

ANDREA FUGANTI, STEFANO ODORIZZI & ALESSIO FRANZINELLI

LA MINIERA DI DOLOMIA RIO MAGGIORE VAL DI NON (TRENTO)

ABSTRACT - FUGANTI A., ODORIZZI S. & FRANZINELLI A., 2013 - The Rio Maggiore dolomite mine in Val di Non (Trento).

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 263, 2013, ser. IX, vol. III, B: 91-192.

The Rio Maggiore dolomite mine is in Val di Non (Trento Province, Italy) within the territory of the villages of Vervò and Taio, and extending over 80 hectares. The mined dolomite rock varieties are Jurassic and represent the dolomite heteropy of *Calcarei Grigi* and *Ammonitico Rosso*. The types of dolomite present include: m-cyclicities, mm-cyclicities, dolomite breccias, fossil-bearing dolomite, microcrystalline dolomite in which all the original limestone structures have been cancelled by the new mosaic, saccaroidal dolomite, dolomite with bird-eye structures, and stromatolite dolomite. They contain typical Jurassic macro and micro fossils. The basal portion of the dolomite (Lias) is of shallow sea origin belonging to the Trento platform. The upper portion is of deep sea origin. The dolomite types found in the mine are analogous to those found in the Eastern and Western Dolomites, both classed as World Natural Heritage Sites. The physical properties of the dolomite were important for the utilization of the chambers formed in the mine. There are karstic surface springs in the area of the mine and a deep aquifer is present. These water sources have been studied from a physical-chemical and isotopic perspective to establish the recharge basin and its forms of discharge. Discharge is along the plane of the fault that forms the interface between porous and permeable dolomite varieties, sometimes karstified, with impermeable marly limestones to the west. The excavation methods and the use of the mine chambers are described. Chambers are formed and used after extraction of the dolomite for the conservation of apples produced in Val di Non and for two large irrigation water reservoirs for the overlying agriculture. The aquifer is used to supply drinking water to the village of Priò and to cool the systems that manage the preservation of the fruit at approximately 1°C. The temperature inside the mine is around 10°C. The aquifer water also supplies the underground irrigation reservoirs. The use of the excavated chambers for the preservation of fruit offers considerable energy savings.

KEY WORDS - Excavation of dolomite, Types of dolomite, Hydrogeology, Age of water, Use of excavated mine chambers.

RIASSUNTO - FUGANTI A., ODORIZZI S. & FRANZINELLI A., 2013 - La miniera di dolomia Rio Maggiore - Val di Non (Trento).

La miniera di dolomia Rio Maggiore è situata in Val di Non (Trento) nel territorio dei paesi di Vervò e Taio. Ha una estensione di 80 ettari. Le dolomie della miniera sono del Giurassico come eteropia dolomitica dei Calcarì Grigi e dell'Ammonitico Rosso. I tipi di dolomia presenti sono: m-ritmiti, mm-ritmiti, breccie dolomitiche, dolomie con fossili, dolomie microcristalline dove sono state cancellate dal nuovo mosaico tutte le strutture calcaree precedenti originarie, dolomie saccaroidi, dolomie geopetali, dolomie stromatolitiche. Esse contengono macro e microfossili tipici del Giurassico. La parte basale della dolomia (Lias) è di mare poco profondo appartenente alla dorsale di Trento. La parte superiore è di mare profondo. I tipi di dolomia della miniera sono analoghi a quelli presenti nelle Dolomiti Orientali ed in quelle Occidentali, entrambe patrimonio naturale dell'Umanità secondo l'Unesco. Le proprietà fisiche della dolomia sono state importanti per utilizzare i vuoti della miniera. Nell'area della miniera sono presenti sorgenti carsiche superficiali ed una falda profonda. Queste acque sono state studiate dal punto di vista fisico-chimico ed isotopico per determinare il bacino di ricarica e le modalità della sua scarica; la scarica avviene lungo il piano di faglia che mette a contatto dolomie porose e permeabili, talora carsificate, con i calcari marnosi impermeabili ad ovest. Sono descritte le modalità di scavo e l'utilizzo dei vuoti della miniera. Si creano celle utilizzabili dopo aver estratto la dolomia per conservare le mele della Val di Non e per creare due grandi bacini di accumulo di acqua irrigua per le coltivazioni sovrastanti. Le acque di falda servono per fornire acqua potabile al paese di Priò e per raffreddare gli impianti che gestiscono la conservazione della frutta a circa 1°C. La temperatura nella miniera è attorno a 10°C. Le acque di falda servono anche per alimentare i bacini sotterranei irrigui. L'utilizzo dei vuoti per la conservazione della frutta avviene con significativo risparmio energetico.

PAROLE CHIAVE - Scavo di dolomie, Tipi di dolomia, Idrogeologia, Isotopi, Età delle acque, Utilizzo dei vuoti della miniera.

1. UBICAZIONE

Il presente lavoro descrive la miniera di dolomia chiamata Rio Maggiore situata in Val di Non nel territorio dei comuni di Vervò e Taio progettata e realizzata fra il 2004 ed il 2013. Si espone l'inquadramento geologico ed idrogeologico. Si passa poi a descrivere i tipi di dolomia presenti con un confronto con le dolomie delle Dolomiti Orientali ed Occidentali, riconosciute patrimonio naturale dell'Umanità secondo l'Unesco. Si illustrano le proprietà fisiche delle dolomie e la circolazione del bitume proveniente da rocce bituminose presenti nel sottosuolo. Nel dettaglio si evidenziano le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi la cui acqua serve per la gestione della miniera e per dare acqua potabile al sovrastante paese di Priò. Si descrivono la coltivazione della miniera e l'utilizzo dei vuoti minerari per creare bacini di acqua sotterranea a scopo irriguo utilizzando l'acqua della falda principale e per

creare delle camere di conservazione controllata della frutta prodotta in valle. L'iniziativa è della Tassullo Materiali S.p.A. che da circa 100 anni produce prodotti per l'edilizia ed i restauri. La Fig. 1 è l'ubicazione della miniera di dolomia Rio Maggiore.

La Fig. 2 è uno schizzo strutturale di interesse idrogeologico.

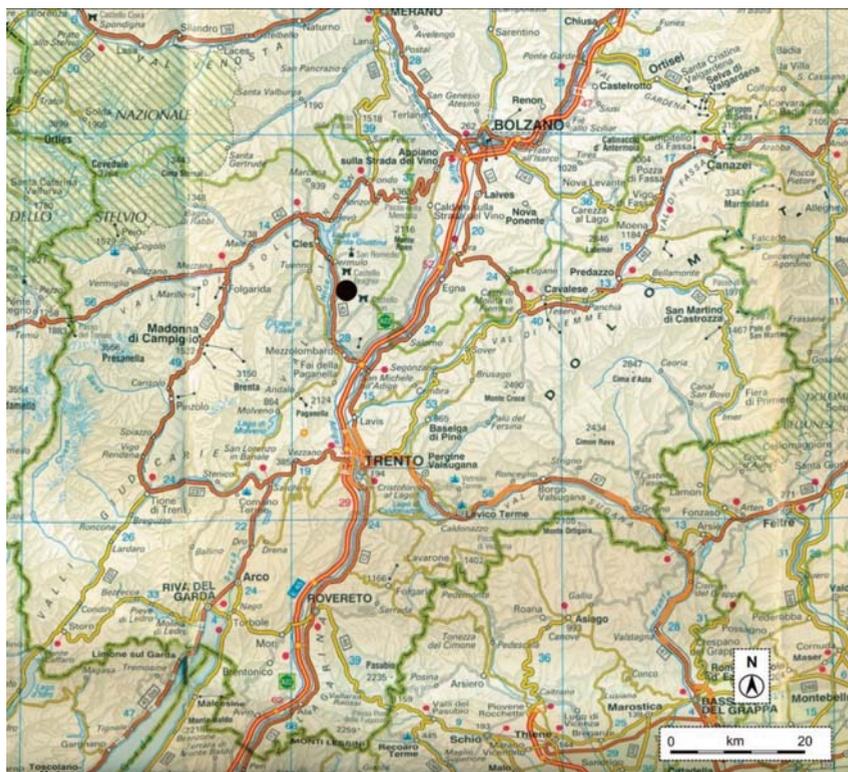


Fig. 1 - Il bollo nero indica l'ubicazione della miniera di dolomia Rio Maggiore.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

La Valle di Non è caratterizzata da un graben delimitato da due faglie che permettono di osservare la successione stratigrafica dal Triassico all'Eocene. Le faglie sono dirette circa N-S e sono note come strutture regionali in fase di rilassamento dopo la compressione alpina diretta circa N-S. Il graben mostra affioramenti di Scaglia Rossa del Cretaceo e Scaglia Grigia dell'Eocene. Le sottostanti formazioni sono state evidenziate da un pozzo petrolifero Eni (Coredo 1) scavato alla fine degli

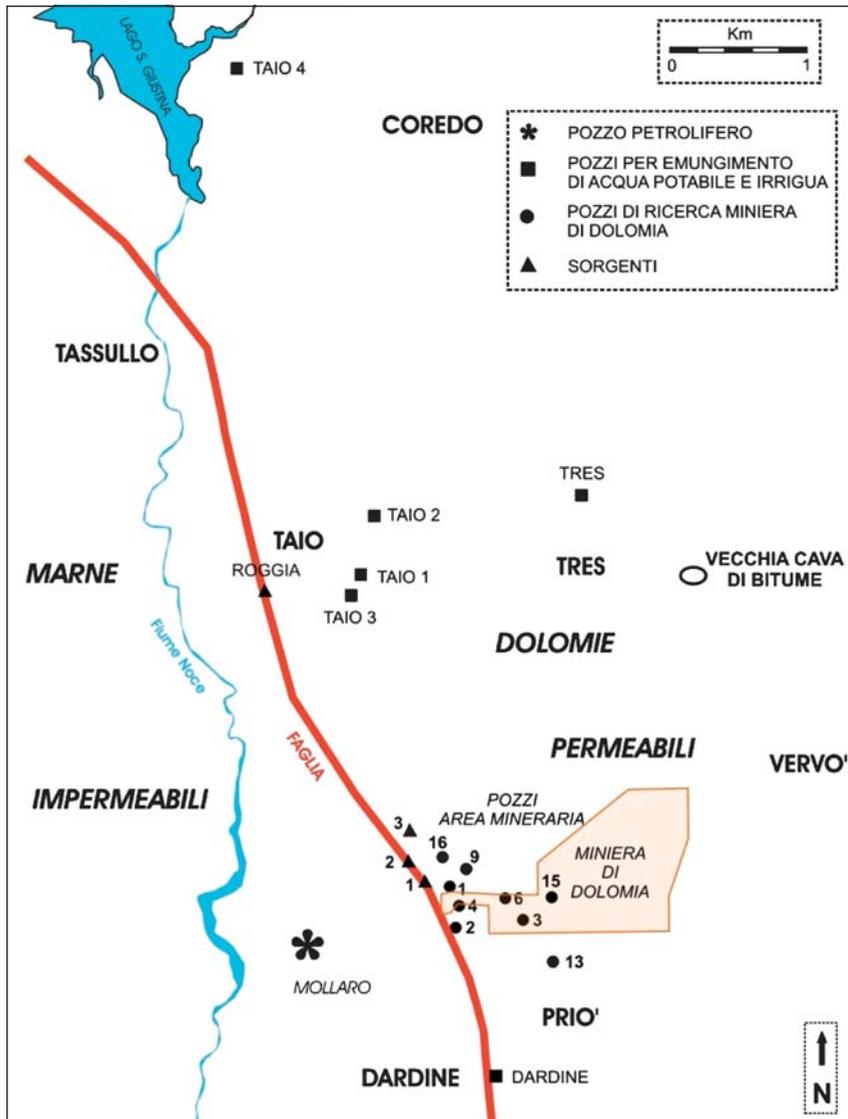


Fig. 2 - Schizzo strutturale con indicata la miniera con le dolomie permeabili a contatto per faglia con i calcari marnosi impermeabili. Le marne appartengono al graben della media Val di Non. Indicate anche le sorgenti lungo la faglia ed i pozzi scavati per ricerca e per acqua da emungere.

anni '50 del secolo scorso. Di particolare interesse è l'area ad oriente del graben stesso che è costituita da una monoclinale diretta circa N-S con inclinazione degli strati sui 5-10 gradi verso ovest.

Sommando le conoscenze acquisite in base agli affioramenti e al sottosuolo, la serie stratigrafica dell'area della miniera e zone circostanti è nota da tempo attraverso la letteratura geologica elencata in bibliografia e riassunta nella tabella 1 con elencazione dalla più antica alla più recente.

Vi è la Dolomia Principale con *Megalodonti*. L'età retica della dolomia sottostante la Dolomia di Torra è testimoniata dalla presenza di *Triasina hantkeni* (Fig. 31) ritrovata in zona da FUGANTI (1967). L'età retica della roccia che contiene questo fossile è testimoniata da BOSELLINI & LORIGA (1965) e da DI BARI & RETTORI (1996). La datazione della Dolomia di Torra come giurassica è confortata dal ritrovamento di *Saccocoma* e di *Orbitopsella praecursor*; questo fossile è stato rinvenuto in varie località del Trentino nella formazione dei Calcarei Grigi del Giurassico inferiore e in altri sedimenti giurassici dell'Italia meridionale. È un fossile che testimonia un mare poco profondo, quale la piattaforma di Trento. Sui sedimenti di tale piattaforma trentina camminavano i dinosauri (AVANZINI *et al.*, 2001) a riprova di mare basso. Il crinoide *Saccocoma* sp. è diffuso nelle facies pelagiche del Giurassico superiore (Malm) in tutta la Tetide assieme alle Ammoniti. Nel bacino mediterraneo i livelli a *Saccocoma* sono riferiti da vari Autori al Giurassico superiore dalla base del Malm al Titonico superiore.

Sopra i detti sedimenti vi sono i calcari con selce con i Tintinnidi (*Calpionelle*) che sono attribuiti al Titoniano superiore (Zamparelli, 1964). Non sono stati trovati fossili tipici del Giurassico medio (*Dogger*) nei sedimenti della miniera di dolomia Rio Maggiore. Probabilmente in questo intervallo vi sono state lacune di sedimentazione come hanno ipotizzato WINTERER & BOSELLINI (1981) per la piattaforma di Trento studiando la subsidenza e la sedimentazione giurassica delle Alpi meridionali. Anche AVANZINI & TOMASONI (2001) ritengono che nel Lias medio-superiore vi fu un cambiamento ambientale con l'annegamento della piattaforma di Trento che divenne un vasto plateau spazzato dalle correnti marine. Il definitivo abbassamento è dimostrato dalla deposizione delle successioni pelagiche del Rosso Ammonitico. Seguono le formazioni del Cretaceo e del basso Terziario le cui caratteristiche sono nella Tab. 1. La zona è fagliata secondo faglie dirette circa N-S; nei calcari con selce vi sono pieghe con asse diretto E-W, conseguenza della compressione N-S, seguita da rilassamento che ha generato il grande graben (Fig. 3).

NOME DELLA FORMAZIONE ATTIVITÀ CROSTALI	FOSSILI TIPICI	ETÀ
Dolomia Principale	Megalodonti	Norico
Dolomia Retica	Triasina	Retico
Dolomia di Torra in cui vi è la miniera Rio Maggiore. Eteropia dolomitica dei Calcari Grigi, del Rosso Ammonitico e dei Calcari a Tintinnidi Fasi erosive regressive	Orbitopsella praecursor Saccocoma Calpionelle	Giurassico 192-130 milioni di anni Lias Dogger Malm
Scisti bituminosi estratti dalla miniera S. Romedio nella prima metà del 1900	Ticinella Roberti Globigerina	Cretaceo
Calcari bituminosi con selce	Rotalipora Appenninica Planomalina Buxtorfi Ticinella Roberti	Cretaceo Cenomaniano
Conglomerato Fasi erosive regressive	Rotalipora Appenninica Globotruncana Lapparenti	Cretaceo Turoniano
Scaglia Rossa Calcari marnosi Fasi trasgressive	Globotruncana Lapparenti Globotruncana Stuarti Globotruncana Arca	Cretaceo Turoniano Campaniano Maestrichtiano
Scaglia Grigia Calcari marnosi	Globigerina Globurotalia Discocyclina Nummuliti	Daniano Paleocene Eocene Inferiore

Tab. 1 - Schema stratigrafico delle formazioni rocciose presenti nell'area della miniera e dintorni con indicate le principali fasi regressive e trasgressive.

La presenza di una ricca falda acquifera nelle dolomie giurassiche e triassiche è testimoniata dai risultati degli studi sulle sorgenti e sulla perforazione di numerosi sondaggi e pozzi (Fig. 2). La giacitura della monoclinale, che ad est della faglia delimita il graben della media Val di Non, è la zona di ricarica della falda attraverso la pioggia e lo scioglimento della neve. La monoclinale è costituita da dolomie porose e per-

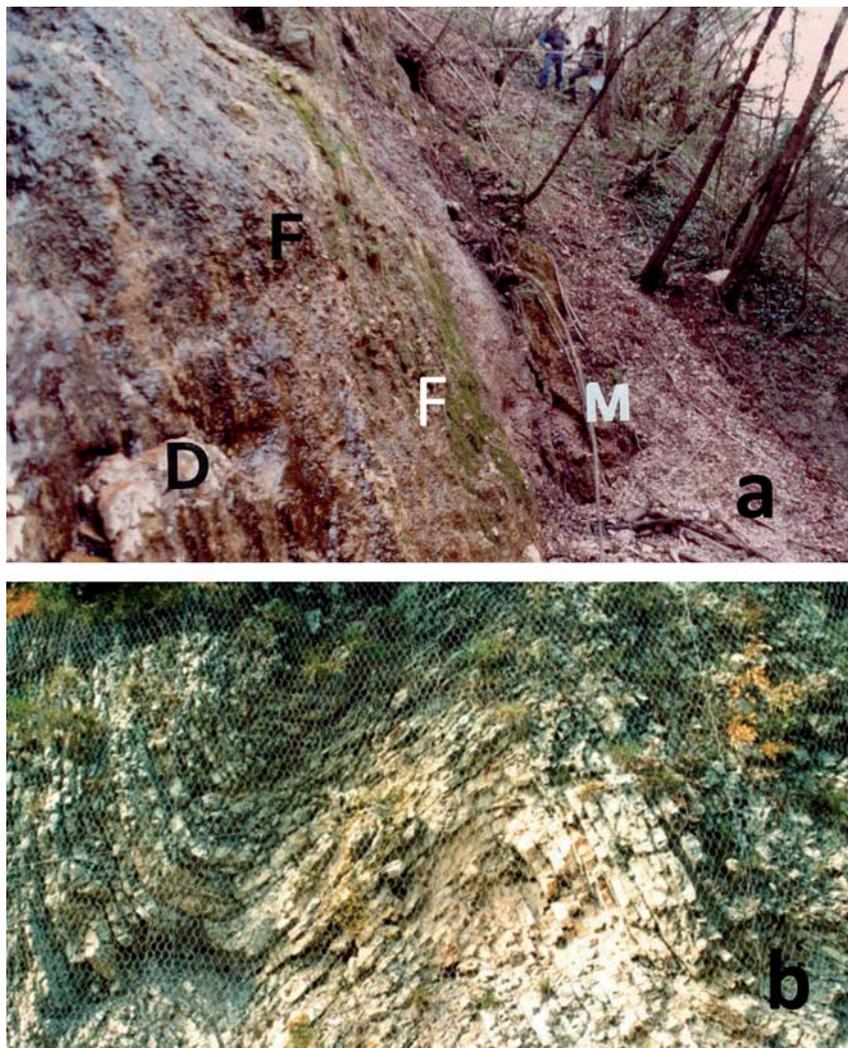


Fig. 3 - Testimonianze della tettonica dell'area. Nell'immagine a) il contatto per faglia (F) fra le dolomie giurassiche (D) e le marne eoceniche (M) lungo il Rio Panarotta. Nell'immagine b) pieghe con asse E-W nei calcari con selce del Cretaceo Inferiore.

meabili per tutta la sua estensione da ovest ad est con un dislivello fra circa 500 m e 1700 m s.l.m., dove esiste lo spartiacque con la Valle dell'Adige. Le dolomie sono ricoperte nella sua parte più occidentale da Calcari bituminosi con selce e da Scaglia Rossa. Queste due formazioni sono impermeabili e ciò spiega che le sottostanti dolomie nella miniera

sono sempre asciutte. La parte più orientale della monoclinale è composta da calcari (Rosso Ammonitico e Calcari a Tintinnidi) e dalle sottostanti dolomie giurassiche e triassiche; essa mostra evidenti segni di carsismo come doline, inghiottitoi, pozzi e caverne carsiche, senza una rete idrica superficiale. L'acqua sotterranea si muove dall'alto verso il basso attraverso le forme carsiche e le fessurazioni subverticali correndo poi verso ovest secondo i piani di strato che inclinano ad ovest con pendenza di 5-10°. L'acqua nel fluire verso ovest incontra la faglia che delimita il graben. Il piano di faglia è quindi un limite al flusso dell'acqua che si accumula a ridosso verso est rispetto al piano stesso; da ciò la presenza di una falda indagata fino alla profondità di circa 200 m rispetto alla galleria inferiore della miniera situata mediamente alla quota di circa 550 m s.l.m. Il piano di faglia funge da scarico della falda che si ritrova nelle dolomie giurassiche e triassiche presenti alla profondità di alcune centinaia di metri nel graben dove sono affioranti la Scaglia Grigia e la Scaglia Rossa. Lungo il piano di faglia esistono sorgenti come troppo pieno della falda profonda con portate variabili da alcuni litri a 200 litri al secondo.

3. STUDI PRECEDENTI ATTORNO ALLA MINIERA RIO MAGGIORE

È del 1961 lo studio di Fuganti sugli scisti bituminosi cretacei utilizzati fra la fine del 1800 e la metà del 1900 circa per produrre ittiolo e prodotti affini per l'industria chimica e farmaceutica. La miniera ha circa 12 Km di gallerie ed interessa lo strato di marne bituminose formate in un ambiente marino riducente che ha permesso la conservazione della sostanza organica. Lo studio riguarda la genesi dell'uranio variamente presente, fino a 0,0535% di U_3O_8 . Nel 1961 si cercava ancora uranio per le centrali nucleari italiane.

È del 1963 lo studio di Fuganti e Mosna sul Cretaceo del Trentino Centrale che comprende anche una sezione stratigrafica in località Rocchetta poco a sudovest della miniera Rio Maggiore, dove sono stati presi in considerazione anche i sedimenti giurassici, che sono in facies calcarea con Orbitopsella, Saccocoma e Tintinnidi.

Nel 1964 Fuganti pubblicò la situazione geologica dei dintorni di Mollaro che include l'area dell'attuale miniera di dolomia. Si individua un intervallo dolomitico attribuito al Giurassico chiamato Dolomia di Torra perché i migliori affioramenti sono presso il paese omonimo. La Dolomia di Torra è formata da alternanze ritmiche di dolomie biogeniche, dolomie intraclastiche e da dolomie cristalline. Tali dolomie sono

considerate facies eteropiche dei Calcari Grigi. Si ritrovò che erano dolomitizzati anche i calcari dell'Ammonitico Rosso, nonché i calcari a Tintinnidi sovrastanti.

L'argomento è stato ripreso dal 2004 al 2013 con la creazione della miniera di dolomia chiamata Rio Maggiore nei documenti minerari e relativi studi stratigrafici, petrografici e chimici sulle dolomie (dolomite 96-98%) usate dalla società Tassullo Materiali S.p.A. per produrre miscele utili all'industria edilizia e del restauro, unitamente a calce.

VENZO & FUGANTI (1965) hanno studiato stratigraficamente e petrograficamente le dolomie triassiche affioranti in località Mendola poco distante dalla miniera verso NE. Furono considerate le dolomie dell'Anisico, del Ladinico, del Carnico e del Norico inferiore (Dolomia principale). Il Carnico superiore (strati di Raibl) sono basalti e conglomerati. La successione dolomitica ha uno spessore di circa 800 m. Il contenuto di dolomite è fra 96 e 98%. Gli effetti della dolomitizzazione sugli originari calcari si distinguono in dolomie nelle quali sono ancora facilmente riconoscibili relitti organici ed inorganici e dolomie eminentemente cristalline nelle quali i relitti sono stati completamente cancellati. Fra le prime si distinguono dolomie biogeniche ad alghe, molluschi e foraminiferi, dolomie m-ritmiche, dolomie dismicritiche, dolomie intraclastiche, dolomie mm-ritmiche bituminose, talora con intercalazioni millimetriche argillose o stiloliti come separazione fra strati. Vi sono porosità per la presenza di spazi vuoti fra i singoli cristalli del mosaico dolomitico cristallino. Le indagini petrografiche del 1965 hanno mostrato che la dolomitizzazione del Trias della Mendola è metasomatica ed è avvenuta in fase diagenetica. Anche la dolomitizzazione dei sedimenti calcarei giurassici della miniera sembra avere la stessa origine.

FUGANTI & MOSNA nel 1966 pubblicarono lo studio stratigrafico-sedimentologico e micropaleontologico delle facies giurassiche del Trentino occidentale. Una sezione stratigrafica è stata fatta presso il paese di Amblar, circa 12 Km a NNE della miniera. Risulta che ad Amblar le rocce del Giurassico sono dolomie, mentre ad ovest sono calcari verso il bacino lombardo. Gli studi del 1963 e del 1966 sul Trentino occidentale mostrarono che vi sono fenomeni di lacune stratigrafiche le cui ampiezze variano da luogo a luogo, confermate da WINTERER & BOSELLINI (1981).

Il nome «Dolomia di Torra» è presente nella stratigrafia giurassica della Valle di Non nel foglio Trento n. 21 della Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000 del 1966 come alternanza di dolomie biogeniche, dolomie intraclastiche (brecce), dolomie cristalline, calcari dolomitici attribuiti al Malm p.p., Dogger e Lias.

È del 1967 lo studio di Fuganti e Ulcigrai sui fenomeni erosivi e sui filoni neptuniani del Trias superiore e del Lias della Val di Non, in particolare della zona di S. Giustina (comune di Taio) nel cui territorio vi è una parte della miniera di dolomia. Sono stati individuati nelle dolomie retiche fenomeni erosivi, brecce dolomitiche, filoni sedimentari; la datazione è basata sul rinvenimento di *Triasina bantkeni* Majzon.

Nelle note illustrative del foglio Mezzolombardo (1:50.000) presentato nell'aprile 2013 è scritto che la formazione di Monte Zugna (Gruppo dei Calcarì Grigi) ad est della linea tettonica Mezzolombardo-Taio, dove vi è la miniera di dolomia Rio Maggiore, è a tratti intensamente dolomitizzata. Risulta così che la dolomia giurassica presente nella miniera si estende almeno fino ad Amblar (FUGANTI & MOSNA, 1964), ma anche più a nord.

Nel giugno 2006 venne organizzato a Torino un convegno sulle cave in sotterraneo. Dagli Autori A. Fuganti, S. Odorizzi, W. Zancan, A. Tomasi fu presentata una memoria dal titolo: «La cava in sotterraneo Rio Maggiore entro un giacimento di dolomia in località Mollaro (Trento)». La memoria spiega che la presenza di sorgenti usate per il consumo umano ha impedito alla società Tassullo di aprire una cava di dolomia a cielo aperto. La società, con il permesso delle competenti Autorità, ha iniziato pertanto a studiare il sottosuolo dolomitico dove aprire una struttura sotterranea che per la legge mineraria della Provincia Autonoma di Trento ha il nome di «cava», non essendo la dolomia un minerale di prima categoria.

Fra il 2006 ed il 2013 le attività estrattive ed i programmi di utilizzo dei vuoti hanno portato alla situazione attuale che, per la vastità e la complessità degli interventi permettono di definire miniera, secondo gli standard internazionali, le attività estrattive svolte ed in programma per il futuro.

4. LA DOLOMIA DELLA MINIERA

Ricordiamo che la dolomia è una roccia che deriva dalla trasformazione dell'originaria sedimentazione calcarea modificata successivamente in dolomite per apporto di magnesio dall'acqua marina. Si passa dal carbonato di calcio (calcite) al carbonato doppio di calcio e magnesio (dolomite). Questa trasformazione comporta la possibilità di mantenere visibili le originarie strutture come pure la cancellazione delle stesse mediante la formazione di un mosaico dolomitico formato da soli cristalli. La Fig. 4 mostra un tipico affioramento di Dolomia di Torra. La



Fig. 4 - Affioramenti della Dolomia di Torra giurassica.

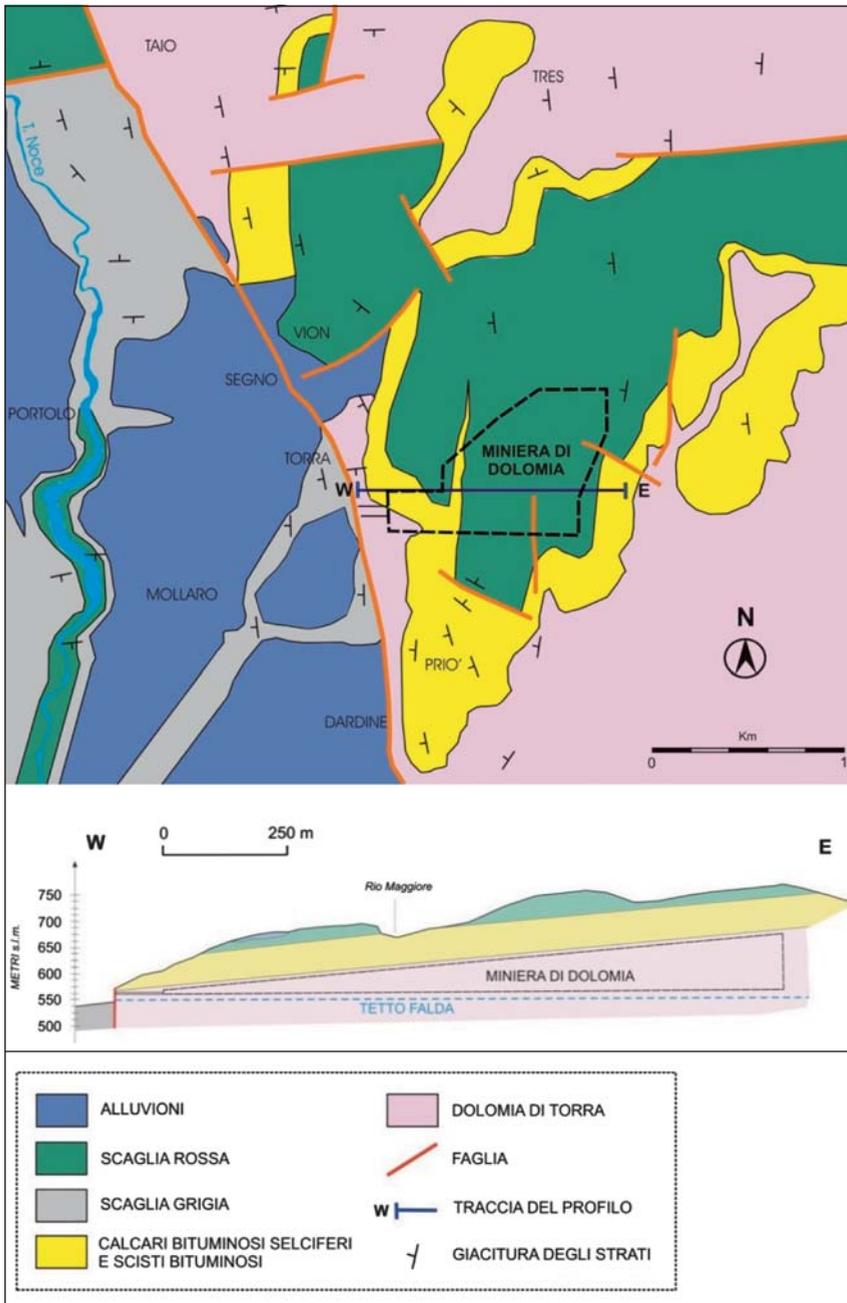


Fig. 5 - Carta e profilo geologico della miniera di dolomia e zone limitrofe.



Fig. 6 - Fronte di avanzamento in galleria. Preparazione dei fori per l'esplosivo. Le varie tonalità degli strati di dolomia corrispondono a differenti litologie.

carta geologica dell'area è nella Fig. 5. Dalla roccia più antica alla più recente si ritrovano: Dolomia giurassica, Calcari Bituminosi Selciferi e Scisti Bituminosi cretacei, Scaglia Rossa cretacea, Scaglia Grigia terziaria. Tutte queste rocce sono localmente ricoperte da alluvioni, interglaciali e oloceniche, nonché da morene. Vi sono faglie, la principale delle quali è una faglia regionale diretta NNW-SSE. Faglie minori hanno direzione varia.

I tipi di dolomia scavati nella miniera sono stati individuati campionando i fronti di scavo; sono state individuate breccie dolomitiche, dolomie organogene, dolomie laminate, dolomie geopetali, dolomie cristalline. Un esempio del fronte di scavo è rappresentato nella Fig. 6. Sono state anche eseguite numerose perforazioni, alcune per studiare la falda, altre con campionatura continua, come ad esempio nel pozzo 9, che è illustrato nelle Figg. 7 e 8. Risulta che l'intervallo di interesse per la miniera è compreso fra il tetto della falda acquifera permanente e i calcari bituminosi con selce alla cui base vi sono gli scisti bituminosi coltivati nel secolo scorso in sotterraneo per produrre ittolo e prodotti

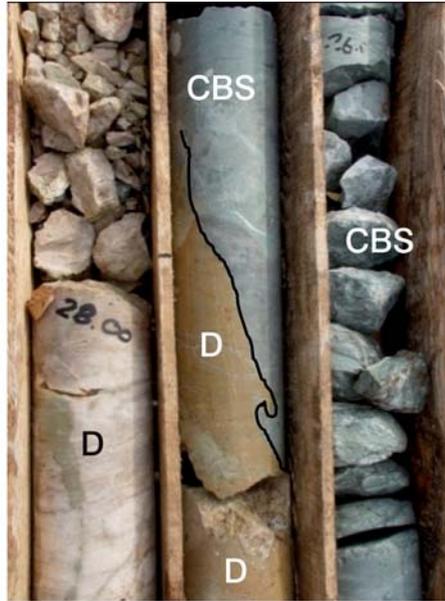
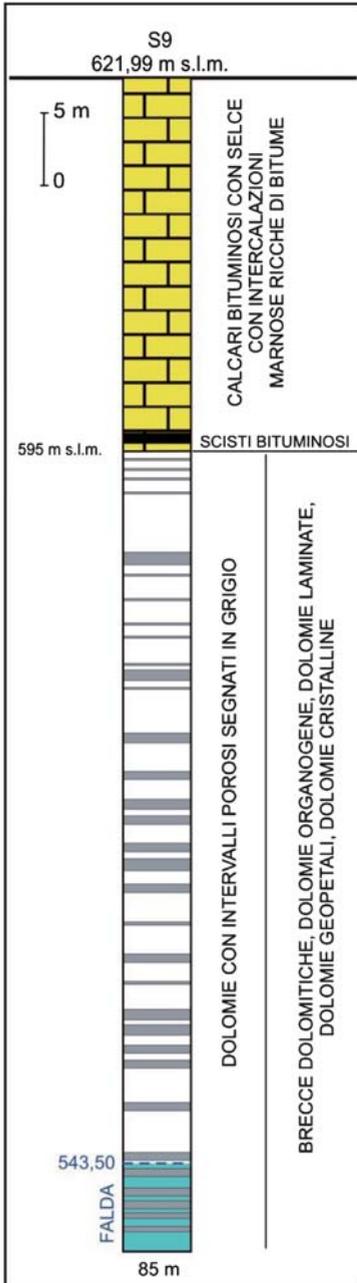


Fig. 8 - Pozzo 9. Contatto erosivo fra Calcarei Bituminosi con selce (CBS) e Dolomia di Torra (D).

Fig. 7 - Colonna stratigrafica del pozzo 9. La coltivazione della miniera di dolomia è la fascia dolomitica potente circa 51 metri compresa fra gli scisti bituminosi e la falda di cui è segnato il livello statico (543,50 m s.l.m.).

derivati. Questo intervallo è di circa 51 metri. Il passaggio fra i sedimenti giurassici e quelli cretacei sono stati accompagnati da fenomeni di regressione e trasgressione dei livelli marini e relativi episodi erosivi. La figura 8 segna il contatto erosivo fra la dolomia di Torra e i sovrastanti calcari bituminosi con selce.

