

# Le mineralizzazioni a siderite e arseniuri di cobalto-ferro-nichel del vallone di Arnàs (Usseglio, valli di Lanzo)

DANIELE CASTELLI, ALESSANDRA GIORZA, PIERGIORGIO ROSSETTI,  
FABRIZIO PIANA & FABRIZIO CLERICO

## *Introduzione*

Sovente trascurate o oggetto di studio all'interno di gruppi molto ristretti, le mineralizzazioni metalliche sono in parte, non solo nelle Alpi Occidentali, oggetto di un rinnovato interesse da parte dei ricercatori nelle Scienze della Terra. Tale interesse poggia probabilmente su una duplice motivazione. Da un lato, lo studio di tali concentrazioni può contribuire alla comprensione dei processi geologici. Questo vale sempre, ma in modo particolare per mineralizzazioni, quali quelle del vallone di Arnàs, legate alla circolazione in profondità di acque calde lungo zone di deformazione fragile, molto recenti se confrontate con l'età dei processi geologici. Lo studio delle mineralizzazioni può fornire dati importanti sull'evoluzione recente della catena alpina, con vari tipi di ricadute anche di tipo applicativo (su temi come la circolazione delle acque sotterranee, l'ambiente di lavoro in sottterraneo, il rischio sismico; si vedano, ad esempio, gli studi effettuati di recente in valle dell'Orco<sup>1</sup>).

Una seconda motivazione è dovuta a motivi culturali: negli ultimi decenni vi è stato nelle Alpi un progressivo aumento di interesse per le attività minerarie del passato, che ha coinvolto sia (ovviamente) gli aspetti storico-archeologici, sia quelli geologici, ed è sfociato sovente in ricerche interdisciplinari<sup>2</sup>.

Entrambe le motivazioni stanno alla base delle ricerche di carattere geologico-strutturale e petrografico effettuate negli ultimi due decenni dagli autori e collaboratori sulle mineralizzazioni di ferro e cobalto del comune di Usseglio, i cui risultati vengono in parte riassunti in questo articolo.

## *Inquadramento geologico-strutturale*

Le mineralizzazioni a siderite e arseniuri di cobalto-ferro-nichel (per brevità: Co-Fe-Ni) del vallone del rio Arnàs affiorano all'interno di rocce appartenenti alla *Zona Piemontese*, una importante unità tettonica<sup>3</sup> che si estende, lungo l'intero arco delle Alpi Occidentali, dalla val d'Ossola alla costa ligure tra Savona e Genova e costituisce buona parte delle valli di Lanzo<sup>4</sup>. La Zona Piemontese (fig. 1) è un'unità ofiolitica: al suo interno sono, cioè, presenti rocce (le *ofioliti*) che costituivano il substrato del bacino oceanico (l'«oceano piemontese») che si estendeva, durante il Giurassico medio-superiore (170-135 Ma<sup>5</sup> fa), fra il continente europeo e quello africano. Alle ofioliti sono associati vari tipi di rocce di origine sedimentaria (sovente indicate con il termine comprensivo di «*calcescisti*»), che almeno in parte costituivano la copertura del fondale oceanico. Con la successiva chiusura del bacino oceanico e la formazione

---

<sup>1</sup> E. SACCHI, A. DEMATTEIS, P. ROSSETTI, 2003; P. PERELLO *et al.*, 2004.

<sup>2</sup> Ad esempio, M. ROSSI, A. GATTIGLIA, G. PANTÒ, 2008.

<sup>3</sup> *Unità tettonica* = insieme di rocce che hanno subito la stessa evoluzione geologica. Le principali unità tettoniche delle Alpi Occidentali sono riportate in figura 1.

<sup>4</sup> G. BIGI *et al.*, 1990; G.V. DAL PIAZ, 1999.

<sup>5</sup> *Ma* = milioni di anni.

della catena alpina, legata alla collisione tra placca<sup>6</sup> africana e placca europea («*orogenesi alpina*», sviluppata tra il Cretaceo superiore e l'Oligocene: 90-35 Ma fa circa), le rocce appartenenti alla Zona Piemontese e alle unità continentali adiacenti sono state portate in profondità, subendo a più riprese profonde trasformazioni metamorfiche<sup>7</sup> e strutturali<sup>8</sup>. Esse sono in-

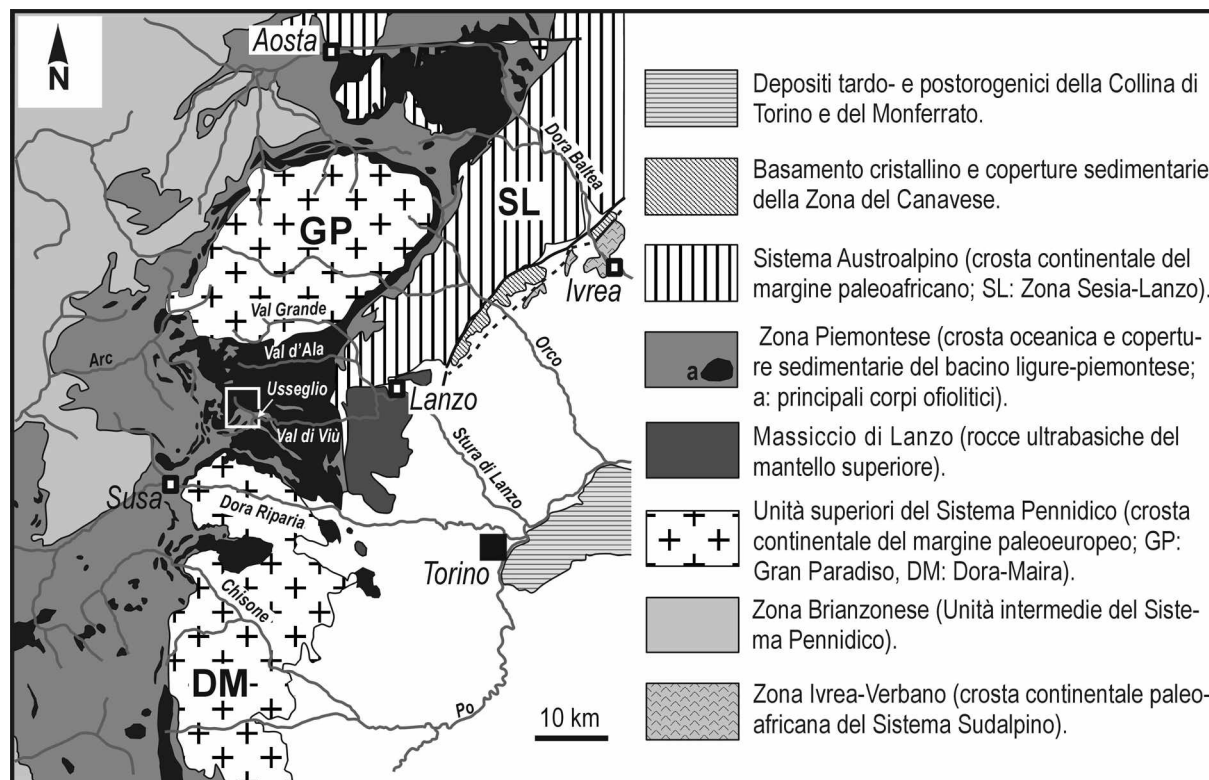


Fig. 1. Schema delle Alpi Occidentali, con indicate le principali unità tettoniche.

fatti state interessate da più fasi di deformazione duttile e da trasformazioni metamorfiche che hanno sovente cambiato completamente la composizione mineralogica del protolite<sup>9</sup>. Nelle metaofioliti della porzione interna della Zona Piemontese sono in genere riconoscibili due eventi metamorfici principali: un evento precoce, o *eoalpino*, avvenuto in condizioni di pres-

<sup>6</sup> Secondo la «*tettonica delle placche*», modello sulla dinamica della Terra oggi generalmente accettato, la porzione più esterna del globo terrestre è costituita da una serie di *placche rigide di litosfera* (termine che comprende la *crosta* e la sottostante porzione più esterna del *mantello*), di spessore medio intorno ai 100 chilometri in corrispondenza dei continenti, che «galleggiano» sullo strato sottostante del mantello, l'*astenosfera*. Tali placche sono in movimento relativo tra loro; ove vi è la collisione tra due placche continentali si ha la formazione di una catena montuosa (*orogenesi*). Tali movimenti sono dell'ordine di qualche centimetro all'anno al massimo, ma avvengono su tempi geologici (di milioni di anni). Il moto tra le placche spiega anche la distribuzione dell'attività sismica e vulcanica.

