

A. DA MOMMIO (*), S. IACCARINO (*), S. VEZZONI (*), A. DINI (**), S. ROCCHI (*),
D. BROCCINI (***), S. GUIDERI (***), L. SBRILLI (***)

VALORIZZAZIONE DEL GEOSITO «SEZIONE COQUAND», MINIERA DEL TEMPERINO (PARCO ARCHEOMINERARIO DI SAN SILVESTRO, CAMPIGLIA MARITTIMA)

Abstract - Development of the «Coquand Section» geosite, Temperino mine (San Silvestro Archaeological and Mining Park, Campiglia Marittima). The geological heritage of Tuscany is one of the most varied, studied and history-rich (from the industrial and scientific stand point) of Italy, representing an area of active research and educational training not only for Tuscan Universities but also for other Italian and foreign academic institutions. Since the 90's of last century, Tuscany changed its economic strategy from mining-directed to mainly touristic, starting a more careful management of the environment and landscape. Backfilling of former quarries, stabilization of road cuts and closure of underground works in mining areas represent a correct environmental practice but in turn it precludes the access at important geological outcrops of high scientific and educational interest. The creation of parks for the protection of the rich Tuscan natural, historical and archaeological heritage is an opportunity to develop synergies between conservation institutions and the community of Earth scientists aimed to the identification, preservation and improvement of geosites of special scientific and educational value. The collaboration between the Parchi Val di Cornia S.p.A, University of Pisa and CNR allowed recovering and development of a Tuscan geosite of great interest, the «Coquand Section»: a 20 meter large amphitheater where the type-section of a Cu-Fe-Pb-Zn sulfide bearing skarn body is exposed (exploited in the past by the Temperino mine; now in the Archaeological and Mining Park of San Silvestro). The detailed topographic and geological survey provided new data for the reconstruction of the complex genetic history of this magmatic-hydrothermal system. Comparison with the numerous scientific papers published since the early nineteenth century on this geological outcrop allows to follow the evolution of scientific thought about relationships between magmatism, release of hydrothermal fluids and metasomatic processes.

Key words - Coquand Section, geosite, history of science, skarn, porphyry.

Riassunto - Il patrimonio geologico della Toscana è uno dei più vari, più studiati e ricchi di storia (industriale e scientifica) di tutto il territorio nazionale, rappresentando un'area di ricerca e formazione didattica non solo per gli atenei toscani ma anche per altre strutture accademiche italiane e straniere. A partire dagli anni '90 del secolo scorso, la riconversione da regione a vocazione mineraria a regione a indirizzo prevalentemente turistico ha portato ad una più attenta gestione del bene ambientale-paesaggistico precludendo però l'accesso a importanti affioramenti geologici di interesse scientifico e didattico (per chiusura delle miniere o per ripristini ambientali). La creazione di Parchi per la tutela del ricco patrimonio naturalistico, storico e archeologico toscano costituisce un'occasione per sviluppare delle sinergie tra queste strutture e la comunità degli scienziati della

Terra tese all'individuazione, conservazione e valorizzazione di geositi di particolare pregio scientifico-didattico. La collaborazione tra il personale della Parchi Val di Cornia S.p.A., e dell'Università e CNR di Pisa ha permesso di recuperare e valorizzare un geosito toscano di notevole interesse, la «Sezione Coquand»: un anfiteatro di circa 10 metri di raggio che espone la sezione tipo degli skarn a solfuri di Cu-Fe-Pb-Zn coltivati un tempo dalla miniera del Temperino, attualmente nel Parco Archeominerario di San Silvestro, Campiglia Marittima. Il rilevamento topografico e geologico di dettaglio ha permesso di ricostruire la complessa storia di questo sistema magmatico-idrotermale e di confrontarla con i numerosi lavori scientifici pubblicati a partire dalla prima metà del XIX secolo.

Parole chiave - Sezione Coquand, geosito, storia della scienza, skarn, porfido.

INTRODUZIONE

Il concetto di tutela dei beni geologici (*geoconservation*) è strettamente collegato con quello di patrimonio geologico (*geological heritage*) in quanto l'azione di tutela è diretta a preservare il patrimonio geologico di un certo territorio con le sue diversità ed emergenze eccellenti (Brocx & Semeniuk, 2007). La tutela dei beni geologici in Italia, rispetto ad altri paesi europei ha registrato un evidente ritardo culturale e di attenzione rispetto alle altre componenti naturali del territorio (nel Regno Unito la tutela dei beni geologici è stata inclusa nella normativa fin dal 1949 e un importante programma di selezione e tutela è iniziato nel 1977; Ellis, 2008; Prosser, 2008). Tale situazione è in gran parte ascrivibile alla convinzione che il substrato geologico si conservi da sé, data la sua apparente immutabilità nel tempo; stato che lo rende scenario indistinguibile del nostro vivere quotidiano.

Un geosito può essere definito come località, area o territorio in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione (Wimbledon *et al.*, 1995; Wimbledon, 1996). I geositi dovrebbero rappresentare in modo esemplare (alla scala regionale o globale) contesti geologici e geomorfologici di primaria importanza per la comprensione della storia geologica, dei processi petrogenetici e minerogenetici, dell'evoluzione del pensiero scientifico e delle relazioni con il paesaggio/ecosistema in cui sono inseriti, includendo lo sviluppo delle attività umane nel tempo (industria mineraria, attività agricole, ecc.). Il

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

(**) Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa.

(***) Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino.

termine geosito può essere utilizzato in molti contesti: sia per affioramenti circoscritti o elementi isolati con caratteri di eccezionalità (*monumenti geologici*), sia per gruppi di siti o territori di maggiore estensione.

A livello nazionale, il lavoro svolto da alcuni precursori (Praturlon, 1986; Panizza & Piacente, 1989) e la sempre maggiore sensibilità per la conservazione di ambiente e territorio portò nel 1996 alla costituzione del gruppo ProGEO Italia, a cui afferiscono docenti e ricercatori dell'Università, dell'ENEA, del Servizio Geologico Nazionale e del CNR, il cui compito principale è proprio quello di promuovere la diffusione dell'informazione, riguardo al patrimonio geologico ed alla sua conservazione. In questo ambito, a partire dal 2002, è iniziato «il Censimento Nazionale dei Geositi» gestito da ISPRA. È tuttavia la più recente strategia della Rete dei Geoparchi Europei (EGN), consolidata nel 2004 con l'istituzione della Rete Globale dei Geoparchi sotto l'egida dell'UNESCO, che interpreta perfettamente le politiche di conservazione e di valorizzazione del patrimonio geologico e le integra nell'ambito delle più articolate azioni finalizzate alla tutela attiva delle risorse ambientali ed allo sviluppo sostenibile a livello locale.

Le trasformazioni che hanno contraddistinto il territorio toscano (da regione a vocazione mineraria a regione a indirizzo prevalentemente turistico) hanno già irrimediabilmente cancellato numerose testimonianze geologico-minerarie fondamentali per la conoscenza del sistema Terra e della sua evoluzione, sia passata che futura. Pensiamo alla chiusura e conseguente allagamento di molte miniere toscane (Campiano, Niccioletta, Fenice Capanne, ecc.) che sono state oggetto di importanti ricerche scientifiche nel secolo scorso come pure palestra per la formazione di molte generazioni di geologi degli atenei toscani, italiani e stranieri. Un altro esempio è l'intervento di modellamento e rinverdimento dei gradoni superiori della Cava Maffei a Botro ai Marmi (Campiglia Marittima). Per anni gli spettacolari affioramenti del contatto metasomatico tra monzogranito e marmi sono stati appuntamento fisso (grazie alla disponibilità della società che coltivava il giacimento di materiali per l'industria della ceramica) di tutti i corsi di petrografia, mineralogia e giacimenti minerari degli atenei toscani. Nei gradoni della cava era possibile avere una visione tridimensionale dell'aureola di contatto e delle masse metasomatiche a diopside, scapolite, granato e vesuviana. L'intervento di ripristino ambientale, eseguito alcuni anni fa rispettando le norme di legge, ha precluso l'accesso a buona parte degli affioramenti che si trovano oramai sepolti sotto metri di terreno di riporto o mascherati da cortine di alberi. In questi casi, con la consapevolezza dovuta alla conoscenza, sarebbe sufficiente, in accordo con gli studiosi e gli organi di competenza, lasciare scoperta la parte più significativa della sezione geologica per consentire l'osservazione ed eventuali indagini scientifiche. Proprio l'aspetto didattico costituisce forse l'elemento di maggiore criticità, in quanto la scomparsa di affioramenti geologici chiave preclude la possibilità di sviluppare compiutamente quelle attività di campagna che maggiormente caratterizzano gli insegnamenti nei corsi di laurea legati alle Scienze della Terra.

Fortunatamente la nascita di Parchi naturali, archeominerari e minerari (es. Parco Regionale delle Alpi Apuane, Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, Parco Archeominerario di San Silvestro, Parco Nazionale delle Colline Metallifere) ha creato un contesto favorevole dove poter sviluppare delle azioni di tutela, recupero e valorizzazione del ricco patrimonio geologico toscano. Alcune di queste realtà stanno seguendo il percorso per essere riconosciute all'interno della rete europea e globale UNESCO Geoparcs (Parco Naturale delle Alpi Apuane; Amorfini & Isola, 2006;) o lo sono diventate recentemente (Parco Nazionale delle Colline Metallifere; Corsi & Casini, 2010). Dovrebbe essere compito della comunità degli scienziati della Terra che studiano, percorrono e cartografano il territorio geologico toscano di indicare a queste istituzioni i geositi di maggiore importanza scientifica, didattica, storica e ovviamente paesaggistica sollecitandone il censimento, il recupero, la protezione e la valorizzazione.

A questo proposito è bene ricordare la differenza che corre tra la tutela di molti ecosistemi naturali e la tutela dei geositi. Nel primo caso la tutela di certe aree naturalistiche prevede giustamente il divieto assoluto di accesso per proteggere le specie animali e vegetali che le popolano. Nel caso dei geositi e in particolar modo di quelli minerari o comunque con valenza mineralogica la tutela assoluta andrebbe contro la valorizzazione scientifica dei siti stessi. La Toscana grazie alla sua grande varietà di contesti geologici e minerogenetici costituisce una delle aree della Terra con maggiore varietà mineralogica. Le indagini mineralogiche condotte negli ultimi 160 anni in Toscana hanno permesso di identificare oltre 550 specie minerali di cui 60 identificate per la prima volta al mondo. Questo grazie alle attività minerarie che hanno fornito materiale sempre nuovo agli scienziati della Terra. Un ruolo non secondario è stato svolto anche dai collezionisti di minerali, mineralogisti amatoriali che quando opportunamente guidati dagli scienziati hanno permesso di identificare molte specie mineralogiche di notevole importanza scientifica (vedi Orlandi & Dini, 2006). Una volta tutelati alcuni siti chiave in modo da preservare gli affioramenti tipo di una determinata emergenza geo-mineralogica è necessario quindi che le attività di campionamento possano continuare in aree simili limitrofe, sia da parte degli scienziati che da parte di mineralogisti amatoriali opportunamente coordinati. Nel Parco Archeominerario di San Silvestro è in corso un'attività di questo tipo, con il coinvolgimento sia di ricercatori universitari e del CNR, sia di collezionisti di associazioni mineralogiche convenzionate, per il campionamento e lo studio dei minerali di questa importante area mineraria.

