

Dott. Geol. Renato Ricci
Via Arenazze, 6/8
66100 CHIETI
Tel./Fax: 0871-321631
Via Del Bagno Borbonico, 7
65121 PESCARA
Tel./Fax: 085-380128
e-mail: geotecnicaricci@interfree.it

Da Villia s.r.l.
C.da Francara
Guglionesi (CB)

Oggetto: Progetto di ampliamento di attività estrattiva per la cava di gesso di Monte Tondo in località Borgo Rivola, Comuni di Casola valsenio e Riolo Terme (RA)
(ai sensi della L.R. 18/Luglio/1991, n°17)



INDICE

1.0	PREMESSA	pag.	1
2.0	UBICAZIONE DELLA CAVA - GEOMORFOLOGIA	pag.	2
3.0	GEOLOGIA GENERALE – GEODINAMICA	pag.	4
3.1	Formazioni del Bacino Romagnolo	pag.	5
3.2	Successione Preevaporitica	pag.	7
3.3	Successione Evaporitica	pag.	7
3.4	Formazioni a tetto	pag.	7
4.0	RILEVAMENTO GEOLOGICO	pag.	8
4.1	Sezioni geologiche	pag.	10
5.0	SONDAGGI GEOGNOSTICI	pag.	11
6.0	CARSISMO	pag.	20
7.0	IDROGEOLOGIA	pag.	21
8.0	ANALISI DELLE ACQUE	pag.	24
9.0	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	pag.	26
9.1	Detrito gessoso	pag.	26
9.2	Gesso	pag.	28
9.3	Marna gessosa	pag.	28
10.0	CONDIZIONI DI STABILITÀ	pag.	29
10.1	Giacitura degli strati	pag.	29
10.2	Livello di fessurazione delle rocce	pag.	29

10.3 Stabilità dei fronti di scavo	pag.	31
10.4 Verifica di stabilità dei fronti di scavo previsti nel progetto di ampliamento	pag.	32
10.5 Verifica di stabilità secondo il profilo attuale del pendio	pag.	32
10.6 Verifica di stabilità secondo il profilo finale	pag.	32
10.7 Verifica di stabilità a monte della zona di ampliamento	pag.	32
11.0 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO IN ATTO	pag.	33
11.1 Modellamento geomorfologico di origine antropica	pag.	33
11.2 Modellamento geomorfologico di origine naturale	pag.	33

1.0 PREMESSA

Lo scrivente è stato incaricato dal dott. Ing. Antonello Fante di redigere la relazione geologica e geotecnica per il “Progetto di ampliamento di attività estrattiva di gesso in località Monte Tondo dei comuni di Casola Valsenio e Riolo Terme in provincia di Ravenna”. Il progetto è stato commissionato all’Ing. Fante dalla Ditta DAVILLIA s.r.l. con sede in C.da Francara – Guglionesi (CB).

Nel redigere la presente relazione lo scrivente ha consultato la seguente documentazione:

- “La vena del Gesso” - U. Bagnaresi et alii;
- “Le grotte della vena del gesso romagnola “– Gruppo Speleologico Faentino e Speleo GAM - RA
- “Problematiche nella coltivazione del gesso” - Tesina di D. Gualdi;
- “Carta geologico-strutturale dell’Appennino Emiliano – Romagnolo – Editto a cura della regione Emilia – Romagna;
- “Carta geologica 1:10.000 della Regione Emilia – Romagna edita dall’ARPA;
- “I siti Minerari “ – R. Massoli Novelli;
- “Rilevamento geologico 1:1000 “– Dott. Carlo Fabbri;
- “Relazione tecnica per la cava di materiale gessoso “Monte Tondo” sita in località Borgo Rivola Allegato “B” e allegato “C” – Dott. Carlo Fabbri;
- “Studio cava gesso” eseguito dall’ARPA.

ALLEGATI

- D.3.17. Carta Idrogeologica Mappa della vulnerabilità degli acquiferi
- D.4.2 Carta Geologica Generale
- D.4.3. Sezioni geologiche rappresentative
- D.4.8. Mappa con caratteristiche geologiche locali di dettaglio dell’area di intervento con particolare riferimento alla situazione litostratigrafia
- D.4.14. Mappa delle indagini geotecniche dei terreni
- Verifiche di stabilità

2.0 UBICAZIONE DELLA CAVA - GEOMORFOLOGIA

La cava di Monte Tondo si trova in provincia di Ravenna al confine tra i paesi di Riolo Terme e Casola Valsenio; è una cava di gesso, facies appartenente alla formazione gessoso – solfifera del Messiniano; la cava è situata all'interno della cosiddetta “vena del gesso” che si estende, a nord est di Monte Tondo, verso il Torrente Senio e, a sud est, verso il Torrente Sintria.

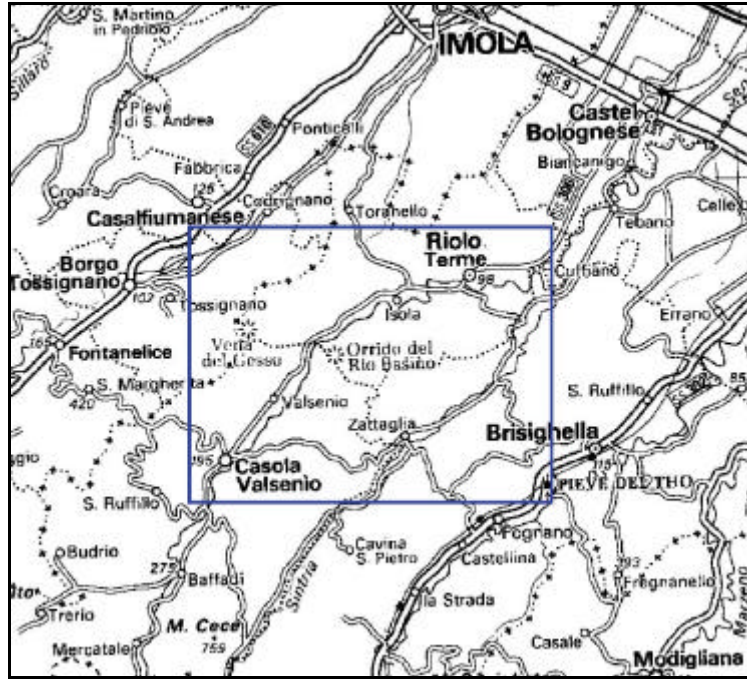


Figura 1: Ubicazione area di intervento (da Studio ARPA 2001)

“La vena del gesso” affiora con continuità tra le valli del Sillaro e del Lamone, con andamento trasversale alle valli in direzione NW - SE; si tratta di un complesso di grande pregio da un punto di vista paesaggistico, geologico, speleologico e archeologico, oltre che, naturalmente, da un punto di vista minerario.

L’area dove è ubicata la cava segna il passaggio tra la zona di pianura e quella di montagna; la zona dove affiorano i gessi ha assunto una tipica morfologia carsica caratterizzata dalla presenza di doline, inghiottitoi, grotte.

A causa della resistenza più elevata dei gessi rispetto alle formazioni contigue la vena del gesso è sopraelevata rispetto alle zone confinanti sia nella direzione nord est , dove affiora la formazione di Riolo Terme (argille e marne), sia in direzione sud ovest dove affiorano terreni appartenenti alla formazione marnoso arenacea.

Monte Tondo è la cima più elevata della zona, si eleva fino a quota 436.5 m s.l.m.

La morfologia del paesaggio è caratterizzata da valli strette con versanti abbastanza acclivi dove affiora la formazione marnoso – arenacea, da valli più ampie con versanti meno acclivi dove affiorano le argille e marne.

L’aspetto attuale della cava è visibile nella seguente ortofoto dove sono indicate anche le cavità carsiche.



Figura 2: Ortofoto della cava con ubicazione grotte (Rielaborazione della TAV. 16 Studio ARPA 2001)

3.0 GEOLOGIA GENERALE – GEODINAMICA

Nelle regioni centrali adriatiche affiorano terreni di origine marina le cui caratteristiche litologiche e l'assetto strutturale riflettono i cambiamenti paleogeografici e geodinamici che hanno interessato l'Appennino centrale tra il Miocene superiore ed il Pliocene inferiore e medio; i cambiamenti sono legati ad una progressiva migrazione del sistema catena appenninica – avanfossa – avanpaese da Ovest verso Est collegata con la formazione degli Appennini.

Durante il Mesozoico, dal Trias inferiore (circa 250 milioni di anni fa) al Lias inferiore (circa 200 milioni di anni fa) l'intera area, dove ora è situato l'Appennino centrale, era ricoperta da un mare distinto in diversi bacini:

- bacini poco profondi detti di piattaforma carbonatica, con altezza dell'acqua non superiore a 50 m;
- bacini più profondi, detto anche pelagici, di spessore di alcune centinaia di metri.

I depositi accumulati nei due ambienti marini nell'intervallo di circa 50 milioni di anni, si ritrovano nelle rocce che costituiscono i vari gruppi montuosi degli Appennini.

La principale fase tettonica che ha dato luogo all'attuale assetto strutturale della zona romagnola si è prodotta nel Plio - Pleistocene; nel Pliocene inferiore si forma l'avanfossa adriatica distinta in vari bacini sedimentari, dette avanfosse, ognuna con caratteristiche peculiari. Le avanfosse adriatiche si sono generate nel fronte di avanzamento dell'orogenesi appenninica, allora in atto, e che procedeva da SW verso NE.

Il bacino romagnolo ha subito almeno due forti oscillazioni del livello del mare come si deduce dalla successione stratigrafica; infatti, intercalata a due formazioni di mare profondo “argille e marne” e la “marnoso – arenacea” si rinviene la formazione “gessoso – solfifera” deposito caratteristico di un ambiente lagunare.

L'assetto morfologico e strutturale e la dinamica della sedimentazione sia marina che continentale della fascia costiera adriatica sono stati influenzati anche dall'intensa attività tettonica del Pliocene e del Quaternario, da variazioni climatiche e dal livello del mare.

