

LA MINIERA DELLA VAL D'AUPA IN UN CONTESTO PIÙ AMPIO DI PROVINCIA METALLOGENICA TRIASSICA SITUATA NELLE ALPI ORIENTALI

ENRICO FRANGIPANI

Via dei Fabbri 1 – I-34124 Trieste. E-mail: enrico.frangipani@libero.it

Abstract – Aupa Valley mine represents a small Fluorite field with negligible quantities of galena and sphalerite located in the Julian Alps area. The ore deposit formed in the Triassic period when hydrothermal fluids rapidly ascended to the sea floor. It seems likely that it represents the upper part of an old hydrothermal system. Considerations based mainly on the crystallization of calcite and fluorite suggest generally low temperatures decreasing during the final process stages while flow rates and the quantity of fluorite precipitated by cooling low NaCl solution suggest that this mineral formed very rapidly, perhaps in a few years. The presence of many other ore deposits in the neighbourhood that can be viewed also as remnants of hydrothermal systems, strongly suggests the same origin for all of them and probably the same age.

Key words:

Riassunto – La piccola miniera di fluorite della Val d'Aupa viene considerata in un modello che prospetta una genesi idrotermale per la mineralizzazione. La miniera viene poi inserita in un contesto più ampio in cui altri depositi minerari non distanti vengono visti come parti diverse del percorso che i fluidi caldi percorrevano risalendo verso il fondale marino. In particolare il giacimento della Val d'Aupa rappresenterebbe la parte terminale, di un sistema idrotermale attivo nel Triassico. È probabile che i diversi minerali si siano depositati rapidamente da una soluzione in costante raffreddamento.

Parole chiave: Val d'Aupa, miniera, fluorite, sistema idrotermale.

1. – Introduzione

Già negli anni sessanta del secolo scorso, il Prof. Cucagna nel suo saggio di Geografia storica sulle miniere del settore orientale delle Alpi sottolineava le modestissime concentrazioni di minerale sfruttabile, per lo più solfuri misti, che impedirono sempre una continuità di sfruttamento, e che anche se localmente più abbondanti, in fin dei conti non furono mai sufficienti allo sfruttamento intensivo neppure durante periodi economici favorevoli. La miniera della Val d'Aupa non fa eccezione. La prima galleria venne realizzata alla fine del 1800 per la ricerca della blenda e della galena, poi lo sfruttamento della fluorite prevalse già a partire dal 1926 per terminare dopo diversi periodi di inattività nel 1954. Le pubblicazioni esistenti di argomento minerario, comprese quelle sulla miniera oggetto del presente studio, risalgono al periodo in cui l'attività mineraria esisteva ancora. Pur riportando molte osservazioni valide, le spiegazioni che ad esse si danno, appaiono ormai del tutto superate. Il presente lavoro si propone di aggiornare le conoscenze precedenti e di inserire la miniera in un quadro più organico, cercando di individuare alcune delle leggi che possono aver presieduto alla formazione di questo giacimento. Il problema è stato così affrontato da un punto di vista geochimico ipotizzando degli intervalli fisico-chimici di formazione delle principali specie mineralogiche ricorrenti nell'incassamento.

2. – Il giacimento

Alcune caratteristiche del giacimento sono state descritte da di COLBERTALDO (1960) che rilevava il calcare del Ladinico superiore dalla Val d'Aupa fino al confine sloveno. E' questo calcare che rappresenta il terreno metallifero per eccellenza. La miniera si trova sulla destra idrografica della Val d'Aupa e sfruttava le mineralizzazioni situate in piccoli isolotti di calcare metallifero ubicati nei due versanti del Rio Fous, un affluente di destra del torrente Aupa. Sempre secondo questo autore, il calcare si troverebbe in netta discordanza tettonica sopra un basamento formato dal complesso del Buchenstein (strati di Livinallongo) molto ripiegato comprendente marne e arenarie quarzose, calcari arenacei e porfiriti (Fig. 1).

