

**COMUNE DI SANTA BRIGIDA**

**Provincia di Bergamo**

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO**

**SISTEMAZIONE DISSESTO EX MINIERE (CAVA  
CARALE) NEL COMUNE DI SANTA BRIGIDA**

**- LEGGE 18 MAGGIO 1989 N° 183 (PROGRAMMA 2001-2003) -**

**RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA**

**COMMITTENTE: COMUNE DI SANTA BRIGIDA**

**I TECNICI: DR. GEOL. MARIO SPADA**

**DR. GEOL. GIAN MARCO ORLANDI**

**DR. GEOL. SUSANNA BIANCHI**

**GIUGNO 2005**

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

<b>1.0 PREMESSE</b>	<b>3</b>
<b>2.0 INDAGINI E VERIFICHE ESEGUITE</b>	<b>4</b>
<b>3.0 INQUADRAMENTO DELLE PROBLEMATICHE</b>	<b>6</b>
<b>4.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>8</b>
<b>5.0 DATI DISPONIBILI SULLA CAVA CARALE</b>	<b>10</b>
<b>6.0 RISULTATI DELL'ISPEZIONE DIRETTA DELLE GALLERIE</b>	<b>12</b>
<b>7.0 QUADRO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO DELL'AREA</b>	<b>15</b>
7.1 Quadro geologico di dettaglio	15
7.2 Superfici dei livelli minerari e volume dei vuoti	16
7.3 Caratterizzazione geologico-tecnica	17
<b>8.0 SINTESI DELLE PROBLEMATICHE</b>	<b>20</b>

## **1.0 PREMESSE**

La presente relazione geologico-tecnica ci è stata commissionata dal Comune di Santa Brigida (BG) ed è a supporto del progetto definitivo-esecutivo di sistemazione del dissesto delle ex miniere.

Queste ex miniere, in cui veniva estratto il gesso in sotterraneo, sono attualmente vincolate quali aree a grave rischio idrogeologico ai sensi della L. 267/98 e sono distribuite in 3 poli: Bolferino-Grassello, Cornello e Carale (vedi tavola n° 1).

Le opere di consolidamento del presente progetto sono relative alla località Carale, che è quella ritenuta in accordo con gli Enti superiori a maggiori rischio, sia per le particolari condizioni in cui versano le gallerie (che sono completamente allagate) sia per la presenza di un abitato immediatamente a valle.

I lavori del presente progetto sono finanziati dalla Regione Lombardia per un importo di circa € 516.000,00 con la Legge 183/89 nel programma triennale 2001-2003.

La presente relazione ricalca per la quasi totalità quella dell'aprile 2005 redatta a supporto del progetto preliminare, a sua volta desunta, in sintesi e con alcune modifiche ed aggiornamenti dovuti a nuovi elementi acquisiti, le risultanze degli studi a carattere geologico, geotecnico ed idrogeologico eseguiti negli anni 2001-2003.

Infatti in questa fase, rispetto al progetto preliminare, non sono state fatte ulteriori indagini ed analisi geologiche e/o geologico-tecniche.

Gli approfondimenti hanno invece riguardato gli aspetti idrogeologici, come richiesto dalla Regione Lombardia e dallo STER di Bergamo durante la riunione del maggio u.s. in cui era stato discusso il progetto preliminare.

Al modello idrogeologico ed agli approfondimenti eseguiti in tal senso (prove con traccianti, analisi geochimiche delle acque, ecc.) viene dedicato un documento specifico che viene allegato al presente progetto, per cui le brevi note sull'idrogeologia sono state stralciate dalla presente ed inserite in questo nuovo documento, potenziate ed integrate con le nuove valutazioni.

## **2.0 INDAGINI E VERIFICHE ESEGUITE**

Le indagini e le verifiche eseguite per la località Carale comprendono:

- Rilievo topografico di dettaglio dell'area di intervento e di un suo intorno con predisposizione di un sistema di controllo topografico con diversi punti quotati e letture in diversi periodi dello studio
- Raccolta di tutti i dati disponibili sulla Cava Carale, allo scopo di avere un quadro di partenza il più possibile esaustivo (i dati sono stati recuperati dal Comune di Santa Brigida, dalla Ditta Nuova SIGA e dal Distretto Minerario)
- Raccolta dei dati geologici, geotecnici ed idrogeologici disponibili sul territorio Comunale
- Rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio
- Censimento dei fenomeni di dissesto nell'intorno dell'area della ex cava Carale
- Esecuzione di due sondaggi a distruzione rispettivamente di 22 e 26 metri dal p.c. per potere giungere alla maggiore profondità possibile per installare una pompa e svuotare i livelli minerari sommersi allo scopo di poterli esplorare
- Ispezione, attraverso una telecamera telecomandata, di una porzione di condotto allagato alla ricerca di una probabile discenderia dove potere installare la pompa