L'attività tettonica nell'intervallo Pliocene superiore - Pleistocene inferiore ha riguardato:

- variazioni della forma del bacino periadriatico;
- sviluppo di dorsali longitudinali;
- progressivo basculamento verso E - NE del blocco periadriatico localizzato tra la parte interna della catena in sollevamento e la depressione adriatica in subsidenza; il segno di tali eventi sono riscontrabili anche nella zona romagnola dove si rinvengono strati inclinati e immergenti verso N - NE

La fascia periadriatica emerge definitivamente alla fine del Pleistocene inferiore a seguito di un sollevamento generalizzato che raggiunge il massimo, circa 2000 m, lungo l'asse attuale della catena appenninica.

In seguito a tale sollevamento si determina un ulteriore basculamento dei depositi marini che assumono l'assetto di monoclinali inclinate in genere verso N - NE.

L'innalzamento ha incrementato considerevolmente l'opera erosiva dei corsi d'acqua che ha prodotto vallate profonde a ridosso della catena montuosa degli Appennini e accumuli di materiale detritico a valle, dando origine sia ai terrazzi fluviali che alle pianure fluviali di fondovalle.

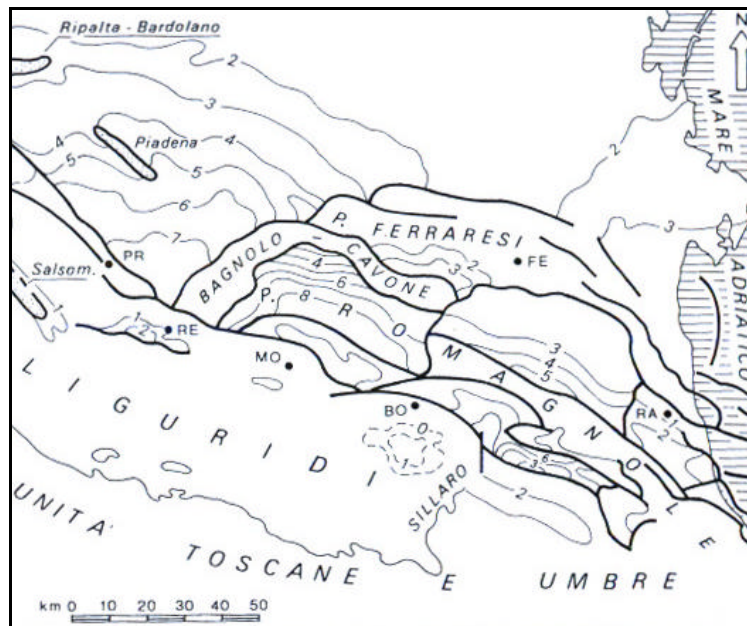


Figura 3: Il bacino padano rappresenta l'avanfossa della Catena Appenninica; esso è stato riempito da grandi volumi di detriti portati dai fiumi. Se immaginiamo di togliere i sedimenti di riempimento, che raggiungono spessori di vari chilometri, si vede che il fondo del bacino è accidentato come una catena di montagne. Vi sono dorsali e fosse, o valli; queste strutture sono state formate dalle forze tettoniche che hanno spinto la catena e la crosta terrestre sottostante verso l'Europa, facendo alzare l'Appennino e abbassare la zona antistante. (da "La vena del gesso" Pieri & Groppi in Ricci Lucchi, 1984)

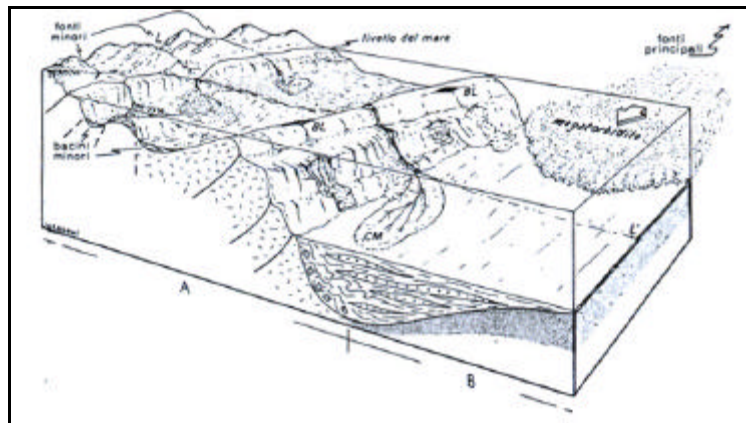


Figura 4: Ricostruzione di un segmento dell'avanfossa appenninica, com'era quando la occupava un mare profondo e la catena era "in costruzione" sott'acqua, una decina di milioni di anni fa. Dal fianco del bacino a dalle Alpi, più a nord, scendevano impetuose correnti di acqua torbida che depositavano strati di sabbia e fango sul fondo piatto. Numerose e frequenti erano anche le frane sottomarine sui pendii. (da Ricci Lucchi, 1984)

3.1 Formazioni del Bacino Romagnolo

Le formazioni che si sono depositate nell'avanfossa romagnola, a partire da quelle più antiche a quelle più recenti, sono le seguenti:

- la formazione marnoso – arenacea – Serie Miocene superiore – piano Messiniano inferiore. Ambiente di deposizione: mare profondo;

- la formazione gessoso-solfifera – Serie Miocene superiore – piano Messiniano – E' una formazione evaporitica; ambiente di deposizione: lagunare costiero con poca acqua;
- la formazione delle argille grigio – azzurre – Serie Mio-pliocenica. Ambiente di deposizione: mare profondo.

Tale successione stratigrafica indica che le due condizioni di mare profondo in cui è venuto a trovarsi l'avanfossa romagnola è stata intercalata da un periodo, durante il messiniano (tra 6.5 e 5.5 milioni di anni fa), in cui il livello del mare, in condizioni climatiche sub-tropicali e, quindi, di forte evaporazione, si è ridotto notevolmente fino a costituire un ambiente lagunare evaporitico; il prodursi di una tale condizione ha reso possibile la precipitazione del solfato di calcio e il suo accumulo sul fondo del bacino lagunare. Infatti il solfato di calcio di cui è formato il gesso, come il cloruro di sodio (sale da cucina) si trova originariamente sciolto nell'acqua di mare; l'evaporazione delle acque del bacino determina una forte concentrazione del solfato di calcio che precipita sul fondo del bacino sottoforma di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) una volta superato il limite di solubilità pari a 2.5 g per mille.

E' lo stesso fenomeno che oggi si ripete nelle attuali saline con la precipitazione del NaCl sul fondo di stagni con acqua bassa; tuttavia il fenomeno attuale è insignificante di fronte alla grandiosità della deposizione del gesso durante il Messiniano.

Solo un evento eccezionale può aver prodotto un fenomeno di tali proporzioni che, in Italia, si estende dalla Romagna alla Sicilia.

Molti studiosi oggi concordano nell'attribuire la causa del grandioso fenomeno alla chiusura dello stretto di Gibilterra durante il Messiniano per effetto della spinta della placca africana contro quella europea; la chiusura del varco atlantico avrebbe isolato, anche se parzialmente, il mare Mediterraneo; la forte evaporazione connesso con un clima sub-tropicale avrebbe provocato il prosciugamento del mare ed il conseguente instaurarsi di condizioni lagunari indispensabili per il deposito di sali, gessi e, talora, di zolfo allo stato puro.

Tuttavia, come osserva Franco Ricci Lucchi nel volume "Origine e storia del gesso", l'isolamento totale del mediterraneo non può spiegare la quantità e, soprattutto, lo spessore di gesso depositato, per spiegarne l'entità bisogna ammettere che la chiusura dello stretto di Gibilterra non fosse totale e permanente, e che il Mediterraneo ricevesse, sebbene in maniera ridotta, acqua, e quindi apporti di sali, dall'Oceano Atlantico.

La deposizione dei gessi ebbe termine allorché le acque oceaniche si riversarono nuovamente nel Mediterraneo con la riapertura dello stretto di Gibilterra; il conseguente aumento del livello del mare creò le condizioni per il deposito di materiali caratteristici di un mare più profondo.

Un'altra ipotesi, anch'essa plausibile, che permette di dare una spiegazione al fenomeno dell'abbassamento del livello marino fino al formarsi di un ambiente evaporitico con la deposizione della formazione gessoso-solfifera e successivo aumento con la deposizione di peliti di mare profondo, è legata a fenomeni di glaciazione e deglaciazione dell'Antartide con la diminuzione del livello del mare durante le glaciazioni e l'aumento durante le deglaciazioni.

Intercalata al gesso si rinvengono spesso livelli di argilla marnosa di spessore massimo limitato ad alcuni metri; questi livelli testimoniano oscillazioni anche notevoli del livello del mare durante il periodo di deposito del gesso.

3.2 Successione Preevaporitica

FORMAZIONE MARNOSO – ARENACEA

Serie Chattiano – Messiniano inferiore.

Costituisce il substrato dell'area, è una formazione di mare pelagico su cui si è depositata, in ambiente evaporitico, la formazione gessoso - solfifera.

E' costituito da due facies la marnosa e l'arenacea. La formazione ha una potenza complessiva di circa 400 m.

Si distinguono le seguenti facies:

Arenarie e marne torbidiche: è la formazione di letto ma non è presente al di sotto della formazione gessosa nell'area della cava.

Argille marnose fittamente stratificate con rare intercalazioni arenacee: si tratta della formazione di letto presente al di sotto della formazione gessosa nella zona della cava. Le marne si presentano di colore scuro e sono bituminose nella porzione più superficiale. Vi si rinvencono fossili adatti a vivere in un ambiente ad elevata salinità.

3.3 Successione Evaporitica

FORMAZIONE GESSOSO – SOLFIFERA

Nell'ambito della formazione gessoso – solfifera si distinguono le seguenti associazioni di microfacies:

Calcare evaporitico: La base della formazione gessoso – solfifera, a contatto diretto con la formazione marnoso-arenacea, è costituito da calcare, detto stromatolite algale, poiché è formato da resti di alghe. Si rinviene in sottili strati non solo alla base ma, talora, anche tra i gessi; lo spessore varia da pochi cm a circa 1.5 m. Non si rinviene nel sottosuolo dell'area della cava.