È in questo contesto culturale e grazie anche ad un progetto di ricerca in corso sul magmatismo e i giacimenti minerari dell'area di Campiglia Marittima (Progetto PRIN 2008 dal titolo: Flusso di magma e crescita delle intrusioni ignee tabulari; Coordinatore prof. Sergio Rocchi), che è nata l'idea di recuperare, studiare e valorizzare un geosito toscano di particolare valore scientifico-didattico, la «Sezione Coquand»: un anfitratto di circa 10 metri di raggio che espone la sezione tipo degli skarn a solfuri di Cu-Fe-Pb-Zn coltivati un

tempo dalla miniera del Temperino (Fig. 1; attualmente nel Parco Archeominerario di San Silvestro, Campiglia Marittima). Nell'arco di poche decine di metri, lo skarn a hedenbergite e ilvaite (con solfuri di Cu e Fe) si alterna a intrusioni di rocce magmatiche mafiche e acide e

a rocce metasomatiche a epidoto, il tutto in una cornice di marmo bianco. Questo spettacolare affioramento, creato artificialmente nella prima metà del 1800 dall'ingegnere minerario Henry Coquand (all'epoca direttore della miniera del Temperino), associa ad un indiscutibi-

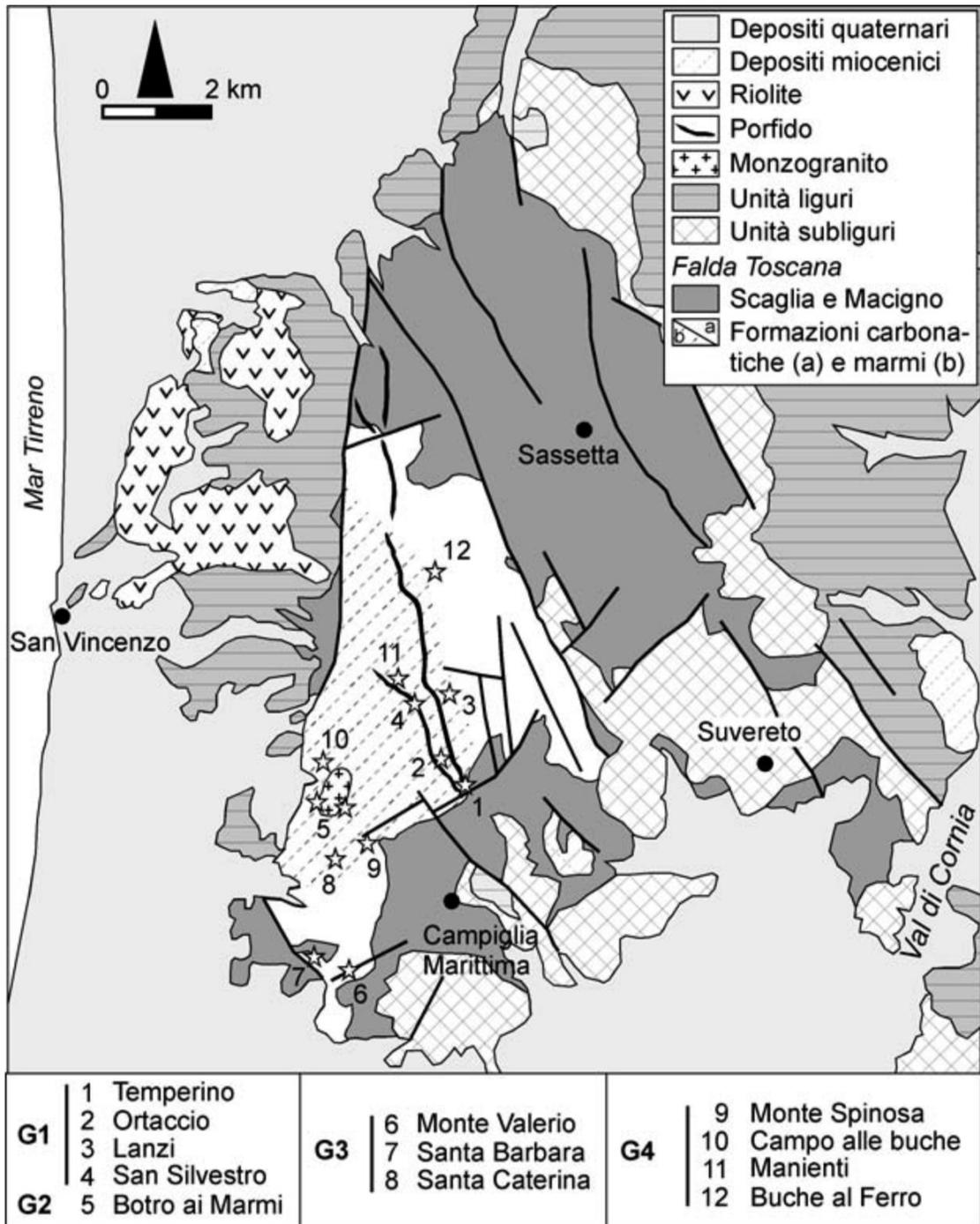


Fig. 1 - Carta geologica schematica del Campigliese con indicate le principali aree minerarie (vedi Tabella 1 e il testo per i dettagli sui giacimenti).

le valore scientifico-didattico anche un notevole valore storico-filosofico grazie alla storia degli scienziati e delle idee scientifiche che la sua bellezza e complessità geologica seppero attrarre, stimolando accese discussioni geologiche e minerogenetiche a livello dell'intero continente europeo.

La «Sezione Coquand» ha resistito per 150 anni malgrado i locali franamenti, lo sviluppo di patine di alterazione e incrostazioni e la crescita di una fitta vegetazione. Nell'ambito di un Progetto di Tirocinio tra il Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Geologiche dell'Università di Pisa e il Parco Archeominerario di San Silvestro (Parchi Val di Cornia S.p.A.) la «Sezione Coquand» è stata pulita dalla vegetazione e dai materiali instabili, misurata e cartografata da tre degli autori ADM, SI e SV). Il presente articolo contiene i risultati di questo studio che, grazie alla stretta collaborazione con il personale del Parco Archeominerario di San Silvestro, verranno trasferiti in un progetto di valorizzazione turistico-didattica per l'integrazione con l'attuale rete di percorsi culturali del parco.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-MINERARIO DELLA MINIERA DEL TEMPERINO

Nel Campigliese la coltivazione dei vari giacimenti metalliferi risale almeno ai primi secoli del I millennio a.C. e si è poi sviluppata in modo discontinuo durante il Medioevo, nel Rinascimento e poi in epoca industriale (Casini, 1993; Tanelli *et al.*, 1993; Franco-vich, 1994; A.A.V.V., 1997 e bibliografia citata). Alla fine degli anni settanta del secolo scorso è cessata la coltivazione per l'esaurimento dei giacimenti metalliferi. A partire da quella data l'area è stata tutelata dalle amministrazioni che ne hanno riconosciuto il valore storico e naturalistico e inserita nel sistema di parchi la cui realizzazione e gestione è stata affidata alla Parchi Val di Cornia S.p.A. Il Parco Archeominerario di San Silvestro consente oggi di visitare l'area delle ex miniere Temperino e Lanzi (Guideri, 2003; Guideri, 2009). Grazie a finanziamenti pubblici e comunitari è stato possibile mettere in sicurezza e rendere visitabili due gallerie minerarie, oltre a riqualificare alcuni degli edifici a servizio della miniera, che sono stati trasformati in servizi (biglietteria, musei, ristorante, ostello ecc.). Situato alle spalle di Campiglia Marittima e del promontorio di Piombino, il parco si estende su un'area di circa 450 ettari. I percorsi di visita si snodano tra musei, gallerie minerarie (miniera del Temperino e galleria Lanzi-Temperino), un borgo medioevale di minatori e fonditori fondato circa mille anni fa (Rocca San Silvestro) e sentieri di interesse storico, archeologico, geologico e naturalistico. I contenuti del parco possono essere approfonditi nei suoi musei, dedicati all'archeologia e ai minerali, alle macchine minerarie ed ai minatori. La visita del Parco inizia dal museo dell'Archeologia e dei Minerali, presso l'edificio della Biglietteria (Fig. 2), e prosegue, con guide esperte, nella Galleria del Temperino alla scoperta dell'evoluzione delle tecniche di ricerca ed estrazione dei minerali, della bellezza e fascino del mondo sotterraneo. Uscendo

dalla galleria si sale verso l'area di Pozzo Earle, dove gli allestimenti dei Musei delle Macchine Minerarie e dei Minatori raccontano al visitatore gli ultimi decenni di storia mineraria. Si arriva così alla visita in treno della Galleria Lanzi-Temperino, ripercorrendo il tragitto dei minerali, dalle miniere della Valle del Temperino agli impianti di trattamento della Valle dei Lanzi. All'arrivo del treno in Valle Lanzi, i visitatori possono infatti notare impianti minerari che, nati per la flottazione del minerale, furono riconvertiti in impianti per la frantumazione del calcare. Sullo sfondo di Valle Lanzi spiccano i resti della medioevale Rocca San Silvestro, che rappresenta il cuore del Parco e della sua visita.

Dal punto di vista geologico-strutturale l'area del Campigliese è caratterizzata da un alto orientato circa nord-sud (Fig. 1) in cui affiorano estesamente le formazioni del Dominio Toscano; le formazioni carbonatiche rappresentano i litotipi prevalenti a sud della Valle delle Dispense (dai Calcari a *Rhaetavicula Contorta* fino al Calcare Selcifero con il Calcare Massiccio dominante) mentre le sequenze silicoclastiche (Scaglia Toscana e Macigno) prevalgono nel settore nord-orientale (Costantini *et al.*, 1993). L'alto strutturale è limitato da faglie ad alto angolo che mettono in contatto le formazioni del Dominio Toscano con le Unità Liguri (Acocella *et al.*, 2000).

Nella Valle di Botro ai Marmi (a sud-est della miniera del Temperino) affiora la parte basale della Falda Toscana con i Calcari a *Rhaetavicula Contorta* intrusi dal monzogranito di Botro ai Marmi (5,7 Ma; Borsi *et al.*, 1967; Barberi *et al.*, 1967) che produce notevoli effetti di contatto (skarn a scapolite-diopside-granato, trasformazione dei calcari in marmo bianco) ed una foliazione pervasiva che interessa i marmi fino a grande distanza dal contatto (Valle delle Dispense). Il granito di Botro ai Marmi ha subito un insolito processo di alterazione idrotermale che ha sostituito gli originari cristalli di biotite con una nuova generazione di flogopite, diopside, calcite e titanite idrotermali. Ne risulta un contenuto in ferro estremamente basso, motivo per cui questa roccia è stata attivamente coltivata per la produzione di materiali per l'industria della ceramica (Lattanzi *et al.*, 2001).

Successivamente a questo evento magmatico e metamorfico avviene la messa in posto di rocce ignee subvulcaniche (circa 4-5 Ma; Borsi *et al.*, 1967) che affiorano estesamente a partire dalla Valle del Temperino fino alla parte alta della Valle dei Manienti per poi proseguire a nord verso Castagneto Carducci ed oltre. Si tratta di filoni subverticali di porfidi monzogranitici, associati localmente a porfidi mafici strettamente correlati con giacimenti di tipo skarn a Cu-Fe-Pb-Zn. Nel Campigliese possono essere distinti quattro tipi di giacimenti metalliferi (Tab. 1; modificata da Tanelli *et al.*, 1993): G1) giacimenti a solfuri di Cu-Pb-Zn associati a skarn a hedenbergite, ilvaite (\pm johannsenite) legati all'intrusione dei porfidi; G2) giacimenti a solfuri Cu-Pb-Zn-As associati a rocce di contatto e skarn a diopside, vesuviana, granato, scapolite, ecc. legati all'intrusione del granito di Botro ai Marmi; G3) giacimenti a cassiterite (\pm scheelite) in vene e ammassi legati all'intrusione del granito di Botro ai Marmi; G4)