<sup>7</sup> Il termine *metamorfismo* comprende le trasformazioni mineralogiche e tessiturali che le rocce subiscono se portate in profondità, come tipico durante la formazione delle catene montuose (*orogenesi*), per effetto delle mutate condizioni di pressione e temperatura. Esiste una complessa terminologia per le rocce metamorfiche; quando la roccia di partenza (*protolite*) è ancora riconoscibile, sovente si usa il prefisso *meta-* (ad esempio, gabbro diventa metagabbro).

<sup>8</sup> R. POLINO, G.V. DAL PIAZ, G. GOSSO, 1990; G.V. DAL PIAZ, 1999.

<sup>9</sup> *Protolite* = roccia da cui deriva una roccia metamorfica. Ad esempio, il basalto è il protolite di una metabasite.

sione e temperatura elevate (condizioni delle facies «eclogitica»<sup>10</sup> e «scisti blu»: pressione > 12 kbar<sup>11</sup>, temperatura > 450 °C); e uno tardivo, in condizioni più superficiali (in «facies scisti verdi»<sup>12</sup>: pressione < 5 kbar, temperatura ~ 400-500 °C)<sup>13</sup>. Gli originari basalti, costituenti lo strato più superficiale della crosta oceanica, sono stati trasformati in *metabasiti* (termine che comprende vari tipi di rocce basaltiche metamorfosate quali prasiniti, glaucofaniti, ecc.) e le sottostanti rocce gabbriiche in *metagabbri*; le peridotiti, costituenti la parte profonda della crosta oceanica, sono diventate *serpentiniti* e *serpentinoscisti*. Le rocce sedimentarie sono state trasformate in *calcescisti*, *marmi*, *micascisti* e *quarziti* di vario tipo.

La valle di Viù, la più meridionale delle valli di Lanzo, è incisa nella Zona Piemontese, che forma una unità geometricamente sovrapposta ai Massicci Cristallini del Gran Paradiso e del Dora - Maira (fig. 1), rappresentanti parte del paleomargine continentale europeo; essa viene a contatto, nella bassa valle, con il massiccio ultrabasicco<sup>14</sup> di Lanzo, che rappresenta una porzione di mantello<sup>15</sup> sotto-continentale. Lungo il contatto è interposta una sottile fascia di rocce della Zona Sesia - Lanzo, unità continentale appartenente alla Paleoafrica (fig. 1).

In base a differenze litologiche e strutturali, nell'alta valle di Viù all'interno della Zona Piemontese sono state distinte tre unità sovrapposte: superiore, intermedia e inferiore<sup>16</sup>. L'unità inferiore, di cui fa parte l'area di studio, è di affinità oceanica, essendo costituita da estesi corpi di metaofioliti (metabasiti, metagabbri, serpentiniti) e da metasedimenti (calcescisti e marmi con intercalazioni di micascisti e quarziti micacee granatifere). La sovrastante unità intermedia è composta da calcescisti con intercalazioni di gneiss albitici associati a micascisti, con locali intercalazioni di metabasiti; l'unità superiore è costituita da marmi e calcescisti, con subordinate scaglie tettoniche di metabasiti. Secondo A. Perotto *et al.*<sup>17</sup> l'unità superiore rappresenterebbe parte di una serie di copertura sopracontinentale e l'unità intermedia rappresenterebbe parte di un margine continentale dell'oceano piemontese.

Sul versante sinistro del vallone di Arnàs, ove ricorrono le mineralizzazioni, affiora esclusivamente l'unità inferiore, qui costituita principalmente da metabasiti e in minore misura da serpentiniti, metagabbri e metasedimenti (quarziti, calcescisti, marmi micacei e micascisti; fig. 2), che registrano una evoluzione metamorfica caratterizzata da un primo stadio metamorfico in condizioni eclogitiche (pressione = 12-13 kbar, temperatura = 400-500 °C), seguito da uno stadio decompressivo e da una profonda riequilibrio<sup>18</sup> finale in facies scisti verdi<sup>19</sup>. Le rocce hanno subito almeno quattro fasi deformative duttili, la seconda delle quali è responsabile dell'assetto geologico generale dell'area<sup>20</sup>.

---

<sup>10</sup> La *facies* metamorfica raggruppa rocce che si sono formate in un certo intervallo di temperatura e pressione. Le facies *eclogitica* e *scisti blu* comprendono rocce formatesi in condizioni di pressione elevata e la facies *scisti verdi* comprende rocce formatesi in condizioni di bassa pressione e temperatura. I termini derivano da rocce tipiche delle varie facies.

<sup>11</sup> 1 kbar = 1000 bar; bar = unità di misura della pressione.

<sup>12</sup> Si veda la nota 10.

<sup>13</sup> U. POGNANTE, 1991.

<sup>14</sup> Il termine *ultrabasicco* è utilizzato per indicare rocce povere in silice (quindi prive di quarzo) e spesso ricche di silicati di magnesio, come le *peridotiti* (costituite in buona parte da olivina,  $(Mg,Fe)_2SiO_4$ ), che costituiscono buona parte del *mantello*, l'involucro al di sotto della crosta terrestre (si veda la nota 6).

<sup>15</sup> Si vedano le note 6 e 14.

<sup>16</sup> A. PEROTTO *et al.*, 1985, con bibliografia.

<sup>17</sup> A. PEROTTO *et al.*, 1985.

<sup>18</sup> *Riequilibrio* = trasformazione.

<sup>19</sup> F. CLERICO, 1995; D. CASTELLI, F. CLERICO, P. ROSSETTI, 1995/a.

<sup>20</sup> A. GIORZA, 2006; A. GIORZA *et al.*, 2007.

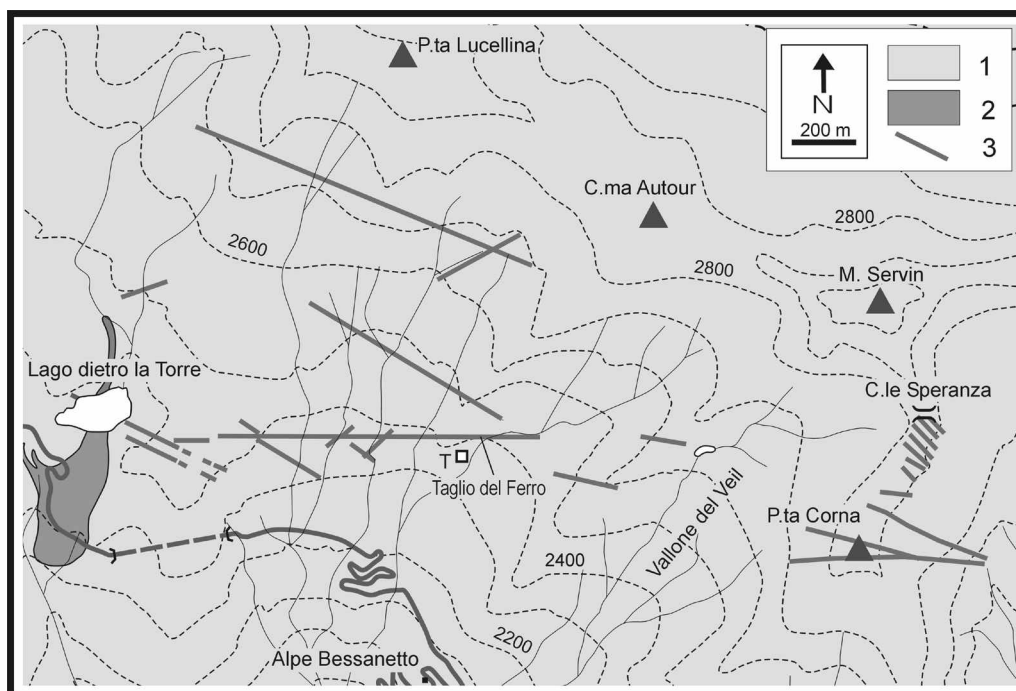


Fig. 2. Carta geologica semplificata del versante sinistro del vallone di Arnàs tra il Lago dietro la Torre e Punta Corna, con riportate le principali vene idrotermali. 1 = metabasiti indifferenziate. 2 = metasedimenti (quarziti, calcescisti, micascisti e marmi micacei) indifferenziati. 3 = principali vene idrotermali. L'ubicazione di queste ultime è indicata con una certa approssimazione, in particolare nel settore di Punta Corna, data la scala. Il quadrato indicato con T rappresenta l'imbocco del traverso-banco posto a quota 2374 metri. I dati sono tratti, con modifiche, da A. GIORZA, 2006, per i settori centro-occidentali, e da F. CLERICO, 1995, e M. FENOGLIO, 1928, per i settori del vallone del Veil e di Punta Corna.

