RegioneLombardia

P.zza Città di Lombradia, 1 (MI)
www.regione.lombardia.it

Parco Regionale della
VALLE DEL LAMBRO

Via V. Veneto, 19 - Triuggio (MB)
T 0362.970.961
T 0362.997.137
F 0362.997.045
www.parcovallelambro.it

COMMITTENTE: **PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO**
via Vittorio Veneto 19 - 20844 Triuggio (MB)

DOC.

01

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

FASE: **PROGETTO PRELIMINARE**

COMM.:

TITOLO: **RELAZIONE GENERALE**

SCALA:

DATA: 05/05/2014

COORDINATORE DI PROGETTO
E PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE: Ing. Daniele Giuffrè

CONSULENTE GEOTECNICO: Prof. Ing. Claudio Di Prisco

CONSULENTE PAESAGGISTICO AMBIENTALE: Arch. Andrea Fiorentini

REV.

REV.

REV.

REV.

RegioneLombardia

P.zza Città di Lombradia, 1 (MI)
www.regione.lombardia.it

Parco Regionale della
VALLE DEL LAMBRO

Via V. Veneto, 19 - Triuggio (MB)
T 0362.970.961
T 0362.997.137
F 0362.997.045
www.parcovallelambro.it

COMMITTENTE: **PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO**
via Vittorio Veneto 19 - 20844 Triuggio (MB)

DOC.

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

1.1

FASE: **PROGETTO PRELIMINARE**

COMM.:

TITOLO: **RELAZIONE DESCRITTIVA - INTRODUTTIVA E DI FATTIBILITA' IDRAULICA**

SCALA:

DATA: 05/05/2014

COORDINATORE DI PROGETTO
E PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE: Ing. Daniele Giuffrè

CONSULENTE GEOTECNICO: Prof. Ing. Claudio Di Prisco

CONSULENTE PAESAGGISTICO AMBIENTALE: Arch. Andrea Fiorentini

REV.

REV.

REV.

REV.

INDICE

1. INQUADRAMENTO STORICO 2

2. INTRODUZIONE AL PROGETTO 5

2.1 - Scenario A: Zona di esondazione esterna alla Miniera di Brenno 8

2.2 - Scenario B: Realizzazione di una vasca di laminazione nella Miniera di Brenno 10

2.3 - Scenario C: Realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri comuni 12

3. ESITI DELLE ANALISI GEOTECNICHE 15

4. IL PROGETTO 21

4.1 – Alternative progettuali analizzate 21

4.2 – Caratteristiche tecniche del progetto 31

5. OPERE PROVVISORIE 34

6. OPERE A REGIME 37

7. INDIRIZZI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA 38

8. INDICAZIONI PER UNA ANALISI COSTI-BENEFICI 39

9. CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA 40

1. INQUADRAMENTO STORICO

Nel novembre 2002, in occasione di un periodo particolarmente prolungato di piogge di carattere ed intensità fortemente variabili, i comuni della valle del Lambro, posti a valle del lago di Pusiano, hanno subito l'esondazione del fiume Lambro in zone anche particolarmente urbanizzate con conseguenti notevoli danni sia agli immobili sia alle infrastrutture.

L'immagine sopra esposta, che raffigura la Pieve di Incino così come era nel 1752, rappresenta la zona in cui si trova il nodo idraulico più importante della valle. Infatti, come peraltro è facile desumere dalla mappa, in tale zona vi era la confluenza del torrente Lambro (prima della deviazione) e degli emissari dei laghi di Pusiano ed Alserio che spesso, nel periodo delle piene, andavano a formare, unendo il Pusiano e l'Alserio, un solo lago, il Magno Eupili. A questo quadro va a sommarsi, nella zona evidenziata, la Bevera di Molteno che rappresenta il più importante affluente del fiume Lambro sublacuale compreso nel territorio del Parco Regionale della Valle del Lambro.

La necessità di regolare le acque della zona, sia ai fini della sicurezza sia e soprattutto per motivi economici, comportò la realizzazione, nel XIX secolo, di due opere idrauliche importanti che modificarono sensibilmente il territorio della Pieve di Incino.

La prima di queste opere, la rettifica del torrente Lambro – ora Lambrone, consiste essenzialmente nella deviazione del tratto finale del torrente per farlo sfociare direttamente nel lago di Pusiano.

La seconda di queste opere, meglio nota con il nome di Cavo Diotti che prende il nome dal possidente locale – Avvocato Diotti - che per primo propose la realizzazione di quest'opera, è costituita dall'emissario artificiale e regolato del lago di Pusiano. Tale opera, nata dalla necessità di far fronte all'estrema variabilità di portata del fiume Lambro che mal si combinava con le necessità industriali della valle, è oggi tuttora funzionante e rappresenta l'elemento di regolazione del lago.

Fotografia 1 - Vista dell'incile del Cavo Diotti

2. INTRODUZIONE AL PROGETTO

Come indicato nel paragrafo precedente, i comuni della valle del Lambro sono stati gravemente danneggiati dall'esondazione del lago di Pusiano e del fiume avvenuta nel novembre 2002 provocata essenzialmente dal verificarsi di una serie di concause la cui conoscenza è essenziale per comprendere appieno le intenzioni del progetto.

La prima causa, necessariamente, è stato un periodo di pioggia particolarmente duraturo che ha dapprima saturato la capacità di assorbimento dell'acqua di pioggia da parte dei terreni del bacino idrografico e successivamente colmato anche la capacità del lago di Pusiano.

La seconda concausa è stata l'impossibilità di svasare il lago in tempi rapidi per la mancanza di una "regola di gestione" e per le ridotte dimensioni delle paratoie che regolano il lago di Pusiano. Durante l'evento, infine, una delle due paratoie era bloccata e pertanto inservibile.

La terza concausa è stata l'insufficiente capacità di laminazione esistente sugli affluenti del fiume ed in particolare della Bevera di Molteno detta anche Bevera di Brianza. Su tale affluente, infatti, era stata da poco completato un primo lotto di intervento per la realizzazione della laminazione delle piene per un volume complessivo pari a 60.000 mc che naturalmente ha raggiunto la saturazione ben prima dell'arrivo dell'ondata di piena (si veda a tal proposito la figura 1 che rappresenta la planimetria generale di tale intervento).

Al fine di risolvere le prime due concause il Parco Regionale della Valle del Lambro ha acquisito nel corso del 2008 la gestione dei manufatti di regolazione e, oggi, sta ristrutturando le opere idrauliche del Cavo DIotti.

Per la terza concausa il Parco ha esplorato diverse possibilità di intervento individuandone gli aspetti positivi e negativi al fine di giungere ad una soluzione che massimizzasse i primi a discapito dei secondi.

In particolare, gli aspetti principali considerati per la valutazione delle alternative di progetto considerate che ha portato alla scelta della soluzione progettuale sviluppata sono i seguenti:

- Volume di invaso: innanzitutto il sito che si vuole realizzare, dato sia l'impegno economico sia la complessità dell'opera, deve fornire una risposta concreta alle esigenze del territorio. Per tale motivo non è accettabile una soluzione che comporti un volume di invaso finale minore di un milione di metri cubi.

- Fruibilità e inserimento ambientale: l'opera verrà realizzata in uno degli ambiti più interessanti della valle del Lambro sia dal punto di vista ambientale sia dal punto di vista fruitivo. Per quanto concerne il primo aspetto l'intervento che si propone non potrà prescindere da uno scenario di riqualificazione complessiva d'area.

  Peraltro una porzione dell'area della miniera di Brenno è già diventata parco pubblico a beneficio del Comune di Costa Masnaga. Per tale motivo l'assetto finale di recupero del sito dovrà ottimizzare gli scopi di laminazione delle piene e di fruibilità del parco.

- Disponibilità, nel breve periodo, di una parte dell'invaso: uno degli obbiettivi che si cerca di raggiungere con il progetto è quello di avere in tempi brevi una prima disponibilità dei volumi di invaso per cercare di trarre, sin da subito, un primo beneficio a livello di bacino. Naturalmente per raggiungere questo scopo occorre che la soluzione prescelta sia compatibile con le operazioni di recupero ambientale al termine della coltivazione avvenuta nel mese di ottobre 2013.

- Costi: il costo complessivo di intervento deve essere il minimo indispensabile per raggiungere gli scopi indicati.

Sulla base delle considerazioni precedenti nella fase iniziale sono stati considerati diversi possibili scenari per quanto riguarda l'area di intervento:

- Scenario A: Zona di esondazione esterna alla Miniera di Brenno nel Comune di Costa Masnaga, già individuata negli studi precedenti;
- Scenario B: realizzazione di una vasca di laminazione nell'area della Miniera di Brenno in quanto area soggetta ad un prossimo intervento di riqualificazione ambientale;
- Scenario C: realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri Comuni individuati e/o proposti da altri Enti.

Per ognuno di questi scenari è stata condotta un'analisi di fattibilità tecnica preliminare orientata a valutare l'efficacia dell'intervento per la risoluzione dei problemi lungo tutto il percorso del fiume Lambro, le ricadute ambientali dell'opera e i costi dell'intervento. Le principali considerazioni tratte dall'analisi preliminare possono essere così sintetizzate:

2.1 - Scenario A: Zona di esondazione esterna alla Miniera di Brenno

Questo scenario consiste nella realizzazione del secondo lotto delle opere di laminazione a Baggero di Merone. Si tratta, nei propositi, di un approfondimento ed allargamento della vasca esistente, che attualmente è capace di invasare 60.000 mc, sino a poterne contenere un volume massimo di 250.000 mc. Il progetto prevede l'interessamento di un'area di circa 200.000 mq localizzata tra il Fiume Lambro e l'area della miniera (fig. 1 e 2). Si tratta di un'area in parte boscata e in parte destinata ad uso agricola non interessata da scavi o movimentazione di materiale che attualmente è considerata parzialmente esondabile.

Figura 1 - Vasca di laminazione di Merone (primo lotto realizzato nel 2002)

Figura 2 - Area di intevento esterna alla Cava di Brenno

- Efficacia

  Il volume totale massimo possibile dell'intervento considerando la superficie dell'area considerata e la profondità di scavo ipotizzata è stimato in circa 250.000 mc, meno del 25 % del volume necessario. In tali condizioni, l'intervento non costituisce una soluzione completa ed efficace al problema di esondazione del Fiume Lambro

  Al di la degli aspetti ambientali ed economici questa soluzione non è stata considerata nel prosieguo per via della consistente limitazione in termini di volume disponibile che renderebbe, di fatto, l'opera inutile.

- Impatto ambientale

  L'intervento ricade in un'area interna al Parco naturale non interessata in precedenza da attività invasive, ciò che comporta un significativo impatto ambientale

- Costi

  L'ampliamento dell'attuale capacità avverrebbe per mezzo di consistenti scavi pari al maggior volume disponibile ottenuto, circa 190.000 mc, l'implementazione del sistema di svuotamento della vasca, la creazione di tutte le opere di protezione necessarie a garantire la sicurezza dell'area e gli interventi di sistemazione ambientale finale.