La dolomia di Torra è caratterizzata dalle breccie dolomitiche, a significare un mare poco profondo e agitato che rompe i sedimenti appena deposti e non ancora ben consolidati (Fig. 9).

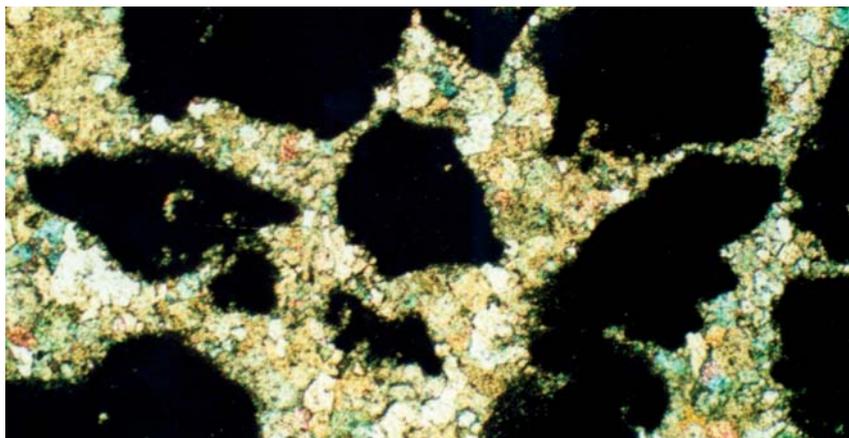


Fig. 9 - Dolomia di Torra. Esempi di breccia dolomitica al microscopio. Nicols incrociati, 30 x.

La Fig. 10 mostra alcuni esempi di fronti di scavo. Nell'immagine 10a) si evidenziano con tonalità diverse i vari tipi di dolomia sopra elencati, in particolare i livelli più scuri sono riferibili alle breccie dolomitiche, mentre i livelli più chiari sono riferibili alle dolomie organogene in particolare quelle ricche di alghe. Si ritrovano anche colorazioni diverse intervallate a quelle tradizionali, probabilmente attribuibili a stromatoliti (Fig. 10b).

Di particolare interesse è stato l'esame delle carote campionate durante le perforazioni continue. Ne sono esempi le Figg. 11 e 12. La Fig. 11a) è un campione di carota porosa; l'immagine 11b) è una breccia dolomitica; l'immagine 11c) è un tipico esempio della ritmicità di tipo metrico. Si vedono breccie dolomitiche, dolomie laminare e dolomie porose. La Fig. 12a) è un campione di dolomia porosa; l'immagine 12b) mostra una sezione di lamellibranchi, forse *Lithiotis*; l'immagine 12c) è una dolomia pure porosa con lamellibranchi.

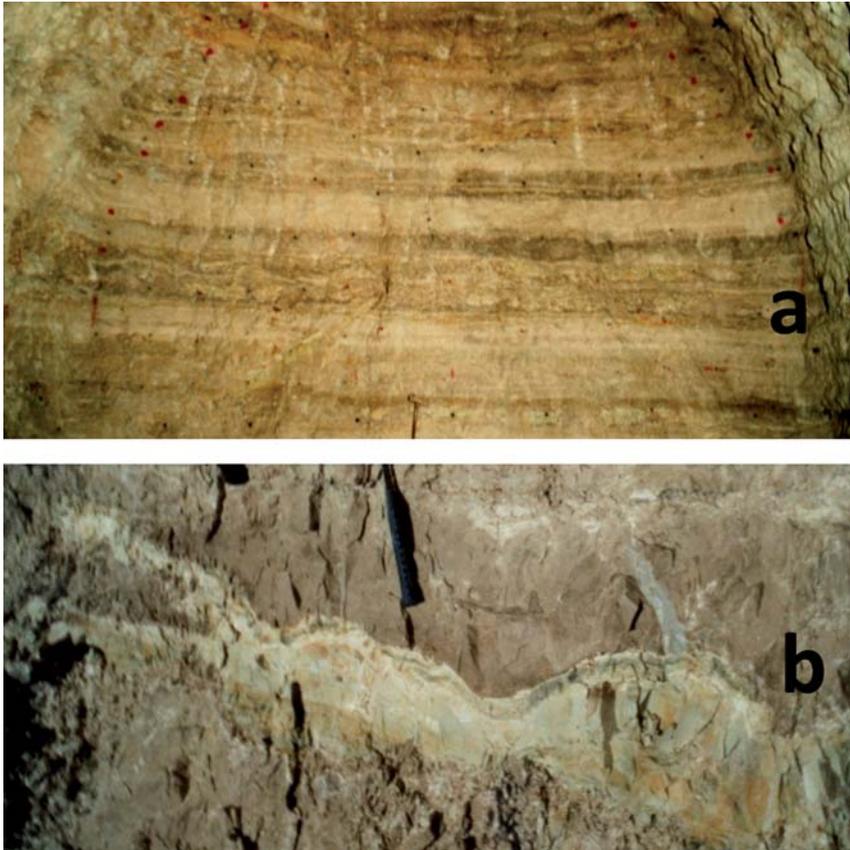


Fig. 10 - Dolomia di Torra. Immagine a) = fronte di scavo a piena sezione con litologie differenti a seconda del colore degli strati. Immagine b) = particolare di fronti di scavo.

Campionamenti sui fronti di scavo hanno permesso di individuare a livello macroscopico vari tipi di dolomie porose. Sono esempi le figure 13, 14 e 15. La Fig. 13a) mostra una dolomia cristallina porosa, mentre la 13b) mostra la presenza di una seconda generazione di cristalli di dolomite. Nella Fig. 14 si nota come le porosità variano; nell'immagine 14a) le porosità maggiori sono connesse con impronte di gasteropodi visibili anche nella Fig. 28, mentre nell'immagine 14b) le porosità sono connesse con strutture algali. La Fig. 15 mostra la sezione lucida di una breccia dolomitica, mentre l'immagine 15b) mostra un'alternanza ritmica di dolomie cristalline e di breccie dolomitiche. Il passaggio improvviso fra le dolomie cristalline e le breccie è visibile nell'immagine 15c).

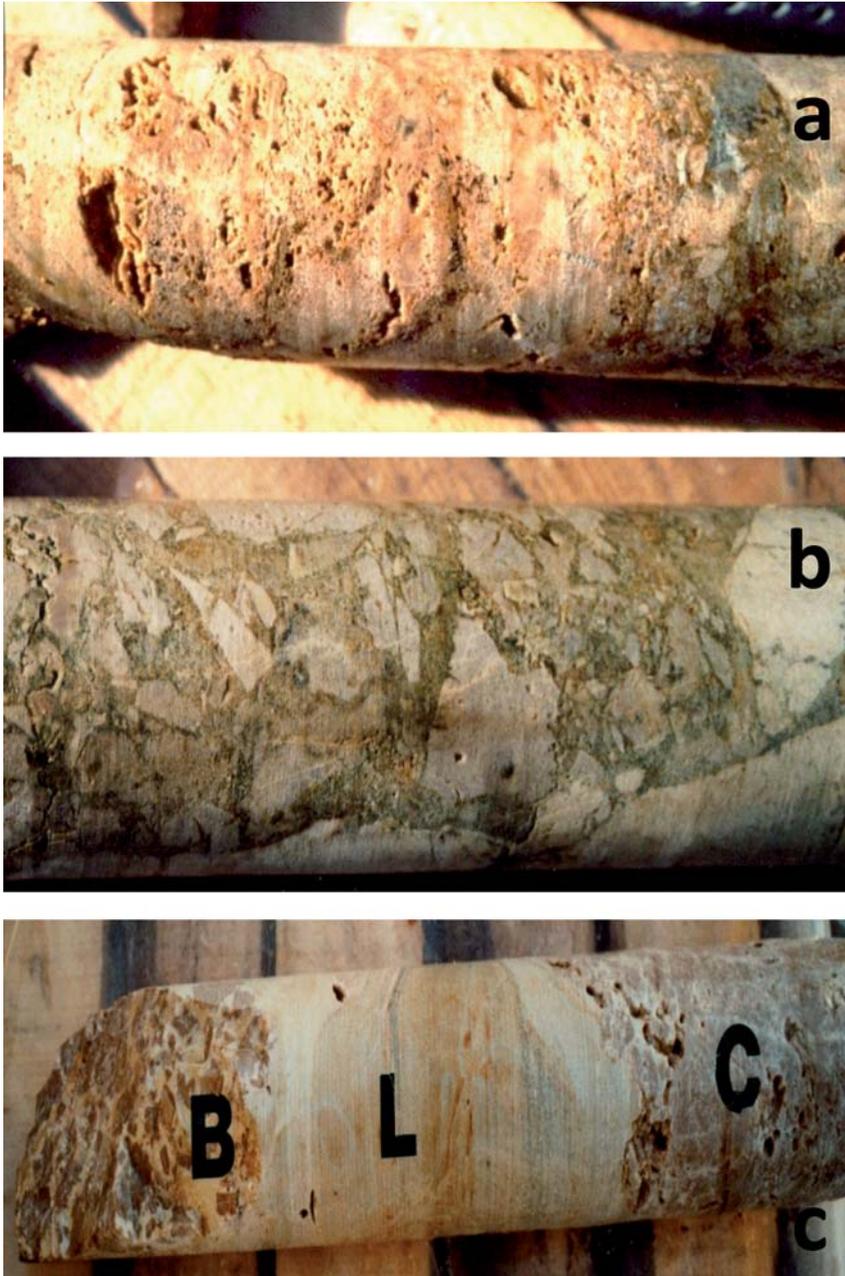


Fig. 11 - Dolomia di Torra. Immagine a) = carota di dolomia porosa. Immagine b) = carota di breccia dolomitica. Immagine c) = breccia dolomitica (B); dolomia laminata (L); dolomia porosa (C). Il diametro delle carote è di 8 cm.

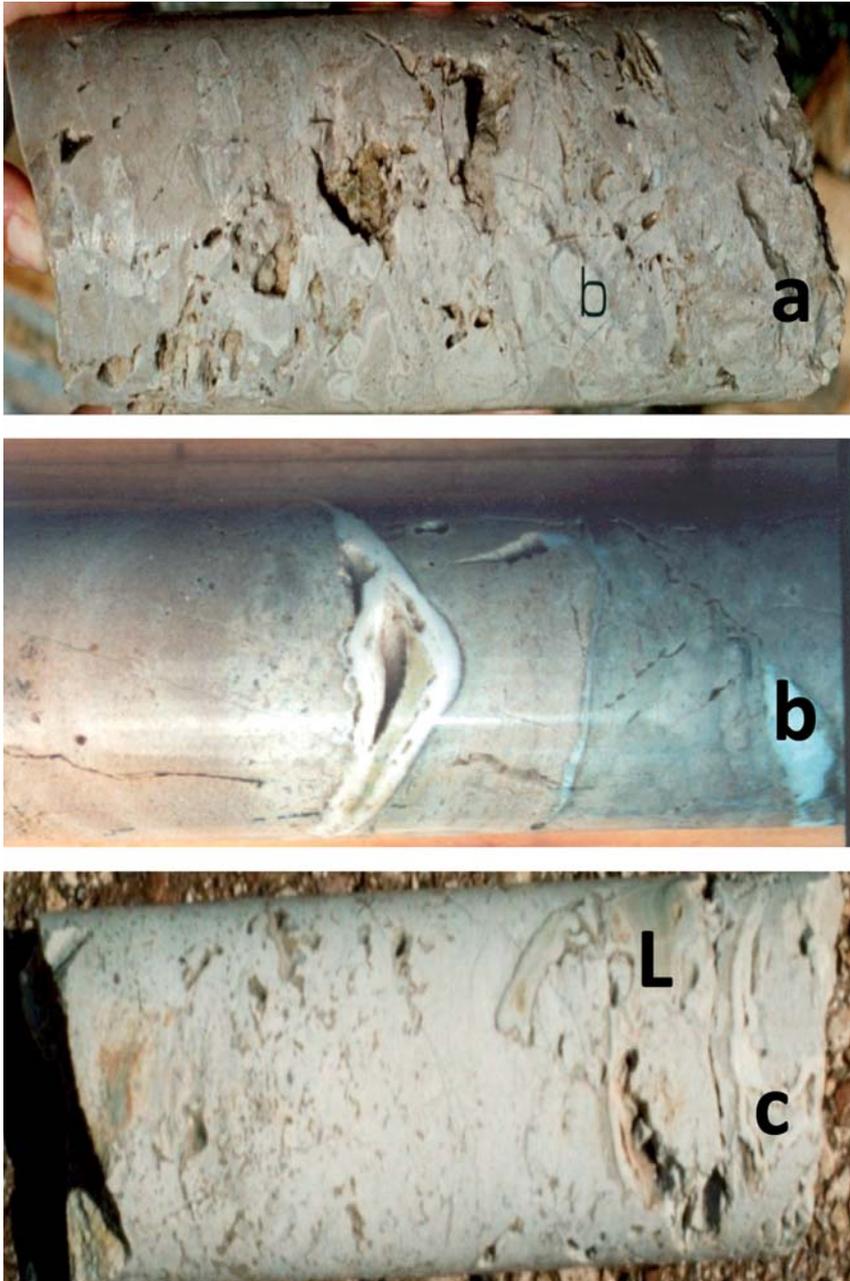


Fig. 12 - Dolomia di Torra. Immagine a) = carota di dolomia porosa. Immagine b) = sezione di lamellibranchi, forse *Lithotis* sp.. Immagine c) = dolomia porosa con lamellibranchi (L). Il diametro delle carote è di 8 cm.

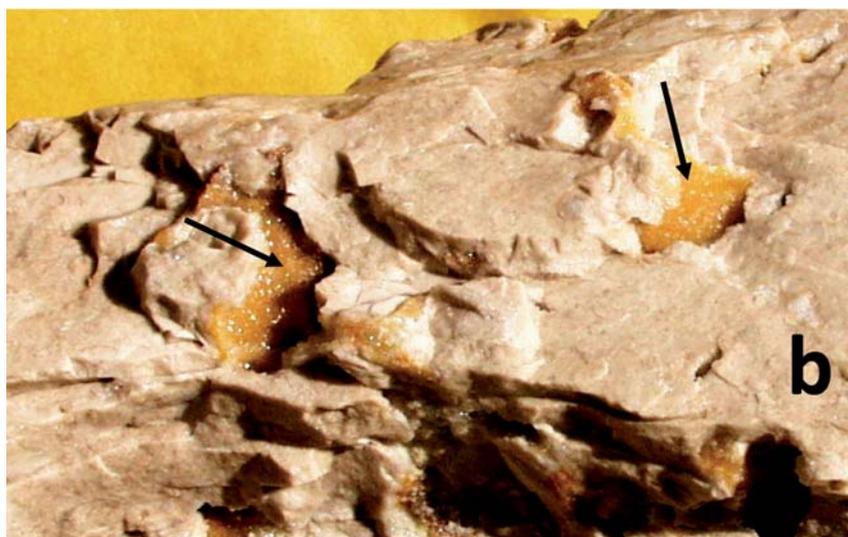


Fig. 13 - Dolomia di Torra. Immagine a) = dolomia porosa. Immagine b) = sulla dolomia porosa è deposta una successiva generazione di cristalli di dolomite (freccie). Grandezza naturale.

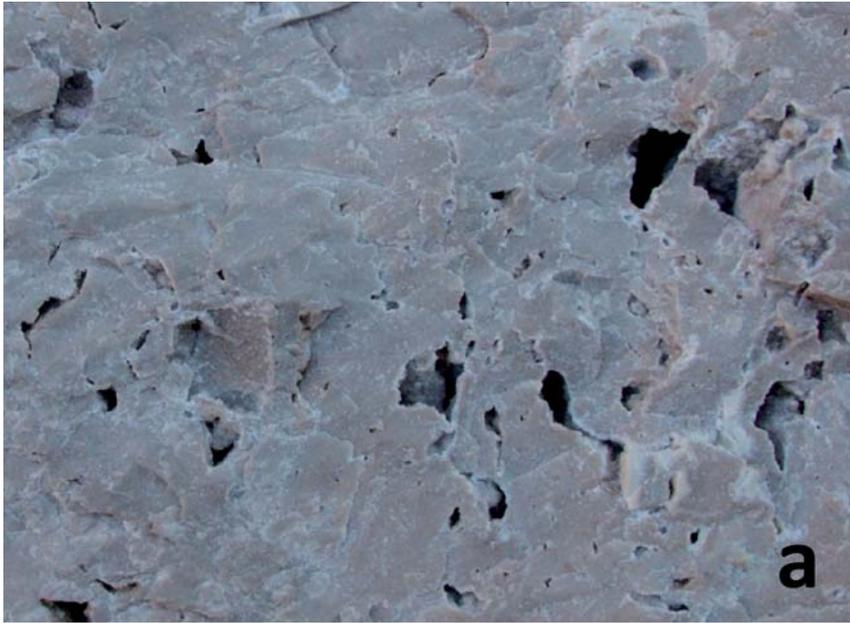


Fig. 14 - Dolomia di Torra. Immagini a) e b) = dolomia con porosità diverse. Grandezza naturale.

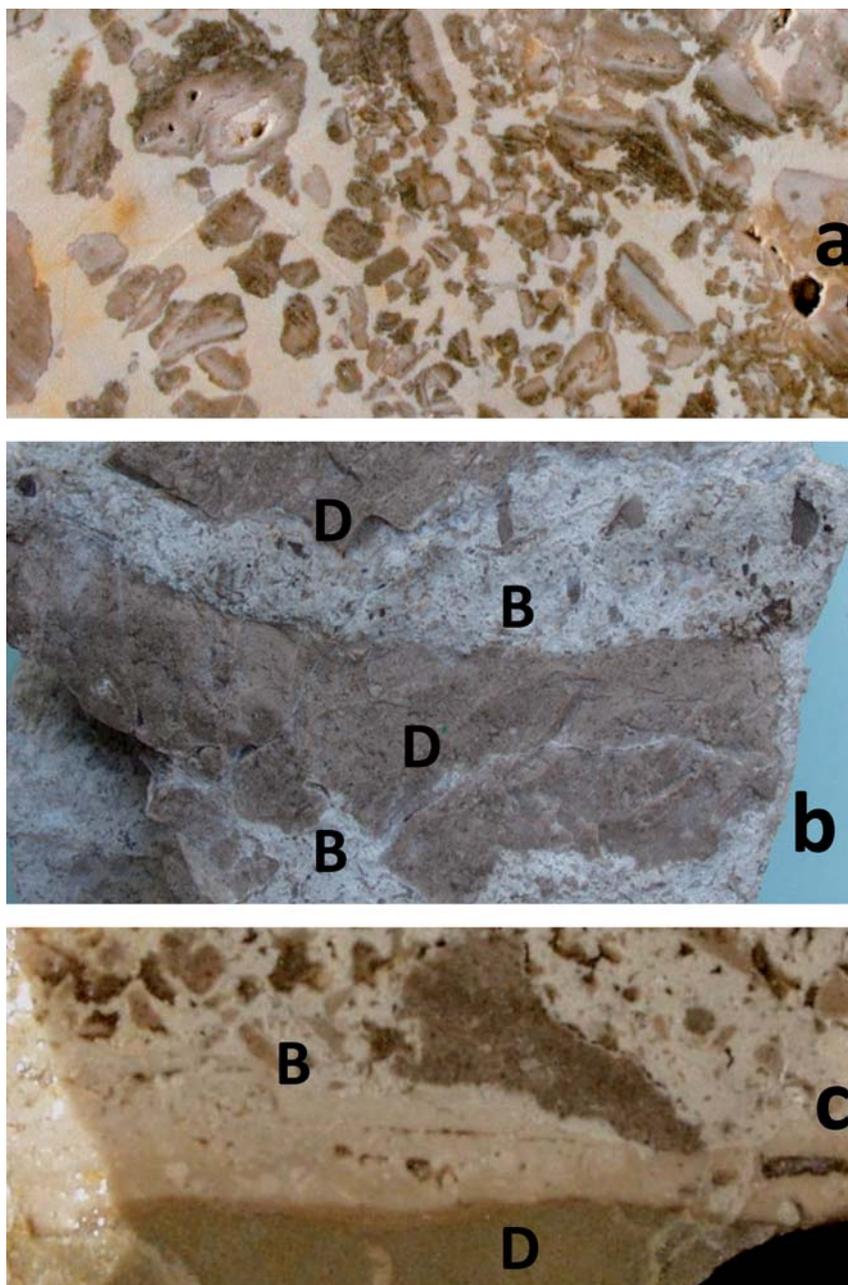


Fig. 15 - Dolomia di Torra. Immagine a) = breccia dolomitica; grandezza naturale. Immagini b) e c) = breccie dolomitiche (B) e dolomie cristalline (D). Grandezza naturale.

Le dolomie cristalline sono quelle qui considerate formate da soli cristalli di dolomite e comunque da un mosaico dolomitico prevalente con cancellazione delle strutture precedenti nella fase calcitica iniziale prima della dolomitizzazione. Esempi di questa situazione sono nelle Figg. 16 e 17.

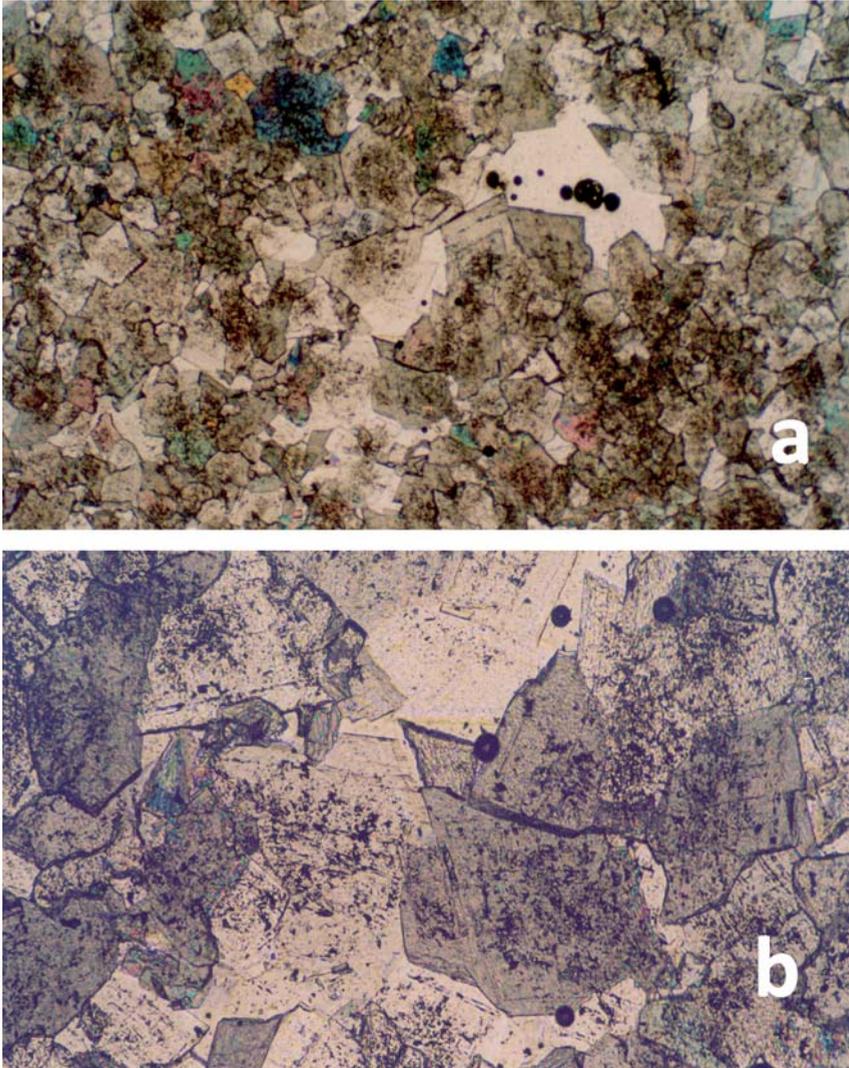


Fig. 16 - Dolomia di Torra. Immagine a) = porosità nel nuovo mosaico dolomitico microcristallino. Nicols incrociati, 40 x. Immagine b) = nuovo mosaico dolomitico microcristallino. Nicols incrociati, 90 x.

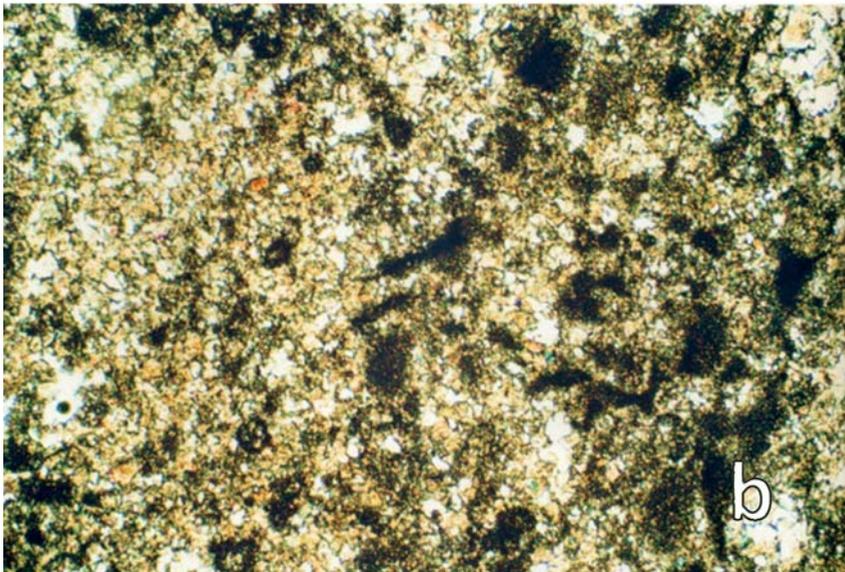
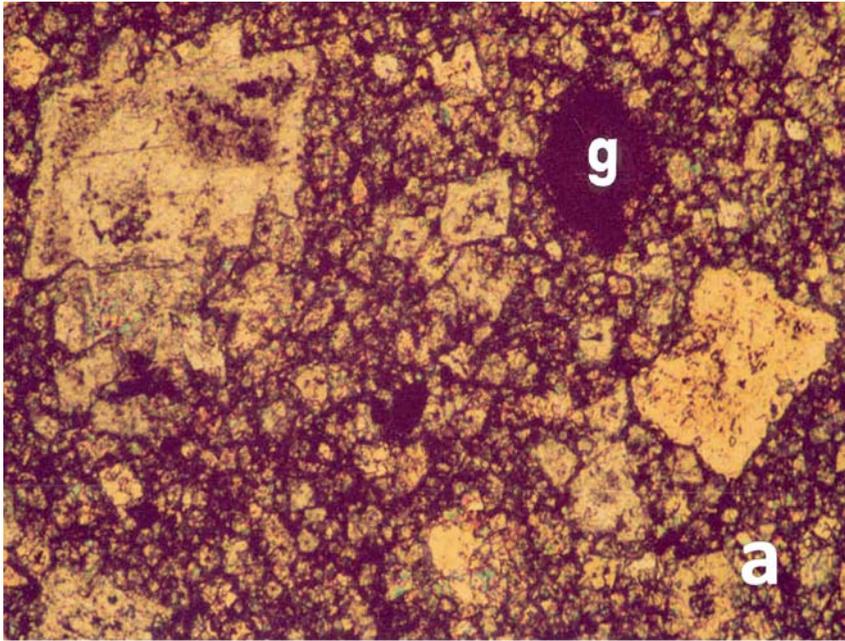


Fig. 17 - Dolomia di Torra. Immagine a) = nuovo mosaico dolomitico microcristallino con cristalli di varie dimensioni con glauconite (g). Nicols incrociati, 40 x. Immagine b) = residui di originarie strutture cancellate dal nuovo mosaico dolomitico microcristallino. Nicols incrociati, 40 x.

Vi sono due tipi di dolomie laminare: uno sembra di tipo stromatolitico, l'altro corrisponde ad allineamenti del minerale glauconite. Le stromatoliti, secondo alcuni autori, sono considerate alghe fossili, il cui significato e classificazione è in LOGAN, REZAK & GINSBURG (1962). La presenza della glauconite dovrebbe significare un ambiente poco ossigenato; le Figg. 18 e 19 mostrano esempi relativi.

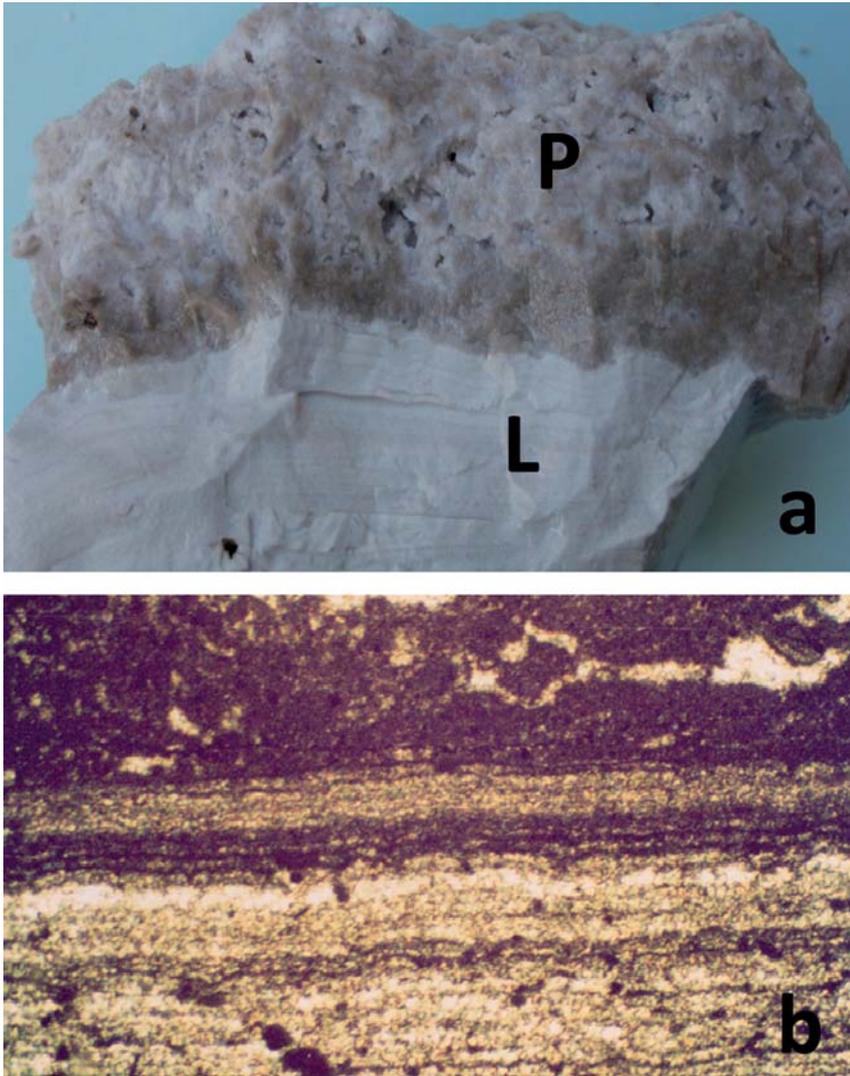


Fig. 18 - Dolomia di Torra. Immagine a) = dolomie laminare (L) al contatto con dolomie porose (P). Metà della grandezza naturale. Immagine b) = dolomie laminare (stromatoliti). Nicols paralleli, 20x.

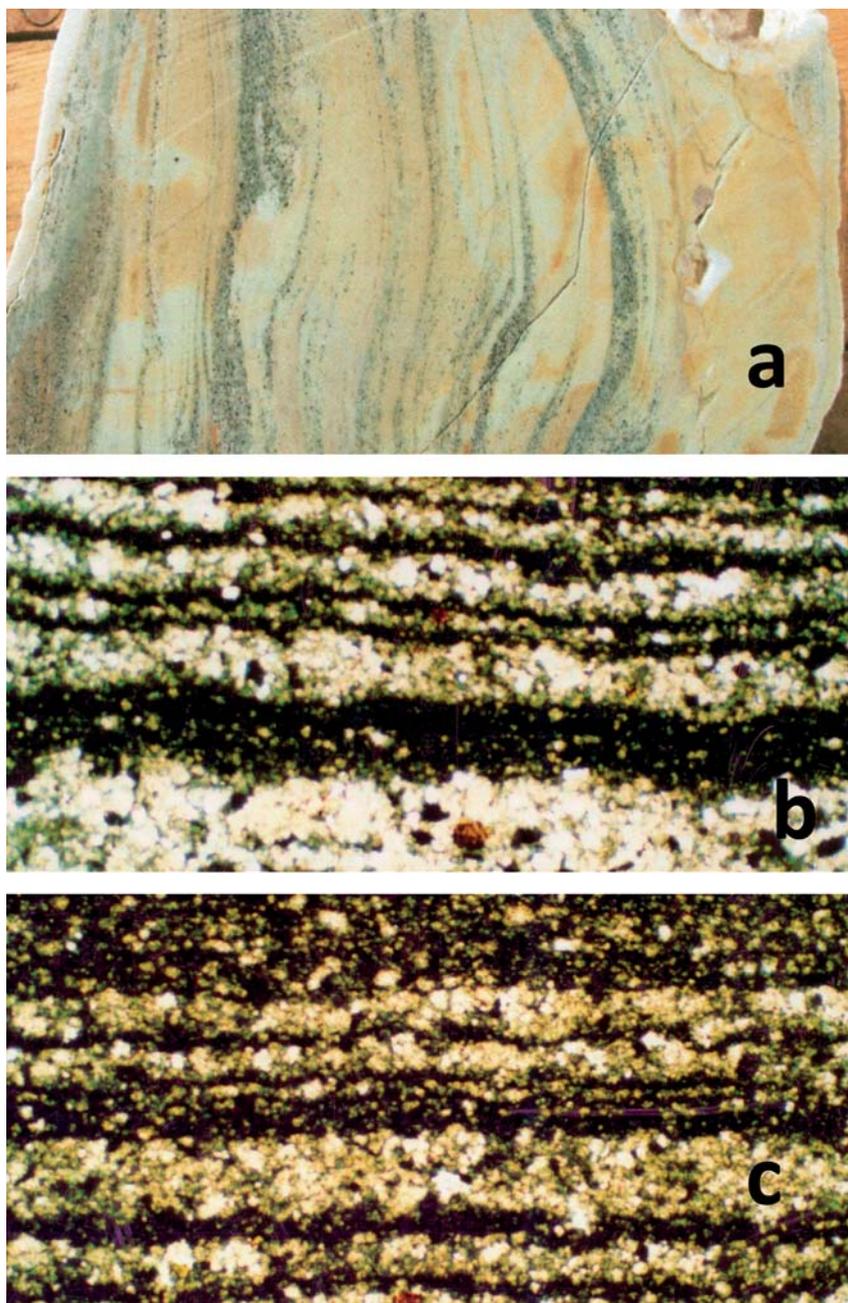


Fig. 19 - Dolomia di Torra. Immagine a) = livelli di glauconite nelle carote di dolomie laminate, grandezza naturale. Immagini b) e c) = dolomie laminate, probabili alghe. Nicols paralleli, 20x.

Nella miniera vi sono dolomie con strutture geopete intervallate con struttura m-ritmica. La letteratura chiama dette strutture anche «birdseye structures» (SHINN, 1968) e le considera particolarmente abbondanti nei sedimenti dolomitici «supratidal». Esempi sono nelle Figg. 20, 21, 22, 23, 24.



Fig. 20 - Dolomia di Torra. Dolomie con strutture geopete (birdseye structures). Grandezza naturale.