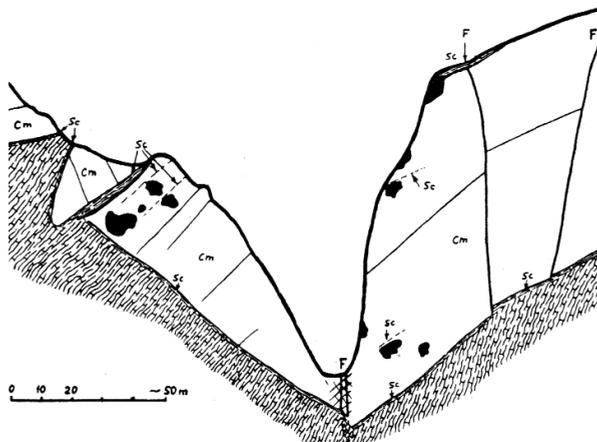


Fig. 1 – Da di Colbertaldo (1960): Sezione N-S attraverso il Rio di Fous in Val d'Aupa. Le macchie nere rappresentano le sacche di fluorite nel calcare metallifero. A trattini il complesso del Buchenstein.

Fig. 1 – From di Colbertaldo (1960): Geologic cross section N-S of Rio di Fous (Val d'Aupa). The black spots represent the fluorite ore deposits in the metalliferous limestone. Dashed line is the Buchenstein formation.

Solo sul versante sinistro della Val d'Aupa il calcare metallifero sarebbe ricoperto dal Raibliano. Di Colbertaldo segnalò anche alcune fratture e faglie nonché degli esili straterelli di scisti argillosi nei calcari che avrebbero favorito una ipofiltrazione delle soluzioni, legate probabilmente al magmatismo triassico, e quindi il deposito dei minerali. Secondo questo autore la soluzione sarebbe risalita sino ad incontrare quegli esili straterelli dal carattere semipermeabile che avrebbero lasciato passare il solvente ma non il soluto e che quindi lo avrebbero concentrato al di sotto dando luogo al corpo minerario. Al giorno d'oggi questa teoria appare vaga, una descrizione mancante di quegli aspetti quantitativi che usualmente permettono una discussione scientifica ed eventualmente di modificare il modello proposto.

I corpi mineralari sono dati da sacche della potenza di qualche metro di fluorite, bianca e compatta, molto pura e pregiata, o grigia, accompagnata da calcite e da modeste quantità di galena e blenda. Questi ultimi minerali sono sempre stati ritenuti ac-

cessori - nel 1937 furono prodotte 2 t di galena e 1 di blenda - ed eliminati come sterile. Pure segnalati dal di Colbertaldo sono i minerali quarzo, pirite e marcasite e notati furono anche dei grossi cristalli di galena e blenda ricoperti dalla matrice calcitica che in tempi recenti diventeranno oggetto di ricerca per appassionati collezionisti di minerali; nei lavori in sinistra del Rio di Fous scopri anche un filone mineralizzato a blenda e galena altamente ricco ma troppo limitato per essere suscettibile di coltivazione.