  Costi stimati per l'intervento pari a circa 3 milioni di Euro.

2.2 - Scenario B: Realizzazione di una vasca di laminazione nella Miniera di Brenno

La Miniera di Brenno è una ex miniera di estrazione della marna per la produzione del cemento nel territorio del Comune di Costa Masnaga che, in virtù della concessione mineraria rilasciata dell'ex Distretto Minerario di Milano (oggi Regione Lombardia), ha cessato l'attività estrattiva nel mese di ottobre 2013. Il progetto di recupero ambientale autorizzato prevede la realizzazione di un lago artificiale alimentato dal torrente Bevera di Molteno con quota libera a 245 m. slm.

La morfologia dell'area è caratterizzata da una fossa di circa 115.000 mq di superficie e di circa 55 m di profondità nella configurazione finale del progetto autorizzato.

In questo scenario la soluzione consiste nell'utilizzo della fossa ottenuta alla fine della fase di coltivazione come bacino di accumulo delle acque di piene del torrente Bevera, mediante la creazione di un'opera di presa sul torrente e un sistema di canalizzazione delle acque verso il fondo della fossa e l'installazione di un sistema di pompaggio per lo svuotamento del bacino. L'intervento permetterebbe sia di sfruttare al meglio la morfologia risultante dalla fase di scavo sia di proporre un'adeguata sistemazione finale del sito con caratteristiche tali da garantire la fruibilità futura dell'area. Inoltre, una pianificazione accurata dell'attività di recupero ambientale e della realizzazione delle opere del progetto permetterebbe l'impiego sin da subito della Miniera di Brenno quale bacino di accumulo delle acque di piena del torrente Bevera.

► Efficacia

Il volume totale massimo possibile dell'intervento considerando la superficie e la profondità della fossa di scavo è superiore ai 4.000.000 mc, tuttavia, è evidente che in fase di realizzazione dovranno essere introdotti interventi di rimodellamento morfologico per garantire un adeguato recupero paesaggistico ed ambientale dell'area, le condizioni biologiche del lago e la fruibilità futura dell'area che porteranno necessariamente ad una riduzione di tale volume. In ogni caso, le dimensioni della miniera consentono la progettazione di un intervento con capacità superiore ai volumi necessari stimati e quindi l'intervento può costituire una soluzione efficace al problema di esondazione del fiume nel territorio a valle. Inoltre, una pianificazione coordinata dalle attività di recupero ambientale permetterebbe la disponibilità in tempi brevi di un bacino per il contenimento delle piene del torrente Bevera.

► Impatto ambientale

Il progetto si svilupperebbe per la maggior parte all'interno di un'area già interessata da un'attività invasiva quale la coltivazione mineraria appena conclusa e che deve comunque essere oggetto di interventi di riqualifica ambientale. In queste condizioni, i potenziali impatti ambientali negativi saranno dovuti ad interventi di rimodellamento morfologico, alle opere di presa e di svuotamento del bacino. Tuttavia tali impatti potranno essere ampiamente compensati con interventi di recupero ambientale e di sistemazione finale del sito che dovranno essere mirati a garantire un adeguato reinserimento paesaggistico ambientale e la fruibilità futura del sito.

► Costi

La realizzazione dell'intervento consiste nella rimodellazione morfologica del sito, l'implementazione del sistema di svuotamento della vasca, la creazione di tutte le opere di protezione necessarie a garantire la sicurezza dell'area e gli interventi di sistemazione ambientale finale.

Parte dei costi di realizzazione di tali interventi sarebbero a carico dell'attività estrattiva appena cessata.

Costi complessivi stimati per l'intervento pari a circa 10 milioni di Euro.

2.3 - Scenario C: Realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri comuni

Un altro intervento alternativo è quello che prevede l'utilizzazione di alcune aree del Parco di Monza come zone di spandimento indotto del fiume Lambro in caso di piena. L'induzione all'esondazione verrebbe provocata attraverso la riattivazione ed il potenziamento di rogge già esistenti e la restrizione locale e temporanea di alcuni punti dell'alveo, ed I volumi d'acqua sarebbero contenuti entro apposite linee arginali.

► Efficacia

L'efficacia di tale intervento è direttamente connessa con le allegate opere provvisionali che verrebbero allestite nell'ambito cittadino di Monza e sarebbe più evidente per tempi di ritorno bassi (entro i 50 anni) e meno per tempi di ritorno superiori.

► Impatto ambientale

L'impatto sarebbe legato alla formazione delle linee d'argine ed alle opere di restringimento d'alveo in un contesto di vincolo storico, architettonico e paesaggistico che ha pochi eguali in Europa.

► Costi

I costi di quest'opera sono stati stimati in circa 6 milioni di euro.

Le considerazioni precedenti hanno evidenziato che la realizzazione della vasca di laminazione all'interno dell'area della ex Miniera di Brenno costituisce la migliore soluzione in quanto presenta, rispetto agli altri possibili scenari, una serie di vantaggi in merito a:

- **Morfologia attuale**: la morfologia a "fossa" risultante dall'attività estrattiva è la più favorevole per la realizzazione di una vasca di laminazione in quanto non richiede la realizzazione di argini artificiali o interventi simili che si configurerebbero, di fatto, come una diga artificiale.
- **Volumetria**: la dimensione del vuoto disponibile in seguito all'attività estrattiva svolta consente la realizzazione di una vasca con volumetria sufficiente per la laminazione delle piene nei periodi critici (oltre 1.000.000 mc).
- **Efficacia**: Essendo localizzata a monte consente la salvaguarda di tutto il territorio lungo il percorso del fiume evitando quindi eventuali altri interventi minori che comporterebbero ulteriori costi ed impatti ambientali.
- **Impatto ambientale**: l'intervento non interesserà nuove aree ma un'area degradata dall'attività estrattiva appena cessata che deve comunque essere sottoposta ad interventi di riqualificazione ambientale. L'inserimento della realizzazione della vasca di laminazione nell'ambito di un progetto generale di sistemazione finale del sito risulta compatibile con una riqualificazione ambientale complessiva del sito nonché con la futura fruibilità di una parte dell'area.
- **Disponibilità a breve termine**: la configurazione morfologica attuale, caratterizzata dalla presenza di un grande "vuoto" consente di ritenere possibile lo svolgimento simultaneo delle attività di laminazione delle piene e di recupero ambientale del sito.
- **Costi**: la disponibilità dei vuoti necessari per la realizzazione dell'intervento comporta una riduzione significativa dei costi relativi allo scavo e movimentazione di materiale. Inoltre la prossimità dell'area della miniera al Torrente Bevera permette di contenere i costi di realizzazione delle opere di captazione e derivazione delle acque.

Sulla base delle analisi preliminari effettuate e dei risultati ottenuti è stata scelta come alternativa progettuale la realizzazione della vasca di laminazione all'interno della Miniera di Brenno.

Nella fase successiva, le analisi di dettaglio sono state concentrate sulle caratteristiche del sito e sulla valutazione dei diversi parametri tecnici necessari per l'elaborazione di un progetto preliminare. In particolar modo, è stata eseguita un'analisi delle caratteristiche geotecniche e delle condizioni di stabilita a medio lungo termine dei fronti di scavo sia nelle condizioni previste nel progetto autorizzato sia alla presenza della vasca di laminazione.

3. ESITI DELLE ANALISI GEOTECNICHE

Di seguito vengono riportate le conclusioni della consulenza geotecnica relativa al progetto dell'utilizzo della miniera di Brenno quale vasca di laminazione redatta dal prof. Ing. Claudio G. Di Prisco ordinario di Geotecnica al Politecnico di Milano.

"Il lavoro che e stato illustrato in questa relazione ha avuto come scopo principale quello di evidenziare le eventuali criticità di natura geotecnica concernenti le scarpate della cava di Brenno nel caso questa venga utilizzata come vasca di laminazione per il torrente Bevera.

Innanzitutto gli scriventi hanno evinto dall'analisi dei documenti che, nonostante già più di trent'anni fa si prevedesse di realizzare in fase di ripristino ambientale all'interno della cava un invaso artificiale, la problematica della stabilita delle scarpate in tali condizioni non sia mai stato affrontato se non in modo molto preliminare e marginale.

Al fine di colmare tale lacuna, gli scriventi si sono innanzitutto chiesti se la variazione del contenuto d'acqua potesse influenzare le caratteristiche meccaniche della marna che costituisce il giacimento. Data la natura del materiale un'influenza del contenuto d'acqua era infatti prevedibile.

La microstruttura del materiale, caratterizzato dalla successione di piani di sedimentazione aventi caratteristiche mineralogiche differenti, ci ha suggerito di interpretare schematicamente la risposta del sistema come la successione di piani più resistenti e fondamentalmente insensibili all'azione dell'acqua e piani a matrice argillosa (argillitica) più sensibili al processo di imbibizione.

Tale ipotesi, concernente il comportamento meccanico alla meso-scala, ha giustificato

l'attenzione riposta nella descrizione della giacitura dei piani di stratificazione in relazione ai piani delle scarpate della cava. A tal proposito ci si e resi conto che essenzialmente tre sono a grandi linee le geometrie che si presentano allo stato attuale:

1) *pareti sub-verticali e piani di stratificazione a reggipoggio (lato della cava con pareti di normale diretta a sud (fotografie D/E/F di Figura 1a, nel seguito "Zona A"). In questo caso, il meccanismo di rottura più probabile e quello flessionale.*

2) *pareti sub-verticali e piani di stratificazione a franapoggio (lato della cava con pareti di normale diretta a nord (Figura 1a, fotografie A/B, nel seguito "Zona B"). In questo caso, data l'inclinazione elevata dei piani di stratificazione, la rottura per taglio e esclusa mentre il meccanismo di rottura più probabile e quello di instabilità euleriana.*

3) *pareti sub-verticali e piani di stratificazione con normale ortogonale alla parete stessa (Figura 1a, fotografia C, nel seguito "Zona C"). In questo caso e escluso ogni processo di rottura coinvolgente i piani di debolezza e quindi in questa zona l'inclinazione delle scarpate potrebbe essere mantenuta inalterata.*

Per ciò che concerne essenzialmente le Zone A e B e allora possibile prevedere, nel caso si decidesse di utilizzare la cava come vasca di laminazione senza modificare la geometria delle sponde, un processo evolutivo di degrado di natura idro-meccanica siffatto.

