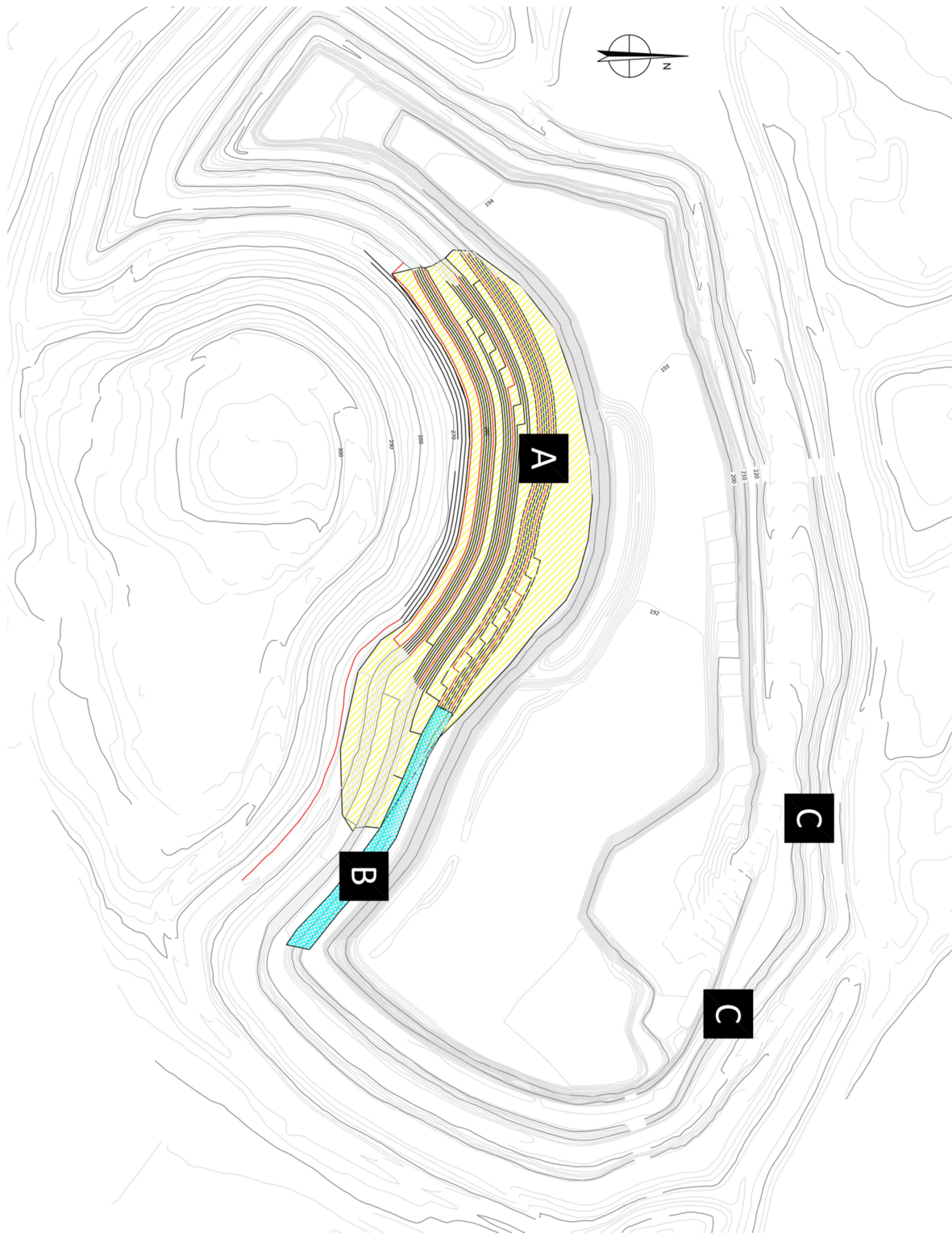
## 5. Progetto di sistemazione definitivo

In questo paragrafo saranno esaminati gli interventi proposti nel progetto definitivo, focalizzando l'attenzione sulle opere di stabilizzazione geotecnica suggerite all'interno della relazione di calcolo a cura dello Studio Griffini S.r.l. intitolata "Miniera di Brenno della Torre Comune di Costa Masnaga (LC) – Stabilizzazione Fronti di Scavo Relitti – Progetto Definitivo – Relazione Generale e Relazione di Calcolo", Rev. A del 20/11/2014.

Per completezza si sottolinea che, dal punto di vista idraulico (si veda Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l. "Utilizzazione della Cava di Brenno quale Vasca di Laminazione del Torrente Bevera di Molteno-Comune di Costa Masnaga (LC) – PROGETTO DEFINITIVO – Relazione Illustrativa Generale", ver. 0), due sono gli aspetti che maggiormente influenzano la progettazione geotecnica:

- ***il volume di invaso richiesto per la laminazione della piena del Bevera è pari a 1060000 m<sup>3</sup>***  
(volume temporaneo di invaso), calcolato a partire dalla quota di invaso del lago permanente (215 m.s.l.m.) e sino alla massima quota di invaso temporaneo (236 m.s.l.m.). La capacità totale d'invaso della miniera, determinata da fondo cava (190 m.s.l.m. circa), sino a quota 236 m.s.l.m. è pari a 1720000 m<sup>3</sup> (ne consegue che il volume del lago permanente è pari a  $1720000 - 1060000 = 660000$  m<sup>3</sup>);
- ***il tempo richiesto per lo svuotamento dell'invaso temporaneo è stato quantificato dai progettisti, in più di un mese.***

Per evitare fraintendimenti nell'assegnazione dei nomi alle differenti zone in cui è stata suddivisa la miniera, nel seguito si farà riferimento alle indicazioni contenute nella relazione di calcolo progettuale redatta dallo Studio Griffini S.r.l., con particolare riferimento all'elaborato grafico 077-DX-001-A "Layout generale", riportato in Figura 5.



**Figura 5: estratto dell'elaborato grafico 077-DX-001-A (Studio Griffini S.r.l.); sono evidenziate tre zone di intervento, rispettivamente A e B (Fronte Sud) e C (fronte Nord).**

Riassumendo quanto proposto dallo Studio Griffini S.r.l., questi sono gli interventi proposti:

- ZONA A-FRONTA SUD, ZONA OVEST: intervento di riprofilatura dei versanti mediante riduzione della pendenza media a mezzo di gradonature aventi inclinazioni locali di  $60^\circ$  e realizzazione di nuove scarpate di base con pendenze pari a circa  $27^\circ$ , a partire da quota 216 m.s.l.m. sino a fondo cava;
- ZONA B-FRONTA SUD, ZONA EST: installazione di sistema di stabilizzazione attivo, tipo rock-nailing con sistema tipo Geobrugg TECCO® e barre di ancoraggio tipo GEWI, da quota 236 m.s.l.m. a quota 216 m.s.l.m.;
- ZONA C-FRONTA NORD: installazione di rete in aderenza con chiodature di ancoraggio.

## 5.1. ZONA A-Fronte SUD, Zona OVEST

Come già discusso, questa zona è potenzialmente interessata da processi di instabilità flessionale. La soluzione progettuale individuata, consiste nella ripulitura preliminare delle aree corticali maggiormente degradate, con successiva esecuzione di una completa riprofilatura dei fronti, a mezzo di gradoni a partire da quota 216 m.s.l.m. sino a quota 260 m.s.l.m. (altezza dei gradoni, 12 m), aventi pendenza locale pari a  $60^\circ$ .

La scelta progettuale permette, anche in base alle analisi eseguite tramite codice di calcolo agli elementi discreti Itasca UDEC v.5.00, di garantire la stabilità dei fronti, riducendone la pendenza media ed eliminando la zona di materiale superficiale detensionato. Occorre a tal proposito osservare che le analisi numeriche condotte dai progettisti sono state svolte applicando un comportamento meccanico perfettamente plastico, mentre i parametri di resistenza introdotti sono valutati in condizioni di picco..

***Pertanto si richiede di effettuare nuovamente le analisi riducendo di opportuni fattori correttivi i parametri relativi alla resistenza del materiale. In alternativa, si dovrebbero eseguire analisi numeriche che tengano conto del processo di softening.***

Alla base di ciascuna sezione individuata dai progettisti, è prevista la realizzazione di scarpate artificiali aventi pendenza pari a  $27^\circ$ , a partire dalla quota di posa del primo gradone (216 m.s.l.m.) sino a fondo cava. Sulla base delle stime progettuali, il volume coinvolto dalla fase di pulitura dei fronti ( $80000 \text{ m}^3$ ), sarà sufficiente per la realizzazione di tali scarpate.

