

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 IDROGEOLOGICA

COMMITTENTE: COMUNE DI SANTA BRIGIDA

I TECNICI: DR. GEOL. MARIO SPADA

ING. LUCA RUDELLI

DR. GEOL. GIAN MARCO ORLANDI

DR. GEOL. SUSANNA BIANCHI

GIUGNO 2005

INDICE

PREMESSE	3
2.0 STRUTTURA IDROGEOLOGICA GENERALE	4
3.0 STRUTTURA IDROGEOLOGICA DELLA ZONA CARALE	7
4.0 INDAGINI E PROVE IDROGEOLOGICHE EFFETTUATE	10
4.1 <i>PROVE DI POMPAGGIO E MISURE DI PORTATA</i>	10
4.2 <i>ANALISI CHIMICHE DELLE ACQUE</i>	12
4.3 <i>MISURE PIEZOMETRICHE</i>	15
4.4 <i>PROVE CON TRACCIANTI</i>	19
5.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ED INDICAZIONI PROGETTUALI	22

PREMESSE

A seguito della riunione tenutasi presso la Regione Lombardia nel maggio u.s., in cui è stato discusso il progetto preliminare dei lavori di messa in sicurezza e consolidamento della ex cava Carale (1° lotto finanziato con L. 183/89), è stato richiesto sia dallo STER di Bergamo che dalla Regione Lombardia un maggiore approfondimento del modello idrogeologico dell'area di intervento, ritenuto un elemento cardine per la corretta progettazione e riuscita delle opere di progetto.

Il parere dello STER indica espressamente di affrontare la seguente problematica: “individuare, anche con l'utilizzo di traccianti, il concreto andamento idrologico nel sottosuolo”.

Il problema era già stato affrontato comunque sia per dare riscontro alle prescrizioni ed ai suggerimenti sopra indicati che nell'ottica di un approfondimento delle valutazioni legate al grado di progettazione definitiva-esecutiva si è proceduto ad integrare con una serie di indagini, analisi e valutazioni a carattere geologico ed idrogeologico puntuali, tra cui:

- rilievi geologici ed idrogeologici di dettaglio della zona Carale e di un significativo intorno della stessa
- censimento delle sorgenti e delle emergenze presenti
- verifica e valutazione puntuale dei dati di sondaggi geognostici, indagini geofisiche e campagne piezometriche disponibili (nostri studi nella zona Carale, studi sui poli estrattivi per la causa di chiusura delle cave, studi per il consolidamento della chiesa parrocchiale)
- campionamento ed analisi geochimiche speditive delle acque sotterranee.

- prove con traccianti per l'individuazione dei possibili percorsi di deflusso delle acque sotterranee

Il dettaglio e la sintesi finale di tutte le valutazioni sopra eseguite sono contenuti nella presente relazione idrogeologica.

2.0 STRUTTURA IDROGEOLOGICA GENERALE

La struttura idrogeologica generale della zona abitata del Comune di Santa Brigida è visualizzata nella carta idrogeologica allegata (Tavola n° 8) e può essere sintetizzata come di seguito dettagliato.

A – Zona a nord del torrente Bindo

In questa zona si risente ancora in maniera massiccia degli effetti della faglia della Valtorta-Valcanale, che corre poco a nord della porzione visualizzata in carta.

Questa area, delimitata a sud dalla faglia subvertivale del torrente Bindo, è caratterizzata dalla presenza, in sponda idrografica sinistra e poco sopra la quota di deflusso del torrente stesso, di una serie di sorgenti importanti (n° 3 captazioni principali) utilizzate a scopo potabile dall'acquedotto Comunale.

La circolazione sotterranea che alimenta le sorgenti avviene all'interno dei calcari fratturati e carsificati della Formazione di Esino e le acque vengono a giorno nei pressi della zona di faglia, per la maggiore fratturazione della roccia stessa e per l'effetto di tamponamento dato dalla faglia stessa e dalla presenza di alcune lenti a permeabilità minore.

B – Zona compresa tra il torrente Bindo e la faglia della Colla

Questa zona è delimitata tra due lineamenti tettonici diretti circa est-ovest, da subverticali a molto inclinati verso nord: la faglia del torrente Bindo a nord e la faglia de La Colla a sud.

Dal punto di vista geologico il substrato è composto da breccie e dolomie laminate, appartenenti alla parte basale della Dolomia Principale e le stesse sono caratterizzate da un grado di fratturazione estremamente elevato.

I rilievi di dettaglio hanno messo in evidenza un paio di emergenze di buona portata, non captate, ubicate presso il ponte sul torrente Bindo: tali emergenze scaricano le acque sotterranee che arrivano dalla zona de La Colla e che vengono a giorno nei pressi della faglia del torrente Bindo.

C – Zona dell’abitato di Santa Brigida

In questa zona si ricomprende tutta la restante parte dell’area studiata, che va dalla faglia della Colla fino al torrente Stabina a sud, al fiume Brembo verso est ed al monte Disner verso ovest.

L’acquifero principale è rappresentato sicuramente dal Monte Disner, costituito da dolomie fortemente carsificate e fratturate, ad elevatissima permeabilità.

