

Mineralogia. — *Pseudomorfosi di rutilo da cloromelanite nelle rocce eclogitiche di Monte Tarme presso S. Pietro d'Olba (Appennino settentrionale).* Nota di ROBERTO GORGA, presentata (*) dal Socio A. Mottana.

ABSTRACT. — *Pseudomorphoses of rutile on chloromelanite in the eclogitic rocks at Monte Tarme near S. Pietro d'Olba (northern Apennines, Italy).* The morphological, mineralogical and chemical characteristics of untreated and treated titanium ore extracted from amphibolitic eclogite rocks at Monte Tarme near S. Pietro d'Olba have been determined. Preliminary mineralogical studies were performed by conventional optical microscopy and by electron microprobe analysis, both on polished and thin sections of «as-it-is» rocks (> 0.5 mm) and on particle-size classes in the < 300 to > 12 μm range that resulted from grinding, flotation and magnetic separation processes. All samples revealed a polyphase assemblage consisting essentially of chloromelanite and rutile with minor omphacite, jadeite, pyrope-almandine garnets and amphiboles from glaucophane to actinolite. The valuable titaniferous minerals are rutile, pseudoilmenite and/or ilmenite, and sometimes titanite. The granular fraction consists mainly of rutiles of various sizes. Titanium metal is to be concentrated mainly from this rutile, which is as rich as > 99 wt % TiO_2 . Na-pyroxene mostly occurs as relics within diablastic aggregates, but in some domains of the rock it appears to be completely pseudomorphosed by a fine-grained intergrowth of actinolite fibres and albitic plagioclase. Other pseudomorphs where rutile fills Na-pyroxene and makes it as cloudy as to appear to be nearly opaque are pointed out.

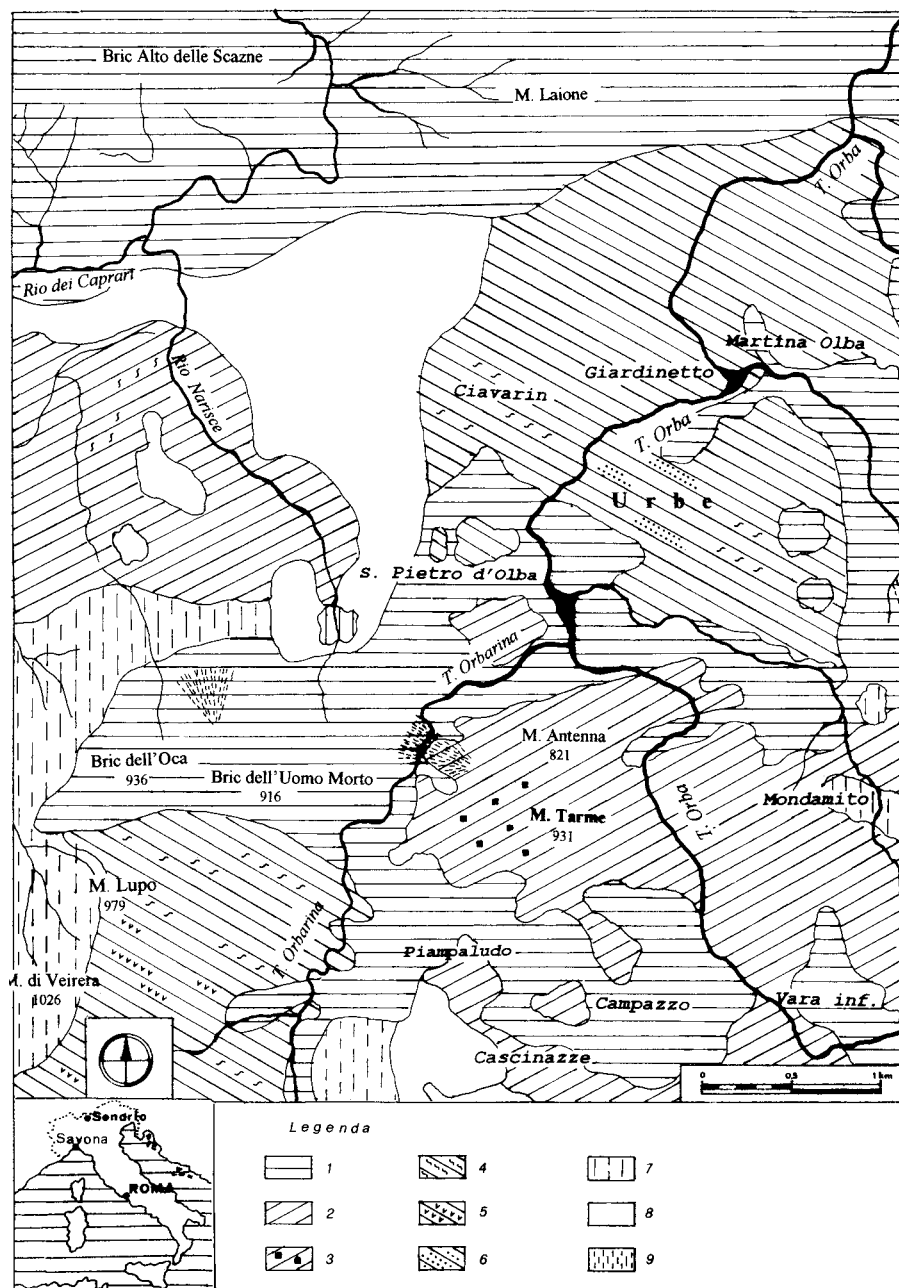
KEY WORDS: Chloromelanite; Rutile; Titanium; Eclogite.