### L'evoluzione strutturale fragile<sup>21</sup>

Oltre all'evoluzione metamorfico-strutturale sopra accennata, le rocce dell'area hanno subito una complessa evoluzione strutturale post-metamorfica, di tipo essenzialmente fragile, che assume particolare importanza in quanto alle fratture e faglie che ha prodotto è associata la circolazione di fluidi caldi e la formazione di vene di vario tipo. Sulla base di uno studio strutturale di dettaglio, sul terreno e al microscopio<sup>22</sup>, è stato possibile identificare cinque diversi tipi di strutture tettoniche post-metamorfiche, nel seguente ordine cronologico (partendo dalla più antica):

1) faglie normali, legate a un regime estensionale<sup>23</sup>, orientate principalmente Nord-Sud, cui sono associate vene ad albite, clorite, calcite ed ematite, di poco successive all'evento metamorfico in facies scisti verdi;

<sup>21</sup> A causa dei grandi movimenti che avvengono nell'interno terrestre, le rocce sono sovente soggette a degli sforzi che le deformano; lo studio di tali deformazioni è oggetto della *geologia strutturale*. A elevata profondità, in condizioni di temperatura e pressione elevate, le rocce si deformano in modo *duttile* (o plastico), cioè si piegano. Se portate in condizioni più superficiali le stesse rocce si deformano invece in modo *fragile*, cioè si rompono. In quest'ultimo caso si formano *fratture* o, nel caso vi sia un movimento relativo tra i due lati a contatto, *faglie*. A seconda del tipo di sforzi che causano il movimento, le faglie vengono divise in *normali*, o *distensive* (in presenza di sforzi *estensionali*: si ha un allungamento), e *compressive* (sforzi *contrazionali*: si ha un accorciamento). Le faglie *trascorrenti* sono invece quelle in cui a causa di sforzi di taglio il movimento tra le due parti è orizzontale. Faglie *transpressive* presentano un moto complesso, con componente sia orizzontale sia compressiva; faglie *transtensive* hanno componente sia orizzontale sia distensiva.

<sup>22</sup> A. GIORZA, 2006; A. GIORZA *et al.*, 2007.

<sup>23</sup> Si veda la nota 21.

2) vene idrotermali a siderite, quarzo, ankerite e barite (con localmente arseniuri di Co-Fe-Ni e solfuri); si tratta delle vene oggetto di sfruttamento, che si presentano prevalentemente subverticali con orientazione da N70° a N110° e spessore fino a plurimetrico, ancora legate a un regime estensionale;

3) zone di taglio contrazionali<sup>24</sup>, con direzione Nord-Nord-Ovest - Sud-Sud-Est, inclinazione 20-50° verso Sud-Ovest e vergenza<sup>25</sup> verso Est, cui non sono associate mineralizzazioni;

4) faglie da trascorrenti a transtensive<sup>26</sup> con mineralizzazioni a ematite e direzione da Est-Ovest a Nord-Ovest - Sud-Est, legate alla riattivazione di strutture preesistenti; si tratta di sistemi di faglie che giocano un ruolo importante sull'assetto morfologico dell'area;

5) faglie normali recenti, con orientazione da Nord-Sud a Nord-Ovest - Sud-Est e inclinazione media di 50°, prive di minerali di riempimento; sono legate all'ultimo evento di deformazione, correlato a un regime estensionale in cui si ha la riattivazione di tutte le discontinuità preesistenti.

Lo schema evolutivo così ricostruito presenta forti analogie con il quadro proposto da P. Perello *et al.*<sup>27</sup> per l'evoluzione tettonica fragile di un settore a Nord dell'area studiata (alta valle Orco, Massiccio del Gran Paradiso), in cui sono stati identificati tre stadi evolutivi: un primo stadio estensionale con mineralizzazioni idrotermali, un secondo stadio in cui prevalgono movimenti trascorrenti e un'ultima fase di generale estensione dell'area con riattivazione delle strutture preesistenti.

### *Le mineralizzazioni*

#### *Distribuzione e caratteri macroscopici*

Le mineralizzazioni a siderite e arseniuri di Co-Fe-Ni del vallone di Arnàs si trovano principalmente lungo una fascia grosso modo orientata Est-Ovest che si estende dal Lago della Rossa (a Ovest) alla Torre d'Ovarda (a Est), su una lunghezza di circa 4 chilometri (fig. 2). All'interno di tale fascia le mineralizzazioni ricorrono sotto forma di vene idrotermali, con continuità e spessore variabili, che costituiscono il riempimento di strutture distensive legate al secondo sistema strutturale fragile presente nella zona<sup>28</sup>.

Le informazioni bibliografiche di carattere geologico sono relativamente scarse. Le prime informazioni dettagliate sono probabilmente quelle di S.B. Nicolis di Robilant<sup>29</sup>, che nella *Relazione dei giri fatti nella Campagna del 1757 alle diverse miniere degli Stati Sabaudi*<sup>30</sup> riporta una serie di osservazioni di elevato interesse, anche in quanto effettuate in un periodo di piena attività estrattiva. L'autore fornisce infatti dati su ubicazione dei filoni coltivati, andamento dei lavori minerari e composizione delle mineralizzazioni, segnalando, tra l'altro, indizi di presenza di argento in vari siti. I lavori minerari descritti da Nicolis di Robilant riguardano il cobalto e, in parte, l'argento: all'epoca della visita infatti il ferro non era più coltivato, ma al riguardo si accenna alla presenza di vecchi lavori descritti come probabilmente clandestini. Una documentazione molto utile (oltre che affascinante) per apprezzare l'entità delle coltivazioni e l'ubicazione dei cantieri descritti da Nicolis di Robilant è rappresentata dal

---

<sup>24</sup> Si veda la nota 21.

<sup>25</sup> Vergenza = direzione verso cui avviene il movimento.

<sup>26</sup> Si veda la nota 21.

<sup>27</sup> P. PERELLO *et al.*, 2004.

<sup>28</sup> A. GIORZA *et al.*, 2007.

<sup>29</sup> A. GATTIGLIA, M. ROSSI, D. CASTELLI, P. ROSSETTI, 2011.

<sup>30</sup> BRTO, *Storia Patria*, 751.

prezioso materiale cartografico della seconda metà del XVIII e dell'inizio del XIX secolo<sup>31</sup>. Cenni sulle miniere di Usseglio sono successivamente riportati da vari autori, tra gli altri V. Barelli e G. Jervis<sup>32</sup>, che forniscono anche informazioni sulla composizione mineralogica delle mineralizzazioni.

Il primo studio comprensivo dell'area mineralizzata viene pubblicato da M. Fenoglio<sup>33</sup>, che riporta tra l'altro una carta con l'ubicazione di una dozzina di filoni (tra cui alcuni ubicati a Nord dello spartiacque con la confinante val d'Ala) e ne fornisce una descrizione geologico-petrografica e minerografica; un ulteriore studio minerografico viene effettuato da P. Piepoli<sup>34</sup> che, mettendo in dubbio parte dei dati di M. Fenoglio, pone fine a una possibile carriera accademica. Un riesame complessivo del sistema idrotermale e del contesto geologico-petrografico e strutturale è stato affrontato, recentemente, da vari autori<sup>35</sup>.

Una carta geologica semplificata del versante sinistro del vallone di Arnàs tra il Lago dietro la Torre e Punta Corna, con l'ubicazione delle principali vene mineralizzate, è riportata in figura 2. Le importanti tracce di lavori minerari (scavi e discariche) e le abbondanti evidenze geomorfologiche (fig. 3) portano a riconoscere le mineralizzazioni come espressione di un sistema idrotermale di notevole estensione e continuità; ciononostante, gli affioramenti delle mineralizzazioni sono sporadici. In corrispondenza delle vene principali (ad esempio, quelle ubicate immediatamente a Est del Lago dietro la Torre e quella la cui espressione morfologica è denominata «Taglio del Ferro» nella cartografia ufficiale: fig. 2 e 3), la mineralizzazione in superficie è stata sovente asportata dalle coltivazioni e si osservano depressioni, di frequente evidenti sia sul terreno sia in immagini aeree, con il fondo colmato da materiale detritico e colluviale<sup>36</sup> (fig. 3c); le antiche escavazioni sono in buona parte non accessibili (e comunque non in condizioni di sicurezza).