La dolomia del Disner è scollata dalla parte superiore dei gessi del San Giovanni Bianco, su cui sorge la maggior parte dell’abitato di Santa Brigida.

Una zona di recapito ed emergenza di queste acque sotterranee del Monte Disner è verso sud (torrente Stabina).

In questa zona, lungo la valle Scura, il Comune di Santa Brigida capta un gruppetto di 3 sorgenti ravvicinate, con una portata minima molto costante di almeno 5-6 litri/secondo,

che rappresentano sicuramente un'emergenza a giorno della falda di base del massiccio Dolomitico del Monte Disner.

Verso la zona di Santa Brigida sono presenti piccole emergenze nella zona alta della località Gerro, mentre l'elemento idrogeologico più importante connesso all'acquifero del Monte Disner era rappresentato dall'altra zona di emergenza delle acque sotterranee del Disner, con le sorgenti ubicate nei pressi della cava Carale.

Queste sorgenti ora non sono più esistenti perché sono state drenate in profondità dall'attività di estrazione in sottoterraneo.

Si trattava, verosimilmente, di sorgenti per soglia di permeabilità sottoposta all'acquifero (dolomia principale tamponata dallo scollamento dei gessi) che sono state drenate in profondità quando è stato forato il contatto geologico nel sottosuolo per l'estrazione del gesso.

Tutta la zona su cui sorge la parte principale dell'abitato di Santa Brigida è dominata da terreni (limi ed argille residuali di alterazione dei gessi) e rocce (formazione di San Giovanni Bianco composta da siltiti, arenarie, gessi ed anidriti) che sono pressoché impermeabili, per cui la zona è priva di una vera e propria circolazione idrica profonda.

Da tutti i dati dei sondaggi e dalle misure piezometriche che sono state analizzate per il presente lavoro (indagini per il consolidamento della chiesa e indagini per il processo sulla chiusura delle cave) emerge l'assenza di falde o vie di deflusso sotterranee importanti e si evidenzia un quadro idrogeologico caratterizzato da piccole falde sospese, all'interno dei terreni per variazioni granulometriche degli stessi e/o localmente al contatto con il substrato.

La sola limitata eccezione è rappresentata dal deposito di versante (probabilmente di frana) che scende dal Monte Disner verso l'abitato di Carale, ma si tratta di un elemento di scarso interesse idrogeologico visto l'esiguo spessore e la discontinuità areale dei depositi nella zona dell'abitato.

Dato che i terreni sono prevalentemente impermeabili il deflusso delle acque è fortemente legato alla morfologia superficiale (spartiacque superficiali e sotterranei pressoché coincidenti), per cui lo spartiacque principale della zona è rappresentato dal crinale su cui sorge l'abitato di Santa Brigida che separa la zona nord, caratterizzata dai torrenti Bindo e Bolferino e dalla zona a sud che drena le acque superficiali verso il torrente Stabina.

Questa situazione è stata pesantemente modificata dall'attività estrattiva nel sottosuolo, che ha alterato questo assetto idrogeologico, che ha drenato nel sottosuolo sorgenti e corsi d'acqua superficiali, ed ha creato nuove vie di alimentazione e di deflusso delle acque sotterranee.

3.0 STRUTTURA IDROGEOLOGICA DELLA ZONA CARALE

Facendo seguito alle valutazioni idrogeologiche in ampio sopra indicate, che hanno consentito di delimitare l'area di pertinenza e di influenza idrogeologica della località Carale, area compresa tra la faglia della Colla e lo spartiacque superficiale rappresentato dal crinale su cui sorge la parte principale dell'abitato di Santa Brigida, è possibile passare di seguito a focalizzare la zona di interesse.

La cava Carale, come sopra accennato, si colloca in una posizione molto particolare dal punto di vista idrogeologico: l'area è posizionata nei pressi del contatto con la Dolomia Principale ed è ubicata nei pressi della falda di base del massiccio del monte Disner.

La posizione non è per nulla casuale ma è stata scelta ai tempi dell'escavazione, infatti negli anni in cui la cava era attiva il materiale commerciale era il gesso, mentre l'anidrite rappresentava lo scarto e solo successivamente è stata utilizzata a livello industriale.

Nello specifico la dolomia del Monte Disner costituisce la zona di alimentazione della falda di base, falda che si accumulava al contatto con le rocce evaporitiche che costituivano l'aquitardo del sistema.

Si tratta di una falda di notevolissime potenzialità che prima dell'attività estrattiva alimentava alcune sorgenti continue nella zona, a monte del piazzale attuale.

Con l'attività estrattiva il livello di contatto è stato in parte rotto e/o alterato ed ha facilitato il passaggio dell'acqua, acqua che poi ha circolato nelle gallerie.

Attualmente, in condizioni normali, l'acqua allaga i livelli inferiori 3 e 4; il n° 2 è tenuto libero dall'acqua dallo sfioratore e dal fatto che l'acqua raccolta viene immessa direttamente nei livelli sottostanti.