Gessi: Lo studio ARPA nel capitolo “Geologia dell'area di cava” così descrive la formazione gessosa:

“Il tratto della vena del gesso dal Senio al Sintria corrisponde al punto di massima larghezza e accumulo del bacino originario. Nell'area di cava si è inoltre in presenza del raddoppio tettonico legato alla presenza di una faglia longitudinale; la potenza massima del giacimento, rilevata attraverso i sondaggi geognostici eseguiti dall'AGIP Mineraria nel 1967, è di m 193.

3.4 Formazioni a tetto

I gessi possono essere ricoperti da:

Gesso selcifero e calcare (colombaccio): si tratta di una unità detritica che prende il nome di formazione a colombacci del Messiniano;

Argille marnose grigio-azzurre del Pliocene di mare profondo (Argille e marne dette di Riolo Terme)

4.0 RILEVAMENTO GEOLOGICO

Il rilevamento geologico è stato limitato all'area della cava e redatto su base topografica a scala 1:5000 (All. D.4.8.); esso ricalca il rilevamento geologico dal Dott. Gallo Fabbri su base topografica a scala 1:1000; è stato inoltre consultata la cartografia edita a cura della Regione Emilia Romagna a scala 1:10000 (All. D.4.2), e quella dell'ARPA alla stessa scala, tuttavia queste ultime non comprendono tutta area oggetto del presente studio.

I terreni cartografati sono descritti di seguito ordinatamente a partire dai più antichi ai più recenti.

Gesso in 13 banchi (G₁)

Di potenza compresa tra 6 e 30 m, alternati ad argilla marnosa color grigio scuro di potenza compresa tra 1 e 200 cm. I banchi sono costituiti da gesso a grandi cristalli nella parte basale e geminati a coda di rondine. Nei banchi superiori è presente gesso a bande, a cristalli sdraiati o a “cavolfiore” (Messiniano).

Il primo e secondo banco non affiorano, sono visibili in galleria; quelli più importanti, ai fini estrattivi sono il III°, IV°, V°, e VI° ove è presente gesso a titolo più alto.

Gli affioramenti gessosi, nell'intorno di Monte della Volpe, hanno direzione sui 120°, pendenza compresa tra 30 e 40° ed immersione verso N-NE

Ai due tipi di gesso sopra descritti si intercalano sottili livelli di argille e marne di colore grigio scuro e, più raramente, livelli arenacei di modesto spessore, in genere di alcune decimetri.

Nel versante Nord la giacitura degli strati è a franapoggio, con inclinazione che, talvolta, supera quella del pendio, talvolta invece coincide con esso.

I singoli banchi di gesso costituiscono ognuno un ciclo sedimentario; un ciclo è illustrato nella fig. 5 tratto dal volume “La vena del gesso”.

Le condizioni di deposizione vengono descritte minuziosamente da Franco Ricci Lucchi, tali condizioni si sono succedute e ripetute più volte durante la deposizione dei gessi.

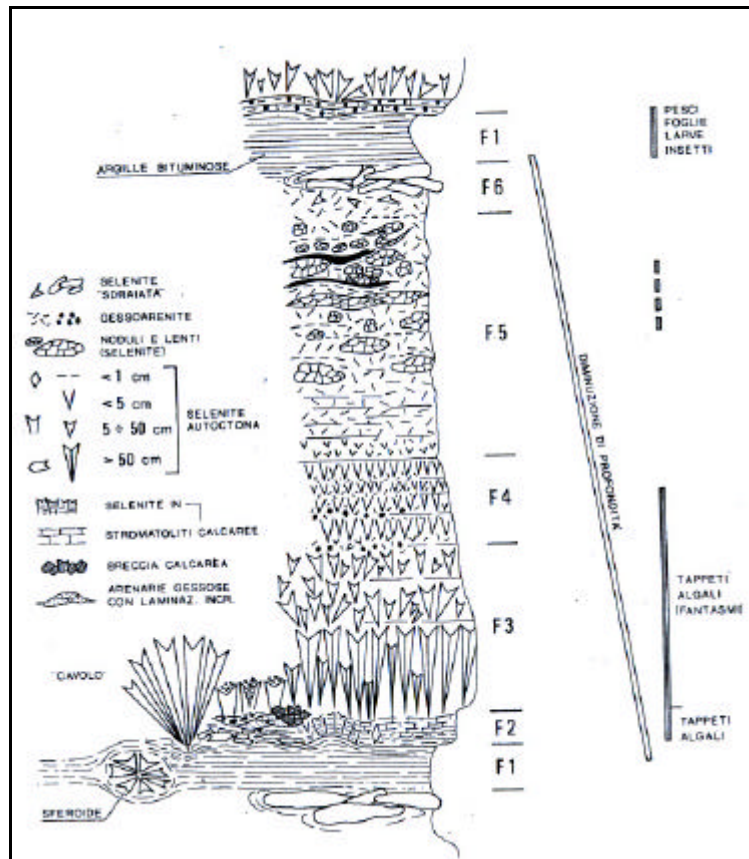


Figura 5: I banchi della vena mostrano aspetti, o facies, variabili dalla base al tetto. Poiché questi aspetti si ripetono più volte nei diversi banchi si parla di cicli sedimentari. (da Ricci Lucchi & Vai, 1983)

Gesso indifferenziato (G)

Comprende:

Gesso selenitico talora immerso in peliti gessosi e gessoareniti

Gli strati di gessoruditi sono costituiti da clasti eterometrici di gesso con assetto caotico e in matrice argillosa; si tratta di una formazione detritica risalente al Messiniano.

Come già precisato l'ambiente di sedimentazione durante il Messiniano è di tipo lagunare con oscillazioni del livello delle acque; il complesso si è formato per accumulo di detriti provenienti da erosioni di gessi precedentemente depositi ed soggetti ad erosione subaerea.

Gesso fratturato dove non si riconosce la continuità dei banchi

Nella zona della cava sono state cartografate: una faglia longitudinale con probabili tre rami trasversali di cui due parallele con direzione NE ed una con direzione SO; quattro di minore lunghezza intersecandosi due a due quasi a forma di T nella zona centrale della cava e n° 4 di lunghezza ancora minore pressoché paralleli tra loro situati verso l'estremo sud della zona cartografata.

Le numerose faglie hanno provocato un'intensa fatturazione dei banchi di gesso per cui non se ne riconosce più la continuità.

Argilla limosa di cappello della cava (A)

Si tratta delle argille grigio azzurre plioceniche dette di chiusura (Argille di Riolo Terme).

Detriti (D)

Si tratta di detriti gessosi contenente clasti di dimensioni variabili da pochi cm^3 a diversi m^3 , immersi, in genere, in una matrice argillosa.

Depositi di origine antropica

Sono prodotti residui dell'estrazione del gesso accumulati in apposite discariche. Si tratta di clasti gessosi minuti in matrice argillosa.

Le discariche sono 3 e indicate con le lettere "A", "B" e "C"; la "A" parzialmente inerbita è situata a quota 160, la "B" a quota 215 la terza "C" è la discarica Crivellari inerbita e piantumata.

4.1 Sezioni geologiche

Le tracce delle sezioni sono riportate nelle tavole D.4.3.a e D.4.3h, le sezioni nelle tavole D.4.3.b – c – d – e – f – g – i – l.

5.0 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Il dott. Carlo Fabbri riporta nell'allegato B della sua relazione le diverse campagne di indagini che si sono susseguite a partire dal 1967 al 1996; l'ARPA riporta n° 2 sondaggi eseguiti nel 2001. Tutti i sondaggi sono riportati, unitamente all'ingresso delle grotte nell'allegato D.4.14.

Le campagne di indagini si sono sviluppate a partire dal 1967 fino al 2001.

- 1) 1967 – n° 5 sondaggi a carotaggio eseguiti dall'AGIP Mineraria.
- 2) 1986 – n° 2 sondaggi eseguiti dalla SIET di Torino;
- 3) 1994 – n° 3 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla BPB Industries LTD
- 4) 1996 – n° 2 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti dalla SOGEO;
- 5) 2001 – n° 2 sondaggi.

Indagine 1967

Sondaggio n° 6

Ubicazione – Foglio 99 Faenza – Tavoletta IV SE – Casola Valsenio;

Quota sondaggio: m 380 s.l.m.;

Parte di gesso asportata dal 1967 al 1/1/1988: m 58.5;

Quota attuale: m 321.5 s.l.m.;

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 188,23;

Il sondaggio non ha raggiunto le marne di base.

Spessore gesso accertato: m 187.71

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a 181.03 dal p.c. - monotona successione di gesso selenitico intercalata a varie profondità da n° 14 livelletti di argilla marnosa di spessore variabile da 7 cm a poco più di un metro.
- da m 181.03 a 186.23 – Cavità;
- da m 186.23 a m 187.71 – Calcare;
- da m 187.71 a m 188.23 – Argilla marnosa con microcristalli.

Sondaggio n° 7

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoletta IV NE Borgo Tossignano e Tavoletta IV SE Casola Valsenio;

Quota: m 355.0 s.l.m.;

Parte di gesso asportata dal 1967 al 1/1/1988: m 7.5;

Quota attuale: m 347.5 s.l.m.;

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 188,03;

Il sondaggio ha interessato solo la formazione gessosa;

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 4.00 dal p.c. – Foro di preparazione
- da m 4.00 a 7.00 – Argilla grigia con frammenti di calcare
- da m 7.00 a m 29.75 – Monotona successione di gesso selenitico con n 2 livelletti di argilla grigia di spessore m 0.85 ÷ 1.10. Sono presenti n. 5 piccole cavità alle seguenti profondità dal p.c.: da m 11.95 a m 12.46; da m 17.18 a m 18.75; da m 20.0 a m 21.0 da m 24.35 a m 24.85; da m 25.85 a m 26.40;
- da m 29.75 a m 34.50 - Cavità
- da m 34.50 a m 37.60 – Gesso selenitico
- da m 37.60 a m 42.20 – Cavità
- da m 42.20 a m 188.03 – Monotona successione di gesso selenitico con intercalati n. 6 livelli di argilla marnosa dello spessore variabile da m 0.27 a m 2.15. E' presente un livello composto da frammenti di calcare e gesso da m 45.55 a m 46.00 dal p.c. e n. 1 cavità da m 46.00 a m 46.00.