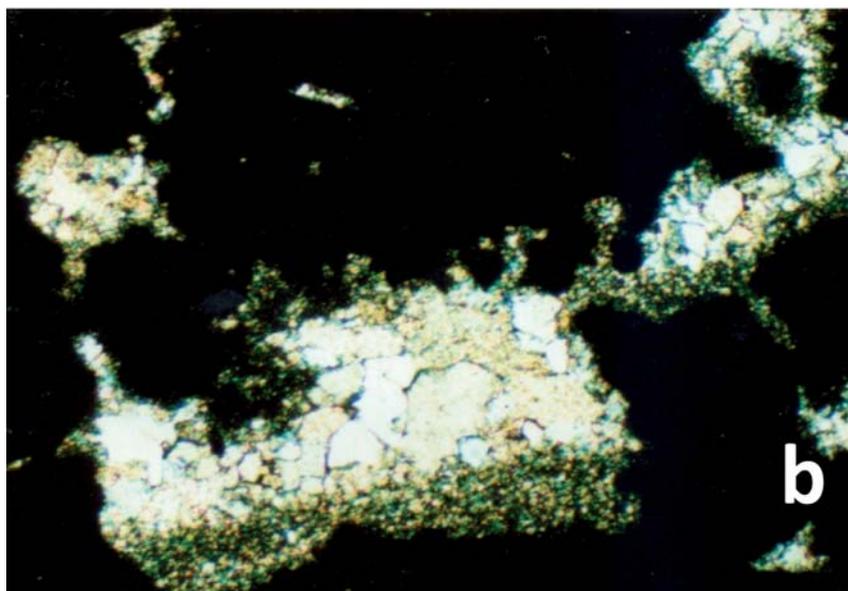
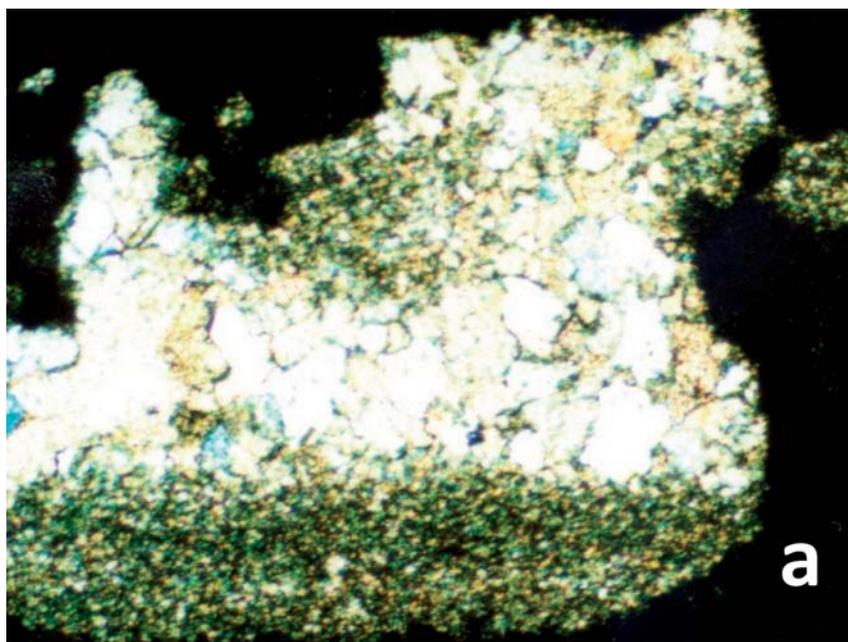


Fig. 21 - Dolomia di Torra. Immagini a) e b) = strutture geopete nelle dolomie riempite da mosaici di diverse dimensioni crescenti dal basso verso l'alto. Nicols incrociati, 50x.

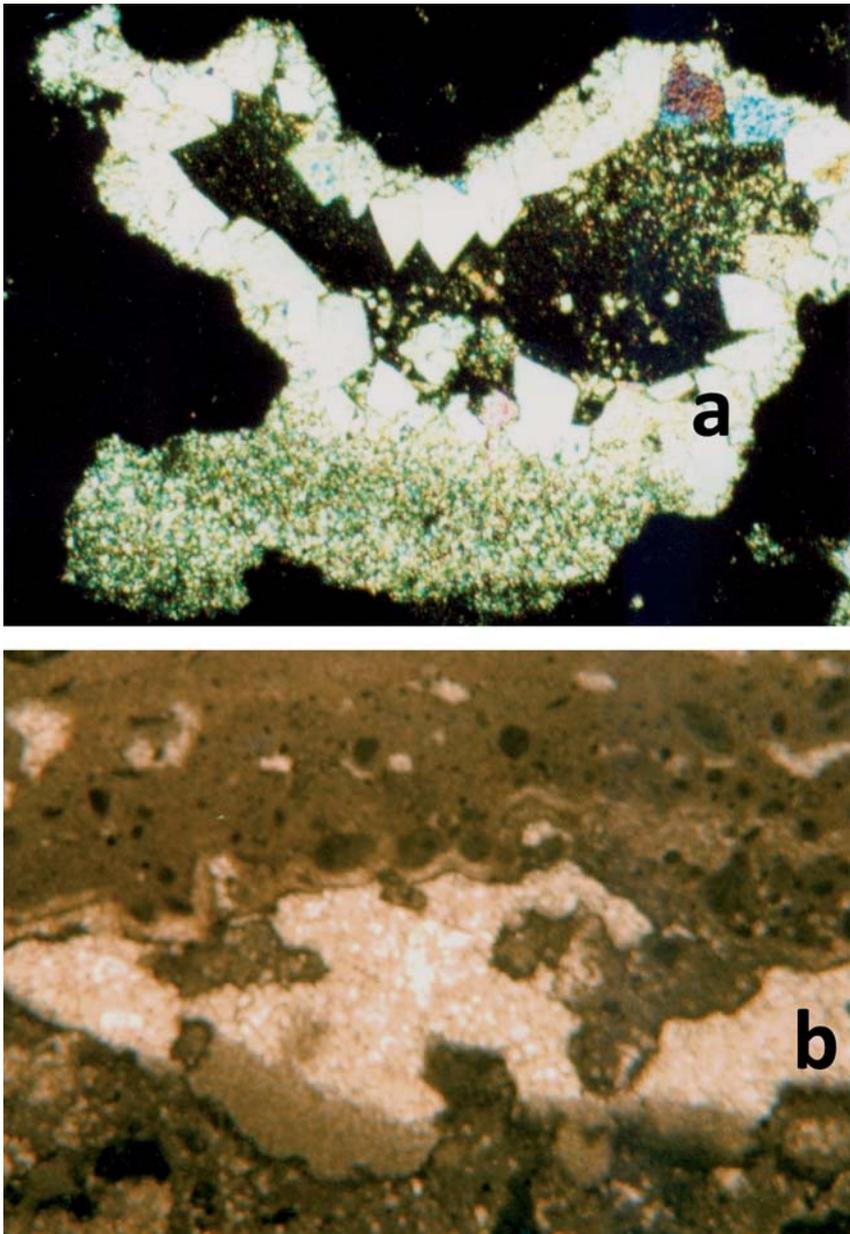


Fig. 22 - Dolomia di Torra. Immagini a) e b) = porosità riempite da cristalli di dolomite di dimensioni diverse. Strutture geopete. Nicols incrociati, 40x.

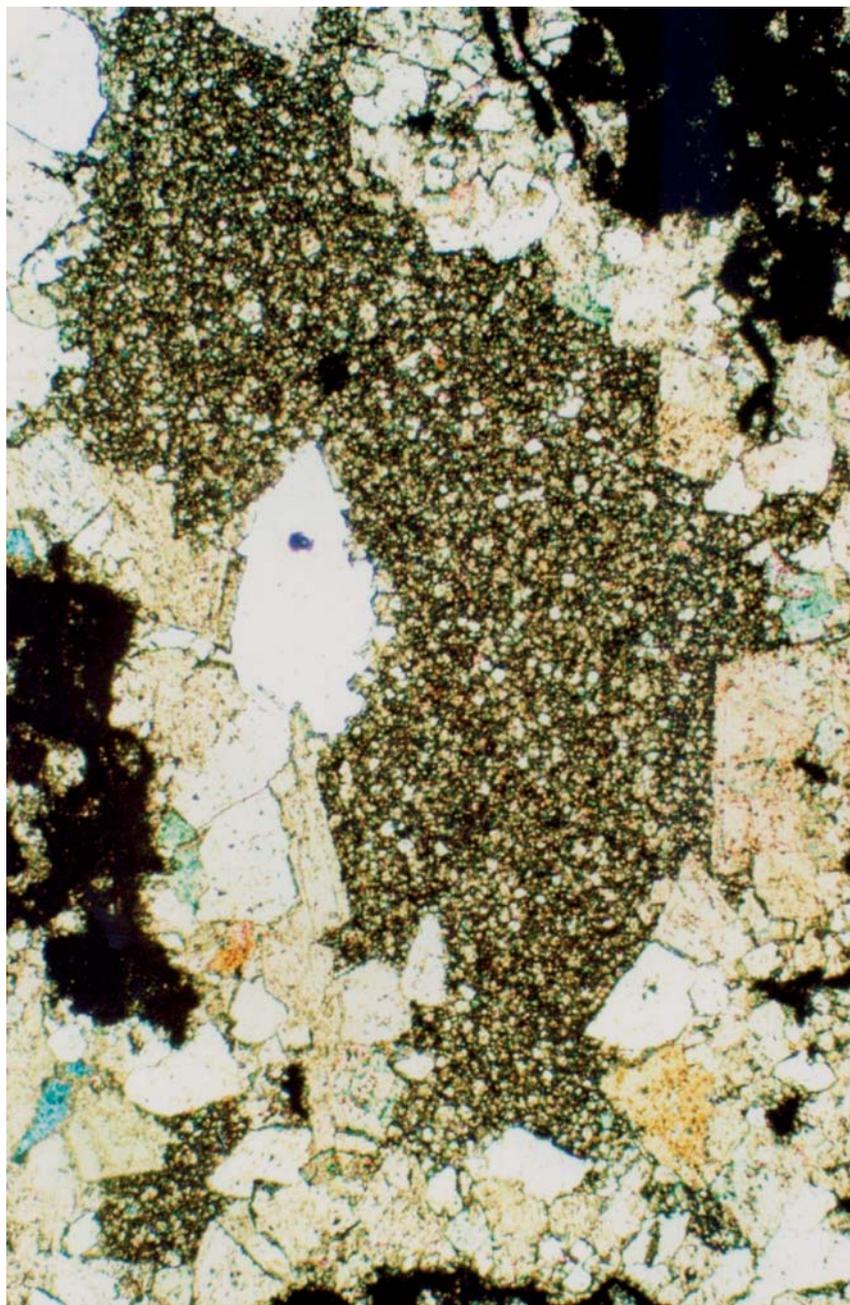


Fig. 23 - Dolomia di Torra. Mosaici dolomitici saccaroidi di grandi dimensioni. Dolomie con strutture geopete. Nicols incrociati, 20x.

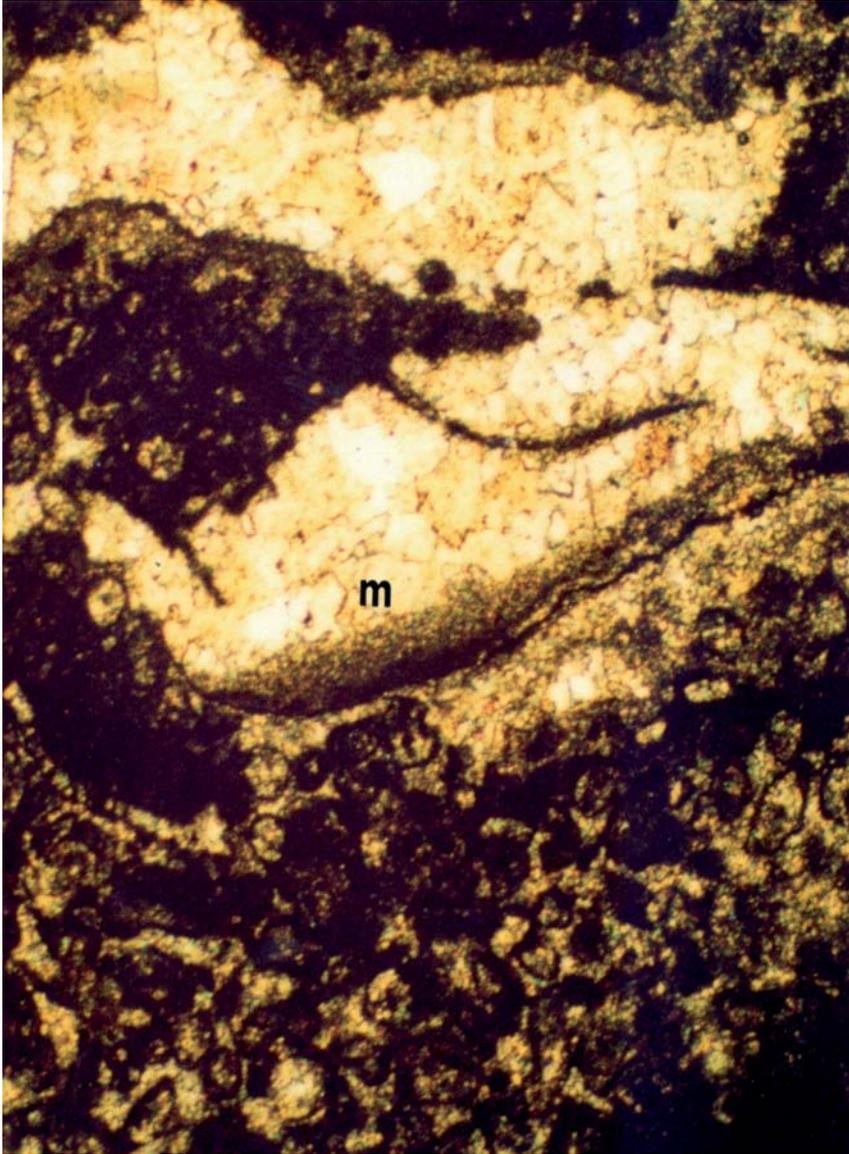


Fig. 24 - Dolomia di Torra. Gusci di lamellibranchi sui quali si sono depositati mosaici dolomitici di dimensioni (m) crescenti dal basso verso l'alto. Nicols incrociati, 50x.

Nella miniera vi sono resti fossili individuabili sia microscopicamente che macroscopicamente nelle dolomie organogene e nelle dolomie cristalline. Alcuni di questi fossili caratterizzano l'età giurassica dell'originario sedimento distinguendo microfossili del Giurassico inferiore in ambiente di mare basso e microfossili del Giurassico superiore in mare profondo. Esempi sono nelle Figg. 25, 26, 27, 28.

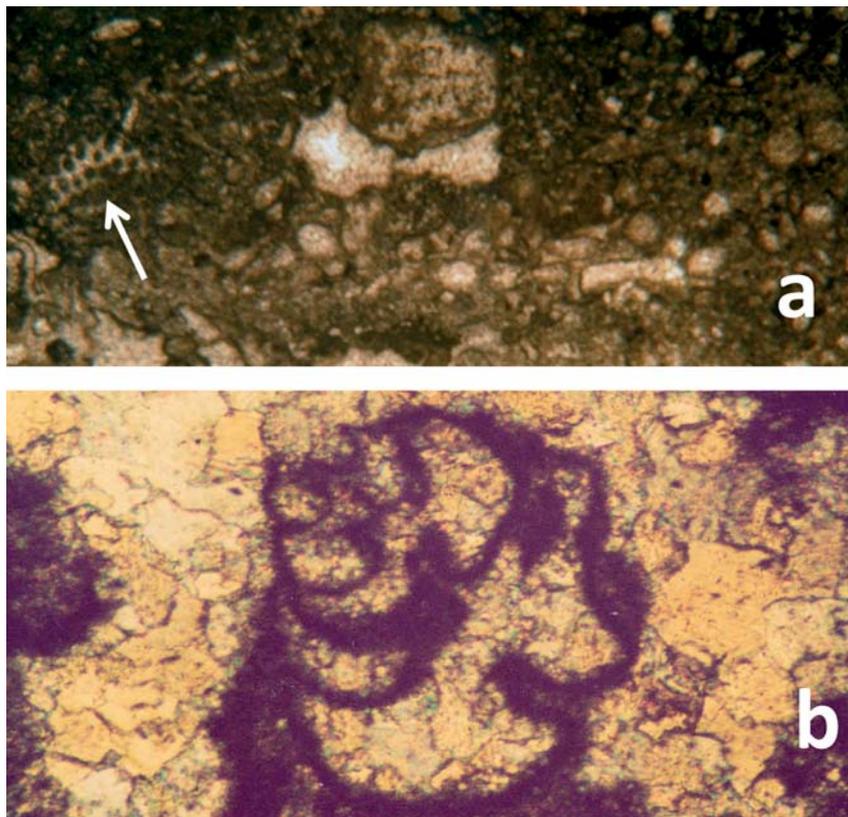


Fig. 25 - Dolomia di Torra. Immagine a) = resti organici nelle dolomie organogene evidenziate dalla freccia. Nicols paralleli, 10x. Immagine b) = foraminifero nelle dolomie organogene. Nicols incrociati, 10x.

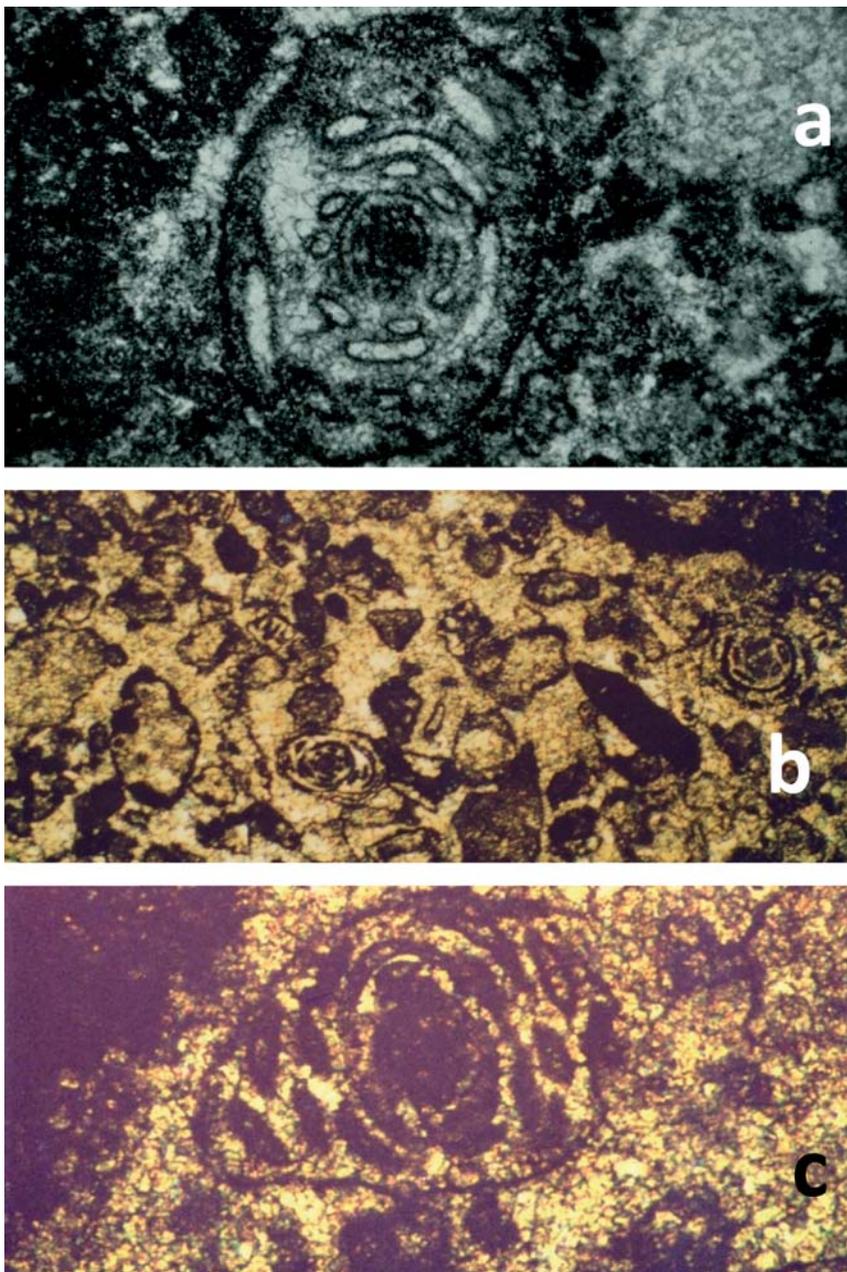


Fig. 26 - Immagine a) = base della Dolomia di Torra a S. Giustina, a 4 km a nord della miniera. *Triasina bantkeni* (Retico). Nicols paralleli, 90x Immagine b) = foraminiferi in breccia dolomitica. Nicols paralleli, 120x. Immagine c) = foraminifero non cancellato dal nuovo mosaico dolomitico. Nicols incrociati, 90x.

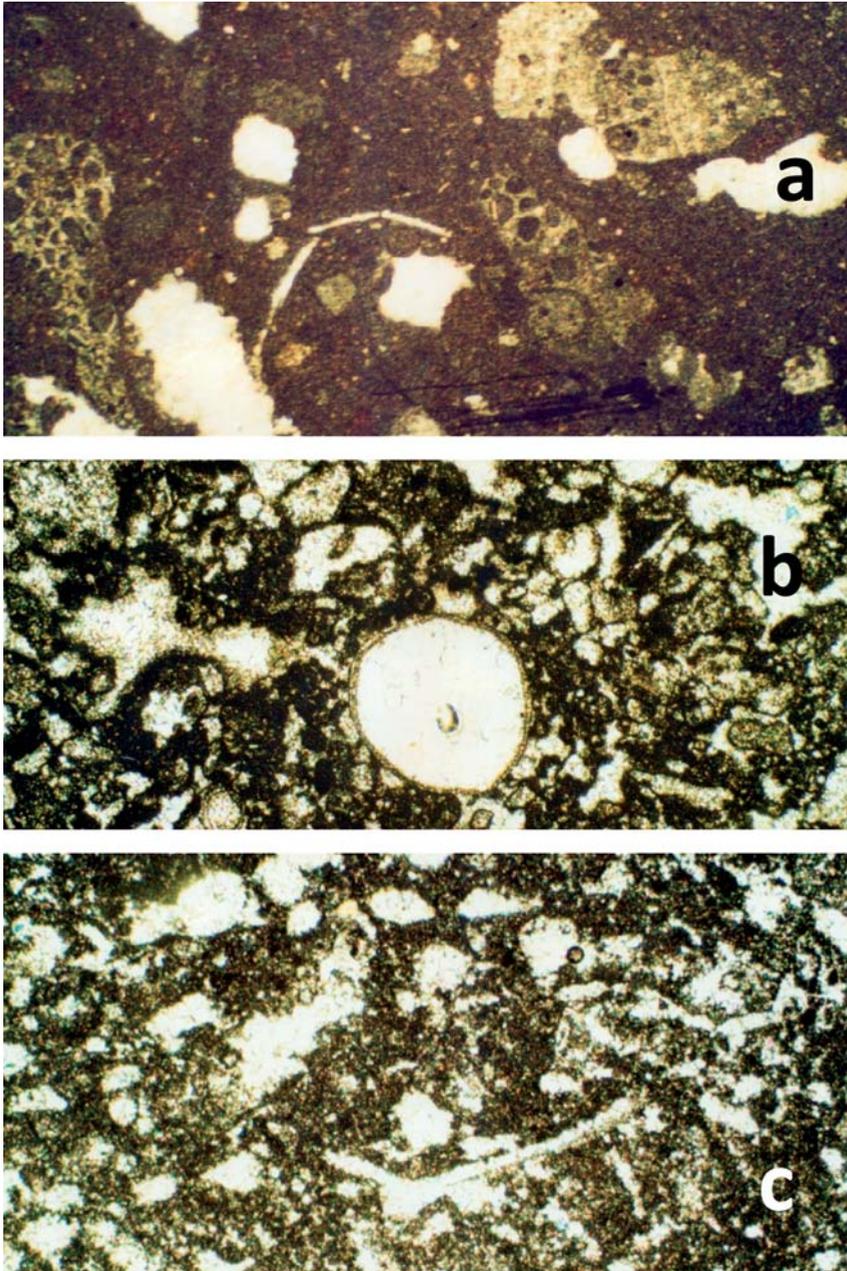


Fig. 27 - Dolomia di Torra. Immagine a) = resti di *Orbitopsella* sp. (Giurassico inferiore) nella breccia dolomitica. Nicols paralleli, 10x. Immagini b) e c) = resti di *Saccocoma* (Giurassico superiore) nella dolomia organogena. Nicols paralleli, 10x.



Fig. 28 - Dolomia di Torra. Immagine a) = impronte di bivalvi in dolomie organogene, grandezza naturale. Immagini b) e c) = impronte di gasteropodi in dolomie organogene, 3x.

Le dolomie della miniera sono state anche esaminate al microscopio che permette grandi ingrandimenti fino ad individuare la struttura dei singoli cristalli. Riportiamo a tal proposito alcune immagini Sem (Figg. 29, 30).

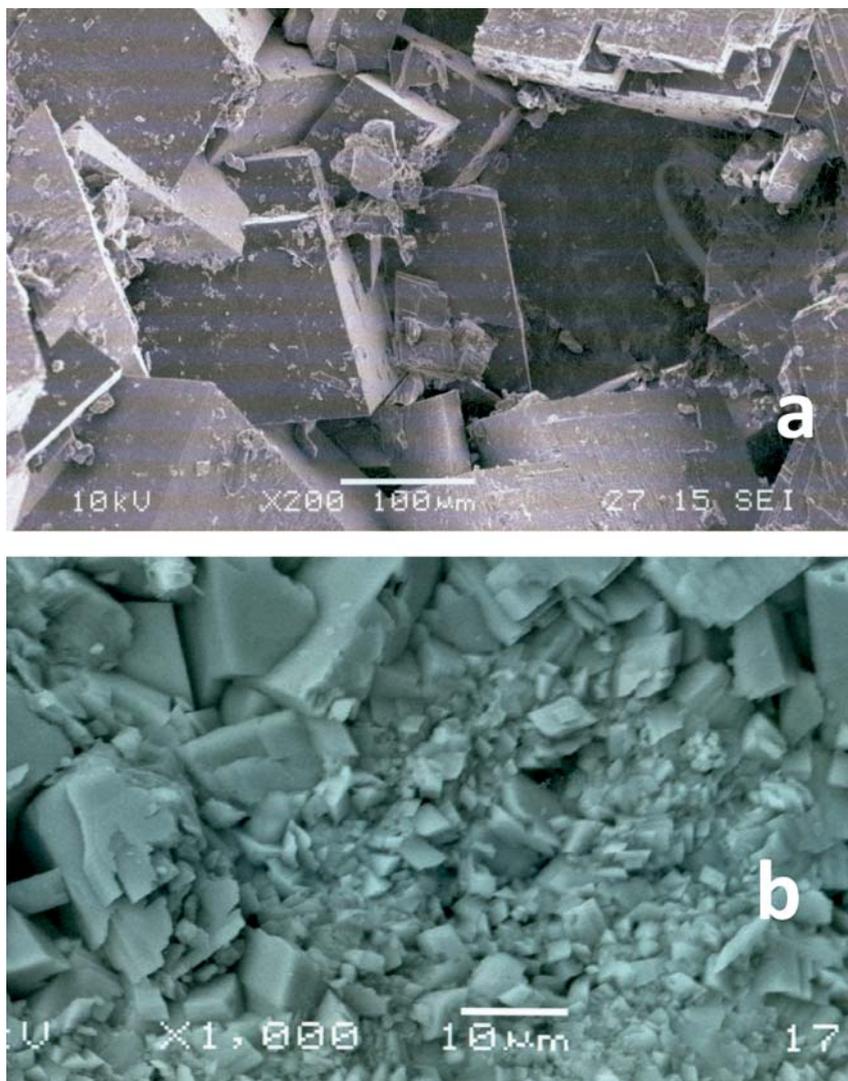


Fig. 29 - Dolomia di Torra. Immagini SEM. Immagine a) = cristalli che delimitano una porosità. Immagine b) = mosaici di varie dimensioni. I tratti bianchi sono in micron.

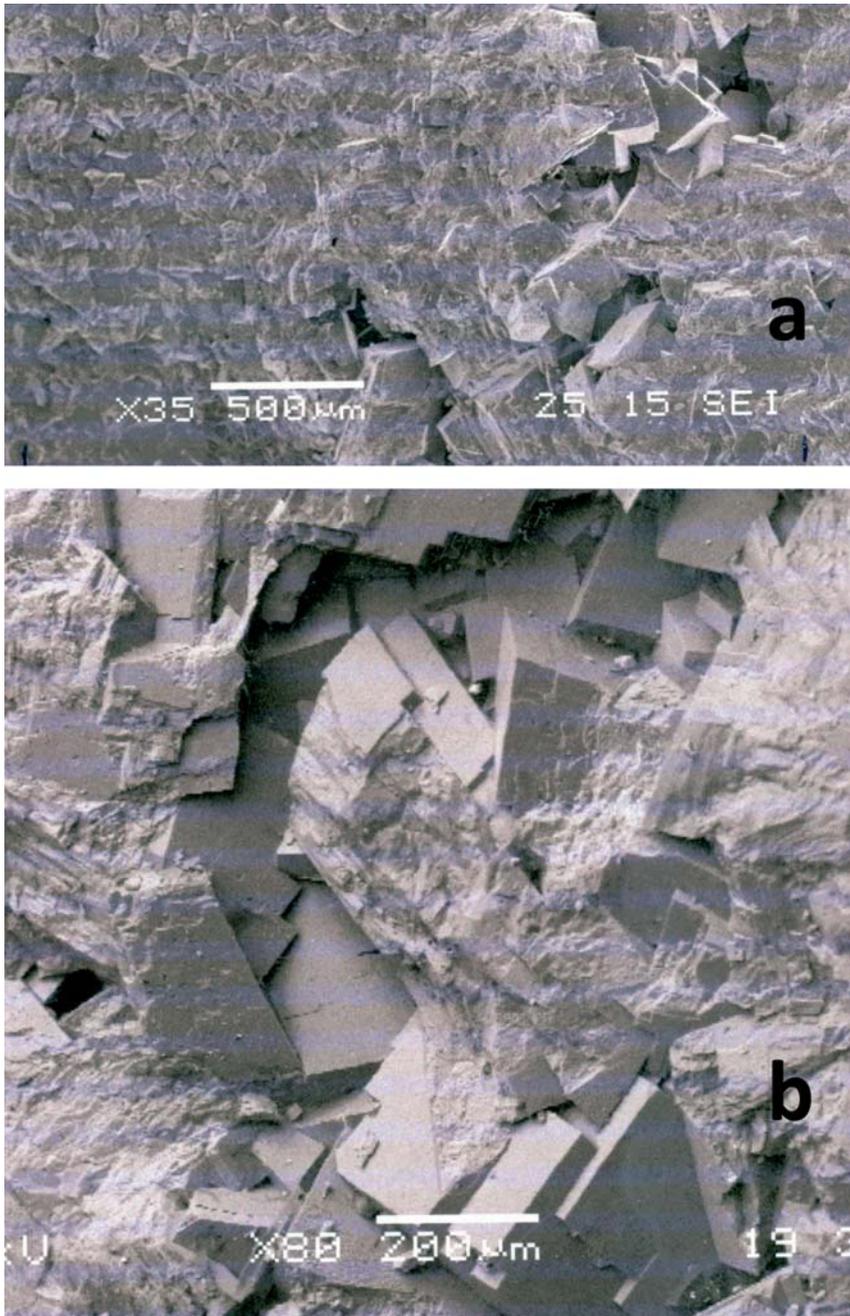


Fig. 30 - Dolomia di Torra. Immagini SEM. Immagine a) = cristalli di varie dimensioni. Immagine b) = cristalli che delimitano una porosità. I tratti bianchi sono in micron.

5. LE DOLOMIE DELLA MINIERA CONFRONTATE CON QUELLE PRESENTI NELLE DOLOMITI ORIENTALI ED OCCIDENTALI

Andando circa 50 Km verso est dalla miniera di dolomia Rio Maggiore si ritrovano le Dolomiti orientali, rinomate e studiate da oltre due secoli ed ora protette dall'Unesco. L'età è tipicamente triassica con sedimenti di mare poco profondo che appartengono alla piattaforma di Trento. Gli originari sedimenti erano fatti da carbonato di calcio (calcite) poi trasformato in carbonato doppio di calcio e magnesio (dolomite) in fase diagenetica per azione dell'acqua marina ricca di magnesio. Lo studio geologico più completo di questa area è di LEONARDI (1967). Gli aspetti sedimentologici ed in particolare quelli riguardanti la dolomitizzazione sono stati trattati da BOSELLINI (1965, 1967, 1984); BOSELLINI & HARDIE (1985); HARDIE, BOSELLINI & GOLDHAMMER (1986); MUNDIL, ZÜHLKE, BECHSTÄDT, PETERHÄNSEL, EGENHOFF, OBERLI, MEIER, BRACK & RIEBER (2003); PURSER, TUCKER & ZENGER (1994); WILSON, HARDIE & PHILLIPS (1990). Sull'argomento della dolomitizzazione vi è vasta letteratura, anche più recente, come ad esempio in BRAITHWAITE, RIZZI & DARKE (2004). Anche le Dolomiti occidentali (Gruppo di Brenta), ora sotto la protezione dell'Unesco, sono triassiche ed originariamente di mare basso. Il Gruppo di Brenta è distante circa 15 Km a SW della miniera Rio Maggiore. Gli autori che hanno studiato la dolomitizzazione delle Dolomiti occidentali sono: SANDER (1936), FRISIA (1994), IANNACE & FRISIA (1994).

Le strutture ritrovate nelle dolomie triassiche di mare poco profondo delle Dolomiti orientali ed occidentali sono analoghe a quelle ritrovate nelle dolomie giurassiche di mare poco profondo della miniera Rio Maggiore presso i paesi di Taio e Vervò in Val di Non. Ovunque vi sono m-ritmiti, mm-ritmiti, brecce dolomitiche, dolomie organogene, dolomie geopetali, dolomie cristalline senza più residui della originaria struttura, talora porose come tutte le dolomie presenti nei vari continenti. Nelle dolomie triassiche vi sono sedimentazioni ritmiche attribuite ai cicli astronomici di Milankovich (MUNDIL *et al.*, 2003).

I sedimenti triassici delle Dolomiti orientali ed occidentali e della parte inferiore della Dolomia di Torra ritrovata in miniera sono di mare poco profondo e per tutte dovrebbero valere i concetti sulla dolomitizzazione espressi dai vari Autori sopra citati. Nella parte superiore della Dolomia di Torra vi sono nella miniera sedimenti giurassici, in base ai fossili, di mare pelagico con acque profonde anche 1000 metri con Ammoniti e Tintinnidi che appaiono dolomitizzati. La dolomitizzazione è localmente presente anche nei sedimenti pelagici giurassici della

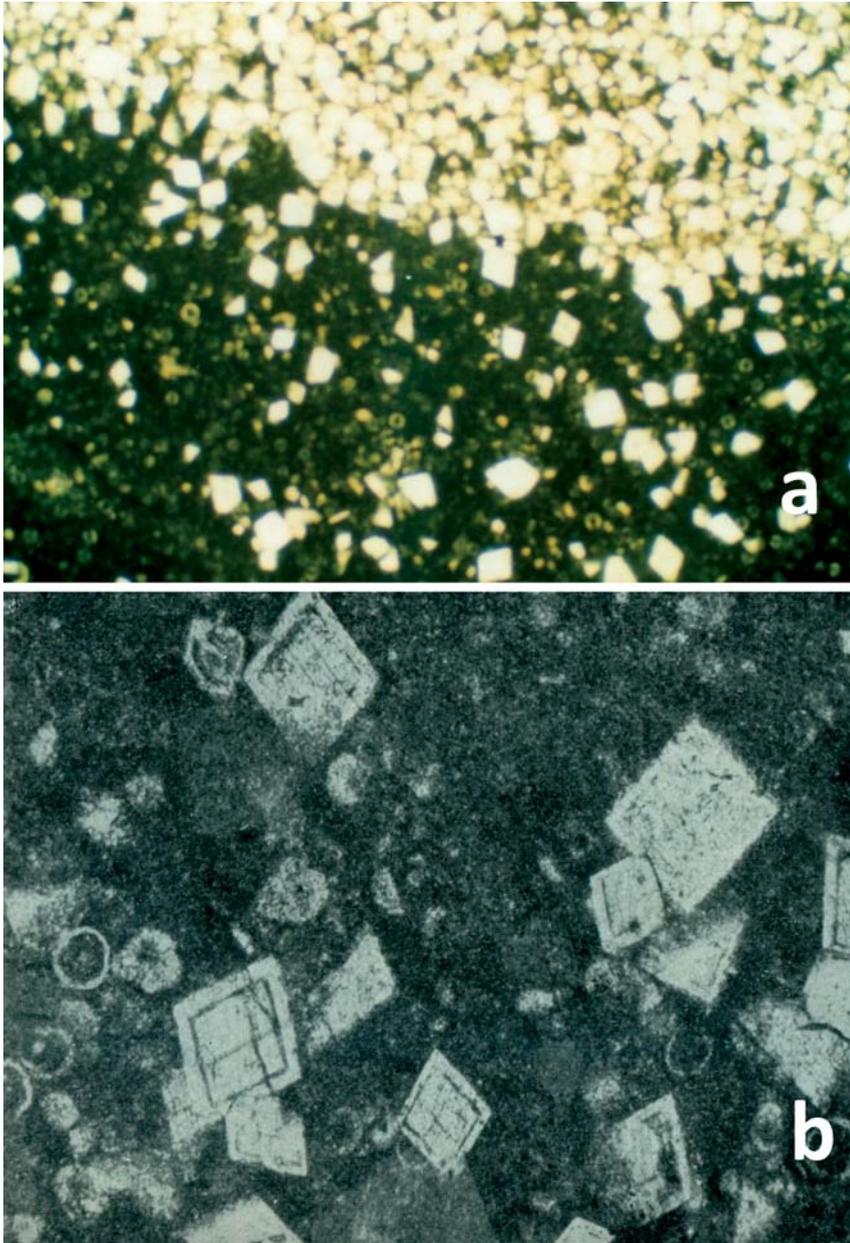


Fig. 31 - Dolomitizzazione in calcari giurassici depositi in mare profondo. Immagine a) = fronte di cristalli rombici di dolomite che avanzano nell'Ammonitico Rosso calcareo. Immagine b) = cristalli rombici di dolomite nei calcari a Tintinnidi. Nicols incrociati, 40x.

