

N. PERCHIAZZI (\*), C. BIAGIONI (\*\*)

## SUGILITE E SERANDITE DEI DIASPRI AUCTT. DI VAGLI (ALPI APUANE)

**Riassunto** - Viene riportato il secondo ritrovamento italiano di sugilite e serandite e la presenza di tinzenite nelle mineralizzazioni a Mn dell'area di Vagli. Queste mineralizzazioni sono incassate nelle filladi e metaradiolariti della formazione dei Diaspri Auctt. del Complesso Metamorfo Apuano, intensamente deformate e metamorfosate in facies Scisti verdi durante l'evento tettono-metamorfo terziario.

**Parole chiave** - Sugilite, serandite, tinzenite, Diaspri, Alpi Apuane.

**Abstract** - *Sugilite and serandite of Diaspri Auctt. formation near Vagli (Apuan Alps)*. In this note we report the first occurrence of sugilite, serandite and tinzenite in the Apuan Alps, in Mn-mineralizations embedded in the phyllites and metacherts of Diaspri Auctt. formation of Apuan Metamorphic Complex. These rocks were intensely deformed and metamorphosed to the greenschists facies during the tertiary tectono-metamorphic event.

**Key words** - Sugilite, serandite, tinzenite, Diaspri, Apuan Alps.

### INTRODUZIONE

Sulle Alpi Apuane sono note da lungo tempo mineralizzazioni manganesifere incassate nelle formazioni del Complesso Metamorfo Apuano.

La più nota è quella di Scortico, incassata negli Scisti sericitici (Carmignani *et al.*, 1972) e studiata da Di Sabatino (1967) il quale mise in evidenza la presenza di tefroite, spessartina, rodocrosite e piroxmingite. Successivamente Mancini (1997) riportò anche la presenza di manganite e rodonite.

Un'altra modesta mineralizzazione a Mn è presente sul Monte Corchia all'interno della formazione delle Breccie di Seravezza (Franceschelli *et al.*, 1996). Oltre alla piemontite, già descritta da Battaglia *et al.* (1977), sono presenti altre fasi manganesifere fra cui braunite, hausmannite, hollandite, rodocrosite e kutnahorite. (Franceschelli *et al.*, 1996).

Infine, nei marmi del versante settentrionale del gruppo Monte Brugiana - La Rocchetta, Bonazzi *et al.* (1992) segnalano la presenza di piemontite ricca in REE in una mineralizzazione a Mn legata a livelli di micascisti carbonatici intercalati ai marmi.

Le mineralizzazioni manganesifere di Vagli descritte in questa nota sono invece incassate nelle filladi e quarziti della formazione dei Diaspri Auctt. del

Complesso Metamorfo Apuano. A causa della limitata estensione degli affioramenti e della fitta vegetazione esse furono individuate da collezionisti locali solo alla fine degli anni Ottanta, in seguito all'apertura di una strada bianca che collega l'abitato di Vagli di Sotto con il bacino marmifero della Val d'Arnetola. L'attività di campionamento intrapresa nel corso di questo studio ha portato alla scoperta di ulteriori affioramenti mineralizzati.

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le formazioni presenti nell'area di Vagli appartengono al Complesso Metamorfo Apuano ed alla Falda Toscana.

Le mineralizzazioni a Mn sono incassate nelle rocce metamorfiche dell'Unità Autoctono. Tali rocce sono affette da una tettonica polifasica di tipo essenzialmente duttile, esplicitasi mediante la formazione di strutture plicative e scistosità sin-metamorfiche, e da un metamorfismo polifasico in facies Scisti verdi (Franceschelli *et al.*, 1997; Molli *et al.*, 2000).

La formazione dei Diaspri Auctt., nella quale sono ospitate le mineralizzazioni studiate, è costituita da quarziti rosse con intercalazioni filladiche e rari livelli di marmi silicei. Queste rocce conservano evidenze di almeno due importanti fasi deformative, attribuibili alle fasi D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> (secondo Carmignani *et al.*, 1993).