3. – Una grande provincia metallogenica

Già Cucagna, nel 1960, notò che pochi minerali (tetraedrite, calcopirite, pirite, blenda, galena, cinabro, siderite) in ganghe calcitiche, baritiche o fluoritiche descrivono la fisionomia geomineraria di una grande provincia metallogenica corrispondente alle Alpi calcaree centro orientali. Nonostante in quest'area le rocce carbonatiche siano largamente preminenti, le metallizzazioni a solfuri sono nettamente le più frequenti fatto questo che non mancò ovviamente di richiamare l'attenzione su ambienti riducenti e con acido solfidrico. Inoltre tutte le mineralizzazioni appaiono svilupparsi più verticalmente che lateralmente. A Raibl ad esempio la zona sfruttata si estende in profondità per oltre mille metri. Temporalmente i depositi sembrano tutti compresi in un intervallo stratigrafico che va dal Permico al Triassico. Altra caratteristica che le accomuna è che in queste aree così limitate coesistano più concentrazioni con caratteri diversi e di minerali diversi. Queste osservazioni sono sempre sembrate compatibili con un'origine idrotermale delle metallizzazioni cioè con fluidi metallizzanti che risalivano dal profondo seguendo faglie e zone a maggiore permeabilità. Purtroppo la mancanza di molti dati analitici e osservativi oggi disponibili, rese difficile capire come queste soluzioni con H₂S potessero portare in soluzione quei cationi i cui solfuri sono pochissimo solubili o ancora quali fossero le ragioni che indussero i minerali a precipitare. Il fatto poi che molte metallizzazioni presentassero caratteristiche di media-bassa termalità (BRIGO 1982), ha indotto alcuni autori (ULRICH 1981) a considerarle più legate ad ambienti sedimentari o di tipo Mississippi Valley cioè simili a quei depositi legati a bacini sedimentari vastissimi, entro i quali l'acqua si muove principalmente per gravità e che rimangono stabili per lunghi lassi di tempo. Attualmente alcune ricerche di ZIBERNA (2009) sul magmatismo Ladinico nel sudalpino hanno aggiunto altre condizioni di uniformità per le rocce di quest'area. Si tratta di serie da alcaline a transazionali alte in potassio caratterizzate da affinità shoshonitica con una marcata anomalia negativa di niobio. Per buona parte di esse i dati geocronologici indicano un'età di 230-241 Ma con un massimo dell'attività vulcanica verificatasi 235 Ma fa cioè nel Ladinico.

Non sembra che il giacimento della Val d'Aupa presenti caratteristiche eccezionali, non compatibili con il modello idrotermale, più in particolare con quel idrotermalismo presente nelle zone di ridge oceanico in cui l'acqua di mare percola nel sottofondo marino, cambia il suo chimismo diventando acida e dopo essersi caricata di elementi metallici alterando i basalti, risale depositando questi elementi, per lo più come solfuri, lungo i condotti di risalita. La soluzione finisce poi dispersa nelle acque

dell'oceano. Anzi il carattere instabile con repentini cambiamenti di portata, temperatura e pressione e la fuoriuscita dei fluidi da una zona ristretta, sembrano proprio quelle caratteristiche che nel Triassico dovevano essere comuni a molte delle sorgenti calde, compresa quella che originò questo deposito del rio di Fous, le cui soluzioni si riversavano nel mare della Tetide.

Poiché è la fluorite il minerale più abbondante, sarà la geochimica di questo minerale a venir presa in particolare considerazione in quanto in grado probabilmente di inserire la miniera nel suo contesto più ovvio ma sempre nell'ambito del modello di circolazione idrotermale su esposto e già proposto da chi scrive per altre mineralizzazioni vicine.

4. – La solubilità della fluorite

I primi esperimenti sono stati condotti negli anni sessanta e settanta del secolo scorso e uno degli studi più esaurienti appare quello della RICHARDSON (1979) che mise in luce la possibilità che lo ione fluoro potesse essere trasportato nelle soluzioni idrotermali anche come costituente di complessi formati da cationi quali sodio, calcio, potassio e magnesio. L'autrice estese le misure di solubilità della fluorite fino a 260 C in soluzioni saline di tipo diverso e diversamente concentrate (Fig 2). Da esse emerse che la solubilità della fluorite aumenta con l'aumentare della temperatura fino a circa 100 C per tutte le soluzioni preparate con concentrazioni diverse di NaCl. Sopra i 100 C invece essa diminuisce per le soluzioni più diluite (<1 M) e aumenta costantemente per quelle più concentrate (>1M).