Sondaggio n° 8

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano e Tavoleta IV SE Casola Valsenio;

Quota: m 335.0 s.l.m.;

Parte di gesso asportata dal 1967 al 1/1/1988: m 52.0;

Quota attuale: m 283.0 s.l.m.

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 201.30;

Il sondaggio ha attraversato tutta la formazione gessosa, raggiungendo le argille marnose di base;

Spessore gesso: m 191.55

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 4.00 dal p.c. – Foro di preparazione
- da m 4.00 a m 191.55 – Monotona successione di gesso selenitico con sottili intercalazioni di argilla marnosa di modesto spessore, rappresentate da n.13 livelli con spessore compreso tra m 0.05 e m 0.80. Sono presenti n. 2 strati di argilla grigia rispettivamente a m 13.66 - 16.25 e m 44.60 - 46.61 dal p.c.
- da m 191.55 a m 201.30 – Argilla marnosa grigia con microcristalli. La formazione si presenta frantumata nella parte più superficiale per uno spessore di 0.40 m

Sondaggio n° 9

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano e Tavoleta IV SE Casola Valsenio;

Quota: m 340.0 s.l.m.;

Parte di gesso asportata dal 1967 al 1/1/1988: m 7.0 – Quota al 01.01.88: 333.0 s.l.m.

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 198.43;

Il sondaggio ha interessato solo la formazione gessosa.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 4.00 dal p.c. – Foro di preparazione;
- da m 4.00 a m 193.00 – Monotona successione di gesso selenitico con intercalazioni di argilla marnosa consistenti in n. 9 livelletti di spessore modesto compreso tra m 0.07 e m 0.75; sono inoltre presenti n. 5 strati di argilla grigia alle seguenti profondità dal p.c.: da m 43.88 a m 46.24; da m 61.77 a m 63.27; da m 86.30 a m 87.84; da m 100.70 a m 102.00; da m 161.50 a m 162.66;
- da m 193.00 a m 198.43 – Perforazione senza recupero di carote.

Sondaggio n°10

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano e Tavoleta IV SE Casola Valsenio;

Quota: m 355.9 s.l.m.;

Parte di gesso asportata dal 1967 al 1/1/1988: m 58.0;

Quota attuale al 01.01.88: m 297.9 s.l.m.;

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 196.40;

Il sondaggio non ha raggiunto le marne di base.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 4.00 dal p.c. – Foro di preparazione
- da m 4.00 a m 192.39 – Monotona successione di gesso selenitico con intercalazioni di argilla marnosa di modesto spessore, rappresentate da n.10 livelli con spessore compreso tra m 0.15 e m 0.95. Sono presenti n. 2 strati di argilla grigia alle seguenti profondità dal p.c.: m 33.60 ÷ 35.00; m 43.65 ÷ 45.20. E' presente un crepaccio da m 12.25 a m 13.00 dal p.c.
- da m 192.39 a m 19196.40 – Perdita delle carote.

Indagine 1986

Consiste nella terebrazione di n° 2 sondaggi, indicati con il n° 1 e n° 2, eseguiti dalla S.I.E.T. di Torino per conto della ENICHEM ANIC.

Sondaggio n. 1

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano e Tavoleta IV SE Casola Valsenio

Quota: m 249.4 s.l.m.

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 40.00

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 5.20 dal p.c. – Gesso selenitico
- da m 5.20 a m 9.20 – Argilla marnosa grigia con cristalli di gesso
- da m 9.20 a m 16.10 – Gesso selenitico
- da m 16.10 a m 18.00 – Argilla marnosa grigia con cristalli di gesso
- da m 18.00 a m 26.60 – Gesso selenitico
- da m 26.60 a m 33.95 – Argilla marnosa grigia con cristalli di gesso disposti in lenti più o meno concentrate
- da m 33.95 a m 40.00 – Gesso selenitico

Sondaggio n. 2

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano e Tavoleta IV SE Casola

Valsenio

Quota: m 157.10 s.l.m.

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 15.00

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 0.50 dal p.c. – Terreno di riporto
- da m 0.50 a m 15.00 – Gesso selenitico. Da m 1.5 a m 2.4 dal p.c. la formazione si presenta di consistenza poco compatta e fratturata. Da m 10.40 a m 11.30 dal p.c. è stata rilevata una frattura sub-verticale beante

Indagine 1994

La campagna di indagini è stata eseguita dalla BPB Industries LTD; sono tre sondaggi indicati con i numeri MT11 – MT12 – MT13

Sondaggio S11

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano

Quota: m 346.64 s.l.m.

Coordinate sondaggi: x = 3.606,40; y = 13.404,98

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 238.08

Il sondaggio ha attraversato tutta la formazione gessosa raggiungendo le argille marnose di base.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 232.70 dal p.c. – Monotona successione di gesso cristallino intercalata da n° 12 livelli di argilla di colore variabile dal grigio al fulvo, di spessore compreso tra i 0.22 m e i 2.55 m; gli orizzonti con spessore maggiore si rinvencono rispettivamente alle profondità di m 61.10 – 63.65 e m 75.23 – 77.40 dal p.c.; in entrambi gli orizzonti argille si presentano molto fratturate.

Localmente sono presenti sottili livelli di arenaria grigia o grigio-fulva, di spessore variabile da 0,15 m a 0,50 m, per lo più fratturata.

Viene ipotizzata una piccola faglia da m 6.62 a m 7.06 dal p.c. (gesso fratturato).

Da m 50.6 a m 61.6 dal p.c. viene rilevato gesso cristallino con forti segni di movimento lungo piani subverticali.

- da m 232.70 a m 238.08 – Argilla tenera di colore grigio scuro

Sondaggio S12

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoletta IV NE Borgo Tossignano

Quota: m 383.15 s.l.m.

Coordinate sondaggi: x = 3.427,26; y = 13.434,37

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 219.00

Il sondaggio ha attraversato tutta la formazione gessosa raggiungendo la formazione di base.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 212.85 dal p.c. – Monotona successione di gesso cristallino intercalata da n° 09 livelli di argilla grigia, di spessore compreso tra i 0.17 m e i 2.21 m; gli orizzonti con spessore maggiore si rinvencono rispettivamente alle profondità di m 9.17 – 11.38 e m 31.37 – 33.38 dal p.c.; in entrambi gli orizzonti argille si presentano fratturate.

Sono presenti livelli di arenaria grigia, di spessore variabile da 0.35 m a 2.12 m; gli orizzonti con spessore maggiore si rinvencono rispettivamente alle profondità di m 69.77 – 70.90 (all'interno del banco di gesso cristallino bianco che va da m 58.36 a m 107.96), m 107.96 – 109.5 e m 111.43 – 113.55 dal p.c.

Viene ipotizzata una piccola faglia da m 111.43 a m 113.55 dal p.c. in corrispondenza dell'orizzonte arenaceo/argilloso.

Da m 195.43 a m 204.55 dal p.c. viene rilevato gesso cristallino con superfici di scorrimento con angoli compresi tra 5° e 70°.

- da m 212.85 a m 219.00 – Arenaria laminata grigia

Sondaggio S13

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano

Quota: m 314.92 s.l.m.

Coordinate sondaggi: x = 3.731,19; y = 13.400,08

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 231.50

Il sondaggio ha attraversato tutta la formazione gessosa raggiungendo la formazione argillosa di base.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 7.50 dal p.c. – Argilla fulva tenera
- da m 7.50 a m 226.30 – Monotona successione di gesso cristallino intercalata da n° 13 livelli di argilla grigia, di spessore compreso tra i 0.30 m e i 3.00 m; gli orizzonti con spessore maggiore si rinvencono rispettivamente alle profondità di m 36.35 – 38.42, m 50.02 – 51.92, m 112.40 – 114.65 e m 142.00 – 145.00 dal p.c.
- da m 226.30 a m 231.50 – Argilla grigia con al tetto un sottile strato di arenaria grigia dello spessore di 0.26 m

Indagine 1996

La campagna di indagini è stata eseguita dalla SOGEO; sono stati eseguiti n. 2 sondaggi indicati con i simboli 01 e 02.

Sondaggio S1/1996

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 20.00

Piezometro Norton del diametro di 40 mm fino a –20.00 m

Il sondaggio ha attraversato esclusivamente terreni di natura detritica

Profondità dell'acqua dal p.c.: m 15.00 (misura del 13.06.96).

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 14.50 dal p.c. – Detrito gessoso in matrice limoso - argillosa più o meno abbondante, di colore bruno chiaro
- da m 14.50 a m 20.00 – Detrito gessoso in scarsa matrice limoso-argillosa di colore grigio

Sono state eseguite n. 2 prove Standard Penetration Test che hanno fornito i seguenti valori N_{spt}

Profondità (m)	Numero colpi	N_{spt}
7.00 – 7.45	8 – 8 – 9	17
12.0 – 12.45	7 – 9 – 10	19

Alla profondità di m 8.00 dal p.c. è stata eseguita una prova Lefranc a carico variabile in un foro di diametro = m 0.13

Falda: assente

Il livello dell'acqua è passato da m 0.00 a m 1.22 dal p.c. dopo 3600 sec.

Il coefficiente di permeabilità K calcolato è pari a 5.90×10^{-7} m/sec

Sondaggio S2/1996

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 39.00

Piezometro Norton del diametro 40 mm fino a -35.00 m

Il sondaggio ha attraversato terreni di natura detritica e le argille limose di base

Profondità dell'acqua dal p.c.: non riportata in stratigrafia

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 15.50 dal p.c. – Detrito gessoso in matrice limoso-argilloso, di colore bruno chiaro
- da m 15.50 a m 32.00 – Detrito gessoso in matrice limoso-argilloso di colore grigio
- da m 32.00 a m 39.00 – Argilla limosa di colore nocciola passante a grigio nerastro verso il basso, con inclusi lapidei di grosso diametro

Sono state eseguite n. 4 prove Standard Penetration Test, in corrispondenza dei terreni di natura detritica, che hanno fornito i seguenti valori N_{spt}

Profondità (m)	Numero colpi	N_{spt}
7.00 – 7.45	10 – 10 - 12	22
12.00 – 12.45	8 – 10 - 11	21
17.00 – 17.45	10 – 16 – 11	27
22.00 – 22.45	9 – 10 – 12	22

Alla profondità di m 13.00 dal p.c. è stata eseguita una prova Lefranc a carico variabile in un foro di diametro = m 0.13

Falda: assente

Il livello dell'acqua è passato da m 0.00 a m 0.88 dal p.c. dopo 3600 sec.