In campagna abbiamo distinto tre tipi di giacitura dei minerali manganesiferi:

1. Tipo A: vene quarzoso-carbonatiche. Si tratta di vene potenti fino a 20 cm e fino a 1,5 m di sviluppo, solitamente concordanti con la principale foliazione visibile in campagna (S<sub>1</sub>). In queste vene sono presenti numerosi fasi fra cui piemontite, hollandite, braunite e scheelite.
2. Tipo B: vene quarzose. Si tratta di sottili vene, spesse al massimo 1 cm, sempre deformate e mineralogicamente costituite esclusivamente da quarzo e braunite, oltre a minori quantità di calcite.
3. Tipo C: lenti di braunite, concordanti con la scistosità e fortemente deformate. Sono generalmente costituite esclusivamente da braunite; solo in alcuni casi sono stati rinvenuti campioni caratterizzati da una mineralogia più complessa.

Le principali manifestazioni a Mn sono ubicate presso la località Castagnola ed in Val d'Arnetola; vene quar-

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, 56100 Pisa.

(\*\*) Via Roma 29, 55023 Borgo a Mozzano (LU).

zose con modeste tracce di piemontite sono state individuate anche nell'area dell'Eremo di San Viano.

## TECNICHE DI STUDIO

Alle osservazioni preliminari al microscopio binoculare ed in luce polarizzata sono seguiti per tutte le specie studi ai raggi X e con il sistema SEM-EDAX, che hanno consentito di identificare e caratterizzare compiutamente i diversi minerali presenti.

## I MINERALI

Sono state identificate 18 distinte fasi, tipicamente ossidi e silicati manganesiferi, riportate in Tabella 1. Campioni rappresentativi di tutte le specie sono stati depositati presso il Museo di Storia naturale dell'Università di Pisa. I minerali identificati sono di seguito descritti in ordine alfabetico.

### Braunite

Comune silicato di Mn, la braunite compare in tutte e tre le giaciture distinte. Nelle vene quarzose e quarzo-carbonatiche in cristalli bipiramidali, neri e lucenti, grandi fino a 2 mm, associata a piemontite, hollandite ed albite. Nella giacitura di tipo C, invece, la braunite compare in individui anedrali o subedrali, di dimensioni millimetriche, associati a sugilite, serandite, quarzo e carbonati (Fig. 1). Lo studio SEM-EDAX mostra che le braunite delle differenti giaciture presentano composizioni costanti. Da segnalare la presenza di Ca (fino a 2,6 wt%), legata alla soluzione solida esistente fra braunite e neltnerite (Lucchetti *et al.*, 1988).

Tab. 1 - Specie mineralogiche delle mineralizzazioni a Mn di Vagli (Alpi Apuane, Lucca).

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Ossidi</b>        |  |
| Ematite              | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   |
| Hollandite           | BaMn <sub>8</sub> O <sub>16</sub>  |
| Quarzo               | SiO <sub>2</sub>   |
| Rutilo               | TiO <sub>2</sub>   |
| Todorokite           | (Ca, Ba, Mg, K)(Mn <sup>4+</sup> , Mn <sup>3+</sup> ) <sub>6</sub> O <sub>12</sub> ·3-4.5 H <sub>2</sub> O |
| <b>Carbonati</b>     |  |
| Calcite              | Ca[CO <sub>3</sub> ]   |
| Carbonato di Ca e Ba | BaCa[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>  |
| <b>Wolframiti</b>    |  |
| Scheelite            | Ca[WO <sub>4</sub> ]   |
| <b>Silicati</b>      |  |
| Spessartina          | Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [(SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]  |
| Braunite             | Mn <sup>2+</sup> Mn <sup>3+</sup> <sub>6</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>8</sub>                            |
| Titanite             | CaTi[SiO <sub>4</sub> ]O   |
| Piemontite           | Ca <sub>2</sub> (Al, Fe, Mn) <sub>3</sub> [SiO <sub>4</sub> ][Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ](OH)         |
| Tinzenite            | (Ca, Mn) <sub>2</sub> (Mn, Fe)(Al, Fe) <sub>2</sub> [BSi <sub>4</sub> O <sub>15</sub> ](OH)                |
| Sugilite             | KNa <sub>2</sub> (Fe, Mn, Al) <sub>2</sub> Li <sub>3</sub> [Si <sub>12</sub> O <sub>30</sub> ]             |
| Serandite            | Na(Mn, Ca) <sub>2</sub> [Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]OH  |
| Muscovite            | KAl <sub>2</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH, F) <sub>2</sub>                                  |
| Clinocloro           | (Mg, Al) <sub>6</sub> [(Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>8</sub>                            |
| Albite               | Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]  |

