

**COMUNE DI SANTA BRIGIDA**

**Provincia di Bergamo**

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO**

**SISTEMAZIONE DISSESTO NELL'AREA DELLE EX**

**MINIERE IN COMUNE DI SANTA BRIGIDA**

**(Legge 179 del 31/07/02 art. 16 – importo € 1.000.000,00)**

**RELAZIONE TECNICA-ILLUSTRATIVA**

Committente: COMUNE DI SANTA BRIGIDA			Codice Progetto: 07_04_134		
Grado di progettazione: DEFINITIVO-ESECUTIVO			Data: <b>GIUGNO 2007</b>		
Data:	Revisione:	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI PROFESSIONISTI <i>Studio Associato di Geologia Spada di Spada M., Orlandi G.M., Bianchi S. Via Zanino Colle, 9 – Ranica (BG)</i>  <i>Dr. ing. LUCA RUDELLI Via Corridoni, 42 – Bergamo (BG)</i>					

<b>INDICE</b>
---------------

<b>1.0 PREMESSE</b> _____	<b>3</b>
<b>2.0 LAVORI ESEGUITI CON IL 1° LOTTO E PROBLEMATICHE ANCORA APERTE</b> _____	<b>4</b>
<b>3.0 SCELTE PROGETTUALI E MOTIVAZIONE DELLE STESSE</b> _____	<b>6</b>
<b>4.0 OPERE DI PROGETTO E MIGLIORAMENTI RISPETTO AL 1° LOTTO</b> ____	<b>8</b>

## **1.0 PREMESSE**

La presente relazione ha lo scopo di illustrare e motivare le scelte che sono alla base del progetto definitivo-esecutivo di “sistemazione del dissesto nell’area delle ex miniere in Comune di Santa Brigida” con particolare riferimento al consolidamento della ex Cava Carale.

I lavori del presente progetto sono finanziati dalla Legge n° 179 del 31/07/2002 – art. 16 – per un importo di € 1.000.000,00.”.

Gli stessi si configurano come secondo lotto funzionale degli interventi realizzati nel 2006 e finanziati dalla Regione Lombardia per un importo di circa € 516.000,00 con la Legge 183/89 nel programma triennale 2001-2003.

In seguito alla conferma del finanziamento di cui sopra il Comune ha affidato agli Scriventi la predisposizione del presente progetto, in quanto già a conoscenza delle problematiche in essere.

Il Gruppo di Lavoro è il medesimo che ha seguito la progettazione e la realizzazione del primo lotto dei lavori e si avvale della consulenza scientifica dei tre Dipartimenti del Politecnico di Milano che hanno seguito anche la precedente fase e precisamente:

- Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica – prof. Nova
- Dipartimento di Chimica dei Materiali – prof. Bertolini
- Dipartimento di Idraulica – prof. Passoni

La consulenza scientifica rimane necessaria perché, anche se i risultati del primo lotto di lavori con le procedure sperimentali di iniezione messe a punto sono stati positivi, le incognite sono ancora molteplici e conseguentemente sono necessari gli approfondimenti scientifici per una corretta impostazione e gestione dei lavori.

## **2.0 LAVORI ESEGUITI CON IL 1° LOTTO E PROBLEMATICHE ANCORA APERTE**

Il presente paragrafo riepiloga i lavori eseguiti con il precedente finanziamento L. 183/89 ed indica le problematiche ancora aperte.

La tavola 2 di progetto visualizza le opere già realizzate mentre per maggiori dettagli è possibile fare riferimento alla “Documentazione tecnica finale sui lavori eseguiti” del novembre 2006, i cui risultati sono stati illustrati a tutti gli Enti nella riunione del 15/11/06.

I lavori sono stati eseguiti dal 21 novembre 2005 al 26 ottobre 2006 e sono state realizzate le opere di seguito dettagliate.

- 1. PREPARAZIONE DEL CANTIERE E MESSA IN SICUREZZA DELLE AREE;*
- 2. RACCOLTA E SMALTIMENTO ACQUE PROFONDE CON DRENAGGI SUBORIZZONTALI:*

E' stato realizzato un ombrello di tre dreni di circa 150 metri in modo da intestare la parte finale degli stessi nella Dolomia Principale, dopo aver superato tutto il gesso e la fascia di argille e carnirole di contatto.

I dreni realizzati hanno lo scopo di rappresentare lo sfogo naturale dell'acqua nel momento del riempimento di tutte le cavità sotterranee allagate;

- 3. INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO NELL'ULTIMO LIVELLO:*

Si è trattato della fase di intervento a carattere sperimentale.