RIASSUNTO. — Sono stati determinati i caratteri morfologici, mineralogici e chimici di alcuni campioni grezzi di rocce eclogitiche provenienti da «filoni» che affiorano in località S. Pietro d'Olba, comune di Sassello, provincia di Savona. Lo studio mineralogico è stato condotto, in via preliminare, mediante microscopia ottica convenzionale con l'ausilio della microsonda elettronica su sezioni sottili e sottili-lucide di campioni tal quali della classe granulometrica $< 300 \sim > 12$ μm derivata da processi di arricchimento tramite macinazione, flottazione e separazione magnetica. I campioni esaminati hanno rivelato un'associazione mineralogica polifasica costituita prevalentemente da cloromelanite e rutilo con subordinati onfacite, granato piropo-almandino, anfiboli (glaucofane, attinolite) e quantità variabili di minerali titaniferi accessori come pseudoilmenite e/o ilmenite, e inoltre titanite. Sono evidenti i fenomeni di pseudomorfosi di rutilo che hanno interessato più o meno intensamente il pirosseno sodico fino a renderlo quasi opaco. La frazione granulare della roccia è costituita prevalentemente da rutilo di varie dimensioni che risulta piuttosto puro con $> 99\%$ TiO_2 in peso. All'interno dei relitti di Na-pirosseno spesso ricorrono aggregati diablastici di un anfibolo aciculare fibroso tipo attinolite. L'onfacite mostra meno di tutti gli altri minerali il grado di sostituzione in aggregati granulari opachi, ma in alcune parti della roccia è completamente pseudomorfo da concrescimenti di granuli fini di attinolite fibrosa e plagioclasio albitico.

INTRODUZIONE

A Monte Tarme, nella media Valle Orbarina percorsa dal torrente omonimo, affluente di sinistra del fiume Orba (fig. 1), affiora un tipo di roccia eclogitica a pirosseno sodico di composizione chimica onfacitico-giadeitica (Franchi, 1900) simile alla cloromelanite (Fornaseri e Bensa, 1939; Bocchio e Mottana, 1974).

(*) Nella seduta del 12 marzo 2004.



La posizione geologica e strutturale di questa zona (M. Beigua - Urbe) coincide con una delle unità tettoniche più profonde del complesso ofiolitico metamorfico del Gruppo di Voltri (Bocchio *et al.*, 1993) dove si trovano ben rappresentati tipi litologici di rocce ultrafemiche serpentizzate associate a rare metabasiti e a calcescisti con prasiniti (Allasinaz *et al.*, 1971; Pasquarè e Rossi, 1971; Ernst, 1981).