Valle di Non orientale ed in varie altre località della piattaforma di Trento (FUGANTI & MOSNA, 1963). La figura 31 mostra esempi di dolomitizzazione dei calcari di mare profondo della piattaforma di Trento. SPENCER-CERVATO (1991) considera che la dolomitizzazione in questi sedimenti sia avvenuta perchè le condizioni marine erano influenzate dalla presenza di un magmatismo sottomarino. La dolomitizzazione è così chiamata idrotermale.

6. PROPRIETÀ FISICHE DELLA DOLOMIA

Per proprietà fisiche della dolomia si intendono porosità, densità, permeabilità, conducibilità termica, calore specifico. Dove la cancellazione delle strutture originarie nel sedimento calcitico è stato oblitterato dalla dolomitizzazione, più frequenti sono i vuoti e quindi la porosità. Fra il 2009 ed il 2012 sono stati analizzati vari campioni di Dolomia di Torra senza fratture. Risulta che la porosità varia da 1,75 a 3,73%. La densità è compresa fra 2,73 e 2,77 g/cm³. La permeabilità della dolomia dipende dalla porosità e dalle discontinuità della massa rocciosa. La roccia contiene superfici di discontinuità considerate di estensioni infinite che suddividono gli strati con potenze variabili da poche centimetri a due metri circa. Tali superfici sono di origine sedimentaria ed hanno una direzione circa N-S con immersione ad ovest di 5°-10°. Esistono poi le discontinuità di origine tettonica. Esse sono normali alla stratificazione dovuta alle compressioni orogenetiche dirette secondo N-S. La massa è attraversata dai seguenti sistemi di discontinuità subverticali, senza spostamenti reciproci delle pareti di roccia delimitate dalla frattura stessa.

- Sistema orientato verso SE-NW
- Sistema orientato verso E
- Sistema orientato verso NE-SW
- Sistema orientato verso N

Esistono anche faglie quando vi è lo spostamento delle due parti di roccia rispetto al piano di rottura. L'intersezione dei piani di stratificazione sedimentari con i piani di origine tettonica suddivide l'ammasso roccioso in volumi unitari statisticamente decimetrici (Fig. 32). Lungo i piani di discontinuità esistono fenomeni di dissoluzione e di allargamento di origine carsica dimostrati da cavità e depositi di calcite sulle superfici dolomitiche. La permeabilità è l'attitudine di un corpo a lasciarsi attraversare dall'acqua sotto l'effetto di un gradiente idraulico.

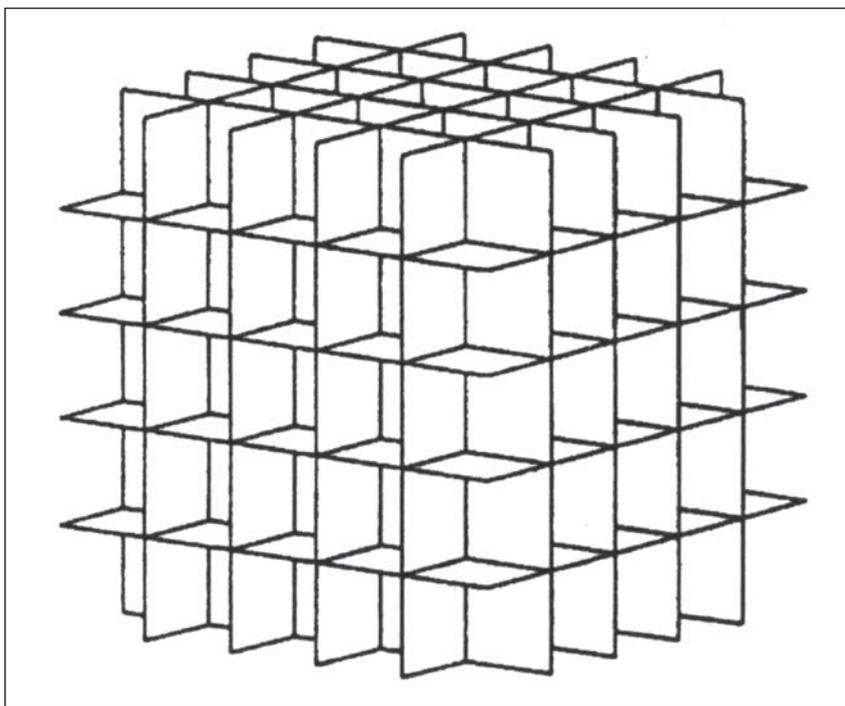


Fig. 32 - Schema della suddivisione della Dolomia di Torra attraversata da piani di stratificazione di origine sedimentaria e da fratture subverticali di origine tettonica.

Essa esprime la resistenza del mezzo al deflusso dell'acqua che lo attraversa ed è misurato con il coefficiente di permeabilità K . Esso è definito dalla legge di Darcy. Il coefficiente K è stato misurato attraverso le prove di portata. PURSER *et al.* (1994) trattano la natura, le origini e l'evoluzione delle porosità delle dolomie, argomento di grande interesse sia dal punto di vista petrolifero che idrogeologico. EIKEVIK *et al.* (2012) hanno dedicato particolari studi sulla proprietà della Dolomia di Torra.

7. LA CIRCOLAZIONE DEL BITUME

Durante il rilevamento geologico dell'area della miniera e zone circostanti, sono stati trovati in diverse località stillicidi di olio da rocce appartenenti alla Dolomia di Torra. Le manifestazioni maggiori sono in vicinanza di faglie dirette. L'olio è molto viscoso, nero e completamente solubile in solfuro di carbonio, pertanto classificabile come un bitume.

Il bitume esce dai giunti di strato o dalle diaclasi della dolomia cristallina le cui sottili fessure e porosità sono anch'esse riempite da minerale. L'analisi chimica di questa roccia dolomitica (idrocarburi esclusi) affiorante nella maggiore manifestazione presso Tres (Fig. 33) ha dato i seguenti risultati:

SiO ₂	2,01%
CaCO ₃	55,38%
MgCO ₃	42,60%
Fe ₂ O ₃	0,05%

Il fenomeno dimostra che la massa rocciosa è porosa e permeabile. L'origine del bitume affiorante in superficie ed in galleria va ricercata nei livelli di roccia bituminosa ritrovata dal sondaggio petrolifero Coredo 1 del 1959. Detta perforazione ha trovato roccia bituminosa (roccia madre per gli idrocarburi) nelle formazioni del Cretaceo inferiore e del Triassico (Figg. 34, 35). Dalla storia risulta che nel Rinascimento il bitume di Tres era venduto a Venezia per le navi.

8. L'IDROGEOLOGIA DELL'AREA DELLA MINIERA E ZONE CIRCOSTANTI

Si distinguono la situazione entro l'area della miniera e le zone circostanti che includono i paesi di Taio e Dardine. In entrambe le zone si evidenziano sorgenti carsiche, sorgenti lungo la faglia regionale e la falda presente nelle dolomie in parte carsificate. Questa falda è sbarrata dalla faglia che mostra ad ovest calcari marnosi impermeabili. Tutto il sistema idrogeologico è condizionato dalle precipitazioni (neve nei mesi invernali e pioggia nei restanti). Si presentano i dati delle precipitazioni a Cles, capoluogo della Valle di Non, distante circa 10 Km dalla miniera, fra il 2004 ed il 2012 nell'intervallo della attività mineraria che continua tuttora.

ANNO	PRECIPITAZIONI A CLES (mm)	ANNO	PRECIPITAZIONI A CLES (mm)
2004	851.6	2009	1124
2005	731.4	2010	1343
2006	656.2	2011	829.2
2007	767.2	2012	1134.8
2008	1498.2		

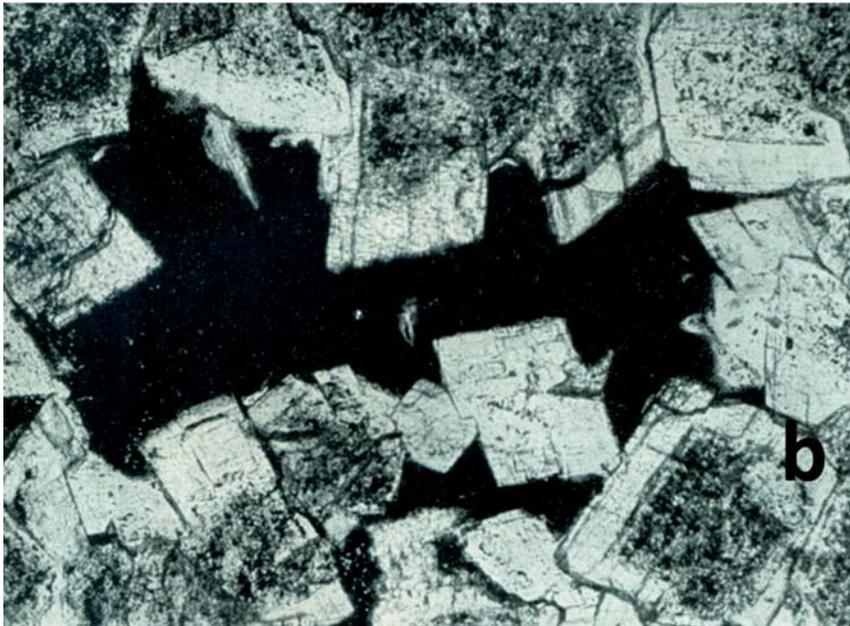
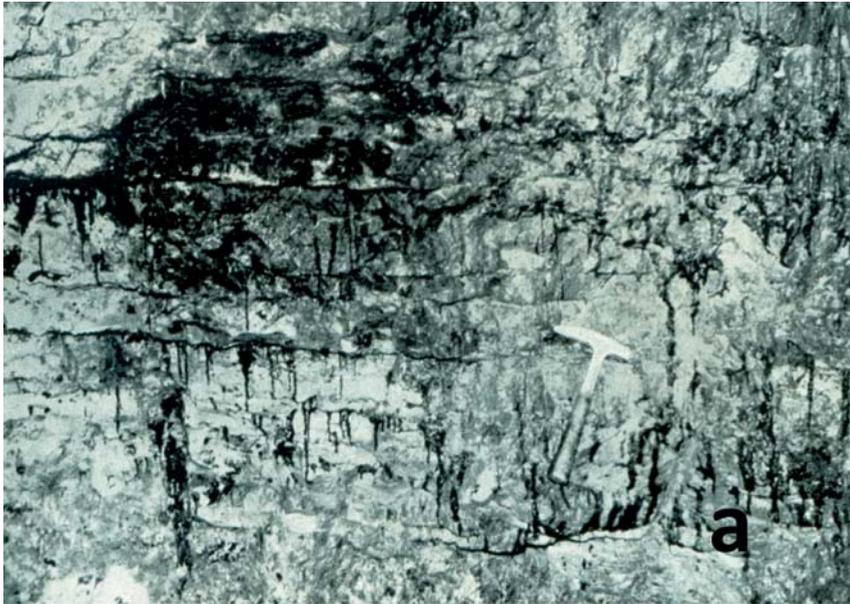


Fig. 33 - Dolomia di Torra. Immagine a) = affioramenti di bitume in località Bus della Pegola presso Tres. Immagine b) = porosità nella dolomia riempita da bitume. Nicols paralleli, 50x.

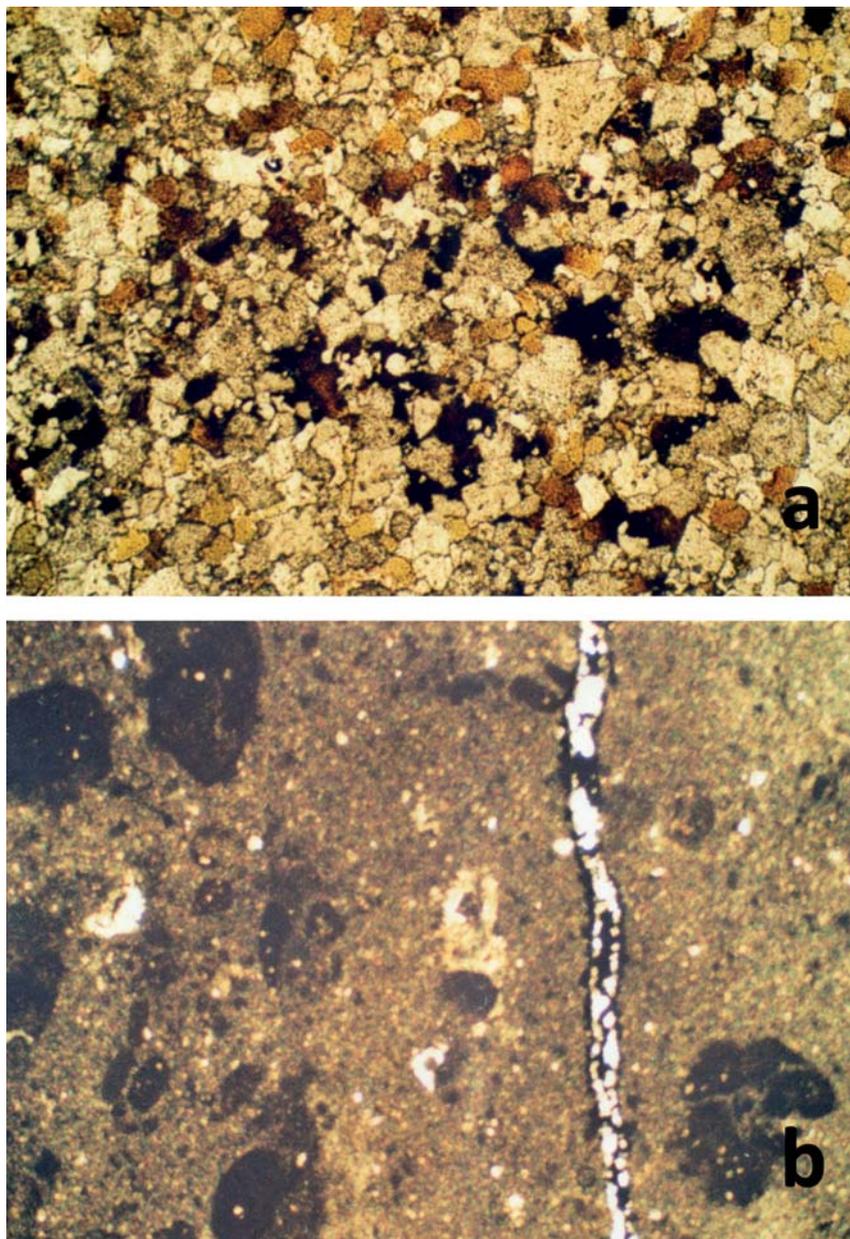


Fig. 34 - Dolomia di Torra. Immagine a) = mosaico dolomitico con bitume nella miniera. Nicols incrociati, 30x. Immagine b) = filoncello di bitume entro breccia dolomitizzata nella miniera. Nicols paralleli, 30x.

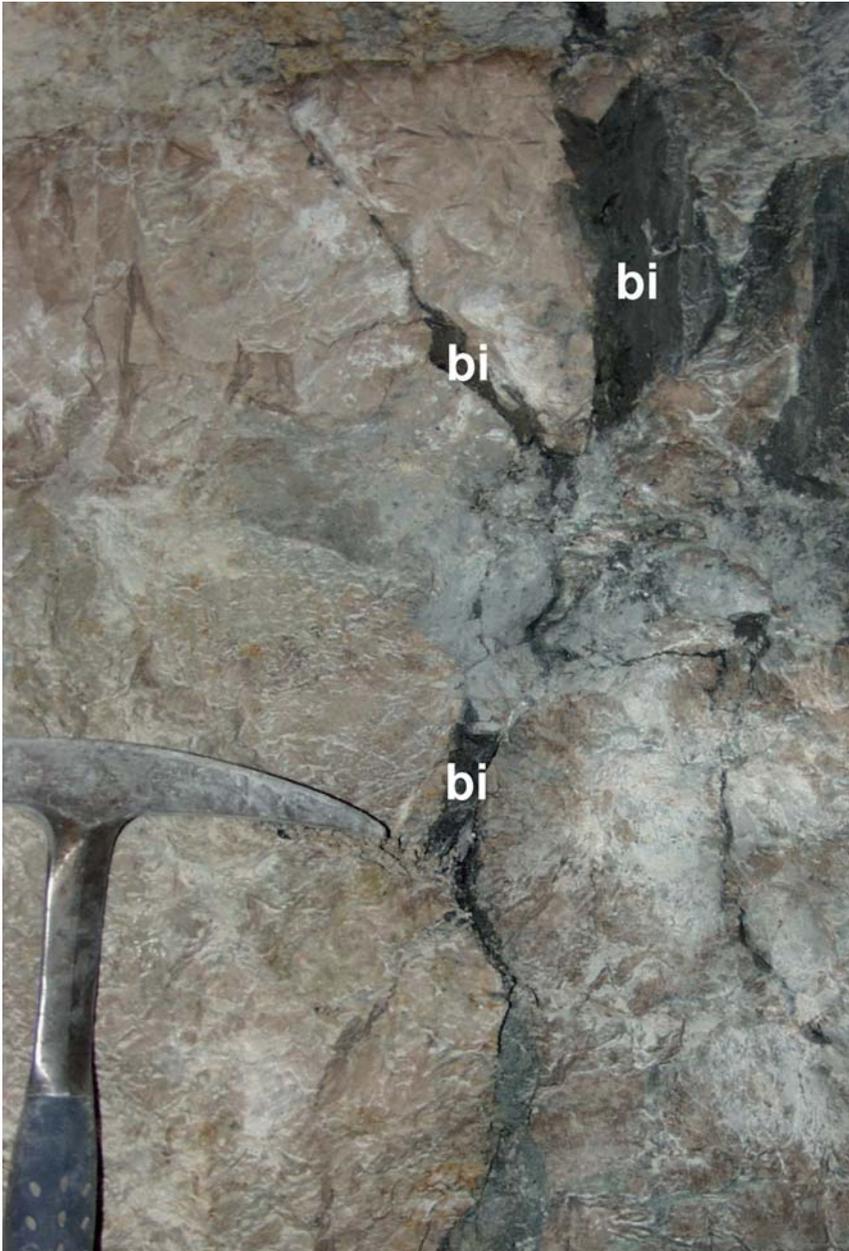


Fig. 35 - Dolomia di Torra. Faglia riempita da bitume (bi) nella miniera di dolomia.

Le precipitazioni sono la ricarica delle sorgenti e degli acquiferi. Considerando l'evapotraspirazione, il ruscellamento ed il carsismo si ritiene che almeno il 35% delle precipitazioni siano penetrate in profondità.

La Fig. 36 mostra l'ubicazione delle sorgenti e dei pozzi scavati fra il 2005 ed il 2012 sia nelle zone della miniera che nelle zone circostanti. Sono riportate anche le quote in metri sul livello del mare della testa dei pozzi, nonché la lunghezza della perforazione che giunge fino a 230 metri. Tutte le perforazioni sono state in dolomia interessando, oltre alle dolomie giurassiche, anche quelle triassiche che sono pertanto risultate sede di acquiferi freatici non solo nelle zone qui considerate ma anche più a nord come presso i paesi di Cavareno e di Sarnonico dove i pozzi hanno le teste sui 1000 m s.l.m., ritrovando acque potabili alle profondità di 150-200 m. Nell'area della miniera e nelle zone circostanti il tetto della falda ha oscillazioni condizionate dalle precipitazioni. Il massimo della falda è stato ritrovato alla quota di 550 m s.l.m. evidenziando venute d'acqua in corrispondenza di piani di stratificazione e fratture carsificate.

La Fig. 37 mostra l'area di ricarica e la struttura di scarico della falda che occupa le dolomie. L'area di ricarica è compresa fra la grande faglia che delimita il graben e lo spartiacque che ad est delimita il confine fra la Valle di Non e la Valle dell'Adige. In questa area gli strati hanno direzione variabile con continuità fra NE-SW e N-S generando un sinclinorio favorevole al convogliamento delle acque fino al contatto per faglia con le marne impermeabili. Nella figura vi è anche la spiegazione di come avviene la circolazione nelle dolomie e come avviene lo scarico della falda che si disperde verso il basso nelle miloniti della faglia, indagata con una specifica perforazione (pozzo 2). L'acqua si ritrova nelle dolomie e nei calcari del graben della valle indagata dal pozzo petrolifero Agip alla fine degli anni '50 (ENI, 1970).

8.1 *L'area della miniera*

L'area della miniera ha sorgenti e pozzi di emungimento e solamente esplorativi.

La Fig. 38 mostra la struttura della sorgente 1, tipicamente carsica, e della sorgente 2 alimentata dalla grande falda che occupa le dolomie. La sorgente 1 fra l'aprile 2009 e il marzo 2010 ha portate inferiori a 1 L/min; talora la sorgente è asciutta. Ora non è utilizzata. Emerge da un piano di strato dolomitico carsificato depositando travertino calcitico (Fig. 39). La sorgente 2 è alimentata da perforazioni suborizzontali entro la dolomia che trasuda acqua lungo le fratture. Ha portate medie sui 3 L/s a

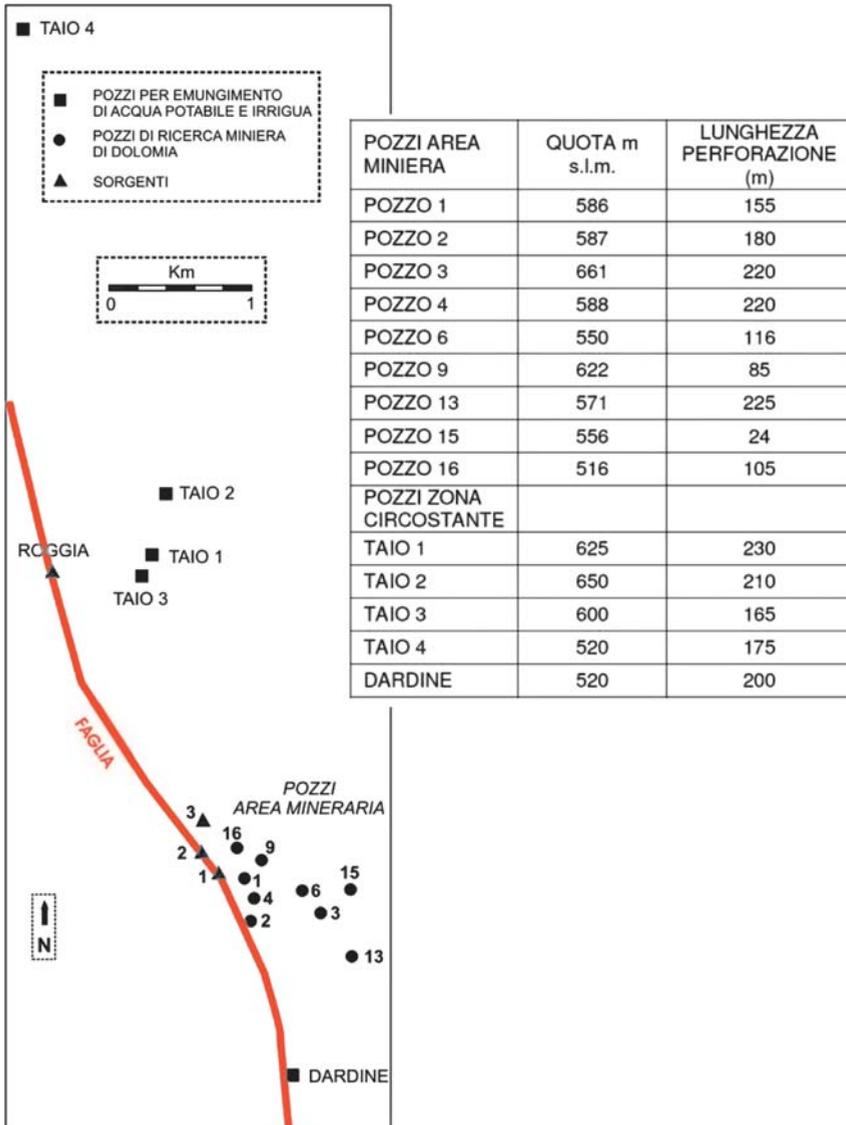


Fig. 36 - Ubicazione delle sorgenti e dei pozzi dell'area mineraria e delle zone circostanti. Quota delle teste pozzo e della lunghezza delle perforazioni. Le quote della falda fra il 2004 ed il 2012 oscillano naturalmente fra 544 e 550 m s.l.m. Il pompaggio di 8 L/s nel pozzo 13 fa abbassare il tetto della falda di circa 2,5 m.

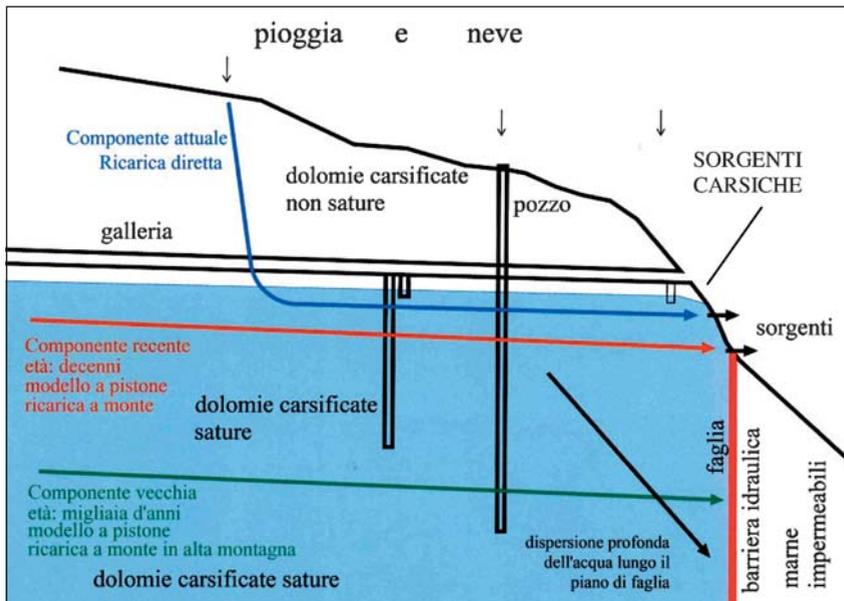
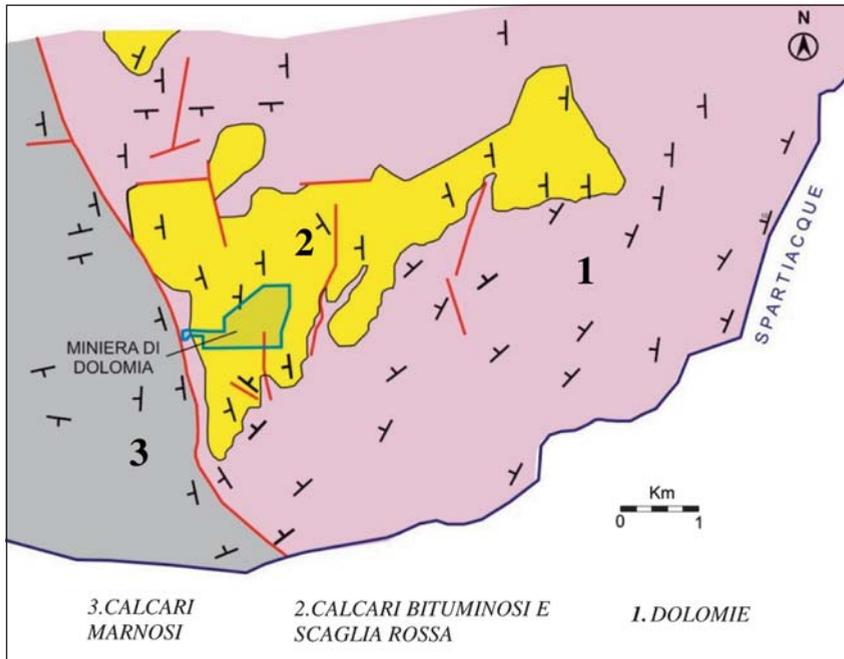


Fig. 37 - Schizzo che mostra i flussi delle differenti componenti delle acque sotterranee circolanti al di sotto delle gallerie della miniera di dolomia. In alto il bacino di ricarica; in basso lo schema della discarica.

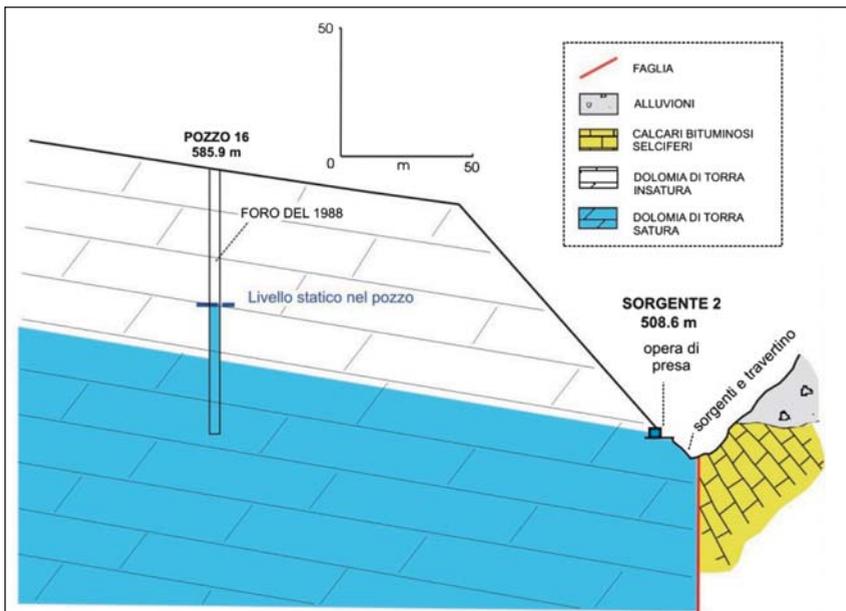
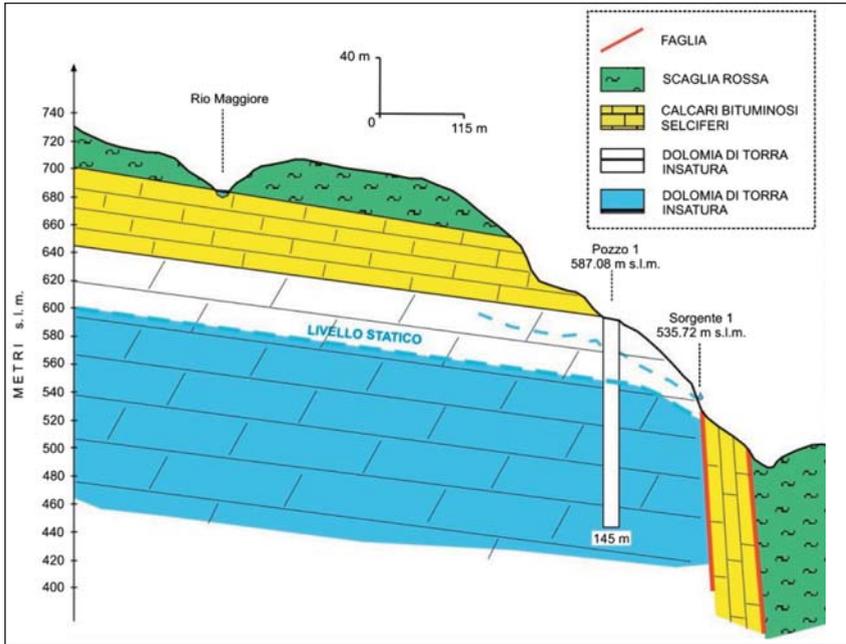


Fig. 38 - Profili idrogeologici in corrispondenza delle sorgenti 1 e 2 e della falda nei pozzi 1 e 16. Nel pozzo 16 la falda è in pressione.

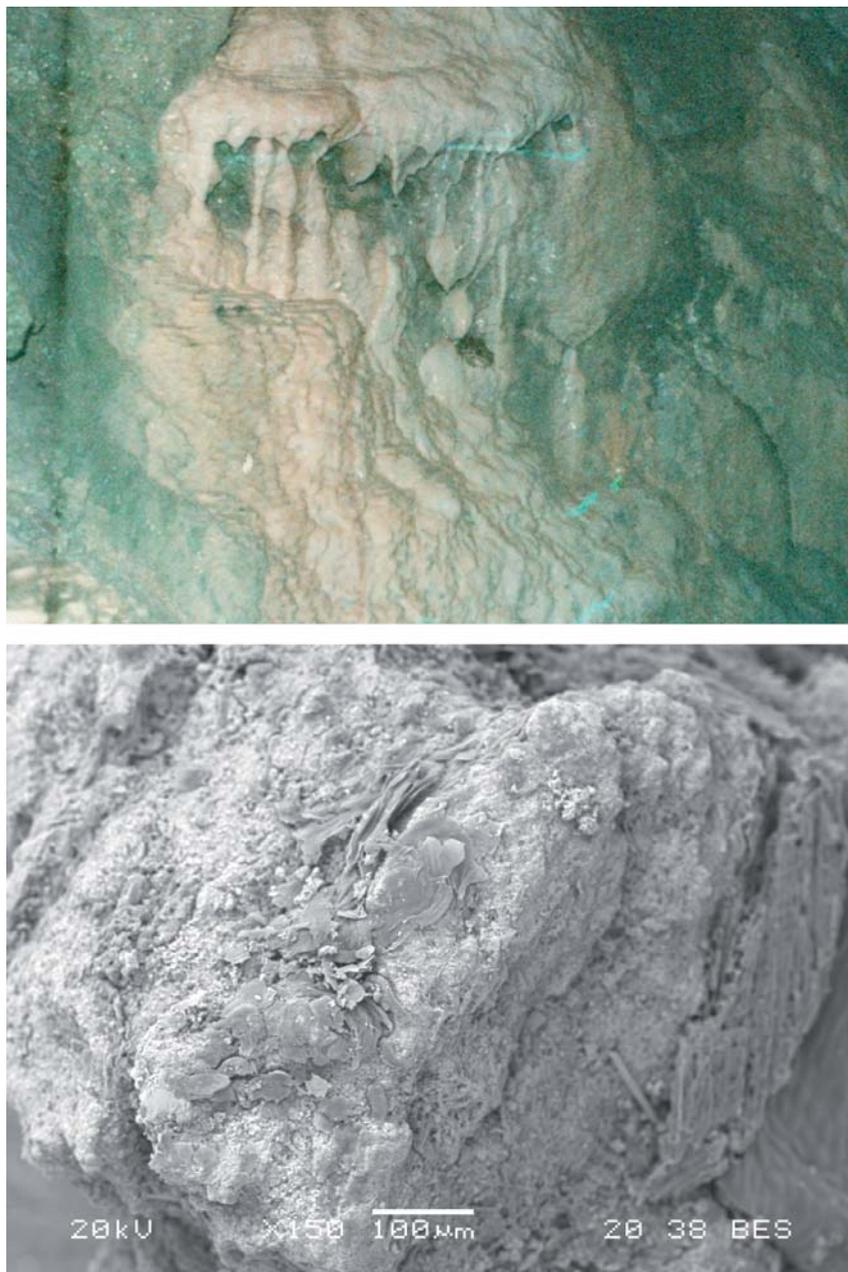


Fig. 39 - Sorgente carsica 1. Depositi di travertino alla sorgente. Lo stesso travertino visto al microscopio a scansione.