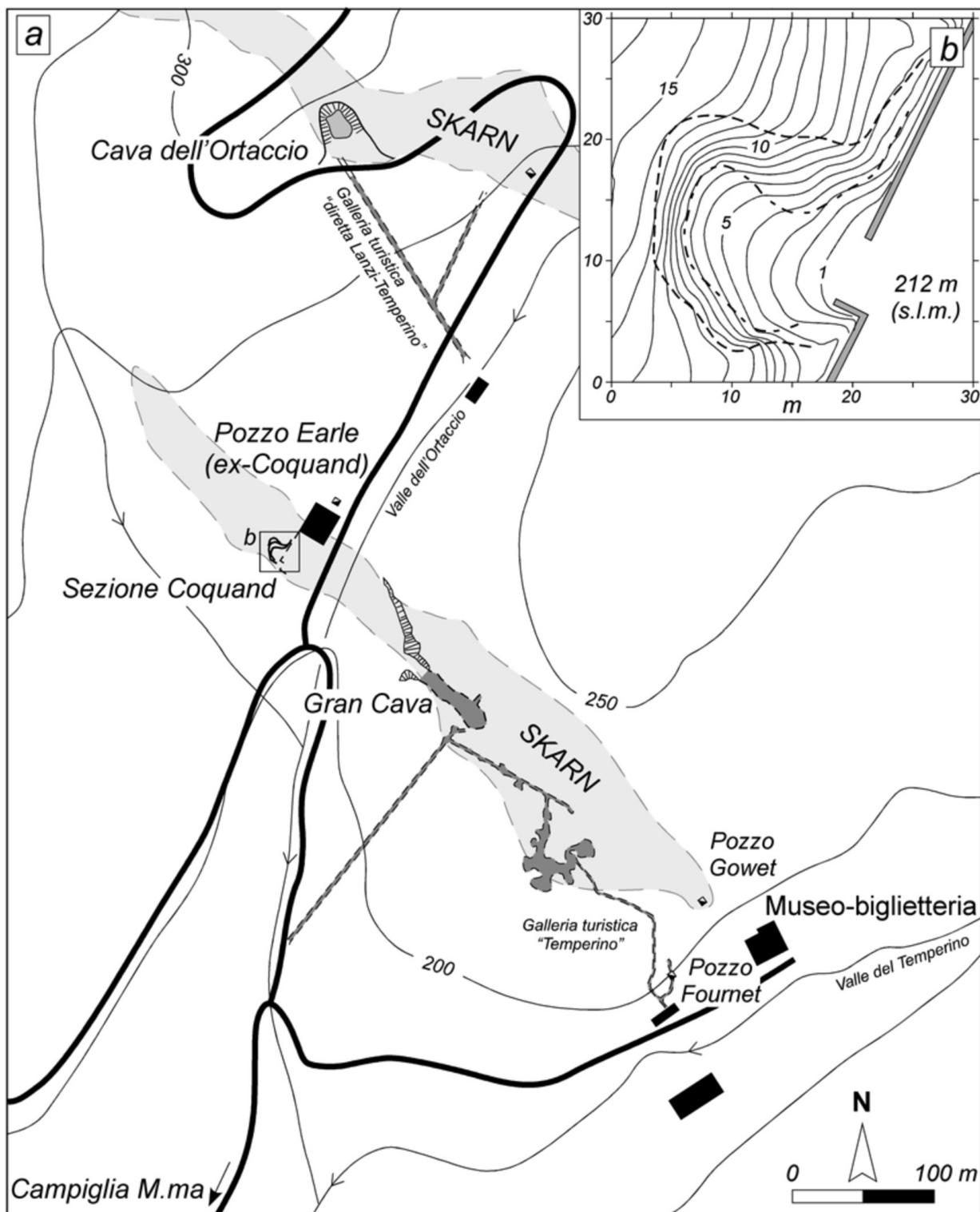


Fig. 2 - a) Carta schematica della zona mineraria della ex-miniera del Temperino con indicati la Sezione Coquand e i principali siti e toponimi discussi nel testo. Le aree evidenziate in grigio chiaro indicano l'andamento in profondità delle masse di skarn a solfuri; in grigio scuro alcune gallerie attualmente inserite negli itinerari turistici. b) carta topografica di dettaglio dell'area della Sezione Coquand come è risultata dalle misurazioni condotte in questo studio; le isoipse si riferiscono alla quota 0 di riferimento, rappresentata dal piazzale del Pozzo Earle (ex Pozzo Coquand; q. 212 m l.m.m.).

Tab. 1 - Tavola riassuntiva delle tipologie di giacimenti metalliferi del Campigliese (modificata da Tanelli *et al.*, 1993).

| Sigla | Tipo di giacimento | Caratteri geochimici | Località | Processo genetico | Rocce incassanti |
|--------------|---|-------------------------------|---|--|---|
| G1 | Skarn a hedenbergite, ilvaite \pm johannsenite | Cu, Pb, Zn, Fe, | Min. del Temperino Min. dei Lanzi Valle dei Manienti | Idrotermali magmatici di sostituzione | Marmi bianchi, (Giura) |
| G2 | Aureola di contatto e skarn \pm vene di quarzo e clorite | Cu, Zn, Pb, As, Fe, Sn, W, Th | Botro ai Marmi Monte Spinosa | Idrotermali magmatici di sostituzione | Marmi grigi e bianchi (Trias-Giura), granito (Mio-Pliocene). |
| G3 | Vene e masse di cassiterite, pirite e idrossidi di Fe \pm scheelite e tormalina | Sn, W, Fe, As | Monte Valerio Cento Camerelle Valle Pozzanello Monte Spinosa Campo alle Buche | Idrotermali magmatici in vene e disseminazioni | Marmi grigi e bianchi, diaspri, calcari e marne (Trias-Giura) |
| G4 | Masse di idrossidi di Fe | Fe, As, Cu, Pb, Zn, Sn | Campo alle Buche Colle Sant'Antonio Cento Camerelle | alterazione supergenica alle spese di depositi a skarn e a solfuri | Marmi grigi e bianchi, diaspri, calcari e marne (Trias-Giura) |

ammassi di idrossidi di ferro legati alla circolazione di fluidi di bassa termalità probabilmente meteorici.

Il primo tipo (G1) costituisce i corpi minerali più importanti attivamente coltivati in passato nelle miniere del Temperino e dei Lanzi per la produzione di rame, piombo, zinco e argento. Tra la parte bassa della Valle del Temperino e la Valle dei Manienti si individuano 5 corpi principali di skarn variamente mineralizzati a solfuri. Quattro di questi corpi hanno una forma approssimativamente tabulare e giacitura verticale; i due corpi meridionali, affioranti estesamente tra la Valle del Temperino e la Valle dell'Ortaccio, presentavano le migliori mineralizzazioni a Cu-Fe (Pb-Zn-Ag) e sono stati coltivati dalla ex-miniera del Temperino. Gli altri due corpi, affioranti tra la Valle dei Lanzi e la Valle dei Manienti, sono più discontinui e caratterizzati da prevalenti mineralizzazioni a Pb-Zn. Gli skarn di questa zona sono costituiti prevalentemente da hedenbergite e ilvaite con minori quantità di granato, johannsenite, epidoto, clorite, ecc. Il quarzo e la calcite sono quasi sempre presenti come fasi tardive. La mineralizzazione a solfuri di Cu-Pb-Zn-Fe-Ag (calcopirite, galena, sfalerite, pirite) costituisce disseminazioni, venette e talvolta masse cospicue disperse nella massa dello skarn. Infine il quinto corpo, quello coltivato dalla miniera dei Lanzi, costituisce un affioramento isolato a nord-est del trend principale: esso è costituito da un corpo

a prevalente hedenbergite con solfuri di Pb e Zn, che segue l'andamento della foliazione/stratificazione dei marmi incassanti immergendo ad est.

Il secondo tipo (G2) costituisce concentrazioni di solfuri di Pb-Zn-Fe-Cu-As nello skarn a diopside, scapolite, granato e vesuviana dell'aureola di contatto del granito di Botro ai Marmi e Monte Spinosa. Queste concentrazioni metallifere sono di poca entità e distribuite in modo erratico nell'aureola di contatto sottoforma di vene e disseminazioni.

Al terzo tipo (G3) appartengono le mineralizzazioni stannifere con idrossidi di ferro di Monte Valerio-Cento Camerelle e le mineralizzazioni a scheelite e cassiterite esposte sul fianco meridionale di Monte Spinosa fino a Valle Pozzanello. Si tratta di vene, disseminazioni, e piccoli ammassi che interessano le formazioni del Dominio Toscano (dai calcari retici ai diaspri giurassici) sia all'interno dell'aureola di contatto (es. a Monte Spinosa) sia a notevole distanza dall'intrusione di Botro ai Marmi (es. a Monte Valerio-Cento Camerelle).

Infine, il quarto tipo (G4) costituisce degli ammassi di idrossidi di ferro (goethite, lepidocrocite) associati a calcite e ad arseniati, solfati e carbonati di Cu, Zn, Pb. Questi ammassi rappresentano il prodotto finale dell'azione di alterazione e rimobilizzazione operata dalle acque meteoriche sulle mineralizzazioni primarie descritte in precedenza. Questi processi vanno di pari

passo con i fenomeni carsici ed è quindi comune trovare cavità di tipo carsico variamente riempite da idrossidi di ferro e calcite (es. Campo alle Buche).

LA «SEZIONE COQUAND»: STORIA DEGLI SCIENZIATI E DELLE IDEE SCIENTIFICHE

La storia della «Sezione Coquand» inizia nella prima metà dell'Ottocento, in un periodo di grande fervore imprenditoriale del settore minerario toscano. Dopo l'invasione napoleonica e la successiva restaurazione operata dal Congresso di Vienna nel 1815, molti francesi al seguito di Napoleone erano rimasti in Toscana cercando di sviluppare vari progetti imprenditoriali. Inoltre i migliori geologi e ingegneri minerari dell'epoca venivano formati all'École des Mines di Parigi e Saint-Étienne, mentre in Italia mancavano strutture per l'alta formazione nel campo minerario (Brianta, 2007). Per questo motivo molti dei giacimenti minerari riaperti in quel periodo furono gestiti o diretti da Società e ingegneri minerari francesi. Anche i giacimenti del Campigliese seguirono la stessa sorte: nel 1841 la società «Bourlon, Noiret, Badois, Gavault & C.» di Parigi diretta dal geologo francese Amédée Burat iniziò la coltivazione della parte meridionale del giacimento del Temperino (zona Gowett-Fernet; Valle del Temperino); negli stessi anni la «Società Metallurgica G. Senigallia» iniziò la coltivazione della zona subito a nord della precedente (zona Gran Cava, Valle dell'Ortaccio) chiamando a dirigere i lavori un altro geologo francese: Henry Coquand.

A quel tempo il giacimento era abbandonato da diversi secoli e le attività esplorative si svilupparono a partire dal labirinto di gallerie, pozzetti e vuoti di coltivazione che interessavano la parte più superficiale del giacimento (a sud-est della Gran Cava). La prosecuzione del giacimento subito a nord-ovest della Gran Cava non era stata coltivata in antichità e secondo le descrizioni di Hoffmann (1839), che visitò la zona nel 1830 prima della riapertura della miniera, «la continuazione del filone eravi indicata soltanto da una larga striscia di blocchi di... ilvaite e di porfido» (Lotti, 1877). È in questo punto, sul lato nord-occidentale della Valle dell'Ortaccio, che Coquand decise di effettuare dei saggi esplorativi per esporre la zona mineralizzata scavando sia un pozzo verticale (Pozzo Coquand; attuale Pozzo Earle) che una sezione verticale trasversale: quella che diventerà la «Sezione Coquand».

Henry Coquand (1813-1881; Fig. 3), dopo aver conseguito il Dottorato a Parigi nel 1841, e prima di vincere la cattedra di geologia e mineralogia all'Università di Besançon (1852) e, successivamente, di Marsiglia (1858), passò cinque anni (1843-1848) tra la gestione della miniera dell'Ortaccio e viaggi di lavoro in Marocco. Durante il periodo in Toscana, Coquand ebbe modo di condurre studi di geologia regionale e stratigrafica che poi pubblicò su importanti riviste scientifiche alimentando un'importante discussione con i geologi italiani e tedeschi (Coquand, 1844; Coquand, 1845). Nel settembre 1843, Coquand partecipò alla Quinta Riunione degli Scienziati Italiani a Lucca, dove conobbe mol-



Fig. 3 - Henry Coquand in abito accademico (dal sito WEB del Muséum d'Histoire Naturelle d'Aix en Provence; http://www.museum-aix-en-provence.org/histoire_personnalites.htm).

ti geologi italiani fra cui Paolo Savi e Leopoldo Pilla dell'Università di Pisa. Con Pilla instaurò un rapporto di amicizia e prima della fine dell'anno (28 dicembre 1843) effettuarono una visita alle miniere del Campigliese (Discenza, 1984).

Durante la visita Pilla rimane impressionato soprattutto dai minerali di neoformazione che incrostano le pareti degli antichi vuoti di coltivazione (Pilla, 1845). Oltre allo skarn e ai porfidi egli descrive una «caverna di sorprendente bellezza che poteva considerarsi come una Grotta di Capri di colore azzurro. Tutta la sua superficie era ricoperta di un tappeto stalattitico azzurro, alla cui formazione presero parte prevalentemente il solfato di rame, il silicato idrato di rame e il gesso... Il gesso formava sulle pareti una incrostazione da 5 a 8 centimetri di grossezza» con «cristalli regolarissimi ed eleganti» e «aghi sottilissimi isolati di 10 a 14 centimetri... La maggior parte del gesso era colorata dal rame in verde e in azzurro». La scoperta dell'antico vuoto di coltivazione sotterraneo ricoperto da incrostazioni policrome, non sollecita in lui solo l'ammirazione per lo spettacolo fantastico, ma lo porta a speculare sul processo e sui tempi di formazione proponendo una datazione dell'abbandono delle antiche coltivazioni attorno al 1000 a.C. (Pilla, 1845). Malgrado le attente descrizioni dello skarn, dei

porfidi e dei minerali di alterazione, Pilla (1845) non parla della «Sezione Coquand», segno che alla fine del 1843 non era stata ancora scavata.

Amédée Burat (1845), nella sua importante opera *Etudes sur les mines - Théories des gîtes métallifères*, parla principalmente del settore del giacimento su cui insisteva la sua miniera (la zona meridionale) presentando anche cinque interessanti riproduzioni del giacimento (Fig. 4), ma non descrive in dettaglio alcun affioramento nella Valle dell'Ortaccio. Alfred Caillaux, altro geologo francese coinvolto nelle attività minerarie toscane, visitò le miniere durante il breve periodo di attività descrivendo successivamente (Caillaux, 1858) gli aspetti mineralogico-tessiturali del giacimento e i rapporti con le rocce intrusive. Dello stesso anno è l'opera di Simonin (1858); questo autore fornisce molte informazioni sulle coltivazioni antiche ma non entra nei dettagli di carattere geologico. Infine, Jervis (1868) aggiunge pochi dettagli minerari al quadro precedente e, soprattutto, non menziona alcuna sezione geologica particolare.