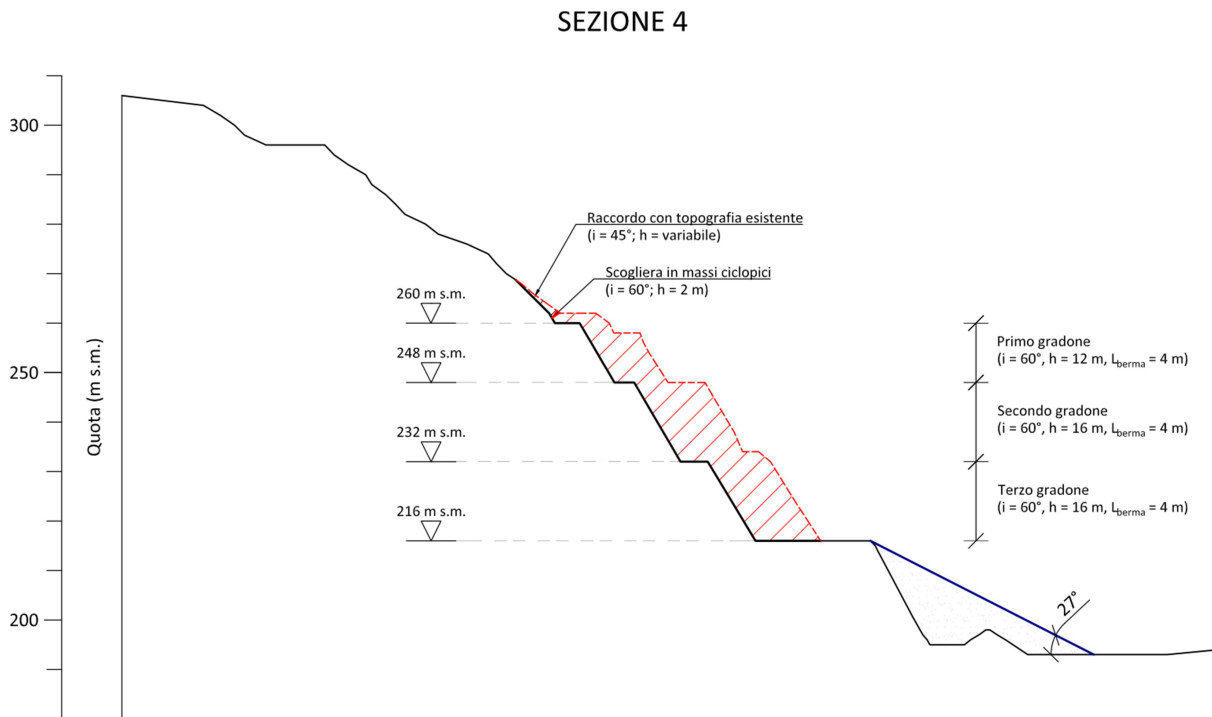
In Figura 6 è rappresentata una sezione tipo dell'intervento progettato.

***La soluzione individuata è in accordo con le raccomandazioni indicate dagli scriventi in fase di progetto preliminare, anche se appare opportuno proporre una modifica progettuale, finalizzata alla***





**minimizzazione dei costi di impermeabilizzazione dei fronti. Si suggerisce di modificare il profilo in corrispondenza del gradone di base a quota 216 m.s.l.m. come suggerito in Figura 7b (in rosso).**



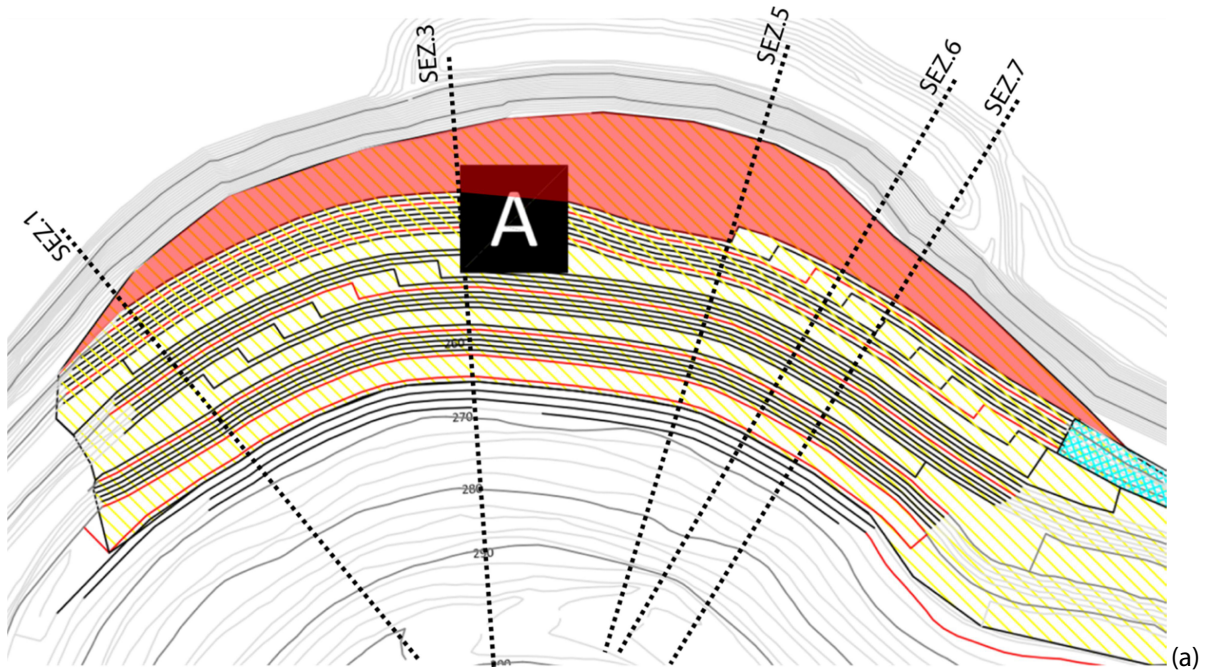
**Figura 6: estratto dell'elaborato grafico 077-DX-003-A (Studio Griffini S.r.l.): sezione tipo di intervento lungo la zona A; in rosso le superfici oggetto di riprofilatura, in blu la scarpata artificiale alla base.**

Occorre sottolineare che la realizzazione dei gradoni con contestuale asportazione di porzioni corticali dei fronti, contribuisce ad aumentare il volume invasabile solo per una quota parte degli 80000 m<sup>3</sup>, essendo calcolati questi ultimi da quota 216 m.s.l.m. sino a quota 260 m.s.l.m. e non sino alla quota massima dell'invaso pari a 236 m.s.l.m..

L'intervento proposto dovrebbe essere realizzato tra le sezioni n.1 e n.7 individuate all'interno dell'elaborato grafico codice 077-DX-00-A ("Sezioni") e riproposte in Figura 7a.

***Il maggior volume effettivamente invasabile a seguito delle operazioni descritte, sarà pertanto valutato solo per le quote interessate dall'invaso di laminazione (da 215 m.s.l.m. a 236 m.s.l.m.). In questa sede, si è proceduto ad una sua stima preliminare, ricavando un volume pari a circa 35000-40000 m<sup>3</sup>.***

Occorre invece notare ***che la realizzazione dell'opera accessoria proposta dagli scriventi a quota 216 m.s.l.m. di cui alla Figura 7, comporterà una riduzione del volume utilizzabile pari a circa 15-20000 m<sup>3</sup>.***