- Campagna di pompaggio per potere abbassare il livello dell'acqua ed ispezionare i livelli minerari
- Ispezione livelli minerari n° 2 e inizio del 3
- Esecuzione di n° 3 sondaggi a carotaggio continuo, ad una profondità rispettivamente di 30, 20 e 60 metri dal p.c., con SPT in foro e prelievo campione nei dintorni dell'area di cava, per completare il quadro geologico ed idrogeologico della zona
- Posa in opera di n° 3 piezometri e misure del livello dell'acqua in foro
- Indagini geofisiche a mezzo di tomografia elettrica. Tali indagini sono state eseguite per potere evidenziare la presenza, la profondità dei gessi e l'ubicazione giacimentologica in ampio
- Analisi di laboratorio sia sui terreni che sulla roccia per valutarne le caratteristiche
- Analisi di laboratorio sui campioni di acqua in ingresso alla cava e dal livello di fondo, per valutare le eventuali differenze di chimismo legate alla dissoluzione del gesso

Le indagini geognostiche, le prove e le analisi sopra citate sono state eseguite nel periodo tra il 2001 ed il 2003.

I controlli, le verifiche, i sopralluoghi, l'acquisizione dati e le valutazioni tecniche sono proseguite fino ad oggi e sono tutt'ora in corso.

Nel 2004, con un finanziamento della Provincia di Bergamo, è stata stipulata una convenzione con il Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale – Geotecnica e Dipartimento di Idraulica, sotto il coordinamento scientifico dei proff.

Roberto Nova e Giuseppe Passoni, per prove ed analisi di laboratorio sulle possibili miscele da iniettare e sulla caratterizzazione della roccia incassante, cioè del gesso.

La sperimentazione finale di prima fase è terminata nei primi mesi del 2005 e la relazione finale contenente i risultati era stata presentata con il progetto preliminare.

Attualmente sono in corso due ulteriori convenzioni con il Politecnico di Milano: la prima con il Dipartimento di Geotecnica (prof. Nova) per il completamento della caratterizzazione dei gessi in acqua e per le valutazioni sulle ipotesi di collasso e sui benefici attesi dagli interventi di riempimento; la seconda con il Dipartimento di Chimica dei Materiali (prof. Bertolini) sull'iniettabilità delle miscele studiate e sugli accorgimenti per l'ottimizzazione delle stesse in relazione alle necessità di progetto.

### **3.0 INQUADRAMENTO DELLE PROBLEMATICHE**

Nel territorio comunale di Santa Brigida esistono tre zone perimetrate dell'Autorità di Bacino del Fiume Po come aree a grave rischio idrogeologico ai sensi della L. 267/98 (vedi tavola n° 1).

In tutti e tre i casi si tratta di zone interessate in passato da attività estrattiva in sotterraneo per l'asportazione di gesso ed anidrite.

L'escavazione avveniva inizialmente all'aperto e poi passava in galleria; i livelli di escavazione giungevano fino a 4 o 5, con profondità di 40-50m dal p.c. e gallerie di notevoli dimensioni (indicativamente 6 m x 6 m) in cui circolavano i camion.

Vista la particolare natura geologica del territorio comunale, con presenza di gessi nel sottosuolo e potenti depositi argillosi di alterazione in superficie, è facile immaginare

che tali estrazioni hanno provocato, oltre ad una serie incredibile di vuoti sotterranei nei pressi del centro abitato, una notevole alterazione del regime idrogeologico sotterraneo. Tutte queste situazioni, considerato che l'escavazione è iniziata a fine 1800, hanno provocato fenomeni di dissesto, franamento, sprofondamenti, ecc. in fase di progressiva accelerazione, anche perché ad oggi non sono stati realizzati interventi per la messa in sicurezza.

I fenomeni sono nei pressi dei centri abitati ed interessano già adesso infrastrutture ed edifici, e la situazione è destinata per il futuro a peggiorare in modo esponenziale.

La situazione peggiore, a maggior rischio è quella della ex Cava Carale, anche per la presenza dell'abitato omonimo immediatamente a valle e della strada provinciale nella zona a monte.