Da questo momento in poi gli studi relativi alla «Sezione Coquand» si intensificano coinvolgendo i maggiori

geologi-mineralogisti europei dell'epoca. Per seguire in dettaglio l'evoluzione delle ipotesi scientifiche relative al complesso magmatico-idrotermale della miniera del Temperino e in particolare alla «Sezione Coquand» è utile far riferimento al quadro sinottico riportato in Tabella 2.

La prima descrizione dettagliata della «Sezione Coquand» si deve al grande mineralogista e petrografo tedesco Gerard vom Rath. Nella sua monumentale opera «Geognostisch-mineralogische fragmente aus Italien. VII. Die Berge von Campiglia in der Toskanischen Maremma» (Rath, 1868) oltre a presentare un quadro geologico generale dell'area e importanti dati mineralogici sulle rocce, riporta un disegno schematico della sezione geologica presso il Pozzo Coquand (Fig. 5a). Il Rath sulla base delle relazioni osservate alla «Sezione Coquand» e in altri affioramenti della Valle dell'Ortaccio si esprime così riguardo alla sequenza temporale di messa in posto: «alcuni frammenti angolosi della grossezza di circa un metro di quest'ultimo (porfido mafico, n.d.a.) sono rinvolti nella massa ilvaica. Il porfido di un colore grigio verdastro chiaro a circa 30 centimetri di distanza dal limite dell'ilvaite diviene ver-

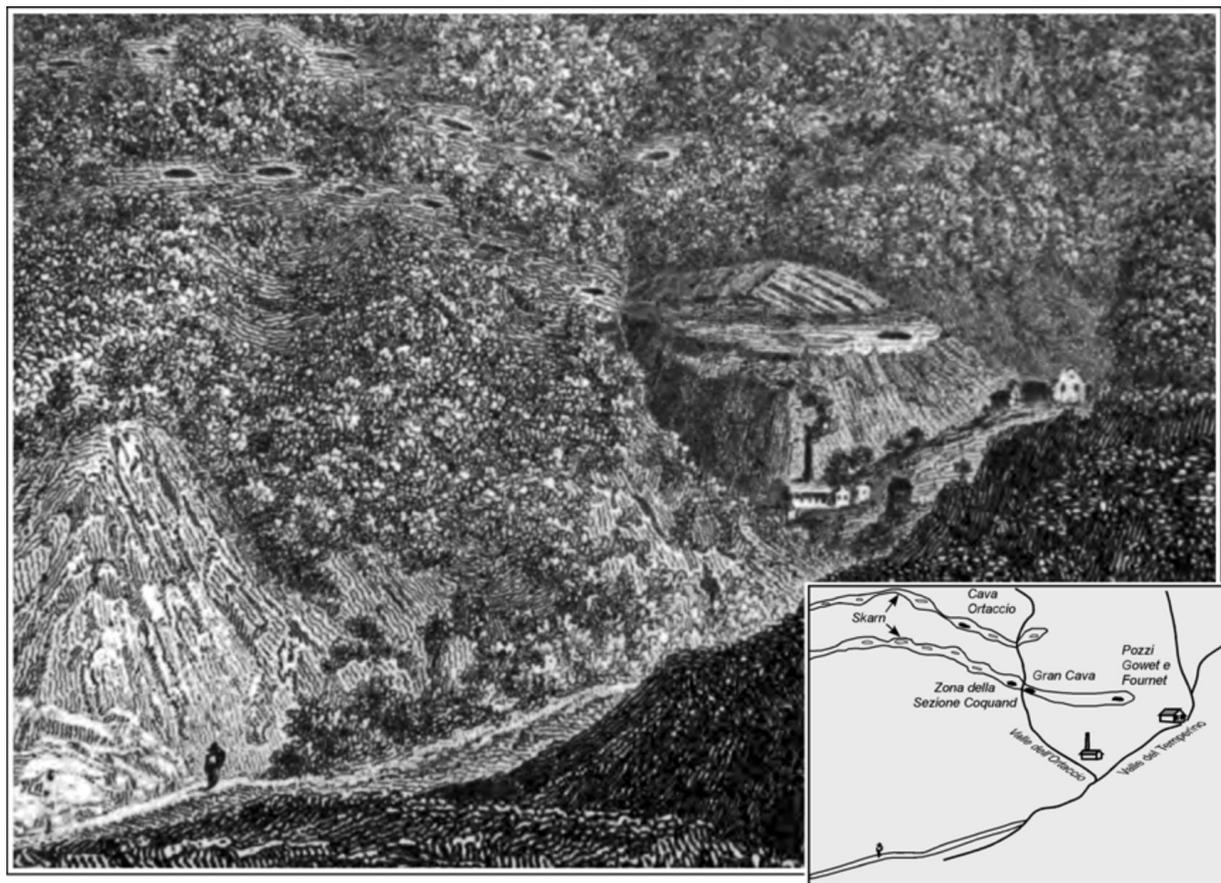


Fig. 4 - L'area mineraria del Temperino in una delle riproduzioni che illustrano l'opera di Burat (1845, particolare ingrandito di una figura più grande). Sono evidenziati i due allineamenti meridionali di skarn e alcuni degli scavi esistenti all'epoca. Nella Valle dell'Ortaccio si notano gli scavi corrispondenti alla Gran Cava e alla Sezione Coquand.

Tab. 2 - Successione temporale delle ipotesi interpretative degli eventi magmatico-idrotermali dei vari autori che hanno studiato la Sezione Coquand e il giacimento del Temperino. Per i dettagli vedi la discussione nel testo.

| Autori | Sequenza temporale  | | | | Note |
|------------------------------------|--|----------------|---------------|----------------|---|
| Savi, 1829 | - | | | | Descrive i porfidi e lo skarn ma non propone alcuna ipotesi |
| Hoffmann, 1839 | Porfidi e skarn | | | | Ipotizza una formazione contemporanea |
| Coquand, 1843-48 | Escavazione del pozzo e della sezione | | | | Il Rath (1868) ci dice che fu lui a scavare la sezione e il pozzo |
| Pilla, 1845 | Porfidi e skarn | | | | Ipotizza una formazione contemporanea |
| Burat, 1845 | Skarn | Porfidi | | | Descrive correttamente la sequenza generale ma non entra in dettagli |
| Rath, 1868 | Porfido acido e Skarn | Porfido mafico | | | Porfido acido e skarn si formano insieme; il mafico deriva per alterazione dell'acido |
| Lotti, 1877 | Porfido acido e Skarn | Porfido mafico | | | Porfido acido e skarn si formano insieme; il mafico deriva per alterazione dell'acido |
| Bergeat, 1901 | Skarn | Porfido mafico | Porfido acido | | Definisce la giusta sequenza ma il suo modello non viene seguito |
| Rodolico, 1931 | Porfido mafico | Skarn | Porfido acido | | Propone la sequenza che verrà seguita da quasi tutti gli autori successivi |
| Dorn, 1942 | Porfido mafico | Skarn | Porfido acido | | Segue il modello di Rodolico (1931) |
| Bertolani, 1958 | Skarn hedenber. | Porfido acido | Skarn ilvaite | Porfido mafico | La formazione dello skarn a ilvaite trasforma il porfido acido in mafico |
| Bodechtel, 1968 | Porfido mafico | Skarn | Porfido acido | | Segue il modello di Rodolico (1931) |
| Bartholomé & Evrard, 1970 | Porfido mafico | Skarn | Porfido acido | | Aggiungono la zonatura simmetrica dello skarn al modello di Rodolico (1931) |
| Corsini et al., 1980 | Porfido mafico | Skarn | Porfido acido | | Seguono il modello di Bartholomé e Evrard (1970) |
| Vezzoni, 2009 Dini et al., 2010 | Skarn | Porfido mafico | Porfido acido | | Definiscono la giusta sequenza. Assenza di zonatura simmetrica nello skarn |

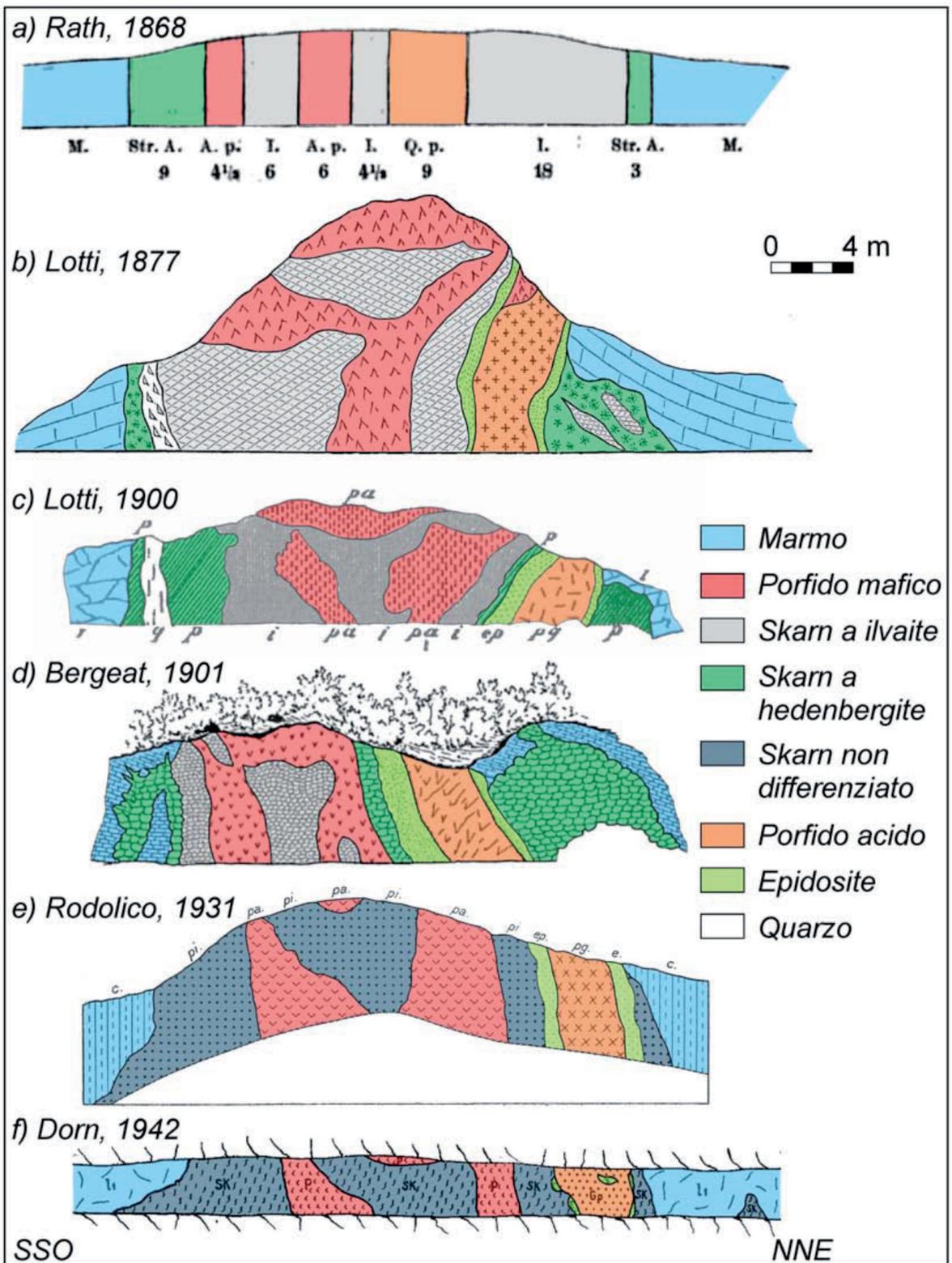


Fig. 5 - La Sezioni Coquand nelle rappresentazioni degli scienziati che la studiarono tra il 1868 e il 1942. Le sezioni sono state colorate per facilitare la comparazione fra i diversi autori.

de nerastro cupo; ... Contemporaneamente il porfido a contatto dell'ilvaite impregnata di solfuri metallici, riempiesi di vene sottili e di noduli di pirite di ferro e di rame e di ilvaite. Riguardando soltanto questi frammenti porfirici racchiusi nella massa augitico-ilvaiteica (hedenbergitico-ilvaiteica, n.d.a.), non potremmo fare a meno di ritenere quest'ultima roccia come più giovane del filone porfirico. Se però d'altra parte osservassimo le ramificazioni del porfido per entro la massa augitica (n.d.a. entro lo skarn) potremmo per contrario credere quello più giovane di questa. Ponderando bene però tutte le circostanze del giacimento e specialmente la profonda alterazione che presenta il porfido al contatto colla massa del filone (dello skarn, n.d.a.), ci possiamo facilmente convincere che ambedue le rocce ebbero tra loro una reciproca azione allorché trovavansi allo stato plastico; dimodoché la loro origine può ritenersi pressoché contemporanea... Il porfido quarzifero e il porfido augitico (n.d.a. rispettivamente porfido acido e mafico), in esemplari scelti convenientemente presentansi invero come forme litologiche appartenenti a classi diverse, però uno studio più accurato mi fece convinto che ambedue queste rocce, sebbene petrograficamente affatto differenti, devono esser riguardate come identiche nel più esteso significato geologico... Il porfido augitico dei filoni (dello skarn, n.d.a.) può considerarsi come un porfido quarzifero (porfido acido, n.d.a.) modificato chimicamente e mineralogicamente dall'azione della massa augitico-ilvaiteica (dello skarn, n.d.a.)».