Se lo sfioratore venisse chiuso l'acqua allagherebbe anche l'attuale piazzale e parte dello stesso livello 2 ed andrebbe ad assumere una quota proporzionale al carico idraulico della falda di base nella dolomia.

Altri elementi idrogeologici molto importanti da mettere in luce relativamente alla località Carale sono di seguito dettagliati:

- La giacitura dei depositi evaporitici (gessi ed anidriti) tra la cava Carale ed il cantiere Bolferino è molto inclinata, con direzione degli strati circa nord-est / sud-ovest, ed immersione variabile da verticale ad immergente verso nord-ovest (cava Carale) oppure immergente verso sud-est (Bolferino). La struttura generale del substrato evaporitico è quella di una sinclinale asimmetrica, con fianco subverticale a nord (presso le cave) ed andamento che segue circa la morfologia del territorio verso sud, con immersione degli strati sufficientemente stabile verso ovest ed inclinazione media di 40-45°.
- Dal punto di vista stratigrafico – sedimentologico il giacimento evaporitico è compreso tra un calcare cavernoso brecciato a letto ed un calcare cavernoso a tetto; il banco calcare di base è a sua volta poggiato sulle siltiti e le arenarie impermeabili della formazione di San Giovanni Bianco. Il livello di contatto è spesso interessato, proprio per le sue caratteristiche litologiche, da fenomeni deformativi, con la presenza di faglie o scollamenti (come, ad esempio, la faglia che delimita verso nord i giacimenti di Carale e Bolferino). Questa zona di contatto è in genere il punto di principale di scorrimento delle acque di infiltrazione (calcarei vacuolari, carnioli, calcari brecciati, frammenti di evaporiti, ecc. che in genere presentano permeabilità da media ad elevata). Questo dato è supportato anche dal fatto che lungo tali elementi si sono concentrate in passato le escavazioni. La presenza di acqua in queste zone di contatto è riprovata da quanto rinvenuto nei nostri sondaggi S1 ed S3 e nel sondaggio 1 dell'Università di Pavia, sempre nella zona di faglia, presso la cava Bolferino.

- Nel cantiere Carale il discorso del precedente paragrafo è estendibile anche al contatto presente verso monte tra le evaporiti e la dolomia del Monte Disner, dove l'acqua scorre nelle fratture della dolomia stessa e giunge fino alla zona di contatto. I dati dei sondaggi in avanzamento della SIGA indicano la presenza di una zona ricca di acqua presso la terminazione del giacimento, con la presenza di gessi ed anidriti alterati e fratturati ed una fascia di materiali limoso-argillosi con carniole, breccie, ecc. e tutta la zona si presenta praticamente satura.

4.0 INDAGINI E PROVE IDROGEOLOGICHE EFFETTUATE

Nel presente paragrafo vengono illustrate e discusse le risultanze delle prove idrogeologiche di dettaglio effettuate, dal 2002 ad oggi, per il presente lavoro e precisamente:

- prove di pompaggio e misure di portata
- analisi chimiche delle acque
- misure piezometriche
- prove con traccianti

4.1 PROVE DI POMPAGGIO E MISURE DI PORTATA

Nel 2002, durante la prima fase delle indagini e degli studi sui problemi della località Carale, è stato perforato un pozzo fino al livello n° 4, con lo scopo di effettuare delle prove di portata e di emungimento e di abbassare l'acqua nei livelli 3 e 4 per poter procedere all'ispezione diretta degli stessi.

Il pozzo è stato perforato nel punto più basso del livello 4, dove in sede di estrazione venivano tenute le pompe per eliminare l'acqua.

La stratigrafia del pozzo è la seguente:

0,00 – 2,00	trovanti di gesso
2,00 – 19,00	gesso
19,00 – 22,00	vuoto
22,00 – 25,00	fanghiglia con sassi
25,00 – 26,00	gesso

le caratteristiche del pozzo sono le seguenti:

- perforazione a rotopercolazione ϕ 300 circa fino a – 24,00
- tubazione in acciaio catramato ϕ 219 – sp 5 mm
- filtro a ponte da – 18,00 a – 24,00
- pulizia del pozzo con compressore

Nel pozzo è poi stata posizionata la pompa alla profondità di circa – 24,00 da p.c. con le sondine di livello, per controllare la quota dell'acqua e controllare che la pompa stessa non andasse in asciutta, a quota – 22,30 m.

La pompa posizionata è una elettropompa sommersa CAPRARI modello E8S64/2C + MC612.

Principali elementi emersi dalla prove:

Le prove di emungimento non hanno potuto essere utilizzate per la determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero per i seguenti aspetti:

- presenza di un serbatoio di accumulo di acqua sotterraneo legato ai vuoti estrattivi indicativamente di 50.000 mc
- particolari caratteristiche delle rocce interessate, infatti sia i gessi che le anidriti intatte sono rocce pressochè impermeabili; la presenza di acqua innesca fenomeni

chimici particolari che giungono fino alla dissoluzione del gesso, creando vuoti e cavità, per cui la determinazione dei valori di permeabilità dei materiali è pressochè impossibile, perchè si tratta di un sistema in continua e veloce evoluzione.