In questo cantiere l'estrazione è avvenuta su quattro livelli, di cui tre al di sotto della superficie di falda, per cui l'acqua veniva pompata fuori durante i lavori.

Il cantiere è stato chiuso nel 1972 e la situazione si è aggravata nel tempo, dato che due livelli restano ancora completamente allagati, con un volume di vuoti, riempiti dall'acqua dell'ordine di 40.000-60.000 mc.

Il versante soprastante presenta non solo fenomeni di sprofondamento legati al franamento delle calotte, ma anche una serie di frane per il rilascio tensionale dei terreni di copertura; in aggiunta alla situazione specificata l'acqua continua a circolare nel sottosuolo e prosegue nell'alterazione dei gessi e conseguentemente al dilavamento degli stessi, con peggioramento ed aggravamento del rischio nel tempo.

#### **4.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

Il quadro geologico è rappresentato in tavola n° 2; lo stesso è stato aggiornato leggermente rispetto a quanto prospettato nel progetto preliminare alla luce dei rilievi di dettaglio e dei nuovi elementi emersi per gli studi idrogeologici.

L'area oggetto di studio è costituita da una sola formazione di età carnica, la Formazione di San Giovanni Bianco.

La stessa è caratterizzata da due facies nettamente distinte: una facies pelitica ed una facies evaporitica, che era quella oggetto di escavazione.

*Formazione di San Giovanni Bianco (Carnico sup.):*

La formazione è costituita da arenarie fini (litareniti), siltiti verdastre, raramente rossastre, ricche in clasti pelitici e, localmente, con concrezioni carbonatico-silicee fino a decimetriche; sono diffusi i noduli e cristalli di pirite negli orizzonti verdi e frustoli vegetali.

A queste litofacies si associano marne dolomitiche da grigie a giallastre, ocracee sulla superficie alterata.

Nella porzione superiore divengono via via più frequenti le litofacies carbonatico-evaporitiche con dolomie grigie, dolomie marnose, calcari dolomitici vacuolari, sfaticci, di colore bruno-giallastro, dolomie vacuolari e orizzonti di carniole.

Nello specifico la formazione è caratterizzata da una netta prevalenza di siltiti grigio verdi, generalmente molto fratturate, e subordinati livelli di arenarie fini e dolomie vacuolari e carniole.

Al di sopra di questa facies affiorano le evaporiti (gessi ed anidriti), che caratterizzano la parte superiore della formazione, prima del passaggio alla Dolomia Principale.



I gessi generalmente non affiorano direttamente, perché sono ricoperti da potenti depositi limoso-argillosi-sabbiosi di alterazione; nello specifico sono osservabili molti affioramenti nei pressi delle aree di cava, dove l'attività estrattiva li ha messi a giorno.

La giacitura, nella zona delle cave Carale e Bolferino, è mediamente sub verticale, con direzione nord-est sud-ovest.

La formazione è generalmente ricoperta da depositi superficiali di varia natura e spessore.

La porzione pelitica è generalmente ricoperta da depositi eluvio colluviali, a prevalente natura limoso argillosa, con frammenti del substrato, in genere di spessore contenuto.

I gessi sono ricoperti da depositi più potenti, anche oltre 20 metri nelle zone in cui sono soggetti ad alterazione per lo scorrimento delle acque.

Gli stessi hanno natura limoso-sabbiosa-argillosa, con frequente presenza di trovanti di varia natura: frammenti di gesso, dolomie vacuolari e breccie calcaree.

Al di sopra della formazione di San Giovanni Bianco affiora, per contatto tettonico sia verso nord che verso ovest, la formazione della Dolomia Principale.

*Dolomia Principale (Norico):*

Si tratta di dolomie da grigio chiare a grigio scure, in banchi da metrici a decametrici, con stratificazione amalgamata, con dispersi livelli stromatolitici, accumuli di alghe e fossili; localmente si ritrovano anche breccie tettono-sedimentarie.

Il limite basale della formazione è sempre tettonico e lo spessore massimo osservabile nel comune è di oltre 800 metri.

Questa formazione costituisce tutta la porzione sud-occidentale del territorio comunale: dalla fine dell'abitato alla cima del Monte Disner, fino all'estrema punta sud del Comune, il Monte Saetta.

Un'altra ampia fascia di Dolomia Principale è quella su cui sorge la Frazione Bindo; è una scaglia limitata da due faglie dirette est-ovest che vanno dalla Val Mora alla località La Colla.