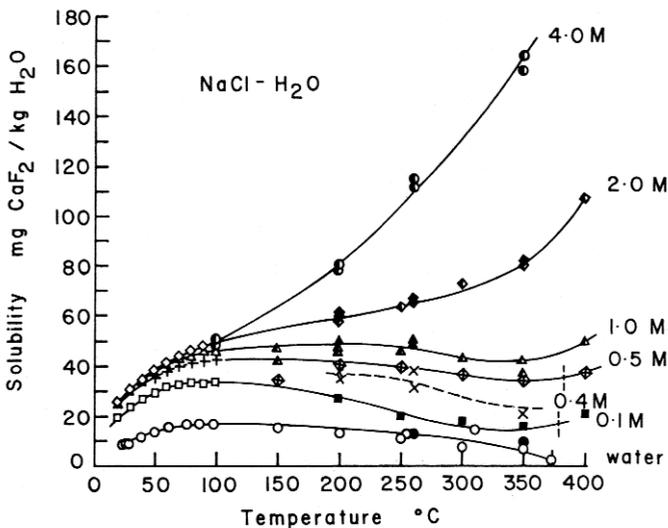


Fig. 2 – Da Richardson (1979): La solubilità della fluorite in funzione della temperatura in soluzioni con NaCl.

Fig. 2 – From Richardson (1979): Solubility of fluorite as a function of temperature in NaCl solutions.

Questi esperimenti misero anche in luce che a tutte le temperature la solubilità della fluorite è tanto più alta quanto più è alta la concentrazione salina della soluzione così come aumenta repentinamente a tutte le temperature per valori di pH della soluzione inferiori a 3 rimanendo più o meno costante per soluzioni meno acide.

Essi evidenziarono inoltre che se alla soluzione contenente NaCl si aggiungono quantitativi crescenti di CaCl_2 la solubilità della fluorite dapprima diminuisce bruscamente per poi livellarsi o aumentare, fatto quest'ultimo dipendente dalla temperatura della soluzione. Questi dati fanno ritenere un forte effetto dello ione comune che per concentrazioni di CaCl_2 inferiori a circa 0.04M, agisce deprimendo fortemente la solubilità di questo minerale. Per concentrazioni maggiori dello ione calcio la solubilità della fluorite aumenta per la probabile formazione del complesso CaF^+ , incremento questo meglio visibile a temperature superiori a 200 C.

5. – Interpretazione della mineralizzazione

La scarsità di blenda e galena, come pure i cristalli grandi di questi minerali suggerisce una soluzione idrotermale povera sia di piombo che di zinco con un grado di sovrasaturazione bassissimo per entrambi questi elementi. Sembra quasi che con difficoltà essi siano giunti nel calcare metallifero. Poiché la solubilità sia della blenda che della galena è bassissima in soluzioni di bassa temperatura e acidità non elevate (BARRETT *et al.* 1988), possiamo ipotizzare che la soluzione idrotermale fosse giunta quasi alla fine del suo percorso, povera degli elementi metallici ormai già depositati lungo il condotto di risalita, con una temperatura bassa e un pH influenzato dalle interazioni con le rocce attraversate molte delle quali calcaree. Una temperatura che probabilmente era vicina ai 200 C, sufficientemente bassa da non consentire alla soluzione il trasporto di concentrazioni elevate di ioni metallici. Una tale temperatura è compatibile con una pressione di circa 20 bar cioè con un mare che doveva ricoprire appena il calcare Ladinico.

Coerentemente con gli esempi riportati da chi scrive e utilizzati per spiegare altre metallizzazioni situate nella stessa area metallogenica, il chimismo della nostra antica soluzione poteva avvicinarsi a quello delle soluzioni attuali del golfo di California, Guaymas Basin che si suppone abbiano reagito con sedimenti ricchi di carbonato di calcio prima di disperdersi nell'oceano. Queste soluzioni hanno un pH di 5.9 e temperature comprese fra 315 C e 100 C con una concentrazione di Calcio variabile da 26,6 a 41.5 millimoli/kg. Come evidenziato da BOWERS (1985), esse risultano sature in Carbonato di Calcio e come calcolato da chi scrive utilizzando il metodo di Stiff e Davies, con uno Scaling Index positivo per la calcite che si avvicina a zero per temperature comprese fra i 70 e gli 80 C. È possibile cioè che la calcite sia precipitata da una soluzione tipo Guaymas in un intervallo di temperatura compreso fra i 200 e gli 80 gradi centigradi. Ciò è in linea con le osservazioni del deposito minerario perché al di sopra della blenda e della galena c'è la calcite che è necessario rimuovere se si vogliono vedere i cristalli di queste specie minerali. La discontinuità dei depositi calcitici come pure il fatto che in taluni punti la calcite appare micritica e in altri sparitica, può essere dovuta a quei fattori legati ai meccanismi responsabili della sovratura-