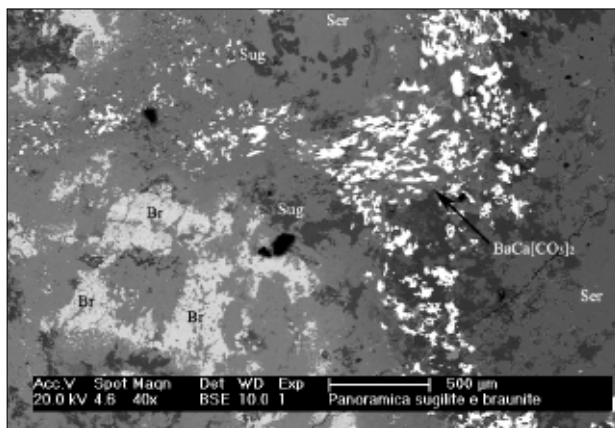


Fig. 1 - Braunite (Br) in cristalli anedrali con sugilite (Sug), serandite (Ser) e un carbonato doppio di Ca e Ba. Foto SEM.

### Calcite

Assieme al quarzo, è la fase più abbondante nelle mineralizzazioni studiata. Compare in masse spatiche e solo raramente mostra cristalli di abito romboedrico o scalenoedrico, incolore, bianchi o bruni per inclusioni di ossidi di Mn. Le analisi SEM-EDAX permettono di riconoscere due popolazioni di calcite: una è manganesifera, presentando 17 mol% Mn[CO<sub>3</sub>]; l'altra è costituita da calciti in cui il Ca<sup>2+</sup> è l'unico catione al di sopra del limite di rivelabilità. La diversa composizione riflette l'esistenza di due generazioni di questo carbonato nelle mineralizzazioni di Vagli, in accordo con le osservazioni in luce polarizzata che consentono di osservare nella calcite manganesifera evidenze deformative, invece assenti in quella non manganesifera. Quest'ultima inoltre ingloba tutti gli altri minerali presenti nelle vene e pertanto è l'ultima fase ad essersi depositata.

### Carbonato di Ca e Ba

Le osservazioni in elettroni retrodiffusi (BSE) hanno consentito di individuare, in un campione della giacitura di tipo C, la presenza di una fase molto brillante, chimicamente omogenea, che presenta quantità equimolecolari di Ba e Ca. Le ridotte dimensioni dei cristalli (fino a 100 μm) e la contemporanea presenza, nelle stesse sezioni, della calcite non ci ha finora consentito di prelevare un frammento da sottoporre ad indagini diffrattometriche, al fine di identificare in maniera univoca tale specie. La presenza di quantità equimolecolari di Ca e Ba esclude possa trattarsi di witherite, in cui il contenuto massimo di Ca è intorno allo 0,3 mol (Baldasari & Speer, 1979). In natura esistono tre polimorfi del carbonato doppio di Ca e Ba; le osservazioni in luce polarizzata suggeriscono trattarsi di baritocalcite, monoclina, o alstonite, triclina. La formula del campione di Vagli è Ba<sub>1,00</sub>(Ca<sub>0,94</sub>Ba<sub>0,06</sub>)[CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>.

### Hollandite

L'hollandite è un ossido di Mn appartenente al gruppo del criptomelano (Post *et al.*, 1982; Post, 1999). A

Vagli essa compare nella giacitura di tipo A e forma cristalli prismatici, tabulari o aciculari, di colore da nero a grigio molto scuro, caratterizzati da lucentezza metallica e perfetta sfaldatura prismatica. In queste mineralizzazioni, l'hollandite è associata a piemontite, braunite, albite, titanite, ematite e scheelite. I dati chimici SEM-EDAX mostrano solo una modesta sostituzione del Ba da parte di Sr e K, in virtù della soluzione solida esistente fra l'hollandite e, rispettivamente, strontiomelano e criptomelano. Nei siti ottaedrici, il  $Mn^{4+}$  è parzialmente sostituito da  $Fe^{3+}$  e Al.