Nello studio specifico la Dolomia Principale è molto importante perché costituisce l'acquifero che contiene la falda di base del Monte Disner e che alimenta l'acqua in afflusso alla cava Carale.

## **5.0 DATI DISPONIBILI SULLA CAVA CARALE**

Un primo elemento essenziale del lavoro è stato quello della raccolta e dell'analisi di tutti i dati disponibili sulla cava e sull'attività estrattiva svoltasi in passato.

La cava Carale, relativamente al territorio di Santa Brigida, è l'unica cava situata a monte dei centri abitati (per la precisione sopra l'omonima frazione).

L'attività estrattiva è finita nel 1972, ed il vuoto del terzo livello è stato utilizzato prima come fungaia e poi abbandonato.

In fase di coltivazione le pompe poste sui piani inferiori eliminavano l'acqua che entrava; successivamente le pompe sono state via via alzate e poi fermate: attualmente le gallerie si sono allagate e l'acqua fuoriesce a sfioro.

E' ancora ben visibile l'ampia fossa creata dall'attività estrattiva iniziale a cielo aperto, proseguita in seguito in galleria per 4 livelli.

Il Comune di Santa Brigida ha recuperato, tramite la Ditta Nuova SIGA, le ultime planimetrie dei diversi livelli minerari della cava.

La planimetria complessiva per livelli è osservabile nella tavola n° 4; i dati desumibili sui vari livelli sono i seguenti:

Livello 1: quota 814 superficie indicativa: 160-170 mq

Livello chiuso non ispezionabile

Livello 2: quota 804 superficie indicativa: 2000-2500 mq

Livello ispezionato TUTTO, entrando dall'ingresso da piano campagna

Non allagato perché lo sfioro tiene l'acqua più bassa

Livello 3: quota 795 superficie indicativa: 4500-5000 mq

Livello ispezionato in parte, scendendo dal livello 1, pompando l'acqua

Livello sempre allagato

Livello 4: quota 755 superficie indicativa: 2700-3000 mq

Livello NON ispezionato

Livello sempre allagato

Tutte le relazioni e le perizie visionate sono concordi nell'assegnare a questa cava pesanti modifiche al regime idrogeologico della zona (drenaggio di sorgenti, venute in galleria di notevolissime quantità d'acqua e modifiche al deflusso delle stesse) ed a riconoscere un nesso causa-effetto tra la cava e le pesanti lesioni ai fabbricati adiacenti.

*Notizie storiche:*

*Balboni, 1968:* segnala che è il cantiere più attivo e che più direttamente assoggetta i centri abitati circostanti. Asserisce che è indispensabile la sospensione dell'attività in

varie direzioni e che può continuare verso la Colla e verso ovest, con attenzione per la strada.

*Rossato, 1970:* segnala il totale allagamento delle gallerie più basse, con 4 metri di acqua nonostante le pompe da 25-30 l/sec.

*Bertuletti, 1970:* mostra perplessità per il fronte di cava inciso nella coltre detritica e prescrive la sistemazione della zona a monte. Coltivazione con pesanti venute d'acqua.

*Ferrara (Distretto Minerario di Bergamo), 1973:* la cava è in attività dal 1962 ed è composta da 4 livelli: 814, 802, 795 e 785 a pilastri di 5 x 5.

*CTU, 1978:* cava chiusa nel 1972. Segnalano il drenaggio in profondità di acque prima sorgive e ora portate in superficie con pompe da 30 l/sec. Riconoscono gravi modifiche al regime idrogeologico e un nesso causa-effetto con le lesioni ad alcuni immobili.

## **6.0 RISULTATI DELL'ISPEZIONE DIRETTA DELLE GALLERIE**

Uno dei principali elementi delle indagini eseguite è stato quello relativo all'ispezione del livelli minerari, per quanto possibile verificare in condizioni di sufficiente sicurezza, sia per la stabilità delle calotte che per la presenza di acqua.

Il livello 1, a quota 814, non è ispezionabile perchè è chiuso e, probabilmente, colmato. Si tratta di un livello di dimensioni molto contenute, scavato pochissimo perchè già molto alto in quota, per cui troppo vicino al contatto con la Dolomia Principale.

Il livello n° 2, a quota 804, è stato ispezionato completamente, anche in considerazione del fatto che l'acqua è tenuta più bassa dallo sfioro esistente; comunque durante le ispezioni l'acqua, per sicurezza, è stata ulteriormente abbassata tramite pompaggi.