SEZIONE 4

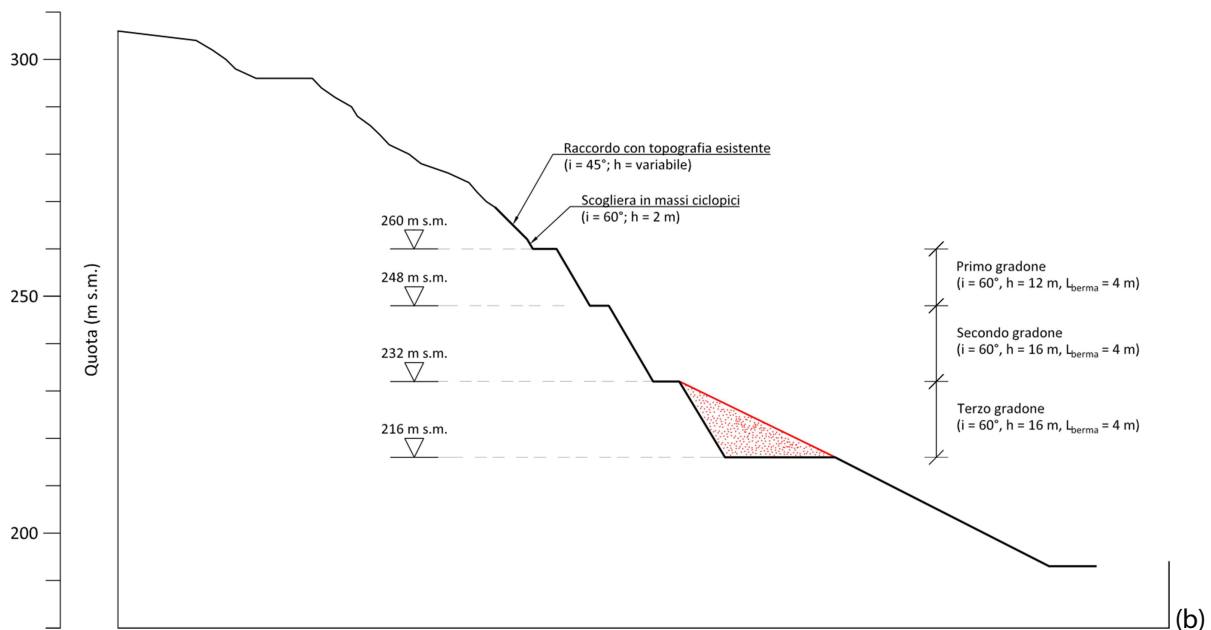


Figura 7: modifica proposta della sezione tipo. Realizzazione di gradoni artificiali in corrispondenza del gradone di base a quota 216 ms.l.m.; (a) vista in pianta; (b) sezione tipo.

*In considerazione del fatto che i progettisti richiedono un volume di laminazione pari a 1060000 m<sup>3</sup>, il maggior volume precedentemente stimato, pari alla differenza fra 35-40000 e 15-20000 m<sup>3</sup> (pari*

***a circa 20000 m<sup>3</sup> ) potrà essere impiegato non per incrementare la capacità d'invaso quanto per l'attuazione delle opere di stabilizzazione che verranno proposte per i fronti Ovest della cava (si veda il § 5.4).***

***Gli Scriventi ritengono necessario che i progettisti valutino più dettagliatamente i volumi coinvolti, tenute in considerazione le modifiche apportate al progetto definitivo. Tale operazione dovrà essere condotta impiegando opportuni programmi di tipo CAD tridimensionali.***

## **5.2. ZONA B-Fronte SUD, Zona EST**

La porzione orientale del fronte Sud, ancorché caratterizzata dai medesimi fenomeni di instabilità descritti per l'area occidentale della Zona B, non presenta una geometria adatta alla realizzazione di interventi di riprofilatura come descritti all'interno del §5.1. I progettisti hanno pertanto individuato una soluzione di stabilizzazione di tipo attivo (rock-nailing) mediante installazione di rete in acciaio ad alta resistenza tipo Geobrugg TECCO® con barre di ancoraggio GEWI. Le verifiche di sicurezza sono state condotte mediante codice di calcolo Itasca UDEC v.5.00, per le quali valgono le medesime considerazioni già discusse all'interno del §5.1.

Il sistema progettato sarà realizzato a partire da quota 216 m.s.l.m. e sino a quota 236 m.s.l.m. ovvero in corrispondenza dell'invaso di laminazione. Per il periodo di attivazione dello stesso, pertanto, il sistema sarà sottoposto all'azione dell'acqua: gli Scriventi ritengono opportuno sottolineare che ***sarà necessario individuare con maggiore attenzione le caratteristiche del sistema anti-corrosione della rete TECCO® e delle sue componenti accessorie, con particolare riferimento alle possibili interazioni chimiche tra l'acqua invasata e i materiali coinvolti.***

***Anche in questa zona lo Studio Griffini S.r.l. prevede sotto quota 216 m.s.l.m. una riprofilatura a 27° dei versanti così da poter evitare un'impermeabilizzazione degli stessi.***

***Gli Scriventi vogliono anche sottolineare che l'intero fronte di intervento, come previsto dai progettisti, dovrà essere preparato con pulizia delle coltri superficiali e disgaggio di eventuali sistemi instabili.***

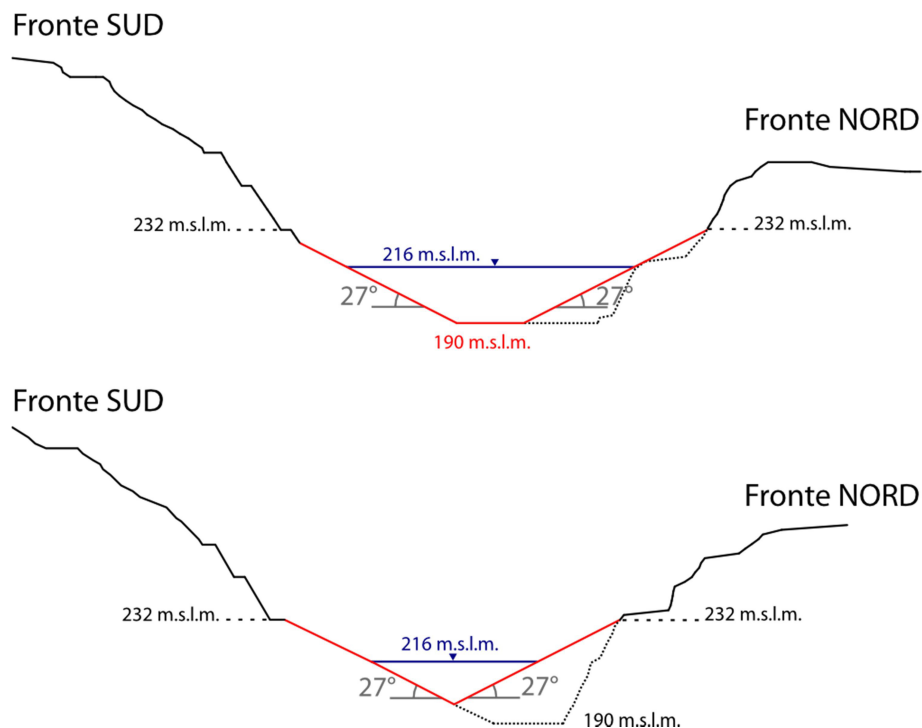
## **5.3. ZONA C-Fronte NORD**

La possibilità di instabilità di elementi snelli di spessore decimetrico (instabilità euleriana) che potrebbe coinvolgere i fronti Nord della miniera, richiede interventi che garantiscano la solidarizzazione delle lastre potenzialmente instabili. I progettisti hanno scelto di realizzare opere di tipo attivo, mediante impiego di reti in acciaio in aderenza con installazione di chiodature di lunghezza non inferiore ad 1.5 m.

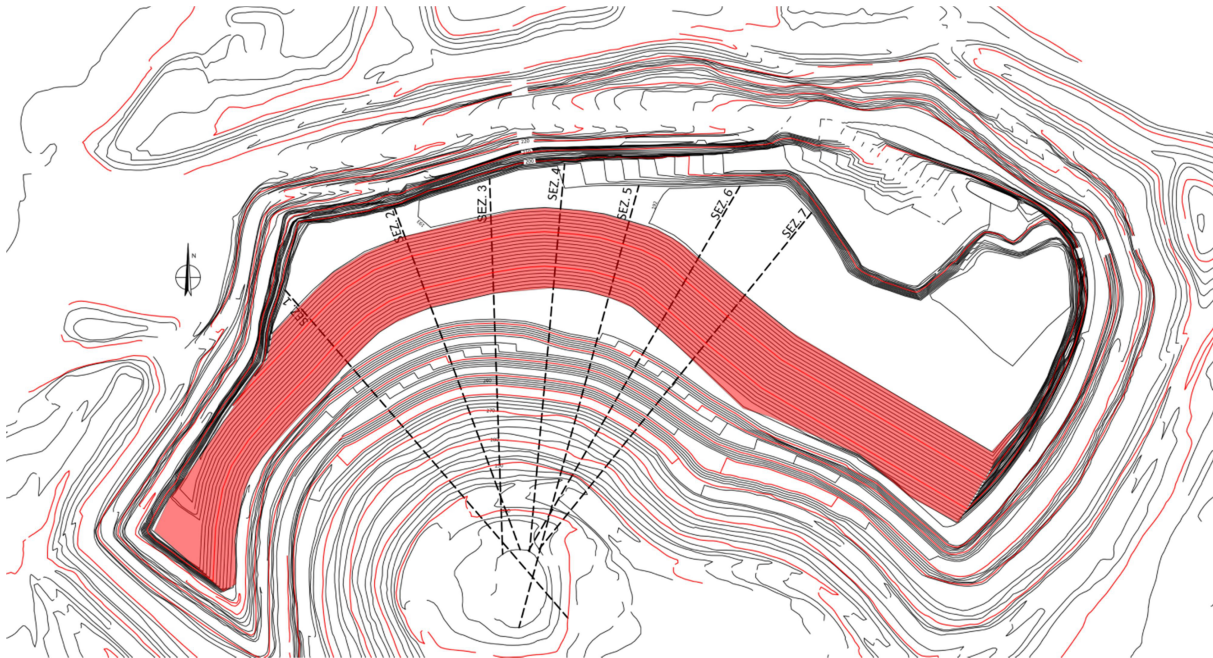
***Si osserva inoltre che l'intervento in quest'area, proposto dallo Studio Griffini S.r.l. coinvolge non tutto il fronte ma solo la sua porzione orientale e unicamente a partire da quota 220/230 m.s.l.m. In pratica, l'intervento proposto in quest'area riguarderebbe unicamente la parte del fronte posta a monte della pista carrabile esistente. Tale scelta non appare suffragata da analisi di stabilità locale. L'unica giustificazione di tale scelta è quella di proteggere la pista carrabile stessa. Gli Scriventi, però, non trovano giustificazioni sufficienti. Un'integrazione a tale riguardo è pertanto richiesta.***