Le risultanze delle prove sono state invece molto utili per una serie di valutazioni sulle portate d'acqua in afflusso nelle gallerie, basandosi sui seguenti elementi:

- in periodi di secca (fine inverno 2002, estate 2002, fine inverno 2003, inverno 2004, inverno 2005, primavera-estate 2005) la portata misurata presso la sfioro delle gallerie è dell'ordine di 2,5 – 4,0 litri/sec
- in fase di pompaggio per lo svuotamento delle gallerie (settembre 2002 – aprile 2003) con una portata emunta variabile tra 30 e 35 l/sec si aveva un abbassamento medio del livello dell'acqua (in condizioni meteorologiche di asciutta) di circa 50-60 cm/gg (valore variabile da un minimo di 30-40 cm nella zona centrale delle gallerie ed un massimo di 1-2 metri in zona di calotta)
- durante il periodo di piogge intense del 13-16 novembre 2002 in 3 giorni, pur con le pompe attive, l'acqua è risalita di 10 metri, mentre in precedenza aveva impiegato n° 18 giorni per abbassarli. Da un calcolo indicativo è evidente che la portata in afflusso è stata di oltre 150 l/sec e più verosimilmente ben oltre i 200-300 l/sec, che è un valore incredibilmente alto e che non può che rafforzare le preoccupazioni e le perplessità per l'aggravamento della situazione per il futuro.

4.2 ANALISI CHIMICHE DELLE ACQUE

Sempre durante gli studi del 2002-2003 erano state effettuate due analisi chimiche dell'acqua delle gallerie.

Per tale verifica si era proceduto ad un campionamento dell'acqua in afflusso alle gallerie intercettando il tubo di captazione in ingresso al livello 2 (considerata acqua in afflusso dalla falda di monte) e prelevando come raffronto l'acqua del livello 4 prelevata dalla pompa in azione nel pozzo.

I due campioni di acqua sono poi stati portati al laboratorio di analisi della Società T.Q.S.I. s.r.l. di Cene (BG) per un'analisi chimica.

I parametri misurati sono di seguito riassunti:

Parametri	U. misura	Campione 1 – acqua in ingresso	Campione 2 – acqua fondo galleria (scarico)
Residuo fisso	Mg/l	2600	2580
PH		6,65	6,92
Cond. elettrica	uS	1492	2050
Durezza totale	°F	109	159
Solfati (SO4)	Mg/l	967	1590
Nitrati (NO3)	Mg/l	5,50	6,09

Dalle analisi sopra riportate è evidente il netto incremento della quantità di solfati tra l'acqua in afflusso alla gallerie e l'acqua alla scarico dopo aver circolato all'interno delle gallerie stesse, con un aumento di oltre il 60%.

Stante questo dato è evidente che l'alterazione e la dissoluzione dei gessi da parte delle acque è in continua evoluzione nel tempo.

Si ricorda, infatti, che nei punti più profondi del livello 4 vi sono oltre 4-5 metri di melma sul fondo.

Anche a supporto del presente progetto sono stati effettuati una serie di campionamenti di acqua, campioni consegnati al Politecnico di Milano per le analisi chimiche.

I campioni sono stati prelevati nei punti di seguito dettagliati (vedi tavola n° 7 per ubicazione):

- Campione n° 1: Prelevato dal pozzo perforato nel piazzale di cava (C2). L'acqua è stata prelevata con una pompa ad immersione (dopo alcuni minuti di pulizia e spurgo) ad una profondità di circa 16-17 metri da p.c., per cui nel 4 livello
- Campione n° 2: Prelevato dal pozzo ad anelli in cemento nel piazzale di cava (P). L'acqua è stata prelevata manualmente all'interno alla quota del livello 3 (circa 80 cm al di sotto del tubo di sfioro esistente). L'acqua appariva leggermente stagnante
- Campione n° 3: Prelevato manualmente all'interno delle gallerie, nella camera della discenderia tra i livelli 2 e 3.
- Campione n° 4: Prelevato dal tubo in ferro presente alla fine del livello 2. In base ai dati forniti il tubo drena l'acqua trovata in un sondaggio in avanzamento a 43 metri dal fronte, nei pressi del contatto, anche se ancora nei gessi.
- Campione n° 5: Prelevato nel piezometro (S2) a valle delle gallerie, nell'abitato di Carale.
- Campione n° 6: Prelevato dalla sorgente/emergenza posta a valle del campo sportivo comunale. Il campionamento è stato manuale.
- Campione n° 7a: Prelevato in località Piazza Molino (Averara) nell'alveo del torrente Bindo, a valle di tutte le confluenze dei corsi d'acqua sopra. L'acqua è stata campionata in sponda destra, da una piccola sorgente/emergenza appena sopra la quota dell'alveo.
- Campione n° 7b: Prelevato in località Piazza Molino (Averara) nell'alveo del torrente Bindo, a valle di tutte le confluenze dei corsi d'acqua sopra. L'acqua è stata campionata in centro alveo, in una zona di sorgiva subacquea (evidenti bolle di risalita).
- Campione n° 8: Prelevato dal Comune dalla sorgente Valle Scura in quanto ritenuta rappresentativa delle acque presenti all'interno della Dolomia Principale, dato che a monte della cava Carale non vi sono sorgenti e/o emergenze in dolomia

I risultati dei campioni sopra indicati non sono ancora disponibili, dato che le analisi richieste sono ancora in fase di completamento da parte dei laboratori del Politecnico di Milano.