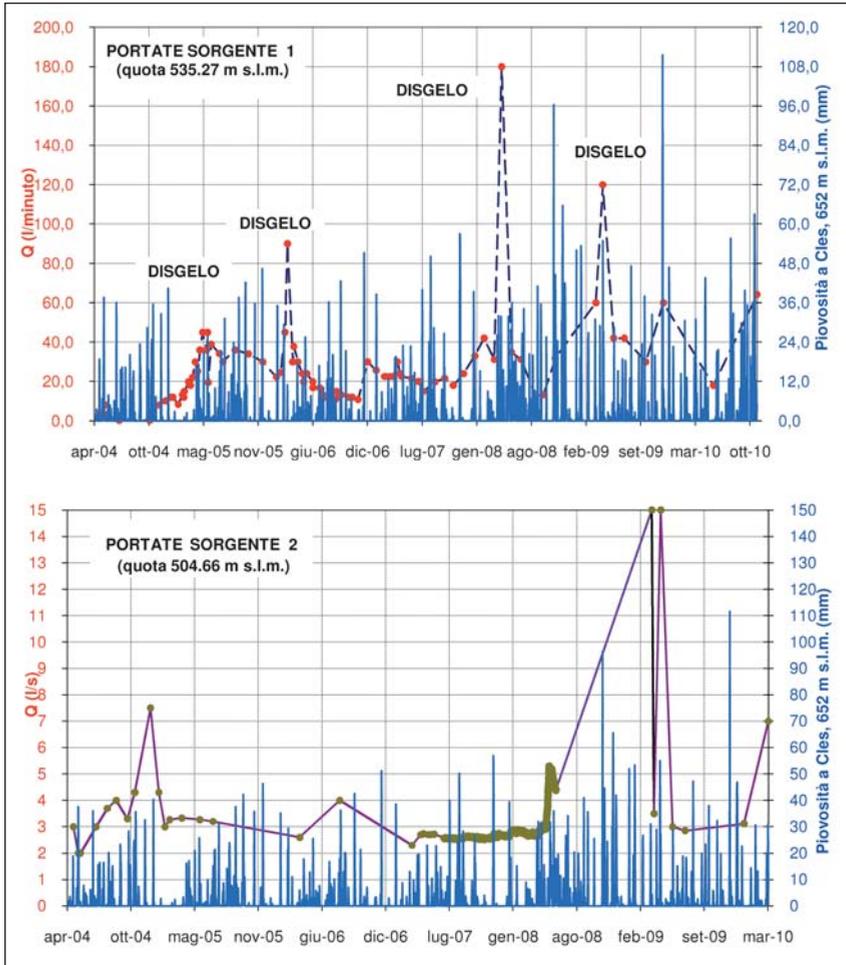


Fig. 40 - Variazioni di portata delle sorgenti 1 e 2 confrontate con la pioggia a Cles fra l'aprile 2004 ed il marzo 2010. Evidenziati i massimi in corrispondenza del disgelo.

seconda delle precipitazioni. Ha portate massime fino a 15 L/s in occasione del disgelo e di forti piogge. La sorgente deposita travertino; l'acqua è potabile ed alimenta l'acquedotto comunale. La Fig. 40 mostra le oscillazioni. Presso la sorgente 3 vi sono tre polle drenate da sondaggi in dolomia chiamati 3A, 3B, 3C di analoga origine con portate complessive di 2 L/s pure usata per l'acquedotto comunale. Le Tab. 1 e 2 mostrano rispettivamente le analisi chimiche delle sorgenti 1 e 2. La sorgente 1 ha analisi in tutte le quattro stagioni; risulta che i valori minori (393 $\mu\text{S}/\text{cm}$) della conducibilità sono in gennaio, mentre quelli maggiori (753 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sono in primavera. Ciò vale anche per i contenuti di calcio, magnesio, sodio, potassio, cloruri, nitrati. Gli elementi traccia importanti sono il bario e lo stronzio, a dimostrazione che le acque provengono da rocce carbonatiche. La sorgente 2 ha analisi in tutte le quattro stagioni; risulta che i valori della conducibilità sono molto simili oscillando fra 377 e 394 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Anche gli elementi maggiori (cationi ed anioni) sono relativamente costanti.

PARAMETRI CHIMICI	U.M.	Sorgente 1						
Data	-	03/4/04	19/10/04	11/12/04	15/2/05	30/6/05	24/1/06	
pH	-	7.10	7.70	7.93	7.90	7.68	6.97	
Conducibilità el. spec. a 20 °C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	753.00	614.00	738.00	651.00	530.00	393.00	
Alcalinità	mg/l	345.90	303.40	329.00	353.10	287.80	195.00	
Fluoruri	mg/l	0.20	0.11	0.18	0.14	0.10	0.05	
Cloruri	mg/l	4.00	3.20	4.20	5.30	3.40	3.00	
Nitrati	mg/l	12.70	7.60	12.40	10.50	7.40	6.40	
Nitriti	mg/l	0.00	< 0.02	< 0.02	0.20	< 0.02	/	
Ammoniacca	mg/l	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.2	< 0.20	< 0.2	
Ortofosfati	mg/l	/	< 100.00	< 100.00	< 100.00	< 100.00	< 100.00	
Solfati	mg/l	176.10	122.80	172.70	129.30	74.00	69.30	
Sodio	mg/l	5.80	4.90	6.40	5.70	3.90	3.80	
Potassio	mg/l	2.20	1.50	2.00	1.40	1.20	1.20	
Calcio	mg/l	110.50	84.90	112.40	101.50	70.00	51.20	
Magnesio	mg/l	37.50	33.90	39.80	35.60	29.90	27.90	
Alluminio	$\mu\text{g}/\text{l}$	9.70	9.40	8.80	11.70	15.70	31.50	
Antimonio	$\mu\text{g}/\text{l}$	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	
Argento	$\mu\text{g}/\text{l}$	< 0.15	< 0.15	< 0.15	< 0.20	< 0.20	< 0.20	
Arsenico	$\mu\text{g}/\text{l}$	2.50	4.20	2.50	4.40	4.50	3.20	
Bario	$\mu\text{g}/\text{l}$	79.60	70.30	94.70	112.30	64.40	26.50	

Berillio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
Cadmio	µg/l	0.10	0.10	< 0.20	0.10	< 0.20	< 0.20
Cobalto	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
Cromo	µg/l	< 0.30	< 0.30	< 0.30	0.70	< 0.30	0.50
Ferro totale	µg/l	0.80	< 0.50	1.10	4.30	< 0.50	2.00
Litio	µg/l	2.10	3.80	2.10	6.00	2.00	0.80
Manganese	µg/l	< 0.10	< 0.10	< 0.10	0.90	0.20	0.10
Molibdeno	µg/l	19.50	17.40	19.30	21.10	< 0.25	9.10
Nichel	µg/l	4.20	1.70	2.70	1.70	0.90	1.30
Piombo	µg/l	< 1.00	1.00	< 1.00	< 0.50	0.60	1.30
Rame	µg/l	5.70	4.90	5.80	7.20	3.20	4.50
Selenio	µg/l	14.50	12.00	16.00	15.10	10.20	6.90
Stagno	µg/l	0.90	2.30	0.90	1.60	3.30	0.10
Stronzio	µg/l	757.20	44.50	761.50	654.70	275.94	281.50
Tallio	µg/l	< 1.00	< 1.0	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.0
Titanio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
Vanadio	µg/l	1.10	2.10	1.50	1.50	2.50	2.30
Zinco	µg/l	1.70	2.00	< 0.10	2.70	0.70	2812.60

Tab. 1 - Analisi chimiche delle acque della sorgente 1 dall'aprile 2004 al gennaio 2006.

PARAMETRI CHIMICI	U.M.	Sorgente 2					
		12/07/98	08/04/04	29/10/04	15/02/05	30/06/05	13/04/07
Data	-						
pH	-	7.60	7.54	7.70	7.70	7.55	7.60
Conducibilità el. spec. a 20 °C	µS/cm	394.00	386.00	377.00	384.00	385.00	386.00
Alcalinità	mg/l	264.00	289.90	261.70	284.90	269.40	266.80
Fluoruri	mg/l	0.00	0.10	0.08	0.08	0.08	0.05
Cloruri	mg/l	1.30	1.80	1.50	1.80	2.30	2.20
Nitrati	mg/l	3.70	3.50	3.40	4.50	4.50	4.37
Nitriti	mg/l	assenti	0.00	< 0.02	0.20	< 0.02	< 0.02
Ammoniaca	mg/l	/	0.00	< 0.20	< 100.00	< 0.20	< 0.05
Ortofosfati	mg/l	/	/	< 100.00	8.50	< 100.00	< 80.00
Solfati	mg/l	5.20	6.50	6.30	1.20	8.30	7.80
Sodio	mg/l	1.25	1.30	1.10	0.80	1.40	1.23
Potassio	mg/l	/	0.70	0.70	57.20	1.00	0.75
Calcio	mg/l	50.10	49.30	54.30	57.20	57.10	54.32
Magnesio	mg/l	22.30	21.90	21.70	22.80	22.60	23.26
Alluminio	µg/l	/	17.00	3.50	< 0.50	2.30	7.4
Antimonio	µg/l	/	< 0.50	< 0.50	< 0.20	< 0.50	< 1.0

Argento	µg/l	/	0.20	< 0.20	2.80	< 0.20	<0.1
Arsenico	µg/l	/	2.40	3.70	2.80	4.40	1.7
Bario	µg/l	/	52.00	47.50	65.60	59.17	52.0
Berillio	µg/l	/	< 0.50	< 0.50	< 0.20	< 0.50	<0.1
Cadmio	µg/l	/	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	<0.1
Cobalto	µg/l	/	0.20	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.3
Cromo	µg/l	/	0.30	< 0.30	< 0.30	< 0.30	0.30
Ferro totale	µg/l	/	< 0.50	< 0.50	1.40	< 0.50	<2
Litio	µg/l	/	0.40	0.20	0.80	1.00	2.4
Manganese	µg/l	/	0.20	< 0.10	0.10	0.20	<0.5
Molibdeno	µg/l	/	0.30	1.40	6.30	< 0.25	0.50
Nichel	µg/l	/	0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	<0.5
Piombo	µg/l	/	< 1.00	< 0.50	< 0.50	1.00	0.6
Rame	µg/l	/	2.70	3.10	3.30	2.90	3.6
Selenio	µg/l	/	3.50	5.20	6.00	6.80	2.4
Stagno	µg/l	/	0.90	2.10	0.90	2.10	<0.1
Stronzio	µg/l	/	86.80	81.20	105.30	99.04	84.9
Tallio	µg/l	/	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	<0.5
Titanio	µg/l	/	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	<0.5
Vanadio	µg/l	/	2.40	2.20	2.40	2.30	2.0
Zinco	µg/l	/	163.50	2.50	1.70	1.00	<0.3

Tab. 2 - Analisi chimiche delle acque della sorgente 2 dal luglio 1998 all'aprile 2007.

Nell'area della miniera sono stati eseguiti numerosi pozzi di ricerca e di emungimento. I pozzi considerati sono siglati 1, 2, 3, 4, 6, 9, 13, 15 e 16 (Fig. 36). La detta figura contiene le quote della bocca pozzo, comprese fra 516 e 622 m s.l.m., nonché la loro profondità compresa fra 24 e 225 metri. Si riportano le variazioni dei livelli di falda (Figg. 41, 42, 43, 44) in periodi variabili a seconda del momento delle perforazioni tutte eseguite con il metodo chiamato «martello fondo foro» senza bentonite e additivi specifici. Si nota che vi è lo sfasamento di circa un anno tra precipitazioni abbondanti ed innalzamento del livello della falda e viceversa. Mediante prove di pompaggio sono stati determinati alcuni parametri della falda, quali:

$$T=4,8 \times 10^{-3} \text{ m/s}; S=9,21 \times 10^{-6}; S_y=2,3 \times 10^{-4}.$$

I periodi di misura più lunghi sono fra l'autunno 2004 e il marzo 2013, quelli più brevi sono fra il maggio 2008 ed il marzo 2013. Confrontando i livelli con le precipitazioni annue risulta che gli anni 2004-2007 sono stati nettamente più poveri dei successivi (2008-2012). Le quote minori della falda si riscontrano nell'inverno, come nei pozzi 2, 3, 4, in

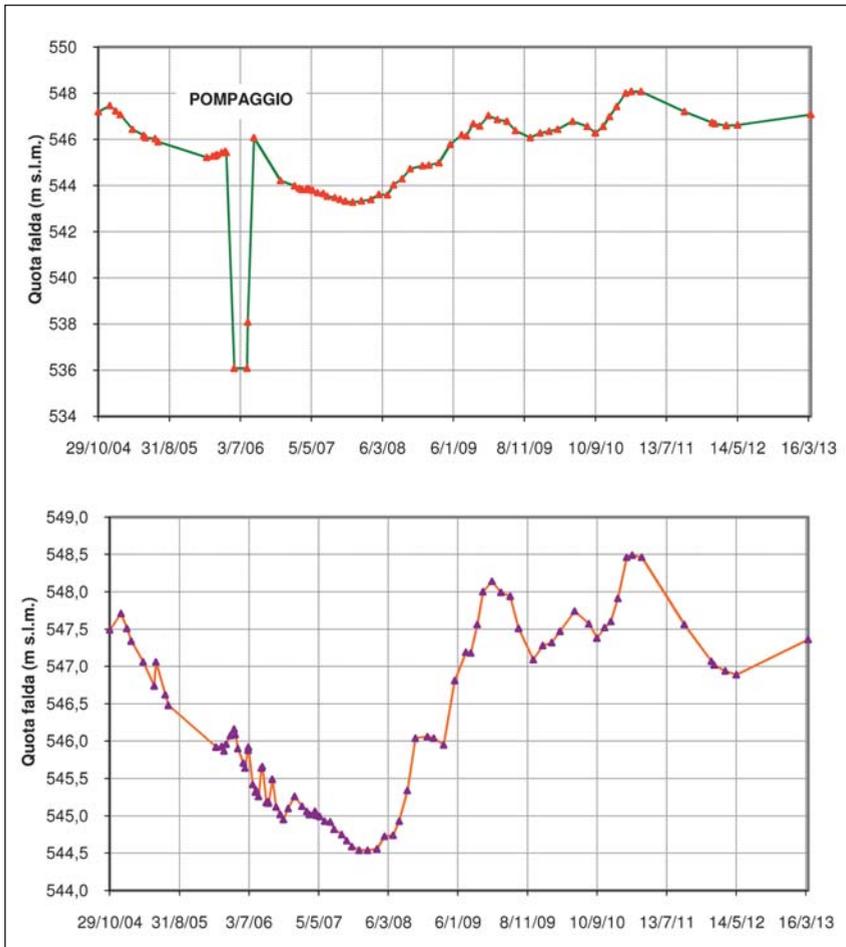


Fig. 41. Pozzi 1 e 2. Variazioni del livello della falda fra l'ottobre 2004 ed il marzo 2013.

estate (pozzi 13 e 15), in autunno (pozzo 6), in corrispondenza dei mesi quando la neve cade e permane, nonché in estate ed in autunno quando la pioggia è più scarsa. Le quote più elevate della falda sono avvenute durante il disgelo della neve in montagna avvenuto fra febbraio e giugno. Si deduce che la ricarica della falda avviene nelle aree della Predaia dove vi sono le quote più elevate della monoclinale, fino a 1700-1800 m s.l.m., ed il carsismo è più evidente con grandi doline, inghiottitoi, pozzi e cavità carsiche in generale, sviluppate sia nelle dolomie che nei sovrastanti calcari tardo giurassici. Le quote della falda oscillano natural-

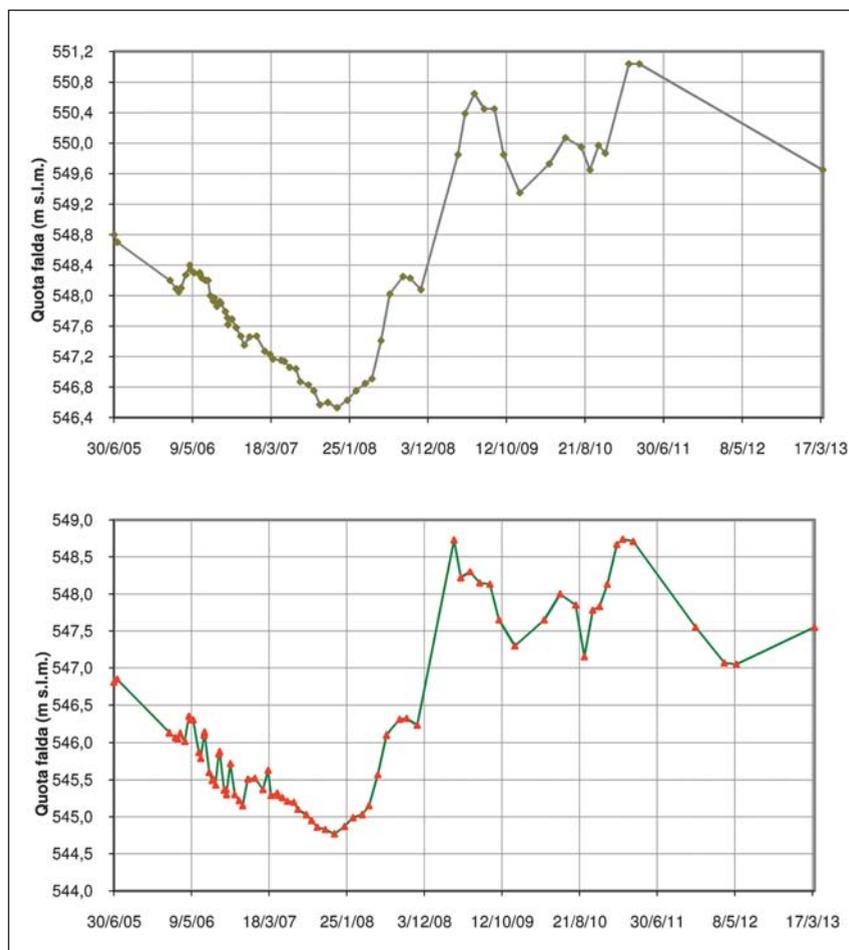


Fig. 42. Variazioni del livello della falda entro i pozzi 3 e 4 fra il giugno 2005 ed il marzo 2013.

mente fra il 2004 ed il 2012 fra 544 e 550 m s.l.m. Il pompaggio di 8 L/s fa abbassare il tetto della falda di 2,5 metri. In questo intervallo sono state fatte 6 analisi chimiche delle acque del pozzo 1 e 5 analisi del pozzo 2 (Tabb. 3 e 4). Nelle acque del pozzo 1 la conducibilità oscilla fra 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 336 $\mu\text{S}/\text{cm}$; il valore minore è ad inizio febbraio, quello massimo ad inizio aprile. Il pH oscilla fra 7,10 (aprile) e 7,80 (ottobre). L'alcalinità è compresa fra 210,70 mg/L (febbraio) e 249,60 mg/L ad aprile. Il calcio varia fra 25,70 mg/L (febbraio) e 43,43 mg/L (aprile) rimanendo circa costante anche negli altri mesi. Il magnesio rimane cir-

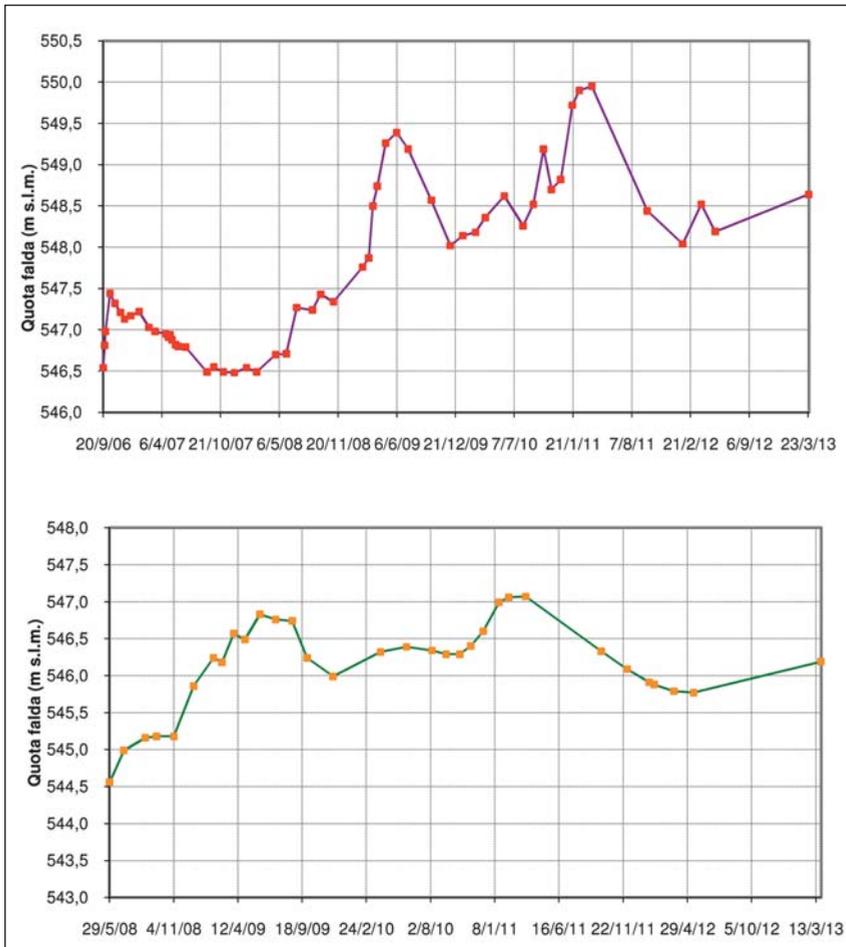


Fig. 43. Variazioni del livello della falda entro i pozzi 6 e 9 fra il settembre 2006 ed il marzo 2013.

ca costante fra 19,90 e 21,88 mg/L. I contenuti di fluoruri, cloruri, nitrati, solfati, sodio, potassio, sono fra 2,90 e minori di 1 mg/L. Gli elementi minori ($\mu\text{g/L}$) ed i metalli sono irrilevanti, ricordando che i più abbondanti sono lo stronzio (70 $\mu\text{g/L}$) ed il bario (23 $\mu\text{g/L}$). Se ne deduce che lo scioglimento delle nevi fra febbraio ed aprile è l'evento che più influisce sul chimismo delle acque. Ad analoghe conclusioni si giunge osservando anche le analisi delle acque del pozzo 2.

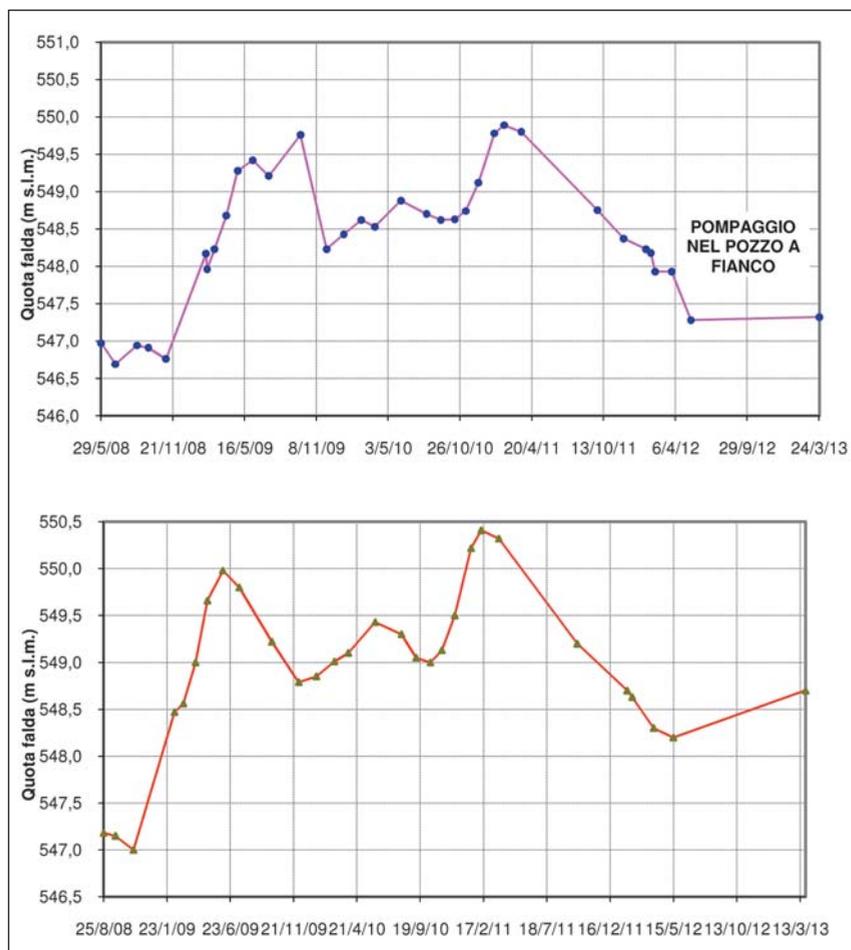


Fig. 44. Variazioni del livello della falda entro i pozzi 13 e 15 fra il maggio 2008 ed il marzo 2013.

PARAMETRI CHIMICI	U.M.	Pozzo 1					
		29/10/04	17/12/04	07/02/05	30/06/05	08/02/06	24/04/07
Data	-						
pH	-	7.80	7.75	7.50	7.59	7.40	7.10
Conducibilità el. spec. a 20 °C	µS/cm	326.00	324.00	318.00	315.00	260.00	336.00
Alcalinità	mg/l	251.80	223.50	245.60	229.90	210.70	249.60
Fluoruri	mg/l	0.08	0.06	0.08	< 0.05	0.06	0.03
Cloruri	mg/l	0.80	1.00	1.10	1.30	1.70	1.00
Nitrati	mg/l	1.50	1.70	1.80	1.80	1.60	1.62
Nitriti	mg/l	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Ammoniaca	mg/l	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.05
Ortofosfati	mg/l	< 100.00	< 100.00	< 100.00	< 100.00	< 100.00	< 80.00
Solfati	mg/l	2.60	2.70	2.60	3.00	2.60	2.9
Sodio	mg/l	0.80	0.90	0.70	0.80	1.00	0.71
Potassio	mg/l	0.70	1.00	0.70	0.70	1.30	0.71
Calcio	mg/l	42.90	43.00	44.80	45.10	25.70	43.43
Magnesio	mg/l	21.10	21.50	21.30	19.90	20.10	21.88
Alluminio	µg/l	9.20	26.60	4.20	8.50	18.00	5.8
Antimonio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 1.0
Argento	µg/l	< 0.20	< 0.20	< 0.15	< 0.20	0.20	< 0.1
Arsenico	µg/l	4.00	2.70	1.70	3.30	1.40	3.9
Bario	µg/l	21.40	20.60	29.30	26.97	17.85	23.0
Berillio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.1
Cadmio	µg/l	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.1
Cobalto	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.3
Cromo	µg/l	< 0.30	< 0.30	0.30	< 0.30	0.30	0.40
Ferro totale	µg/l	< 0.50	0.50	0.80	< 0.50	11.80	2
Litio	µg/l	0.10	0.20	0.90	0.40	0.30	2.6
Manganese	µg/l	1.50	0.20	< 0.10	0.40	1.20	< 0.5
Molibdeno	µg/l	0.90	0.70	0.50	< 0.25	0.92	0.50
Nichel	µg/l	1.80	0.90	< 0.50	0.90	1.70	1.2
Piombo	µg/l	65.80	24.00	< 0.50	3.60	7.10	1.2
Rame	µg/l	5.70	5.70	2.20	4.80	4.40	4.6
Selenio	µg/l	4.60	2.50	2.60	4.20	3.10	3.2
Stagno	µg/l	2.20	1.10	0.90	1.30	1.10	1.2
Stronzio	µg/l	67.40	65.70	67.90	67.27	73.51	70.0
Tallio	µg/l	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 0.5
Titanio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.5
Vanadio	µg/l	0.80	1.50	2.30	2.00	2.20	2.0
Zinco	µg/l	6.00	10.40	0.70	2.80	4.30	10.0

Tab. 3. Analisi chimiche delle acque del pozzo 1 fra l'ottobre 2004 e l'aprile 2007.

PARAMETRI CHIMICI	U.M.	Pozzo 2				
		29/10/04	17/12/04	07/02/05	30/06/05	24/04/07
Data	-	29/10/04	17/12/04	07/02/05	30/06/05	24/04/07
pH	-	6.70	7.72	7.60	6.67	7.0
Conducibilità el. spec. a 20 °C	µS/cm	309.00	308.00	297.00	303.00	410.0
Alcalinità	mg/l	213.40	196.60	208.50	209.80	249.5
Fluoruri	mg/l	0.20	0.25	0.24	0.20	0.11
Cloruri	mg/l	1.20	1.40	1.30	1.50	1.60
Nitrati	mg/l	3.60	2.20	< 0.10	0.60	1.06
Nitriti	mg/l	0.10	0.20	0.20	< 0.02	-
Ammoniacca	mg/l	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	<0.05
Ortofosfati	mg/l	< 100.00	< 100.00	< 100.00	< 100.00	<80.00
Solfati	mg/l	5.90	12.00	14.10	14.80	26.4
Sodio	mg/l	9.80	15.40	17.20	17.00	6.38
Potassio	mg/l	2.70	2.80	2.60	2.60	2.17
Calcio	mg/l	32.00	29.30	26.90	33.00	48.15
Magnesio	mg/l	17.90	17.20	16.40	16.10	26.23
Alluminio	µg/l	5.10	21.20	12.90	62.20	12.9
Antimonio	µg/l	1.30	2.50	1.90	2.63	<1.0
Argento	µg/l	< 0.20	< 0.15	< 0.15	< 0.15	<0.1
Arsenico	µg/l	4.10	1.60	1.70	3.90	4.1
Bario	µg/l	360.50	301.70	306.90	348.83	101.0
Berillio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	<0.1
Cadmio	µg/l	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	<0.1
Cobalto	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.4
Cromo	µg/l	< 0.30	< 0.30	< 0.30	< 0.30	0.30
Ferro totale	µg/l	< 0.50	< 0.50	3.10	90.80	6
Litio	µg/l	1.60	4.10	5.60	11.90	4.7
Manganese	µg/l	7.10	1.60	4.80	12.00	5.3
Molibdeno	µg/l	13.70	22.00	23.20	5.08	5.70
Nichel	µg/l	6.40	2.12	3.50	25.70	3.6
Piombo	µg/l	42.00	55.40	74.10	107.50	13.7
Rame	µg/l	4.70	5.60	3.20	6.90	5.5
Selenio	µg/l	5.50	3.90	5.00	6.50	3.9
Stagno	µg/l	1.60	0.70	0.50	1.60	1.5
Stronzio	µg/l	1935.50	1585.00	1489.40	1657.00	1.636.0
Tallio	µg/l	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	<0.5
Titanio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	<0.5
Vanadio	µg/l	< 0.20	0.20	< 2.00	0.40	<0.1
Zinco	µg/l	7.40	12.00	6.70	4.60	8.9

Tab. 4. Analisi chimiche delle acque del pozzo 2 fra l'ottobre 2004 e l'aprile 2007.

Indagini isotopiche sono state condotte sulle acque delle sorgenti 1, 2, 3A, 3B e 3C determinando a varie date fra il 2004 ed il 2007 i valori ossigeno 18, deuterio, eccesso di deuterio, trizio. La Tab. 5 mostra le date dei prelievi e le relative determinazioni che interessano quasi tutti i mesi dell'anno. La sorgente 1 è tipicamente carsica con bacino di ricarica diverso dalle altre sorgenti che sono alimentate dalla parte superiore della falda di fondo della dolomia. I valori del trizio indicano l'età delle acque più recenti del 1960 circa ricordando che l'età è connessa con le esplosioni nucleari all'idrogeno che hanno immesso nell'atmosfera grandi quantità di trizio (isotopo radioattivo dell'idrogeno che ha un tempo di dimezzamento di circa 12 anni). I valori del trizio nelle acque dipendono da quelli della pioggia che trascina il trizio sulla terra e nel sottosuolo. Per l'intervallo 2004-2007 si considerano acque recenti quelle di circa 1 anno d'età con valori del trizio fra 4 e 7 unità di trizio (TU). L'oscillazione dei valori del trizio nelle acque nell'arco dell'anno sono dovuti ad apporti di acque di età leggermente diversa. Risulta che quelle della sorgente 1, della sorgente 2 (più recenti) e della sorgente 3A sono di analoga età. Le acque delle sorgenti 3B e 3C sono meno recenti perché hanno valori di trizio più elevati. Analisi isotopiche sono state eseguite fra il 2004 ed il 2007 anche sulle acque di sei pozzi (P1, P2, P3, P4, P6, P16) determinando ossigeno 18, deuterio, eccesso di deuterio e trizio (Tab. 6). Le determinazioni sono state eseguite su acque campionate a varie profondità e con diverse quantità emunte. Nel pozzo P1 i campionamenti, attuati con opportuno strumento, sono avvenuti alle profondità di 50, 70, 100 e 120 metri da bocca pozzo considerando che il tetto della falda era a -40 m. Il pozzo 1 è stato sottoposto a pompaggi prolungati (3 giorni) con emungimento di 3, 7 e 18 L/s. È risultato che con 3 L/s il contenuto di trizio era 2,8 TU, con 7 L/s di 2,0 TU e con 18 L/s di 1,8 TU. Ciò significa che aumentando le quantità di acqua emunte, la pompa aspira acqua da maggiore profondità, considerando che la falda è stratificata con acqua più antica e più profonda. Nei periodi di non pompaggio la falda aveva contenuti di trizio compresi fra 1,5 e 2,3 TU, a significare apporti di acque sempre più antiche rispetto al 2004-2007, perché il valore del trizio per detto intervallo di tempo era fra 4 e 6 TU. Anche nel pozzo 2 l'acqua è stata campionata a varie profondità fra 50 e 150 m. Risulta che il valore del trizio oscilla fra 1,0 e 2,4 TU, con valori più frequenti sotto i 2 TU. L'acqua di questo pozzo sembra leggermente più antica di quella del pozzo 1 perché i valori sono minori di quelli del reale decadimento (valori fra 4 e 6 TU). I valori del trizio nelle acque del pozzo 3 sono di 1,9 TU; quelli del pozzo 4 sono fra 1,3 e 5,0 TU. Elevati sono invece i valori del trizio (fra 4,2 e 5,1 TU) nelle acque

Sorgenti	Data	Ossigeno $18\delta^{18}\text{O}$	Deuterio $\delta^2\text{H}$	Eccesso di deuterio $\delta^3\text{H}$	Trizio	Errore
		‰	‰	‰	TU	± TU
Sorg. 1	19/10/04	-10.08	-69.0	11.6	-	-
Sorg. 1	02/11/04	-9.89	-69.0	10.1	5.5	1.2
Sorg. 1	17/12/04	-10.06	-69.7	10.8	5.9	0.7
Sorg. 1	03/01/05	-10.21	-73.0	8.7	5.7	0.9
Sorg. 1	15/02/05	-10.24	-72.4	9.5	-	-
Sorg. 1	30/06/05	-10.37	-75.3	7.7	-	-
Sorg. 1	05/12/05	-10.62	-73.6	11.4	4.1	2.3
Sorg. 1	24/01/06	-10.29	-72.8	9.5	-	-
Sorg. 1	08/02/06	-10.45	-73.3	10.3	-	-
Sorg. 1	15/03/06	-10.91	-72.8	14.5	-	-
Sorg. 1	03/05/06	-10.42	-70.8	12.6	4.8	0.6
Sorg. 1	11/04/07	-10.62	-73.2	11.8	-	-
Sorg. 2	01/09/04	-11.03	-80.1	8.1	-	-
Sorg. 2	06/10/04	-11.03	-78.2	10.0	3.9	0.8
Sorg. 2	29/10/04	-11.03	-78.0	10.2	4.6	1.1
Sorg. 2	29/10/04	-11.03	-78.0	10.2	4.6	1.1
Sorg. 2	17/12/04	-11.01	-78.7	9.4	4.6	1.3
Sorg. 2	12/01/05	-11.02	-79.6	8.6	3.4	0.5
Sorg. 2	02/02/05	-10.78	-75.3	10.9	-	-
Sorg. 2	15/02/05	-10.93	-79.6	7.8	-	-
Sorg. 2	30/06/05	-10.95	-77.5	10.1	-	-
Sorg. 2	15/03/06	-11.33	-76.5	14.1	-	-
Sorg. 2	10/04/07	-11.05	-77.2	11.2	3.6	0.6
Sorg. 3A	01/09/04	-11.15	-79.5	9.7	-	-
Sorg. 3A	06/10/04	-11.15	-78.8	10.4	5.9	0.9
Sorg. 3A	29/10/04	-11.14	-78.6	10.5	-	-
Sorg. 3A	17/12/04	-11.08	-77.9	10.7	5.2	0.7
Sorg. 3A	12/01/05	-11.12	-79.0	10.0	5.4	0.5
Sorg. 3A	10/04/07	-11.08	-77.3	11.3	-	-
Sorg. 3A	10/04/07	-	-	-	5.3	0.6
Sorg. 3B	01/09/04	-10.72	-72.8	13.0	-	-
Sorg. 3B	06/10/04	-10.85	-77.6	9.2	-	-
Sorg. 3B	29/10/04	-10.86	-77.3	9.6	-	-
Sorg. 3B	17/12/04	-10.61	-73.4	11.5	-	-
Sorg. 3B	12/01/05	-10.78	-78.5	7.7	-	-
Sorg. 3B	11/04/07	-10.79	-75.4	10.9	8.5	0.7
Sorg. 3C	01/09/04	-10.78	-76.1	10.1	-	-
Sorg. 3C	06/10/04	-10.79	-73.5	12.8	-	-

Sorg. 3C	29/10/04	-10.87	-75.7	11.3	–	–
Sorg. 3C	17/12/04	-10.66	-73.3	12.0	–	–
Sorg. 3C	12/01/05	-10.80	-75.2	11.2	–	–
Sorg. 3C	11/04/07	-10.69	-74.6	10.9	9.6	1.0

Tab. 5. Ossigeno 18, deuterio e trizio nelle acque delle sorgenti emergenti dalla Dolomia di Torra nei pressi della miniera di dolomia nel periodo 2004/2007.