Come indicato per l'intervento di rock-nailing della Zona B-Fronte Est, sarà anche in questo caso necessario valutare con maggiore attenzione le protezioni anti-corrosione delle reti eventualmente sommerse dall'invaso e procedere ad una completa pulizia dei fronti.

***Sempre al fine di minimizzare i costi di impermeabilizzazione, gli Scriventi richiedono la realizzazione delle scarpate artificiali aventi pendenza 27°, da realizzarsi a partire da quota 216 ms.l.m. sino a fondo miniera (Figura 8).***



**Figura 8: esempio della geometria di due sezioni tipo a seguito della riprofilatura dei fronti settentrionali a partire da quota 216 m.s.l.m. sino a fondo cava. È possibile notare la differenza di altezza del battente di acqua del lago perenne.**



**Figura 9: planimetria delle riprofilature. In corrispondenza della porzione centrale della miniera (in rosso) è evidenziata la presenza della scarpata artificiale.**

Inoltre, come indicato nella Relazione di Consulenza e richiamato all'interno del §4, si ricorda che ***sono possibili, in condizioni di materiale imbibito e quindi scarsamente resistente, fenomeni di rottura per taglio, sia globali che di piccole scarpate. Tale aspetto, non ulteriormente indagato dai progettisti, deve essere pertanto ri-valutato nella progettazione esecutiva.***

#### **5.4. Fronte OVEST della miniera**

La Relazione di Consulenza, redatta dagli scriventi sulla base delle indicazioni contenute nel progetto preliminare, non aveva tenuto in considerazione alcuna le condizioni di stabilità dei fronti occidentali della miniera poiché inizialmente non interessati dalla presenza dell'invaso.

Il progetto definitivo, al contrario, prevede che anche tale area possa essere allagata e, pertanto, sarebbe necessario prenderne in considerazione anche la stabilità dei versanti posti in quest'area.

Sulla base delle indicazioni fornite dal rilievo geo-meccanico eseguito nel 2010 e come brevemente accennato all'interno delle Relazione di Consulenza (settembre 2010), procedendo lungo il fronte Sud della miniera, verso Sud/Ovest e Ovest, le formazioni individuate dalle fotografie G ed H di Figura 1 presentano una rotazione delle immersioni da S-SO, N-No e S-SE con pendenza accentuate e fronti sia a franappoggio che a reggi poggio che potrebbero dar luogo a fenomeni quali quelli descritti per le zone A e B.

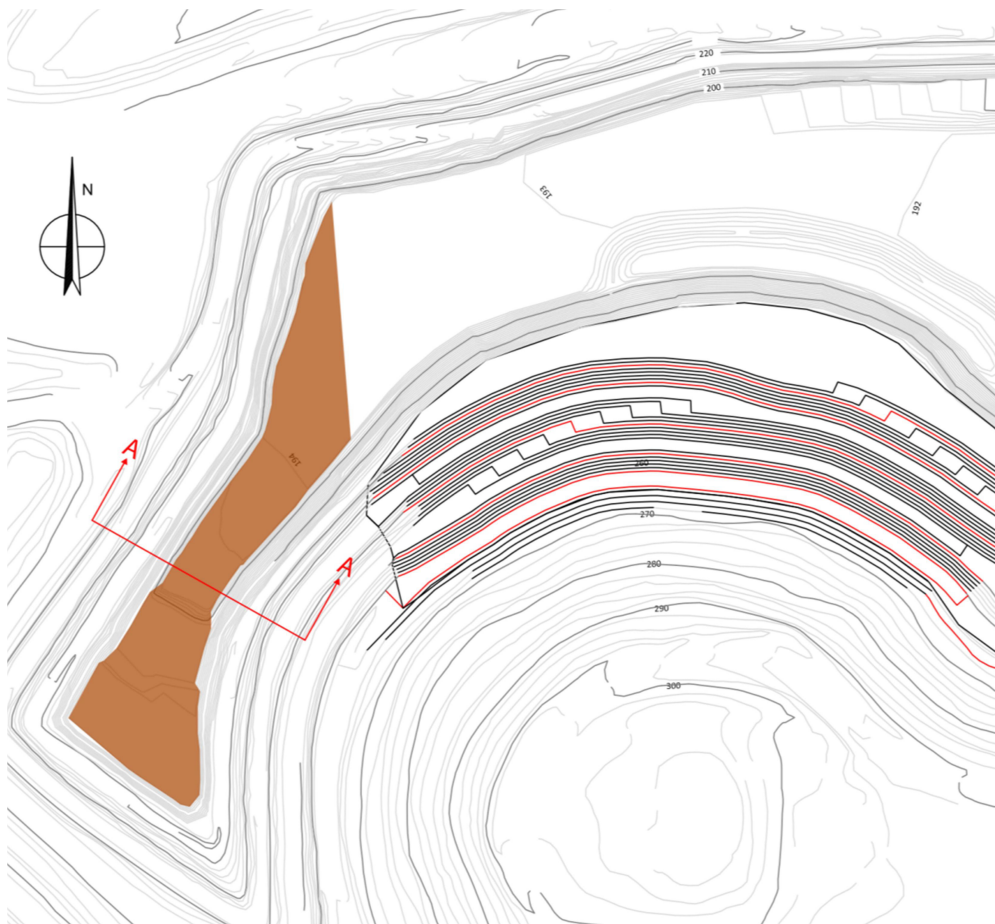


Data la geometria della miniera nella zona in oggetto (si veda la Figura 10), caratterizzata da un volume idraulico disponibile relativamente limitato ma da una superficie dei versanti potenzialmente impermeabilizzabili ragguardevole, gli Scriventi reputano che sia conveniente ed opportuno garantirne la stabilità impedendo che la zona sia impiegata quale invaso di laminazione.

***Questo, evidentemente, permetterà un ingente risparmio economico riducendo sensibilmente la voce relativa alle opere di impermeabilizzazione.***

Tale scopo potrà essere perseguito prevedendo l'interramento dei fronti occidentali a partire da fondo miniera, sino alla quota di massimo invaso (236 m.s.l.m.): la soluzione ipotizzata è descritta qualitativamente e in via preliminare nell'immagine in pianta riportata in Figura 10. Il progettista dovrà definire, a completamento del progetto definitivo, la soluzione definitiva.

Il volume sottratto all'invaso in caso di rinterro (per un'altezza pari a 21 m, da quota 215 m.s.l.m. a quota 236 m.s.l.m.) sarebbe pari a circa 130000 m<sup>3</sup>.