### Piemontite

Questo epidoto manganifero è frequente nelle vene quarzoso-carbonatiche (giacitura di tipo A) in individui anedrali o in aggregati fascicolati di esili cristalli prismatici, eudrali, di color rosso magenta, vitrei. Spesso i cristalli di questa fase mostrano traccia di deformazioni tettoniche, presentandosi piegati e/o fratturati. Si rilevano rapporti Mn/Fe variabili, in particolare l'associazione con ematite è correlata a contenuti decisamente più alti in Fe (7,9 wt%  $Fe_2O_3$ , pari a 0,47 apfu), rispetto a quelli rilevati nell'associazione con fasi manganifere (3,8 wt%  $Fe_2O_3$ , pari a 0,22 apfu). I dati chimici della piemontite della Val d'Arnetola portano a ricalcolare una formula con una deficienza di atomi nel sito occupato dal Ca ed un eccesso di cationi nei siti ottaedrici. Questa situazione è stata osservata anche da altri autori (Bonazzi *et al.*, 1992) i quali ammettono la sostituzione  $Ca \rightarrow Mn^{2+}$ . La piemontite è un minerale tipico di depositi manganiferi di medio-basso grado metamorfico; la sua formazione è tuttavia guidata non soltanto dalla composizione ricca in Mn della roccia ospitante ma anche da un'alta  $fO_2$  (Keskinen & Liou, 1979).

### Scheelite

Nella giacitura di tipo A sono presenti cristalli anedrali, biancastri e grandi fino a 15 mm, caratterizzati da una perfetta sfaldatura secondo la bipiramide {111}. L'esposizione alla luce UV consente di osservare una fluorescenza gialla che si riscontra solo nelle scheeliti contenenti Mo. Un'analisi semi-quantitativa con il sistema SEM-EDAX indica infatti un contenuto in Mo pari a 23 mol% di powellite,  $Ca[MoO_4]$ , in soluzione solida con la scheelite. Secondo Hsu & Galli (1973), le scheeliti ricche in Mo denotano ambienti di formazione caratterizzati da alta  $fO_2$  e/o bassa  $fS_2$ .

### Serandite

La serandite è un pirossenoide appartenente alla serie wollastonite-foshagite, con periodo, nella catena, pari a 3 tetraedri. Questa specie forma una soluzione completa con la pectolite, mediante la sostituzione  $Mn^{2+} \rightarrow Ca$ . La serandite è un minerale caratteristico di rocce sienitiche alcaline o fonolitiche mentre risulta decisamente raro nei depositi manganiferi. Termini della serie pectolite-serandite,  $Na(Mn,Ca)_2[Si_3O_8](OH)$ , sono stati individuati all'interno di lenti di braunite (giacitura di tipo C), che appaiono in sezione sottile come cristalli anedrali, incolori, dotati di rilievo moderato. Le osservazioni a nicol incrociati permettono di osservare la

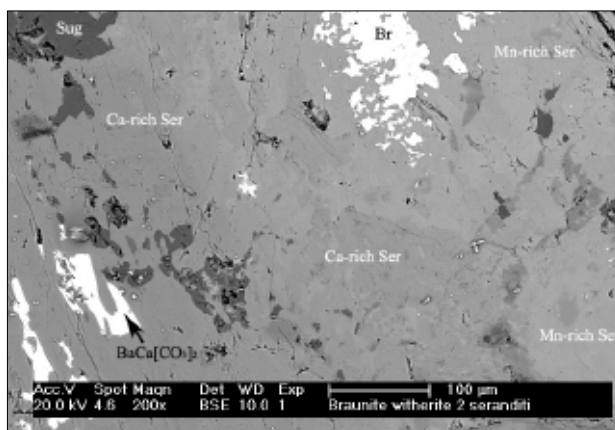


Fig. 2 - Immagine in elettroni retrodiffusi (BSE) della disomogeneità composizionale della serandite di Vagli, resa evidente dai domini meno riflettenti (Ca-rich Ser) e quelli più riflettenti (Mn-rich ser). Altri minerali presenti sono la braunite (Br), la sugilite (Sug) ed il carbonato doppio di Ca e Ba.

rapida variazione dei colori di interferenza anche all'interno di un singolo cristallo, legata alla disomogeneità composizionale in Mn e Ca, ben rilevabile in elettroni retrodiffusi (Fig. 2). La composizione di questa specie, varia nei diversi individui tra quella di una serandite pura e  $Ser_{59} Pct_{41}$ .