Le analisi restituiranno i valori di PH, durezza, solfati, ione calcio, ione magnesio.

I valori avranno comunque un duplice scopo durante la fase operativa dei lavori:

- serviranno da riferimento e confronto per eventuali analisi da eseguire durante i lavori per verificare la presenza di eventuali anomalie delle acque indotte dai pompaggi

- costituiranno l'eventuale affinamento del modello idrogeologico in sede esecutiva, in aggiunta ai dati che emergeranno dalla perforazione dei dreni suborizzontali e dai controlli idrogeologici previsti dal progetto durante i lavori stessi.

4.3 MISURE PIEZOMETRICHE

Nel corso degli studi sull'area Carale del 2003 erano stati eseguiti n° 3 sondaggi a carotaggio, la cui ubicazione è riportata in tavola n° 4.

La stratigrafia sintetica di tali sondaggi è riportata di seguito:

Sondaggio S1

Profondità in m	Descrizione unità
0.00-0.40	Sabbia con mattoni.
0.40-2.30	Limo argilloso sabbioso, argilla limosa più o meno compatto marrone, ocre grigiastro con presenza di clasti di dolomie grigio scure, carniolate di dimensioni da ma a dm generalmente subangolose. Presenza tra -0.90 e -1.90 di alcuni frammenti di mattoni.
2.30-4.50	Ghiaia costituita da clasti di dimensioni da cm a dm di dolomie grigio scure subangolose con matrice limosa sabbiosa grigia. Presenza di polvere di perforazione biancastra.
4.50-8.85	Argilla limosa da grigio verdastra ad ocre, plastica con all'interno clasti subangolosi di dolomie da cm a dm. Trovati alcuni frammenti di mattoni. Tra -4.90 e -6.55 umido, tra -5.30 e -5.70 bagnato.
8.85-9.30	Vuoto di perforazione.
9.30-9.90	Argilla limosa ocre più o meno compatta con presenza di clasti tondeggianti grigio scuri, molti in alterazione.
9.90-10.20	Vuoto di perforazione.
10.20-10.70	Argilla limosa ocre più o meno compatta con presenza di clasti tondeggianti grigio scuri, molti in alterazione.
10.70-12.00	Ghiaia costituita da ciottoli di dimensioni da cm a dm sia tondeggianti che subangolosi di dolomie scure. Presenza di matrice, in alcune aree dominante, di argilla limosa ocre.
12.00-12.40	Vuoto di perforazione.
12.40-13.60	Ghiaia costituita da ciottoli dolomitici da mm a dm fratturati.
13.60-19.55	Limo argilloso grigio piombo ed ocreo più o meno compatto con presenza di clasti generalmente cm e tondeggianti, solo quelli di dimensioni maggiori sono subangolosi. Presenza di piccoli ciottoli tondeggianti di carniolate giallognole. Bagnato tra -15.00 e -16.00 e tra -18.00 e -19.00 m il resto è umido.
19.55-20.00	Sabbia fine grigia con ciottolini. Persa un po' in perforazione.
20.00-25.90	Limo argilloso ed a volte sabbioso grigio più o meno compatto con presenza di clasti tondeggianti grigio scuri. Vi sono alcuni blocchetti limosi, che rotti, appaiono marroni.
25.90-26.20	Limo argilloso marrone con clasti dolomitici e gesso sfarinato con all'interno spalmature marroni.
26.20-26.90	Vuoto di perforazione.
26.90-27.00	Limo argilloso marrone compatto con presenza di gesso sfarinato dalla perforazione.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna

27.00-30.00	Gesso (Formazione di San Giovanni Bianco). Di colore bianco leggermente grigiastro. Si vedono le lamine di deposizione leggermente piegate, spezzone con inclinazione a 25°.
-------------	---