Malgrado la dettagliata descrizione degli affioramenti, l'interpretazione data da Rath è falsata da due fattori: i) un fattore concettuale; ii) un fattore empirico. Il primo fattore è legato alla sua formazione scientifica pregressa che chiaramente prevedeva un rapporto causa-effetto scontato tra l'intrusione del magma e la formazione del deposito idrotermale. Inoltre era tipico dei geologi dell'epoca semplificare la storia intrusiva di sistemi magmatici che successivamente sono risultati essere stati alimentati da iniezioni multiple di magma (vedi ad esempio gli studi del Lotti sulle rocce magmatiche dell'Isola d'Elba; Dini *et al.*, 2008-09). Lavorando in aree discrete, non era plausibile pensare a iniezioni di magma separate nel tempo, né tantomeno posizionarle successivamente all'evento metasomatico-idrotermale. Il secondo fattore è legato ovviamente al tempo limitato dedicato alle osservazioni di campagna (dice di «aver visitato, ripetutamente invero, ma sempre in fretta»; Rath, 1868) e alla impossibilità di eseguire indagini petrografiche (la petrografia in sezione sottile era agli albori; vedi Dini *et al.*, 2008-09). L'incompletezza dei dati raccolti e i preconcetti scientifici sopra accennati, lo portarono a proporre una transizione tra due unità intrusive (porfido acido e mafico) che viceversa erano state alimentate in tempi diversi da magmi completamente diversi.

Nello stesso tipo di errore cadde anche Lotti (1877, 1900 e 1928; Fig. 5b e 5c) che da grande ammiratore del Rath («Fra i molti geologi e mineralogisti che visitarono il territorio di Campiglia e scrissero sulla sua costituzione geologica, primeggia senza dubbio il prof. G. vom Rath di Bonn»; Lotti, 1877), ne condivi-

se le osservazioni e le interpretazioni minerogenetiche come accadde anche per i suoi studi sull'Isola d'Elba (vedi Dini *et al.*, 2008-09). La sua interpretazione segue esattamente l'idea di contemporaneità del Rath specificando che le «soluzioni intruse negli stessi canali lungo i quali penetrò il magma eruttivo, reagendo sui calcari avrebbero prodotti i silicati ferro-calciferi e compenetrando il porfido quarzifero lo avrebbero trasformato in una specie di porfido augitico» (Lotti, 1928). Lotti propone anche un'ipotesi alternativa in cui lo skarn si forma da una soluzione idrotermale che si separa dal magma durante la messa in posto. Questo autore ebbe il merito di fornire un migliore rilevamento della «Sezione Coquand», specialmente con la figura aggiunta alla traduzione italiana dell'articolo del Rath (Lotti, 1877). Come vedremo nei paragrafi successivi, questa (Fig. 5b) rimane ancora oggi una delle migliori rappresentazioni geologiche della «Sezione Coquand».

Il Lotti non modificò le sue idee neanche successivamente alla pubblicazione del lavoro del Bergeat (1901) che sosteneva tesi sostanzialmente differenti e che risulteranno coerenti con i dati dei recenti studi effettuati nell'area (Vezzoni, 2009; Dini *et al.*, 2010). Bergeat propone un profilo geologico molto dettagliato della «Sezione Coquand» su cui sviluppa un'idea innovativa dei processi magmatici e metasomatico-idrotermali che, pur mantenendo una stretta associazione degli eventi, vengono distinti temporalmente tra loro (Fig. 5d). Ad un primo evento metasomatico-idrotermale viene attribuita la formazione delle masse di skarn a hedenbergite e ilvaite; a questo segue la messa in posto del porfido mafico a cui si deve forse anche la fuoriuscita di «una parte dell'acqua surriscaldata, contenuta nel magma sotto forte pressione, insieme con certi componenti, prima di tutto con zolfo e con metalli pesanti» responsabile della formazione della mineralizzazione a solfuri. La messa in posto del porfido acido, secondo questo autore, rappresenta l'ultimo evento a cui si deve anche la formazione dell'epidosite per interazione idrotermale con le masse di skarn. Bergeat non spiegava l'origine dei fluidi responsabili dell'evento metasomatico iniziale.

Successivamente, la stessa idea di processo multistadio con distribuzione temporale degli eventi magmatici e metasomatico-idrotermali viene ripresa da Rodolico (1931; Fig. 5e) che tuttavia inverte alcuni degli eventi descritti da Bergeat (Tab. 2). Questo autore riporta un rilevamento geologico della «Sezione Coquand» molto simile a quello di Bergeat, ma considera come primo evento la messa in posto del porfido mafico a cui si deve la formazione, per metasomatismo dei calcari, delle masse di skarn a hedenbergite e ilvaite e la conseguente alterazione propilittica dei porfidi mafici stessi. Infine la storia si conclude con la messa in posto del porfido acido a cui attribuisce solo la formazione dell'epidosite. È il primo autore a invocare chiaramente un legame diretto tra messa in posto dei magmi (porfido mafico), essoluzione di fluidi idrotermali e formazione dello skarn. Il Rodolico era stato favorevolmente colpito dagli studi pionieristici di Goldschmidt (1911) sugli skarn nei dintorni di Oslo (Norvegia) e concordava totalmente con l'autore sull'origine di queste rocce

per «metasomatismo da metamorfismo di contatto con apporto di sostanza... per mezzo degli alogeni fluoro e cloro». Inoltre, Rodolico notava che a «Campiglia la fluorina è rara e la scapolite non è mai stata osservata; questi fatti, e la presenza di notevolissime quantità di un minerale idrato come l'ilvaite, farebbero pensare che nella formazione delle masse pirossenico-ilvaitiche di Campiglia l'acqua abbia avuto una notevolissima importanza». Il modello di Rodolico verrà adottato in quasi tutti gli studi successivi fino ai giorni nostri (es. Capitani & Mellini, 2000), per essere superato e modificato sostanzialmente solo grazie al dettagliato e sistematico studio condotto negli ultimi anni agli affioramenti e nel sottosuolo della miniera (Vezzoni, 2009; Dini *et al.*, 2010).

Nel 1939 la Società Rimifer, allora concessionaria dei giacimenti del Campigliese, chiamò il geologo tedesco Dorn per effettuare un sopralluogo e definire una correlazione tra le sequenze paragenetiche delle mineralizzazioni e l'evoluzione tettono-magmatica dell'area, alla luce delle nuove teorie di de Wijkerslooth (1934). Dorn (1942) è l'ultimo autore a riprodurre la «Sezione Coquand» (Fig. 5f), proponendo una sequenza di eventi esattamente uguale a Rodolico (1931).

Nel dopoguerra, a parte Bertolani (1958; vedi Tab. 2), tutti gli autori che si occuparono del giacimento del Temperino (Barberi *et al.*, 1967; Bodechtel, 1968; Bartholomé & Evrard, 1970; Burt, 1977; Tanelli, 1977; Corsini *et al.*, 1980; Capitani & Mellini, 2000) adottarono il modello di Rodolico (1931) aggiungendo però molte informazioni importanti riguardo a geochimica delle rocce magmatiche, mineralogia dello skarn e delle paragenesi a solfuri, tessiture, mineralochimica, datazioni isotopiche, composizioni isotopiche e inclusioni fluide. Seguendo un andamento generale delle discipline petrografiche e giacimentologiche nell'Italia del dopoguerra, e grazie alle nuove strumentazioni disponibili, la ricerca si dedicò soprattutto alla raccolta di dati analitici su campioni di rocce e minerali perdendo però interesse verso le indagini di terreno (vedi ad esempio la storia delle ricerche scientifiche sul complesso magmatico dell'Isola d'Elba; Dini *et al.*, 2008-09). Nello studio dei complessi intrusivi e di molti giacimenti toscani i ricercatori (es. Marinelli, 1955 e 1959) adottarono i modelli di terreno rilevati e interpretati dai geologi del passato, magari apportando piccole modifiche, implicitamente assumendo che ulteriori indagini di terreno non avrebbero portato miglioramenti significativi.

Tra i vari autori, è interessante ricordare Bartholomé & Evrard (1970) perché integrano lo schema evolutivo di Rodolico (1931) con un modello di zonatura dello skarn che prevede la presenza di magnetite al contatto con il porfido mafico, seguita da una zona a ilvaite (con pirite, pirotina e calcopirite) e infine da una zona a hedenbergite (con galena, sfalerite, calcopirite e pirite) al contatto esterno con il marmo. Si definisce così un modello «simmetrico» in cui l'intrusione ignea mafica costituisce la zona assiale di partenza da cui iniziano quei processi metasomatici che, sostituendo progressivamente il marmo incassante, stabiliscono i gradienti/transienti fisico-chimici responsabili della cristallizzazione delle diverse paragenesi mineralogiche osservate.

Questo modello, parzialmente modificato da Corsini *et al.* (1980), è stato rafforzato dalla trattazione teorica qualitativa di Burt (1974, 1977), che ha spiegato la transizione tra le zone a magnetite, ilvaite e hedenbergite con l'instaurarsi di un gradiente del potenziale chimico di Fe, Si e Ca che permette la simultanea formazione delle tre zone, con la contemporanea e progressiva sostituzione delle zone esterne dalla paragenesi delle zone più interne.

È importante ricordare nuovamente che nuovi rilevamenti di terreno e dati petrografico-geochimici (Vezzoni, 2009; Dini *et al.*, 2010), hanno invalidato questo modello di messa in posto delle rocce magmatiche e di zonatura interna dello skarn, portando alla formulazione di un modello compatibile con i nuovi dati.

La «Sezione Coquand», grazie al gran numero di scienziati, pubblicazioni e idee coinvolti, permette di raccontare 150 anni di storia delle Scienze della Terra in Europa attraverso i grandi cambiamenti del pensiero scientifico e delle metodologie analitiche che caratterizzano questa «giovanne» Scienza.

RECUPERO E NUOVA DESCRIZIONE DELLA «SEZIONE COQUAND»

Nel 2008, durante lo svolgimento di una Tesi di Laurea Specialistica in Scienze Geologiche dell'Università di Pisa (Vezzoni, 2009), e nell'ambito di una convenzione tra Parchi Val di Cornia S.p.A., Università di Pisa e CNR, è iniziato uno studio dettagliato dei rapporti tra gli skarn a solfuri e le rocce subvulcaniche del Campigliese. Il rilevamento geologico in affioramento e in alcuni ambienti sotterranei della miniera ha messo in evidenza la complessità geologica dell'area del Temperino motivando una successiva richiesta di finanziamento al MIUR che è stata finanziata nel 2010 (Progetto PRIN 2008: Flusso di magma e crescita delle intrusioni ignee tabulari, Coordinatore nazionale Sergio Rocchi, Coordinatore locale Andrea Dini). Fino dalle prime indagini sul terreno, la zona della «Gran Cava» - «Sezione Coquand» risultò essere un'area chiave per comprendere le relazioni temporali tra messa in posto delle rocce magmatiche e circolazione dei fluidi responsabili degli skarn a solfuri. In particolare, la «Sezione Coquand» costituisce il migliore affioramento esterno, facilmente raggiungibile e quindi potenzialmente fruibile dal punto di vista turistico-didattico, dove è possibile apprezzare l'intero corpo minerario, le sue variazioni mineralogico-tessiture interne e le relazioni con le rocce intrusive subvulcaniche. L'unico problema di questo affioramento è il grado di alterazione delle rocce: trattandosi di uno scavo poco profondo, lo skarn a hedenbergite e ilvaite localmente mostra un'intensa trasformazione in ossidi e idrossidi di Fe-Mn, inoltre le disseminazioni di solfuri di Cu-Fe risultano anch'esse molto ossidate.