### Spessartina

Questa specie è stata individuata esclusivamente nelle vene quarzoso-carbonatiche della Val d'Arnetola, in cristalli subedrali grandi fino a 30 μm. I risultati delle analisi chimiche semi-quantitative indicano che questo granato contiene circa 19 mol% di grossularia. La spessartina di Vagli è associata a piemontite, tinzenite, ematite e titanite.

### Sugilite

La sugilite è un raro minerale appartenente al gruppo della milarite, serie di ciclosilicati di formula generale  $[VI]A_2 [IX]B_2 [XIII]C [XVIII]D [IV]T(2)_3 [IV]T(1)_{12} O_{30}$ , con struttura caratterizzata dalla presenza di doppi anelli  $[Si_{12}O_{30}]$ , uniti in modo da originare colonne parallele all'asse c (Armbruster & Oberhänsli, 1988). L'occupazione dei vari siti nella sugilite è riportata in Tabella 2.

La sugilite compare sia rocce sienitiche (Murakami *et al.*, 1976) sia in depositi manganiferi metamorfosati (Dunn *et al.*, 1980; Cabella *et al.*, 1990; Kawachi *et al.*, 1994); in quest'ultimo caso la sugilite è frequentemente associata ad altri silicati alcalini manganiferi fra cui, comunemente, la serandite. Con questo pirossenoide è associata nel campione studiato e proveniente dalla giacitura di tipo C. In sezione sottile si osservano cristalli da anedrali a subedrali, con colore di assorbimento rosa-violaceo, debole pleocroismo e rilievo moderato. A nicol incrociati è tipica una bassissima birifrangenza. Le osservazioni in BSE rivelano l'esistenza di una debole zonatura nei cristalli di sugilite, legata a differenti contenuti di Al e  $Mn^{3+}$ . Non si osservano altri cationi vicarianti di  $Al^{3+}$  e  $Mn^{3+}$ , quale ad esempio  $Fe^{3+}$ .

Tab. 2 - Occupanza dei siti nella sugilite.

| Sito | Catione                                      |
|------|--|
| T(1) | Si   |
| T(2) | Li, Al, Fe <sup>3+</sup>                     |
| A    | Al, Mn <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Ti |
| B    | Na, H <sub>2</sub> O                         |
| C    | K, Na  |
| D    | □  |

Il campo di variazione composizionale della sugilite di Vagli (Fig. 3) è simile a quello della sugilite della miniera di Cerchiara (Cabella *et al.*, 1990). I due ritrovamenti sono stati effettuati in terreni di differente grado metamorfico: facies Scisti verdi per la sugilite di Vagli, facies prehnite-pumpellyite per quella della miniera di Cerchiara (Lucchetti *et al.*, 1988).

Secondo Gnos *et al.* (2003), le paragenesi nelle quali compare la sugilite, e nelle quali compaiono costantemente altre fasi litinifere oltre che un termine della serie pectolite-serandite, sarebbero stabilizzate dall'alta  $fO_2$  e dalla disponibilità di Li. La sugilite di Vagli è associata a serandite, braunite, calcite, quarzo, ad un carbonato doppio di Ca e Ba e da un silicato alcalino di Mn non identificato.

### Tinzenite

Silicoborato di Ca e Mn appartenente al gruppo dell'axinite, la tinzenite è una specie tipica di depositi manganeseferi di basso grado metamorfico (Belokoneva *et al.*, 2001). Essa compare esclusivamente nelle vene quarzoso-carbonatiche della Val d'Arnetola, in cristalli anedrali, dotati di rilievo moderato e con colori di interferenza fino al giallo di I ordine, in associazione a piemontite, spessartina, ematite e titanite. La formula del-