Sondaggio S2

Profondità in m	Descrizione unità
0.00-0.20	Ghiaietto umido di sottofondo del piazzale.
0.20-5.00	Ghiaia costituita da clasti da cm a dm di dolomie grigio scure subangolose. La matrice è dominante ed è limosa sabbiosa e sabbia fine grigio verde. Tra -3.60 e -3.75 è solo sabbia fine grigio verde bagnata priva di clasti.
5.00-5.17	Limo argilloso grigioplastico con clasti subangolosi.
5.17-6.00	Limo sabbioso, argilloso ocra più o meno compatto con ciottoli tondeggianti da mm a dm, alcuni in alterazione.
6.00-7.70	Limo argilloso grigio verde più o meno compatto con clasti da mm a dm tondeggianti.
7.70-8.00	Limo sabbioso, argilloso ocra con clasti da mm a dm tondeggianti.
8.00-8.50	Vuoto di perforazione.
8.50-9.00	Limo sabbioso, argilloso ocra con spalmature grigie e presenza di clasti.
9.00-9.67	Argilla ocra bagnata, plastica, quasi priva di clasti. Presenza di scagliette di gesso.
9.67-10.65	Gesso sfarinato dalla perforazione.
10.65-20.00	Gesso (Formazione di San Giovanni Bianco) Belli spezzoni di gesso bianco e grigiastro con giacitura da 40° a subverticale. A -13.54 presenza di erosione da parte dell'acqua ed evidenza di superficie bagnaticcia. Tra -16.00 e -17.50 il gesso è più tenero. Nella cassetta vi è meno recupero perché si è perso il materiale a causa della rottura della molletta del carotiere.

Sondaggio S3

Profondità in m	Descrizione unità
0.00-0.12	Asfalto.
0.12-0.43	Ghiaia costituita da clasti di dimensioni da cm a dm di dolomie grigio scure subangolose con matrice sabbiosa.
0.43-0.70	Limo marrone con clasti da mm a cm subangolosi.
0.70-17.50	Ghiaia costituita da clasti di dimensioni da mm a dm di dolomie grigio scure subangolose in matrice sabbiosa marrone grigia. Umido tra -6.60 e -7.00, tra -13.00 e -14.10. in alcuni livelli presenza di trovanti più grossi che frantumati dalla perforazione producono una polvere biancastra.
17.50-20.00	Ghiaia fine costituita da clasti di dimensioni da mm a dm di dolomie grigio scure subangolose in matrice sabbiosa limosa marrone. Umida.
20.00-25.30	Limo sabbioso marrone grigio verde più o meno compatto con presenza di clasti generalmente tondeggianti grigio scuri, frammenti e piccoli clastini di carnirole. Bagnato tra -20.50 e tra -20.80 tra -23.25 e -24.00.
25.30-29.30	Limo argilloso ocra con spalmature grigiastre più o meno compatto con clasti, dolomitici e di carnirole, generalmente tondeggianti da mm a dm. Presenza di alcuni livelli ghiaiosi.
29.30-27.70	Trovanti di carnirole.
29.70-34.00	Argilla, argilla limosa grigiastra ed ocra con clasti tondeggianti neri. Presenza di livelli a ghiaia prevalente.
34.00-35.00	Scarsi ciottoli dilavati perché la porzione fine è stata dilavata dalla perforazione.
35.00-35.60	Argilla ocra più o meno compatta con ciottoli.
35.60-36.20	Spezzoni di gesso compatto sfarinato con limo ocra.
36.20-60.00	Argilla, argilla limosa e limo argilloso ocra con presenza di zone con livelli deposizionali giallognoli, grigi e rossastri. Gli spezzoni appaiono più o meno compatti; le porzioni più compatte sono difficili da dividere con la lama.

	Sono presenti annegati all'interno clasti di diverse dimensioni generalmente tondeggianti prodotti molto probabilmente dal disgregamento di clasti più grossi di carniolate/brecce. Vi sono livelli a ghiaia prevalente. Tra -42.00 e -44.10, tra -48.00 e -49.30 presenza di film d'acqua attorno ai clasti mentre tra -45.00 e -46.50 l'argilla è plastica, bagnata.
--	--

Durante la perforazione di tali sondaggi si era posta grande attenzione alla presenza di zone con umidità e/o presenza di acqua, la cui distribuzione è la seguente:

S1: terreni umidi tra 4.90 e 6.55 metri e tra 18.00 e 19.00 metri

terreni bagnati tra 5.30 e 5.70 metri e tra 15.00 e 16.00 metri

S2: terreni bagnati tra 3.60 e 3.75 metri e tra 9.00 e 9.65

Gesso in erosione con superficie bagnata a 13.54 metri

S3: terreni umidi tra 6.6 e 7.0 metri, tra 13.0 e 14.1 metri e tra 17.5 e 20.0 metri

Terreni bagnati tra 20.5 e 20.8 metri, tra 23.25 e 24.00 metri e tra 45.00 e 46.50

Film d'acqua attorno ai clasti tra 42.00 e 44.10 metri e tra 48.00 e 49.30 metri

Tutti i fori di sondaggio sono stati attrezzati con un tubo piezometrico del 2 " forato per la misura nel tempo della quota della falda e le misure effettuate sono riportate sotto:

<i>Data</i>	<i>S1 Livello m p.c.</i>	<i>S2 Livello m p.c.</i>	<i>S3 Livello m p.c.</i>
08/01/03	-8.78		
09/01/03	-8.66		
10/01/03	-8.66	-6.1	
13/01/03	-8.55	-8.73	
15/01/03	-8.56	-8.14	
16/01/03		-8.75	
17/01/03		-8.61	-37.12
07/02/03	-8.90	-8.90	-38.80
21/02/03	-8.90	-8.90	
27/05/05	<i>-9.31*</i>	<i>-10.16</i>	
01/06/05	<i>-9.32*</i>	<i>-10.17</i>	
10/06/05	<i>-9.32*</i>	<i>-10.18</i>	<i>-41.20</i>
30/06/05	<i>-9.32*</i>	<i>-10.21</i>	
02/07/05	<i>-9.32*</i>	<i>-10.20</i>	<i>-40.60</i>

NOTE: In corsivo sono segnate le misure effettuate di recente, tra maggio e luglio 2005.