(a)





**Figura 10 : rinterro parziale dei fronti occidentali di miniera. Vista in pianta (a) e sezione tipo (b).**

Al fine di garantire la capacità di invaso di  $1060000 \text{ m}^3$ , si potrà allora tenere in considerazione quanto segue:

- l'intervento di riprofilatura eseguito nella Zona A, ha garantito un maggior volume invasabile stimato pari a  $20000 \text{ m}^3$  (si veda §5.1);
- la differenza di volume richiesta per garantire l'invaso necessario alla laminazione è pertanto pari alla differenza tra il volume di rinterro (pari a  $130000 \text{ m}^3$ ) ed il maggior volume invasabile a seguito delle opere che coinvolgono la Zona A (pari a  $20000 \text{ m}^3$ ), ovvero circa  $110000 \text{ m}^3$ . Il volume di laminazione pertanto risulta diminuito e pari a  $1060000 - 110000 = 950000 \text{ m}^3$ . **Per garantire la capacità di laminazione progettata ( $1060000 \text{ m}^3$ ), si potrà procedere alla diminuzione della quota del lago perenne, ovvero della quota di minimo invaso (in fase definitiva posta a 215 m.s.l.m.), per un'altezza stimata in circa 2 m.**

**Le stime precedentemente introdotte dovranno essere aggiornate dai progettisti:**

- **in funzione della definitiva area di rinterro, da determinarsi con precisione in funzione delle valutazioni finali circa la stabilità dei fronti occidentali di miniera;**
- **impiegando opportuni programmi di tipo CAD tridimensionali.**

**Anche in quest'area, come già indicato in precedenza, dovrà essere infine eseguita un'accurata pulizia dei fronti.**

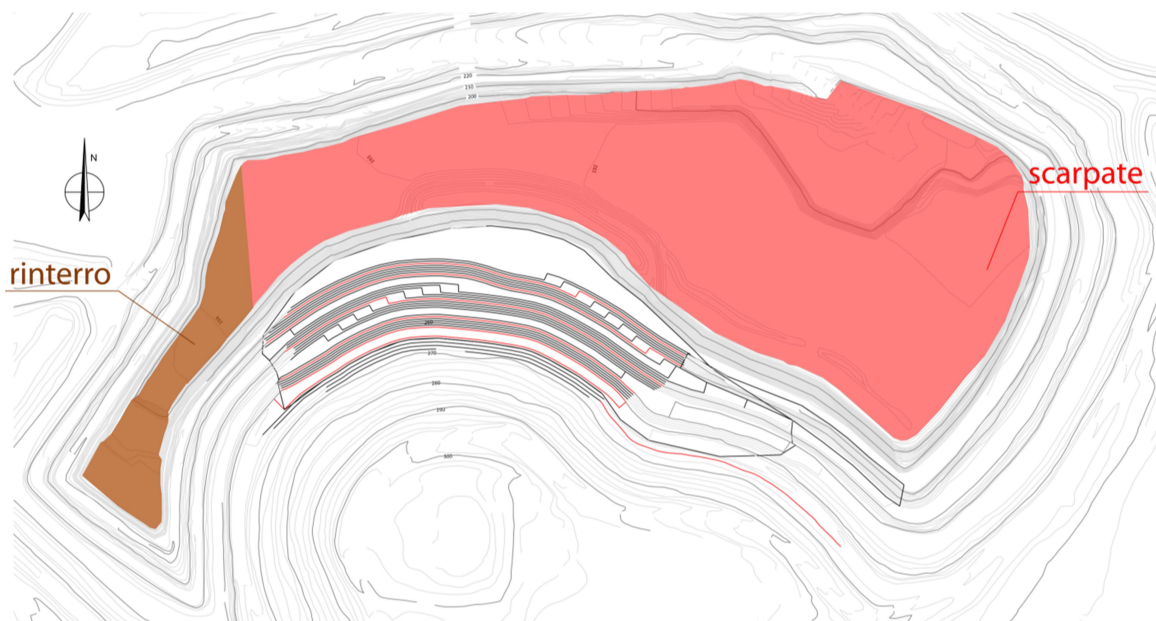
## 6. Modifiche al progetto definitivo di recupero

Facendo riferimento a quanto discusso all'interno dei paragrafi precedenti, si riassumono qui di seguito le proposte di modifica al progetto definitivo di recupero suggerite dagli Scriventi:

1. tutti i fronti di miniera devono essere sottoposti ad accurata pulizia preventiva, atta all'eliminazione delle coltri maggiormente degradate. Tale operazione, oltre a garantire la

- corretta esecuzione dei lavori di stabilizzazione progettati, permetterà di minimizzare l'accumulo di detriti alla base dei fronti e conseguente alla degradazione dei materiali coinvolti, legata sia a fenomeni atmosferici che ai cicli di vaso-invaso;
2. in particolare, in relazione all'area orientale della miniera di Brenno, reputata stabile dal punto di vista geotecnico, gli Scriventi ritengono che proprio la possibile degradazione dei materiali indurrà, in assenza di interventi, rilasci non trascurabili pur non inficiando la stabilità globale delle sponde. Si ritiene pertanto che, in fase di futura apertura al pubblico della miniera, l'accesso alla zona Est della stessa debba essere interdetto.
  3. è di fondamentale importanza per la riduzione dei costi di impermeabilizzazione e per garantire la stabilità globale dei fronti, che lungo l'intero perimetro della miniera, siano realizzate scarpate artificiali con pendenza pari a  $27^\circ$  (si veda la Figura 11). Si suggerisce di integrare l'elaborato grafico 077-DX-001-A ("Layout generale"), tracciando le linee di livello corrispondenti a tali scarpate. Tali opere saranno realizzate anche con materiali di risulta derivante dalla pulizia dei fronti, a partire dal fondo cava e fino a quota 216 m.s.l.m. La presenza delle scarpate permetterà di ridurre l'area da impermeabilizzare con spritz-beton o resine a 21 m (da quota 215 m.s.l.m. a 236 m.s.l.m.), anziché da fondo cava (190/200 m.s.l.m.) a quota 236 m.s.l.m. A seguito di una stima qualitativa e del tutto preliminare, questo prevederà l'impiego di circa 250000-300000 m<sup>3</sup> di materiale di rinterro, del quale una parte già previsto dal progetto redatto da Studio Griffini S.r.l. (si veda "Miniera di Brenno della Torre Comune di Costa Masnaga (LC) – Stabilizzazione Fronti di Scavo Relitti – Progetto Definitivo – Relazione Generale e Relazione di Calcolo"). Tale volume è calcolato dai progettisti in 80000 m<sup>3</sup>, ai quali però andranno sottratti circa 20000 m<sup>3</sup> necessari per l'estensione delle scarpate stesse sino a quota 216 m.s.l.m. (si veda la modifica proposta dagli Scriventi proposta in Figura 7). Ne consegue un volume previsto pari a circa 60000 m<sup>3</sup>. Data la complessità geometrica del problema, i progettisti dovranno provvedere all'esatto computo del volume coinvolto;
  4. Zona A (fronte Sud – porzione occidentale) e Zona B (fronte Sud- porzione orientale): realizzazione di una ulteriore riprofilatura da quota 216 m.s.l.m – 232 m.s.l.m. (tale intervento non modifica le capacità di invasore);
  5. Area Ovest della miniera: rinterro da fondo cava fino alla quota di massimo invasore (236 m.s.l.m.). A seguito di una stima qualitativa e del tutto preliminare, questo prevederà l'impiego di circa 200000-250000 m<sup>3</sup>;

6. abbassamento della quota di progetto del lago perenne a 214 m.s.l.m., così da garantire la minima capacità di laminazione ( $1060000 \text{ m}^3$ );
7. Zona B e Zona C: valutazione di eventuali interventi di protezione contro la corrosione delle reti in aderenza e dei relativi accessori;
8. in relazione alla possibile induzione di fenomeni di filtrazione diretta dai fronti verso la vasca a seguito dello svuotamento della stessa, gli Scriventi ritengono che i tempi stimati dai progettisti in più di un mese, siano sufficientemente cautelativi in tal senso. È fatto pertanto divieto di ridurre i tempi di svuotamento.



**Figura 11: planimetria degli interventi.**

Riassumendo, in definitiva, il volume totale di terreno da impiegare per la realizzazione delle scarpate al piede dei versanti sarà pari a circa  $250000\text{-}300000 \text{ m}^3$  (si veda il punto 3), mentre quello necessario al rinterro della zona Ovest, sarà pari a  $200000\text{-}250000 \text{ m}^3$  (si veda il punto 5). Al volume richiesto per la costruzione delle scarpate, andrà però sottratto una quota parte del volume già stimato da Studio Griffini S.r.l. e pari a circa  $60000 \text{ m}^3$ , ottenuto dalla riprofilatura del versante di cui alla Zona A (si veda il §5.1), per un totale di circa  $390000\text{-}490000 \text{ m}^3$ .