Il coefficiente di permeabilità K calcolato è pari a 1.60×10^{-7} m/sec

Indagine 2001

Nel 2001 sono stati eseguiti n° 2 sondaggi ubicati:

- S1/2001 nei pressi della discarica di materiale gessoso denominata i Crivellari;
- S2/2001 in galleria a quota m 200 s.l.m.

Sondaggio S1/2001

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 252.00 dal p.c.

Ubicazione: Foglio 99 Faenza – Tavoleta IV NE Borgo Tossignano

Quota: m 252.00 s.l.m.

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 252.00 dal p.c.

Il sondaggio ha attraversato tutta la formazione gessosa raggiungendo la formazione argillosa di base.

Spessore gessi: m 240.80

Quota marne di base: - 6.22 m al di sotto del l.m.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 240.8 m dal p.c. – Gesso selenitico. Fino a 30 m di profondità sono state rilevate alcune cavità di cui una di quasi 2 m. A m 91 è stata intercettata una frattura che ha provocato la perdita di dell'acqua di perforazione;
- da m 240.8 a m 252.00 - Argilla marnosa di base.

E' da notare che la formazione di base, in corrispondenza del sondaggio si rinviene al di sotto del livello del mare (- 6.22m s.l.m.).

Falda acquifera

Una falda acquifera in pressione è stata rinvenuta alla profondità da m 78 a m 85 dal p.c.; il livello dell'acqua si è stabilizzato alla profondità di m 32.90 dal p.c.

Oltre i 95 m è stata rilevata la presenza di acqua.

Il foro è stato cementato fino alla profondità di 200 m.

Un piezometro è stato installato alla base dei gessi alla profondità di m 240.8 con filtro di 18 m.

Il livello piezometrico alla data del 14.11.2001 era situato alla profondità di 109.30 dal p.c. corrispondente a quota m 125.28 s.l.m.

Sondaggio S2/2001

Il sondaggio è stato eseguito in galleria a quota m 200 s.l.m.

Profondità raggiunta dal sondaggio: m 146.00 dal p.c.

Il sondaggio ha attraversato la formazione gessosa fino alle argille marnose di base

Profondità dell'acqua dal p.c.: 188.8 m s.l.m.

Descrizione dei terreni incontrati:

- da m 0.00 a m 136.00 dal p.c. – Monotona successione di gesso selenitico con intercalazioni di 5 livelli di argilla marnosa di spessore variabile intercalate ai banchi di gesso..
- da m 136.00 a m 146.00– Marne argillose di base.

Falda acquifera

E' stata rinvenuta una falda acquifera in pressione alla profondità di m 30 dal p.c.; l'acqua è risalita oltre il p.c. per poi stabilizzarsi a m 20 dal p.c. (m 180 s.l.m.)

Il foro è stato cementato fino alla profondità di 100 m.

Un piezometro è stato installato a fondo foro; il livello dell'acqua misurato in data 14.11.2001 è risultato alla profondità di m 11.2 dal p.c. (m 188.8 s.l.m.).

Determinazione del coefficiente di permeabilità

Sono state eseguite n° 2 prove di permeabilità con il metodo Lugeon; i risultati sono stati i seguenti:

- da m 53,00 a m 58.00 dal p.c.: $K = 1.11 \times 10^{-4}$ cm/s;
- da m 80.00 a m 85.00 dal p.c.: $K = 1.18 \times 10^{-4}$ cm/s.

6.0 CARSISMO

Il rilevamento eseguito, unitamente alle indagini meccaniche, hanno permesso di accertare, nell'area della cava e zone limitrofe, la presenza di numerose faglie e forme carsiche quali inghiottitoi, doline, grotte e cavità di vario tipo.

Sono state cartografate e riportate nella carta geologica una faglia longitudinale con probabili tre rami trasversali di cui due parallele con direzione NE ed una con direzione SO; quattro di minore lunghezza intersecandosi due a due quasi a forma di T nella zona centrale della cava e n° 4 di lunghezza ancora minore pressoché paralleli tra loro situati verso l'estremo sud della zona cartografata.

Il carsismo nei gessi si sviluppa più velocemente che nelle rocce calcaree a causa della solubilità più elevata che è pari a 2.5 g per mille; a ciò si aggiunge il notevole grado di fratturazione e la presenza di faglie che agevolano lo sviluppo delle forme carsiche.

Un limite allo sviluppo del carsismo è rappresentato dalla presenza di frequenti intercalazioni di materiali impermeabili e non solubili quali sono gli straterelli di argille marnose che si rinvencono intercalati ai gessi.

Tra le forme carsiche più note vi sono le grotte di Re Tiberio, grotta Cà Boschetti II° e I° e grotta grande dei Crivellari riportate nella carta geologica 1:10.000 della Regione Emilia – Romagna ed. 72; altre forme carsiche che orlano l'area della cava da Nord a Est sono state esplorate e cartografate dallo Speleo GAM di Mezzano e riportate nella tav. allegata D.4.14. – D.4.3a - D.4.3.h

- Grotta tre Anelli (ingresso quota m 281.6 s.l.m.);
- Inghiottitoio Re Tiberio (ingresso quota m 267.8 s.l.m.);
- Abisso 50 (ingresso a m 256.3 s.l.m.);
- Vento che soffia (ingresso a m 348.5 s.l.m.);
- Buca di Romagna (ingresso a m 298.6 s.l.m.);
- Abisso di Mezzano (ingresso a m 341.7 s.l.m.).

7.0 IDROGEOLOGIA

I sondaggi eseguiti hanno accertato che nella zona della cava, al di sotto della formazione gessosa, variamente permeabile, si rinviene il complesso delle argille marnose del Messiniano basale pressoché impermeabile.

Le argille marnose si rinvencono a quote variabili s.l.m., in corrispondenza del sondaggio S12 a m 170.30, del sondaggio S8 a m 144.45, del sondaggio S11 a m 113.34, del sondaggio S13 a m 88.62, del sondaggio S2/ 2001 a m 64.00 e a - m 6.22 al di sotto del livello del mare in corrispondenza del sondaggio S1/ 2001.

La struttura della zona è una monoclinale con immersione verso N – NE.

La pendenza degli strati della formazione gessoso – solfifera è di 30 – 45°, mentre delle argille di tetto Plio – pleistoceniche (argille di Riolo) è di 12 – 20°.

Tale successione potrebbe far pensare ad una situazione idrogeologica chiara, in realtà essa è complicata dalla presenza di numerose lenti e/o livelli argillosi di bassa permeabilità intercalati agli strati e/o banchi gessosi e dall'estrema variabilità della permeabilità della formazione gessosa. I gessi integri sono impermeabili, quelli fratturati hanno un grado di permeabilità commisurata al grado di fratturazione, mentre la massima permeabilità si riscontra in corrispondenza delle numerosissime forme carsiche individuate con i sondaggi; i sondaggi hanno segnalato a varie profondità la presenza di numerosi vuoti.

I dati idrologici acquisiti nelle varie campagne di indagini che si sono susseguite nel tempo sono i seguenti:

Sondaggio S1/1996

Alla profondità di m 8.00 dal p.c. è stata eseguita una prova Lefranc a carico variabile.

Tipo di terreno: detrito gessoso in matrice argillosa. Il coefficiente di permeabilità è risultato pari a $K = 5.90 \times 10^{-5}$ cm/sec

Sondaggio S2/1996

Alla profondità di m 13.00 dal p.c. è stata eseguita una prova Lefranc a carico variabile.

Tipo di terreno: detrito gessoso in matrice limoso – argillosa. Il coefficiente di permeabilità è risultato pari a $K = 1.60 \times 10^{-5}$ cm/sec.

Sondaggio S1/2001

Una falda acquifera in pressione è stata rinvenuta alla profondità da m 78 a m 85 dal p.c.; il livello dell'acqua si è stabilizzato alla profondità di m 32.90 dal p.c. (m 201.68 s.l.m.)

Oltre i 95 m è stata rilevata la presenza di acqua.

Il foro è stato cementato fino alla profondità di 200 m.

Un piezometro è stato installato alla base dei gessi alla profondità di m 240.8 con filtro di 18 m.

Il livello piezometrico alla data del 14.11.2001 era situato alla profondità di 109.30 dal p.c. (m 125.28 s.l.m.)

Sondaggio S2/2001

Il sondaggio è stato eseguito in galleria a quota m 200 s.l.m.

E' stata rinvenuta una falda acquifera in pressione alla profondità di m 30 dal p.c.; l'acqua è risalita oltre il p.c. per poi stabilizzarsi a m 20 dal p.c. (m 180 s.l.m.)

Il foro è stato cementato fino alla profondità di 100 m.

Un piezometro è stato installato a fondo foro; il livello dell'acqua misurato in data 14.11.2001 è risultato alla profondità di m 11.2 dal p.c. (m 188.8 s.l.m.).

Sono state eseguite n° 2 prove di permeabilità nel gesso con il metodo Lugeon; i risultati sono stati i seguenti:

- da m 53,00 a m 58.00 dal p.c.: $K = 1.11 \times 10^{-4}$ cm/s;
- da m 80.00 a m 85.00 dal p.c.: $K = 1.18 \times 10^{-4}$ cm/s.

La circolazione idrica superficiale nell'area della cava è del tutto trascurabile a causa della presenza di forme carsiche e strutturali quali, doline, inghiottitoi fratture e faglie che immettono l'acqua immediatamente in profondità.