* il tubo è rotto poco sotto, per cui la misura potrebbe non essere affidabile

Le principali considerazioni che emergono dall'analisi dei dati sono le seguenti:

1. la presenza di acqua nella zona, sia a valle della cava (S1-S2) che lateralmente presso S3, risulta sufficientemente costante e stabile nel tempo, in accordo con quanto anticipato al par. 3.0 sull'idrogeologia della località Carale e sulle modificazioni indotte dall'attività estrattiva.
2. I livelli dell'acqua misurati sono più bassi mediamente di 1-2 m. rispetto al 2003.

Tale situazione è imputabile ad almeno un paio di fattori:

- a. nel 2003 le misure erano state effettuate successivamente al mese novembre 2002, periodo dell'alluvione della Bergamasca e quindi periodo di grande ricarica di tutte le risorse idriche sotterranee, dato che in circa 15 giorni cadde poco meno di un metro di pioggia. Gli anni 2003, 2004 e la prima parte del 2005 sono stati caratterizzati da precipitazioni basse, decisamente sotto le medie annue e come tali le misure recenti risentono di questa situazione di generale impoverimento delle risorse idriche.
- b. le misure al piezometro S2, posto immediatamente a valle della cava, risentono sicuramente anche nell'abbassamento medio del livello dello sfioro delle gallerie, passato da - 2,40 da p.c. a - 3,20 da p.c. nel pozzo perforato. Le motivazioni di tale abbassamento saranno dettagliate ed esplicitate nel paragrafo seguente.

4.4. PROVE CON TRACCIANTI

In accordo con quanto discusso in Conferenza di Servizi e in base a quanto richiesto dalla Regione Lombardia e dallo S.T.E.R. con il parere sul progetto preliminare si è proceduto all'esecuzione di una prova con traccianti per l'individuazione delle possibili vie di deflusso delle acque sotterranee contenute nella cava Carale.

La prova, il cui svolgimento è stato notificato a tutti gli Enti presenti alla conferenza di servizi ed a quelli di controllo sul territorio (Provincia di Bergamo – Caccia e Pesca, Comuni posti a valle di Santa Brigida), è stata eseguita giovedì 9 giugno 2005 alla presenza degli Scriventi.

Come tracciante è stata utilizzata la fluoresceina sodica ($C_{20}H_{10}Na_2O_5$), che è un prodotto atossico e che è stata ritenuta la più idonea per le condizioni geologiche locali (il blu di metilene, per esempio, potrebbe essere trattenuto dalle argille e le verifiche potrebbero risultare falsate, ecc.).

La fluoresceina è stata immessa dal pozzo presente nel piazzale di cava ed immessa direttamente in acqua al livello n° 4.

I punti di controllo individuati sono di seguito dettagliati (vedi tavola n° 7):

Punto n° 1: Punto di campionamento all'interno delle gallerie, nella camera della discenderia tra i livelli 2 e 3.

Lo scopo è di verificare la velocità di mescolamento delle acque tra i vari livelli.

Punto n° 2: Campionamento all'interno del piezometro (S2) a valle delle gallerie, nell'abitato di Carale.

Lo scopo è di verificare se la falda sotto l'abitato è alimentata dalle gallerie oppure da venute e deflussi provenienti da monte e indipendenti dalle gallerie stesse.

Punto n° 3: Punto di campionamento presso la sorgente/emergenza posta a valle del campo sportivo comunale.

Lo scopo è di verificare se la sorgiva è in relazione al sistema idrogeologico delle cave o se invece è alimentata da deflussi sotterranei laterali e non correlati.

Punto n° 4: Punto di campionamento presso la zona Porcilaia – loc- Tai (inizio del tratto a cielo aperto del torrente Bolferino) in corrispondenza dell'uscita a giorno del tubo che scarica le acque delle gallerie.

Punto n° 5: Campionamento in località Piazza Molino (Averara) nell'alveo del torrente Bindo, a valle di tutte le confluenze dei corsi d'acqua sopra.

Lo scopo è di verificare se le sorgive in alveo e di fianco sono alimentate dalla zona delle cave o se provengono dall'area laterale.

I campionamento ed i controlli, sia visivi diretti che con la lampada UV che consente di individuare la fluoresceina anche a diluizioni estremamente basse sono stati eseguiti nei 3 giorni seguenti e settimanalmente fino all'ultimo controllo del 2 luglio.

I principali elementi emersi dalla prova e dai controlli sono i seguenti:

Abbassamento dell'acqua al di sotto della tubazione di sfioro

All'inizio del 2005 era stato notato un abbassamento dell'acqua nelle galleria che in condizioni di magra non arrivava più a raggiungere la tubazione di sfioro e questa

situazione poteva anche far pensare ad un abbassamento naturale per la presenza di nuove vie di deflusso.