***Se nella fase transitoria la vasca sarà utilizzata da vasca di laminazione, prima che venga realizzata la riprofilatura come prescritto al punto 3, l'area dovrà essere soggetta a vincoli di accesso e le sue sponde monitorate.***

## **7. Opere di impermeabilizzazione dei fronti**

Al fine di ridurre le aree da trattare con spritz-beton e quindi minimizzare costi ed impatto ambientale dell'intervento, si suggerisce quanto segue:

- non impermeabilizzare sotto quota 216 m.s.l.m., in quanto sino a questa quota si è opportunamente ridotta la pendenza delle sponde;
- evitare nell'area posta a SUD, ove la pendenza di 27° è stata prevista sino a quota 236 m.s.l.m., l'impermeabilizzazione;
- utilizzare lo spritz-beton ove sono previsti gli interventi con rete in aderenza (Zona Nord e Zona SUD –EST);
- provvedere al rinverdimento, ove possibile, delle aree dei fronti di scavo posti sopra la fascia trattata con spritz-beton con specie vegetali caratterizzate da minimi apparati radicali e sviluppo aereo anche aggettante. La presenza di specie aventi radici di dimensioni troppo accentuate, potrebbe infatti causare impatti negativi sui fronti quali saturazione dei materiali (con conseguente diminuzione dei parametri di resistenza) e perdita di efficienza degli interventi attivi di stabilizzazione. Apparati radicali superficiali, pur non fornendo il noto effetto di stabilizzazione, garantiscono comune la cucitura degli strati corticali, con conseguente minor rilasci detritici. In aggiunta, la posa di specie vegetali potrebbe garantire un netto miglioramento dell'impatto visivo delle opere;
- evitare l'impermeabilizzazione dei versanti nell'intera zona OVEST, che non sarà interessata dall'invaso artificiale permanente ma neppure fungerà da vasca di laminazione;
- sostituire lo spritz-beton con resine artificiali nella fascia che va da 216 m.s.l.m. a 236 m.s.l.m. lungo i fronti dell'intera Zona EST. All'interno del §7.1 sono descritte le resine consigliate.

### **7.1. Impermeabilizzazione mediante resine chimiche**

Premesso che le resine chimiche sono comunemente utilizzate per impermeabilizzare pavimentazioni, pietre naturali da costruzione, cavi di gallerie sotterranee ma che molto difficilmente si trovano in letteratura casi analoghi a quello qui preso in considerazione, qui nel seguito si analizzeranno le caratteristiche richieste alle resine perché possano essere utilizzate come impermeabilizzanti delle scarpate poste all'interno dell'area EST della cava (Figura 12).



**Figura 12: condizione attuale dei fronti di scavo della cava di Brenno.**



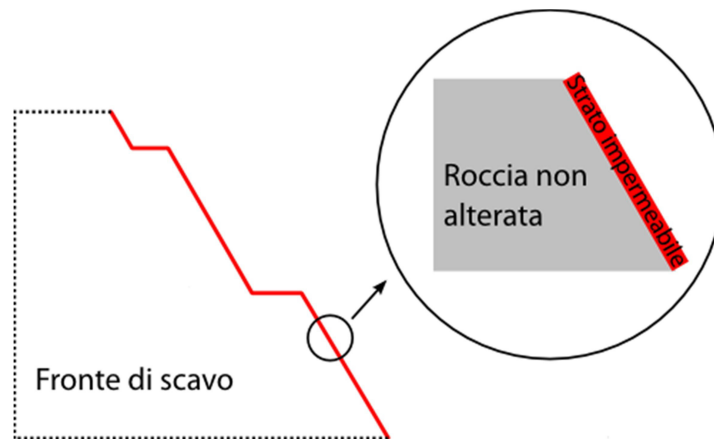
**Figura 13: strato di roccia alterata e degradata rilevato sugli attuali fronti di scavo.**

La proposta di intervento a basso impatto ambientale proposto dagli scriventi consiste in una impermeabilizzazione dei fronti di scavo mediante l'utilizzo di resine chimiche impermeabilizzanti che non pregiudichino significativamente l'attuale aspetto dell'area oggetto di interesse. L'intervento quindi consisterà dapprima nella propedeutica rimozione dello strato di marna alterata e degradata più



superficiale rilevato attualmente sui fronti di scavo della cava (Figura 13) e nella successiva applicazione a spruzzo dei prodotti chimici sul fronte di scavo intatto.

L'applicazione dei prodotti chimici sui fronti di scavo di roccia non alterata permetterà la creazione di un film impermeabile di alcuni mm che isolerà la roccia dall'acqua che sarà invasata (Figura 14).



**Figura 14: esemplificazione di impermeabilizzazione con resine chimiche.**

Lo strato di prodotto impermeabilizzante da applicare sui fronti di scavo della cava dovrà soddisfare i seguenti requisiti:

- impermeabilità all'acqua;
- resistenza ai raggi UV;
- buona trasparenza;
- resistenza alle variazioni termiche;
- facilità di applicazione.

### **7.1.1. Prodotti considerati**

In seguito ad una ricerca di mercato gli scriventi hanno individuato i seguenti prodotti:

DITTA	WEB	PRODOTTO
Axson	<a href="http://www.axson-technologies.com">www.axson-technologies.com</a>	Epalam 2017-System
Basf	<a href="http://www.basf.it">www.basf.it</a>	MasterSeal TC 682
Abrasivi Adria	<a href="http://www.abrasiviadria.com">www.abrasiviadria.com</a>	Adriapox gel
Cores	<a href="http://www.resine-epossidiche.it">www.resine-epossidiche.it</a>	Ocean Paint

**Tabella 1: prodotti chimici impermeabilizzanti reperiti in commercio.**



Tali prodotti vengono di seguito descritti più dettagliatamente.

### **Axson – Epolam 2017-System**

Il Prodotto Epolam 2017-System ([www.axson-technologies.com](http://www.axson-technologies.com)) è una resina epossidica da stratificazione. Viene utilizzata per la realizzazione di strutture composite mediante impregnazione per contatto, iniezione sotto vuoto e a bassa pressione. È caratterizzata da buone proprietà meccaniche, bassa viscosità e buon comportamento in ambiente umido. È possibile accoppiare tale prodotto ad indurenti in modo tale da accelerare la reazione di polimerizzazione.

### **Basf – MasterSeal TC 682**

Il Prodotto MasterSeal TC 682 ([www.basf.com](http://www.basf.com)) è un rivestimento poliaspartico bicomponente a rapido indurimento (rapida polimerizzazione). E' caratterizzato inoltre da:

- resistenza ai raggi UV;
- elevata resistenza all'abrasione ed agli impatti;
- bassa "presa di sporco";
- classe A2 di crack bridging UNI EN 1504/2.

### **AbrasiviAdria – Adriapox gel**

Il prodotto Adriapox gel ([www.abrasiviadria.com](http://www.abrasiviadria.com)) è una resina epossidica tissotropica ad altissima viscosità. Offre una buona resistenza ai raggi U.V. e può essere abbinata solo con alcuni indurenti della linea "ADRIA".

### **Cores – Ocean paint**

Il prodotto Ocean paint ([www.resine-epossidiche.it](http://www.resine-epossidiche.it)) è un prodotto bicomponente a base di resine epossidiche, non cristallizzabile alle basse temperature, diluito in miscela di solventi e reso limpido da un complesso processo di raffinazione e dearomatizzazione. È un imbibente trasparente di finitura epossidica, applicato in spessore sottile o a spruzzo sopra fibre composite in genere. È caratterizzato da l'eccellente stabilità del colore e trasparenza, bassa viscosità dinamica, elevata brillantezza, buona resistenza chimica ed alla carbonatazione.

Grazie alla sua particolare formulazione può essere applicato in orizzontale, verticale e sopra testa, per film successivi.

L'indurimento avviene per reazione di poliaddizione a freddo, senza fenomeni di ritiro. Il materiale è impermeabile all'acqua, al vapore, agli idrocarburi ed agli olii. Il prodotto è disponibile in unica versione estiva.

## **7.1.2. Prove di laboratorio**

### **7.1.2.1. Recupero del materiale in sito**

Per l'esecuzione delle prove preliminari è stato prelevato del materiale direttamente nel sito oggetto di interesse. La presenza dello strato più superficiale di roccia alterata ha reso impossibile il prelevamento di materiale direttamente dal fronte di scavo, inducendo gli scriventi a reperire i blocchi di roccia più compatti posti al piede dei fronti di scavo attualmente accessibili (Figura 15).





**Figura 15: blocchi di materiale più compatto prelevati dal sito.**

### **7.1.2.2. Prove di imbibizione**

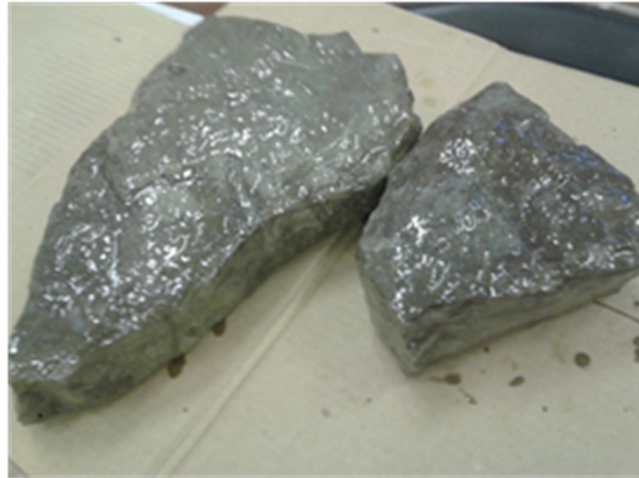
Le prove di imbibizione in assenza di confinamento laterale, in presenza di battenti d'acqua limitati (20-40 cm) hanno mostrato che i campioni indagati presentano un comportamento prevalentemente fragile.