Il materiale utilizzato è costituito da terreni limoso-argillosi di recupero da scavi locali, acqua solfata prelevata direttamente dalle gallerie e cemento Portland in un dosaggio di circa 150 kg /mc di miscela;

Lo stesso è stato lavorato in modo da essere fluidificato per poter poi essere iniettato nei fori realizzati dalla superficie al fine di distribuirsi nella gallerie, sostituendo progressivamente l'acqua.

Il valore medio di iniezione è stato di circa 250 mc/gg, con una giornata media di lavoro di 10 ore ed al termine dei lavori si sono iniettati 6.021 mc di miscele in galleria, invece dei 5.000 mc previsti dal progetto.

I costi sono stati in linea con le previsioni di progetto, salvo contenute variazioni legate alla tipologia di prelaborazione dei materiali.

#### **4. CONTROLLI IN CORSO D'OPERA**

Durante i lavori sono stati attuati una serie di controlli e precisamente:

- controlli topografici;
- controlli piezometrici ;
- quantitativi delle acque allo scarico;
- torbidità delle acque di scarico;
- controlli nei fori sulla distribuzione delle miscele;
- controlli nei fori sull'addensamento delle miscele;
- prelievo campioni di miscela e prove di laboratorio.

I controlli non hanno evidenziato anomalie ed hanno dato riscontri positivi in relazione alle miscele.

#### **5. CONTROLLI A FINE LAVORI**

Al termine dei lavori sono stati effettuati ulteriori controlli per verificare le caratteristiche di consistenza e la reale distribuzione della miscela nella gallerie. I controlli hanno compreso:

- sondaggi a carotaggio con prelievo campioni;
- analisi e prove di laboratorio sui campioni di miscela prelevati;
- indagini geofisiche per la distribuzione delle miscele.

Le verifiche hanno evidenziato un riempimento totale della zona interessata dalle iniezioni e delle caratteristiche del materiale inferiori a quanto verificato in laboratorio e nei campioni prelevati dall'impianto durante i lavori: le stesse sono comunque state considerate soddisfacenti dal Direttore dell'Istituto di geotecnica del politecnico.

I lavori hanno creato una limitata barriera verso il centro abitato, ma il fenomeno di alterazione delle evaporiti continua in tutte le rimanenti zone ed, in caso di crolli, si andrebbero ancora a mobilitare fino a 70.000 mc di acqua, con conseguenze certamente catastrofiche, per cui è necessario un proseguo degli interventi di messa in sicurezza.

### **3.0 SCELTE PROGETTUALI E MOTIVAZIONE DELLE STESSE**

In relazione ai risultati del 1° lotto ed ai problemi ancora aperti, considerando che l'importo dei presenti lavori non è certo sufficiente a completare il riempimento e la messa in sicurezza di tutta la Cava Carale, la scelta progettuale di fondo ha dovuto valutare due differenti opzioni:

- 1- iniettare il materiale con lo scopo di riempire completamente il livello 4;
- 2- iniettare il materiale parte nel livello 3 e parte nel livello 4.

La scelta è ricaduta sull'opzione n° 2 di intervento, opzione che presenta una serie di aspetti più favorevoli per una ottimale gestione tecnico-economica del cantiere:

- a) L'intervento di riempimento su parte dei livelli 3 e 4, lato frazione Carale, consente di migliorare in modo interessante la "barriera" di consolidamento e protezione verso il centro abitato a massima tutela della popolazione;
- b) L'operatività e la logistica del cantiere sono più semplici e nettamente meno onerose. Sarà possibile infatti operare dalla zona di cantiere già predisposta con il 1° lotto dei lavori e prevedere al massimo uno spostamento della zona dell'impianto di miscelazione durante i lavori, traslando il tutto verso monte, ma sempre all'interno della zona già preparata ed ottimale per la fornitura di materiale all'impianto;
- c) La realizzazione delle piste per l'accesso delle sonde perforatrici avverrà in aree relativamente accessibili; i fori avranno lunghezze ancora contenute, nella previsione che tutte le perforazioni non riescano ad intercettare subito le gallerie, dato che si dovrà operare su indicazioni cartografiche che per ora sono risultate valide. Tutte queste perforazioni saranno utilizzate come ulteriori capisaldi di riferimento per un migliore posizionamento in sito delle planimetrie delle gallerie e per contenere, per i lavori futuri, i rischi di non intercettare le cavità;
- d) La scelta di effettuare un riempimento parziale dei livelli, consente di mantenere libera la discenderia di collegamento e di lasciare quindi aperta la via principale di deflusso delle acque sotterranee verso lo sfioro. In questo modo l'intervento previsto non altera in modo sostanziale il regime idrogeologico e consente, contestualmente, di proseguire i controlli ed i monitoraggi piezometrici sulle acque sotterranee.
- e) Questa scelta diviene corretta per acquisire ulteriori dati per poter modellare il sistema ai fini di un futuro tamponamento totale, come è stato indicato anche nella relazione idrogeologica di supporto al presente intervento;

f) Il fatto di operare nella zona maggiormente accessibile, con il cantiere nella posizione attuale, consente di effettuare sia i campionamenti che i controlli in modo non particolarmente complesso sul materiale iniettato, come è già stato fatto anche per l'intervento del 1° lotto dei lavori, ed inoltre di testare anche miscele differenti in fase operativa.