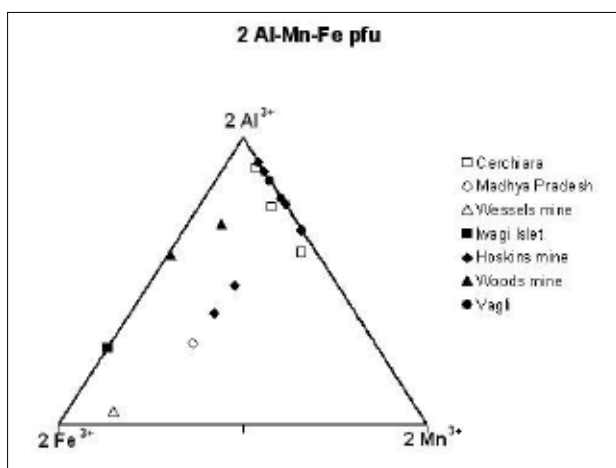


Fig. 3 - Diagramma triangolare 2Al-Mn-Fe pfu, rappresentativo della variabilità composizionale della sugilite di Vagli e di altre descritte in letteratura: Cerchiara (Cabella *et al.*, 1990); Madhya Pradesh, India centrale (Clark *et al.*, 1980); Wessels mine (Clark *et al.*, 1980); Iwagi Islet, Giappone (Murakami *et al.*, 1976); Hoskins mine (Kawachi *et al.*, 1994); Woods mine (Kawachi *et al.*, 1994).

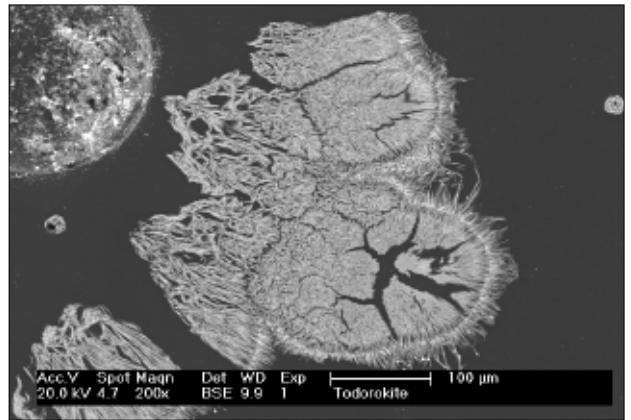


Fig. 4 - Immagine in elettroni retrodiffusi (BSE) di un aggregato globulare di todorokite.

la tinzenite di Vagli è  $Mn_{1,00} (Ca_{1,74} Mn_{0,28}) Al_{2,04} [B_{1,00} Si_{3,96} O_{15}] (OH)_{1,00}$ .

### Titanite

A Vagli la titanite compare nelle vene quarzoso-carbonatiche, in individui da anedrali a perfettamente eudrali, grandi sino a 2 mm. È associata a piemontite, hollandite e rutilo o a tinzenite, piemontite, spessartina, ematite e clorite. Le analisi chimiche semi-quantitative effettuate sulla titanite di quest'ultima paragenesi mostrano un significativo contenuto di  $Al_2O_3$  (7,7 wt%); tale percentuale corrisponde a 0,28 apfu di  $Al^{3+}$  come vicariante del Ti. Seguendo la definizione di Oberti *et al.* (1991), possiamo pertanto definirla come una titanite alta in Al.

### Todorokite

Questo ossido di Mn compare nella giacitura tipo B, in aggregati globulari di colore nero-brunastro e dimensioni massime attorno a 1 mm; i cristalli hanno un aspetto micaceo e una lucentezza sub-metallica. L'esecuzione di uno spettro di polveri su un frammento cristallino di questo minerale ha mostrato la scarsa cristallinità di questa fase, in accordo con quanto già osservato da Orlandi & Albertini (1988). Le osservazioni in elettroni retrodiffusi hanno evidenziato la presenza di una zonatura concentrica negli aggregati cristallini di questa fase (Fig. 4). La todorokite è associata a quarzo, calcite e braunite.

### BIBLIOGRAFIA

- Armbruster T., Oberhänsli R., 1988. Crystal chemistry of double-ring silicates: Structures of sugilite and brannockite. *Amer. Miner.* 73: 595-600.
- Baldasari A., Speer J.A., 1979. Witherite composition, physical properties, and genesis. *Amer. Miner.* 64: 742-747.
- Battaglia S., Nannoni R., Orlandi P., 1977. La piemontite del Monte Corchia (Alpi Apuane). *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Ser. A* 84: 174-178.
- Belokoneva E.L., Goryunova A.N., Pletnev P.A., Spiridov E.M., 2001. Crystal Structure of High-Manganese Tinzenite from the Falotta Deposit in Switzerland. *Crystall. Reports* 46: 30-32.