Pozzi	Data	Ossigeno 18 $\delta^{18}\text{O}$ ‰	Deuterio $\delta^2\text{H}$ ‰	Trizio TU	Errore \pm TU
P 1 (-120 m)	29/10/04	-11.83	-83.9	2.2	1.0
P 1 (-50 m)	29/10/04	-11.29	-81.3	2.5	1.2
P 1 (-100 m)	17/12/04	-11.27	-79.2	–	–
P 1 (-50 m)	17/12/04	-11.27	-81.7	2.0	0.8
P 1 (-50 m)	12/01/05	-11.32	-77.6	1.8	0.4
P 1 (-100 m)	31/01/05	-11.30	-78.8	2.1	0.7
P 1 (-50 m)	31/01/05	-11.36	-78.3	2.3	0.8
P 1 (18 l/s)	02/02/05	-11.22	-80.5	1.8	0.7
P 1 (7 l/s)	02/02/05	-11.38	-80.3	2.0	0.7
P 1 (dopo 3 gg. di pomp.)	07/02/05	-11.24	-78.5	2.8	0.8
P 1 (-150 m)	30/06/05	-11.14	-79.0	–	–
P 1 (-50 m)	08/02/06	-11.18	-78.4	–	–
P 1 (-50 m)	03/05/06	-11.23	-76.8	1.8	0.5
P 1 (-70 m)	11/04/07	-11.34	-77.4	1.5	0.5
P 2 (- 50 m)	29/10/04	-11.30	-78.8	1.2	1.0
P 2 (- 150 m)	29/10/04	-11.19	-76.2	1.6	0.9
P 2 (- 100 m)	17/12/04	-11.24	-80.4	–	–
P 2 (- 50 m)	17/12/04	-11.25	-81.7	–	–
P 2 (- 50 m)	12/01/05	-11.20	-76.6	1.0	0.5
P 2 (- 100 m)	07/02/05	-11.26	-79.2	1.3	0.6
P 2 (- 150 m)	30/06/05	-11.18	-78.8	–	–
P 2 (- 50 m)	03/05/06	-11.04	-75.0	1.7	0.5
P 2 (-60 m)	11/04/07	-10.61	–	–	–
P 2 (-60 m)	11/04/07	-10.94	-74.0	2.4	0.5
P 3 (-130 m)	30/06/05	-11.14	-77.5	–	–
P 3 (-115 m)	05/07/05	-11.27	-79.5	–	–
P 3 (-150 m)	15/03/06	-11.22	-77.4	–	–
P 3 (-150 m)	03/05/06	-11.21	-76.7	1.9	0.5
P 4 (-100 m)	30/06/05	-11.13	-80.4	–	–
P 4 (-50 m)	08/02/06	-11.02	-77.4	–	–
P 4 (-50 m)	15/03/06	-10.39	-72.6	–	–
P 4 (-50 m)	03/05/06	-9.87	-66.2	5.0	0.6
P 4 (-60 m)	12/04/07	-11.31	-76.9	1.3	0.5

P 16 (- 50 m)	01/09/04	-11.16	-79.0	-	-
P 16 (- 75 m)	01/09/04	-11.20	-81.2	-	-
P 16 (- 50 m)	06/10/04	-11.19	-79.2	4.2	0.6
P 16 (- 85 m)	06/10/04	-11.29	-79.3	-	-
P 16 (- 75 m)	02/11/04	-11.25	-79.9	-	-
P 16 (- 100 m)	17/12/04	-11.23	-79.8	4.1	0.7
P 16 (- 50 m)	17/12/04	-11.29	-79.4	-	-
P 16 (- 75 m)	17/12/04	-11.23	-80.9	-	-
P 16 (- 50 m)	12/01/05	-10.58	-75.4	4.2	0.6
P 16 (- 50 m)	30/06/05	-11.17	-79.4	-	-
P 16 (- 50 m)	03/05/06	-10.68	-73.2	5.8	0.6
P 16 (- 50 m)	12/04/07	-10.77	-75.3	-	-
P 16 (- 75 m)	12/04/07	-11.00	-76.1	5.1	0.6
P 6 (-50 m)	13/04/07	-11.00	-76.5	7.3	0.6
P 6 (-50 m)	12/04/07	-11.02	-76.6	.4	0.5
P 6 (-100 m)	25/06/07		-79.2	-	-

Tab. 6. Risultati delle analisi dell'ossigeno 18, del deuterio e del trizio nelle acque di falda della zona dell'area della miniera a varie profondità.

del pozzo 16 prelevate a varie profondità. L'acqua di questo pozzo è simile, come valore di trizio, a quella della sorgente 2; infatti l'acqua della sorgente 2 proviene dalla falda in dolomia. Anche l'acqua del pozzo 6 ha valori di trizio relativamente alti, a dimostrazione che è più recente dell'acqua dei pozzi precedentemente elencati. Le differenze, anche minime, dei valori del trizio nelle acque dei pozzi esaminati, che non sono molto distanti tra loro, sembrano indicare che la falda nella dolomia è stratificata ed in movimento con le acque più antiche in profondità e quelle più recenti nella parte alta alimentando così anche le sorgenti 2, 3A, 3B, 3C.

I valori dell'ossigeno 18 e del deuterio sono stati proiettati nei diagrammi della Fig. 45. Nella parte superiore della figura sono stati posti i corrispondenti valori medi delle acque delle sorgenti 1, 2, 3A, 3B, 3C e quelli delle acque dei pozzi 1, 2, 3 e 4 rispetto alle Northern Italy meteoric line e Global meteoric water line. Risulta che tutte le acque sono di origine piovana e che i valori più negativi corrispondono ad acque più fredde mentre i valori meno negativi corrispondono ad acque più calde. Si ha così che le acque della sorgente carsica 1 sono più calde di quelle delle sorgenti 2, 3A, 3B, 3C alimentate dalla falda nella dolomia, come pure delle acque della falda presente nei pozzi. Nel disegno è pure indicata la stima dell'età delle acque dei pozzi, delle sorgenti alimentate dalla falda e delle sorgenti carsiche. Nel diagramma inferiore della figura

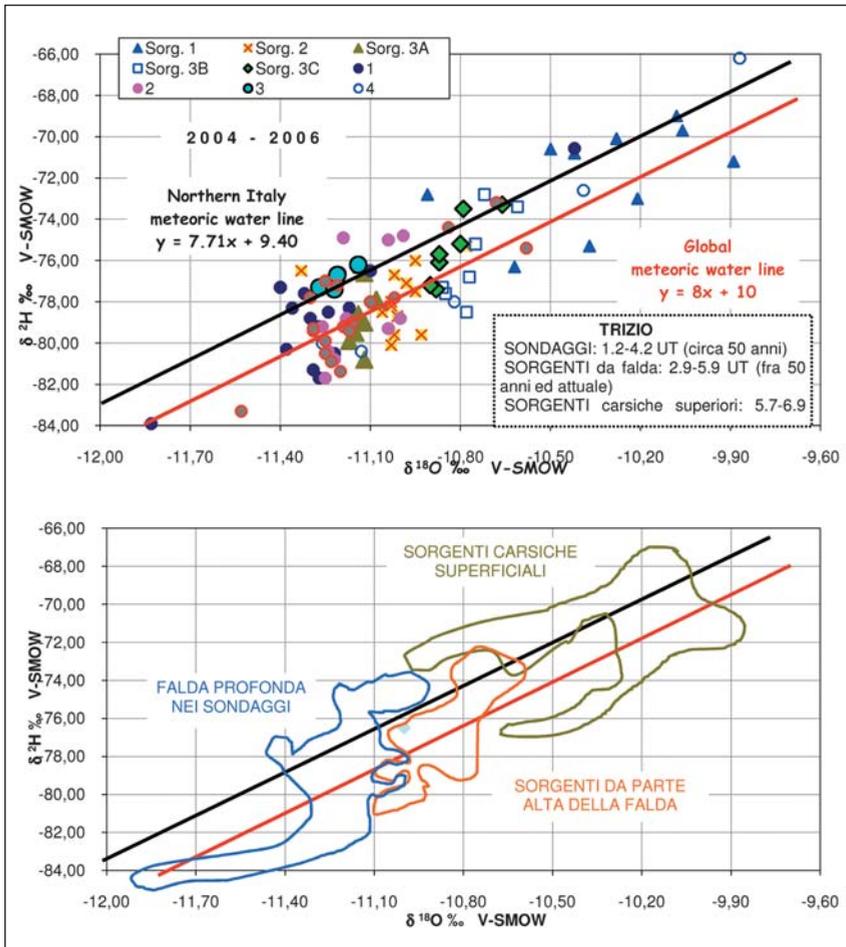


Fig. 45. Valori isotopici dell'ossigeno 18 e del deuterio (2004-2007) nelle acque dei pozzi e delle sorgenti. Da notare la suddivisione nei tre domini isotopici e genetici.

45 sono riassunti i domini isotopici in funzione della temperatura delle acque e relativa origine, quali: sorgenti carsiche superficiali, sorgenti alimentate dalla parte alta della falda in dolomia, falda profonda nei pozzi. Circa le temperature delle acque dei pozzi profondi vi è da evidenziare che è relativamente elevata rispetto a quelle delle acque superficiali in quanto risentono del gradiente geotermico. La temperatura massima è di 15°C e quella minima di $13,2^\circ\text{C}$ ed aumenta con la profondità. Sono stati utilizzati i contenuti degli isotopi carbonio 13 e carbonio 14 nelle acque dei pozzi 1, 2 e 4 secondo tre tipi di modello; geochi-

mico (TAMERS, 1975), miscelazione (PEARSON, 1975; PEARSON & HANSHAW, 1970), statico (Vogel, 1970); ciò per valutare l'età delle acque dei tre pozzi considerando una ricarica per penetrazione verticale delle precipitazioni, nonché una ricarica mediante sistema a pistone (Tab. 7). Risulta dai dati di campagna che sono presenti i due tipi di ricarica; il primo è nella parte più elevata della montagna dove è più sviluppato il carsismo; la seconda è nella parte bassa in corrispondenza di dove le dolomie sono ricoperte dai calcari con selce (Fig. 37). In entrambi i casi si nota che le acque dei tre pozzi non hanno uguale intervallo di residenza nel sottosuolo, ma sempre superiori a mille anni potendo raggiungere maggiore età utilizzando il modello 3.

Dato misurato	Unità di Misura	P 1	P 2	P 4
¹⁴ C-DIC	pmC	39.1 ± 2.1	49.6 ± 2.2	34.6 ± 1.9
¹³ C-DIC	‰	-10	-9.4	-9.8
¹³ C-gas nel suolo da decomposizione piante	‰	-22	-22	-22
Modelli per interpretare il valore misurato del carbonio 13 e 14 nell'ambito della evoluzione del ciclo idrogeologico				
Modello 1 - GEOCHIMICO (TAMERS, 1975)	pmC	52.1	51.9	52.3
Modello 2 - MISCELAZIONE (PEARSON, 1965), (PEARSON & HANSHAW 1970).	pmC	45.5	42.7	44.5
Modello 3 - STATISTICO (VOGEL, 1970)	pmC	70.0	70.0	70.0
Età delle acque considerando una ricarica per penetrazione verticale della pioggia				
Modello 1	anni	2778		4258
Modello 2	anni	1371		2408
Modello 3	anni	6578	3423	8510
Età delle acque considerando una ricarica mediante sistema a pistone				
Modello 1	anni	2383		3422
Modello 2	anni	1257		2101
Modello 3	anni	4828	2857	5839

Tab. 7. I tempi di residenza della parte profonda delle acque di falda nei pozzi P1, P2 e P4 in base ai contenuti di carbonio 13 e 14 e vari modelli di circolazione dell'acqua. pmC=percent modern Carbon.

Pozzi (P) Sorgenti (S) Rio Panarotta	Trizio (TU) Valori minimi e massimi 2004-2007	Kr 85 dpm/ml Kr	C 14 pmc	Ossigeno 18 Valori minimi e massimi 2004-2007	Stima età acque vecchie > 50 anni recenti < 50 anni attuali	Usando δO^{18} ‰ -0,2/100 m rispetto a 800 m (bacino Rio Panarotta) si stima quota di ricarica m s.l.m.
POZZO 1	1.5-2.8	1.6	39.1	-11.34-11.83	Acqua vecchia con poca acqua recente	1300-1500
POZZO 2	1.2-2.4	30.6	49.6	-10.61-11.30	Acqua vecchia con poca acqua recente	1000-1300
POZZO 3	1.9-13.0	-	-	-11.06-11.27		1200-1300
POZZO 4	0.9-5.0	1.7	34.6	-9.87-11.31	Acqua vecchia con poca acqua recente	900-1300
POZZO 6	7.3-11.6	1.5-2.0	68.5	-10.98-11.00	Acqua vecchia e recente	1000-1200
POZZO 7	4.6-10.7	-	70.6	-10.36	Acqua recente e vecchia	900
POZZO 16	4.2-5.8	-	-	-10.58-11.00		1000-1300
SORGENTE 2	3.4-4.6	-	55.5	-10.78-11.05	Acqua vecchia e recente	1100-1200
SORGENTE 3A	5.2-5.9	-	55.9	-11.08-11.15	Acqua vecchia e recente	1200-1250
Rio Panarotta	Il suo bacino è sugli 800 m s.l.m. preso come riferimento			-10.20	attuale	800

Tab. 8. Area della miniera di dolomia. Acque superficiali, acque di sorgente, acque di falda. Isotopi vari, bacini di ricarica, età delle acque. Le quote di ricarica sono calcolate usando il criterio di LONGINELLI & SELMO (2003) avendo come riferimento il bacino del Rio Panarotta situato sugli 800 m s.l.m.

È stata fatta in Tab. 8 altra valutazione dell'argomento età delle acque di falda nei pozzi 1, 2, 3, 4, 6, 7, 16 e delle sorgenti 2 e 3A, calcolando anche le quote di ricarica delle acque utilizzando il criterio di LONGINELLI & SELMO (2003). Sono stati utilizzati per tutte le acque i valori minimi e massimi del contenuto di trizio, i valori dell'isotopo kripton 85, gas che aumenta nell'atmosfera a partire dal 1960 circa quando en-

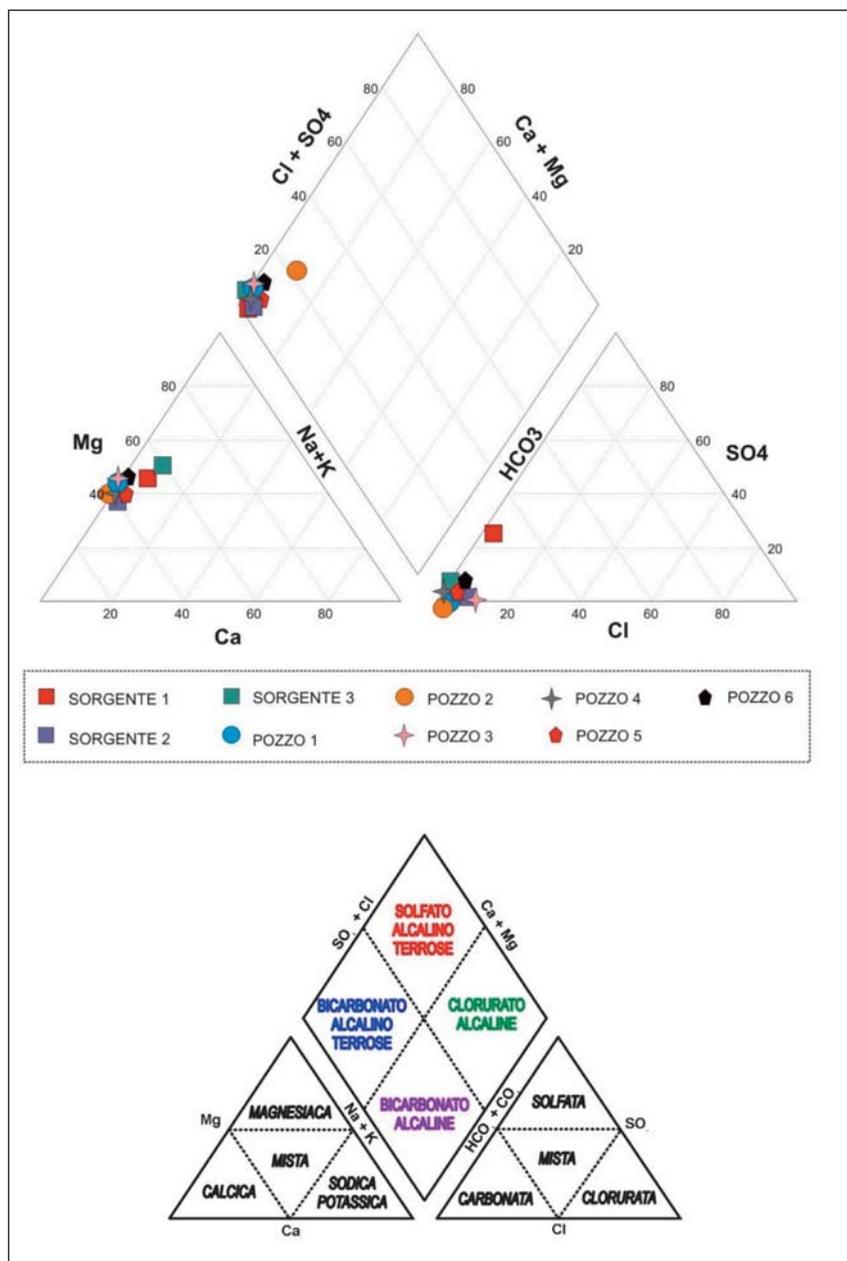


Fig. 46. Diagramma di Piper delle acque delle sorgenti e dei pozzi nell'area della miniera di dolomia. Tutte le acque della zona della miniera sono del tipo bicarbonato alcalino terroso.

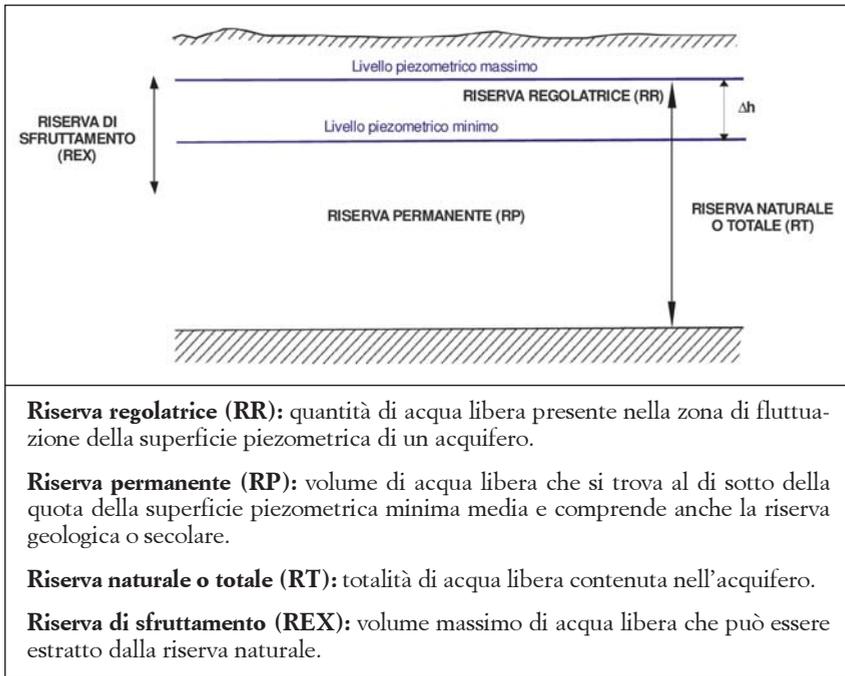


Fig. 47. Tipi di riserve nell'acquifero dolomitico.

trarono in funzione le centrali nucleari per produrre energia, i valori del carbonio 14 come pmC (percent modern carbon), i valori minimi e massimi dell'ossigeno 18. Combinando tutte queste conoscenze, le acque dei pozzi e delle sorgenti sono state divise in acque vecchie, con una età maggiore di 50 anni ed acque recenti con una età minore di 50 anni. Risulta che le acque dei pozzi 1, 2, 4 sono formate da acqua vecchia con poca acqua recente. Le acque dei pozzi 6 e 7 e delle sorgenti 2 e 3A sono costituite da acqua vecchia e recente. Sono state anche calcolate le quote di infiltrazione delle varie acque elencate nella tabella 8 rispetto alla quota del bacino del rio Panarotta situato attorno a 800 m s.l.m. che nasce nell'area superficiale della miniera. Risulta che le varie acque si infiltrano nel sottosuolo fra le quote di 900 e 1500 m s.l.m.

La classificazione delle acque delle sorgenti 1, 2, 3A, nonché dei pozzi 1, 2, 3, 4, 5, 6, sono state utilizzate per classificare le acque secondo il diagramma di Piper (Fig. 46). Risulta che tutte le acque sono simili come bicarbonato alcalino terrose; infatti il loro ciclo si esplica sempre nella dolomia.

Le acque di alcuni pozzi (6 e 13) saranno utilizzate per fornire acqua potabile al paese di Priò, per i servizi alla miniera, per raffreddare i motori che producono freddo ai depositi di mele, ai calcolatori, nonché per alimentare i bacini sotterranei di acque che servono all'irrigazione dei frutteti dei Consorzi Irrigui di Vervò e Priò. Sono stati pertanto valutati i tipi di riserva presenti nell'acquifero dolomitico che ha uno spessore indagato di circa 200 metri. La Fig. 47 mostra i tipi di riserva nell'acquifero in dolomia sotto la miniera e zone circostanti. Vi è una riserva regolatrice entro le oscillazioni della falda, una riserva permanente, una riserva di sfruttamento ed una riserva totale come somma delle precedenti. Le oscillazioni naturali del tetto della falda sono attorno ai 50 cm. Pompando 7-8 L/s la falda attorno al pozzo genera un cono di depressione profondo 6-7 m con un raggio di 100 m circa. Disponendo opportunamente i pozzi in modo da evitare interferenze fra i coni di depressione, non vi sono preoccupazioni per il futuro, considerando che sono previsti emungimenti massimi di circa 8-9 L/s da ogni pozzo.

Ricordiamo il prof. G. Morteani ed il dott. L. Eichinger per aver aiutato nella interpretazione dei dati isotopici.

8.2 Zone circostanti la miniera

Per zone circostanti la miniera si intendono la finitima zona di Taio a nord e di Dardine a sud. Vi sono sorgenti e pozzi di emungimento potabile ed irriguo. La figura 36 mostra tali aree. La Roggia di Taio è la sorgente più significativa (Fig. 48); emerge lungo il piano di faglia come le sorgenti 1, 2, 3 della miniera (Fig. 36). Essa è alimentata attraverso un sistema carsico in dolomia che da quota 450 m s.l.m. si spinge verso est per 5-6 Km fino alla zona Predaia situata a 1500 m s.l.m. Ciò è stato provato con prove colorimetriche; messo il colore in alto è arrivata l'acqua colorata alla Roggia. La sorgente carsica Roggia è composta da due emergenze distanti una decina di metri le cui acque depositano travertino. Le due acque sono chimicamente uguali. L'emergenza più settentrionale è chiamata Roggia Nord; la sua acqua è usata dal Comune di Taio. L'emergenza più meridionale è usata per irrigare aree sotto la quota di 440 m s.l.m. La portata della Roggia Nord era strumentalmente di 85 L/s nei mesi di novembre-dicembre 2008 e di 110 L/s nella primavera 2009. Anche la Roggia Sud è stata controllata strumentalmente. Nel 2008-2009 la portata era sui 60 L/s pur con lievi e momentanei incrementi per la pioggia, complessivamente sui 200 L/s. Sopra la sorgente Roggia vi è a quote superiori la sorgente Marina (quota 510 m s.l.m.) pure affio-



Fig. 48 - La sorgente Roggia Sud.

rante lungo la stessa faglia; ha portate oscillanti fra 2 e 10 L/s condizionata dalla pioggia. La Tab. 9 mostra le analisi fisico-chimiche delle acque della Roggia Nord e della Roggia Sud. Le acque sono le stesse anche se talora vi sono leggerissime differenze. La conducibilità alla Roggia Nord oscilla fra 463,0 e 484,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mentre alla Roggia Sud è fra 459,0 e 479,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Piccole analoghe differenze sono nei contenuti di calcio e di magnesio; nella Roggia Nord è fra 63,90 e 76,0 mg/L; nella Roggia Sud fra 63,70 e 74,80 mg/L. Lievi presenze di cloruri (4-6 mg/L), nitrati (7-10 mg/L), solfati (7-9 mg/L), sodio (2-4 mg/L). Fra gli elementi traccia si evidenziano il bario (17-20 $\mu\text{g}/\text{L}$) e lo stronzio (33-60 $\mu\text{g}/\text{L}$).

I pozzi Taio 1, Taio 2, Taio 3, Taio 4 hanno profondità fra 165 e 230 m (Fig. 36). Il tetto della falda è stato ritrovato nel pozzo 1 alla quota di 532 m s.l.m., nel pozzo 2 alla quota di 540 m s.l.m., nel pozzo 3 alla quota di 530 m s.l.m. Risulta così che la sorgente Roggia (quota 450 m s.l.m.) è alimentata dalla parte alta della falda in dolomia. La tabella 9 mostra le analisi fisico-chimiche delle acque dei pozzi Taio 1 e Taio 2 eseguite nel dicembre 2008 e nel giugno 2009, periodi di alimentazione scarsa invernale e di alimentazione abbondante primaverile. Si nota una leggera differenza di mineralizzazione fra dicembre e giugno. Nel poz-

zo 1 la conducibilità è di 482 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a dicembre e di 515 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a giugno. Il calcio è 67 mg/L in dicembre e 82,30 mg/L in giugno. La differenza vale anche per l'alcalinità 307,60 e 318,30 mg/L, per i nitrati 10,29 e 13,13 mg/L, per il sodio 2,01 e 3,38 mg/L. La tabella 9 riporta anche le analisi delle acque dei pozzi Taio 3 e Dardine. La conducibilità nel pozzo Taio 3 è di 524 $\mu\text{S}/\text{cm}$ quella del pozzo Dardine è di 583 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le Tabb. 10 e 11 riportano informazioni circa le acque del pozzo Taio 4 delle vicine acque del lago di S. Giustina al 31/01/2008. La conducibilità dell'acqua del pozzo 4 è di 522 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quella del lago di S. Giustina di 221 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'alcalinità dell'acqua del pozzo è 370,4 mg/L, quella del lago di 105 mg/L; i solfati del pozzo sono 8,3 mg/L, quelli del lago di 26,7 mg/L; il calcio del pozzo è 74,8 mg/L, quello del lago di 30,6 mg/L. Anche le analisi isotopiche (ossigeno 18 e deuterio) mostrano nella tabella 11 che le due acque sono differenti.

Confrontando le analisi fisico-chimiche delle acque dei pozzi presenti nella zona mineraria con quelle dei pozzi delle zone circostanti (Taio e Dardine) risulta che vi sono differenze anche se tutte provengono da rocce carbonatiche. La tabella sottostante mostra le principali differenze:

	CONDUC.	ALCAL.	CLORURI	NITRATI	SOLFATI	CALCIO	MAGNESIO	SODIO
Acque pozzi area miniera	297-336 $\mu\text{S}/\text{cm}$	208-251 mg/L	0,80-1,50 mg/L	1,50-3,60 mg/L	2,60-3 mg/L	25,7-45,1 mg/L	20,1-21,50 mg/L	0,80-1 mg/L
Acque pozzi area Taio	482-583 $\mu\text{S}/\text{cm}$	307-372 mg/L	5,50-5,70 mg/L	8,89-13,17 mg/L	8,40-12,50 mg/L	67-82 mg/L	29,12-30,24 mg/L	2,2-3,4 mg/L

Le acque dei pozzi dell'area mineraria provengono da un'area di alta montagna incontaminata con un percorso profondo con poca anidride carbonica che scioglie i componenti della roccia dolomitica. Le acque dei pozzi dell'area di Taio provengono da minore profondità dove più abbondante è l'anidride carbonica. Inoltre il sottosuolo del bacino dei pozzi di Taio è raggiunto da influenze umane come dimostrato da nitrati e solfati. Nella Fig. 49 sono rappresentati i valori di ossigeno 18, deuterio e trizio misurato nelle acque delle sorgenti e dei pozzi dell'area di Taio nel 2008-2009. Risulta che le acque delle sorgenti Roggia Nord e Roggia Sud hanno valori dell'ossigeno 18 oscillanti fra -10,40 e -11,50 a significare che nell'arco dell'anno hanno acque di varia origine e temperatura. Più costanti sono invece i valori dei pozzi Taio 1, Taio 2 e Taio 3. I valori dell'ossigeno 18 oscillano fra -10,40 e -10,65 a significare una relativa costanza delle acque e della loro temperatura.

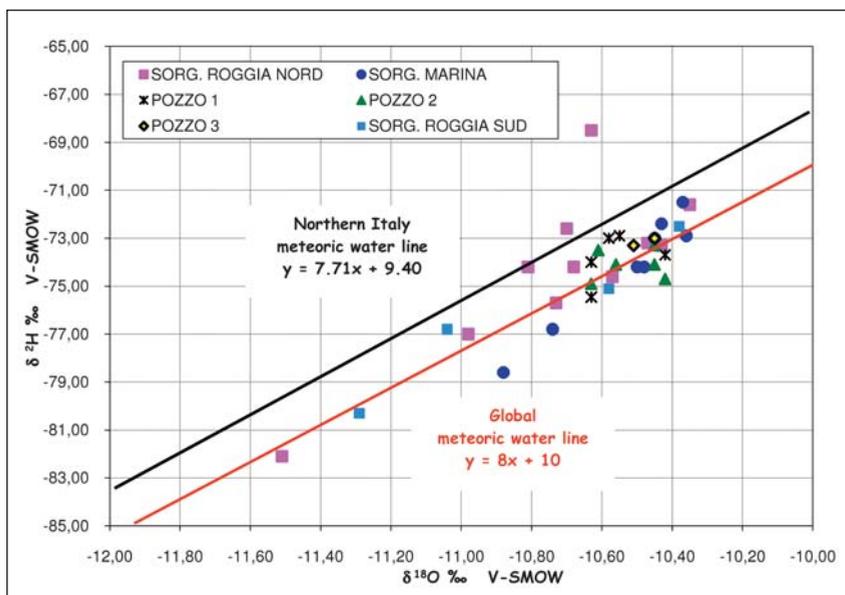


Fig. 49 - Analisi isotopiche delle acque dei pozzi 1, 2, 3 e delle sorgenti Roggia e Marina a varie date (2008-2009).

PARAMETRI CHIMICI	Unità di misura	SORGENTE ROGGIA NORD			SORGENTE ROGGIA SUD		
		23/12/08	01/04/09	05/06/09	23/12/08	01/04/09	05/06/09
Data	-	23/12/08	01/04/09	05/06/09	23/12/08	01/04/09	05/06/09
pH	-	7.70	7.50	7.60	7.30	7.40	7.60
Conducibilità a 20 °C	µS/cm	471.00	463.00	484.00	463.00	459.00	479.00
Alcalinità	mg/l	312.60	307.30	312.20	314.60	315.90	303.20
Fluoruri	mg/l	< 0.15	< 0.15	< 0.15	< 0.15	< 0.15	< 0.15
Cloruri	mg/l	5.40	6.20	5.00	4.30	5.40	4.00
Nitriti	mg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Nitrati	mg/l	10.14	8.39	9.71	9.99	7.92	9.02
Ortofosfati	mg/l	< 80.00	< 80.00	< 80.00	< 80.00	< 80.00	< 80.00
Solfati	mg/l	9.00	7.40	8.70	8.60	7.20	8.10
Ammoniaca	mg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Sodio	mg/l	2.74	3.39	3.87	2.04	2.79	3.19
Potassio	mg/l	1.23	0.92	2.80	1.09	0.86	3.26
Magnesio	mg/l	27.28	27.00	28.78	27.30	27.31	29.01
Calcio	mg/l	65.50	63.90	76.00	63.90	63.70	74.80
Alluminio	µg/l	6.30	< 5.00	< 5.00	5.70	< 5.00	< 5.00
Antimonio	µg/l	< 1.00	< 0.50	< 0.50	< 1.00	< 0.50	< 0.50
Argento	µg/l	< 0.10	< 0.20	< 0.20	< 0.10	< 0.20	< 0.20
Arsenico	µg/l	3.50	0.60	0.60	2.30	0.60	0.70
Bario	µg/l	20.00	19.00	18.00	17.00	17.00	17.00
Berillio	µg/l	< 0.10	< 0.50	< 0.50	< 0.10	< 0.50	< 0.50
Cadmio	µg/l	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Cobalto	µg/l	0.50	< 0.50	< 0.50	0.40	< 0.50	< 0.50
Cromo	µg/l	0.20	0.90	1.30	< 0.10	0.90	1.60
Ferro totale	µg/l	2.00	28.00	40.00	2.00	23.00	42.00
Litio	µg/l	1.30	0.30	0.30	1.00	0.30	0.30
Manganese	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	1.30	< 0.50	< 0.50
Molibdeno	µg/l	0.40	< 0.50	< 0.50	0.35	< 0.50	< 0.50
Nichel	µg/l	< 0.50	0.60	< 0.50	< 0.50	0.60	0.50
Piombo	µg/l	0.50	< 0.50	< 0.50	0.50	< 0.50	< 0.50
Rame	µg/l	6.30	1.00	0.60	6.00	0.90	0.50
Selenio	µg/l	3.30	< 0.50	< 0.50	2.10	< 0.50	< 0.50
Stagno	µg/l	0.50	< 0.10	< 0.10	1.20	< 0.10	< 0.10
Stronzio	µg/l	51.90	34.40	36.20	44.10	28.60	33.00
Tallio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
Titanio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
Vanadio	µg/l	2.00	4.000	5.00	1.00	4.00	6.00
Zinco	µg/l	1.60	< 0.30	< 0.30	1.10	< 0.30	< 0.30

Tab. 9 - Analisi chimiche delle acque della sorgente Roggia Nord e Sud a varie date.