Le mineralizzazioni sono costituite da vene di spessore variabile da pochi millimetri a 6-7 metri, che si presentano in genere subverticali; le vene di maggiore continuità e spessore hanno prevalentemente orientazione compresa tra N70° e N110°, mentre vene sottili possono avere un'orientazione più variabile. Le vene ricorrono esclusivamente nelle metabasiti (massicce o foliate), a parte l'estremità occidentale, dove affiorano all'interno dei calcescisti; esse tagliano sempre in modo netto la scistosità delle rocce incassanti. All'immediato contatto con le vene, le metabasiti cambiano di colorazione, passando da verdastre a marrone-rossastre (fig. 3e), a causa dell'intensa alterazione idrotermale (il cui effetto è meno marcato nei calcescisti). Le vene sono per lo più concentrate lungo una fascia, con orientazione media circa Est-Ovest, che va dal Lago dietro la Torre in direzione Est, fino alle pendici meridionali del costone che scende da Cima Aoutour; la fascia mineralizzata prosegue poi verso Est, anche se in buona parte coperta da depositi morenici, detritici e colluviali, per poi affiorare sotto forma di fascio di vene<sup>37</sup> sul costone tra il Colle della Speranza e Punta Corna, sia lungo la cresta, sia sui due versanti (fig. 2 e 3b). Le vene più orientali affiorano nell'alto vallone del rio Servìn, a Est del Colle della Speranza, alla base del versante Sud della Torre d'Ovarda<sup>38</sup>.

<sup>31</sup> M. ROSSI, A. GATTIGLIA, C. BALAGNA DENA, 2011.

<sup>32</sup> V. BARELLI, 1835; G. JERVIS, 1873.

<sup>33</sup> M. FENOGLIO, 1928.

<sup>34</sup> P. PIEPOLI, 1934.

<sup>35</sup> D. CASTELLI, F. CLERICO, P. ROSSETTI, 1995/b; F. CLERICO, 1995; P. ROSSETTI, 2000; A. GIORZA, 2006; A. GIORZA *et al.*, 2007.

<sup>36</sup> Il *colluvium* è materiale trasportato da acqua di ruscellamento diffuso, o disceso per gravità, e deposto lungo un versante o al suo piede.

<sup>37</sup> Una quindicina secondo M. FENOGLIO, 1928.

<sup>38</sup> M. FENOGLIO, 1928.

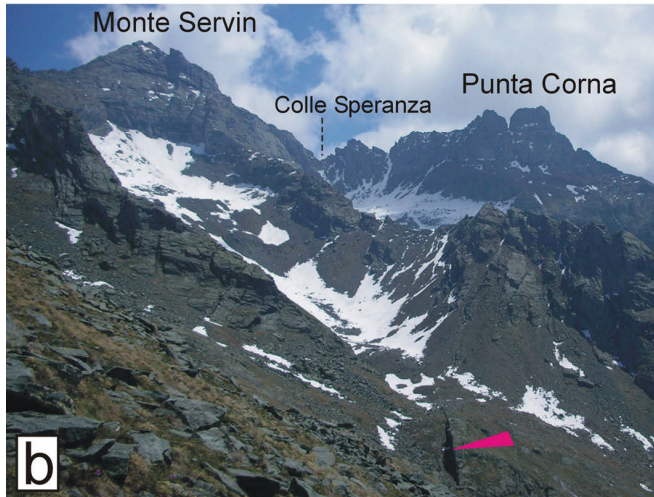
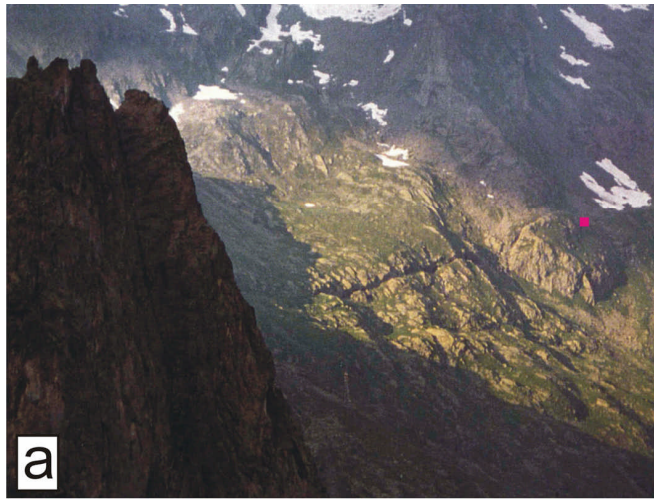


Fig. 3. Immagini del sistema idrotermale. a = panorama di parte del versante sinistro del vallone di Arnàs, in cui, grazie all'illuminazione propizia, il Taglio del Ferro è in forte evidenza morfologica; il quadrato rosso indica l'ubicazione del traverso-banco posto a quota 2374 metri. b = panorama del settore orientale dal dosso immediatamente a Est del Lago dietro la Torre guardando in direzione Est, parallelamente al sistema di vene; in primo piano è visibile il settore orientale del Taglio del Ferro (freccia); il sistema di vene prosegue quindi, in subaffiorante, nella stessa direzione fino al costone tra il Colle della Speranza e Punta Corna (continuando poi nel vallone di Servin). c = dettaglio del settore centrale del Taglio del Ferro, guardando verso Ovest; il Taglio del Ferro appare come una netta depressione (nell'immagine in parte colmata da acqua, neve e materiale colluviale), causata dall'asportazione in trincea della siderite; a parte scarse incrostazioni sulle pareti, il materiale di vena in genere non è visibile, a causa del riempimento della trincea. d = aspetto del Taglio del Ferro all'interno del traverso-banco di quota 2374 metri: esso mostra la fitta alternanza di vene subverticali parallele, di spessore da centimetrico a decimetrico (porzioni scure), all'interno di metabasiti di colore bruno-rossastro per la forte alterazione. e = dettaglio di una salbanda lungo il Taglio del Ferro; le frecce indicano il contatto tra vena e metabasiti incassanti; il contatto è evidenziato da un orlo di alterazione rossastra.

I caratteri macroscopici delle vene sono variabili, ma lungo tutto il sistema risultano costituite prevalentemente da *siderite* ( $\text{FeCO}_3$ ), spesso intensamente alterata in prodotti limonitici<sup>39</sup> bruno-rossastri (con talvolta concrezioni di goethite<sup>40</sup>), associata a minori quantità di *ankerite* (carbonato misto di calcio, ferro e magnesio; sovente all'immediato contatto con l'incassante) e quarzo. A essi si può aggiungere la barite ( $\text{BaSO}_4$ ), in cristalli tabulari anche centimetrici, soprattutto nel settore occidentale della fascia mineralizzata. Nel settore orientale, a partire dal vallone del Veil e soprattutto in corrispondenza di Punta Corna, la quantità di quarzo mediamente aumenta e, soprattutto, compaiono e diventano localmente abbondanti le fasi metalliche, rappresentate da arseniuri di Co-Fe-Ni e subordinati solfuri. Anche le tessiture delle vene sono variabili: si va da vene con tessitura massiccia, costituite prevalentemente da siderite, ad altre con tessitura listata, brecciata e a coccarda (descritte in dettaglio nel paragrafo successivo). In corrispondenza del traverso-banco ubicato a quota 2374 metri circa, alla base dello sperone che da Cima Aoutour scende verso Sud-Ovest (fig. 2), è possibile osservare in posto la porzione orientale della vena del Taglio del Ferro, che risulta in realtà costituita dalla fitta alternanza di vene di spessore centimetrico di siderite (intensamente alterata in prodotti limonitici) e quarzo, con setti alterati di metabasiti incassanti affette da forte alterazione idrotermale (fig. 3d).

#### *Caratteri petrografici*

Al microscopio, la siderite è in genere il minerale di gran lunga prevalente all'interno delle vene, in aggregati di cristalli di dimensioni da plurimillimetriche a centimetriche con abito romboedrico, quasi sempre fortemente alterati in un feltro limonitico bruno-rossastro a grana finissima. Nelle vene con tessitura massiccia essa è associata a minori *ankerite*, clorite ferrifera e, in particolare in corrispondenza del Taglio del Ferro, calcite manganesifera. Tali vene presentano sovente a contatto con l'incassante un orlo millimetrico di *ankerite* o, alternativamente, quarzo, in quest'ultimo caso in aggregati di cristalli plurimillimetrici perpendicolari alle salbande<sup>41</sup> (quarzo «a pettine»). Nelle stesse vene la barite è presente, localmente, in aggregati di individui con abito prismatico allungato, a grana grossa (fino a pluricentimetrica, come nel campione n. 04/23/1 del Museo di Usseglio), associati a siderite lamellare. All'estremità occidentale del sistema idrotermale, dove affiora una vena a tessitura massiccia all'interno dei calcescisti (a Ovest dell'area di figura 2), oltre a siderite, calcite e quarzo sono presenti disseminazioni di solfuri (pirite, calcopirite e tetraedrite) in cristalli submillimetrici.

Le vene di maggiore spessore (che sono anche quelle con maggior continuità laterale) presentano sovente una tessitura brecciata in prossimità delle salbande, ove clasti centimetrici di metabasiti alterate sono cementate da una matrice composta da *ankerite*, quarzo e localmente clorite; sovente i clasti sono bordati da un orlo continuo di quarzo a costituire una tessitura a coccarda.