Le esigenze scientifiche del gruppo di ricerca si sono unite e coordinate a quelle del Parco Archeominerario di San Silvestro e nel corso del 2010 è stato effettuato un piccolo progetto di recupero e valorizzazione della «Sezione Coquand», nell'ambito di un Tirocinio tra

Università di Pisa e Parchi Val di Cornia S.p.A. Quando è iniziato il lavoro di recupero, l'anfiteatro della «Sezione Coquand» era in stato di abbandono, invaso dalla macchia mediterranea e da rovi, oltre che caratterizzato localmente da blocchi di roccia instabili. Il lavoro si è svolto in 5 fasi della durata complessiva di 3 mesi: 1) Ripristino e pulitura; 2) Rilevamento Topografico; 3)

Rilevamento geologico; 4) Elaborazione dati; 5) Produzione elaborati grafici.

Durante la fase di ripristino, le scarpate e la superficie di base della «Sezione Coquand» sono state liberate dalla vegetazione che impediva l'accesso e la visione dell'affioramento (Fig. 6a e 6b). Sono stati rimossi molti rovi cresciuti nell'anfiteatro e anche quelli cala-

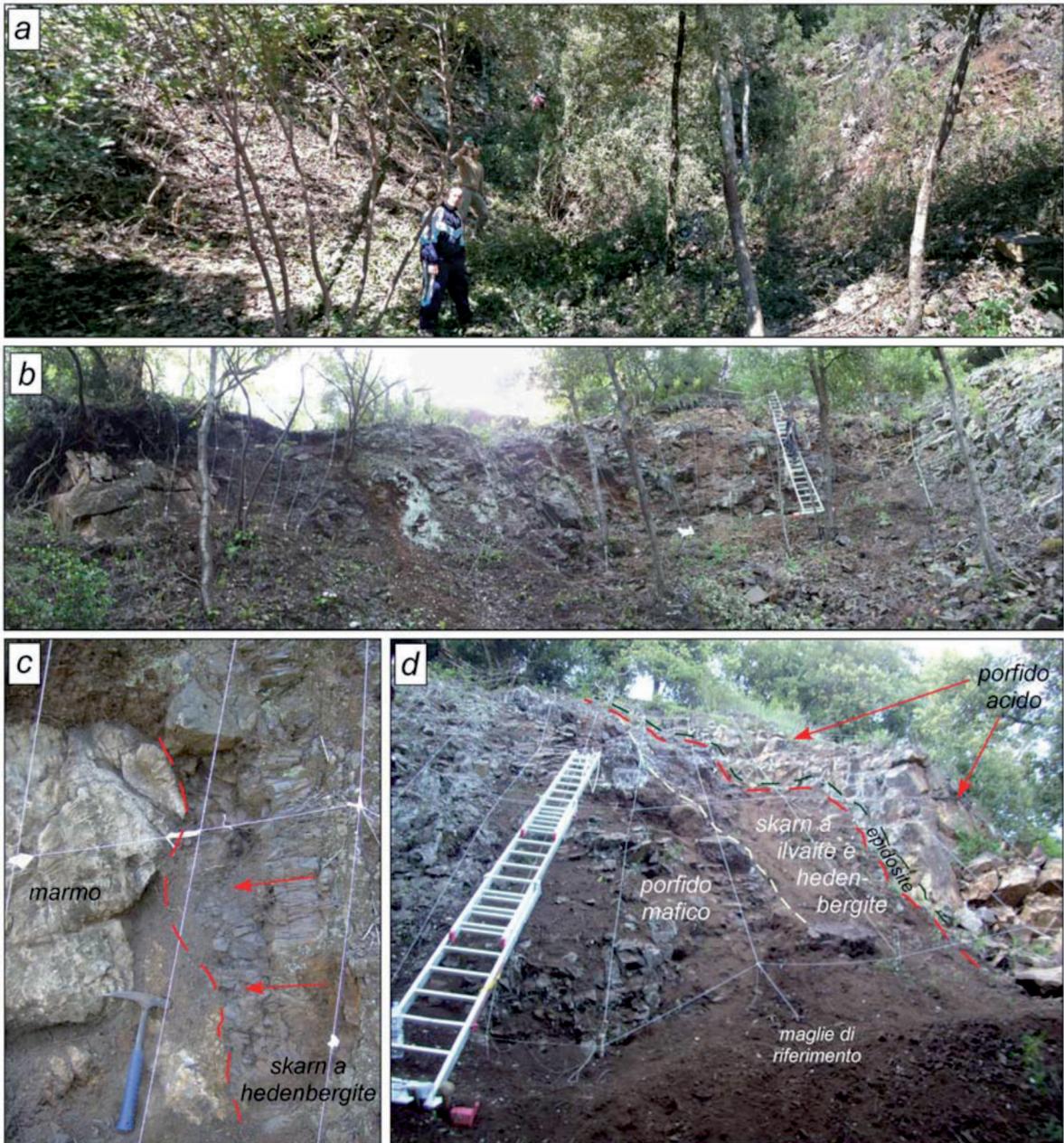


Fig. 6 - Immagini della Sezione Coquand prima e dopo l'intervento condotto durante il progetto di tirocinio. a) Panoramica dell'anfiteatro prima dell'intervento di pulitura e potatura (primavera 2010); le pareti erano completamente nascoste alla vista; b) Le pareti dell'anfiteatro dopo la pulizia e la stesa del reticolo di maglie di riferimento per il rilievo topografico e geologico; c) Dettaglio del contatto sud-ovest fra marmo e skarn a hedenbergite; la freccia rossa indica il senso di crescita delle fibre di hedenbergite; d) La zona del contatto nord-est con il dicco di porfido acido che taglia lo skarn e il porfido mafico; in questa immagine il contatto nord-orientale con il marmo non è visibile.

ti dal tetto della scarpata; inoltre è stata condotta una potatura degli alberi cresciuti alla base della scarpata in modo tale da permettere una visione dell'affioramento anche da lontano. Localmente, per motivi di sicurezza, sono stati rimossi dalla scarpata alcuni blocchi di roccia e alcuni accumuli di detrito. Come già accennato le rocce affioranti sono sensibilmente alterate rendendo difficile la «lettura» geologica dell'affioramento. Le patine scure di idrossidi di Fe-Mn che ricoprono alcune superfici dello skarn e dei porfidi potranno essere rimosse in futuro mediante trattamento con sabbiatrice e scalpelli pneumatici e successiva stabilizzazione con impregnanti.

Successivamente è stato condotto il rilevamento topografico di tutta l'area della «Sezione Coquand» e relativa restituzione su carta alla scala 1:20. Durante questo lavoro la scarpata e le superfici al tetto e alla base sono state suddivise in 24 maglie poligonali realizzate mediante posizionamento di paletti in legno (posti alla base e al tetto della scarpata) e stesa di cordini, al fine di rendere più preciso il rilievo topografico e la successiva cartografia geologica di dettaglio. Le varie maglie sono state suddivise in quadranti (sottomaglie) per una maggiore precisione. Di ogni maglia è stata misurata mediante rotella metrica, aste metriche, inclinometro e bussola, la lunghezza, la direzione e l'inclinazione di ogni lato. Per tutti i nodi delle maglie sono state calcolate le coordinate polari e cartesiane e il tutto è stato poi restituito su carta producendo planimetrie e prospetti verticali (a maglie poligonali) utilizzati come base del successivo rilevamento geologico.

Il rilevamento geologico è stato condotto alla scala 1:20 utilizzando la cartografia prodotta in precedenza. Ad una prima fase speditiva di riconoscimento delle litologie affioranti (marmo, skarn a hedenbergite, skarn a ilvaite, skarn misto, porfido mafico, porfido acido e epidosite), è seguito il rilevamento di dettaglio. Al rilevamento geologico è stato affiancato un rilievo geologico-strutturale durante il quale sono state misurate le direzioni di crescita delle fibre di hedenbergite e i principali set di fratture.

I dati topografici e geologici raccolti sul terreno sono stati digitalizzati per una migliore gestione e visualizzazione 2D e 3D del lavoro effettuato. Il primo passo è stato quello di ricreare le maglie tramite l'utilizzo del software AutoCAD®2010 ottenendo una versione poligonale della «Sezione Coquand». Da questo modello sono state estrapolate le coordinate (x, y, z) sfruttate per la realizzazione del modello digitale del terreno (DEM), mediante interpolazione con il software Surfer®. Sul DEM è stata poi sovrapposta la geologia rilevata e interpretata sul modello digitale.

Infine, sono stati prodotti degli elaborati grafici e dei testi esplicativi che serviranno per la realizzazione dei pannelli informativi che accompagneranno i visitatori quando la «Sezione Coquand» verrà integrata nei percorsi turistici del Parco Archeominerario di San Silvestro.

In Figura 7 viene mostrata una visione 3D della «Sezione Coquand» con la geologia interpretata sovrapposta al modello digitale del terreno. Il corpo di skarn, con giacitura sub-verticale e direzione NO-SE, è stato

suddiviso in tre facies a seconda della diversa composizione mineralogica: skarn a hedenbergite (verde scuro), skarn a ilvaite (grigio) e skarn misto hedenbergite-ilvaite (verde chiaro). Il porfido mafico (in rosso) costituisce un grosso dicco sub-verticale con direzione simile a quella dello skarn che nella parte alta si ramifica verso sud-ovest producendo due apofisi sub-orizzontali sovrapposte di forma tabulare. Infine il porfido acido (in arancione) costituisce un dicco sub-verticale a direzione variabile (N120 e N-S) che taglia lo skarn e il porfido mafico arrivando al contatto con i marmi nella parte alta dell'anfiteatro. Il porfido acido a contatto con lo skarn è sostituito da una epidosite massiva verde-pistacchio che oblitera completamente le tessiture magmatiche e in parte sostituisce anche lo skarn a hedenbergite e ilvaite.

Da un punto di vista storico e per poter confrontare il nuovo rilevamento geologico con i disegni prodotti in passato dai vari autori, è interessante confrontare la morfologia attuale (Fig. 2b) con la pianta schematica della «Sezione Coquand» riportata nel lavoro di Rodolico (1931). La planimetria disegnata da Rodolico corrisponde abbastanza bene con la forma dell'anfiteatro attuale ed è quindi probabile che le geometrie e le strutture geologiche dell'affioramento non siano state modificate sostanzialmente almeno a partire dal 1931. Il confronto fra il nuovo rilevamento e le sezioni geologiche disegnate dagli autori del passato offre numerosi spunti di discussione riguardo l'accuratezza delle indagini svolte dai vari geologi e soprattutto su come è cambiata l'interpretazione della sequenza temporale di messa in posto/formazione e del processo minerogenetico. Il rilevamento e lo studio della «Sezione Coquand» ha confermato i dati di campagna, petrografici e mineralochimici condotti negli ultimi quattro anni (Vezzoni, 2009; Dini *et al.*, 2010) in molti cantieri interni della miniera del Temperino. La formazione delle masse metasomatiche di skarn a hedenbergite e ilvaite precede la messa in posto delle lenti e dicchi discontinui di porfido mafico; per ultimi si mettono in posto i due dicchi di porfido acido, il più occidentale dei quali quando taglia gli skarn si trasforma più o meno intensamente in una epidosite massiva (come alla «Sezione Coquand»). Alle evidenze di terreno si sommano i dati petrografici e mineralochimici (es. reazioni prograde che trasformano l'ilvaite in hedenbergite + magnetite nelle cavità dello skarn invase dal magma mafico; Dini *et al.*, 2010) e quelli geochemici (metasomatismo a potassio dei porfidi dell'area del Temperino legato probabilmente alla mobilizzazione del potassio seguita alla epidotizzazione del porfido acido che interseca lo skarn; Vezzoni, 2009). In Tabella 2 e in Figura 7 e 8 questa sequenza temporale, che attende di essere definita in dettaglio mediante datazioni isotopiche, viene messa a confronto con le sequenze proposte in passato. Le sezioni disegnate da Rath (1868) e da Dorn (1942) sono molto schematiche sia dal punto di vista topografico che geologico; viceversa le altre sezioni (Lotti, 1877; Lotti, 1900; Bergeat, 1901; Rodolico, 1931) mostrano un maggiore dettaglio sia morfologico che geologico. La sezione che più si avvicina a quella presentata in questo studio (Fig. 7) è quella di Lotti del 1877 (Fig.