L'ingresso è ancora esistente dall'attuale piazzale di cava ed è stato messo in sicurezza con un disaggio degli elementi instabili, prima di procedere ad entrare.

Gli altri due ingressi esistente all'epoca delle coltivazioni sono attualmente chiusi.

Il livello si sviluppa completamente nei gessi, che si presentano da subverticali a molto inclinati, con immersione verso nord-nord-ovest.

La porzione più vicina all'ingresso, anche per l'azione degli agenti esogeni che qui è maggiormente pressante, presenta notevoli problemi di stabilità della calotta, con rilasci tensionali.

Il corridoio principale si presenta in discrete condizioni, anche perchè è stato tenuto asciutto dall'acqua ed è stato utilizzato successivamente alla dismissione della vasca come fungaia: lungo il percorso è presente un inghiottitoio che scende al livello 3 ed una grossa fessura sul pavimento, che sembra rigonfiato, presumibilmente per l'azione dell'acqua sottostante.

Tutti i rami laterali presentano invece fenomeni di franamento oppure sono stati chiusi e/o colmati, presumibilmente proprio per problemi di sicurezza.

La galleria si presenta sostanzialmente asciutta: l'unica venuta d'acqua di una certa consistenza è presente sul fondo del livello; la stessa è stata intercettata con un tubo e viene scaricata nel livello sottostante.

Per il resto sono presenti solo contenuti fenomeni di stillicidio nei rami laterali.

Nel momento delle piogge intense invece i fenomeni di infiltrazione dall'alto aumentano in modo esponenziale.

Durante i sopralluoghi si è proceduto ad una misura dell'acqua raccolta dal tubo sul fondo: la quantità è risultata, in periodo di secca, di circa 0,8 – 1,0 l/sec, su un totale di acqua allo scarico di circa 5-6 l/sec nel momento delle misure.

Il livello n° 3 , quota 795 m., è stato ispezionato solo una volta dopo aver abbassato il livello dell'acqua tramite pompaggi al di sotto del suo pavimento.

L'ispezione è avvenuta con persone in sicurezza (legate ed imbragate) ma il risanamento si presenta molto complesso.

Tramite l'ampio antrone, in cui facevano manovra i camion ai tempi dell'escavazione, si è imboccata la discenderia principale per raggiungere il livello 3.

La zona è normalmente completamente allagata per cui si è potuto constatare una migliore tenuta delle calotte rispetto al livello sopra, che è esposto all'aria; comunque tutte le pareti di gesso si presentavano fortemente erose dall'azione dell'acqua stessa.

L'elemento peculiare era la presenza di depositi fangosi, derivati dalla dissoluzione dei gessi, sul fondo, depositi spessi anche oltre 50-60 cm che non consentivano di procedere in sicurezza ad ispezionare tutto il livello.

Questi livelli sul fondo giungono ad alcuni metri di potenza.

Le venute d'acqua non sono state osservate direttamente ma il forte rumore, nonché la velocità dell'acqua in movimento sul fondo indicano inequivocabilmente la presenza di venute di entità maggiore di quanto osservato al livello soprastante.

Per quanto riguarda l'ultimo livello, il n° 4, si è ritenuto che non esistevano le condizioni per lo svuotamento e di sicurezza per poter procedere ad una sua ispezione.

## **7.0 QUADRO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO DELL'AREA**

Tutti i dati raccolti sono stati utilizzati per creare un modello geologico e geologico-tecnico della zona di studio.

Gli elementi principali sono rappresentati dai rilievi geologici di dettaglio, dai sondaggi a carotaggio continuo ed a distruzione, dalle indagini geofisiche, dalle ispezioni dirette in galleria, integrati con i dati raccolti sull'attività estrattiva svoltasi nell'area.

### **7.1 Quadro geologico di dettaglio**

La cava Carale è ubicata nei pressi del contatto tettonico (probabilmente uno scollamento e/o un blando sovrascorrimento) tra la Dolomia Principale soprastante ed il sottostante San Giovanni Bianco in facies evaporitica.

I gessi del San Giovanni Bianco (nella zona investigata non sono state osservate anidriti) costituiscono tutta la porzione di versante in cui è avvenuta in passato l'escavazione e proseguono sotto l'abitato di Carale fino all'altro polo in cui avveniva l'attività estrattiva Bolferino – Grassello.

La giacitura è in genere da subverticale a fortemente inclinata (70-80°) con immersione verso nord-ovest.