Nelle vene con tessitura listata i minerali sono organizzati in alternanze di livelli pressoché monomineralici, sovente simmetriche. Nelle vene del settore occidentale sovente si i-

---

<sup>39</sup> Il termine *prodotti limonitici* si riferisce a materiale bruno-rossastro, sovente a grana finissima, derivante dall'alterazione meteorica di minerali ricchi di ferro. Analisi diffrattometriche effettuate da vari studiosi hanno indicato che la *limonite* non è un minerale, ma una roccia composta da vari ossidi e idrossidi di ferro (in genere goethite,  $\text{FeO(OH)}$ ), con proporzioni variabili di maghemite,  $\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$ , ematite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , lepidocrocite,  $\text{Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ ; formule chimiche da E.H. NICKEL, M.C. NICHOLS, 2009).

<sup>40</sup> *Goethite* sulla base dei caratteri macroscopici; una identificazione sicura richiederebbe una conferma analitica.

<sup>41</sup> *Salbanda* = bordo della vena.



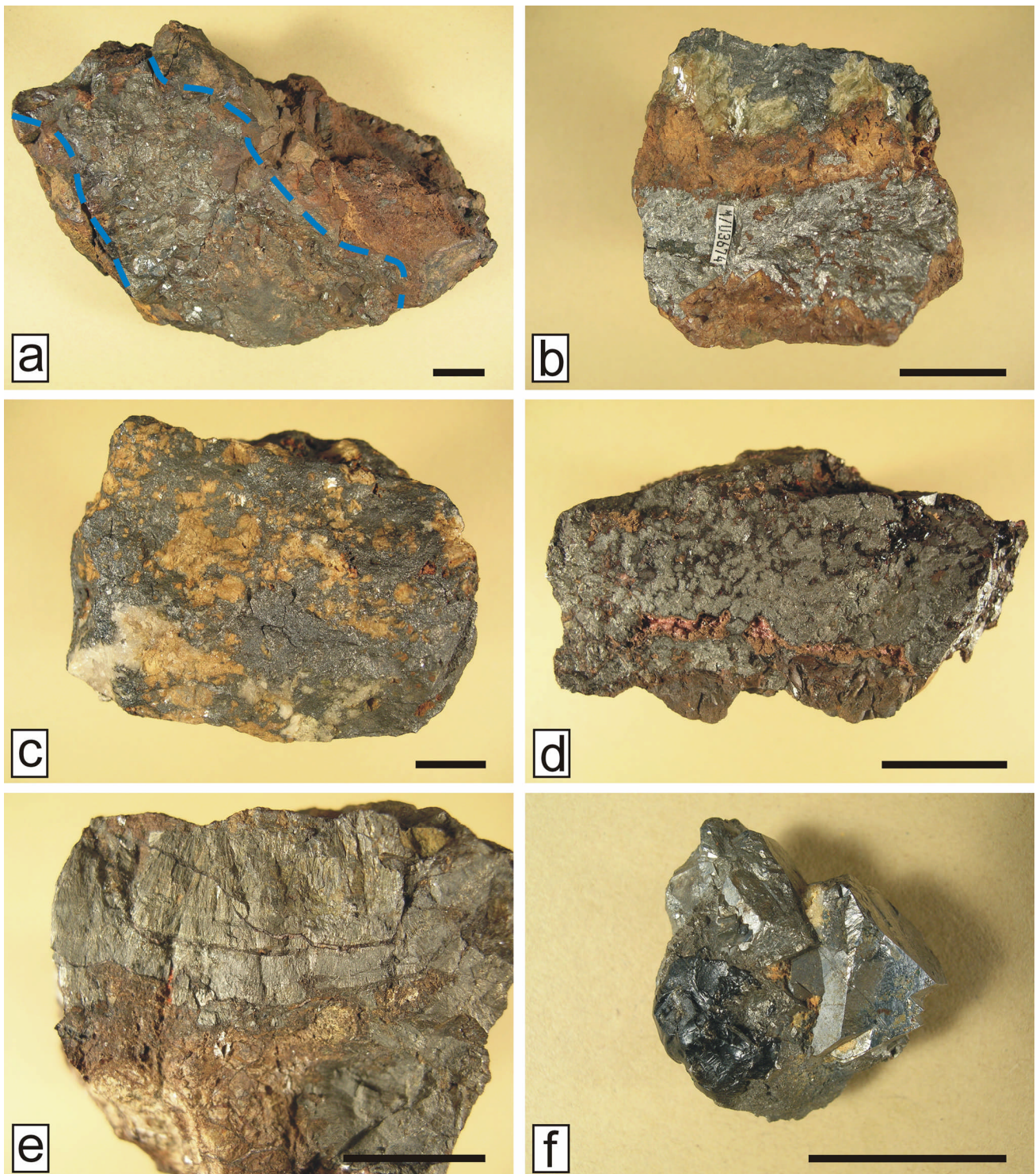


Fig. 4. Fotografie di campioni fortemente arricchiti in arseniuri e/o solfuri provenienti dal settore orientale del sistema idrotermale (collezione del Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino). a = porzione di spessore pluricentrico composta principalmente da skutterudite (tra le due linee tratteggiate) all'interno di una vena a siderite; quest'ultima si presenta di colore bruno-aranciato a causa di una parziale trasformazione in prodotti limonitici. b = porzione di vena costituita da arseniuri (principalmente skutterudite, di colore grigio metallico), siderite alterata (bruno rossastra) e ankerite (bruno-giallastra). c = campione costituito essenzialmente da tetraedrite (di colore grigio scuro), siderite (marroncina) e quarzo (biancastro). d = aggregato di arseniuri (di colore grigio metallico), che al microscopio (fig. 5b) risultano composti da finissime microimplicazioni di skutterudite, safflorite e rammelsbergite; sono inoltre visibili prodotti di alterazione, in particolare goethite (nera, con aspetto lucente) ed eritrite (rossastra). e = aggregati a ventaglio costituiti essenzialmente da rammelsbergite, associati a siderite (bruna). f = aggregato di skutterudite (color grigio metallico) e goethite (nera). In tutte le immagini la barra di scala è lunga 2 centimetri, eccetto in f (1 centimetro).

identificano una sottile porzione periferica, costituita da quarzo o ankerite, una porzione intermedia ricca di siderite (con subordinati ankerite, quarzo, barite e calcite) e una porzione interna ricca di quarzo (ed eventualmente barite).

In corrispondenza del settore di Punta Corna le vene presentano sovente una tessitura listata, caratterizzata, nelle porzioni più interne, dalla frequente presenza di aggregati irregolari di arseniuri e talvolta solfuri, in ganga quarzoso-sideritica (fig. 4).

All'interno di queste vene gli aggregati di minerali metallici presentano microstrutture estremamente complesse (fig. 5).

Tra gli arseniuri<sup>42</sup> la *skutterudite* ( $\text{CoAs}_{3-x}$ , in passato denominata *smaltina*, o *smaltite*) è probabilmente la fase più comune, in cristalli sovente zonati, associati a siderite e quarzo. La *skutterudite* è in alcuni casi associata ad aggregati di cristalli di *arsenico nativo*, con abito da tabulare a dendritico, che includono piccolissime inclusioni tondeggianti (di pochi micron) di *bismuto nativo*. La *skutterudite* è sovente avvolta da un orlo di *rammelsbergite* ( $\text{NiAs}_2$ ) o *safflorite* ( $\text{CoAs}_2$ ). In alcuni campioni *rammelsbergite* ( $\text{NiAs}_2$ ), *löllingite* ( $\text{FeAs}_2$ ) e cristalli di *safflorite* ( $\text{CoAs}_2$ ) geminati a stella (fig. 5b) si sviluppano a spese di *skutterudite* preesistente. A tali arseniuri tardivi sono associate variabili quantità di solfuri, rappresentati da *tetraedrite* ( $\text{Cu}_{12}(\text{As,Sb})_4\text{S}_{13}$ )<sup>43</sup>, *calcopirite* ( $\text{CuFeS}_2$ ), *blenda* ( $\text{ZnS}$ ), *pirite* ( $\text{FeS}_2$ ) e rare *galena* ( $\text{PbS}$ ), *pirrotina* ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) e *arsenopirite* ( $\text{FeAsS}$ ). Gli stessi solfuri ricorrono anche come sottili vene che tagliano gli arseniuri. Le ultime fasi di deposizione sono rappresentate da locali concentrazioni di *tetraedrite* argentifera o *ankerite* e quarzo (e rara *barite*) che costituiscono il cemento di porzioni di vena brecciate. Come prodotto di alterazione meteorica nelle porzioni ricche di arseniuri si osserva inoltre la formazione di *scorodite* ( $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e, come incrostazioni superficiali, di svariati altri minerali secondari (*eritrite*,  $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , e molti altri)<sup>44</sup>.