***Fase 1**. Processo di imbibizione idraulicamente anisotropo caratterizzato da una direzione preferenziale di avanzamento parallela ai piani di stratificazione. Il processo si innescherà al piede, e cioè nella zona del fronte permanentemente satura, per poi propagarsi verso l'alto per capillarità. E possibile anche osservare che molto probabilmente, proprio per l'attesa anisotropia idraulica del materiale, più rapidamente l'evoluzione avverrà nella Zona C e ove i piani sono posti a franapoggio (Zona B) mentre più lentamente ove i piani sono a reggipoggio (Zona A).*

***Fase 2**. Questa fase consiste nel processo di degradazione delle caratteristiche meccaniche dei piani di debolezza (messo in evidenza dai risultati sperimentali di laboratorio). Tale fase e qui citata per ragioni di chiarezza separatamente rispetto alla Fase 1, ma nella realtà essa avrà luogo contemporaneamente. E proprio tale processo che potenzialmente porta all'innesco di eventuali processi di rottura delle pareti secondo i meccanismi già citati.*

Il processo degradativo atteso potrebbe avere luogo molto lentamente e con tempi dettati principalmente dall'eventuale eterogeneità delle proprietà idro-meccaniche del materiale. Quanto appena descritto ci induce a raccomandare, per la sicurezza delle sponde, di ridurre drasticamente l'inclinazione delle sponde rispetto a quella attuale fino ad un'inclinazione media indicativa non superiore ai 35°-40°. Inoltre, dato che il processo di degradazione tenderà ad essere più accentuato al piede, che verrà a contatto con l'acqua del serbatoio o che, ancora più dannosamente, subirà l'escursione del livello dell'acqua, l'inclinazione della scarpata sarà preferibilmente inferiore al piede e maggiore in sommità.

A seconda della necessita, si consiglia inoltre di prevedere una riprofilatura delle scarpate secondo quanto appena raccomandato riportando parte del materiale cavato in sommità al piede della scarpata (cosi come schematicamente definito in Figura 2). Nella Figura citata la linea a tratto continuo si riferisce ad un ipotetico profilo attuale, la linea tratteggiata orizzontale ad un ipotetico riempimento di base, la linea puntinata ad un'inclinazione media della scarpata mentre la linea marrone ad un profilo del materiale di riporto.

Da un punto di vista puramente geometrico si osserva allora quanto segue:

- l'innalzamento del fondo della vasca, a parità di inclinazione media del fronte, permette di ridurre drasticamente l'arretramento della sommità della scarpata. Infatti, nonostante la deformabilità

del terreno di riporto e la possibilità che questo si rompa in condizioni di spinta passiva, in prima approssimazione si può affermare che il tratto del fronte vincolato orizzontalmente dal deposito può essere considerato stabile.

- Una seconda variabile in gioco e il parametro t riportato in figura. Si consiglia, per quanto possibile, di ridurre al minimo t cosi da diminuire effettivamente l'inclinazione della scarpata in roccia.

- L'inclinazione della parte di scarpata che a regime (cioè a vasca di laminazione funzionante), si troverà sotto il livello dell'acqua massimo del serbatoio (Hw+ΔHw), sarà preferibile caratterizzato da una pendenza molto inferiore e cioe non superiore ai 20°.

- Si consiglia in ogni caso in fase di progetto di effettuare delle analisi numeriche come quelle schematicamente svolte all'interno di questa relazione per definire sia nella zona A che nella zona B il profilo definitivo delle scarpate."

Figura 2: definizione schematica dei parametri di progetto in gioco.

A seguito delle modifiche progettuali introdotte è stata redatta, sempre dal prof. Ing. Claudio G. Di Prisco, una relazione di valutazione del nuovo assetto progettuale le cui conclusioni vengono di seguito rappresentate.

"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:

• un cospicuo innalzamento del fondo della cava,

• una diffusa impermeabilizzazione delle scarpate mediante spritz-beton, sino alla quota prevista dell'invaso,

• una riprofilatura molto parziale dei versanti posti sopra tale quota,

• una ridefinizione dei versanti nelle zone Est e Ovest mediante la realizzazione di "spiagge artificiali".

Per analizzare il problema, in conformità con quanto già proposto nella precedente relazione da lororedatta, gli Scriventi hanno suddiviso le scarpate della cava in zone omogenee, caratterizzate ciascuna da problematiche geotecniche differenti. Hanno preso in considerazione i profili dei versanti di progetto ed hanno osservato quanto segue:

• la soluzione progettuale non presenta criticità geotecniche evidenti,

• 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,

• se pure queste ultime si saturassero, a causa di difetti, di locali imperfezioni o per filtrazione dal basso, grazie alla pressione dell'acqua posta all'interno del bacino, la stabilità globale dei versanti sarebbe comunque assicurata. Tale assunto è vero in generale ma un profilo fa eccezione. Lo stesso non può essere affermato nel caso si considerino instabilità superficiali.

Per i motivi qui sopra ricordati gli Scriventi suggeriscono allora di:

1. riprofilare anche i versanti posti nelle zone Nord e Sud (i profili proposti sono soltanto indicativi);

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 anche l'impatto ambientale degli interventi;

3. 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 idrosemina;

4. prevedere un sistema di monitoraggio, mediante l'utilizzo di un numero ridotto di inclinometri, che permetta, sia in fase realizzativa delle opere che a lungo termine, di seguire l'evoluzione temporale del sistema;

5. 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."

4. IL PROGETTO

Nella fase iniziale del progetto di realizzazione della vasca di laminazione all'interno della Miniera di Brenno sono state analizzate diverse possibili alternative di progetto considerando sia la configurazione morfologica del sito prevista nel progetto di coltivazione autorizzato sia le indicazioni fornite dall'analisi delle caratteristiche geotecniche in merito ai parametri di disegno da considerare per garantire la stabilità delle pareti a medio lungo termine. Tale analisi ha portato ad individuare la soluzione progettuale ritenuta più idonea considerando gli aspetti tecnici, ambientali e di sicurezza dell'opera per lo sviluppo successivo del progetto.

4.1 – Alternative progettuali analizzate

Le principali alternative progettuali analizzate nella fase preliminare si possono così sintetizzare:

1. **Riempimento della miniera fino a quota 235 metri**

   Questa alternativa consisterebbe nel riempimento progressivo della miniera sino a raggiungere quota 235 metri sul livello del mare lasciando il restante dislivello sino al bordo miniera a quota 245 m slm. circa per la laminazione delle piene.

   Naturalmente questa soluzione, per quanto esaminato in sede di analisi geotecniche, non garantirebbe la stabilità delle pareti in quanto sarebbe mantenuta la morfologia attualmente prevista dal progetto autorizzato e quindi sarebbero riscontrate tutte le criticità evidenziate dall'analisi geotecnica eseguita. Inoltre, l'area della vasca rimarrebbe scollegata dall'area esterna, dovuto alla porzione di circa 10m di altezza di parete in roccia esposta, rendendo critico l'inserimento paesaggistico dell'opera e la fruibilità futura dell'area (vedi figura successiva).

   Una possibile soluzione sarebbe il rimodellamento morfologico con materiale di riporto sulle pareti esposte nell'area tra le quote 235 e 245 m.slm.. Questo intervento potrebbe risolvere il problema della stabilità a nord, dove l'altezza del fronte libero rimanente sarebbe contenuta. Nella parete a sud, invece, dove si verificano le condizioni più critiche (maggiore altezza del fronte, elevata pendenza delle pareti, disposizione meno favorevole

degli strati, presenza di eventi franosi, ecc.) rimarrebbero le condizioni critiche attuali già evidenziate dalle analisi geotecniche eseguite.

Un altro aspetto da considerare è che le condizioni descritte se verificherebbero solo al completamento dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico e, quindi, nella fase di realizzazione le condizioni morfologiche non consentirebbero l'utilizzo dell'area come vasca di laminazione in condizioni di sicurezza. Considerando i volumi necessari per completare il riempimento della fossa e il rimodellamento delle pareti, circa 3.0 milioni di metri cubi, si deve prevedere un periodo di almeno 25-30 anni per l'avviamento della vasca di laminazione.

Questa prima alternativa che, non ostante non richieda interventi sostanziali all'esterno dell'area della miniera, non è stata considerata nel prosieguo del progetto in quanto come evidenziato non consente il rispetto delle condizioni ritenute necessarie per garantire la sicurezza del sito a lungo termine, richiede un lungo periodo per l'avviamento della vasca di laminazione.

2. <u>Riempimento della miniera con espansione della scavo verso nord</u>

Questa soluzione consisterebbe in un'espansione dello scavo verso nord sulla superficie attuale del Parco nel riempimento progressivo della miniera sino a raggiungere quota 230 metri sul livello del mare, lasciando il restante dislivello sino al bordo miniera per la laminazione delle piene. Lo scopo sarebbe quello di allontanare per quanto possibile l'area di accumulo delle acque dalla parete sud che presenta le condizioni più critiche dal punto di vista di stabilità dei fronti.

Naturalmente questa soluzione, per quanto esaminato in sede di analisi geotecniche, comporta in ogni caso la ridefinizione dei profili di pendio, a nord verranno riprofilati a 30° rispettando completamente le indicazioni emerse dall'analisi geotecniche. Nella parete a sud, invece, dove si verificano le condizioni più critiche (maggiore altezza del fronte,

elevata pendenza delle pareti, disposizione meno favorevole degli strati, presenza di eventi franosi, ecc.), le condizioni di stabilità sarebbero garantite nel settore sudovest dove il riporto di materiale consentirebbe rispettare le indicazioni dell'analisi geotecnica , mentre, nella parte centrale del fronte rimarrebbero sostanzialmente le condizioni critiche attuali già evidenziate dalle analisi geotecniche eseguite. Anche in questo caso si deve considerare che le condizioni descritte se verificherebbero solo al completamento dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico e, quindi, nella fase di realizzazione le condizioni morfologiche non consentirebbero l'utilizzo dell'area come vasca di laminazione in condizioni di sicurezza. Considerando i volumi necessari per completare il riempimento della fossa e il rimodellamento delle pareti, circa 3.0 milioni di metri cubi, si deve prevedere un periodo di almeno 12-15 anni per l'avviamento della vasca di laminazione.

L'intervento di ampliamento verso nord andrebbe ad interessare un'area recuperata in precedenza e attualmente adibita a parco pubblico.

Nel recupero ambientale di questa area sono stati utilizzati materiali provenienti dalla scopertura dell'area della miniera quindi i nuovi fronti dovranno essere progettati sulla base di un'accurata indagine geotecnica. Tale intervento comporterebbe lo scavo e movimentazione di circa 0.5 milioni di metri cubi di materiale da destinare al riempimento della fossa attuale ciò che comporterebbe di un lato un forte impatto negativo su un'area del parco naturale già recuperata, dall'altro potrebbe ridurre i tempi di rimodellamento morfologico di 2-3 anni.

Questa alternativa non è stata considerata nel prosieguo del progetto in quanto come evidenziato consente solo in parte il rispetto delle condizioni ritenute necessarie per garantire la sicurezza del sito a lungo termine, richiede un lungo periodo per l'avviamento della vasca di laminazione, comporta un inserimento paesaggistico ambientale piuttosto critico e limita fortemente la fruibilità del sito. Infine, va sottolineato che anche in questa soluzione le possibilità di sfruttare sinergie con l'attività privata in corso sono molto limitate ciò che comporterebbe maggiori costi dell'opera, in particolare se si considerano gli interventi di rimodellamento morfologico necessari. Costo totale stimato dell'intervento 7-8 milioni di euro.