I gessi si presentano in genere coperti da depositi di alterazione e residuali a prevalente natura limoso-argilloso-sabbiosa, di spessore da pochi metri fino a parecchie decine di metri.

Tali depositi sono stati osservati nella zona del centro abitato di Carale e nei sondaggi S1 ed S3, immediatamente laterali alla zona di affioramento del gesso.

Il versante soprastante è costituito da depositi misti tra detriti di falda e depositi residuali, con prevalenza dei primi che costituiscono la parte superficiale; tali depositi presentano spessori anche di oltre 10 metri.

La Dolomia Principale costituisce tutto il versante montuoso del Monte Disner, a partire circa dalla strada provinciale fino alla vetta: si tratta di una dolomia molto rotta e fessurata.

Il contatto tra la Dolomia Principale ed i gessi del San Giovanni Bianco avviene tramite una fascia, il cui spessore è stato ipotizzato in una decina di metri, di argille, limi, carniole e brecce di dolomie.

Trasversalmente alla sezione geologica tracciata il gesso ha una struttura “a duomo”, per cui si avvicina al massimo alla superficie nella zona scavata (sicuramente anche per la giacitura degli strati subverticale, nonché per la probabile presenza di una faglia verso nord) mentre lateralmente a questa zona la profondità del gesso aumenta in modo netto, con spessori dei terreni di alterazione anche di oltre 30-40 metri.

Lateralmente alla zona di nucleo dei gessi i terreni limoso argillosi sono molto potenti e le zone esterne sono anche vie preferenziali di scorrimento delle acque sotterranee.

### ***7.2 Superfici dei livelli minerari e volume dei vuoti***

Un elemento molto importante che si è cercato di definire con lo studio in corso è quello relativo alle superfici dei vari livelli minerari e, conseguentemente, al volume di vuoti esistente nel sottosuolo.

Le misure sono state eseguite in base alle planimetrie dei livelli minerari rinvenute: gli stessi sono stati scannerizzati e poi sono state digitalizzati e/o georeferenziati con



diversi software: arc-view, corel draw ed autocad per misurare i valori delle superfici con i diversi metodi.

I valori, in base al metodo utilizzato, presentano chiaramente delle differenze, ma i range di variabilità sono contenuti entro i valori di seguito riportati:

Livello 1: quota 814 superficie indicativa: 160-170 mq

Livello 2: quota 804 superficie indicativa: 2000-2500 mq

Livello 3: quota 795 superficie indicativa: 4500-5000 mq

Livello 4: quota 755 superficie indicativa: 2700-3000 mq

Ipotizzando un'altezza media delle volte di circa 6 metri il volume complessivo dei vuoti è variabile tra 56.000 mc e 64.000 mc, per cui dell'ordine dei 60.000 mc

Si tratta chiaramente di valori indicativi, con un range di variabilità comunque notevole (15-20%), considerando l'incertezza dei calcoli, ma anche il dubbio sull'affidabilità di base delle carte stesse, ecc.

Si tratta comunque di valori che forniscono un'indicazione dell'entità notevole dei vuoti nel sottosuolo.

### ***7.3 Caratterizzazione geologico-tecnica***

Nella sezione geologica i terreni e le rocce sono stati distinti in n° 4 livelli con differenti caratteristiche geologico-tecniche.

Di seguito viene fornita una breve descrizione ed una veloce caratterizzazione dei diversi livelli.

*Livello 1: Detriti di versante e di falda*

Si tratta di terreni costituiti in prevalenza da ghiaie sabbiose e limose, con locale presenza di trovanti grossolani, con scarsa o nulla presenza di argilla. I clasti sono di natura dolomitica, subangolosi e derivano dallo smantellamento dei versanti.

Caratteristiche geotecniche indicative:

$$\gamma = 1,8-1,9 \text{ t/mc}$$

$$\phi = 28-32^\circ \text{ (anche in base alla \% di ghiaia)}$$

$$c = 0 \text{ Kg/cmq}$$

$$\text{Resistività: } > 500 \text{ ohm x metro}$$

*Livello 2: Depositi residuali e terreni di alterazione dei gessi*

Sono terreni costituiti in prevalenza da limi, con percentuali variabili di limo, sabbia e ghiaia. I clasti sono frammenti di gessi alterati, carniolate e breccie di dolomia.