Per quanto riguarda le rocce incassanti, al microscopio le metabasiti sono costituite essenzialmente dalla classica associazione mineralogica in facies scisti verdi ad albite, attinoto, epidoto, clorite e titanite («metabasiti in facies scisti verdi», sovente denominate *prasiniti* nella letteratura alpina). Solo localmente, principalmente nelle varietà foliate, è parzialmente preservata una precedente paragenesi in facies scisti blu, data da glaucofane, rutilo e forse epidoto. In prossimità delle vene (fino a qualche decimetro di distanza) le metabasiti subiscono un arrossamento (fig. 3e) che corrisponde a un profondo cambiamento di composizione mineralogica osservabile alla scala microscopica: avvicinandosi alla vena si osserva inizialmente una debole sericitizzazione (crescita di muscovite a grana fine) e, successivamente, lo sviluppo di abbondanti sericite e quarzo (cui sporadicamente si associano *calcopirite*, *pirite* e *galena*) sui minerali preesistenti della metabasite. Tali trasformazioni, legate alla reazione tra fluidi idrotermali e rocce incassanti («alterazione idrotermale»), sono estreme nelle facies a tessitura brecciata, in cui i clasti di metabasite sono completamente trasformati in un finissimo aggregato di sericite, quarzo e localmente siderite.

Dove le vene affiorano all'interno di calcescisti, questi ultimi presentano una tessitura marcatamente scistosa, con alternanze di sottili livelli micacei grigio-argentei con livelli giallastri a carbonati e quarzo; alla scala microscopica risultano costituiti essenzialmente da calcite, quarzo e mica bianca con subordinati granato (localmente abbondante), clorite, torna-

<sup>42</sup> Gli arseniuri di Co-Fe-Ni presentano tipicamente ampie variazioni composizionali; vengono qui riportate le formule generali, secondo le indicazioni della International Mineralogical Association (E.H. NICKEL, M.C. NICHOLS, 2009).

<sup>43</sup> *Tetraedrite*: qui usato come termine generale per indicare l'intera famiglia delle *tetraedriti*, che vanno dal termine di antimonio (*tetraedrite s.s.*) a quello di arsenico (*tennantite*). Per il possibile contenuto in argento si rimanda alla nota 49.

<sup>44</sup> R.V. VACCIO, B. RE FIORENTIN, C. BALAGNA DENA, 2011.

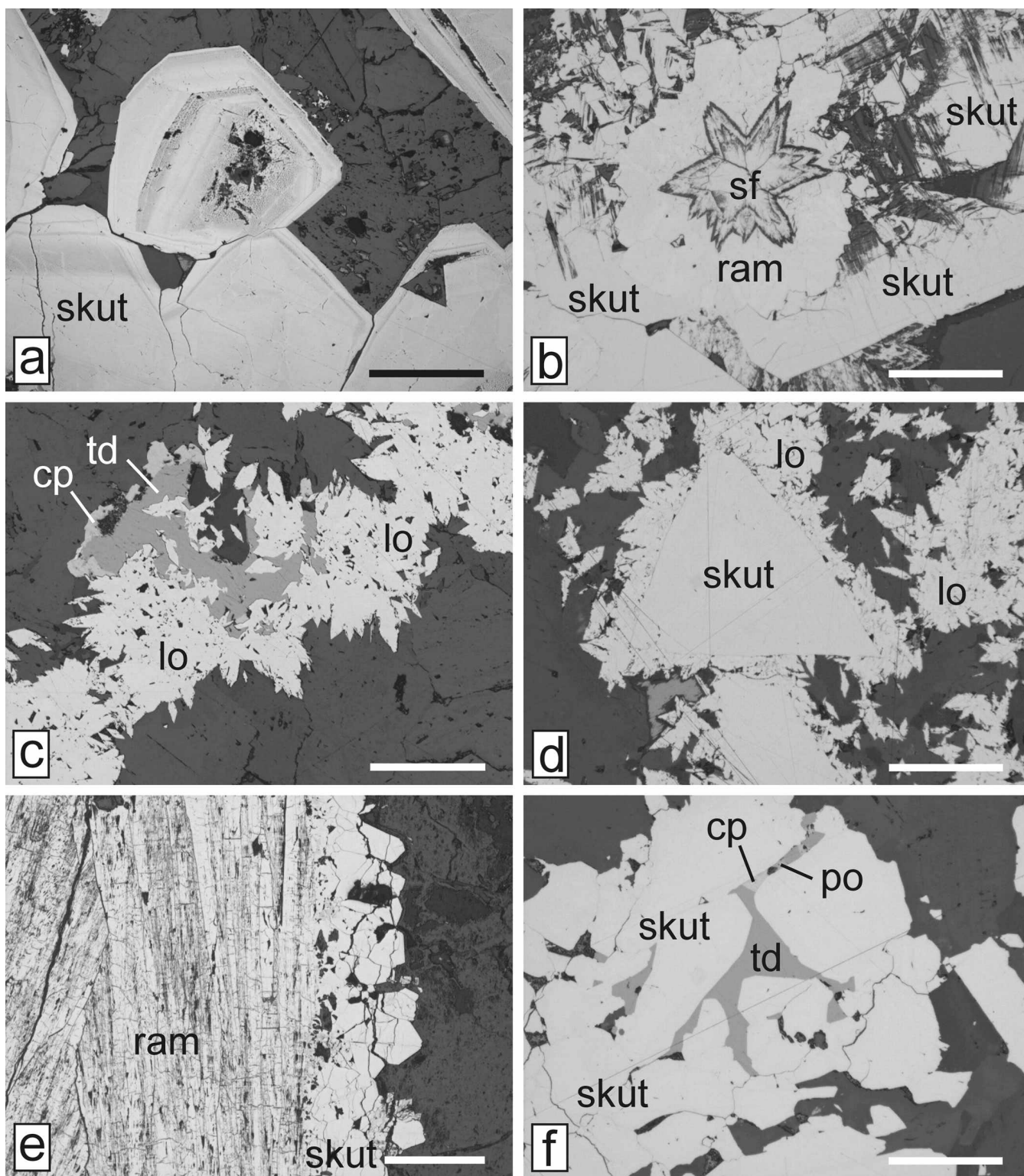


Fig. 5. Fotomicrografie in luce riflessa della mineralizzazione ad arseniuri. a = cristalli di skutterudite; la leggera patina di ossidazione mette in evidenza la presenza di zonature di crescita. b = cristalli di «safflorite» (sf: in realtà analisi in microscopia elettronica indicano una composizione intermedia tra safflorite e löllingite), con geminazione a stella, avvolti da rammelsbergite (ram); entrambi sono all'interno di un cristallo di skutterudite (skut). c = aggregato di cristalli di löllingite (lo) cementati da tetraedrite (td) e calcopirite (cp). d = skutterudite avvolta da concrescimenti di löllingite. e = concrescimenti «a ventaglio» di rammelsbergite a contatto con skutterudite granulare. f = skutterudite cementata da tetraedrite, calcopirite e pirrotina (po). In tutte le immagini le porzioni grigio scure sono composte da minerali non metallici (essenzialmente siderite e quarzo) e quelle nere da irregolarità della superficie. Dimensioni della barra di scala: a = 0.5 millimetri; b, d, f = 0.1 millimetri; c, e = 0.2 millimetri. Simboli dei minerali secondo F.M. CHACE, 1956, con modifiche.

lina, titanite, rutilo, apatite, grafite e pirite. Nei calcescisti l'alterazione idrotermale legata alle vene consiste essenzialmente nella crescita di sericite e localmente carbonato sideritico. È inoltre comune, e localmente molto abbondante, la formazione di prodotti limonitici.

### *Conclusioni*

Le mineralizzazioni a siderite e arseniuri di Co-Fe-Ni del versante sinistro del vallone di Arnàs sono legate a un complesso ed esteso sistema di vene idrotermali post-metamorfiche che si estende lungo una fascia lunga almeno quattro chilometri, che peraltro continua, sebbene in minor misura, anche nella confinante val d'Ala. I caratteri strutturali e petrografici di queste vene suggeriscono che esse facciano parte di un unico sistema, legato alla circolazione di fluidi caldi lungo strutture distensive. Le caratteristiche delle vene, in particolare la composizione mineralogica e la grana relativamente grossa, indicano che esse si sono formate in profondità, all'interno della crosta terrestre; al riguardo uno studio di dettaglio suggerisce che i minerali idrotermali siano precipitati da soluzioni aventi una temperatura superiore a 220 °C, a una profondità di almeno 1500 metri<sup>45</sup>. Oggi esse affiorano in superficie a seguito dell'erosione, che ha progressivamente asportato le rocce sovrastanti.