zione della soluzione quali cambiamenti di flusso e fenomeni turbolenti a cui si deve il rilascio della CO_2 . L'esperienza di chi scrive nel settore petrolifero, e in particolare l'osservazione dei depositi di calcite nella parte più superficiale dei pozzi, fa pensare che la sparite possa essersi formata in una soluzione vicina all'equilibrio, non molto sovrasatura, mentre la micrite in una con un grado di sovrasaturazione un po' più alto, sebbene non altissimo, perché altrimenti la calcite avrebbe assunto un aspetto fibroso.

Quando la temperatura della soluzione si abbassò intorno a 100 C, cominciò a precipitare la fluorite che nei campioni macroscopici sembra poggiare sulla calcite e in quelli microscopici appare anche inglobare questo minerale. Dove il carbonato di calcio non è presente, la fluorite poggia sulla blenda e la galena o anche direttamente sulle rocce incassanti. Dal grafico di Fig 2 si nota che a salinità alte, la solubilità della fluorite diminuisce costantemente già a temperature superiori ai 300C, quindi il fatto che la fluorite non sia precipitata assieme ai metalli di piombo e zinco quando la temperatura del fluido era più alta, suggerisce che la salinità della soluzione poteva non essere elevata. Anche il colore bianco della fluorite potrebbe suggerire una salinità poco elevata perché quelle color viola, gialle e anche blu campionate nel distretto Cave in Rock (RICHARDSON 1979) sembrano essersi formate in soluzioni più salate rispetto alle fluorite di colore bianco.

Le sorgenti oceaniche attuali sembrano prive di fluoro. Senza dubbio nella nostra antica soluzione esso era presente, forse non più di 0.6 mg/l a 25 C con 1660 mg/l di Ca^{2+} (K_{ps} di $10^{-10.4}$) che per un aumento del prodotto di solubilità sarebbero potuti diventare 1 o 1.5 mg/l a temperature intorno ai 100 C. E' possibile che come il bario, non presente anch'esso nelle sorgenti attuali e invece certamente presente in quelle antiche perché è stata trovata la Barite in molte miniere, anche il fluoro possa essere un elemento di distinzione fra le soluzioni Triassiche e quelle dei fondi oceanici attuali. Ricordiamo infatti che, mentre il magmatismo Triassico mostra una affinità alcalina potassica importante (a suggerire la presenza in sorgente di minerali a potassio e fluoro quali la flogopite), i fondali oceanici attuali sono quasi esclusivamente rappresentati da MORB (middle ocean ridge basalts) formati per fusione di una sorgente mantellica fortemente impoverita.

Per il giacimento oggetto di investigazione la diminuzione di temperatura sembra essere il meccanismo più importante in grado di spiegare la precipitazione della fluorite. Basterebbe un raffreddamento della soluzione di una decina di gradi Centigradi per far precipitare alcuni milligrammi di fluorite da 1 Kg di acqua. I cambiamenti di pressione non appaiono rilevanti così come nel nostro giacimento, non paiono essersi verificati mescolamenti fra la soluzione e l'acqua di mare poiché la barite non è segnalata. D'altra parte se anche un mescolamento si fosse verificato, è probabile che avrebbe creato una soluzione più diluita, con meno fluoro e calcio, da cui la fluorite, molto probabilmente, non sarebbe precipitata. Ammettendo un valore di pH della soluzione di 5.9 come quello delle sorgenti tipo Guaymas, anche le variazioni di pH non devono aver influito sulla solubilità del nostro minerale perché quest'ultima è quasi costante, di circa 40 mg/l per valori di pH superiori a 4.