Su scala regionale questi banconi eclogitici anfibolici a glaucofane (Franchi, 1902) passano ad anfiboliti granatiferi, poi fino ad anfiboliti ad epidoto, con questo minerale e con glaucofane. Essi sono immersi in un ammasso serpentinoso che nella parte occidentale del Gruppo di Voltri presenta una caratteristica struttura a «vortice» (Allasinaz *et al.*, 1971; Pasquarè, 1959; Chiesa *et al.*, 1975) rappresentata da un grosso fascio ad andamento sub-circolare di lenti e banchi eclogitici il cui centro coincide circa con la frazione Vara Inferiore del comune di Urbe.

Condizioni di P-T pari a più di 15 Kbar e 550 °C circa sono state determinate mediante studi geotermometrici e geobarometrici sulla petrogenesi di queste eclogiti, che successivamente, in condizioni di riequilibrio, hanno sviluppato fasi mineralogiche di neo-formazione (Ernst, 1976, 1981; Messiga e Scambelluri, 1991).

Anche se le caratteristiche mineralogiche e tessiturali presentano una certa analogia con quelle del bacino della Valle di Vara (Bocchio e Mottana, 1974; Mottana, 1993; Bocchio *et al.*, 1993), nell'alta Valle dell'Olba (Conti, 1944) queste rocce si differenziano per la peculiarità rappresentata dalla particolare loro ricchezza di pirosseni sodici cloromelanitici (Franchi, 1901) ricchi in titanio (Gorga, 1994).

PROCEDIMENTI SPERIMENTALI

I campioni tal-quali di eclogite a cloromelanite studiati provengono da sondaggi effettuati dalla Società Mineraria Italiana per conto della «Mineraria e Metallurgica di Pertusola» sulla sommità di Monte Tarme (m 931). I materiali rocciosi estratti e analizzati provengono da una profondità di 41,5 m.

Macroscopicamente, e nell'insieme, la struttura della roccia attraversata in questo sondaggio non è costante poiché i campioni di detrito provenienti da livelli diversi presentano tessitura fortemente anisotropa.

Sui preparati lucidi e lucido-sottili sono state effettuate indagini preliminari mediante microscopia ottica con microscopio polarizzatore universale da ricerca Leitz Orthoplan-Pol dotato di obiettivo planacromatico ad immersione e contrasto potenziato per le osservazioni a forti ingrandimenti.

Gli strumenti speciali utilizzati sono stati la microsonda elettronica e il diffrattometro a raggi X.

Le analisi alla microsonda elettronica (EMPA) sono state eseguite con una JEOL JSM-50A a 15 KV con 10 nA e 100 mA, rispettivamente, per corrente del campione e del filamento; standard di rutilo per Ti Ka e di olivina per Fe Ka; larghezza del fascio pari a 1 mm; rivelazione e conteggio mediante sistema a dispersione di energia (EDS). Per le frazioni granulometriche dei concentrati di rutilo le analisi sono state eseguite mediante una microsonda CAMECA CAMEBAX 50 in condizioni operative: 15 KV,

15,1 nA, larghezza del fascio 1 mm, rivelazione a conteggio mediante sistema WDS a 5 spettrometri. Con tale strumento è stato possibile eseguire alcune mappe ai raggi X per evidenziare variazioni composizionali nei cristalli o eventuali inclusioni.

Per le analisi XRD è stato utilizzato un diffrattometro per polveri Siemens D500 con anticatodo di Cu, $K\alpha = 1,5405 \text{ \AA}$; tensione 40 KV, corrente 40 mA; monocromatore di grafite; rivelatore proporzionale. La manipolazione degli spettri (sottrazione del fondo, «smoothing», ricerca dei riflessi, «search match») è stata effettuata mediante «software» Siemens diffrac residente su «PC Siemens AT».