All'interno del sistema di vene sono presenti significative differenze composizionali che fanno identificare due diversi settori. Il settore orientale, che rappresenta anche la parte topograficamente più elevata del sistema idrotermale, è caratterizzato dalla presenza di vene relativamente arricchite in quarzo con concentrazioni di arseniuri complessi di Co-Fe-Ni, oggetto di sfruttamento per il cobalto con importanti coltivazioni in sotterraneo. Nel settore occidentale gli arseniuri sono invece scarsi o assenti e le vene sono state oggetto di sfruttamento per il ferro, apparentemente con lavori relativamente superficiali che sembrano aver interessato principalmente le porzioni più alterate delle vene.

Le mineralizzazioni sono legate alla circolazione di fluidi idrotermali lungo zone di deformazione fragile a carattere distensivo prodottesi durante le fasi tardive dell'orogenesi alpina. Sistemi idrotermali con caratteri simili sono documentati, a Nord, nella valle dell'Orco e, immediatamente a Sud, sul versante sinistro della bassa valle di Susa<sup>46</sup>. Almeno parte delle vene della valle dell'Orco presenta forti analogie strutturali e composizionali con quelle del vallone di Arnàs: sono infatti costituite principalmente da siderite e quarzo lungo strutture distensive<sup>47</sup>. In valle dell'Orco sono invece profondamente diversi il contesto geologico (all'interno del Massiccio del Gran Paradiso) e il tipo di fasi metalliche (solfuri e solfosali di ferro-rame-antimonio-piombo-argento e localmente oro)<sup>48</sup>. Forti analogie sono invece presenti, anche dal punto di vista delle fasi metalliche, con le mineralizzazioni di arseniuri di cobalto del Cruvino, nella bassa valle di Susa, che affiora – come il sistema del vallone di Arnàs – all'interno della Zona Piemontese. Tali confronti suggeriscono uno stretto legame tra tipo di mineralizzazione e unità incassante; in particolare, suggeriscono che la sorgente di almeno parte dei metalli (in particolare cobalto e nichel) sia da identificare nelle metaofioliti della Zona Piemontese, caratterizzate (come tipico delle rocce ofiolitiche) da elevati contenuti in cobalto e nichel.

---

<sup>45</sup> A. GIORZA *et al.*, 2007.

<sup>46</sup> M. FENOGLIO, M. FORNASERI, 1940; E. SACCHI, A. DEMATTEIS, P. ROSSETTI, 2003; P. PERELLO *et al.*, 2004.

<sup>47</sup> P. PERELLO *et al.*, 2004.

<sup>48</sup> G. CEVALES, 1961; E. SACCHI, A. DEMATTEIS, P. ROSSETTI, 2003.

Un dato interessante è la presenza, all'interno del settore orientale contenente le mineralizzazioni ad arseniuri di cobalto, di concentrazioni di *tetraedrite argentifera*<sup>49</sup>. Le analisi finora effettuate hanno dato come risultato un contenuto di argento moderato (fino a circa 6 % in peso); tale dato è tuttavia importante, in quanto dimostra che i fluidi idrotermali portavano in soluzione (e potevano quindi concentrare) argento. Ciò è in accordo con l'osservazione che, a scala mondiale, l'argento è un tipico e sovente importante ingrediente delle mineralizzazioni ad arseniuri di cobalto e nichel<sup>50</sup>. Proprio nello stesso settore, sui versanti di Punta Corna, Nicolis di Robilant (1757) descrive concentrazioni di «argento livido» (possibile *tetraedrite argentifera*, o *freibergite*?<sup>51</sup>) e le mappe del XVIII secolo riportano «Argento Falertz»<sup>52</sup>. Ancora, Nicolis di Robilant parla della presenza, in una zona vicina, di concentrazioni di argento, molto localizzate, sfruttate in precedenza. Tutti questi dati fanno ritenere verosimile la presenza di localizzate mineralizzazioni argentifere (di *tetraedrite argentifera*, forse con altri minerali di argento; ancora da localizzare con esattezza) all'interno dello stesso sistema idrotermale che ha depositato la siderite e gli arseniuri di cobalto-ferro-nichel.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Museo Regionale di Scienze Naturali per l'accesso alle collezioni mineralogiche universitarie custodite presso il Museo e comprendenti anche campioni provenienti dalle miniere di Punta Corna. Il prof. Antonello Barresi ha gentilmente messo a disposizione campioni di mineralizzazioni ad arseniuri sempre provenienti dall'area di Punta Corna. Si ringrazia infine l'Enel S.p.A. per il supporto logistico durante il lavoro di terreno.

### Riassunto

Le mineralizzazioni a siderite e arseniuri di Co-Fe-Ni del versante sinistro del vallone di Arnàs sono legate a un sistema di vene idrotermali post-metamorfiche che si estende lungo una fascia compresa tra il Lago della Rossa, a Ovest, e la Torre d'Ovarda, a Est, principalmente all'interno delle metabasiti della Zona Piemontese. Le vene si sono formate a seguito della circolazione di fluidi caldi lungo strutture distensive prodotte da eventi di deformazione fragile che hanno interessato le rocce al termine dell'orogenesi alpina.

All'interno del sistema idrotermale sono presenti differenze composizionali significative: nel settore occidentale le vene, molto ricche in siderite (con subordinati quarzo, barite e ankerite), sono state in parte sfruttate per il ferro, principalmente con lavori in superficie; nel settore orientale le vene presentano invece importanti concentrazioni di arseniuri di Co-Fe-Ni (*skutterudite*, *safflorite*, *rammelsbergite*, *löllingite*, con minori quantità di solfuri), oggetto di importanti coltivazioni in sotterraneo per il cobalto. La presenza, in quest'ultimo settore, di concentrazioni di *tetraedrite argentifera* è in accordo con le osservazioni di S.B. Nicolis di Robilant e suggerisce che, almeno localmente, lo stesso sistema di vene possa essere stato sfruttato per l'argento.

A scala regionale le vene presentano forti analogie, dal punto di vista strutturale e in parte composizionale, con quelle affioranti in valle di Susa (Cruvino) e in valle dell'Orco (Cuccagna, Bellagarda); da queste ultime differiscono, tuttavia, per il tipo di mineralizzazione metallica.

---

<sup>49</sup> Pur definite con la formula generale  $Cu_{12}(As,Sb)_4S_{13}$ , le *tetraedriti* (si veda la nota 43) presentano sovente composizione molto più complessa (T. ARLT, L.W. DIAMOND, 1998): tra l'altro, parte del rame può essere sostituito da argento, in varie proporzioni («*tetraedrite argentifera*»). Il termine più ricco di argento (circa 40% di Ag) è la *freibergite*, con formula teorica  $Ag_4Cu_4Fe_2Sb_4S_{13}$ . Le *tetraedriti* presentano colore grigio abbastanza scuro.

<sup>50</sup> S.A. KISSIN, 1992, con bibliografia.

<sup>51</sup> Si veda la nota 49.

<sup>52</sup> *Falertz* = *tetraedrite* in tedesco (nel tedesco moderno *Fahlerz*).

### Abstract

The siderite and Co-Fe-Ni arsenides mineralizations cropping out on the left side of the Arnàs valley, a tributary of the Viù valley within the Lanzo valleys of Western Alps, belong to a West-East trending system of post-metamorphic hydrothermal veins which broadly extends from Lago della Rossa to Torre d'Ovarda, mainly within the metabasites of the Piemonte Zone. The veins are related to the circulation of hydrothermal fluids along extensional structures linked to brittle deformation events which affected the rocks at the end of the alpine orogenesis.

Within the hydrothermal system important compositional differences occur: in the western sector the veins are mostly composed of siderite (with minor quartz, barite and ankerite) and have been in part exploited for iron, mainly along trenches; on the contrary, the veins of the eastern sector display significant concentrations of Co-Fe-Ni arsenides (skutterudite, safflorite, rammelsbergite, löllingite, with minor sulphides) which have been exploited underground for cobalt. The latter locally contain silver-bearing tetrahedrite (in agreement with descriptions by S.B. Nicolis di Robilant), suggesting that the same veins system may have been locally exploited also for silver.

At the scale of the Western Alps, the veins show strong structural and – in part – compositional similarities with those cropping out in the Susa valley (Cruvino) and in the Orco valley (Cuccagna, Bellagarda); these latter show, however, a strongly different type of metallic mineralization.

### Résumé

Les minéralisations de sidérite et arséniures de Co-Fe-Ni du flanc gauche de la vallée d'Arnàs, un affluent de la vallée de Viù dans les vallées de Lanzo des Alpes Occidentales, sont liées à un système de veines hydrothermales post-métamorphiques qui s'étendent, par une direction moyenne Est-Ouest, du Lago della Rossa jusqu'à la Torre d'Ovarda. Ces minéralisations sont comprises presque totalement dans les metabasites de la Zone Piémontaise. Les veines se sont formées suite à la circulation de fluides chauds le long de structures extensionnelles produites par un événement de déformation cassante qui a affecté les roches après l'orogénèse alpine.