Senza dubbio la soluzione avrebbe potuto reagire con le rocce calcaree e quindi aumentare il suo contenuto di Calcio e indurre la fluorite a precipitare. Però è anche

vero che nelle sorgenti di tipo Guaymas, la concentrazione di questo elemento non sembra variare più di tanto anche per un ampio intervallo di temperature, concentrazione che doveva essere già stata raggiunta alla fine del condotto e che permise alla calcite di precipitare. Inoltre, quando la calcite non si formò più si creò una maggiore disponibilità di Calcio per la formazione della fluorite. D'altra parte è anche vero che questo minerale si formò in una fase tardiva del processo, quando le vie di fuoriuscita della soluzione dovevano essere parzialmente ostruite dai minerali depositatisi precedentemente e questo fatto deve aver diminuito la portata della soluzione, rallentandola e aumentando così il tempo di contatto con le rocce attraversate. È probabile che le reazioni con le rocce calcaree si siano verificate e che l'effetto sia stato più importante sul finire del fenomeno idrotermale. Esso può essersi sovrapposto a quello dovuto alla diminuzione di temperatura, quest'ultima legata ad una portata in costante diminuzione.

Dalle simulazioni eseguite (FRANGIPANI, 2001) si evince che le più grandi diminuzioni di portata sono legate o a diminuzioni del diametro del pozzo che si può occludere a causa dei minerali che precipitano al suo interno, o a cadute di pressione a fondo pozzo. Sembra che in Val d'Aupa il fenomeno si estinse meno velocemente che altrove in quanto la fase finale di bassa temperatura e portate ridotte riuscì a protrarsi sufficientemente a lungo da creare un deposito consistente di fluorite. Questo minerale non si formò in tutte le sorgenti idrotermali della nostra area metallogenica forse perché altrove i condotti della soluzione si ostruirono più velocemente o forse perché una repentina caduta di pressione a fondo pozzo pose termine al fenomeno prima che potesse essere raggiunta l'ultimissima fase a fluorite. Probabilmente quest'ultima fase si protrasse solamente per alcuni anni, un intervallo di tempo compatibile con il tempo necessario perché un pozzo di pochi centimetri di diametro si occluda ammettendo una quantità di fluorite che precipiti nel condotto di 3 mg/ Kg di soluzione e una portata di qualche centinaio di metri cubi al giorno.

6. – Altre considerazioni

Se questo giacimento rappresenta la parte terminale del condotto termale, possiamo ben chiederci dove sia la parte più profonda del condotto mineralizzato a solfuri, quello che verosimilmente per un lungo tratto nasconde i tenori più alti di metalli. Probabilmente non lo sapremo mai perché fra il calcare metallifero e il complesso del Buchenstein c'è una discontinuità tettonica che può aver dislocato la parte più profonda del giacimento rispetto a quella più superficiale.

Un sovrascorrimento degli strati del Gotlandiano (Siluriano superiore) sul Carbonifero ha interessato pure gli strati mineralizzati a siderite del Mte Cocco, al confine con l'Austria rendendo difficilissima una qualsiasi ricostruzione paleoambientale dell'epoca in cui la mineralizzazione si formò. Oltre ai fenomeni tettonici pure l'erosione subita dalle montagne ci impedisce di osservare questi fenomeni idrotermali nella loro interezza, nel caso del Mte Avanza, situato fra Veneto e Friuli, ad esempio, appare mancante la parte mineralizzata più elevata (FRANGIPANI, 2004).

In generale, nella sua risalita (Fig. 3) la soluzione poteva seguire un percorso verticale o quasi, come pure poteva seguire strati orizzontali posti a qualsiasi profondità.