(a)



(b)



**Figura 16: fratturazione dei provini non trattati dopo imbibizione in acqua (a); preparazione dei campioni (b); aspetto del provino trattato (c).**

L'assenza di confinamento ha permesso la penetrazione dell'acqua e questa, nella maggior parte dei casi, ha causato la parziale disgregazione del campione, anche in assenza di carichi assiali: provini inizialmente apparentemente totalmente "sani" e privi di difetti, si sono disgregati unicamente a causa della loro immersione in acqua. Al contrario, i provini trattati superficialmente mediante praticamente tutti i prodotti citati, hanno mostrato un comportamento totalmente differente, in quanto non assorbono acqua, non hanno subito alcun danneggiamento (Figura 16).

***Si consiglia pertanto di utilizzare nell'area a EST della cava e nella fascia posta tra quota 216 e 236 m.s.l.m. una delle resine chimiche, fundamentalmente trasparenti, precedentemente citate e la scelta dovrà ricadere su quella che meglio soddisfa i requisiti elencati all'inizio di questo paragrafo.***

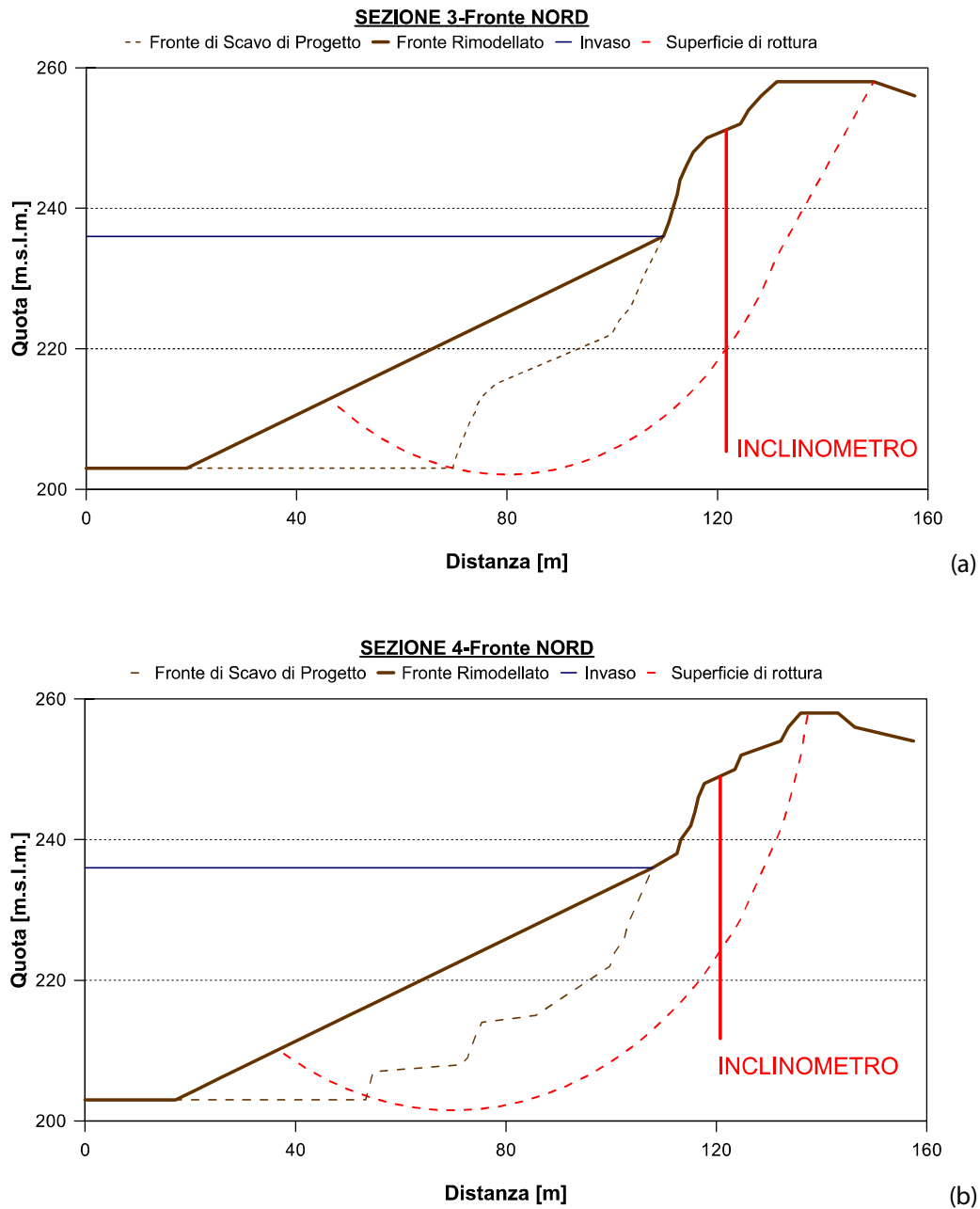
## **8. Monitoraggio dei fronti di miniera**

Al fine di verificare l'efficacia delle opere di stabilizzazione eseguite, gli Scriventi ritengono che si debba prevedere la progettazione e la realizzazione di sistemi di monitoraggio, da attivarsi sia nelle fasi realizzative che in quelle post-operam. Il sistema di monitoraggio permetterà di controllare l'evoluzione:

- degli spostamenti dei fronti di miniera, attraverso l'impiego di mire ottiche e rilievi laser-scanner;
- degli spostamenti associati a possibili meccanismi profondi di instabilità globali dei fronti, attraverso la predisposizioni di fori inclinometrici.

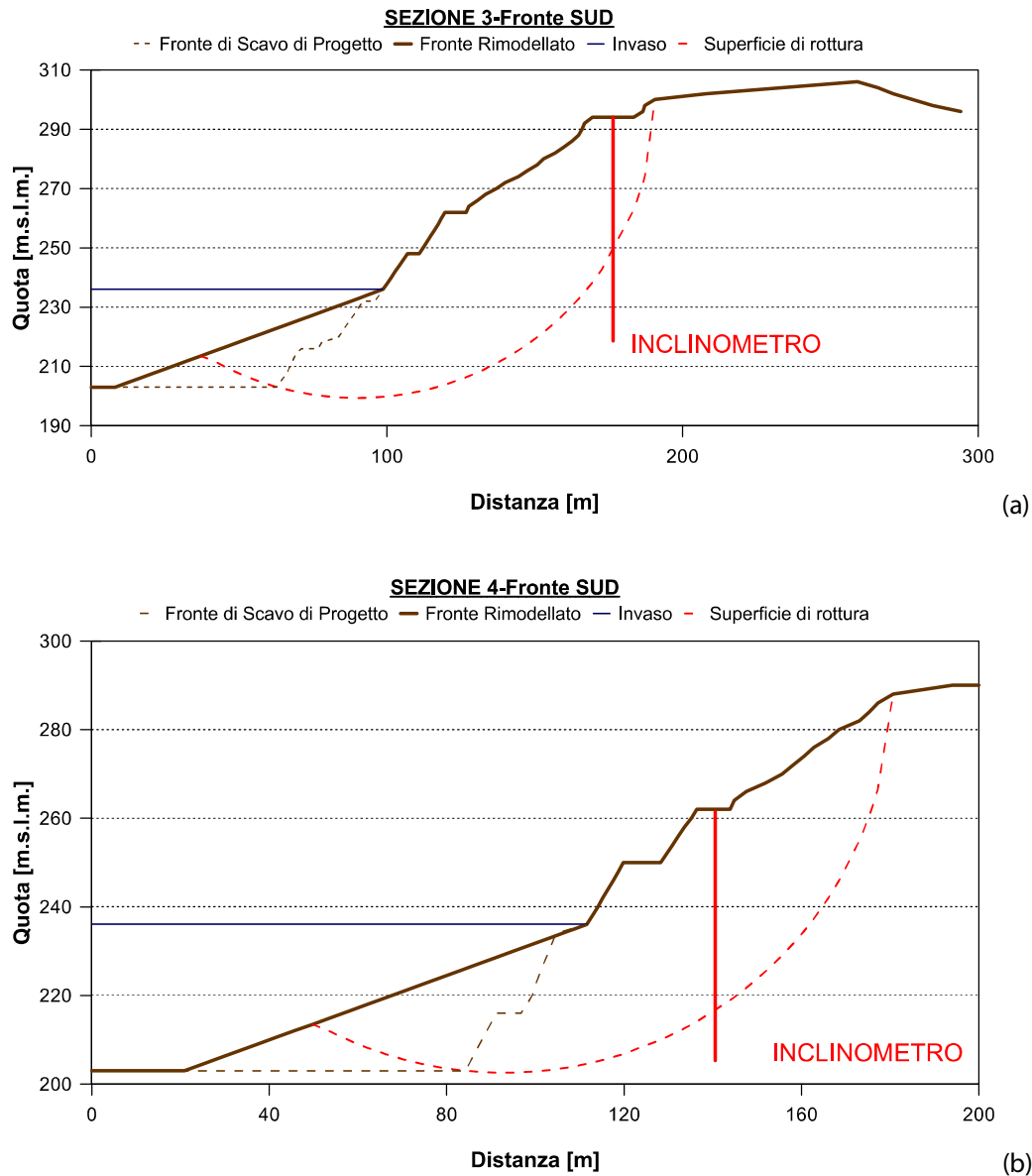
La necessità di eseguire letture inclinometriche era già stata individuata all'interno del §6 della "Relazione di Consulenza" del maggio 2014, a seguito dell'individuazione di possibili meccanismi di

rottura globale. Le sezioni interessate sono quelle illustrate in Figura 17 e Figura 18, il cui posizionamento è proposto in Figura 2.