Dans le système hydrothermal il y a des différences importantes de composition: dans le secteur Ouest les veines, très riches en sidérite (avec quartz, barytine et ankérite subordonnés), ont été partiellement exploitées pour le fer, principalement par des travaux à ciel ouvert; dans le secteur Est les veines ont des concentrations importantes en arséniures de Co-Fe-Ni (skuttérodite, safflorite, rammelsbergite, löllingite, avec des quantités mineures de sulfures), qui ont été largement exploitées en souterrain pour le cobalt. La présence, dans ce dernier secteur, de concentrations de tétraédrite argentifère est conforme aux observations de S.B. Nicolis di Robilant et suggère que, au moins localement, le même système de veines a été exploité pour l'argent.

Les veines présentent de fortes similarités, en termes de structure et de composition, avec celles qui affleurent aux vallées de Susa (Cruvino) et d'Orco (Cuccagna, Bellagarda); elles diffèrent toutefois de ces derniers gisements pour le type de minéralisation métallique.

### Bibliografia

- ARLT T., DIAMOND L.W. 1998. Composition of tetrahedrite-tennantite and "schwazite" in the Schwaz silver mines, North Tyrol, Austria. *Mineralogical Magazine* 62: 801-820. Twickenham.
- BARELLI V. 1835. *Cenni di statistica mineralogica degli Stati di S. M. il Re di Sardegna ovvero catalogo ragionato della raccolta formata presso l'Azienda generale dell'interno*. Torino.
- BIGI G., CASTELLARIN A., COLI M., DAL PIAZ G.V., SARTORI R., SCANDONE P., VAI G.B. (red.) 1990. *Structural model of Italy*, 1. Firenze.
- CASTELLI D., CLERICO F., ROSSETTI P. 1995/a. Relict igneous relationships in the eclogitic meta-ophiolite complex of Colle Altare (Valli di Lanzo, Western Italian Alps). *Studies on metamorphic rocks and minerals of the western Alps in memory of Ugo Pognante*, (ed.) B. Lombardo. *Bollettino [del] Museo Regionale di Scienze Naturali* 13 (2), *Supplemento*: 131-152. Torino.
- CASTELLI D., CLERICO F., ROSSETTI P. 1995/b. Mineralizzazioni ad arseniuri di cobalto e nichel nelle metaofioliti delle Alpi Occidentali: petrografia e aspetti giacimentologici preliminari. *Plinius* 14: 107-108. Pisa.

- CEVALES G. 1961. I giacimenti minerali del Gran Paradiso. *Rendiconti della Società Mineralogica Italiana* XVII: 193-217. Pisa.
- CHACE F.M. 1956. Abbreviations in field and mine geological mapping. *Economic Geology* 51: 712-723. Littleton.
- CLERICO F. 1995. *Petrografia della Zona Piemontese e delle manifestazioni idrotermali filoniane tardo alpine lungo il versante sinistro della valle di Viù (Alpi Occidentali)*. Torino [tesi di laurea in Scienze Geologiche, sotto la direzione di Daniele Castelli e Piergiorgio Rossetti].
- DAL PIAZ G.V. 1999. The Austroalpine-Piedmont nappes stack and the puzzle of Alpine Tethys. *Memorie di Scienze Geologiche* 51: 155-176. Padova.
- FENOGLIO M. 1928. Sui giacimenti di cobalto dell'alta valle di Lanzo. *Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale in Milano* LXVII: 182-192. Milano.
- FENOGLIO M., FORNASERI M. 1940. Il giacimento di nichelio e cobalto del Cruvino in Val di Susa. *Periodico di Mineralogia* 11: 23-52. Roma.
- GATTIGLIA A., ROSSI M., CASTELLI D., ROSSETTI P. 2011. Punta Corna e Spirito Benedetto Nicolis di Robilant: «speranza» e «fortuna» di un ispettore generale delle miniere sabaude (1757). *Terre rosse, pietre verdi e blu cobalto. Miniere a Usseglio. Prima raccolta di studi*, (a cura) M. Rossi, A. Gattiglia: 101-127. Usseglio - Torino.
- GIORZA A. 2006. *Studio petrografico-strutturale delle manifestazioni idrotermali dell'alta Valle di Viù (Alpi Nord-Occidentali)*. Torino [tesi di laurea in Scienze Geologiche, sotto la direzione di Daniele Castelli e Piergiorgio Rossetti].
- GIORZA A., CASTELLI D., PIANA F., ROSSETTI P. 2007. The siderite-Co-Ni-arsenide mesothermal system of Taglio del Ferro (Lanzo Valley, Italy): an integrated petrological and structural study of post-metamorphic hydrothermalism in the metaophiolites of Western Alps. *Atti del VI Forum Italiano di Scienze della Terra*, 10.1474/Epitome. 02.1418. Rimini.
- JERVIS G. 1873. *I tesori sotterranei dell'Italia, I: Regione delle Alpi*. Torino.
- KISSIN S.A. 1992. Five-element (Ni-Co-As-Ag-Bi) veins. *Geoscience Canada* 19: 113-124. Saint-John's.
- NICKEL E.H., NICHOLS M.C. 2009. *IMA/CNMNC List of Mineral Names*. [http://pubsites.uws.edu.au/ima-cnmnc/IMA2009-01\\_UPDATE\\_160309.pdf](http://pubsites.uws.edu.au/ima-cnmnc/IMA2009-01_UPDATE_160309.pdf).
- PERELLO P., DELLE PIANE L., PIANA F., STELLA F., DAMIANO A. 2004. Brittle post-metamorphic tectonics in the Gran Paradiso Massif (north-western Italian Alps). *Geodinamica Acta* 17: 71-90. Cachan.
- PEROTTO A., SALINO C., POGNANTE U., GENOVESE G., GOSSO G. 1985. Assetto geologico-strutturale della Falda piemontese nel settore dell'alta valle di Viù (Alpi Occidentali). *Atti del convegno sul tema: «Geologia strutturale e stratigrafia», Limone Piemonte - Monte Marguaréis - Certosa di Pesio 1983*, (a cura) G. Gosso. *Memorie della Società Geologica Italiana* XXVI (1983) (II): 479-483. Roma.
- PIEPOLI P. 1934. Studio micrografico di minerali complessi delle vecchie miniere di cobalto di Usseglio (valle di Viù). *Periodico di Mineralogia* 5: 141-153. Roma.
- POGNANTE U. 1991. Petrological constraints on the eclogite- and blueschist-facies metamorphism and P-T-t paths in the Western Alps. *Journal of Metamorphic Geology* 9: 5-17. Danvers.
- POLINO R., DAL PIAZ G.V., GOSSO G. 1990. Tectonic erosion at the Adria margin and accretionary processes for the Cretaceous orogeny of the Alps. *Mémoires de la Société géologique de France* 156: 345-367. Paris.
- ROSSETTI P. 2000. The iron ore deposits of the Italian Western Alps. *Il ferro nelle Alpi. Giacimenti, miniere e metallurgia dall'antichità al XVI secolo. Atti del convegno. Iron in the Alps. Deposits, mines and metallurgy from antiquity to the XVI century. Proceedings of the conference, Bienna 1998*, (a cura) C. Cucini Tizzoni, M. Tizzoni: 8-14. Bienna.
- ROSSI M., GATTIGLIA A., BALAGNA DENA C. 2011. Le miniere polimetalliche della Corna (Usseglio) nelle mappe della seconda metà del XVIII e dell'inizio del XIX secolo: dati topografici e tecnici. *Terre rosse, pietre verdi e blu cobalto. Miniere a Usseglio. Prima raccolta di studi*, (a cura) M. Rossi, A. Gattiglia: 129-160. Usseglio - Torino.
- ROSSI M., GATTIGLIA A., PANTÒ G. 2008. *Rondolere. Un'area archeometallurgica del XVIII secolo in alta val Sessera (Biella)*. Torino - Borgo San Lorenzo.
- SACCHI E., DEMATTEIS A., ROSSETTI P. 2003. Past and present circulation of CO<sub>2</sub>-bearing fluids in the crystalline Gran Paradiso Massif (Orco Valley, north-western Italian Alps): tectonic and geochemical constraints. *Applied Geochemistry* 19: 395-412. Amsterdam.
- VACCIO R.V., RE FIORENTIN B., BALAGNA DENA C. 2011. Osservazioni sui minerali del giacimento metallifero a cobalto-ferro-nichel di Punta Corna (Usseglio). *Terre rosse, pietre verdi e blu cobalto. Miniere a Usseglio. Prima raccolta di studi*, (a cura) M. Rossi, A. Gattiglia: 37-52. Usseglio - Torino.