PARAMETRI CHIMICI	Unità di misura	POZZO TAIO 1		POZZO TAIO 2		POZZO TAIO 3 DARDINE	
Data	–	18/12/08	05/06/09	18/12/08	05/06/09	02/03/09	21/08/12
pH	–	7.10	7.50	7.7	7.50	7.60	7.30
Conducibilità a 20 °C	µS/cm	482.00	515.00	498.00	501.00	524.00	583.00
Alcalinità	mg/l	307.60	318.30	331.50	339.80	372.70	297.00
Fluoruri	mg/l	< 0.15	0.16	< 0.15	< 0.15	< 0.15	0.46
Cloruri	mg/l	5.70	5.50	5.90	5.20	5.50	6.96
Nitriti	mg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.02
Nitrati	mg/l	10.29	13.17	13.60	9.89	12.50	38.50
Ortofosfati	mg/l	< 80.00	< 80.00	< 80.00	< 80.00	< 80.00	–
Solfati	mg/l	8.40	9.70	9.90	8.90	11.60	34.50
Ammoniaca	mg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Sodio	mg/l	2.01	3.38	2.22	3.41	2.44	1.47
Potassio	mg/l	0.90	2.34	0.88	2.39	0.85	0.70
Magnesio	mg/l	29.12	29.86	29.80	29.48	30.24	9.20
Calcio	mg/l	67.00	82.30	71.10	80.10	79.60	28.60
Alluminio	µg/l	18.30	< 5.00	13.80	< 5.00	–	–
Antimonio	µg/l	< 1.00	< 0.50	< 1.00	< 0.50	–	–
Argento	µg/l	< 0.10	< 0.20	< 1.00	< 0.20	–	–
Arsenico	µg/l	2.70	0.60	3.40	0.60	–	0.80
Bario	µg/l	29.00	21.00	20.00	31.00	–	194.70
Berillio	µg/l	< 0.10	< 0.50	< 0.10	< 0.50	–	–
Cadmio	µg/l	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	–	–
Cobalto	µg/l	0.30	< 0.50	0.20	< 0.50	–	–
Cromo	µg/l	0.20	1.30	< 0.10	1.40	–	–
Ferro totale	µg/l	< 2.00	92.00	< 2.00	44.00	–	–
Litio	µg/l	0.70	0.50	1.00	0.50	–	–
Manganese	µg/l	< 0.50	6.80	< 0.50	< 0.50	–	–
Molibdeno	µg/l	0.16	< 0.50	< 0.10	< 0.50	–	–
Nichel	µg/l	< 0.50	0.50	< 0.50	1.10	–	–
Piombo	µg/l	0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	–	–
Rame	µg/l	5.90	0.40	6.00	0.80	–	–
Selenio	µg/l	3.10	< 0.50	2.20	< 0.50	–	–
Stagno	µg/l	1.00	< 0.10	0.70	< 0.10	–	–
Stronzio	µg/l	48.40	33.60	45.10	37.00	–	–
Tallio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	–	–
Titanio	µg/l	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	–	–
Vanadio	µg/l	2.00	5.00	2.00	5.00	–	–
Zinco	µg/l	352.00	115.40	225.70	95.10	–	–

Tab. 10 - Analisi chimiche delle acque dei pozzi Taio1, 2 e 3 a varie date e del pozzo Dardine.

PARAMETRI CHIMICI	Unità di misura	Pozzo Taio 4	LagoS. Giustina
Data	–	31/01/2008	31/01/2008
pH	–	7,3	6,7
Conducibilità el. spec. a 20 °C	µS/cm	522,0	221,0
Alcalinità	mg/l	370,4	105,0
Fluoruri	mg/l	0,15	0,10
Cloruri	mg/l	3,50	4,10
Nitrati	mg/l	4,43	4,44
Ortofosfati	µg/l	<80	<80
Solfati	mg/l	8,3	26,7
Ammoniaca (Ammonio)	mg/l	0,13	0,34
Sodio	mg/l	1,83	4,08
Potassio	mg/l	1,24	1,91
Calcio	mg/l	74,8	30,2
Magnesio	mg/l	31,70	8,66
Caffeina	µg/l	<0,010	<0,010

Tab. 11 - Analisi chimiche delle acque del pozzo Taio 4 e del finitimo lago di S. Giustina.

CONTENUTI ISOTOPICI	Unità di misura	Lago S. Giustina	Pozzo Plaze
Data	–	31/01/2008	31/01/2008
Ossigeno 18	δ ¹⁸ O ‰	-11,55	-10,87
Deuterio	δ ² H ‰	-80,3	-74,7
Eccesso di deuterio	‰	12,1	12,3

Tab. 12. Analisi isotopiche nelle acque.

9. LA COLTIVAZIONE DELLA MINIERA

Motivazioni strategiche del Progetto di coltivazione della miniera «Rio Maggiore»

Gli interventi previsti nel progetto di coltivazione della miniera ⁽¹⁾ «Rio Maggiore» sono indirizzati al proseguimento e al rinnovamento

⁽¹⁾ In base alla classificazione delle coltivazioni di sostanze minerali stabilita dal RD 1443/27, la miniera Rio Maggiore andrebbe classificata come «cava in sotterraneo» poiché l'inerte ivi cavato appartiene agli inerti di seconda categoria così come previsto all'art.2 del citato decreto. La complessità dei lavori eseguiti e quelli previsti suggerisce, secondo i criteri internazionali, di utilizzare la dicitura «miniera».

dell'attività produttiva dell'impianto di Tuenetto di Taio e al riutilizzo innovativo delle cavità sotterranee realizzate per estrarre il minerale.

Tassullo Materiali S.p.A. si occupa della produzione di materiali per l'edilizia dal 1909 (restauro, isolamenti, pavimentazioni), con un utilizzo annuale di circa 120.000 m³ (in roccia) di dolomia, quantitativo che aumenta circa del 10% ogni anno. Le motivazioni strategiche che hanno portato all'estrazione dell'inerte dolomitico in sottterraneo perseguono le seguenti finalità:

- garantire la continuità di produzione dell'attuale insediamento produttivo;
- disporre di materia prima *in loco*, riducendo i costi di trasporto per l'importazione della medesima dall'esterno;
- eliminare l'impatto paesaggistico generato da una coltivazione mineraria a cielo aperto;
- estrarre inerte con tenori di umidità molto bassi, tali da consentirne il loro impiego nel ciclo industriale senza dover ricorrere al processo di essiccazione termica a gas naturale;
- garantire il ciclo completo della filiera dall'estrazione alle successive lavorazioni, come stabilito dal Piano Provinciale di Utilizzazione delle Sostanze Minerali;
- riutilizzare i vuoti di cava sotterranei al fine di soddisfare precise necessità legate al contesto territoriale locale. In particolare, nella miniera Rio Maggiore sono attivi tre progetti per il recupero dei vuoti minerari (vedere capitolo successivo).

Contesto territoriale

Lo stabilimento di produzione di prodotti premiscelati per l'edilizia è situato a circa 1 km a nord-est dell'abitato di Mollaro, sulla strada provinciale in direzione di Vervò, alla quota di circa 495 m s.l.m. In prossimità dello Stabilimento sorgono i centri abitati di Tuenetto, a sud-ovest ad una quota di 494 m s.l.m., e di Torra, situato a nord-ovest ad una quota superiore rispetto a quella dello stabilimento, pari a 555 m s.l.m. Ad ovest transitano la Strada Statale n. 43 e la ferrovia Trento-Malè. Il territorio circostante è caratterizzato da coltivazioni prevalentemente agricole. Circa 200 m a monte dello stabilimento, a quota 542 m s.l.m., è situato il piazzale di imbocco principale delle gallerie di accesso al sottterraneo (Fig. 50). Il sito minerario e lo stabilimento produttivo sono collegati da un nastro trasportatore coperto per il trasporto dell'inerte dolomitico.

Dal 2004 al 2008 è stato eseguito, nell'ambito della ricerca minera-



Fig. 50. Panoramica dell'area interessata dal sito minerario "Rio Maggiore" e dallo stabilimento produttivo.

ria autorizzata dalla Provincia Autonoma di Trento, un sistema di gallerie in direzione prevalente ovest-est su tre livelli altimetrici, funzionali allo studio geologico, geomeccanico ed idrogeologico del giacimento di Dolomia di Torra. Nell'agosto 2008 si è conclusa con esito positivo la ricerca mineraria ed è stata inserita nel PPUSM (Piano Provinciale di Utilizzazione delle Sostanze Minerali) l'area di cava «Rio Maggiore», in cui è previsto lo sviluppo della coltivazione in sotterraneo (Fig. 51).

Descrizione del Progetto di coltivazione della miniera

Il progetto di coltivazione consiste nella realizzazione di 62 camere di coltivazione e della galleria principale costruita su due livelli (Livello 0, quota di imbocco circa 540 m s.l.m., e Livello 1, quota di imbocco circa 580 m s.l.m.), per una superficie complessiva d'intervento di circa 757.540 m².

L'esecuzione di ciascuna delle camere di coltivazione in sotterraneo avverrà adottando il seguente schema di coltivazione (Fig. 52), riportante le fasi di esecuzione della singola camera:

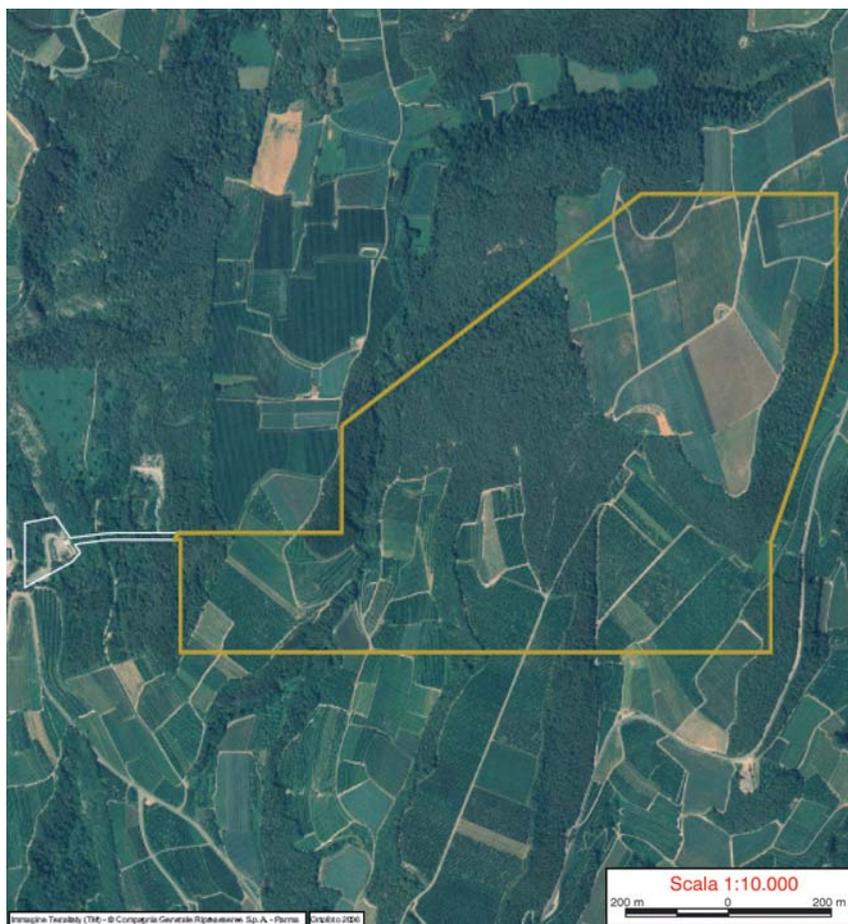


Fig. 51 - Area di cava «Rio Maggiore» nei comuni di Vervò e Taio.

- apertura di una o più gallerie di testa parallele e di una galleria di base: il posizionamento della galleria di base rispetto all'asse della camera può variare in funzione della posizione delle gallerie di smarino;
- apertura di una galleria di smarino laterale, con gallerie di spillamento, per la coltivazione «a magazzino pieno» della camera;
- abbattimento del volume in camera con mine verticali e inclinate e contemporaneo abbattimento del pilastro tra le gallerie di testa (qualora presente).

Lo sviluppo della coltivazione prevede la successione delle 4 fasi indicate nella Fig. 52 nel caso di due gallerie di testa; in particolare, gli

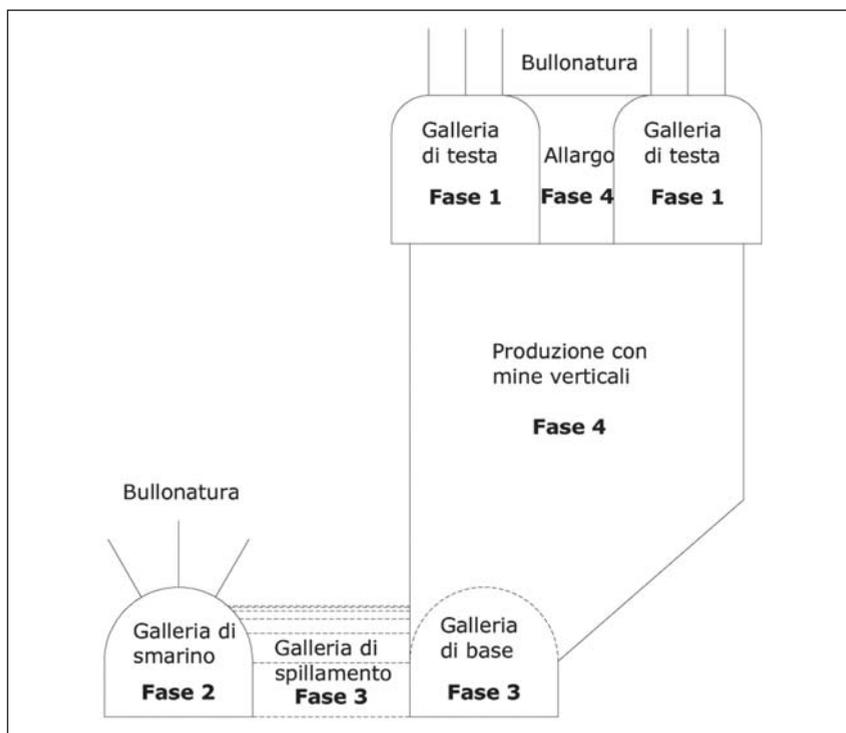


Fig. 52 - Schema tipologico della camera di coltivazione con due gallerie di testa e galleria di base fuori asse.

scavi delle gallerie di testa, di smarino, di base e di spillamento costituiscono rispettivamente le fasi 1, 2 e 3, mentre la realizzazione del collegamento tra le gallerie di testa e l'allargamento della camera costituiscono la fase 4.

Con riferimento alla Fig. 52, la soluzione progettuale individuata consiste nella coltivazione della camera a gradino singolo e sostegni tali da garantire condizioni di sicurezza tipiche di una coltivazione mineraria; sarà inoltre adottato uno schema di lavorazione che prevede la coltivazione a magazzino pieno con spillamento laterale (la galleria di smarino è collocata lateralmente rispetto all'asse della camera).

L'avanzamento del fronte di scavo per la coltivazione dell'area mineraria prevede la realizzazione in successione delle seguenti fasi di lavoro:

- 1) tracciamento volata;
- 2) perforazione fori da mina;

- 3) caricamento volata;
- 4) brillamento volata;
- 5) sfumo;
- 6) disgaggio di sicurezza;
- 7) smarino;
- 8) disgaggio con martellone (eventuale);
- 9) perforazione fori per bulloni di ancoraggio (eventuale);
- 10) esecuzione spritz beton (eventuale);
- 11) posa bulloni di ancoraggio (eventuale);
- 12) posa centine (eventuale).

La sequenza di coltivazione è stata studiata per permettere l'apertura dei vuoti ottimizzando le necessità di sostegni. La coltivazione avverrà mediante tracciamenti della galleria di testa (uno o due in funzione delle caratteristiche locali dell'ammasso roccioso) (Fase 1, Fig. 53), della galleria di smarino (Fase 2, Fig. 54) e di base (Fase 3, Fig. 55), volate di allargo in testa e produzione con mine verticali (Fase 4, Fig. 56).



Fig. 53 - Fase 1 di coltivazione per il tipologico della camera di coltivazione con due gallerie di testa e galleria di base fuori asse.



Fig. 54 - Fase 2 di coltivazione per il tipologico della camera di coltivazione con due gallerie di testa e galleria di base fuori asse.



Fig. 55 - Fase 3 di coltivazione per il tipologico della camera di coltivazione con due gallerie di testa e galleria di base fuori asse.

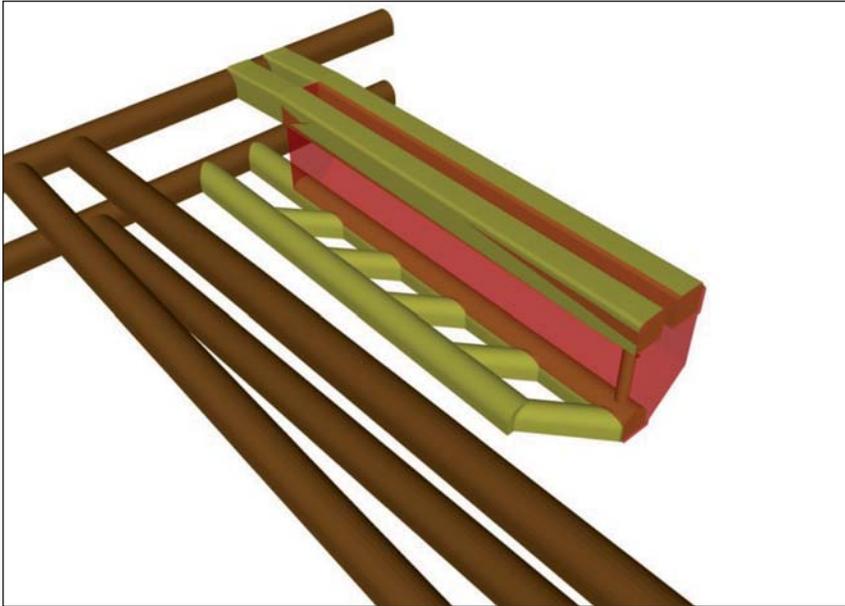


Fig. 56 - Fase 4 di coltivazione per il tipologico della camera di coltivazione con due gallerie di testa e galleria di base fuori asse.

La sezione trasversale delle gallerie di base, di smarino e di raccordo hanno una volta a tutto sesto di 4 m di raggio e piedritti verticali alti 3 m, per un'altezza complessiva in calotta di 7 m, e larghezza pari a 8 m. Le gallerie di testa sono invece a sezione quadrata di lato pari a 8 m, con il profilo arrotondato (raggio 1 m) in corrispondenza degli spigoli in calotta. Infine, le gallerie di spillamento (cosiddetti *by-pass*) – che collegano la galleria di base e quella di smarino – hanno una volta a tutto sesto di 3 m di raggio e piedritti verticali alti 3 m.

Le dimensioni delle singole camere di coltivazione, una volta aperte a tutta sezione, sono:

- larghezza: circa 20m, in funzione della copertura e delle condizioni locali dell'ammasso roccioso;
- lunghezza: variabile, massima 200m;
- altezza: variabile, compresa tra 35m e 70m (nella zona est del giacimento è possibile coltivare le camere con altezza maggiore).

Le camere di coltivazione sono collegate alle gallerie principali mediante gallerie di raccordo a Livello 0 e Livello 1.

Nella seguente Fig. 57 si riporta lo schema delle opere in progetto, in particolare la coltivazione mineraria e le zone già autorizzate per i due progetti operativi di recupero dei vuoti minerari (cantiere «camere impianti» e cantiere «serbatoi ipogei»), dei quali si parlerà nel capitolo successivo.

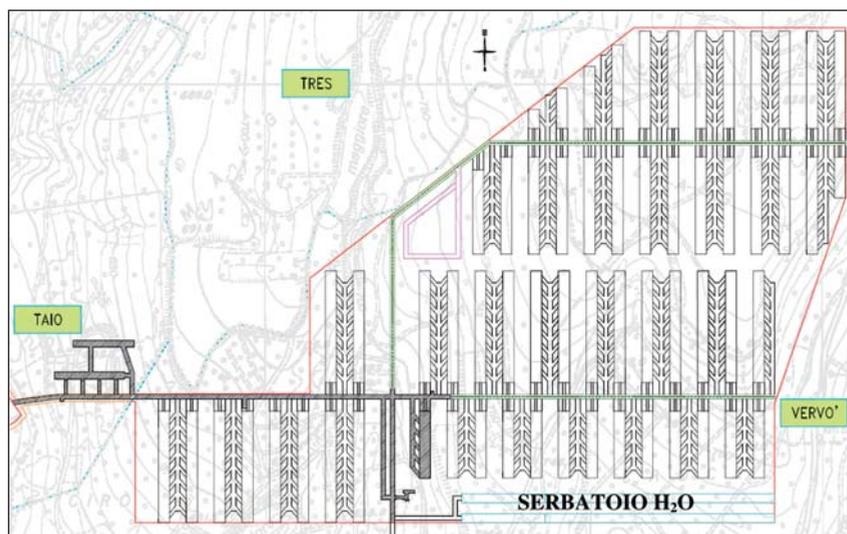


Fig. 57 - Schema di progetto.

10. RIUTILIZZO DEI VUOTI MINERARI

10.1 Camere ipogee per impianti

Tale progetto si inquadra nell'ambito più generale del processo di ristrutturazione ed ammodernamento dello stabilimento Tassullo di Tuenetto di Taio che prevede la futura messa in esercizio della cava in sotterraneo di Dolomia denominata «Rio Maggiore» e la lavorazione del minerale estratto direttamente nelle camere impianti sotterranee. Il suddetto progetto fa parte dei programmi di miglioramento ambientale della certificazione EN ISO 14001:2004 alla quale sono conformi lo stabilimento produttivo e l'attività mineraria ipogea. Il parziale trasferimento in sotterraneo dell'impiantistica di lavorazione meccanica dell'inerte consentirà in generale:

- 1) una riduzione dell'impatto ambientale associato alle lavorazioni dell'inerte, poiché le lavorazioni meccaniche della roccia verranno con-

- finite nelle camere impianti ipogee, riducendo in questo modo l'emissione di polveri e rumore;
- 2) un'ottimizzazione della gestione impiantistica, con conseguenti incremento di qualità dei prodotti finiti, grazie alla stazionarietà del microclima sotterraneo;
 - 3) la possibilità di chiudere la prima fase della filiera produttiva, che comprende l'estrazione del minerale e la sua prima lavorazione (frantumazione e vagliatura) direttamente in sotterraneo.

Nel progetto è prevista l'installazione di impianti per la lavorazione della dolomia in sotterraneo, collegati allo stabilimento esterno (dedicato alla sola miscelazione, confezionamento e caricamento dei prodotti finiti) mediante nastro trasportatore.

In particolare, Tassullo Materiali S.p.A. ha previsto di trasferire in sotterraneo le attività di frantumazione e vagliatura del minerale dolomitico, realizzando due camere sotterranee (denominate «Camera A e Camera B»), collegate tra loro mediante gallerie e cunicoli di servizio, ubicate nell'ammasso roccioso dolomitico sottostante il piazzale della ex cava in loc. Cirò. Il progetto esecutivo delle camere impianti è stato presentato alle Autorità competenti nel luglio 2008 e da queste autorizzato. Alla data di redazione del presente articolo le opere minerarie relative al progetto «camere impianti» sono concluse.

Dal punto di vista dimensionale, la Camera A (destinata all'alloggiamento degli impianti di frantumazione e vagliatura) sarà caratterizzata da una larghezza pari a 12 m, un'altezza in calotta pari a 15 m e da uno sviluppo di 110 m, per un volume complessivo di scavo pari a circa 18.100 m³. La camera sarà direttamente collegata alla galleria principale di ricerca mineraria (esistente) mediante una galleria di collegamento. Il minerale proveniente dalla miniera potrà in tal modo essere condotto direttamente negli impianti di lavorazione alloggiati nella camera senza transitare all'aperto. Lo scavo delle camere sarà effettuato mediante volate di esplosivo progettate in modo da ottenere una precisa profilatura delle pareti di scavo ed il massimo controllo delle vibrazioni.

La Camera B (destinata all'accumulo del materiale) sarà caratterizzata da una larghezza pari a 12 m, un'altezza in calotta pari a 21,70 m e da uno sviluppo di 126 m per un volume complessivo di scavo pari a circa 30.800 m³. La platea della Camera B sarà direttamente collegata alla galleria principale di ricerca mineraria tramite quattro gallerie di spillamento al Livello 0 ed una galleria provvisoria al Livello 1.

Una volta realizzate le camere impianti, pertanto, lo stabilimento esterno sarà dedicato alla sola miscelazione, confezionamento e carica-

mento dei prodotti finiti. Nella successiva Fig. 58 viene riportato il modello tridimensionale delle camere impianti ipogee (camera A e camera B) con vista da ovest.

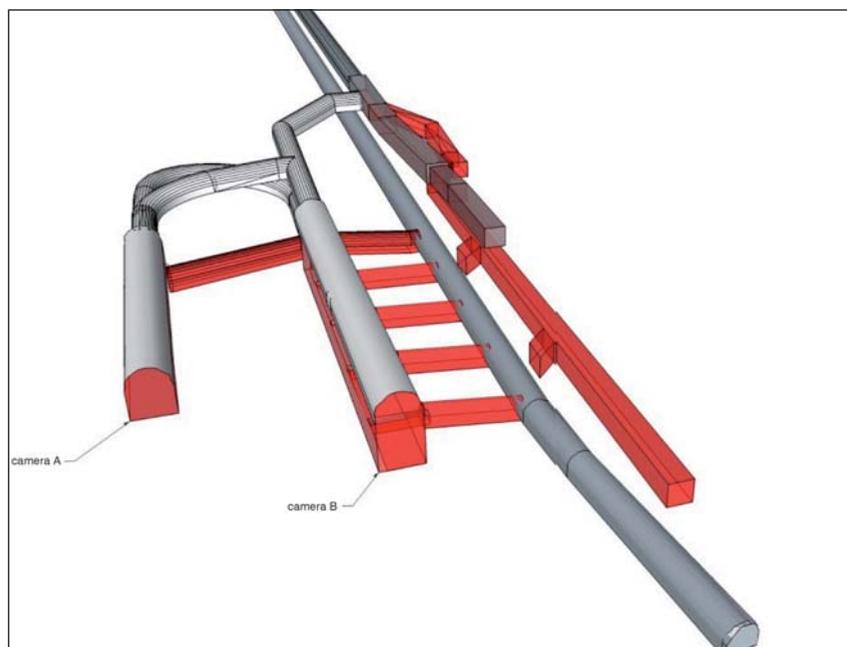


Fig. 58 - Vista da ovest delle camere impianti ipogee e dell'imbocco principale al livello 0.

Nelle Figg. 59-60 si riporta la fotosimulazione relativa ai prossimi sviluppi dello stabilimento produttivo con il trasferimento in sotterraneo delle attività di frantumazione e vagliatura del materiale dolomitico. Come si può desumere dalle immagini a seguire, l'attuale torre di frantumazione presente in stabilimento è destinata ad essere smantellata e le sue apparecchiature a essere trasferite nelle camere impianti ipogee.

10.2 *Serbatoi ipogei per accumulo d'acqua ad uso irriguo*

Il territorio ricadente sotto i comuni amministrativi di Taio e Vervò, ed in generale tutta la zona dell'altopiano della Predaia, risulta essere una zona con notevoli difficoltà dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico sia potabile che irriguo.



Fig. 59 - Vista dello Stabilimento dal sagrato della chiesa di Torra allo stato attuale.



Fig. 60 - Vista dello Stabilimento dal sagrato della chiesa di Torra con esercizio delle camere impianti.

I comuni di Taio e Vervò ed i vari Consorzi Irrigui di Miglioramento Fondiario (CMF) presenti nella zona, nel corso degli anni si sono attivati in svariati modi per porre rimedio a tale problematica. Vengono qui di seguito descritti i diversi soggetti coinvolti nel progetto dei serbatoi ipogei per l'accumulo di acqua ad uso irriguo, per meglio comprendere lo stretto collegamento tra il territorio locale e l'attività mineraria stessa.

Il CMF di Priò

Per il Consorzio di Miglioramento Fondiario di Priò il problema della carenza di risorse idriche risulta particolarmente marcato, in quanto le maggiori richieste di acqua sono concentrate nel periodo estivo, che è anche quello in cui gli approvvigionamenti esistenti non riescono a soddisfare le richieste necessarie per consentire una corretta irrigazione dell'estimo coltivato.

Tali aspetti andranno ulteriormente ad aggravarsi con l'entrata in vigore del D.M.V (Deflusso Minimo Vitale) che ridurrà drasticamente gli attuali prelievi di acqua, i quali potranno risultare minimi o addirittura nulli in alcuni periodi dell'anno.

A tal proposito il CMF di Priò nell'anno 2004 si è attivato per valutare la fattibilità di un bacino di accumulo di circa 100.000 mc, tale da garantire l'invaso necessario per una corretta irrigazione dell'estimo di sua competenza. Nell'ambito di questi studi preliminari, tenuto conto della nuova normativa in fatto di terre e rocce da scavo, il consorzio ha contattato Tassullo Materiali S.p.A. al fine di verificare la disponibilità a riutilizzare il materiale derivante dalle operazioni di scavo all'interno del ciclo produttivo aziendale.

Attente valutazioni circa la qualità del materiale di risulta hanno evidenziato l'impossibilità di un suo possibile riutilizzo nel ciclo produttivo di Tassullo Materiali SpA. L'impossibilità di poter collocare il considerevole volume di materiale derivante dagli scavi in maniera idonea e poco impattante per il territorio ha portato a scartare il progetto, in quanto non sostenibile dal punto di vista ambientale.

Il CMF di Vervò

Per quanto riguarda il CMF di Vervò, valgono le considerazioni fatte per il CMF di Priò riguardo all'entrata in vigore del DMV prevista entro il 2016. Oltre a questo, è noto che il CMF di Vervò, anche in considerazioni dell'altitudine a cui si trova il catasto di sua competenza e della forte discontinuità di portata delle concessioni che ha in essere,

risulta spesso in condizioni di difficoltà. Per sopperire a tali problematiche il CMF di Vervò si è dotato di un bacino di accumulo situato ad quota circa 860 m.s.l., che, collegato a vasche di compensazione collocate in opportune posizioni altimetriche, permette l'irrigazione del catasto agricolo di competenza del consorzio.

Tale sistema, anche se funzionale dal punto di vista idraulico, risente pesantemente della difficoltà che si riscontrano per garantire il riempimento del bacino. A tal fine, con notevole impegno economico, il CMF di Vervò ha installato delle tubazioni che, nei momenti di carenza di adduzione dalle concessioni esistenti, permettono di prelevare acqua dalle opere di presa del lago di S. Giustina poste ad una quota di 470 m.s.l.m. o da quelle presenti sul rio Pongaiola poste a quota 480 m.s.l.m. Risulta comunque evidente che tali situazioni, oltre che particolarmente onerose dal punto di vista economico, sono anche scarsamente sostenibili dal punto di vista ambientale.

Alla luce di tutto ciò il CMF di Vervò è continuamente alla ricerca di una soluzione che possa garantire costanza di approvvigionamento idrico nei momenti di necessità.

Tassullo Materiali SpA ed i CMF di Priò e Vervò

Viste le difficoltà emerse per la realizzazione di un bacino in soprasuolo a servizio del CMF di Priò e la costante carenza d'acqua del CMF di Vervò, i due consorzi in collaborazione hanno valutato possibili alternative per garantire lo stoccaggio e la costanza di risorsa idrica necessaria a garantire una corretta irrigazione degli estimi di loro competenza. In quest'ottica, di concerto con Tassullo Materiali SpA, si è valutata l'ipotesi di poter realizzare dei serbatoi di accumulo d'acqua in sotterraneo riutilizzando parte dei vuoti minerari derivanti dalle operazioni di coltivazione del giacimento di Dolomia di Torra.

È stato pertanto proposto alla Provincia Autonoma di Trento uno scenario mirato a razionalizzare l'utilizzo delle acque a scopo irriguo nel territorio comunale prospettando uno schema di razionalizzazione della acque che prevede tra l'altro di utilizzare l'acqua di falda con emungimenti contenuti ma costanti durante tutto il corso dell'anno per accumularla nei serbatoi ipogei.

Le Leggi Provinciali 4/2009 e 18/1976

La Provincia Autonoma di Trento nell'ambito della Legge 4/2009 «Norme di semplificazione e anticongiunturali di accompagnamento alla manovra finanziaria provinciale di assestamento 2009» all'art. 14 ha

previsto l'introduzione dell'articolo 17 novies all'interno della Legge 18/1976 «Norme in materia di acque pubbliche, opere idrauliche e relativi servizi provinciali». Tale articolo al comma 1 prevede che *«la Provincia, i comuni, i consorzi di bonifica e di miglioramento fondiario nonché le società affidatarie dei servizi idrici possono realizzare o installare – nell'ambito dei volumi, superficiali o sotterranei, oggetto di coltivazione delle cave ai sensi della legge provinciale 24 ottobre 2006, n. 7 (Disciplina dell'attività di cava) – appositi serbatoi o serbatoi di acque destinate prevalentemente ad uso potabile o irriguo, sulla base di apposito accordo di programma stipulato con il soggetto titolare della concessione o dell'autorizzazione alla coltivazione della cava, il comune territorialmente interessato e la Provincia»*.

Inoltre ai commi 4 e 5 è stabilito che *«l'utilizzazione dei volumi escavati per le finalità del comma 1 può essere determinata, per effetto dell'accordo di programma, anche in deroga al criterio di proficuo, corretto e integrale sfruttamento del giacimento previsto dalla legge provinciale sulle cave»* e che *«al termine dei lavori minerari di escavazione della parte relativa alle opere di cui al comma 1, è variato il provvedimento di concessione o di autorizzazione con lo stralcio dell'area interessata alle opere di predisposizione del serbatoio o del bacino, al fine di consentirne i relativi lavori»*.

La modifica della Legge Provinciale in materia di acque pubbliche ha di fatto reso possibile l'opera proposta dai CMF e dal Comune con il supporto di Tassullo Materiali S.p.A., che oggi può essere collocata all'interno del perimetro stabilito dal PPUSM, rendendo di fatto possibile il riutilizzo di vuoti minerari.

Accordo di programma

La Provincia Autonoma di Trento, il Comune di Vervò, il CMF di Vervò, il CMF di Priò e la Tassullo Materiali SpA hanno predisposto un Accordo di Programma in cui sono stati definiti alcuni degli aspetti pianificatori legati alla realizzazione e alla gestione dei serbatoi ipogei. L'accordo di programma, firmato il 20.04.2010, prevede la possibilità di realizzare in una prima fase due serbatoi di stoccaggio ipogei all'interno dell'area di cava «Rio Maggiore», dando la possibilità di ampliare i volumi di stoccaggio mediante la realizzazione di nuovi serbatoi fino ad un volume totale di 500.000 metri cubi. Tali nuovi serbatoi saranno collocati in modo da soddisfare le future esigenze dei Comuni e dei CMF ed in modo da ottimizzare i costi energetici per le operazioni di pompaggio e distribuzione in superficie.

Descrizione del programma di realizzazione dei serbatoi ipogei

All'interno dell'area autorizzata è prevista in una prima fase la realizzazione di due serbatoi ipogei da utilizzare come serbatoi a fini irrigui a servizio dei Consorzi di Miglioramento Fondiario. La collocazione dei serbatoi è prevista a sud delle camere dell'area Est, con accesso dalla già realizzata galleria «Traversa Est», con sviluppo Est-Ovest fino al limite dell'area di cava autorizzata (Fig. 61).