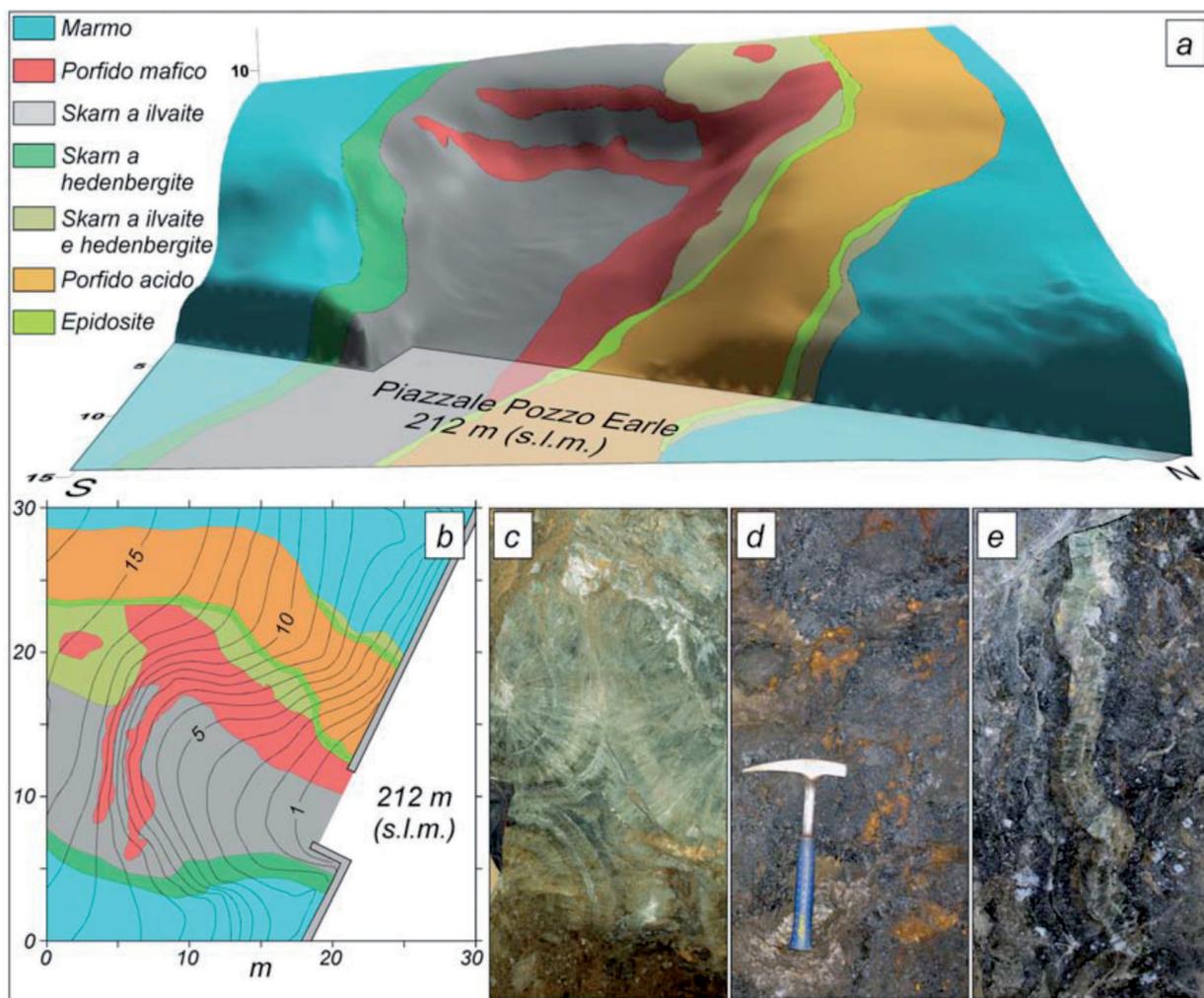


Fig. 7 - Il nuovo rilevamento geologico (interpretato) della Sezione Coquand sovrapposto al modello digitale del terreno (a) e alla carta a curve di livello (b). Nella Sezione Coquand sono ben esposti i tre tipi principali di skarn: lo skarn a hedenbergite (c), lo skarn a ilvaite (d) e lo skarn misto ilvaite-hedenbergite (e). Lo studio di questo affioramento e degli affioramenti nei sotterranei della miniera ha permesso di stabilire l'assenza di una zonatura simmetrica come suggerito da alcuni autori del passato. Risulta chiara anche la posteriorità del porfido mafico e del porfido acido che chiude la sequenza di eventi magmatico-idrotermali.

5b); questa riporta l'esatta geometria e giacitura del corpo intrusivo di porfido mafico con le due apofisi sub-orizzontali e la suddivisione in facies dello skarn. È interessante notare che la sezione proposta dal Lotti nel 1877 è più accurata rispetto a quella pubblicata dallo stesso autore nel lavoro del 1900. A parte alcuni dettagli giacaturali e la distinzione delle facies dello skarn (Dorn, 1942 e Rodolico, 1931 non distinguono lo skarn a ilvaite da quello a hedenbergite), tutti gli autori propongono comunque una sequenza orizzontale abbastanza simile e consistente con l'affioramento reale; le maggiori differenze riguardano gli spessori attribuiti alle varie litologie. Andando a studiare in maggior dettaglio le sezioni dei vecchi autori si colgono alcuni particolari che mettono in evidenza le diverse idee minerogenetiche. Ad esempio, nella sezione di Lotti del 1877, si nota

un piccolo lembo di porfido mafico nella parte alta del dicco di porfido acido. Questo affioramento non esiste alla «Sezione Coquand» e simili relazioni di mescolamento o passaggio laterale tra le due litologie non sono state osservate in alcun cantiere della miniera. Il Lotti era fautore dell'idea che il porfido mafico derivasse dal porfido acido per interazione e scambio chimico con i fluidi che contemporaneamente stavano generando le masse di skarn. Difficile sapere se il piccolo lembo di porfido mafico sia stato disegnato dal Lotti intendendolo come dato osservato (sbagliato e non corretto dal punto di vista scientifico) o come dato interpretativo per sostenere le sue ipotesi (lecito ma non completamente corretto non essendo specificato nel testo). Nella successiva sezione dello stesso autore (Lotti, 1900) questo piccolo lembo di porfido mafico sparisce.

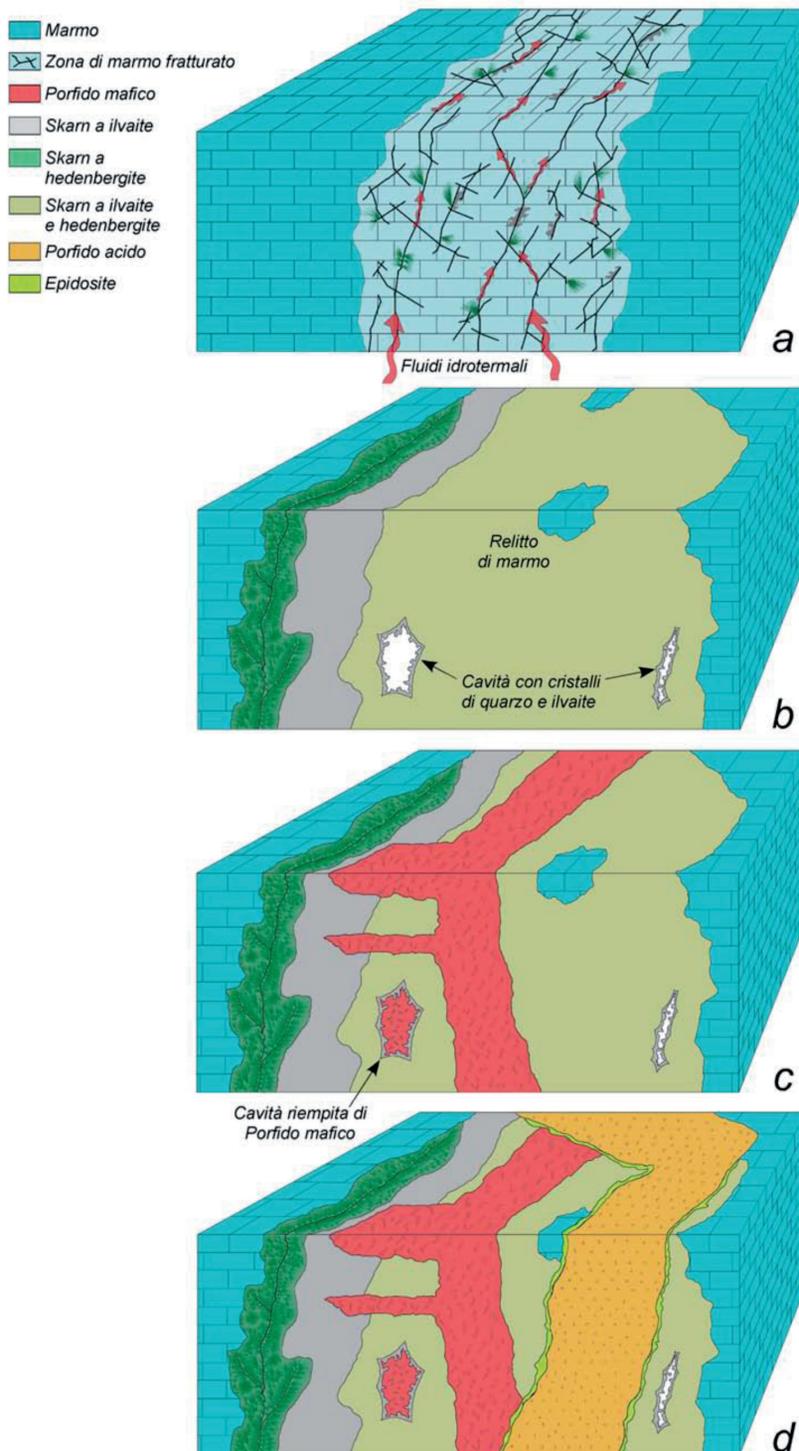


Fig. 8 - Ricostruzione degli eventi magmatico-idrotermali che hanno portato alla formazione del complesso affioramento geologico esposto dalla Sezione Coquand (Vezzoni, 2009; Dini *et al.*, 2010). a) la circolazione di fluidi idrotermali attraverso le fratture del marmo innesca il processo metasomatico responsabile della formazione dello skarn; b) il processo di sostituzione produce un corpo di skarn con zone mineralogicamente distinte e lascia alcune cavità in cui crescono liberamente cristalli di quarzo e ilvaite; c) successivamente avviene la messa in posto del magma che alimenta i corpi di porfido mafico; si formano sia dicchi sub verticali con apofisi sub orizzontali (tipo sill), sia masse isolate per riempimento di alcune delle cavità appena citate; d) per ultimo avviene la messa in posto del porfido acido che taglia tutti i contatti precedentemente formati; a contatto con lo skarn il porfido acido subisce una profonda trasformazione in epidosite.

CONCLUSIONI

Come già ampiamente discusso da Tanelli *et al.* (1993) e da Tanelli & Benvenuti (1998) la tutela e la valorizzazione del patrimonio geologico del Campigliese e della vicina Isola d'Elba, dovrebbe rappresentare un obiettivo primario della comunità scientifica e degli enti preposti alla conservazione e valorizzazione degli straordinari beni geologici presenti in queste aree. È quindi auspicabile che gli interventi di ripristino ambientale e culturale nelle aree minerarie dismesse, pur seguendo le esigenze di restauro paesaggistico, siano accompagnati da azioni idonee alla valorizzazione e fruizione culturale e didattica dei siti minerari. Molto spesso tali interventi in ex-aree minerarie seguono l'ottica convenzionale dei cosiddetti progetti di restauro e rinverdimento (modellamento morfologico e reimpianto vegetativo) tesi a restituire ai luoghi la «naturalità» perduta, negando allo stesso tempo la passata destinazione mineraria e impedendo la loro fruibilità turistico-didattica.

Il lavoro eseguito alla «Sezione Coquand» vuole andare in questa direzione costituendo un piccolo contributo perché i molti e straordinari geositi toscani tornino a essere «grandiosi musei mineralogici naturali», come affermava il grande geologo toscano Bernardino Lotti (1877, pag. 279), per stimolare la curiosità di turisti e studenti. Le relazioni tra rocce plutoniche, subvulcaniche e le mineralizzazioni metasomatiche e idrotermali del Campigliese sono esposte in modo magnifico nei tagli eseguiti in superficie e nei sotterranei che sono oggi ancora in parte agibili per la volontà dei Comuni dell'area e della società Parchi Val di Cornia S.p.A. di non cancellare la memoria storica del lavoro minerario, di cui sono così evidenti le tracce nel Parco di San Silvestro. La «Sezione Coquand» è un primo passo verso una valorizzazione del patrimonio geologico dell'area che tenga conto anche della storia mineraria e scientifica in modo tale da trasferire ai fruitori del Parco non solo nozioni tecnico-scientifiche, ma una storia integrata della scoperta, sfruttamento e studio delle risorse minerarie del Campigliese.