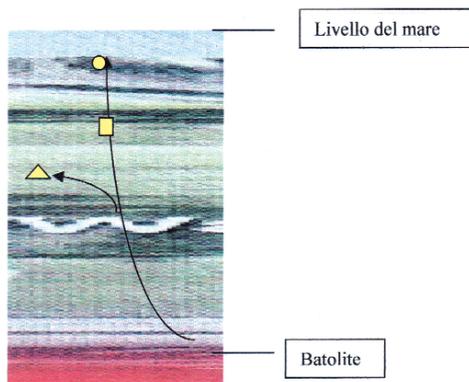


Fig. 3 – Ubicazione del giacimento del Rio di Fous (tondino giallo), e alcuni altri, Fursil (triangolo) Mte Avanza (rettangolo) rispetto ad una ipotetica risalita della soluzione idrotermale dalla zona del batolite profondo verso il mare della Tetide. Profondità approssimate dal livello del mare: batolite m4000, Fursil m1700, Avanza m900, Fous m200.

Fig. 3 – Location of Rio di Fous ore deposit and some others (Fursil Triangle, Mount Avanza Rectangle) along a conjectural path of a hydrothermal fluid that rapidly ascended to the sea floor.

Se questi ultimi fossero stati calcarei – come la mineralizzazione del Fursil nei pressi di Colle S. Lucia nel Bellunese che è impostata nei calcari del Bellerophon (FRANGIPANI, 2001) – sarebbe aumentato il rapporto P_{CO_2}/P_{H_2S} della soluzione e da essa sarebbero precipitati i carbonati e non i solfuri che invece si potevano formare in una soluzione avente un rapporto più basso. Il fatto, cioè, che la maggior parte delle mineralizzazioni nella nostra provincia metallogenica siano solfuree lascia supporre che i fluidi si muovessero per lo più verticalmente e che fossero anche veloci così che rimase basso il tempo di contatto con le rocce attraversate e quindi anche la pressione parziale della CO_2 .

Considerando il fatto che lungo il loro percorso, tutte le soluzioni si raffreddavano, sia quelle che si infiltravano in strati orizzontali profondi, sia quelle che risalivano verso la superficie, non dobbiamo meravigliarci che la maggior parte delle metallizzazioni presentino caratteristiche di media, bassa termalità. Bisognerebbe scendere molto in profondità e non allontanarsi troppo dal condotto di risalita per poter campionare i minerali formati a temperatura più alta. Bisognerebbe pure fare attenzione a non campionare quelli che anche in ambienti profondi si formarono per ultimi, quando la temperatura della soluzione era più bassa.

Studi futuri che potrebbero essere fatti per aumentare le nostre conoscenze su questi vecchi sistemi idrotermali, potrebbero essere quelli sulle inclusioni fluide in alcuni minerali. Essi potrebbero darci informazioni sulla salinità e sull'ebollizione della soluzione lungo il suo percorso. Poiché una soluzione acida e ad alta temperatura doveva essere presente anche nel basamento metamorfico e quindi i metalli potrebbero provenire anche dalle rocce incassanti il corpo magmatico, interessanti sarebbero studi isotopici per stabilire l'origine dei metalli e dello zolfo, per capire cioè se e in che misura il corpo magmatico possa aver contribuito al convoglio metallizzante con il rilascio di fluidi magmatici.

7. – Considerazioni finali

La miniera della Val d'Aupa sembra quindi inserirsi in un quadro dinamico di reazioni chimiche, tipiche di un ambiente idrotermale, che si succedettero, senza soluzione di continuità, in un brevissimo lasso di tempo, probabilmente nel Ladinico e che portarono alla formazione di solfuri, carbonati e fluoruri man mano che la soluzione si raffreddava.

Essa permette di osservare il tratto terminale di un vecchio sistema idrotermale che riversava nel mare della tetide una soluzione ormai quasi priva dei metalli depositatisi più in profondità.