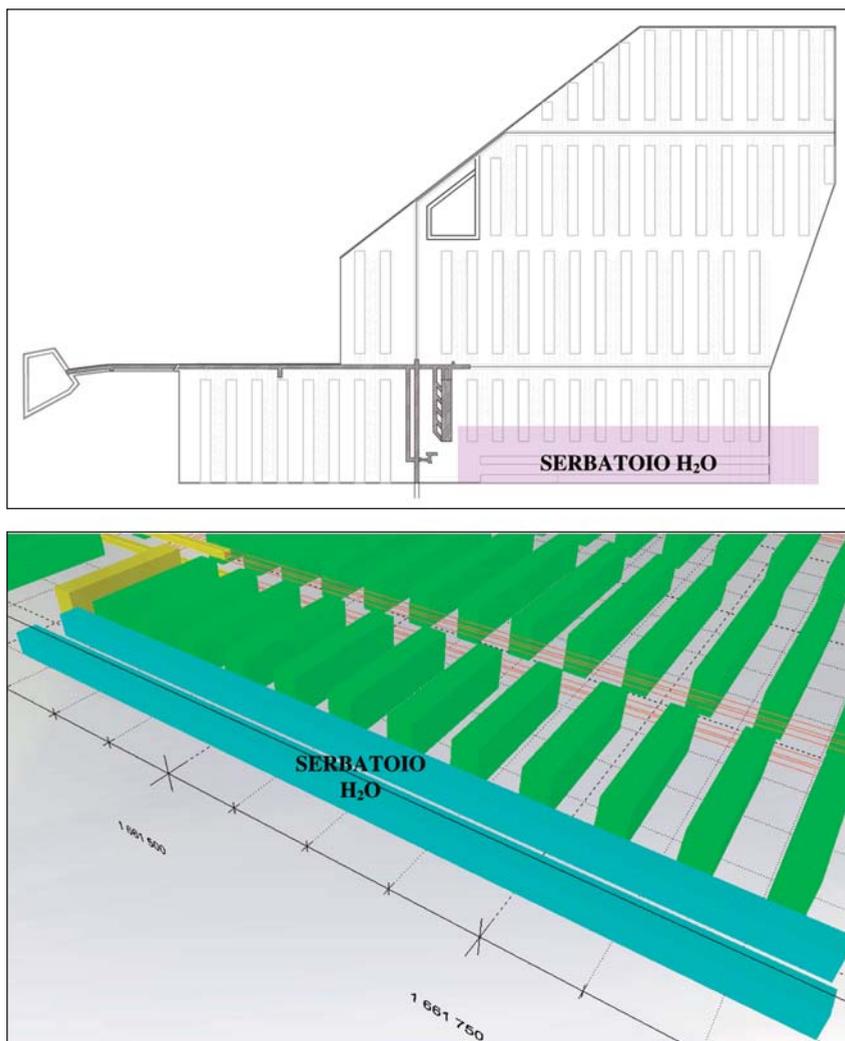


Fig. 61 - Serbatoi ipogei (pianta e vista prospettica Sud-Nord).

La sezione di scavo di entrambi i serbatoi sarà a ferro di cavallo (Fig. 62), con raggio della calotta pari a 8 m e piedritti di 10 m, con un'altezza totale di 18 m in chiave e larghezza totale di 16 m. La sezione di scavo sarà di circa 260 m² per una lunghezza, uguale per entrambi i serbatoi, di circa 562 m.

Lo scavo dei serbatoi avverrà previa realizzazione della galleria di calotta, che sarà utilizzata anche come galleria esplorativa per verificare le condizioni dell'ammasso roccioso prima dell'apertura dell'intera sezione, così da prevedere opportuni rinforzi e sostegni laddove necessario. In seguito, si eseguirà il ribasso del piano di fondo fino a raggiungere la quota finale di progetto. Il profilo bagnato dei serbatoi sarà trattato con adeguate finiture superficiali per realizzare la necessaria tenuta idraulica.

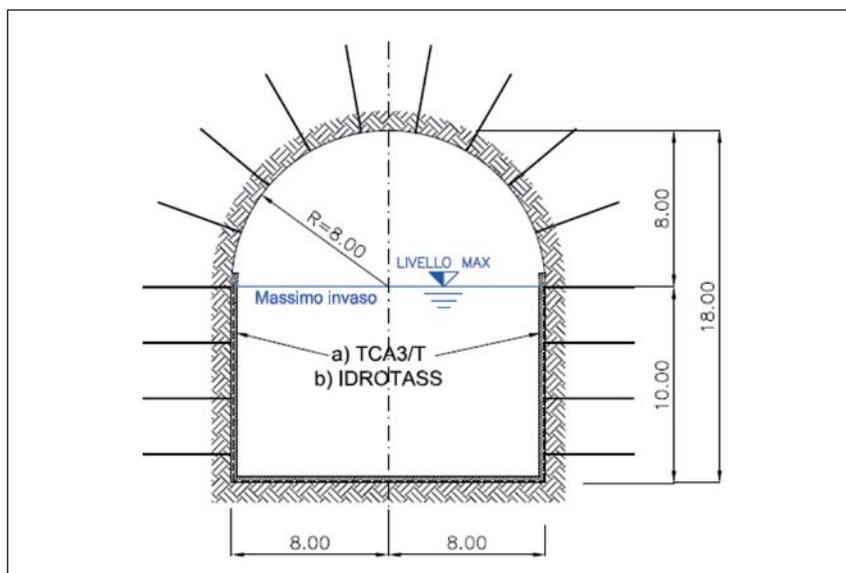


Fig. 62 - Sezioni tipo di scavo per i due serbatoi ipogei.

Parte della porzione iniziale dei serbatoi sarà destinata alla realizzazione di due ante-serbatoi di espansione, il cui scopo è contenere eventuali fuoriuscite dell'acqua stoccata, preservando il livello di sicurezza della sottostante coltivazione mineraria.

Il progetto prevede il pompaggio dell'acqua di falda all'interno dei serbatoi ipogei mediante pozzi già realizzati in miniera nell'ambito della ricerca mineraria. L'acqua conservata all'interno dei serbatoi ipogei

verrà poi pompata in superficie mediante una tubazione verticale passante in apposito pozzo di collegamento tra sotterraneo e fuori terra, con successivo collegamento idraulico alla rete irrigua esistente.

I principali vantaggi derivanti dalla conservazione di grandi volumi di acqua in sotterraneo rispetto alla soluzione convenzionale fuori terra sono riassumibili nei seguenti punti:

- nessun impatto paesaggistico dovuto alla presenza di grandi serbatoi di accumulo in superficie;
- nessun impatto ambientale legato allo smaltimento delle terre e rocce da scavo poiché l'inerte dolomitico estratto per lo scavo verrà utilizzato industrialmente;
- necessità di manutenzione ridotte al minimo, grazie alla possibilità di realizzare l'invaso in roccia compatta dalle ottime caratteristiche meccaniche;
- maggiore sicurezza dovuta all'assenza di sbarramenti/dighe in quanto il catino verrà realizzato interamente in roccia e il pelo libero dell'acqua avrà quota inferiore rispetto alle gallerie di accesso ai serbatoi stessi;
- conservazione dell'acqua in condizioni microclimatiche ideali: l'assenza di luce impedisce la formazione di alghe e l'elevata umidità rende nulla l'evaporazione dall'invaso ⁽²⁾;
- sicurezza della conservazione rispetto a possibili atti vandalici finalizzati a danneggiare l'invaso, poiché questo è facilmente presidabile (Fig. 63).

10.3 Frigoconservazione in atmosfera controllata della frutta

Parallelamente ai suddetti progetti, Tassullo Materiali S.p.A. ha attivato un progetto di ricerca, unitamente al Consorzio Melinda, finalizzato a valutare la fattibilità del riutilizzo di vuoti minerari sotterranei per la conservazione della frutta in atmosfera controllata. Relativamente ai molteplici argomenti oggetto del progetto di ricerca, il 16 novembre 2011 si è tenuto un convegno specialistico presso la Fondazione E. Mach (S. Michele A/A), in collaborazione con Provincia Autonoma di

⁽²⁾ L'effetto dell'evaporazione relativa ad uno specchio di acqua a cielo aperto è stimato in valle di Non pari a 437mm/anno, circa metà della pioggia media annua registrata alla stazione meteorologica di Cles nel periodo 1983÷2009. Trattasi dunque di un fenomeno molto importante da un punto di vista del bilancio idrico che porta di fatto a perdere circa metà della risorsa idrica accumulata. Questo effetto si riduce praticamente a zero nel caso di conservazione dell'acqua in sotterraneo.

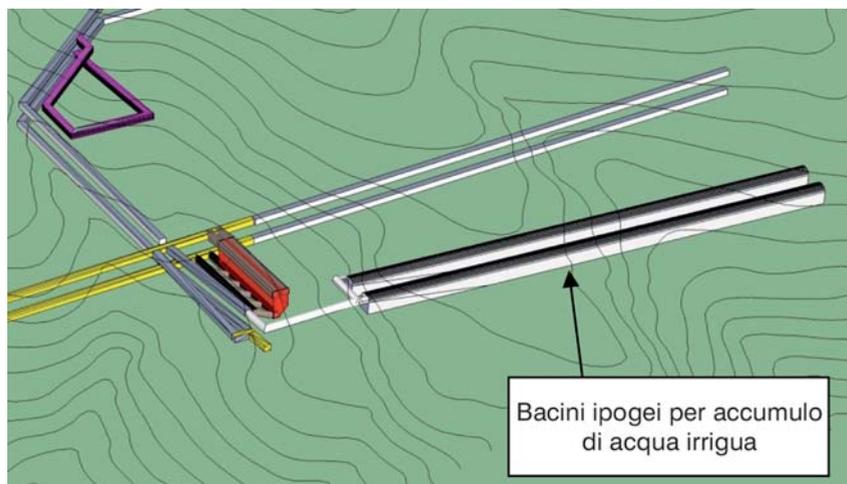


Fig. 63 - Vista 3d della zona di realizzazione dei serbatoi ipogei (vista da est).

Trento, Università di Trento, NTNU (Norwegian University of Science and Technology) e Tassullo Materiali.

Nei primi mesi del 2012 è stata attivata, all'interno della cava in sotterraneo «Rio Maggiore», una cella ipogea pilota (capacità di stoccaggio pari a 120 tonn) con lo scopo, mediante specifici test, di verificare il comportamento dei materiali da costruzione e, seppur su piccola scala, alcuni parametri significativi di conservazione della frutta (ad es. la perdita di peso, le caratteristiche organolettiche della frutta, i sistemi di tenuta dell'atmosfera controllata etc.). La prima prova è stata condotta dal 17 aprile 2012 al 27 luglio 2012; la seconda è stata condotta dal 10 ottobre 2012 al 11 febbraio 2012 (Fig. 64), la terza prova è in corso di svolgimento alla data di redazione del presente articolo.

Il coordinamento scientifico, per quanto riguarda il monitoraggio del processo, è stato affidato alla Fondazione E. Mach (Istituto Agrario S. Michele A/A). I dati raccolti con la sperimentazione in scala pilota, condotta all'interno del vano tecnico autorizzato dal comune di Vervò nel 2012, hanno permesso di ottenere informazioni utili allo sviluppo del futuro progetto di conservazione in sotterraneo della frutta su scala reale e confermano che la qualità della frutta conservata in sotterraneo è uguale o superiore rispetto a quella conservata nei magazzini convenzionali.

Con delibera della Giunta Provinciale n. 714 del 13 aprile 2012, è stata modificata la L.P. 7/2006 sulle cave inserendo l'articolo 5 bis *Disposizioni per l'utilizzazione dei volumi oggetto di coltivazione di cava*, che



Fig. 64 - Cella pilota per la frigoconservazione della frutta in ipogeo. Fase di carico della cella per la prova condotta dal 10.10.2012 al 11.02.2013.

di fatto rende possibile, all'interno del perimetro di cava, la realizzazione di strutture destinate alla conservazione di prodotti agricoli o finalizzate ad altre attività economiche o non economiche, anche mediante la differenziazione della destinazione d'uso dei vuoti di cava rispetto al soprassuolo.

I principali vantaggi che si hanno conservando la frutta in ipogeo sono riassunte ai punti seguenti:

– *riduzione dei costi energetici*

La soluzione proposta consente di ottenere notevoli risparmi energetici rispetto ai magazzini tradizionali. L'ammasso roccioso infatti è un isolante naturale le cui proprietà termiche aumentano con il tempo, a differenza di quanto accade per i magazzini tradizionali, dove i pannelli isolanti hanno una vita limitata con proprietà isolanti che peggiorano nel tempo. L'ambiente sotterraneo inoltre non è soggetto ai picchi di temperatura che si possono verificare nel periodo estivo/autunnale (la temperatura in sotterraneo è costante durante tutto l'anno) e l'ammasso roccioso ha capacità termica praticamente infinita. Da ciò deriva un importante risparmio energetico: dopo alcuni anni di funzionamento, i magazzini sotterranei im-

piegano quantità di energia di gran lunga inferiori rispetto ai magazzini convenzionali e da subito consentono di avere potenze frigorifere installate inferiori.

Il consumo medio annuo di energia elettrica delle celle ipogee è infatti stato stimato del 60% inferiore rispetto alla soluzione fuoriterra. La taglia degli impianti frigoriferi a servizio delle celle ipogee, parimenti, potrà essere ridotta del 50%.

- *risparmio di territorio con conseguente riduzione dei costi di acquisto*
La soluzione proposta minimizza, riducendo praticamente a zero, il consumo di territorio, determinando un importante vantaggio paesaggistico. Il volume necessario per la conservazione viene infatti realizzato interamente in sotterraneo, mentre all'esterno sono collocate le infrastrutture strettamente necessarie all'accesso e al carico/scarico, che rappresentano una modesta aliquota rispetto al totale.
- *eliminazione del carico di incendio e incremento della vita media dei bins*
La soluzione proposta consente un incremento delle condizioni di sicurezza antincendio, poiché, in caso di incendio, è possibile compartimentare facilmente le celle le quali, peraltro, sono costruite nella roccia e quindi non presentano il carico di incendio tipico dei magazzini convenzionali, principalmente dovuto alla presenza di materiali isolanti sulle pareti e a tetto. Queste condizioni rendono possibile quindi anche lo stoccaggio dei *bins* vuoti, che nei magazzini tradizionali vengono normalmente depositati in piazzali all'aperto. Inoltre, la conservazione dei *bins* in sotterraneo, in un ambiente privo di radiazione solare e a temperatura costante, ne incrementa la vita media, consentendo ulteriore risparmio economico.
- *utilizzo della geotermia/azzeramento dei consumi di acqua*
La soluzione proposta consente di realizzare un ulteriore risparmio energetico integrando il ciclo del freddo necessario alla frigoconservazione con i costruendi serbatoi di accumulo ipogeo per acqua ad uso irriguo. L'importante volume di acqua a bassa temperatura stoccato in sotterraneo può essere utilizzato, prima di essere ceduto all'attività agricola, per asportare il calore estratto dagli impianti frigo, aumentando così il rendimento complessivo del ciclo frigorifero. Tale schema impiantistico, che è reso possibile dalla contemporanea presenza nel sito minerario dei serbatoi ipogei ad uso irriguo e delle celle per la conservazione della frutta, consente l'azzeramen-

to del consumo di acqua impiegata oggi per i sistemi di condensazione evaporativa.

– *estendibilità/modularità del progetto*

La soluzione proposta permette al Consorzio Melinda di disporre di considerevoli volumi utilizzabili per la conservazione della frutta, realizzabili in modo scalare in funzione delle effettive necessità di stoccaggio. Tale possibilità risulta normalmente compromessa nel soprasuolo in quanto esistono vincoli di proprietà e paesaggistici.

– *possibilità di realizzazione di soluzioni impiantistiche innovative a costi più contenuti*

La soluzione proposta permette di avere disponibili grandi volumi utilizzabili anche per il pre-raffrescamento delle mele. Questo pre-trattamento della frutta prima del conferimento in cella non è ad oggi utilizzato nei magazzini convenzionali in quanto richiede grandi spazi ed ulteriore impegno energetico, ma porterebbe ad importanti incrementi della qualità del prodotto conservato, in quanto si riuscirebbe a raffrescare la frutta, nel periodo della raccolta, rapidamente (per es. entro 24h) fino alla temperatura di conservazione prima del conferimento in cella. Attualmente, il raffrescamento della frutta dalla temperatura di raccolta alla temperatura di conservazione avviene in circa 20 giorni. Questo incide negativamente sulla qualità della mela, in quanto è dimostrato che ogni giorno post-raccolta trascorso dalla frutta a temperatura ambiente determina la diminuzione di circa una settimana di *shelf-life*.

– *vantaggio ambientale dovuto al mancato smaltimento dei pannelli isolanti a fine vita*

La soluzione proposta permette di realizzare celle per la conservazione della frutta senza impiegare materiali isolanti, in quanto l'effetto di isolamento termico viene garantito dalla roccia stessa. Questo aspetto porta ad un vantaggio ambientale considerevole, se si pensa che i pannelli isolanti utilizzati nei magazzini convenzionali hanno una vita limitata, principalmente dovuta al decadimento nel tempo delle prestazioni isolanti a causa della diffusione di umidità all'interno della porosità dell'isolante, e necessitano quindi di essere periodicamente sostituiti: il materiale del quale sono costituiti i pannelli (schiuma poliuretanic) deve infatti essere smaltito in discariche per rifiuti speciali, con conseguenti costi ambientali. Si stima che nei magazzini convenzionali siano necessari circa 1,9 mc di

isolante per vagoni di frutta stoccata. Tale valore si riduce a zero quando si realizzano celle ipogee, proprio perché non è necessario ulteriore isolamento rispetto a quello che già la roccia garantisce (Fig. 65).

– *incremento della sicurezza della conservazione verso possibili fuori servizio degli impianti frigo*

La soluzione proposta permette di ottenere maggiori garanzie sulla conservazione della frutta verso possibili fuori servizio degli impianti frigoriferi, dovuti ad esempio ad un guasto o alla mancanza di tensione dalla rete elettrica. Nei magazzini tradizionali, qualora il guasto si verifici nella stagione calda, in poche ore la temperatura dell'aria all'interno delle celle aumenta fino ad uscire dal campo di accettabilità per la conservazione. Tale situazione, nei casi più gravi, può comportare l'avaria di tutta o parte della frutta conservata.

Nel caso delle celle ipogee, l'ammasso roccioso agisce da grande volano termico in grado di compensare, alla situazione di regime, il fuori servizio degli impianti frigo. La bibliografia scientifica indica come l'incremento di temperatura nelle celle ipogee, in caso di fuori servizio degli impianti frigo, sia nell'ordine di 2-3 °C in tre settimane. Tale intervallo di tempo è ampiamente sufficiente per ripristinare gli impianti senza creare alcun danno alla merce in conservazione.

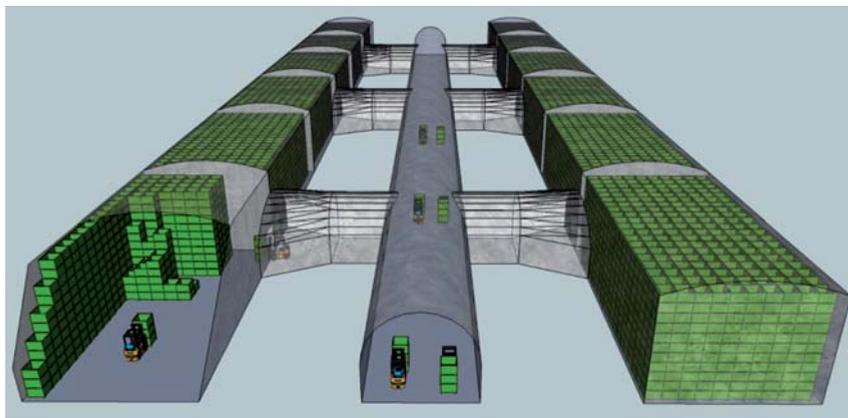


Fig. 65 - Modulo di conservazione in atmosfera controllata per la frutta.

Il Progetto prevede la realizzazione di sei moduli di stoccaggio come quello rappresentato in Fig. 65, per una capacità di stoccaggio comples-

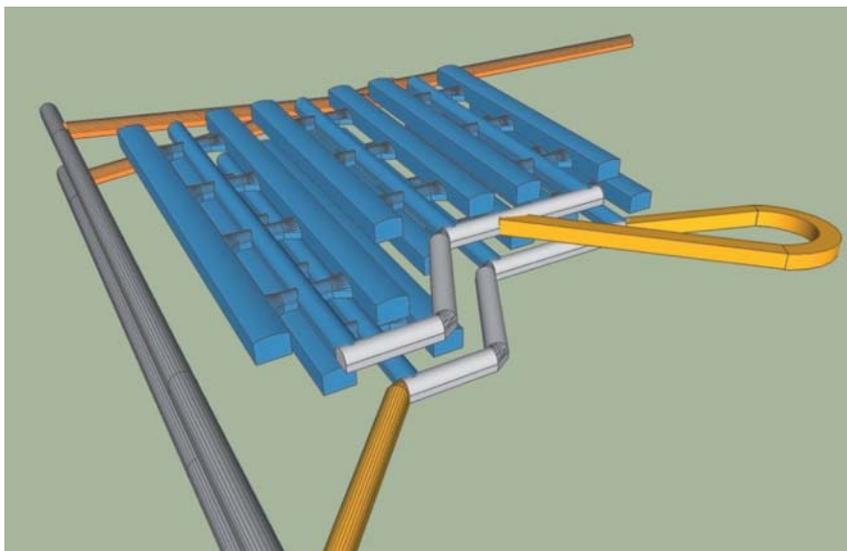


Fig. 66 - Rendering del magazzino ipogeo a fine lavori. In colore blu le celle di conservazione e relativi corridoi di accesso; in giallo e grigio le gallerie di accesso

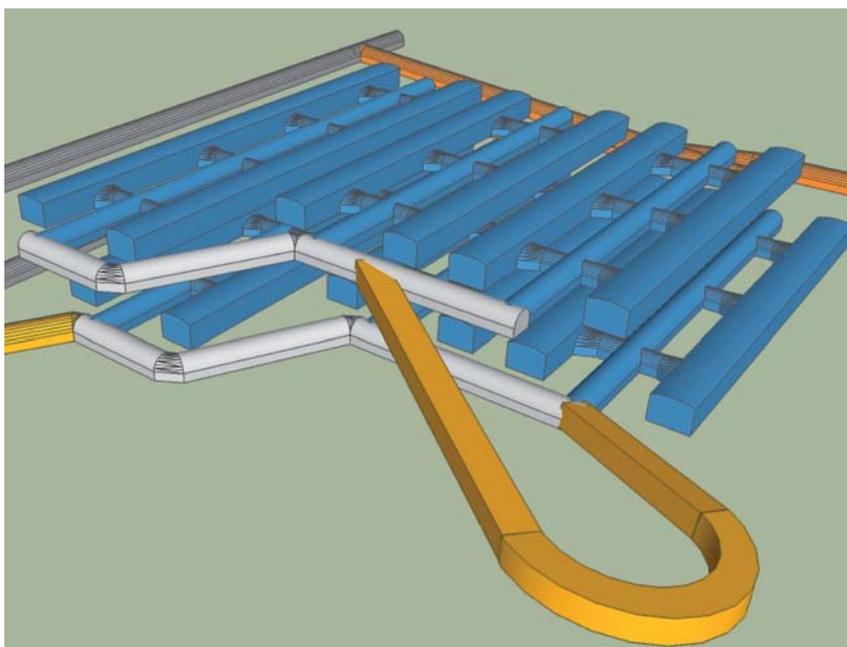


Fig. 67 - Rendering del magazzino ipogeo a fine lavori. In colore blu le celle di conservazione e relativi corridoi di accesso; in giallo e grigio le gallerie di accesso. Altra vista rispetto all'immagine precedente.

siva di circa 50.000 tonnellate di frutta. Ciascun modulo avrà una capacità di circa 8.000 tonn e sarà costituito da:

- corridoio centrale di smistamento;
- corridoi laterali di accesso alle celle di frigoconservazione;
- celle di frigoconservazione.

La sezione-tipo di scavo delle gallerie di smistamento e dei corridoi laterali è pari a 54.8 m² con larghezza pari a 8.30 m e altezza in chiave pari a 7.5 m. La sezione di scavo delle gallerie-celle è pari a 134.5 m², larghezza pari a 12.30 m e altezza totale in chiave pari a 11.30 m. All'interno delle gallerie-celle verranno predisposte opportune murature divisorie in modo da compartimentare ogni singola cella.

Il progetto prevede la realizzazione di sei moduli su due livelli sovrapposti (Figg. 66-67) e relative gallerie di collegamento e accesso. Alla data di stesura della presente pubblicazione, la Provincia Autonoma di Trento ha approvato il progetto minerario esecutivo per la realizzazione delle due prime gallerie-celle di conservazione al livello inferiore. Queste saranno oggetto di una nuova sperimentazione in scala reale, in modo da ottenere dati utili alla realizzazione dei moduli successivi.

BIBLIOGRAFIA

- AGIP MINERARIA, 1959 - Microfacies italiane: dal Carbonifero al Miocene medio - *Tav. CXLV*, 1-35.
- ANTONELLINI M. & MOLLEMA P.N., 2000 - A Natural analog for a fractured and faulted reservoir in dolomite: Triassic Sella Group, Northern Italy, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 84, pp. 314-344.
- APPELO C.A.J., BEEKMAN H.E. & OOSTERBAAN A.W.A., 1984 - Hydrochemistry of springs from dolomite reefs in the southern Alps of northern Italy, *IAHS pubbl.*, 150, pp. 125-138.
- AVANZINI A. & TOMASONI R., 2001 - I Calcari Grigi di Cima Vezena - Pizzo di Levico (Trentino-Italia nord orientale), *Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica*, 77 (2000), pp. 245-267.
- AVANZINI A. & TOMASONI R., 2004 - Il limite Giurassico inferiore-medio sul Monte Palon (Monte Bondone, Trento), *Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica*, 79 (2002), pp. 195-200.
- AVANZINI M., CAMPOLONGO M., LEONARDI G. & TOMASONI R., 2001 - Tracce di dinosauri nel Giurassico inferiore della Valle del Sarca (Italia nord-orientale), *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 76 (1999), pp. 167-182.
- ASSERETO R.L.A.M., KENDALL G.ST.C., 1977 - Nature, origin and classification of peritidal tepee structures and related breccias, *Sedimentology*, 24, pp. 153-210.

- BERNER R.A., 1981 - A new geochemical classification of sedimentary environments, *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, pp. 359-366.
- BOSELLINI A., 1965 - Analisi petrografica della «Dolomia Principale» nel Gruppo di Sella (Regione Dolomitica), *Mem. Geopal. Univ. Ferrara*, 1, pp. 50-109.
- BOSELLINI A., 1967 - La tematica deposizionale della dolomia principale (Dolomiti e Prealpi Venete), *Boll. Soc. Geol. It.*, pp. 133-169.
- BOSELLINI A., 1984 - Progradation geometries of carbonate platforms: example from the Triassic of the Dolomites, northern Italy, *Sedimentology*, pp. 1-24.
- BOSELLINI A. & BROGLIO LORIGA C., 1965 - «Gli strati a Triasina» nel Gruppo di Sella (Dolomiti Occidentali), *Mem. Geopal. Univ. Ferrara*, 1, pp. 159-180.
- BOSELLINI A. & HARDIE L.A., 1985 - Facies e cicli della dolomia principale delle Alpi Venete, *Mem. Soc. Geol. It.*, pp. 245-266.
- BRAITHWAITE C.J.R., RIZZI G. & DARKE G., 2004 - The geometry and petrogenesis of dolomite hydrocarbon reservoirs, *Geological Society, Special Publication*, 235, pp. 1-413.
- CHOQUETTE P.W. & PRAY L.C., 1970 - Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 54, pp. 207-250.
- DI BARI D. & RETTORI R., 1996 - Morphological features of triasina hantkeni majzon, 1954 (Foraminiferida, aulotortidae) and remarks on the west wall structure, *Revue de Micropaléontologie*, 39, pp. 305-313.
- DUNHAM R.J., 1962 - Classification of carbonate rocks according to depositional texture, *American Ass. of Petroleum Geologists, Memoir 1, ed. W.E. Ham.*, pp. 108-121.
- EIKEVIK T.M., TOLSTOREBROV I., 2012 - Measurement and literature review of thermal properties of Dolomite, *NTNU - Trondheim University*, pp. 1-11.
- ENGELEN G.B., 1973 - Hydrogeology of the Sasso Lungo Group, a dolomitic reef stock in the Alpine Dolomites of North Italy, *Journal of Hydrology*, 21, pp. 111-130.
- ENI, 1972 - *Acque dolci sotterranee*, pp. 914.
- FOLK R.L., 1964 - Some aspects of recrystallization in ancient limestones, *Supplied by The British Library - «The world's knowledge»*, pp. 14-48.
- FRISIA S., 1994 - Mechanisms of complete dolomitization in a carbonate shelf: comparison between the Norian Dolomia Principale (Italy) and the Holocene of Abu Dhabi Sabkha - *The International Association of Sedimentologists*, 21, pp. 55-74.
- FUGANTI A., 1964 - La geologia dei dintorni di Mollaro (Trentino Occidentale), *Studi Trentini di Scienze Naturali*, pp. 73-110.
- FUGANTI A. & ULCIGRAI F., 1967 - Fenomeni erosivi e «filoni neptuniani» nei sedimenti del Trias Superiore e del Lias della Valle di Non (Trento), *Studi Trentini di Scienze Naturali*, pp. 14-46.
- FUGANTI A. & MOSNA S., 1963 - Il Cretaceo nel Trentino Centrale, *Atti Ist. Geol. Università Pavia*, XIV, pp. 81-116.
- FUGANTI A. & MOSNA S., 1966 - Studio stratigrafico-sedimentologico e micropaleontologico delle facies giurassiche del Trentino occidentale, *St. Trent. Sc. Nat.*, XLI-II, pp. 25-105.
- FUGANTI A., ODORIZZI S., ZANCAN W. & TOMASI A., 2006 - La cava in sottterraneo Rio Maggiore entro un giacimento di dolomia in località Mollaro (Trento), *Convegno GEAM «Le cave in sottterraneo», Torino 20-21 giugno*.
- GAETANI M., FOIS E., JADOUL F. & NICORA A., 1981 - Nature and evolution of Middle Triassic carbonate buildups in the Dolomites (Italy), *Marine Geology*, 44, pp. 25-57.

- GOLDHAMMER R.K., DUNN P.A. & HARDIE L.A., 1987 - High frequency glacio-eustatic sea level oscillations with Milankovitch characteristics recorded in Middle Triassic platform carbonates in N. Italy, *American Journal of Science*, 287, pp. 853-892.
- HARDIE L.A., BOSELLINI A. & GOLDHAMMER R.K., 1986 - Repeated subaerial exposure of subtidal carbonate platforms, Triassic northern Italy: evidence for high frequency sea level oscillations on a 10(4) year scale, *Paleoceanography*, 1, pp. 447-457.
- IANNACE A. & FRISIA S., 1994 - Changing dolomitization styles from Norian to Rhaetian in the Southern Tethys realm, *The International Association of Sedimentologists*, 21, pp. 75-89.
- JOHNSON J.H., 1951 - An Introduction to the study of organic limestones, *Quarterly of the Colorado School of Mines*, 46, pp. 1-185.
- LEONARDI P., 1967 - *Le Dolomiti. Geologia dei Monti fra Isarco e Piave*, Manfrini, Rovereto, 1, , pp. 1-552.
- LOGAN B.W., REZAK R. & GINSBURG R.N., 1962 - Classification and environmental significance of algal stromatolites, *The Journal of Geology*, 72, pp. 68-83.
- LONGINELLI A. & SELMO E., 2003 - Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map, *Journal of Hydrology*, 270, pp. 75-88.
- LUCIA J.F., 1995 - Rock-Fabric/Petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization, *AAPG Bulletin*, 79, pp. 1275-1300.
- MILLER J.K. & FOLK R.L., 1994 - Petrographic, geochemical and structural constraints on the timing and distribution of postlithification dolomite in the Rhetian Portoro (Calcare Nero) of the Portovenere Area, La Spezia, Italy, *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, pp. 187-202.
- MUNDIL R., ZÜHLKE R., BECHSTÄDT T., PETERHÄNSEL A., EGENHOFF S.O., OBERLI F., MEIER M., BRACK P. & RIEBER H., 2003 - Cyclicities in Triassic platform carbonates: synchronizing radio-isotopic and orbital clock, *Terra Nova*, 15, pp. 81-87.
- NEGRA M.H., PURSER B.H. & M'RABET A., 1994 - Permeability and porosity evolution in dolomitized Upper Cretaceous pelagic limestones of Central Tunisia, *The International Association of Sedimentologists*, 21, pp. 309-323.
- PEARSON F.J., 1965 - Use of C13/C12 ratios to current radiocarbon ages of material initially diluted by limestone. *Proc. Int. Conf. on Radiocarbon and Tritium Dating*. Pullman Ed, pp. 1-357.
- PEARSON F.J. & HANSHAW B.B., 1970 - Sources of dissolved carbonate species in groundwater and their effects on carbon-14 dating, *Isotope Hydrogeology, International Atomic Energy Agency Vienna, Symposium 129*, pp. 271-286.
- PICOTTI V., 2013 - Note illustrative della Carta geologica d'Italia 1:50.000, foglio 043, Mezzolombardo, pp. 250.
- PIRINI C., 1965 - Presenza di «Orbitopsella Praecursor» (Gûmbel) nella zona di Monte Marsicano (Abruzzo) - *Riv. Ital. Paleont.*, 71, pp. 1169-1178.
- PURSER, B.H., BROWN A. & AISSAOUI D.M., 1994 - Nature, origins and evolution of porosity in dolomites, *The International Association of Sedimentologists*, 21, pp. 283-308.
- PURSER B., TUCKER M. & ZENGER D. 1994 - *Dolomites a volume in honour of Dolomieu, Special Publication number 21 of the International Association of Sedimentologists*, pp. 451.
- SALLER A.H., 1984 - Petrologic and geochemical constraints on the origin of subsurface dolomite, Enewetak Atoll: an example of dolomitization by normal seawater - *Geology*, 12: 217-220.

- SANDER B., 1936 - Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge. (Rhythmische Kalke und Dolomite aus der Trias), II. *Südalpine Beispiele, Hauptdolomit, Allgemeines. Petrogr. Mitt.*, 48, pp. 141-209.
- SARTORI S. & CRESCENTI U., 1962 - Ricerche biostratigrafiche sul Mesozoico dell'Appennino Meridionale, *Giornale di Geologia*, XXIX, pp. 159-302.
- SCUDELER BACCELLE L., NARDI S., CLARI P.A. & MARTIRE L., 1997 - Aminoacidi in concrezioni carbonatiche di calcari pelagici giurassici (Rosso ammonitico veronese, Italia Settentrionale), *Atti Tic. Sc. Terra*, 39, pp. 55-64.
- SEYHAN E., VAN DE GRIEND A.A. & ENGELEN G.B., 1985 - Multivariate analysis and interpretation of the hydrochemistry of a dolomitic reef aquifer, Northern Italy, *Water Resources Research*, 21, pp. 1010-1024.
- SHINN E.A., 1968 - Practical significance of birdseye structures in carbonate rocks, *Journal of Sedimentary Petrology*, 38, pp. 215-223.
- SPENCER-CERVATO C., 1991 - Dolomitizzazione idrotermale di calcari pelagici giurassico-cretacici nelle Alpi Meridionali (Italia), *Boll. Soc. Geol. It.*, pp. 139-154.
- SUN Q.S., 1995 - Dolomite reservoirs: porosity evolution and reservoir characteristics, *AAPG Bulletin*, 79, pp. 186-204.
- VAN DE GRIEND A.A., SEYHAN E., ENGELEN G.B. & GEIRNAERT W., 1986 - Hydrological characteristics of an Alpine glacial valley in the North Italian Dolomites, *Journal of Hydrology*, 88, pp. 275-299.
- VENZO G.A. & FUGANTI A., 1965 - Il Trias della Mendola (Trentino Alto Adige), *St. Trent. Sc. Nat.*, LXII, pp. 55-86.
- WILSON E.N., HARDIE L.A. & PHILLIPS O.M., 1990 - Dolomitization front geometry, fluid flow patterns, and the origin of massive dolomite: the Triassic Latemar buildup, northern Italy, *American Journal of Science*, pp. 741-796.
- WINTERER E.L., BOSELLINI A., 1981 - Subsidence and sedimentation on Jurassic Passive continental margin, Southern Alps, Italy, *The American Association of Petroleum Geologists*, pp. 394-421.
- ZAMPARELLI V., 1964 - Livello a Saccocoma nel Gargano, *Mem. della Soc. Geologica Ital.*, 4, pp. 1011-1035.

Andrea Fuganti è stato professore di Geologia e Geologia Applicata dal 1965 ad oggi nelle università di Trieste, Catania e Trento. È in pensione dal 2011. È stato consulente in Italia per Enti pubblici e privati e del Governo italiano e della Comunità Europea in molte missioni in Africa, Sudamerica ed Asia. Conosce la geologia e la idrogeologia della Valle di Non fin dagli anni '60 del secolo scorso. È autore di circa 120 pubblicazioni sull'argomento geologico ed idrogeologico.