La circolazione idrica sotterranea è complessa e imprevedibile essendo condizionata dai sistemi carsici sviluppatasi all'interno della roccia, dalla presenza dei livelli argilloso marnosi pressoché impermeabili che si intercalano ai vari banchi di gesso e dal gesso variamente permeabile. I livelli poco permeabili si rinvencono a quote imprevedibili con spessori e frequenze variabili e danno origine, all'interno complesso gessoso, ad una fitta rete di "vie d'acqua" tali da rendere la circolazione idrica sotterranea del tutto particolare e di difficile individuazione.

All'interno del complesso gessoso sono state rinvenute numerose di faldine sospese spesso in pressione, a quote diverse, sorrette per lo più dai livelli limoso-argillosi. Tuttavia più che di vere falde acquifere bisognerebbe parlare di vie preferenziali di circolazione idrica sotterranea, in molti casi limitata ai periodi piovosi, spesso non comunicanti tra loro e con caratteristiche piezometriche proprie.

Tuttavia i piezometri installati durante la campagna di indagini del 2001 hanno accertato la presenza di una falda di base con livello piezometrico situato a quota m 125.28 s.l.m. (S1/2001) e m 188.8 s.l.m. (S2/2001).

I rilievi eseguiti dal gruppo speleologico GAM di Mezzano e gli studi dei Prof. Vai e Forti hanno permesso di seguire in parte il percorso delle acque sotterranee. Lo studio ARPA così descrive lo sviluppo di due sistemi di circolazione:

-“ Il primo collega la Buca di Romagna con quella di Re Tiberio. L'immissione di fluorescina sodica effettuata a quota 180 m nel corso d'acqua perenne ha interessato le grotte in questione ed è giunta alla risorgente del piazzale di lavorazione a quota 105 m nei pressi del T. Senio dopo circa 2 ore dall'immissione.

-“ il secondo sistema collega la Buca di Romagna con la risorgente di Cà Bochetti. L'immissione di fluorescina effettuata nella Buca di Romagna a quota 206 m è stata riscontrata dopo circa 24 ore alla risorgente di Cà Boschetti a quota 100m con evidenze intermedie in altri punti del tragitto. In questo caso le indagini hanno evidenziato una certa diluizione del tracciante che fa ipotizzare altri flussi idrici di alimentazione provenienti ad est della zona dei Crivellari.

Una terza prova di immissione che ha interessato l'abisso Mezzano ha messo in evidenza il suo collegamento con il sistema carsico del Re Tiberio; restano comunque incertezze sul reale collegamento...”

Dall'insieme delle informazioni si può concludere che esiste una zona satura profonda con quote piezometriche variabili, in corrispondenza delle indagini eseguite, da m 149 s.l.m. a m 201 s.l.m.; tuttavia la quota più depressa della falda si rinviene in corrispondenza delle risorgenze situate in prossimità del T. Senio a quota 90 -100m s.l.m.; la falda prosegue a nord al di sotto delle argille di Riolo Terme.

Il corpo idrico è sorretto alla base dalla marne argillose; dette marne si rinvenivano a quote decrescenti, da m 144 s.l.m.(S8/1967) a m 6.22 al di sotto del livello del mare (S1/2001).

Il sistema idrogeologico della zona della cava è caratterizzato da una circolazione superficiale pressoché inesistente, in ogni caso molto rapida e connessa con il sistema carsico, da una circolazione intermedia di difficile individuazione e da una circolazione profonda molto lenta, confinata all'interno della formazione gessoso – solfifera. La circolazione all'interno è condizionata come già precisato dai livelli argillosi poco permeabili intercalati ai livelli di gesso e dallo stato di questi ultimi che risultano permeabili solo se sono fratturati o carsificati.

Con i dati ricavati dalle indagini è stata redatta la carta idrogeologica e della permeabilità (all.D.3.17).

Nella carta idrogeologica a scala 1:5000 sono riportate le formazioni cartografate con i diversi valori del coefficiente di permeabilità sulla base delle varie prove Lefranc eseguite durante le diverse campagne di indagini e, su una valutazione personale per i terreni non assoggettate a tali prove.

- Argille con inclusi gessosi - Coefficiente di permeabilità dell'ordine $K < 10^{-6}$ cm/s;
- Detrito gessoso, talora in matrice argillosa. Coefficiente di permeabilità dell'ordine $K = 10^{-2} - 10^{-4}$ cm/s – Terreni da molto permeabili a poco permeabili.
- Clasti gessosi di varia dimensione in matrice argillosa delle discariche. Coefficiente di permeabilità dell'ordine $K = 1.6 - 5.9 \times 10^{-5}$ cm/s – Terreno moderatamente permeabile.
- Gesso affiorante. Permeabile per fessurazione. Coefficiente di permeabilità variabile. Il complesso è molto permeabile in corrispondenza delle fratture, doline, inghiottitoi e pressoché impermeabile quando è integro.

8.0 ANALISI DELLE ACQUE

Si riportano in sintesi i risultati delle analisi chimico-fisiche fatte eseguire dall'ARPA nel luglio 2001 sia sulle acque delle risorgenti che sulle acque di circolazione delle cavità carsiche.

Le acque sono state campionate nei seguenti punti:

- Buca Romagna (punto di prelievo in galleria a quota 200 m)
- Abisso Mezzano (punto di prelievo in galleria a quota 200 m)
- Grotta Re Tiberio (punto di prelievo a quota 115 m)
- Grotta Re Tiberio scarico piano cava (sorgente zona impianto di lavorazione)
- Buca Cà Boschetti (risorgiva)
- Torrente in cava (punto di prelievo in galleria a quota 160 m)

I punti di prelievo delle acque sono riportate nell'all. D.4.14.

Acque di circolazione nelle cavità carsiche

Il chimismo delle acque è solfato – calcico; la concentrazione dello ione solfato e dello ione calcio sono pressoché identiche in tutti i punti campionati e sono piuttosto elevate, con valori intorno a 1,5 g/l.

Tali valori sono dovuti alla dissoluzione dei gessi ad opera delle acque di infiltrazione di origine meteorica.

Risorgenti

Non si rilevano diversità apprezzabili tra le acque prelevate in corrispondenza delle due sorgenti.

Le acque delle sorgenti hanno un contenuto dello ione solfato e dello ione calcio identico fra loro e identico a quello rilevato nelle acque prelevate nelle cavità carsiche.

Si nota quindi che il contenuto di sali è maggiore rispetto a quello delle acque prelevate dalle cavità carsiche; questo si spiega con il fatto che il percorso sotterraneo è maggiore.

La sorgente Cà Boschetti presenta un contenuto di cloruri maggiore rispetto allo scarico di Re Tiberio, mentre in quest'ultimo sono presenti quantità sensibili di Nitrati, con concentrazioni di circa 15 mg/l.

Acque del Torrente Senio

Dai risultati delle analisi eseguite si rileva un incremento della salinità delle acque nel percorso da monte verso valle, soprattutto a carico degli ioni calcio e solfato ed in misura minore magnesio.

Ciò a conferma del contributo della Formazione Gessoso-Solfifera nel chimismo delle acque del Senio.

ACQUE PRELEVATE NEL CORSO DEI SONDAGGI 2001

Sondaggio 1

Sono stati analizzati n° 12 campioni di acqua prelevati a partire dalla profondità di m 85 e fino a m 240 (fondo foro).

Si tratta di acque solfato-calciche con componente di magnesio discreta. Le acque di fondo in prossimità del contatto gessi - argille marne hanno un chimismo clorurato – sodico.

Sondaggio 2

Sono stati analizzati n° 5 campioni prelevati da m 45 fino a m 145 (fondo foro).

Il chimismo è tipico solfato calcico.

Le acque di fondo hanno un chimismo identico a quello superficiale.

Tutte le acque esaminate provenienti dai sondaggi e dalle grotte mostrano lo stesso chimismo e la predominanza degli ioni calcio e solfato come si può osservare dal diagramma di PIPER.

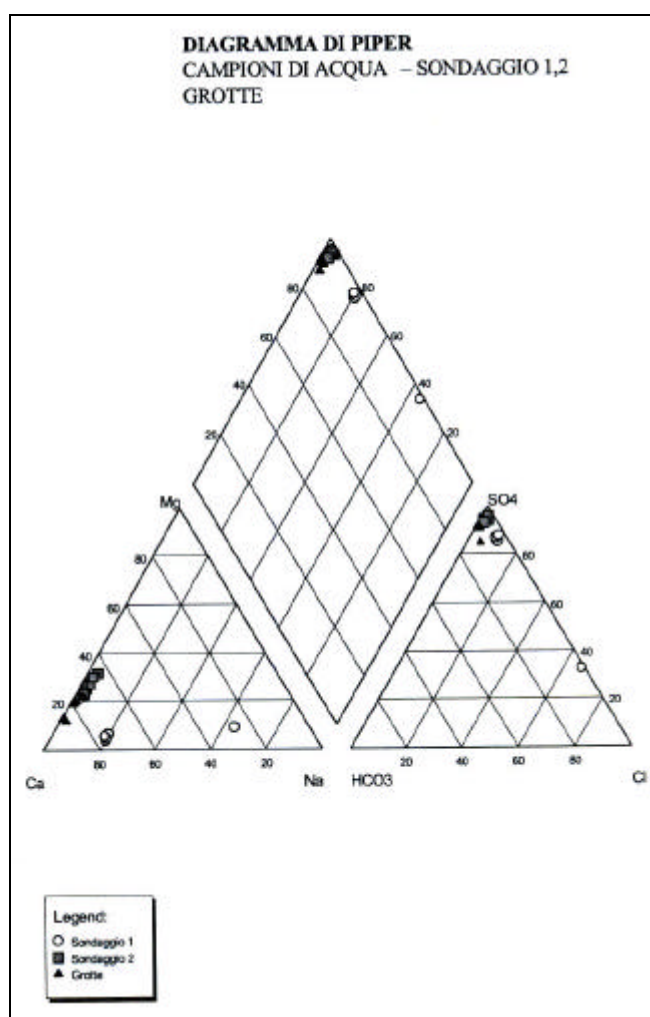


Figura 6: Diagramma di Piper (da Studio ARPA 2001)

9.0 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Le caratteristiche geotecniche di seguito riportate sono state desunte dalle prove geotecniche in sito e di laboratorio eseguite durante le campagne di indagine del 1986 e del 1996 le cui risultanze sono allegate allo studio geologico-geotecnico del Dott. Carlo Fabbri del novembre 1996.