3. **Riempimento di una parte della miniera fino a quota 240-250 m.s.l.m. e utilizzo della sola zona est della miniera come vasca di laminazione**

Questa soluzione consiste nel riempimento dal bordo miniera (250m.s.l.m.) alla quota 240 m.s.l.m. di tutta la zona ovest della Cava e nell'utilizzo della sola parte a est come vasca di laminazione. Quest'ultima area verrà riempita fino a 210 m.s.l.m. lasciando il restante dislivello sino al bordo miniera per la laminazione delle piene.

Naturalmente questa soluzione, per quanto esaminato in sede di analisi geotecniche, comporta in ogni caso la ridefinizione dei profili di pendio nell'area di accumulo delle acque utilizzando il materiale di riempimento. I nuovi profili dovranno comunque rispettare la pendenza media di circa 20° indicate dalle indagini geotecniche per le scarpate nell'area di accumulo realizzate con materiale di riporto, ciò comporterà una significativa riduzione del volume effettivo della vasca non superiore al 40-50% del volume necessario.

Anche in questo caso si deve considerare che le condizioni descritte se verificherebbero solo al completamento dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico e, quindi, nella fase di realizzazione le condizioni morfologiche non consentirebbero l'utilizzo dell'area come vasca di laminazione in condizioni di sicurezza. Considerando i maggiori volumi necessari per completare il riempimento della fossa e il rimodellamento delle pareti, circa 3,5 milioni di metri cubi, si deve prevedere un periodo di almeno 25 anni per l'avviamento della vasca di laminazione in condizioni di sicurezza.

Questa alternativa non è stata considerata nel prosieguo del progetto per l'insufficiente capacità di laminazione e perché, come evidenziato, richiede un lungo periodo per l'avviamento della vasca di laminazione in condizioni di sicurezza.

4. Riempimento totale della miniera con massi ciclopici

Questa soluzione consiste nel riempimento totale della miniera, fino alla quota di 250 m.s.l.m, con massi ciclopici ricoperti in superficie con un manto erboso. Lo scopo sarebbe quello di creare attraverso il riempimento un volume di materiale con capacità di accumulo negli spazi interstiziali. In questo caso il volume di invaso sarebbe ricavato dai vuoti presenti tra i massi.

Naturalmente questa soluzione non comporterebbe la modifica verso l'esterno dell'attuale morfologia dell'area della miniera. La sistemazione finale proposta con questo tipo di intervento dovrebbe garantire le condizioni di stabilità del sito a medio lungo termine. Tuttavia, sarebbero da verificare le condizioni della parete sud che rimarrebbe con le elevate pendenze attuali e verrebbe comunque a contatto con le acque sotto la quota finale di riempimento (245 m. slm. circa).

Gli aspetti più critici di questa soluzione riguardano sia la tempistica e il costo di un riempimento di questo natura di un vuoto di 3,5-4,0 milioni di metri cubi sia la capacità di riempimento in breve tempo di un volume significativo come quello stimato. Inoltre, si registrerebbe un progressivo intasamento degli spazi interstiziali con perdita di capacità di accumulo. Infine, il costo di realizzazione di questo intervento risulterebbe sicuramente eccessivo, dell'ordine di alcune decine di milioni di euro.

Questa soluzione che non prevedrebbe interventi rilevanti all'esterno dell'area della miniera non è stata considerata nel prosieguo per l'inadeguatezza della scelta tecnica e per i costi ed i tempi necessari per la realizzazione.

5. Riprofilatura della parete sud e parziale riempimento della miniera

Questa soluzione consisterebbe in attuare una riprofilatura della parete sud dove si verificano le condizioni più critiche (maggiore altezza del fronte, elevata pendenza delle pareti, disposizione meno favorevole degli strati, presenza di eventi franosi, ecc.) in accordo con le indicazioni geotecniche al fine di garantire le condizioni di stabilità a medio lungo termine. Parallelamente si procederebbe ad un parziale riempimento della miniera fino alla quota 215 m. slm. circa con un raccordo a pendenze contenute come indicato nelle analisi geotecniche al fine di creare una zona depressa con una capacità di accumulo equivalente al volume richiesto.

Il raccordo dell'area pianeggiante con le pareti realizzato con l'apporto di materiale consentirebbe sia di garantire le condizioni di stabilità nella parete nord sia di permettere diverse sistemazioni morfologiche e paesaggistiche dell'area.

La morfologia finale del sito consentirebbe in questo caso progettare una sistemazione finale del sito con un adeguato inserimento paesaggistico ed ambientale nel contesto locale e con diverse possibilità di fruizione futura del sito.

Anche in questo caso, le condizioni descritte sono relative alla situazione a fine dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico. Essendo il livello di riempimento inferiore però, il volume di materiale necessario sarà dell'ordine dei 2.0 milioni di metri cubi ed inoltre, la riprofilatura della parete sud comporterà la rimozione di un volume significativo di materiale di scopertura messo a dimora nella parte più alta del fronte nella fase precedente di coltivazione.

L'aspetto critico di questa soluzione è senza dubbio la complessità della rimodellazione morfologica sia per quanto riguarda le volumetrie necessarie sia i relativi costi che, conclusa l'attività estrattiva, ricadrebbero come costo sugli importi di progetto.

Questa alternativa, come evidenziato richiede interventi di riprofilatura che interessano l'area della Torre di Brenno, risulta comunque la più idonea per lo sviluppo del progetto in quanto sicuramente consente sia di progettare una sistemazione finale che rispetti tutte le condizioni ritenute necessarie per garantire la sicurezza del sito a lungo termine sia permetterebbe un adeguato reinserimento paesaggistico ed ambientale del sito nel contesto locale con diverse possibilità di fruibilità futura. Tuttavia i costi connessi superano le attuali disponibilità sia del soggetto pubblico sia dell'attuale proprietario della miniera.

6. Impermeabilizzazione delle pareti e parziale riempimento della miniera

Questa soluzione consisterebbe in attuare una messa in sicurezza e impermeabilizzazione delle sponde attraverso getti di spritz-beton armato al fine di garantire le condizioni di stabilità a medio lungo termine. Parallelamente si procederebbe ad un parziale riempimento della miniera fino alla quota 203 m. slm., alla base, e 236 m. slm. sui lati creando così una zona depressa con una capacità di accumulo equivalente al volume richiesto.

La morfologia finale del sito consentirebbe in questo caso progettare una sistemazione finale del sito con un relativo inserimento paesaggistico ed ambientale nel contesto locale e con possibilità di fruizione futura del sito almeno per la parte pianeggiante posta a quota 236 m. slm.

Il vantaggio di questa soluzione, rispetto alla precedente, è la possibilità di contenere i costi complessivi dell'intervento, sia pubblico che privato, entro 11 milioni di Euro.

4.2 – Caratteristiche tecniche del progetto

Esaminate e scartate per i motivi citati le soluzioni alternative, la soluzione proposta, come anticipato nel paragrafo precedente, si sviluppa dalla possibilità di impiegare sin da subito parte della Cava di Brenno quale bacino di accumulo delle acque di piena del torrente Bevera. Tale area, di proprietà della società Holcim, è stata oggetto di coltivazione della marna fino a ottobre 2013 ed ora sarà oggetto di un intervento di recupero ambientale.

L'intervento di recupero ambientale prevede il riempimento del fondo della miniera fino a quota +203 metri e poi il parziale riempimento dei lati estremi del sedime, indicati in verde nell'immagine seguente, sino a quota +236 metri.

Fotografia 2 - aree di riempimento a quota +236 metri

Tuttavia è stata esplorata la possibilità di modificare il piano di riempimento della miniera al fine di realizzare attraverso i primi riempimenti un setto di separazione centrale in modo da creare un volume d'invaso in grado di sopperire alle necessità idrauliche della zona. A ciò si aggiunga che con tale soluzione vengono reperite volumetrie di invaso laddove il territorio è già stato intaccato.

Da queste semplici osservazioni prende spunto il progetto proposto il cui elemento principale è la realizzazione di un canale di invaso del torrente Bevera di Molteno ed una centrale di pompaggio delle acque accumulate sul fondo della miniera.

La Cava di Brenno è una miniera di estrazione della marna per la produzione del cemento attiva, fino ad ottobre 2013, nel territorio del comune di Costa Masnaga in virtù dell'esistente convenzione che prevede, alla cessazione dell'attività estrattiva, un termine di tre anni per la rinaturalizzazione dell'area. In base a quanto previsto in convenzione e quanto indicato nel Piano

di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino per il fiume Po, in tale area dovrà essere realizzato un lago artificiale alimentato dal torrente Bevera di Molteno che avrà la funzione di laminare tale torrente in caso di piena.

Fotografia 2 - Cava di Brenno vista dall'alto

5. OPERE PROVVISORIE

In una prima fase provvisoria è previsto l'utilizzo di una parte della miniera come vasca di laminazione in concomitanza con la fase di recupero ambientale fino al completamento del setto di separazione: questo consentirà di rendere disponibili a breve termini una parte dei volumi previsti dal PAI per la protezione idraulica dei territori a valle.

Naturalmente l'utilizzo di una parte della Cava quale vasca di laminazione richiede, oltre alla modifica del progetto di recupero ambientale e rettifica dei profili spondali, la realizzazione di un sistema di opere che andranno armonizzate con le esigenze del recupero stesso.

Tali opere essenzialmente sono legate al sistema di presa e convogliamento dell'acqua dal torrente Bevera all'invaso e le opere legate al successivo svaso delle acque. In particolare sarà necessario realizzare:

- l'opera di presa per la vasca di laminazione che rimarrà tale anche a fine lavori.
- Torre pompe per lo svuotamento del lago.

La soluzione scelta, indicata negli elaborati grafici 02, 03, 04, 05, 06 e 07, appare il miglior compromesso tra le esigenze dell'attività di recupero e della fruibilità dell'area pubblica. Questa soluzione è stata scelta affinché l'acqua convogliata arrivando presso la vasca ad una quota pari a 244 m. slm. possa essere incanalata nella già preesistente strada carrabile utilizzata dai mezzi pesanti della Holcim e scendere dolcemente a fondo vasca evitando una cascata di circa cinquanta metri.

Fotografia 3 - Luogo individuato per l'opera di presa (sol. A)

L'opera di presa consiste principalmente in uno sbarramento trasversale cui viene accoppiato uno sfioratore laterale dotato di paratoie mobili. Lo sbarramento studiato consisterà in una traversa dotata di gaveta con fondo pari al fondo dell'alveo per consentire un transito indisturbato delle portate di magra e di morbida senza alcun salto, e di sezione tale da consentire a monte un rigurgito che fornisca alla corrente a monte l'energia sufficiente per lo sfioro delle portate volute, ovvero quelle che superano la soglia di 22.5 mc/s. Inoltre, per impedire che lo sfioro avvenga per portate inferiori a quella di progetto, lo sfioratore laterale dovrebbe essere dotato di paratoie meccanizzate che ne consentano l'apertura comandata solo quando le portate in Bevera superassero la soglia prefissata.

Immagine 1 – Sbarramento in alveo con gaveta

Particolare cura andrà posta nella progettazione dello sbarramento e dello sfioratore laterale: per il primo dovrà essere previsto un dimensionamento tale da indurre a monte, per le portate desiderate, un innalzamento sufficiente a fornire alla corrente l'energia per la fase di sfioro, pena il malfunzionamento dell'intero manufatto; nel secondo occorrerà curare l'altezza del ciglio di sfioro e la lunghezza, ulteriori parametri da cui dipende la portata sfiorata.