La determinazione granulometrica ai fini del recupero del rutilo da cloromelaniti o disperso nei campioni grezzi tal quali presenta problemi piuttosto complessi di metodologia (Clerici *et al.*, 1976; Clerici, 1982; Clerici e Comoglio, 1984; Layton e Bagley, 1965; Mancini e Martinotti, 1979; Massacci e Poli, 1978*a, b*). Pertanto il sistema migliore per giungere alla definizione granulometrica ottimale dei grezzi eclogitici per la separazione del rutilo è di rilevare, al microscopio ottico munito di reticolo, un numero statisticamente significativo di misure del diametro minimo (a) e massimo (c) dei granuli presenti. Da queste misure è possibile definire la dimensione volumetrica più probabile di ogni granulo. Poiché il cilindro è la forma geometrica che meglio si approssima alla morfologia di questi granuli cristallini (Dullien e Dhawan, 1973; Barberry, 1974), il volume più probabile di ogni singolo grano sarà $V_g = \pi/4 a^3 k$ dove k è una costante ricavata da misure di diametri massimi e minimi su un numero di granuli rappresentativi che in sezione sottile compaiono disposti parallelamente all'asse d'allungamento cristallografico al fine di ottenere un valore medio del rapporto $k = c/a$.

A sostegno di quanto determinato otticamente, sono state effettuate altre misure con intercette su profili lineari, determinate mediante fotografie effettuate al microscopio ottico con l'ausilio di analisi preliminari alla microsonda elettronica (tabb. I e IV). Le intercette sono casuali e quindi, in qualunque caso, le misure effettuate necessitano di un'elaborazione statistica dei dati con assunzione di forme geometriche ideali tipo cilindro. Per ottenere una distribuzione casuale, quindi statisticamente signifi-

TABELLA I. – *Analisi chimiche di cloromelaniti nelle eclogiti di Monte Tarme.*

% Ossidi	1	2	3	4	5	6	x	E
SiO ₂	54,48	51,75	52,82	53,89	51,96	53,25	53,03	1,07
TiO ₂	0,92	0,88	0,12	0,68	0,76	0,44	0,63	0,30
Al ₂ O ₃	8,51	4,79	11,37	10,64	10,23	11,25	9,46	2,51
FeO	9,19	15,77	10,66	9,47	11,66	10,11	11,14	2,43
MnO	0,04	—	—	0,28	0,21	0,12	0,16	0,10
MgO	6,58	6,60	6,29	5,78	5,34	6,10	6,11	0,49
CaO	10,64	13,12	7,63	8,34	8,62	9,41	9,63	2,00
Na ₂ O	9,74	5,91	9,98	10,27	11,31	9,18	9,40	1,85
K ₂ O	0,08	0,07	0,16	0,09	0,09	0,12	0,10	0,03
Totali	100,18	98,89	99,03	99,44	100,18	99,98	99,62	0,58

Analisi chimiche eseguite con la microsonda (JEOL JSM-50A). I valori rappresentano le medie di numerosi punti per campione. Analizzati ma con valori inferiori alla sensibilità della strumentazione Cr, Nb, Ta.

TABELLA II. – *Analisi chimiche di rutilo nelle cloromelaniti di Monte Tarme.*

% Ossidi	1	2	3	4	5	6	x	E
SiO ₂	0,10	0,18	0,19	0,13	0,18	0,21	0,16	0,04
TiO ₂	98,35	98,05	98,51	98,19	98,34	97,80	98,21	0,25
Al ₂ O ₃	0,13	0,11	0,17	0,37	0,10	0,18	0,18	0,10
FeO	0,41	0,22	0,32	0,48	0,41	0,26	0,35	0,10
V ₂ O ₅	—	—	—	0,54	0,63	0,42	0,53	0,11
MgO	0,05	0,10	0,11	0,04	—	0,06	0,07	0,03
CaO	0,06	0,12	0,08	—	0,11	0,07	0,09	0,03
Na ₂ O	0,12	0,23	0,17	0,17	—	0,13	0,16	0,04
Totali	99,22	99,01	99,55	99,92	99,77	99,13	99,47	0,37

Analisi chimiche eseguite con la microsonda (JEOL JSM-50A). I valori rappresentano le medie di numerosi punti per campione. Analizzati ma con valori inferiori alla sensibilità della strumentazione Cr, Nb, K, P.