Immediatamente dopo l'immissione della fluoresceina è stata osservata la fuoriuscita di acqua con colorazione intensa dalla tubazione di scarico delle cave presso il punto di campionamento n° 4 a la velocità con cui è avvenuto il deflusso indicava in maniera inequivocabile il deflusso in una tubazione.

Si è quindi proceduto ad una verifica per settore della tubazione di scarico dalle gallerie (tutti i tratti di tubazione e tutti i pozzetti) ed è stato osservato che l'acqua entra nel sistema di tubazioni di scarico dal secondo pozzetto nel piazzale di cava, che è rotto sul fondo.

Per questo motivo lo sfioratore esistente non lavora sempre ma solo in caso di piogge ed aumento delle portate; comunque l'acqua non ha trovato nuove vie nel gesso ma semplicemente una rottura del pozzetto più basso.

Punti di recapito verso valle delle acque sotterranee della cava Carale

A partire dal giorno seguente all'immissione è stata rinvenuta la presenza di fluoresceina nel campione 2, presso il piezometro posto immediatamente a valle della cava Carale.

La diluizione era molto blanda ed è aumentata decisamente nei due giorni seguenti.

Questo elemento conferma in maniera inequivocabile quanto già ipotizzato con il modello idrogeologico e cioè la decisa correlazione tra l'acqua contenuta nelle gallerie e la presenza di una falda costante, continua e di buona potenzialità nella zona di contatto tra gessi e terreni sotto l'abitato di Carale.

Nei campionamenti successivi non sono individuate ulteriori zone di emergenza della fluoresceina anche se pare estremamente probabile che l'emergenza presso il campo sportivo sia direttamente correlata alla falda in oggetto (il mancato rinvenimento potrebbe essere legato a diversi fattori: elevatissima diluizione e dispersione del tracciante, cadenza delle letture dopo i primi giorni, tempi superiori a quelli di controllo per i deflussi).

La circolazione di acqua è molto veloce ed anche la dispersione è rilevante.

Le due sorgenti verso Piazza Molini non risultano invece correlate al sistema oggetto del presente studio.

5.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ED INDICAZIONI PROGETTUALI

Dalle analisi e dalle valutazioni riportate ai paragrafi precedenti emergono una serie di aspetti, legati all'idrogeologia della località Carale, che hanno importanti implicazioni per il progetto.

Le principali indicazioni progettuali sono di seguito riportate.

Realizzazione dei dreni suborizzontali

Lunghezza dei dreni

I dreni suborizzontali dovranno raggiungere la fascia di saturazione, posta presso la terminazione del giacimento evaporitico (con gessi ed anidriti fratturati ed alterati) al contatto con carniole, calcari brecciati, limi ed argille.

L'estensione dei dreni fino alla dolomia del monte Disner non è ritenuta fondamentale, poichè l'acqua nella dolomia scorre in fratture e cavità anomale, discontinue e

difficilmente prevedibili a priori e l'intercettazione delle stesse con fori di piccolo diametro è sicuramente problematica.

La fascia di contatto con le evaporiti è invece, in base ai dati disponibili, la zona vera di saturazione e come tale quella più significativa per lo smaltimento delle acque.

Ampiezza dell'ombrello dei dreni

Alla luce della conformazione del giacimento gessoso (con bancate quasi verticali) e della presenza di contatti laterali per faglia, che rappresentano zone di potenziale scorrimento delle acque, l'ombrello dei dreni deve essere tale da coprire tutta la zona del giacimento ed anche le zone laterali allo stesso.

In questo modo se con il tamponamento delle gallerie si dovessero aumentare le quantità d'acqua che scorrono lateralmente, le stesse verrebbero intercettate dai dreni.

Controlli e monitoraggi in corso d'opera

Le verifiche in sede operativa sull'assetto idrogeologico e sulle eventuali modificazioni indotte dall'intervento sono certamente fondamentali, per la corretta realizzazione delle opere e per eventuali adeguamenti da porre in opera durante i lavori.

I controlli degli aspetti idrogeologici dovranno prevedere:

- ◆ monitoraggio piezometrico, utilizzando i sondaggi esistenti S2 ed S3, riprofondendo S1 e realizzando due nuovi piezometri, rispettivamente sul lato sud del polo estrattivo e nella parte bassa dell'abitato di Carale
- ◆ misura delle portate dei dreni suborizzontali, del tubo esistente al livello 2 e della tubazione di scarico delle gallerie. In particolare si dovranno controllare gli aumenti di portata correlati all'immissione del materiale di riempimento

- ◆ controllo visivo delle acque presso lo scarico delle gallerie e presso l'emergenza del campo sportivo, per verificare eventuali intorbidimenti che potrebbero indicare dispersione del materiale iniettato
- ◆ eventuali analisi chimiche sulle acque, per il raffronto tra le caratteristiche iniziali e quelle durante e dopo i lavori, per eventuali alterazioni indotte dall'iniezione delle miscele.