Il manufatto a cielo aperto per il convogliamento delle acque nella miniera verrà realizzato scavando un canale in trincea di larghezza pari a circa 300 cm utilizzando tecniche di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione delle sponde. Il canale passerà sotto ad una strada sterrata interna al Parco di Brenno grazie alla costruzione di una passerella carrabile.

Immagine 2 – Sezione canale di presa

6. OPERE A REGIME

Una volta che la coltivazione della Cava verrà terminata sarà necessaria una completa riqualificazione dell'area. Come precedentemente accennato la riqualificazione prevede la creazione di due aree:

1) VASCA DI ESONDAZIONE E LAMINAZIONE

Questa area occuperà il 70% della superficie della Cava che avrà una profondità calibrata in base alle ondate di piena del fiume Bevera. Si riempirà in fase di piena attraverso il canale di presa descritto precedentemente e verrà svuotata totalmente o parzialmente una volta esaurita l'ondata di piena del torrente attraverso un sistema di pompaggio inserito in una torre.
Sarà necessario prevedere un terrazzamento delle sponde della vasca per opere di manutenzione dello stesso.

2) AREA PIANEGGIANTE

Questo ambito occuperà il restante 25-30% della superficie della Cava e dovrà avere caratteristiche più naturali possibili, con una copertura inerbita.
Questa zona ha lo scopo di rendere fruibile l'area e migliorarne il recupero ambientale: verranno costruiti spazi idonei al pubblico quali spazi verdi, parco giochi ecc.

7. INDIRIZZI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Lo studio della Cava di Brenno e del torrente Bevera di Molteno ha portato alla definizione di alcune criticità il cui approfondimento dovrà essere opportunamente valutato nella progettazione definitiva delle opere.

Innanzitutto occorre affrontare la questione dell'inserimento dei manufatti e più in generale dell'opera nel contesto del Parco Regionale della Valle del Lambro ed in particolare all'interno di un'area, ancorché sfruttata dal punto di vista mineraria, di notevole valenza ambientale.

Occorre poi approfondire le caratteristiche della torre di pompaggio e dello scarico delle acque laminate nella Bevera.

Il progetto definitivo dovrà pertanto essere il frutto delle esperienze di diverse professionalità ed in particolare:

- Ingegneri idraulici;
- Ingegneri strutturisti;
- Ingegneri geotecnici e geologi;
- Esperti di rinaturazione e di recupero ambientale.

8. INDICAZIONI PER UNA ANALISI COSTI-BENEFICI

A conclusione dello studio per la laminazione delle piene appare opportuno precisare quali sono stati gli impatti economici delle alluvioni nella valle del Lambro ed in particolare quelli relativi all'alluvione del 2002.

Come già anticipato, nel novembre 2002 dopo un periodo di piogge continue si ebbe l'esondazione del lago di Pusiano nei comuni di Merone, Pusiano e Bosisio Parini, mentre a valle i comuni più colpiti furono Monza, Cologno Monzese e Milano.

Limitandoci ai comuni della valle del Lambro compresi nel territorio del Parco che avrebbero giovato dell'opera di laminazione proposta in questo studio, si evince, dalla scheda riassuntiva sottoesposta, un ammontare complessivo superiore ai 35 milioni di euro.

Costi stimati alluvione 2002 in euro	
Comune di Monza	28.783.000
Comune di Triuggio	3.700.000
Comune di Briosco	1.464.000
Comune di Carate Brianza	1.100.000
TOTALE	**35.047.000**

Il confronto con il costo stimato complessivo dell'opera (10-11 milioni di euro) permette di evidenziare il notevole vantaggio anche economico di un'opera di prevenzione di tale importanza.

9. CALCOLO SOMMARIO DELLA SPESA

Nel quadro del protocollo d'intesa "per il finanziamento, la progettazione e l'esecuzione di opere per la riduzione del rischio idrogeologico e utilizzo della Cava di Brenno quale vasca di laminazione delle piene del torrente Bevera in Comune di Costa Masnaga (LC)." il Parco Regionale della Valle del Lambro ha ricevuto, dalla Regione Lombardia, il finanziamento di 1'000'000,00 €.

Per la realizzazione delle opere oggetto di finanziamento e più ampiamente descritte nelle pagine precedenti, limitatamente alle opere di prelievo e scarico idraulico, vengono stimati seguenti costi:

OPERE		RL
Apprestamento cantiere		€ 30.000,00
Scavo in roccia		
- canale di scarico (600 mt x 7 x 2.5)	€ 157.500,00	
- appoggio torre di pompaggio	€ 111.000,00	
- tubazioni di scarico	€ 31.500,00	
		€ 300.000,00
Struttura del castello pompe		
- volume struttura (7.00 x 11.60x 58) (75 €/mc)		€ 350.000,00
Tubo acciaio		€ 80.000,00
Ponte		€ 40.000,00
Traversa		€ 80.000,00
Cabina di controllo e monitoraggio		
- edificio superficie coperta 60 mq	€ 75.000,00	
- organi di regolazione	€ 55.000,00	
		€ 130.000,00
Corazzamento dello scarico		€ 50.000,00
Opere di naturalizzazione canale		€ 50.000,00
Impermeabilizzazione delle pareti		€ 2.250.000,00
Imprevisti		€ 333.000,00
Costi complementari (Iva + spese tecniche)		
- iva sui lavori di RL		€ 732.600,00
- spese tecniche varie di RL (12%)		€ 439.560,00
TOTALE OPERE		**€ 4.865.160,00**

RegioneLombardia

P.zza Città di Lombradia, 1 (MI)
www.regione.lombardia.it

Parco Regionale della
VALLE DEL LAMBRO

Via V. Veneto, 19 - Triuggio (MB)
T 0362.970.961
T 0362.997.137
F 0362.997.045
www.parcovallelambro.it

COMMITTENTE: **PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO**
via Vittorio Veneto 19 - 20844 Triuggio (MB)

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

DOC.
1.2

FASE: **PROGETTO PRELIMINARE**

COMM.:

TITOLO: **RELAZIONE GEOTECNICA**

SCALA:

DATA: 05/05/2014

COORDINATORE DI PROGETTO
E PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE: Ing. Daniele Giuffrè

CONSULENTE GEOTECNICO: Prof. Ing. Claudio Di Prisco

CONSULENTE PAESAGGISTICO AMBIENTALE: Arch. Andrea Fiorentini

REV.
REV.
REV.
REV.

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

Versione doc. 1.0

Data doc. 5 maggio 2014

prof. ing. Claudio G. 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

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. MARCO M. SECONDI
Sez. A Settori:
- civile e ambientale
- industriale
- dell'informazione
n° A 25510

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

SOMMARIO

1 Introduzione Pag. 3

2 Attività e documentazione 3

3 Definizione del modello geologico-geotecnico 4

3.1 Classificazione geo-strutturale dei fronti di scavo 7

4 Analisi critica del progetto di riqualificazione della Miniera di Brenno 10

4.1 ZONA A-Sezioni 2, 3, 4, 5, 6 Sud 11

4.2 ZONA B-Sezioni 2, 3, 4, 5, 6 Nord 13

4.3 ZONA C-Sezione 7 Est 15

4.4 Sezione 7 Ovest e Sezione 1 16

5 Stabilità dei fronti di scavo della Miniera di Brenno 16

5.1 ZONA A – Sezione 3, fronte SUD e Sezione 4, fronte SUD 18

5.1.1 Rotture globali 18

5.1.2 Instabilità locali 22

5.2 ZONA B – Sezione 3, fronte NORD e Sezione 4, fronte NORD 23

5.2.1 Rotture globali 23

5.2.2 Instabilità locali 27

6 Proposta di monitoraggio a lungo termine dei fronti di Miniera 29

7 Osservazioni conclusive 32

Questa pagina è intenzionalmente lasciata bianca.

1. Introduzione

Il presente 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 eventuale impiego quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno.

L'incarico in oggetto è stato articolato in quattro 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 idraulico-geotecniche legate alla stabilità dei fronti di scavo a seguito dell' intervento di sistemazione proposto.
- Terza fase: individuazione, in via sintetica, di soluzioni alternative utili alla progettazione finale dell'opera, e definizione **delle eventuali opere da realizzare**. In particolare nella presente relazione saranno chiariti quali siano i fronti di cava compatibili con l'opera a modifica del progetto già proposto dagli Enti competenti.
- Quarta fase: redazione del presente documento.

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.

2. Attività e documentazione

Nella prima fase del lavoro si sono resi necessari incontri fra gli Scriventi e i funzionari dell'Ente, sia per il reperimento della documentazione progettuale che per la discussione delle criticità rilevate e delle soluzioni individuate. Quanto discusso e presentato nei paragrafi che seguiranno, fa riferimento:

- alla già citata "Relazione Generale", contenente le scelte progettuali individuate dall'Ente e

volte alla riqualificazione dell'area ad invaso di laminazione,

- al documento redatto dagli Scriventi nel settembre 2010, dal titolo "Consulenza Geotecnica Relativa al Progetto di Riqualificazione dell'area di Miniera Cava di Brenno", già in possesso dell'Ente, la cui finalità principale è consistita nell'individuazione, anche attraverso indagini in sito e mediante la formulazione teorica dei possibili meccanismi di rottura, di possibili criticità geomeccaniche riguardanti la stabilità dei fronti di coltivazione della miniera,. Nel seguito, tale documento sarà individuato come "Relazione di Consulenza";
- agli elaborati grafici progettuali (BRE_PRG Var A6 RM p.dwg, il Progetto di Sistemazione Definitiva, vers. Gennaio 2014 e Tav. Sezioni_Altern_6A.dwg, contenenti le sezioni topografiche, vers. Febbraio 2014).

3. Definizione del modello geologico-geotecnico

Come indicato all'interno dei §4, 5 e 6 della Relazione di Consulenza, le indagini in sito ed di laboratorio condotte nell'anno 2010, hanno permesso la definizione di un modello geologico-geotecnico così riassumibile:

- 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 è caratterizzata dalla successione di piani di sedimentazione più resistenti e fondamentalmente insensibili all'azione dell'acqua e piani a matrice argillosa (argillitica) più sensibili al processo di imbibizione.
- I parametri geomeccanici caratteristici dei materiali coinvolti, sono fortemente influenzati dal grado di saturazione della matrice, ovvero dalla possibilità che il futuro invaso di laminazione induca un imbibimento dei fronti. In particolare, in Tabella 1, sono presentati i valori dell'angolo di attrito interno e della coesione, ricavati dall'analisi critica dalle prove di carico monoassiale e di taglio diretto, relativi sia al materiale intatto che alla sola discontinuità, in condizioni di saturazione naturale o di campione imbibito. Nel caso invece si trascuri il comportamento anisotropo del materiale e si utilizzi il valore di resistenza a compressione a espansione laterale libera minimo pari a 0.7 MPa ed utilizzando un ϕ' pari a 10°, si ottengono i valori riportati in Tabella 2. Tali valori saranno successivamente impiegati per le analisi di stabilità globale dei fronti della miniera.