#### **4.0 OPERE DI PROGETTO E MIGLIORAMENTI RISPETTO AL 1° LOTTO**

Le opere previste nel presente progetto ricalcano da vicino quanto realizzato per il primo lotto, e permettono di utilizzare al massimo gli accorgimenti e gli adattamenti emersi dall'analisi a ritroso di tali lavori.

##### **1- SONDAGGI INIZIALI DI CONTROLLO**

Prima dell'inizio dei lavori veri e propri di cantiere si procederà alla realizzazione di un paio di sondaggi, per prelevare campioni della miscela all'interno delle porzioni di gallerie riempite con il primo intervento.

Lo scopo è quello di verificare, sia in modo diretto che con prove ed analisi di laboratorio, eventuali modificazioni (dilavamento, rammollimento, fenomeni di alterazione, ecc.) subite dalla miscela iniettata nel periodo intercorso dalla fine del 1 lotto dei lavori.

##### **2- OPERE DI ACCANTIERAMENTO**

Una parte delle opere di preparazione del cantiere e di messa in sicurezza del tratto di versante sopra il piazzale è già stata realizzata con il 1° lotto dei lavori (movimenti terra, disgaggi, recinzione e pulizia, ecc.).

Nel presente intervento è prevista la realizzazione di una serie di piste di cantiere per l'accesso della sonda ai punti in cui realizzare le perforazioni, con il relativo ripristino della zona al termine dei lavori.

E' prevista anche la realizzazione di una scogliera di circa 3 metri di altezza per isolare la parte verso monte del piazzale di cantiere e consentire di accumulare a tergo gli scarti delle fasi di lavorazione e miscelazione.

Per quanto riguarda l'impiantistica si rimanda al comma 4.

### 3- RACCOLTA E SMALTIMENTO ACQUE

In linea con quanto indicato nelle conclusioni della relazione idrogeologica non è prevista la realizzazione di nuovi dreni suborizzontali.

Si procederà, invece, alla raccolta della venuta di acqua presente alla fine del livello 2 ed alla sua adduzione, con un'apposita tubazione, all'esterno della gallerie ed al suo allaccio alla tubazione di smaltimento.

Per effettuare questo lavoro è prevista anche la messa in sicurezza di un tratto di galleria del 2 livello, onde consentire agli operai di operare con le doverose garanzie.

La scelta di non effettuare altri dreni suborizzontali ha una duplice motivazione:

- I dreni realizzati nel primo lotto portano limitati scoli di acqua solo in caso di piogge prolungate, per cui è evidente che la quota media della falda è ancora molto più bassa di quella dei dreni;
- Prima di procedere ad ulteriori perforazioni, complesse e costose per la logistica e per la lunghezza dei dreni da realizzare, si ritiene fondamentale verificare la reazione della falda alle iniezioni di tamponamento, aspetto che verrà tenuto sotto controllo durante questa fase di lavoro.

I dreni realizzati sono già in grado di smaltire, a pieno carico, notevoli quantità di acqua. La raccolta e l'adduzione all'esterno della tubazione presente nel livello 2 ha proprio quest'ultimo scopo.

#### 4- INIEZIONI DI CONSOLIDAMENTO

L'impiantistica di cantiere vera e propria per le operazioni di prelavazione, lavorazione, fluidificazione, mescolamento ed iniezione delle miscele di consolidamento deriva da quella utilizzata per il primo lotto dei lavori, pur presentando una serie di migliorie ed ottimizzazioni.

Si apporteranno alcune contenute modifiche alle modalità di lavorazione ed iniezione, in base alle indicazioni emerse al termine della prima fase dei lavori ed in base ai dati riscontrati in avanzamento, con lo scopo di mantenere invariata la fluidità del materiale e contemporaneamente migliorare le caratteristiche di resistenza e di deformabilità della miscela, il tutto in accordo alle indicazioni del modello geotecnico del prof. Nova ed in base alle valutazioni operative del prof. Bertolini e del prof. Passoni.