TABELLA III. – *Analisi chimiche di rutilo per il solo contenuto di FeO totale.*

% FeO	1	2	3	4	5	6
1	0,47	0,45	0,63	0,53	0,56	0,48
2	0,49	0,52	0,30	0,51	0,44	0,49
3	0,37	0,26	0,35	0,61	0,56	0,72
4	0,50	0,26	0,60	0,53	0,48	0,37
5	0,46	0,53	0,49	0,47	0,61	0,53
6	0,57	0,62	0,36	0,47	0,43	0,52
Medie	0,48	0,44	0,45	0,52	0,51	0,52

Analisi chimiche della frazione granulometrica intorno ai 49 micron eseguite con la microsonda (CAMECA CAMEBAX 50). I valori rappresentano le medie di numerosi punti analizzati di sei campioni.

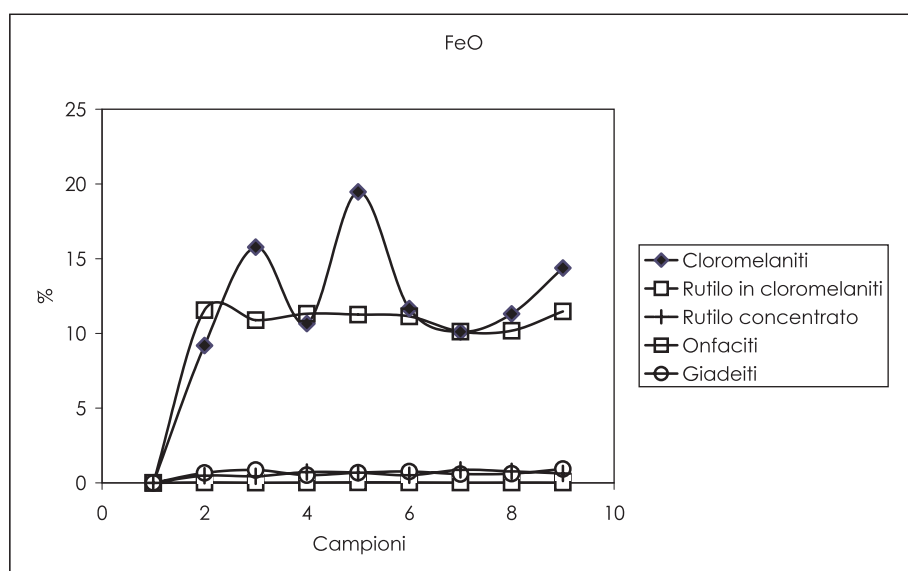
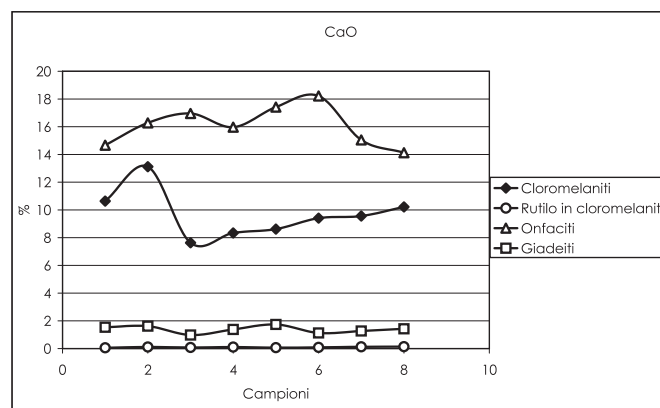
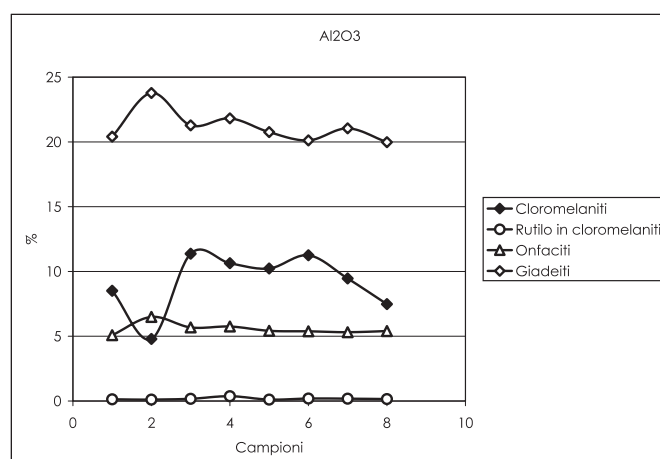
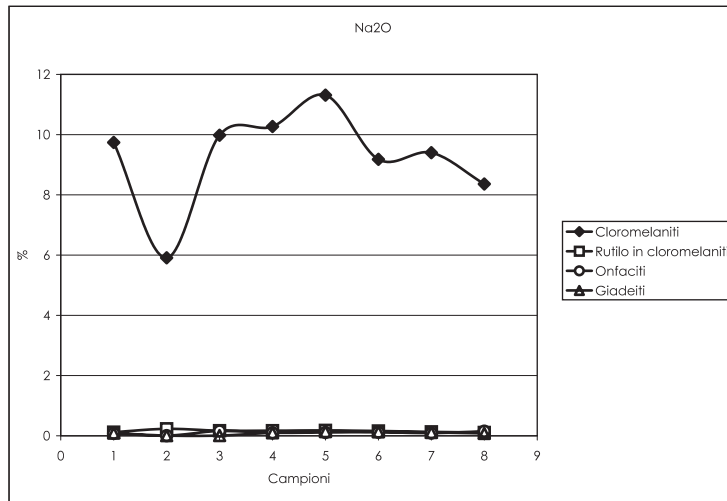