	Angolo di attrito – materiale INTATTO ϕ'[°]	**Coesione – materiale INTATTO c' [MPa]**	**Angolo di attrito – DISCONTINUITÀ ϕ_P [°]**	**Coesione – DISCONTINUITÀ c_P [MPa]**
campioni naturali	35	5.5	25	3
campioni imbibiti	33	4.5	15	0.2

Tabella 1: riepilogo dei parametri geomeccanici.

	Angolo di attrito ϕ'[°]	**Coesione c' [MPa]**
Imbibito-minimo UCS	10	0.3

Tabella 2: angolo di attrito interno e coesione associato al minimo valore di UCS sperimentale (pari a 0.7 MPa).

- La presenza di una piega sinclinale avente vergenza verso Sud permette di individuare le situazioni illustrate in Figura 1.

Il comportamento meccanico alla meso-scala del materiale in oggetto richiede allora 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 alle immagini di Figura 1, ci si è resi conto 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.

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

Figura 1: (a) stato di fatto a Dicembre 2009 ed individuazione delle principali strutture geologiche.

3.1. Classificazione geo-strutturale dei fronti di scavo

Ciascuna delle zone precedentemente definite (e schematizzate in Figura 7), oltre che ad una possibile rottura generalizzata per taglio, è associabile ad un preciso fenomeno di instabilità locale.

Per una descrizione di dettaglio di ciascuno dei fenomeni che verranno qui introdotti, si rimanda al §6 della Relazione di Consulenza. A scopo riassuntivo ed in base alle geometrie descritte, è stato possibile suddividere l'area di miniera nelle seguenti zone:

- 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.

Per meglio comprendere le differenti rotture introdotte, appare opportuno esemplificare quanto descritto mediante le schematizzazioni proposte nelle figure che seguono, ricavate a partire dalle otto fotografie riportate in Figura 1. In particolare, verranno mostrate la vista frontale, in sezione ed una vista 3D della disposizione spaziale dei piani di stratificazione.

ZONA A

Fotografie D/E/F, fronte SUD della miniera

Stratificazione a reggipoggio

Rottura Flessionale

FOTOGRAFIA D

Figura 2: (a) schema frontale, (b) sezione e (c) disposizione spaziale dei piani di stratificazione per la zona in prossimità della fotografia D.

FOTOGRAFIA E

Figura 3: (a) schema frontale, (b) sezione e (c) disposizione spaziale dei piani di stratificazione per la zona in prossimità della fotografia E.

FOTOGRAFIA F

Figura 4: (a) schema frontale, (b) sezione e (c) disposizione spaziale dei piani di stratificazione per la zona in prossimità della fotografia F (piega sinclinale).

ZONA B

Fotografie A/B, fronte NORD della miniera

Stratificazione a franappoggio

Instabilità euleriana

FOTOGRAFIA A e B

Figura 5: (a) schema frontale, (b) sezione e (c) disposizione spaziale dei piani di stratificazione per la zona in prossimità delle fotografie A e B.

<u>ZONA C</u>

Fotografia C, fronte EST della miniera

Stratificazione ortogonale alla parete di scavo

Nessuna instabilità

FOTOGRAFIA C

Figura 6: (a) schema frontale, (b) sezione e (c) disposizione spaziale dei piani di stratificazione per la zona in prossimità delle fotografie C.

Nella Relazione di Consulenza, della quale sono in questo paragrafo riportate le conclusioni, si suggeriva inoltre quanto segue:

- l'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,

- la riprofilatura delle scarpate maggiormente suscettibili di instabilità, riducendone la pendenza a valori prossimi a 20°, con contestuale innalzamento del fondo della miniera.

In assenza di interventi tesi sia alla ridefinizione della geometria delle scarpate e delle condizioni idrauliche al contorno, si osservava inoltre non fossero da escludersi comunque processi evolutivi di degrado idro-meccanico dei fronti di scavo, sebbene lenti, principalmente associati a eventi meteorici particolarmente intensi.

Come sarà proposto nel seguito, non sono state discusse le condizioni di stabilità delle pareti Ovest della miniera (fotografie G ed H), in quanto non interessate dal futuro invaso di laminazione e, pertanto, da possibili fenomeni di degradazione idro-meccanica.

4. Analisi critica del progetto di riqualificazione della Miniera di Brenno

In relazione a quanto indicato dagli Scriventi e sulla base dei vincoli relativi alle volumetrie di invaso richieste, l'Ente ha proposto l'intervento descritto all'interno della "Relazione Generale" (Figura 7), che è così riassumibile:

- 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.,
- 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. .

Figura 7: soluzione di progetto per la sistemazione della miniera di Brenno (fonte Progetto di Sistemazione Definitiva-Variante A1, Tav. A1.4, Gennaio 2014).

Nel seguito sarà analizzata, dal punto di vista geotecnico, la stabilità dei versanti per le zone A, B e C precedentemente introdotte, facendo riferimento alle sezioni individuate dai progettisti in Figura 7.

4.1. ZONA A-Sezioni 2, 3, 4, 5, 6 Sud

La zona A (rottura flessionale, stratificazione a reggipoggio), di estensione in pianta stimata in circa 200 m, misurata dal piede della scarpata artificiale Ovest al piede della scarpata artificiale Est, prevede la realizzazione della sola impermeabilizzazione con spritz-beton, con locali riprofilature di scarpate intermedie di modesta estensione. I profili delle sezioni 2-3-4-5-6 sono presentati nelle figure che

seguono, ove in blu è rappresentato il profilo a seguito della riprofilatura ed in verde il profilo attuale. Alla quota 236 m.s.l.m. è posto il livello di massimo invaso.

Figura 8: sezione 2, versante Sud, zona A.

Figura 9: sezione 3, versante Sud, zona A.

Figura 10: sezione 4, versante Sud, zona A.

Figura 11: sezione 5, versante Sud, zona A.

Figura 12: sezione 6, versante Sud, zona A.

Dal confronto tra i profili attuali (linee verdi) e di progetto (linee blu) è possibile notare quanto segue:

- il fondo miniera è oggetto di innalzamento dalla quota 190 m.s.l.m. alla quota 230 m.s.l.m.;
- non appare realizzata alcuna riprofilatura generalizzata dei fronti, tesa alla diminuzione della pendenza media, a meno di minimi interventi lungo scarpate di ampiezza modesta.

Secondo quanto osservato all'interno dei §6 e 7 della Relazione di Consulenza, i pendii relativi alla Zona A non sarebbero più suscettibili di rotture di tipo flessionale, neppure localizzate, essenzialmente grazie alle opere di impermeabilizzazione.

4.2. ZONA B-Sezioni 2, 3, 4, 5, 6 Nord

Analogamente alla Zona A, anche per la zona B (instabilità euleriana, stratificazione a franappoggio), di estensione in pianta stimata in circa 300 m (misurata dal piede della scarpata artificiale Ovest al piede della scarpata artificiale Est) si prevede la realizzazione della sola impermeabilizzazione con spritz-beton, con locali riprofilature di piccole scarpate intermedie. I profili delle sezioni 2-3-4-5-6 sono presentati da Figura 13 a Figura 17.

Figura 13: sezione 2, versante Nord, zona B.

Figura 14: sezione 3, versante Nord, zona B.

Figura 15: sezione 4, versante Nord, zona B.

Figura 16: sezione 5, versante Nord, zona A.

Figura 17: sezione 6, versante Nord, zona B.

Come discusso per la Zona A, anche per la Zona B, il progetto prevede:

- un innalzamento del fondo miniera dalla quota 190 m.s.l.m. alla quota 230 m.s.l.m.;
- nessuna riprofilatura generalizzata dei fronti, tesa alla diminuzione della pendenza media, a meno di minimi interventi su scarpate di modeste dimensioni.

Secondo quanto trattato all'interno dei §6 e 7 della Relazione di Consulenza, i pendii posti all'interno della Zona B non sarebbero più suscettibili di instabilità euleriana grazie all'impermeabilizzazione che eviterebbe la degradazione delle proprietà meccaniche delle marne. A tal proposito, applicando la formulazione [14] di cui al § 6 della Relazione di Consulenza, qui nel seguito riproposta:

$$l^3 = \frac{\pi^2 \mathrm{E} \cdot d^2}{2.25\left(\gamma \sin\alpha - \gamma l \cos\alpha \tan\phi - \frac{c}{d}\right)}$$

è possibile valutare la lunghezza critica per la quale è possibile l'insorgere di instabilità. In base alla formulazione precedente, all'interno della Relazione di Consulenza è stata stimata una lunghezza critica pari a 10 m nel caso di marne imbibite ma di un ordine di grandezza maggiore nel caso di marne in condizioni naturali. Per una trattazione più dettagliata di questo aspetto si rimanda al §5.2.

4.3. ZONA C-Sezione 7 Est

La zona C, non interessata dalla presenza dell'invaso artificiale, può essere considerata essenzialmente non interessata da fenomeni di instabilità. Ivi è prevista la creazione di una "spiaggia" alla quota 236 m.s.l.m. La spiaggia è realizzata mediante della creazione di due scarpate artificiale di pendenza pari a 20° a partire dalla quota di riempimento di fondo (203 m.s.l.m.), sino alla massima quota di invaso (236 m.s.l.m.). La pendenza prevista è assunta soddisfacente, in quanto realizzata con materiali granulari compattati artificialmente e sufficientemente drenanti. Inoltre ***si consiglia di fornire delle prescrizioni, una volta scelto il materiale costituente il deposito, relative alla velocità di svuotamento***

del serbatoio così da evitare l'instaurarsi di pericolosi processi di filtrazione diretti verso l'invaso.

Figura 18: sezione 7, versante Est, zona C.

4.4. Sezione 7 Ovest e Sezione 1

Per completezza si mostrano, qui di seguito, anche i profili delle sezioni tracciate nella zona Ovest della Miniera, interessata unicamente da un'ampia superficie a quota 236 m.s.l.m. realizzata, come per la Zona C, mediante due scarpate artificiali aventi inclinazione di 20°.

Figura 19: (a) sezione 7, versante Ovest, e Sezione 1.

5. Stabilità dei fronti di scavo della Miniera di Brenno

In questo paragrafo è presentata una valutazione della stabilità dei versanti così come progettati e già illustrati all'interno del precedente paragrafo. Le analisi nel seguito presentate si riferiscono a due sezioni tipo tra quelle presentate in precedenza. Ci si è riferiti in particolare ai versanti fronte Nord e Sud delle Sezioni n. 3 e 4, coinvolgenti le Zone A e B.

Saranno quindi inizialmente presentate le risultanze concernenti possibili meccanismi di rottura globale dei versanti nelle condizioni di progetto proposte dall'Ente (Gennaio 2014). Successivamente, saranno considerate soluzioni alternative a quelle di progetto, tese queste ultime, oltre che ad accrescere la stabilità globale dei versanti, anche ad inibire eventuali processi di rottura flessionale e di instabilità euleriana, associati, rispettivamente alle Zone A e B.