9.1 Detrito gessoso

Prove in sito

Le prove Standard Penetration Test eseguite nella campagna di indagini del 1996 hanno dato i seguenti risultati:

Sondaggio S.1

- da m 7.0 a m 7.45 – Numero colpi 8 – 8 – 9; valore $N_{spt} = 17$
- da m 12.0 a m 12.45 – Numero colpi 7 – 9 – 10; valore $N_{spt} = 19$

Sondaggio S2

- da 7.0 – 7.45 – Numero colpi 10 – 10 – 12 ; valore $N_{spt} = 22$
- da m 12.0 a m 12.45 – Numeri colpi 8 – 10 – 11; valore $N_{spt} = 21$
- da m 17.0 – 17.45 – Numero colpi 10 – 16 – 11; valore $N_{spt} = 27$
- da m 22.0 – 22.45 – Numeri colpi 9 – 10 – 12; Valore $N_{spt} = 22$

Il valore N_{spt} varia da 17 a 27; a tali valori corrisponde per i terreni granulari una densità relativa $D_r = 0.4 \div 0.6$ a un angolo di attrito $\phi = 35^\circ \div 40$

Prove di laboratorio

Durante la campagna di indagine del 1996 sono stati analizzati dal laboratorio Verni e Maestri di Cattolica (FO) i seguenti campioni prelevati durante la terebrazione dei sondaggi eseguiti dalla SOGEO:

Sondaggio	Profondità dal p.c. (m)	Stato del campione
1	5.0 – 5.6	indisturbato
1	15.0 – 16.0	disturbato
1	11.0 – 12.0	disturbato
2	2.0 – 2.3	disturbato
2	25.0 – 26.0	disturbato
2	32.5 – 33.5	disturbato

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Caratteristiche fisiche

Caratteristiche fisiche generali:

- Contenuto in acqua $W(\%)$ = $20.5 \div 26.0$
- Peso di volume γ_s (kg/cm^3) = $1.86 \div 2.06$
- Peso specifico granuli G = $2.64 \div 2.67$

Analisi granulometrica

- Ghiaia (%) = $2 \div 42$
- Sabbia (%) = $18 \div 37$
- Limo (%) = $35 \div 66$
- Argilla (%) = $0 \div 14$

Limiti di consistenza

- Limite liquido W_L (%) = 47.8 ÷ 68.5
- Limite plastico W_P (%) = 23.5 ÷ 43.5
- Indice plastico I_P (%) = 19.9 ÷ 25.0

Caratteristiche meccaniche

La prova di taglio diretto eseguita su materiale passante al setaccio n. 10 (2.0 mm) ha fornito i seguenti risultati:

- Angolo di attrito di picco $\phi'(^{\circ})$ = 31 ÷ 32
- Coesione intercetta C' (kg/cm²) = 0.00

La prova di taglio diretto consolidata drenata, eseguita su materiale allo stato naturale (campione prelevato dal sondaggio n. 2 alla profondità di m 32.5 – 33.5 dal p.c.) ha fornito i seguenti risultati:

- Angolo di attrito di picco $\phi'(^{\circ})$ = 27
- Coesione intercetta C' (kg/cm²) = 0.05

La prova di permeabilità eseguita con permeametro a carico variabile, sul campione prelevato dal sondaggio n. 2 alla profondità di m 25.0 – 26.0 dal p.c. ha fornito i seguenti risultati:

- Coefficiente di permeabilità K (cm/sec) = 4.7×10^{-5} (su materiale non passato)
- Coefficiente di permeabilità K (cm/sec) = 8.1×10^{-8} (su materiale passante al setaccio n. 10)

La prova di permeabilità eseguita con permeametro a carico variabile sul campione prelevato dal sondaggio n. 2 alla profondità di m 32.5 – 33.5 dal p.c. ha fornito i seguenti risultati:

- Coefficiente di permeabilità K (cm/sec) = 6.5×10^{-8}

Durante la campagna di indagini del 1986 sono stati analizzati in laboratorio, dall'Università di Bologna, n. 2 campioni prelevati durante la terebrazione dei sondaggi eseguiti dalla S.I.E.T. di Torino.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

- Peso di volume γ (g/cm³) = 1.67 ÷ 1.93

Le prove di taglio diretto sono state condotte su provini ricostruiti in laboratorio con materiale passante al setaccio CNR-UNI n. 0,4 per il campione n. 1 e al setaccio CNR-UNI n. 0,075 per il campione n. 2 .

Il materiale è stato fluidificato e portato ad una umidità prossima al limite liquido. I risultati ottenuti sono i seguenti:

- Angolo di attrito di picco $\phi'(^{\circ})$ = 24.9 ÷ 30.4
- Coesione intercetta C' (kg/cm²) = 0.04 ÷ 0.14

9.2 Gesso

Nella campagna di indagini del 1986 sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio su alcuni campioni prelevati durante la terebrazione dei sondaggi n. 1 e n. 2 eseguiti dalla S.I.E.T. di Torino per conto della Enichem Anic.

I risultati vengono riportati nell'Allegato C della relazione eseguita nel 1996 dal Dott. Carlo Fabbri, per conto della Davillia s.r.l.

Sono state eseguite prove di compressione su n° 10 campioni di gesso, di cui 5 su campioni naturali e 5 su campioni saturi; i risultati ottenuti sono i seguenti:

CAMPIONI NATURALI

Sondaggio	Profondità dal p.c. (m)	Resistenza alla compressione(kg/cm ²)
1	14.20 – 14.38	153.71
1	14.38 – 14.65	124.29
1	13.80 – 14.20	151.88
1	33.50 – 33.68	236.05
2	1.00 – 1.18	124.24

PROVINI SATURI

Sondaggio	Profondità dal p.c. (m)	Resistenza alla compressione (kg/cm ²)
1	1.07 – 1.25	159.89
1	14.38 – 14.56	113.44
1	14.83 – 14.95	188.79
2	1.18 – 1.36	147.05
2	1.36 – 1.54	78.63

Resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci

E' stata eseguita una prova di taglio diretto CD con la scatola di Casagrande sul campione prelevato dal sondaggio n° 2 alla profondità di m 1.1 – 1.5 dal p.c. I risultati sono i seguenti:

- angolo di attrito di picco $\phi' = 33^\circ$;
- coesione $c' = 27.0 \text{ Kg/cm}^2$;
- peso di volume $\bar{O} = 2240 \text{ Kg/ m}^3$

9.3 Marna gessosa

Durante la campagna di indagine del 1986 sono stati analizzati in laboratorio, dall'Università di Bologna, n. 2 campioni di marna gessosa prelevati durante la terebrazione del sondaggio n. 1 I risultati ottenuti sono i seguenti:

La prova di taglio diretto consolidata drenata, ha fornito i seguenti risultati:

Resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci

- angolo di attrito di picco $\phi' (^\circ) = 27$
- coesione intercetta $C' (kg/cm^2) = 17,93$
- peso di volume $\gamma (g/cm^3) = 2.10 \div 2.26$

10.0 CONDIZIONI DI STABILITÀ

Gli elementi che condizionano la stabilità sono i seguenti:

10.1 Giacitura degli strati

I banchi gessosi affioranti nella zona della cava hanno pendenza compresa tra 20° e 50° ed immersione verso N-NE, per cui nel versante N-NE la giacitura degli strati è a franapoggio, con inclinazione che, talvolta, supera quella del pendio, talvolta invece coincide con esso.

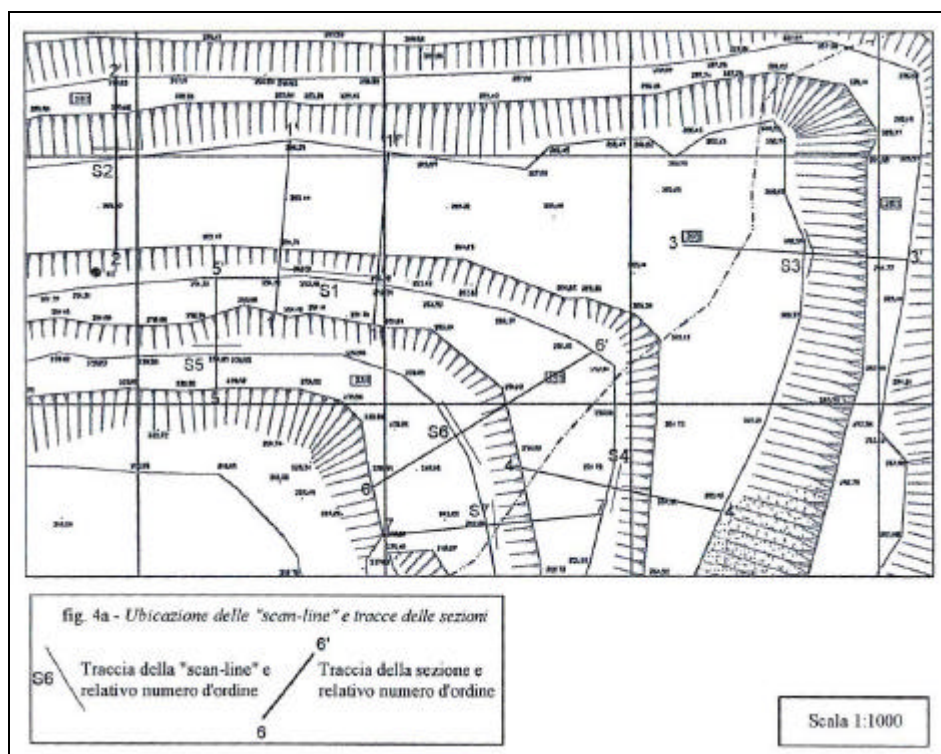
La struttura della zona è una monoclinale con immersione verso N – NE.