TABELLA IV. – *Analisi chimiche di onfaciti e giadeiti nelle eclogiti di Monte Tarme.*

% Ossidi	1	2	3	x	E	1	2	3	x	E
SiO ₂	52,37	51,96	52,56	52,30	0,31	58,75	57,96	59,25	58,65	0,65
TiO ₂	0,21	0,43	0,28	0,31	0,11	0,68	0,76	0,44	0,63	0,17
Al ₂ O ₃	5,08	6,49	5,68	5,75	0,71	20,41	23,78	21,28	21,82	1,75
FeO	11,56	10,89	11,32	11,26	0,34	0,67	0,86	0,52	0,68	0,17
MnO	0,07	0,08	—	0,07	0,01	—	0,04	—	0,04	—
MgO	7,49	6,68	6,39	6,85	0,57	3,73	3,27	4,12	3,71	0,42
CaO	14,67	16,28	16,96	15,97	1,18	1,54	1,62	0,98	1,38	0,35
Na ₂ O	7,32	6,27	6,13	6,57	0,65	12,87	11,39	12,18	12,15	0,74
K ₂ O	0,08	0,07	0,16	0,10	0,05	0,09	0,09	0,12	0,10	0,01
Totali	98,85	99,15	99,08	99,03	0,16	98,74	99,77	98,89	99,13	0,56

Analisi chimiche di onfaciti (1, 2, 3) e giadeiti (4, 5, 6) eseguite con la microsonda (JEOL JSM-50A). I valori rappresentano le medie di numerosi punti per campione. Analizzati ma con valori inferiori alla sensibilità della strumentazione Cr, Nb, Ta.





cativa, dei dati, si sono misurati tutti i granuli intersecati da un sistema fisso di linee parallele equidistanti.

Questi sistemi d'elaborazione dei dati sono finalizzati principalmente all'applicazione con analizzatori di immagine ai fini della determinazione del grado di liberazione delle specie utili (Barbery *et al.*, 1981; Bonifazi e Massacci, 1986, 1989; Bonifazi e Gorga, 1994; Petruk, 1990, 1991).

ANALISI MICROSCOPICA

Al microscopio la roccia presenta prevalentemente struttura da granoblastica a cristalloblastica e tessitura anisotropa con caratteristica presenza di corone di granato attorno al pirosseno là dove l'associazione rutilo + pirosseno sodico è molto diffusa.