Trattandosi di una quantificazione preliminare, si è scelto di modellare i materiali in oggetto, almeno per ciò che riguarda i meccanismi di rottura globali, mediante un continuo isotropo equivalente, i cui parametri geomeccanici (angolo di attrito ϕ' e coesione c'), sono quelli ricavati dalle prove sperimentali condotte dagli Scriventi nel 2010. In particolare, a favore di sicurezza, è state assunto quanto segue:

- per i materiali al di sotto della quota di invaso le proprietà meccaniche sono state ipotizzate coincidenti con quelle dei materiali imbibiti e, a favore di sicurezza, pari ai valori minimi di coesione ed angolo d'attrito (§3-Tabella 2).
- Per i materiali sopra il livello di invaso, sono stati utilizzati i valori di picco in condizioni di saturazione naturale.

In Tabella 3 sono riassunti i parametri impiegati per le analisi di stabilità.

	IMBIBITO	**NATURALE**
Peso per unità di volume [kN/m³]	25	
Angolo di attrito [°]	10	25
Coesione [kPa]	300	3000

Tabella 3: parametri geomeccanici impiegati per le analisi di stabilità.

Invero, l'approccio è cautelativo perché la presenza dello spritz beton dovrebbe assicurare l'impermeabilizzazione dell'invaso.

Le analisi sono state condotte mediante un foglio di calcolo sviluppato dagli Scriventi in cui è implementato il metodo di Fellenius (1936). Le azioni sismiche di progetto sono state trascurate.

In ottemperanza alle prescrizioni introdotte dalle Norme Tecniche per le Costruzioni N.T.C. 2008 di cui al D.M. 14/01/2008 e relativa circolare n. 617 del 02/02/2009, le valutazioni qui presentate fanno riferimento alla combinazione di carico A2+M2+R2 (Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle N.T.C. 2008), qui riassunta in Tabella 4.

Parametro			
Carichi Permanenti	Favorevole	1.0	**Coefficienti A2**
	Sfavorevole	1.0	
Carichi Permanenti Non Strutturali	Favorevole	0.0	
	Sfavorevole	1.3	
Variabili	Favorevole	0	
	Sfavorevole	1.3	
Tangente dell'angolo di attrito	tanϕ'	1.25	**Coefficienti M2**
Coesione	c'	1.25	
Peso per unità di volume	γ	1	
Verifica di sicurezza	-	1.1	**Coefficiente R2**

Tabella 4: coefficienti parziali per la combinazione di carico A2+M2+R2.

Trattandosi di analisi all'equilibrio limite, nelle quali non è possibile tener conto della ridotta duttilità dei materiali, gli Scriventi hanno ritenuto di introdurre un ulteriore coefficiente riduttivo della coesione, maggiormente cautelativo rispetto a quello proposto dalla combinazione M2 delle N.T.C. 2008. Nelle analisi che seguiranno, pertanto, la coesione è stata ridotta di un fattore 2.5.

Parametro			
Coesione	c'	2.5	**Coefficiente R2 modificato**

Tabella 5: coefficiente riduttivo della coesione.

5.1. ZONA A – Sezione 3, fronte SUD e Sezione 4, fronte SUD

5.1.1. Rotture globali

In Figura 20 e Figura 21 sono illustrate le superficie di scorrimento associate ad una rottura globale per taglio per le Sezioni 3 e 4. rispettivamente. Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R risulta, in entrambi i casi, superiore al valore limite di Normativa (pari a 1.1).

Sezione	γ_R
3 SUD	1.87
4 SUD	2.20

Tabella 6: coefficienti parziali di sicurezza.

Figura 20: SEZ.3 SUD, superficie di rottura globale (sistemazione di progetto-Gennaio 2014).

Figura 21: SEZ.4 SUD, superficie di rottura globale (sistemazione di progetto-Gennaio 2014).

I versanti, così come proposti dal progetto, sembrano quindi senz'altro essere stabili. Si noti che addirittura è stata trascurato l'effetto dell'impermeabilizzazione. Tale conclusione non è però generale, in quanto potrebbero ingenerarsi in questa zona processi di rottura flessionale potenzialmente indotti da processi di erosione al piede nella zona sotto il livello dell'invaso. Anche per evitare l'evoluzione di tali processi i progettisti hanno previsto l'impermeabilizzazione del bacino.

In alternativa, o in aggiunta, si propone di intervenire riducendo la pendenza dei fronti alla base fino ad un valore finale pari a 20°, realizzando scarpate artificiali a partire dalla quota di massimo invaso di progetto (236 m.s.l.m.). Tale intervento, oltre a impedire rotture di tipo flessionale, ridurrebbe anche l'impatto ambientale dell'intervento, eliminando la vista di una parete stabilizzata mediante spritz-beton.

Un intervento così definito, permetterà di minimizzare:

- l'imbibizione delle marne;
- il rischio a lungo termine di fenomeni di instabilità localizzate superficiali, legate alla degradazione dei materiali a seguito di un loro potenziale imbibimento;
- il rischio di rottura flessionale delle scarpate poste sotto o subito sopra la quota di invaso.

In Figura 22 e Figura 23 sono illustrate le superfici di scorrimento associate a rotture a taglio globali per le Sezioni 3 e 4 rispettivamente, per le sezioni proposte dagli Scriventi di pendenza pari a 20° (le linee tratteggiate marroni individuano i fronti di scavo di progetto). Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R risulta, in entrambi i casi, superiore al valore limite di Normativa e, come lecito attendersi, superiore a quello calcolato per la scarpata di progetto.

Sezione	γ_R
3 SUD con riprofilatura	2.08
4 SUD con riprofilatura	2.54

Tabella 7: coefficienti parziali di sicurezza.

Figura 22: SEZ.3 SUD, superficie di rottura globale (rimodellamento del profilo alla base).

Figura 23: SEZ.4 SUD, superficie di rottura globale (rimodellamento del profilo alla base).

5.1.2.Instabilità locali

In Figura 24 e Figura 25 sono illustrate le superficie di scorrimento associate a meccanismi di rottura a taglio locali di singole scarpate, poste al di sotto della quota di massimo invaso e i cui parametri geomeccanici sono riconducibili a quelli introdotti per materiali imbibiti.

Per entrambe le sezioni in esame, il coefficiente parziale di sicurezza γ_R risulta superiore al valore limite di Normativa.

Sezione	γ_R
3 SUD	2.04
4 SUD	1.56

Tabella 8: coefficienti parziali di sicurezza.

La realizzazione di un intervento di riprofilatura alla base, non considerato negli esempi qui mostrati, garantirebbe in ogni caso l'assenza di problemi di stabilità legati a scarpate analoghe a quelle qui considerate.

Figura 24: superficie di rottura di una scarpata della SEZ.3 SUD, posta al di sotto della quota di invaso ed in assenza di riprofilatura.

Figura 25: superficie di rottura di una scarpata della SEZ.4 SUD, posta al di sotto della quota di invaso ed in assenza di riprofilatura.

5.2. ZONA B – Sezione 3, fronte NORD e Sezione 4, fronte NORD

5.2.1. Rotture globali

Analogamente a quanto mostrato per la Zona A, si è proceduti alle verifiche di stabilità globale per i fronti Nord della miniera, con riferimento alle Sezioni 3 e 4.

In Figura 26 e Figura 27 sono illustrate le superficie di scorrimento associate ad una rottura che coinvolge globalmente il fronte di scavo per le Sezioni 3 e 4, rispettivamente. I coefficienti parziali di sicurezza γ_R calcolati, sono riportati in Tabella 9.

Sezione	γ_R
3 SUD	**0.88**
4 SUD	2.42

Tabella 9: coefficienti parziali di sicurezza.

Figura 26: SEZ.3 NORD, superficie di rottura globale (sistemazione di progetto-Gennaio 2014).

Figura 27: SEZ.4 NORD, superficie di rottura globale (sistemazione di progetto-Gennaio 2014).

Il meccanismo proposto in Figura 26 (Sez.3), non risulta soddisfare i criteri di sicurezza richiesti da Normativa e, pertanto, risulta necessario intervenire con opportune opere di mitigazione. Naturalmente anche in questo caso potrebbe essere considerato opinabile utilizzare i parametri relativi alle condizioni imbibite, avendo previsto di impermeabilizzare l'invaso.

L'intervento proposto dagli Scriventi, analogo a quello già descritto al §5.1 per i fronti Sud della Miniera, prevede invece:

- la realizzazione di scarpate artificiali poco acclivi (pendenza 20°) a partire dalla quota di massimo invaso di progetto (236 m.s.l.m.);
- per la sola porzione di scarpata naturale soggetta a riprofilatura, esecuzione di impermeabilizzazione mediante getti di spritz-beton.

Come mostrato in Figura 28, la verifica di sicurezza per la Sez.3 risulta per il profilo di progetto in questo caso soddisfatta (Tabella 10).

Sezione	γ_R
3 SUD con riprofilatura	1.19
4 SUD con riprofilatura	2.64

Tabella 10: coefficienti parziali di sicurezza.

Gli interventi proposti garantiscono inoltre il rispetto delle condizioni di sicurezza nei confronti di eventuali fenomeni di instabilità euleriana. Come già anticipato all'interno del §4.2 e del §6 della Relazione di Consulenza, è possibile infatti calcolare la lunghezza critica associata all'insorgere di instabilità euleriana, mediante la seguente formula:

$$l^3 = \frac{\pi^2 \mathrm{E} \cdot d^2}{2.25\left(\gamma \sin\alpha - \gamma l \cos\alpha \tan\phi - \frac{c}{d}\right)} \qquad [1]$$

ove l rappresenta la lunghezza della lastra, E il modulo elastico (assunto pari a 30 MPa) e d lo spessore della lastra (assunto pari a 0.1 m).

In assenza di interventi, i piani di debolezza sarebbero caratterizzati, in presenza di invaso, dai parametri geomeccanici (ϕ' e c'), già definiti in (Tabella 3), imponendo ancora la combinazione di carico A2+M2+R2 come modificata dagli Scriventi (si vedano le precedenti Tabella 4 e Tabella 5), sostituendo adeguatamente in Eq.[1], si ricava una lunghezza critica per i materiali imbibiti $l_{cr,imb}$ pari a:

$$l_{cr,imb} = 11 \text{ m}$$

che risulta prossima all'altezza dei versanti attuali.

Al contrario, intervenendo congiuntamente con una riprofilatura alla base dei versanti e con impermeabilizzazione mediante getti di spritz-beton, il problema cessa di sussistere. Si consideri, infatti, che sopra il livello dell'invaso i parametri da usare (in particolare il valore della coesione) sarebbe di un ordine di grandezza maggiore e quindi il problema non sussiste.

Quanto verificato è valido sotto l'ipotesi che i fronti non siano soggetti a fenomeni di risalita capillare, tali da indurre la saturazione dei materiali. Tale assunto è però totalmente giustificabile in relazione all'impiego della miniera quale invaso temporaneo delle piene del Bevera.