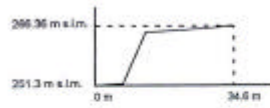
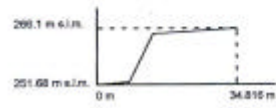
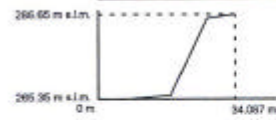
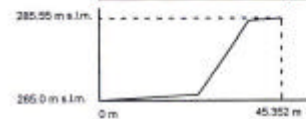
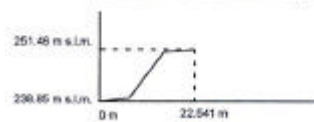
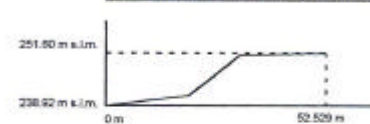
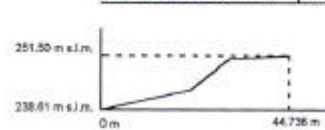
La pendenza degli strati delle argille di tetto Plio – pleistoceniche (argille di Riolo) è di $12^\circ - 20^\circ$.

10.2 Livello di fessurazione delle rocce

Lo studente Davide Guardì dell'Università di Bologna, nell'anno accademico 2001 – 2002, con la guida del relatore Prof. Paolo Berry, ha fatto un'analisi statistica delle discontinuità delle rocce gessose affioranti nella cava di Monte Tondo e la verifica di stabilità dei fronti di scavo.

Il tratto preso in esame, le tracce di sezione e le “scan line” sono riportate nelle figure seguenti.



PROFILO 1-1' (NW-SE)**Scala 1:1000**PROFILO 1f-1f' (NW-SE)PROFILO 2-2' (W-E)PROFILO 3-3' (NE-SW)PROFILO 4-4' (NE-SW)**Scala 1:1000**PROFILO 5-5' (W-E)PROFILO 6-6' (NW-SE)PROFILO 7-7' (NW-SE)

Nella tesina si descrive minuziosamente il metodo di rilevamento, gli strumenti utilizzati ed i parametri rilevati.

L'elaborazione dei dati ha permesso di identificare n° 4 famiglie principali di discontinuità aventi le seguenti giaciture (immersione, inclinazione), in termini di piani:

- 1) 30° - 45° (stratificazione);
- 2) 239° - 69° (fronti immergenti a W);
- 3) 55° - 65° (fronti immergenti a N);
- 4) 314° - 70° (fronti immergenti a W e a N).

10.3 Stabilità dei fronti di scavo

Nella tesina riportata nel paragrafo precedente è stata fatta la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso in esame con il sistema di classificazione RMR (Rock Mass Rating – BIENIAWSKI, 1973) che tiene conto di 6 parametri: resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta, indice RDQ%, spaziature delle discontinuità, condizioni idrauliche, orientamento delle discontinuità.

Sono state fatte verifiche di stabilità secondo i fronti di scavo immergenti a Ovest e quelli immergenti a Nord.

Le caratteristiche dei fronti immergenti a Ovest sono:

- Stratificazione (30°/45°);
- Famiglia 1 (315°/68°);
- Famiglia 2 (214°/71°)
- Giacitura media dei fronti di scavo (275°/66°);
- Giacitura media pedate (270°/3°);
- Altezza media dei fronti di scavo (14.37 m).

Le caratteristiche dei fronti immergenti a Nord sono:

- Stratificazione (30°/45°);
- Famiglia 1 (60°/65°);
- Famiglia 2 (318°/70°)
- Giacitura media dei fronti di scavo (0°/2°);
- Giacitura media pedate (0°/2°);
- Altezza media dei fronti di scavo (12.14 m).

Sono state eseguite verifiche di stabilità (software Swedge) secondo i fronti immergenti a Ovest e quelli immergenti a Nord tenendo conto sia delle caratteristiche riportate che le diverse combinazioni tra le famiglie di discontinuità principali.

I risultati sono i seguenti:

Fronti di scavo immergenti a Ovest

- coefficienti di sicurezza $F_s = 3.9 \div 32.1$

Fronti di scavo immergenti a Nord

- coefficienti di sicurezza $F_s = 2.1 \div 4.1$

Le caratteristiche topografiche e geostrutturali dei fronti di scavo garantiscono la stabilità degli stessi.

Il minimo valore ottenuto è $F_s = 2.1$ che è $>$ di 1.3 che la normativa considera stabile.

10.4 Verifica di stabilità dei fronti di scavo previsti nel progetto di ampliamento

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con il metodo dell'equilibrio limite proposto da S.K. Sarma (1974 -1979) e sviluppato da E. Hoek (1981 – 1983 – 1987).

I comuni di Casola Valsenio (RA) e di Riolo Terme (RA) vengono classificati sismici di seconda categoria con grado di sismicità 9.

Sono state eseguite n. 3 verifiche di stabilità lungo la sezione n. 6 fornita dal progettista.

I parametri geotecnici adottati per l'orizzonte gessoso sono quelli riportati nei certificati allegati alla relazione del Dott. Geol. Carlo Fabbri, redatta nel novembre 1996. Le prove geotecniche di laboratorio sono state eseguite dall'Università di Bologna, su un campione prelevato alla profondità di m 1.10 – 1.50 dal p.c. dal sondaggio n. 2 eseguito dalla S.I.E.T. di Torino durante la campagna di indagini del 1986. Il valore della coesione intercetta è stato ridotto, a favore della stabilità, a $c' = 5$ kg/cmq poiché tale è il valore massimo accettato dal programma di calcolo utilizzato.

Parametri geotecnici introdotti nella verifica:

- angolo di attrito di picco $\phi' = 33^\circ$;
- coesione intercetta $c' = 5$ kg/cmq;
- peso di volume naturale $\gamma = 2,24$ t/m³.

10.5 Verifica di stabilità secondo il profilo attuale del pendio

E' stata eseguita una verifica di stabilità considerando n. 18 superfici di scivolamento circolari passanti per un punto ubicato alla base del fronte di scavo. Il coefficiente di sicurezza minimo ottenuto è quello relativo al cerchio n° 17 che è risultato pari a $F_s = 2.32$

10.6 Verifica di stabilità secondo il profilo finale

E' stata poi eseguita una verifica di stabilità considerando n. 18 superfici di scivolamento circolari passanti per un punto ubicato alla base del pendio. Il coefficiente di sicurezza minimo ottenuto è quello relativo al cerchio n° 18 che è risultato pari a $F_s = 3.5$.

10.7 Verifica di stabilità a monte della zona di ampliamento

Sempre lungo la sezione di progetto è stata eseguita una verifica di stabilità sulla porzione più a monte del pendio. Sono state verificate n. 15 superfici di scivolamento circolari passanti per un punto ubicato in corrispondenza della rottura di pendenza; il minimo coefficiente di sicurezza coefficienti di sicurezza ottenuti sono risultati di gran lunga superiori a 1.3. Il coefficiente di sicurezza minimo ottenuto per tutti i cerchi considerati è $F_s > 5$.

11.0 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DI MODELLAMENTO GEOMORFOLOGICO IN ATTO

Il rilevamento eseguito, unitamente alle indagini meccaniche, hanno permesso di accertare, nell'area della cava e zone limitrofe, la presenza di numerose faglie e forme carsiche quali inghiottitoi, doline, grotte e cavità di vario tipo.

Sono state cartografate e riportate nella carta geologica una faglia longitudinale con probabili tre rami trasversali di cui due parallele con direzione NE ed una con direzione SO; quattro di minore lunghezza intersecandosi due a due quasi a forma di T nella zona centrale della cava e n° 4 di lunghezza ancora minore pressoché paralleli tra loro situati verso l'estremo sud della zona cartografata.

Nei gessi le forme carsiche si sviluppano anche più velocemente rispetto alle rocce calcaree, a causa della solubilità più elevata che è pari a 2.5 g per mille; a ciò si aggiunge il notevole grado di fratturazione e la presenza di faglie che agevolano lo sviluppo di dette forme.

11.1 Modellamento geomorfologico di origine antropica

La cava, coltivata a cielo aperto, ha la forma di un anfiteatro; I fronti di scavo si sviluppano a gradoni di altezza 15 – 20 m. I gradoni, di larghezza superiore a 5 m, hanno pendenza di 60-68° rispetto all'orizzontale. I banchi di gesso, rispetto al fronte di scavo, sono a reggipoggio a Nord, a franapoggio a Sud e a traversobanco ad Est.

Nel passato, dal 1957 al 1990, la cava è stata coltivata in sotterraneo con una serie di 4 gallerie disposti a quote rispettivamente di m 140, 160, 200 e 220 s.l.m.

La coltivazione, a partire dal 1990, avviene a cielo aperto.

11.2 Modellamento geomorfologico di origine naturale

Il modellamento geomorfologico naturale più vistoso si riscontra nel versante di Monte Tondo in destra idrografica del T. Senio. Il versante, fortemente acclive, ha il tipico aspetto di un paesaggio carsico con scarsa vegetazione; il carsismo quivi ha prodotto una coltre detritica superficiale di modesto spessore formata ora da blocchi, ora da massi e clasti di varia dimensione in equilibrio precario.

L'effetto di piogge abbondanti e/o nevicate possono produrre degli “scollamenti” del mantello detritico; detti scollamenti sono per lo più di modeste dimensioni essendo modesto lo spessore del materiale detritico che riesce ad accumularsi lungo una pendice molto acclive. Nel periodo compreso tra l'1 e l'8 marzo c.a. si sono avute (tra pioggia e neve) precipitazioni pari a 79 mm di pioggia; tali precipitazioni, unitamente alla forte escursione termica (da – 6°C a 17°C del giorno 9.03.04) hanno prodotto uno “scollamento” di terreni detritici di una ventina di metri di larghezza e poco più in lunghezza in prossimità dell'ingresso della grotta Re Tiberio.

Tali fenomeni sono peculiari di tutto il versante e sono pressoché inevitabili; essi sono legati alla natura chimica delle rocce affioranti soggette a rapida dissoluzione, al forte grado di fratturazione provocato dalle faglie, alla giacitura a franapoggio degli strati, alle precipitazioni meteoriche ed alla morfologia caratterizzata da forte acclività.

Pescara, marzo 2004