- Bonazzi P., Garbarino C., Menchetti S., 1992. Crystal chemistry of piemontites: REE-bearing piemontite from Monte Brugiana, Alpi Apuane, Italy. *Eur. J. Mineral.* 4: 23-33.
- Cabella R., Lucchetti G., Palenzona A., 1990. Al-rich, Fe-poor manganese sugilite in a pectolite-bearing assemblage from Cerchiara mine (Northern Apennines, Italy). *N. Jb. Miner. Mh.* 10: 443-448.
- Carmignani L., Dessau G., Duchi G., 1972. I giacimenti minerari delle Alpi Apuane e loro correlazioni con l'evoluzione del gruppo montuoso. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 11: 417-431.
- Carmignani L., Fantozzi P.L., Giglia G., Meccheri M., 1993. Pieghe associate alla distensione duttile del Complesso Metamorfico Apuano. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 49: 99-124.
- Clark A.M., Bearne G.S., Fejer E.E., Din V.K., Couper A.G., 1980. Additional data on sugilite. *Mineral. Mag.* 43: 947-949.
- Di Sabatino L., 1967. Su una paragenesi del giacimento manganifero di Scortico (Alpi Apuane). *Period. Mineral.* 36: 965-992.
- Dunn P.J., Brummer J.J., Belsky H., 1980. Sugilite, a second occurrence: Wessels mine, Kalahari manganese field, Republic of South Africa. *Canad. Miner.* 18: 37-39.
- Franceschelli M., Puxeddu M., Carcangiu G., Gattiglio M., Pannuti F., 1996. Breccia-hosted manganese-rich minerals of Alpi Apuane, Italy: A marine, redox-generated deposit. *Lithos* 37: 309-333.
- Franceschelli M., Turbanti Memmi I., Carcangiu G., Gianelli G., 1997. Prograde and retrograde chloritoid zoning in low temperature metamorphism, Alpi Apuane, Italy. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 77: 43-52.
- Gnos E., Armbruster T., Villa I.M., 2003. Norrishite,  $K(Mn^{3+}_2 Li) Si_4 O_{10}(O)_2$ , an oxymineral associated with sugilite from the Wessels mine, South Africa: Crystal chemistry and  $^{40}Ar$ - $^{39}Ar$  dating. *Amer. Miner.* 88: 189-194.
- Hsu L.C., Galli P.E., 1973. Origin of the Scheelite-Powellite series of Minerals. *Econ. Miner.* 68: 681-696.
- Kawachi Y., Ashley P.M., Vince D., Goodwin M., 1994. Sugilite in the manganese silicate rocks from the Hoskins mine and Woods mine, New South Wales, Australia. *Mineral. Mag.* 58: 671-677.
- Keskinen M., Liou J.G., 1979. Synthesis and stability relations of Mn-Al piemontites  $Ca_2 Mn Al_2 Si_3 O_{12}(OH)$ . *Amer. Miner.* 64: 317-328.
- Lucchetti G., Cortesogno L., Palenzona A., 1988. Low-temperature metamorphic assemblages in Mn-Fe ores from Cerchiara mine (northern Apennine, Italy). *N. Jb. Miner. Mh.* 8: 367-383.
- Mancini S., 1997. Le miniere di manganese di Scortico (Fivizzano, Massa-Carrara). *Riv. Mineral. Ital.* 21: 295-296.
- Molli G., Giorgetti G., Meccheri M., 2000. Structural and petrological constraints on the tectono-metamorphic evolution of the Massa Unit (Alpi Apuane, NW Tuscany, Italy). *Geol. J.*, 35: 251-264.
- Murakami N., Kato T., Miura Y., Hirowatari F., 1976. Sugilite, a new silicate mineral from Iwagi Islet, Southwest Japan. *Miner. J.* 8 (2): 110-121.
- Oberti R., Smith D.C., Rossi G., Caucia F., 1991. The crystal-chemistry of high-aluminium titanites. *Eur. J. Miner.* 3: 777-792.
- Orlandi P., Albertini C., 1988. Todorokite da diverse località italiane (Baveno, Carrara, Campiglia M. ma, Appennino Parmense). *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Ser. A* 95: 29-34.
- Post J.E., Von Dreele R.B., Buseck P.R., 1982. Symmetry and Cation Displacement in Hollandites: Structure Refinements of Hollandite, Cryptomelane and Priderite. *Acta Crystall.* B38: 1056-1065.
- Post J.E., 1999. Manganese oxide minerals: Crystal structures and economic and environmental significance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 3447-3454.

(ms. pres. il 30 settembre 2005; ult. bozze il 25 febbraio 2006)