L'ipotesi, ventilata al termine dei primi lavori, di procedere in modo continuo (24 ore e 7 gg) alla lavorazione ed all'iniezione, per dare continuità alle lavorazioni, ridurre il tempo di contatto con l'acqua di ogni singolo getto e per facilitare al massimo l'espansione è in fase di valutazione con l'Amministrazione Comunale, che dovrà scegliere tra il disturbo e il rumore per la popolazione e i vantaggi della soluzione.

Si cercherà comunque di prolungare al massimo la durata delle lavorazioni nella giornata, compatibilmente con le condizioni logistiche e di visibilità. Per ottimizzare le

miscela si è operato principalmente, in sede sperimentale, sulle fasi di lavorazione, miscelazione ed iniezione.

I principali elementi introdotti rispetto al primo lotto, con lo scopo di migliorare la qualità della miscela (in termini di resistenza finale), di avere una maggiore controllo sulle varie fasi e di potenziare al massimo i quantitativi di pompaggio, sono:

- lavorazione separata di terra con acqua per una prima fluidificazione e cemento con acqua per creare una boiaccia cementizia. La successiva miscelazione di entrambi gli elementi permette di realizzare una miscela finale più omogenea;
- maggiore automazione di tutto l'impianto, per una migliore gestione delle varie fasi ed un corretto controllo sulle quantità delle componenti;
- ottimizzazione e miglioramento di alcune caratteristiche delle strumentazioni di lavorazione, con particolare riferimento alle griglie in testa alle vasche (entrambe vibranti) ed alla vasca di miscelazione finale di terra-acqua e boiaccia di cemento (maggiore velocità di miscelazione e differente distribuzione delle pale mobili) per ottenere una migliore amalgama finale.

Per tutti i dettagli sull'impiantistica di cantiere e sulle modalità operative previste è possibile fare riferimento alla tavola di progetto.

E' stata anche ipotizzata la possibilità di apportare alcune modifiche alla miscela, per l'iniezione nei fori più avanzati verso monte e più lunghi.

Il primo aspetto sarà quello di ridurre in parte la fluidità, riducendo la quantità di acqua, per iniettare nei fori più lunghi.

In questo modo si prevede di ridurre al minimo i rischi di separazione del materiale sia durante la caduta che all'interno delle gallerie, per l'elevata pressione di caduta e

contemporaneamente di migliorarne le caratteristiche di resistenza, poiché il rapporto acqua/cemento iniziale viene abbassato.

La parte terminale di iniezione del livello 4 (foro n° 11) verrà realizzata con una miscela più densa e consistente (con una maggiore quantità di cemento), al fine di garantire una maggiore protezione dai fenomeni di dilavamento meccanico delle acque in afflusso; questa soluzione rappresenta una salvaguardia del materiale iniettato a tergo.

Le analisi e le prove per le modifiche impiantistiche e di miscela verranno testate nelle fasi di lavoro in cantiere, dove sarà usata l'impiantistica definitiva realizzata dall'impresa, come previsto dal capitolato.

Per l'organizzazione del cantiere, dopo una prima fase di iniezioni, sarà necessario procedere ad una modifica/integrazione onde consentire l'iniezione nei fori più distanti verso monte.

La scelta operata, per non stravolgere il cantiere iniziale, prevede l'aggiunta di una pompa di rilancio intermedio della miscela; la pompa sarà dotata di una vasca di accumulo e pompaggio della miscela nella zona più alta (circa nei pressi dei drenaggi suborizzontali).

Con questa scelta sarà possibile portarsi ad iniettare più in alto e più vicino ai fori più alti, senza modificare l'impianto e l'organizzazione del cantiere iniziale.

#### **5- CONTROLLI E MONITORAGGI IN CORSO D'OPERA**

Durante i lavori verranno mantenuti attivi e potenziati al massimo tutti i sistemi di controllo e monitoraggio utilizzati per il 1° lotto e descritti al par. 2.0.

La prove sui campioni di miscela saranno consegnati progressivamente al Politecnico di Milano per i controlli sulla rispondenza delle caratteristiche alle previsioni di

laboratorio e di progetto ed in caso di anomalie si apporteranno immediatamente modifiche alle miscele.

In aggiunta a quanto già fatto per il 1° lotto dei lavori, sulla base delle indicazioni della relazione idrogeologica, verranno effettuati anche i controlli dello scarico dei dreni suborizzontali e della tubazione del livello n° 2.

#### 6- SONDAGGI E PROVE A FINE LAVORI

Al termine dei lavori verranno eseguiti alcuni sondaggi, con lo scopo di verificare direttamente il grado di riempimento delle gallerie e per prelevare campioni di miscela.

Tali campioni saranno analizzati dal laboratorio del Politecnico di Milano per verificarne le caratteristiche in sito e la rispondenza alle previsioni di progetto, onde poter affrontare le doverose migliorie per ottimizzare l'iniezione.