Questo geosito permette di affrontare anche l'annosa questione del rapporto tra «cultura scientifica» e «cultura umanistica». Riprendendo le parole di Riccardo Francovich (1994), ideatore e fondatore del Parco Archeominerario di San Silvestro, possiamo infatti ricordare che «dopo lo stimolante momento di confronto, caratteristico del secolo scorso (XIX, n.d.a.), la cultura scientifica e la cultura umanistica, percorrendo strade divaricanti, hanno realizzato una spartizione di competenze, condannando alla cancellazione della memoria proprio quelle aree dove l'interfaccia fra attività dell'uomo e la complessità della natura aveva alcune delle più significative e monumentali espressioni». L'azione coordinata tra Parco Archeominerario di San Silvestro, Università Toscane e Consiglio Nazionale delle Ricerche sta cercando di recuperare il tempo perso attraverso la valorizzazione di testimonianze storico-archeologico-geologiche e di geositi di grande importanza come la «Sezione Coquand».

Per concludere è divertente ricordare le parole del primo scienziato che studiò la «Sezione Coquand» (Rath,

1868): «Offre forse la Germania qualche cosa di simile a questa massa filoniforme composta di porfido augitico e quarzifero, di ilvaite e augite raggiata!?!». Quale slogan migliore per invogliare la grande massa di turisti nord-europei, che affolla in estate la vicina costa, a percorrere itinerari culturali alternativi?

RINGRAZIAMENTI

Il manoscritto ha beneficiato della costruttiva revisione di Paolo Orlandi e Giuseppina Ottria. Parte del lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto PRIN 2008 dal titolo: Flusso di magma e crescita delle intrusioni ignee tabulari; Coordinatore nazionale Sergio Rocchi; Coordinatore locale Andrea Dini.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V., 1997. San Silvestro - Guida al Parco Archeominerario. Ed. Pacini, 63, Pisa.
- Acocella V., Rossetti F., Faccenna C., Funicello R., Lazzarotto A., 2000. Strike-slip faulting and pluton emplacement at Campiglia Marittima (southern Tuscany). *Boll. Soc. Geol. Ital.* 119: 517-528.
- Amorfini A., Isola I., 2006. Primo Censimento di geositi meritevoli di tutela e valorizzazione nelle Alpi Apune. *Acta apuana* 5: 39-67.
- Barberi F., Innocenti F., Mazzuoli R., 1967. Contributo alla conoscenza chimico-petrografica e magmatologica delle rocce intrusive, vulcaniche e filoniane del Campigliese (Toscana). *Mem. Soc. Geol. Ita.* 6: 643-681.
- Bartholomé P., Evrard P., 1970. On the Genesis of the Zoned Skarn Complex at Temperino, Tuscany. *Int. Union Geol. Sci., Ser. A* 2: 53-57.
- Bergeat A., 1901. Beitrage zur Kenntniss der Erzlagerstuetten von Campiglia Marittima (Toscana). *Neues Jahrb. Geol. Palaeontol., Abh.* 3: 135-156.
- Bertolani M., 1958. Osservazioni sulle mineralizzazioni metallifere del Campigliese (Livorno). *Per. Mineral.* 28: 311-344.
- Bodechtel J., 1968. Die paragenesen der skarnlagerstätten in den Monte di Campiglia-Toscana. *Freiberger Forschungshefte* 231: 7-20.
- Borsi S., Ferrara G., Tongiorgi E., 1967. Determinazione con il metodo K/Ar delle età delle rocce magmatiche della Toscana. *Boll. Soc. Geol. Ita.* 86: 403-410.
- Brianta D., 2007. Europa mineraria. Circolazione delle élites e trasferimento tecnologico (secoli XVIII-XIX). Collana «Temi di Storia», Ed. Franco Angeli, 448, Milano.
- Brox M., Semeniuk V., 2007. Geoheritage and geoconservation - history, definition, scope and scale. *J. R. Soc. Western Australia* 90: 53-87.
- Burat A., 1845. Etudes sur les mines - Théorie des gites métallifères appuyée sur la description des principaux types du Harz, de la Saxe, des Provinces Rhénanes, de la Toscane, etc. Ed. Langlois et Leclercq, 358, Paris.
- Burt D.M., 1974. Metasomatic zoning in Ca-Fe-Si exoskarn. In: Hofmann AW., Gilletti B.J., Yoder H.S., Yund R.A. Geochemical transport and kinetics, Ed. Carnegie Institution, Washington, 287-293.
- Burt D.M., 1977. Mineralogy and petrology of skarn deposits. *Rend. Soc. Ita. Mineral. Petrol.* 33: 859-873.
- Caillaux A., 1858. Sur les mines de la Toscane - Les Maremmes. *Bull. Soc. Ind. Min.* 4: 153-200.
- Capitani G.C., Mellini M., 2000. The crystallisation sequence of the Campiglia Marittima skarn. *N. Jb. Miner. Mh.* 3: 97-115.
- Casini A., 1993. Archeologia di un territorio minerario: i Monti di Campiglia. In R. Mazzanti, La scienza della terra nell'area della Provincia di Livorno a sud del fiume Cecina, *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno* 13: 303-314.
- Coquand H., 1844. Sur les terrains tertiaires de la Toscane, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 1(II): 421-436.
- Coquand H., 1845. Sur les terrains stratifiés de la Toscane, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 2(II): 155-197.

- Corsi H., Casini A., 2010. The Tuscan Mining Geopark. 2° Workshop dei Geoparchi in Italia - Pianificazione e comunicazione. 18-19 febbraio 2010 - Montagne (TN) Villa Santi, Centro di Educazione Ambientale del Parco Naturale Adamello Brenta.
- Corsini F., Cortecci G., Leone G., Tanelli G., 1980. Sulfur isotope study of the skarn-(Cu-Pb-Zn) sulfide deposit of Valle del Temperino, Campiglia Marittima, Tuscany, Italy. *Econ. Geol.* 75: 83-96.
- Costantini A., Lazzarotto A., Maccantelli M., Mazzanti R., Sandrelli F., Tavarnelli E., Elter F.M., 1993. Geologia della provincia di Livorno a Sud del Fiume Cecina. In: Mazzanti R., La scienza della terra nell'area della Provincia di Livorno a sud del fiume Cecina, *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno* 13: 1-164.
- De Wijkerslooth P., 1934. Bau und entwicklung des Apennins besonders der gebirge Toscanas, thesis Geol. Inst., University of Amsterdam, 426 pp.
- Dini A., Rocchi S., Westerman D.S., Farina F., 2008-09. The Late Miocene intrusive complex of Elba Island: two centuries of studies from Savi to Innocenti. In: Armienti P., D'Orazio M., Rocchi S., A volume dedicated to professor Fabrizio Innocenti, *Acta Vulcanologica* 20-21: 11-32.
- Dini A., Rocchi S., Vezzoni S., 2010. Porphyry dikes and skarn pockets filled by mafic magma at Temperino mine (Campiglia Marittima, Italy). In: Morgan S., Horsman E., de Saint Blanquat M., Tikoff B. Abstracts of LASI 4 Conference, Moab 22-26 Settembre 2010, 17-18.
- Discenza M., 1984. Leopoldo Pilla - Notizie storiche della mia vita quotidiana a cominciare dal 1^{mo} Gennaio 1830 in poi. Ed. Vitmar, 655, Venafro.
- Dorn P., 1942. Studien uber die Geologie und die Minerallagerstätten von Campiglia Marittima in Toskana. *Zeitschr. Deutsch. Gesell. Geow.* 94: 19-37.
- Ellis N., 2008. A history of the Geological Conservation Review. In: Burek C.V., Prosser C.D., *The History of Geoconservation*. Geological Society, London, Special Publications 2008, v. 300, p. 123-135.
- Francovich R., 1994. Le ragioni di un parco alle radici dell'archeologia mineraria. Le miniere di Campiglia Marittima nelle pagine dei naturalisti e dei geologi dell'Ottocento. Ed. Marsilio, 252, Venezia.
- Goldschmidt V.M., 1911. Die kontaktmetamorphose im Kristiania-Gebiet. Oslo Vidensk. Skr., I Math.-Nat. K1, 11: 222.
- Guideri S., 2003. Tante storie per un'unica rete: Parco archeominerario di San Silvestro. In: Un'impresa per sei parchi, a cura di Casini A., Zucconi M., Ed. Il sole 24 ore, 89-93.
- Guideri S., 2009. Lo sviluppo del Sistema dei Parchi: gli interventi sul territorio operati dalla società: il Parco archeominerario di San Silvestro. In: Tra cultura e ambiente - Verso un bilancio sociale per la Parchi Val di Cornia SpA, a cura di Luzzati T., Sbrilli L., Ed. Il sole 24 ore, 64-71.
- Hoffmann F., 1839. Geognostische Beobachtungen, gesammelt auf einer Reise durch Italien und Sicilien, in den Jahren 1830-32. Berlin 1839. Confr. Archiv f. Mineralogie, 13: 3-726.
- Jervis W.P., 1868. The mineral resources of Central Italy: including geological, historical, and commercial notices of the mines and marble quarries; with a supplement, containing an account of the mineral springs, accompanied by the most reliable analyses. Ed. Edward Stanford, 132, London.
- Lattanzi P., Benvenuti M., Costagliola P., Maineri C., Mascaro I., Tanelli G., Dini A., Ruggieri G., 2001. Magmatic versus hydrothermal processes in the formation of raw ceramic material deposits in southern Tuscany. Proceedings 10th Int. Symposium on Water-Rock Interaction, Villasimius (Italy), 10-15 June 2001, 725-728.
- Lotti B., 1877. I monti di Campiglia nella maremma Toscana, per G. Vom Rath, versione dal tedesco, con note del Dott. B. Lotti. *Boll. Reg. Com. Geol. Ita.* 8: 187-196, 278-305, 325-350.
- Lotti B., 1900. Sulla genesi dei giacimenti metalliferi di Campiglia Marittima in Toscana. *Boll. Reg. Com. Geol. Ita.* 31: 327-337.
- Lotti B., 1928. I depositi dei minerali metalliferi: guida allo studio e alla ricerca dei giacimenti metalliferi con speciali esemplificazioni di giacimenti italiani. Ed. L'Industria Mineraria, 237, Roma.
- Marinelli G., 1955. Le rocce porfiriche dell'Isola d'Elba. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem.*, 61: 269-417.
- Marinelli G., 1959. Le intrusioni terziarie dell'Isola d'Elba. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem.*, 66: 50-250.
- Orlandi P., Dini A., 2006. Geositi mineralogici e minerari di interesse nazionale e mondiale nelle Alpi Apuane. *Acta apuana* 5: 25-38.
- Panizza M., Piacente S., 1989. Geomorphological assets evaluation. *Z. Geomorph. N. F.* 87: 13-18.
- Pilla L., 1845. Sur les filons pyroxéniques et cuprifères de Campiglia en Toscane. *Compt. Rend. Acad. Sc.* 20: 812-817.
- Praturlon A., 1986. Protezione dei beni geologici e paleontologici, *Atti Convegni dei Lincei* 76: 81-87.
- Prosser C.D., 2008. The history of geoconservation in England: legislative and policy milestones. In: *The History of Geoconservation*, Eds. Burek C.V., Prosser C.D. Geological Society, London, Special Publications, 300: 113-122.
- Rath vom G. (1868). Die Berge von Campiglia in der Toskanischen Maremma. *Zeitschr. Deutsch. Gesell. Geow.* 20: 307-364.
- Rodolico F., 1931. Ricerche sulle rocce eruttive recenti della Toscana - Le rocce del Campigliese. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.* A 41: 197-251.
- Simonin M.L., 1858. De l'exploitation des mines et de la métallurgie en Toscane pendant l'antiquité et le moyen age. *Annales des Mines* 14: 557-615.
- Tanelli G., 1977. I giacimenti a skarn della Toscana. *Rend. Soc. Ita. Mineral. Petrol.* 33: 875-903.
- Tanelli G., Benvenuti M., 1998. Guida ai minerali dell'Isola d'Elba e del Campigliese. Ed. Il Libraio, 164, Portoferraio.
- Tanelli G., Morelli F., Benvenuti M., 1993. I minerali del campigliese: beni ambientali, culturali e industriali. *Boll. Soc. Geol. Ita.* 112: 14.
- Vezzoni S., 2009. Dicchi e skarn di Campiglia Marittima: assetto geometrico, processi geochimici e cronologia relativa. Tesi di Laurea Specialistica, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.
- Wimbledon W.A.P., Benton M.J., Bevins R.E., Black C.J., Bridgland D.R., Cleal C.J., Cooper R.G., May V.J., 1995. The development of a methodology for the selection of British geological sites for conservation: Part 1. - *Modern Geology* 20: 159-202.
- Wimbledon W.A.P., 1996. Geosites - a new conservation initiative. *Episodes* 19: 87-88.

(ms. pres. il 20 aprile 2011; ult. bozze il 16 maggio 2011)