Figura 28: SEZ.3 NORD, superficie di rottura globale (rimodellamento del profilo alla base).

Figura 29: SEZ.4 NORD, superficie di rottura globale (rimodellamento del profilo alla base).

5.2.2.Instabilità locali

In Figura 30 e Figura 31 sono state illustrate le superficie di scorrimento associate anche a meccanismi locali di rottura a taglio di singole scarpate, poste al di sotto della quota di massimo invaso e i cui parametri geomeccanici sono riconducibili a quelli introdotti per materiali imbibiti.

È presente, sempre in Sez.3, una scarpata sommersa per la quale la verifica di stabilità, se si utilizzassero i parametri imbibiti, non risulterebbe soddisfatta.

Sezione	γ_R
3 SUD	**1.08**
4 SUD	2.21

Tabella 11: coefficienti parziali di sicurezza.

La realizzazione di un intervento di riprofilatura alla base, come quello proposto in Figura 28, escluderebbe quindi anche il rischio che meccanismi di rottura quale quello di Figura 30 possano aver luogo.

Figura 30: superficie di rottura di una scarpata della SEZ.3 NORD, posta al di sotto della quota di invaso ed in assenza di riprofilatura.

Figura 31: superficie di rottura di una scarpata della SEZ.4 NORD, posta al di sotto della quota di invaso ed in assenza di riprofilatura.

6. Proposta di monitoraggio a lungo termine dei fronti di Miniera

In relazione alla complessità del problema geotecnico trattato è opportuno, a parere degli Scriventi, che l'Ente preveda una rete di monitoraggio dei fronti di scavo, finalizzati al controllo delle condizioni di stabilità globale dei versanti. In particolare il monitoraggio dovrà riguardare essenzialmente le zone A e B.

A tal fine si suggerisce l'installazione di una rete di controllo degli spostamenti costituita da inclinometri la cui posizione è suggerita, per le sezioni in precedenza trattate, nelle figure seguenti. Profondità e numero delle postazioni inclinometriche dovranno essere definite in fase progettuale, sulla base delle analisi di stabilità che verranno condotte. Quanto illustrato nel seguito, è da ritenersi puramente indicativo.

(a)

(b)

Figura 32: posizione dei fori inclinometrici per la Sez. 3-NORD (a) e la Sez. 4-NORD (b).

(a)

(b)

Figura 33: posizione dei fori inclinometrici per la Sez. 3-SUD (a) e la Sez. 4-SUD (b).

7. 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:

- un cospicuo innalzamento del fondo della cava,
- una diffusa impermeabilizzazione delle scarpate mediante spritz-beton, sino alla quota prevista dell'invaso,
- una riprofilatura molto parziale dei versanti posti sopra tale quota,
- una ridefinizione dei versanti nelle zone Est e Ovest mediante la realizzazione di "spiagge artificiali".

Per analizzare il problema, in conformità con quanto già proposto nella precedente relazione da loro redatta, gli Scriventi hanno suddiviso le scarpate della cava in zone omogenee, caratterizzate ciascuna sa problematiche geotecniche differenti. Hanno preso in considerazione i profili dei versanti di progetto ed hanno osservato quanto segue:

- la soluzione progettuale non presenta criticità geotecniche evidenti,
- 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,
- se pure queste ultime si saturassero, a causa di difetti, di locali imperfezioni o per filtrazione dal basso, grazie alla pressione dell'acqua posta all'interno del bacino, la stabilità globale dei versanti sarebbe comunque assicurata. Tale assunto è vero in generale ma un profilo fa eccezione. Lo stesso non può essere affermato nel caso si considerino instabilità superficiali.

Per i motivi qui sopra ricordati gli Scriventi suggeriscono allora di:

1. riprofilare anche i versanti posti nelle zone Nord e Sud (i profili proposti sono soltanto indicativi);
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 anche l'impatto ambientale degli interventi;

3. 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 idrosemina;
4. prevedere un sistema di monitoraggio, mediante l'utilizzo di un numero ridotto di inclinometri, che permetta, sia in fase realizzativa delle opere che a lungo termine, di seguire l'evoluzione temporale del sistema;
5. 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.

prof. ing. Claudio G. di Prisco

Ordinario di Geotecnica – Politecnico di Milano

ing. Marco M. Secondi

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. MARCO M. SECONDI
Sez. A Settori:
- civile e ambientale
- industriale
- dell'informazione
n° A 25510

RegioneLombardia

P.zza Città di Lombradia, 1 (MI)
www.regione.lombardia.it

Parco Regionale della VALLE DEL LAMBRO

Via V. Veneto, 19 - Triuggio (MB)
T 0362.970.961
T 0362.997.137
F 0362.997.045
www.parcovallelambro.it

COMMITTENTE: **PARCO REGIONALE VALLE DEL LAMBRO**
via Vittorio Veneto 19 - 20844 Triuggio (MB)

DOC. 1.3

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

FASE: **PROGETTO PRELIMINARE**

COMM.:

TITOLO: **RELAZIONE PAESISTICA**

SCALA:

DATA: 05/05/2014

COORDINATORE DI PROGETTO
E PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE: Ing. Daniele Giuffrè

CONSULENTE GEOTECNICO: Prof. Ing. Claudio Di Prisco

CONSULENTE PAESAGGISTICO AMBIENTALE: Arch. Andrea Fiorentini

REV.

REV.

REV.

REV.

PREMESSA

La presente relazione è documento accompagnatorio del progetto preliminare relativo alle trasformazioni ambientali delle aree di pertinenza della miniera di Brenno sita nel Comune di Costa Masnaga (LC).

Le suddette trasformazioni ambientali sono conseguenti alle previsioni progettuali dell'autorità di bacino del fiume Po', in coordinamento con la Regione Lombardia e il Parco Regionale della Valle del Lambro, che ipotizzano un uso dell'invaso della miniera di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera, principale affluente sub lacuale del fiume Lambro, ubicato in aree limitrofe a Nord della miniera.

Tale previsione progettuale si inserisce in un contesto di riqualificazione idrogeologica della valle, densamente urbanizzata, del Lambro finalizzata a prevenire il rischio inondazioni.

Lo studio preliminare di recupero ambientale e paesaggistico ha inevitabilmente interessato l'intero comparto di pertinenza della miniera, individuato nel perimetro di proprietà della società Holcim Italia S.p.A., attuale concessionario dell'attività estrattiva mineraria.

STATO DI FATTO

Il sito è ubicato nel Comune di Costa Masnaga in provincia di Lecco, più precisamente nella frazione denominata “Brenno della torre”, delimitata a Nord dal Torrente Bevera, a Sud-Est dalla via Comunale Per Rogeno, e a Sud-Ovest dalla Via Comunale Sant’Ambrogio.

L’area interessata dall’intervento, avente dimensioni pari a circa 35 ettari, è occupata principalmente dalla miniera da cui la proprietà Holcim Italia S.p.A. estraeva, sino al termine della concessione nel scorso ottobre 2013, la marna per la produzione del cemento.

Veduta dell’area interna della miniera

La restante area è, nella parte Nord, già destinata a parco pubblico attrezzato, realizzato in anni recenti dalla Holcim Italia spa e concesso in uso trentennale al Comune di Costa Masnaga, e nella parte Sud della miniera è invece occupata principalmente dalle aree e dagli immobili di pertinenza della “Torre di Brenno” .

Veduta del parco esistente a Nord della cava

L’area a Sud della miniera è caratterizzata da una serie di costruzioni rurali di probabili origini sette-ottocentesche, attualmente occupate da locatari principalmente agricoli, e in parte abbandonate e inaccessibili al pubblico.

Veduta delle cascine esistenti a Sud della cava

In particolare in sommità alla collina insiste un complesso edilizio composto da una torre di probabili origini medioevali, con aggregati dei volumi rurali di più recente fabbricazione, ipotizzati in epoca sette-ottocenteschi.

Su questi immobili grava un vincolo di tutela monumentale diretto (D.M. 20.03.1976) e di tutela indiretto (D.M. 23.02.1979) esteso anche agli immobili rurali ubicati in posizione inferiore.

Veduta del complesso della torre di Brenno da Sud

Veduta del complesso della torre di Brenno da Nord

PROGETTO

Come già anticipato in premessa, il presente studio paesistico preliminare, è strettamente connesso alle trasformazioni territoriali conseguenti al progetto idrogeologico strategico della regione Lombardia, finalizzato alla trasformazione del bacino della miniera in vasca di laminazione del torrente Bevera.

In particolare il progetto idrogeologico prevede una lieve riprofilatura dei fronti di scavo esistenti che, unitamente alla stabilizzazione e impermeabilizzazione dei fronti, porterà ad avere un sito compatibile con la destinazione a vasca di laminazione.

Le suddette trasformazioni necessitano pertanto di uno studio paesistico ambientale finalizzato a individuare le linee guida generali d'intervento per un'adeguata restituzione del sito al termine dell'attività estrattiva e dei lavori relativi alla vasca di laminazione.

Nello studio si è tenuto conto delle caratteristiche paesaggistiche e ambientali prevalenti del contesto, individuando in sintesi le seguenti linee guida:

1. Estensione del Parco pubblico esistente a cintura del nuovo "Invaso di laminazione" in progetto.

2. Inserimento di attività pubbliche ludico sportive nella parte di sedime di miniera esterno alla zona destinata alla laminazione delle piene.

Planimetria generale di progetto

1. Il Parco a cintura:

L'idea del parco a cintura prende spunto dall'esperienza positiva della porzione di parco già realizzata a Nord della miniera, spazio apprezzato dai cittadini di Costa Masnaga e da quelli limitrofi, che lo utilizzano quale spazio di socializzazione, e per attività ludiche e sportive.

L'estensione del parco a completamento del perimetro intorno al nuovo "invaso" consente di strutturare un percorso ciclopedonale ad anello avente uno sviluppo lineare di circa 2.400 m., adatto ad un uso paesistico, ludico e sportivo.

Il parco a cintura si configura inoltre come ottimo elemento di filtro tra il nuovo "Invaso" e il territorio limitrofo costituito prevalentemente da terreni agricoli, e in parte industriali, ricucendo il tessuto modificato dall'attività di miniera.

All’interno del parco, lungo il percorso principale, vengono ipotizzate delle zone attrezzate dotate di strutture di servizio, costituite dall’attuale “Chalet” esistente nella zona Nord e dalle strutture di pertinenza della miniera a Ovest, inserite in un processo di riqualificazione architettonica e funzionale.

Simulazione fotografica del parco

2. L’interno dell’invaso di miniera

L’interno dell’invaso della miniera, una volta rimodellato per la vasca di laminazione, potrà essere sistemato a prato, piantumato, e attrezzato, per la parte che resterà fruibile, con strutture di tipo ludico.

L’area destinata a vasca di laminazione, che per motivi di sicurezza non è idonea alla fruizione, sarà comunque rinverdita sino al fondo dove ci sarà la torre delle pompe. La restante zona pianeggiante ubicata in prossimità dell’ingresso ovest al parco viene dedicata alle funzioni ricreative con un corpo servizi annesso.