La miniera si inserisce anche bene in un contesto più vasto che vede molte altre metallizzazioni con una simile origine e permette quindi di parlare di una grande provincia metallogenica, presente nel Triassico, corrispondente attualmente al settore orientale delle Alpi.

Lavoro consegnato il 27.08.2013

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio sentitamente il prof. F. Princivalle, del Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste, per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- BARRETT T. J. & ANDERSON G.M., 1988 – The solubility of Sphalerite and galena in 1-5 m NaCl solutions to 300 C. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 52, pp. 813-820.
- BONADIMAN, C. & COLTORTI, M., SIENA, F., 1994 – Petrogenesis and T-fO₂ estimates of Mt. Monzoni complex (Central Dolomites, Southern Alps): a Triassic shoshonitic intrusion in a transcurrent geodynamic setting. *Eur. J. Mineral*, 6, pp. 943-966.
- BOWERS T., VON DAMM K & EDMOND J., 1985 – Chemical evolution of mid-ocean ridge hot springs. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 49, pp. 2239-2252.
- BRIGO L., 1982 – Low temperature Pb-Zn-F-Ba vein deposits from the Italian Variscan provinces. *Bulletin, Bureau de Recherches Geologiques et Minières*, Section II, 2, pp. 195-206.
- COLBERTALDO di D., 1960 – Le risorse di minerali metallici in Friuli. *L'industria mineraria*, XI, 8, Roma.
- CUCAGNA A., 1961 – Le industrie minerarie, metallurgiche e meccaniche del Cadore, Zoldano e Agordino durante i secoli passati, aggio di Geografia storica, Università degli studi di Trieste, Facolta' di Economia e Commercio.
- FRANGIPANI E., 2001 – Le miniere del Fursil (Belluno): testimonianza di un antico idrotermalismo dolomitico. *Notiziario Min. e Paleont.*, 24, pp. 19-28.
- FRANGIPANI E., 2002 – Un modello genetico per i giacimenti metalliferi del Fursil, Costa dei Canopi e Col Piombin (Belluno). *Studi Trentini di Sc. Naturali, Acta geologica*, 79, pp. 149-155.
- FRANGIPANI E., 2004 – La mineralizzazione del Monte Avanza. *Studi Trentini di Sc. Naturali, Acta geologica*, 81, pp. 47-51.
- RICHARDSON C. & HOLLAND H. D., 1979 – The solubility of fluorite in hydrothermal solutions, an experimental study. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 43, pp. 1313-1325.
- RICHARDSON C. & HOLLAND H. D., 1979 – Fluorite deposition in hydrothermal systems, an experimental study. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 43, pp. 1327-1335.
- SEGNIT, HOLLAND & BISCARDI, 1962 – The solubility of Calcite in aqueous solutions. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 26, pp. 1301-1331.
- ULRICH F. HEIN, 1981 – Rapporti tra anomalie di fluoro e geochemica delle fluorite nell'ambito delle serie carbonatiche

- mineralizzate a Zn-Pb-F-Ba del Triassico Alpino. *Mem. Soc. Geol. It.*, 22, pp. 83-99, 16ff.
- VON DAMM K., EDMOND J., MEASURES C. & GRANT B., 1985 – Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 49, pp. 2221-2237.
- ZIBERNA L., 2009 – Il magmatismo Ladinico nel sudalpino: nuovi dati geochimici e implicazioni sul contesto geodinamico della placca Adria. Università degli Studi di Trieste, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.
- ZIBERNA L., PERISSINI G., MILANI S. & DE MIN A., 2009 – Ladinian magmatism of the South Alpine: Geochemical and isotopic data and their implications for the geodynamic setting of Adria plate. *FIST*, Udine: 3, pp.178- 178, in: *Geotalia*, 9-11 settembre 2009, Rimini.
- ZUCCHINI R., 1998 – Miniere e mineralizzazioni nella provincia di Udine, aspetti storici e mineralogici, *Ed. del Museo Friulano di Storia Naturale*, Udine, 40.