**Figura 17: posizione dei fori inclinometrici per la Sez. 3-NORD (a) e la Sez. 4-NORD (b).**





**Figura 18: posizione dei fori inclinometrici per la Sez. 3-SUD (a) e la Sez. 4-SUD (b).**

In funzione delle peculiarità geologico-geotecniche proprie delle differenti zone di miniera individuate, i sistemi di monitoraggio dovranno essere così predisposti:

- **FRONTE SUD**

Posizionamento di almeno tre livelli di mire ottiche in corrispondenza di ciascuno dei tre livelli di gradoni realizzati (216 m.s.l.m. – 232 m.s.l.m. – 248 m.s.l.m.), ed di una ulteriore superiore a quota 260 m.s.l.m..

Esecuzione di rilevamenti laser-scanner.

Realizzazione di almeno due fori inclinometrici aventi profondità e posizione come indicato in Figura 18 o secondo le indicazioni che deriveranno dalle analisi di stabilità che dovranno essere condotte dai progettisti.

- **FRONTE NORD**

Posizionamento di almeno quattro livelli di mire ottiche in corrispondenza delle medesime quote individuate per le zone A e B del fronte Sud.

Esecuzione di rilevamenti laser-scanner.

Realizzazione di almeno due fori inclinometrici aventi profondità e posizione come indicato in Figura 17 o secondo le indicazioni che deriveranno dalle analisi di stabilità che dovranno essere condotte dai progettisti.

- **FRONTE EST**

Posizionamento di almeno quattro livelli di mire ottiche in corrispondenza delle medesime quote individuate per le zone A e B del fronte Sud.

Esecuzione di rilevamenti laser-scanner.

- **FRONTE OVEST**

Esecuzione di rilevamenti laser-scanner.

Il monitoraggio così definito sarà caratterizzato da modalità esecutive differenti, in relazione alle diverse fasi di realizzazione e impiego della cava.

In particolare, gli Scriventi hanno individuato le seguenti quattro fasi:

- **FASE 1**, successiva alla realizzazione delle opere di stabilizzazione geotecnica e precedente al riempimento della vasca mediante invasi permanenti.

In questa fase si consiglia l'esecuzione di rilevamenti con mire ottiche/laser-scanner con cadenza al minimo trimestrale;

- **FASE 2**, successiva alla realizzazione delle opere di stabilizzazione geotecnica e al riempimento della vasca sino a quota di circa 216 m.s.l.m. con invaso permanente.

In questa fase, o almeno nel primo trimestre, i rilievi saranno effettuati con cadenza almeno mensile, successivamente con cadenza almeno semestrale.

- **FASE 3**, durante l'impiego della miniera quale vasca di laminazione.

Esecuzione di rilevamenti con mire ottiche/laser-scanner:

1. cadenza settimanale durante i cicli di invaso/svaso;
2. cadenza almeno semestrale nei rimanenti periodi.

Lecture dei dati inclinometrici:

1. nel caso i dati forniti dal monitoraggio degli spostamenti con mire ottiche/laser scanner fornissero valori tali da far ritenere possibile supporre l'attivazione di processi di instabilità dei fronti, si dovranno effettuare le letture inclinometriche nelle sezioni individuate.

## 9. Osservazioni conclusive

In questa memoria è stato analizzato criticamente il progetto di riqualificazione della cava di Brenno. Il progetto in esame è essenzialmente finalizzato da un lato al recupero ambientale dell'area, dall'altro al riutilizzo della miniera quale vasca di laminazione del torrente Bevera.

Il progetto proposto recepisce le conclusioni tratte dagli Scriventi in una loro precedente relazione redatta nel 2010 e prevede, da un punto di vista geotecnico, quanto segue:

- una ridefinizione parziale dei fronti della cava sotto quota 216 m.s.l.m.;
- interventi di stabilizzazione mediante reti ed ancoraggi lungo i versanti NORD e SUD;
- una diffusa impermeabilizzazione delle scarpate mediante spritz-beton, sino alla quota prevista dell'invaso;
- una riprofilatura molto parziale dei versanti posti sopra di tale quota.

Globalmente gli Scriventi hanno osservato quanto segue:

- la soluzione progettuale recepisce quanto suggerito dagli Scriventi nella loro precedente Relazione;
- l'impermeabilizzazione mediante spritz-beton armato (con contenuto in fibre sufficiente) può assicurare la stabilità a lungo termine dei versanti impedendo l'imbibimento delle marne;
- la progettazione degli interventi da parte dello Studio S.r.l. non prende in considerazione eventuali rotture a taglio generalizzate;
  - gli interventi di cui sopra sono effettuati supponendo un comportamento meccanico delle discontinuità di tipo perfettamente duttile. Tener conto della loro fragilità potrebbe richiedere una modifica della lunghezza delle chiodature.

Inoltre gli Scriventi suggeriscono quanto segue:

1. riprofilare i versanti sino a quota 232 m.s.l.m. impiegando, alla bisogna, georinforzi;
2. riconsiderare criticamente gli interventi di impermeabilizzazione mediante spritz-beton, prevedendone l'utilizzo unicamente in aree particolarmente critiche, di estensione inferiore. Questo permetterebbe di ridurre notevolmente i costi e anche l'impatto ambientale degli interventi;
3. nella zona EST, per impermeabilizzare la fascia dei fronti di scavo posti fra quota 232 e 236 m.s.l.m. impiegare resine chimiche trasparenti;

**CONSULENZA GEOTECNICA PER LA RIQUALIFICAZIONE DELL'AREA "CAVA DI BRENNO"-Aggiornamento**

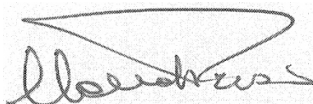
4. innalzare il livello del fondo scavo nella zona OVEST così da non dover intervenire con opere di impermeabilizzazione delle sponde e ridurre sensibilmente il costo di impermeabilizzazione globale delle sponde;
5. cercare di aumentare l'estensione dei versanti inerbiti e vegetati, così da ridurre il pericolo dell'innescarsi a lungo termine il problema dell'erosione superficiale indotta da fenomeni meteorici intensi. Si consiglia l'utilizzo, ove necessario, di biostuoie, geocelle e idrosemia;
6. prevedere un sistema di monitoraggio, mediante l'utilizzo di mire ottiche, rilievi con laser scanner e un numero ridotto di inclinometri, che permetta, sia in fase realizzativa delle opere che a lungo termine, di seguire l'evoluzione temporale del sistema;
7. considerare attentamente la stabilità delle future sponde dell'invaso, prevedendo, nel caso i materiali utilizzati lo permettano, una compattazione dei depositi, assicurandosi che svuotamenti troppo rapidi dell'invaso non generino collassi superficiali o mediamente profondi. A tal fine sarebbe opportuno, se considerati economicamente vantaggiose, pensare all'impiego di georinforzi.

Si osserva infine che le modifiche qui sopra proposte permetteranno di ridurre sensibilmente i costi di impermeabilizzazione per richiedendo l'utilizzo di un volume di rinterro (realizzazione delle scarpate e rinterro della zona Ovest), pari a circa 390000-490000 m<sup>3</sup>.

Le opere di impermeabilizzazione andranno inoltre eseguite a conclusione dei lavori di riqualificazione dell'area di cava di Brenno.

**prof. ing. Claudio G. di Prisco**

Ordinario di Geotecnica – Politecnico di  
Milano



**ing. Marco M. Secondi**