Caratteristiche geotecniche indicative:

$$\gamma = 1,7-1,9 \text{ t/mc}$$

$$\phi = 22^\circ-28^\circ \text{ (anche in base alla \% di ghiaia)}$$

$$c = 0,15-0,45 \text{ Kg/cmq (localmente fino ad 1 kg/cmq)}$$

$$\text{Resistività: } < 100 \text{ ohm x metro}$$

Le caratteristiche geotecniche mostrano un ampio spettro, proprio per l'estrema variabilità nella composizione granulometrica.

Elemento comune è invece il fatto che in presenza di acqua questi materiali tendono a rammollire ed a ridurre in modo netto le proprie caratteristiche geotecniche.

*Livello 3 – Formazione di San Giovanni Bianco - Gessi*

Substrato roccioso costituito dai gessi della Formazione di San Giovanni Bianco.

Si tratta di gessi laminati, di colore biancastro, grigio o nocciola, a grana cristallina da fine a media. La struttura è costituita da un'alternanza di livelli di gesso bianco e sottili livelli più scuri, a natura limoso argillosa, che danno una caratteristica rottura a dischi. Sono frequenti le fratture chiuse ed alcuni sistemi di fratture riempite da limi ocra.

Per la caratterizzazione geomeccanica di dettaglio è possibile fare riferimento alla relazione del Politecnico di Milano, in cui sono state eseguite delle prove triassili su spezzoni di carota per la caratterizzazione del materiale.

Un elemento fondamentale che riguarda i gessi è quello della solubilità: i dati in letteratura indicano un valore di 2,6 gr/l a 20°, valore che aumenta con la temperatura.

In relazione ai problemi di solubilità dei gessi e di valutazione della diminuzione delle caratteristiche geomeccaniche in presenza di acqua è in corso una ulteriore convenzione con il Politecnico di Milano, a supporto di questo progetto e della fase esecutiva dei lavori.

#### *Livello 4 – Formazione della Dolomia Principale*

Substrato roccioso costituito dalla formazione della Dolomia Principale.

Si tratta dolomie da grigio chiare a grigio scure, in banchi da metrici a decametrici, con stratificazione amalgamata, con dispersi livelli stromatolitici, accumuli di alghe e fossili; localmente si ritrovano anche brecce tettono-sedimentarie.

La formazione si presenta molto fratturata nelle vicinanze del contatto tettonico con i gessi del San Giovanni Bianco; le caratteristiche geomeccaniche aumentano progressivamente allontanandosi verso l'alto.

## **8.0 SINTESI DELLE PROBLEMATICHE**

La situazione geologica ed idrogeologica di un territorio come quello di Santa Brigida è già naturalmente estremamente delicata, per la presenza di vaste lenti di gesso ed anidrite nel sottosuolo.

Si tratta di materiali in evoluzione ed alterazione continua, ricoperti da potenti terreni (in media 15-20 metri) limoso-argillosi di alterazione, con notevole presenza e circolazione di acqua.

L'attività estrattiva svoltasi in passato prima a cielo aperto e successivamente in galleria, per 4 livelli in sotterraneo, nella cava Carale, posizionata in un punto idrogeologicamente molto delicato, ha comportato una grave alterazione del quadro naturale.

Tale alterazione ha provocato due diversi elementi di grave rischio per il territorio:

- 1- fenomeni di instabilità del versante, resi manifesti dalla presenza di numerosi eventi franosi nelle aree contermini
- 2- problemi di carattere idrogeologico per l'alterazione e la modifica del regime di deflusso delle acque sotterranee, con anche il conseguente allagamento totale di due livelli di gallerie.

### 1- Instabilità del versante

Questo aspetto rappresenta, allo stato attuale della situazione, quello più evidente e che comporta i maggiori rischi in tempi brevi, rischi legati soprattutto alla presenza, nella zona a monte, della strada provinciale per Cusio.

I fenomeni franosi e/o i segnali di instabilità del pendio sono svariati e di diverso tipo, come di seguito dettagliato:

- sul versante a monte delle gallerie, nelle aree limitrofe alle stesse, sono presenti numerosissimi inghiottitoi, doline e sprofondamenti, con diametro anche di alcuni metri, che si sviluppano in modo spesso improvviso agevolati da periodi di piogge intense e/o prolungate. Questi sprofondamenti non sono altro che la conseguenza in superficie di franamenti all'interno delle gallerie. Questo elemento è stato verificato direttamente con l'ispezione del livello 2, controllando la posizione dei camini e dei cedimenti delle volte in relazione agli inghiottitoi di superficie.
- Il versante che dal piazzale di cava sale alla strada provinciale è pieno di fenomeni di franamento e scivolamento dei terreni della coltre superficiale. Si tratta, fino ad oggi, di fenomeni di entità contenuta, con lunghezza del fronte al massimo di 10-20 metri ed uno spessore di terreni interessati al franamento di 1-2 metri. Tali fenomeni si sviluppano di preferenza nelle porzioni più acclivi del versante, in coincidenza con aree di preferenziale scorrimento delle acque superficiali (piccole incisioni, tracciati di sentieri e mulattiere prive di raccolta acque, ecc.).
- Un ulteriore elemento, sintomo di fenomeni di instabilità più ampi, è quello relativo alla presenza di depressioni o sprofondamenti sul versante; i fenomeni avvengono in zone distanti in quota almeno 40-50 metri dalle gallerie. In questi casi è chiaro che i fenomeni non possono essere correlati al collasso delle gallerie, perché tali fenomeni, vista la distanza, non giungerebbero alla superficie. Si tratta verosimilmente di fenomeni di rilascio tensionale e/o di assestamento dei terreni di copertura, per spessori di alcuni metri (fino a 3-5). Tali elementi sono sintomo inequivocabile del fatto che il versante è in condizioni di equilibrio limite.

Le analisi sulla stabilità condotte in questa fase del lavoro hanno messo in luce che il versante è sicuramente in condizioni precarie per scivolamenti a carattere superficiale, che potrebbero coinvolgere alcuni metri di coperture ed eventualmente sfruttare per lo scivolamento al piede la presenza dei vuoti delle gallerie e l'aumento di pendenza del versante a causa dell'attività estrattiva a cielo aperto.

Fenomeni più profondi, con interessamento anche di consistenti porzioni del substrato roccioso con i gessi sono risultati molto poco probabili in questa fase.

Per entrambe le ipotesi un intervento di consolidamento al piede, per esempio con riempimento anche parziale delle gallerie, consente di abbattere di oltre il 80% i rischi di collasso.

#### 2- Alterazione regime idrogeologico e di deflusso delle acque sotterranee

Questo secondo aspetto rappresenta un elemento poco visibile attualmente, perchè legato ad una evoluzione che avviene in sotterraneo, ma è sicuramente quello più rischioso e che solleva le maggiori preoccupazioni per il futuro, anche se non in tempi brevi.

Come già detto si ribadisce che l'attività estrattiva in sotterraneo ha pesantemente modificato il regime idrogeologico e di deflusso delle acque sotterranee ed è andata ad incidere sul contatto tra dolomia e gessi ed ad agevolare il passaggio delle acque della falda di base nel massiccio, con il conseguente completo allagamento delle gallerie in sotterraneo.

Considerato che si tratta di gallerie in gesso l'aspetto più preoccupante è quello relativo alla continua alterazione del materiale, con dissoluzione dello stesso, rammollimento e peggioramento delle caratteristiche dei terreni e creazione di nuove vie di deflusso.

La continua evoluzione dei fenomeni sopra descritti è confermata da tutta una serie di elementi oggettivi verificati:

- franamenti anche recenti delle volte dei livelli più alti con formazione di inghiottitoi sul versante
- presenza di potenti depositi melmosi, derivanti dalla dissoluzione in acqua del gesso, sul fondo della gallerie. Il livello 2 (fuori acqua) non ne presenta. Il livello 3, per la parte ispezionabile, ha melme sul fondo per uno spessore di almeno 40-50 cm. Il livello 4, nel punto in cui è stata posizionata la vasca, presenta uno spessore di oltre 4 metri di questi fanghi
- durante l'ispezione al livello 3 le pareti, il pavimento e al volta presentavano tutti segni di scorrimento di acqua e di alterazione e dilavamento del gesso
- le analisi delle acque in afflusso alle gallerie ed in uscita allo scarico hanno evidenziato un deciso arricchimento in solfati
- anche nei sondaggi S1 ed S2 i limi e le argille vicini al contatto con i gessi si presentano molto scadenti ed anche la porzione superiore del gesso è fortemente alterata.

La situazione è preoccupante in considerazione dei possibili sviluppi futuri e della presenza dell'abitato immediatamente a valle della cava, cava che attualmente si presenta allagata per due livelli, con un carico idrostatico di oltre 20 metri ed un volume di vuoti saturato di almeno 40.000/50.000 mc stimati ed in caso di crolli dei pilastri in galleria, oggi non prevedibili, ci sarebbe una fuoriuscita di acqua in pressione, con conseguenti rischi rilevanti per la popolazione.