Poiché in luce trasmessa i caratteri ottici (birifrangenza, angolo d'estinzione, 2V) dei pirosseni di tipo cloromelanitico risultano poco discriminanti rispetto a quelli di tipo onfacitico (Paris, 1983), sono state effettuate determinazioni su alcune sezioni lucide-sottili preparate per esame in luce riflessa. In genere i pirosseni di tipo cloromelanitico sono incolore e il pleocroismo di riflessione delle loro lamine tagliate secondo la zona dell'asse *c* è più marcato rispetto a quello con la stessa orientazione delle onfaciti, che sono però di colore verde scuro. Anche i riflessi interni, osservati in luce polarizzata e a nicol parzialmente incrociati, sono molto più evidenti nei pirosseni con colorazione più chiara di quelli di colore verde scuro.

In sezione sottile i cristalli di pirosseno onfacitico presentano abito prismatico allungato secondo *c*. Le lamine basali di cristalli ben conservati hanno un contorno apparentemente ottagonale e le tracce di sfaldatura presentano un reticolato con angoli pressoché retti, mentre altri individui, nelle sezioni normali all'asse *b* presentano un solo sistema di

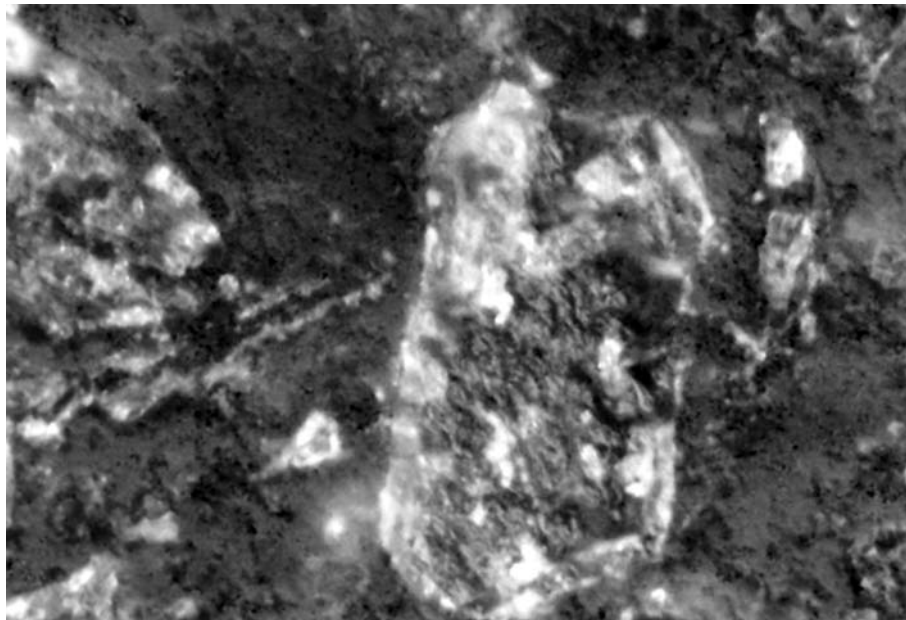


Fig. 2. – Eclogite anfibolica di Monte Tarme: cristallo idiomorfo di cloromelanite quasi interamente trasformato in rutilo associato a glaucofane grigio-verde (ca. $\times 20$; nicol //).

tracce di sfaldatura prismatica tra loro parallele. I colori di interferenza, nella tavola di Michel-Levy, sembrano rientrare tra quelli del 2° ordine.

Il rutilo risulta essere il principale minerale accessorio ed è presente tanto come granuli sparsi in tutte le sezioni, quanto come aggregati e concrescimenti di notevole interesse minerogenetico nelle cloromelaniti (fig. 2) e nelle complesse plaghe di trasformazione delle onfaciti. Si differenzia dagli altri componenti della compagine per il colore che va da giallo e giallo intenso fino a bruno, per il rilievo marcato, la riflettività elevata e la lucentezza metallica.

Il rutilo è spesso in aggregati di dimensioni variabili, in media tra 0,5 e 3 mm, ma in qualche caso gli aggregati possono raggiungere dimensioni dell'ordine del centimetro. Tali aggregati sono sempre pseudomorfi su preesistenti pirosseni cloromelanitici, raramente in plaghe interstiziali e/o in concrescimenti lamellari iso-orientati secondo i piani strutturali preferenziali degli anfiboli. Al di fuori degli aggregati il rutilo è praticamente assente, mentre all'interno può essere presente in quantità variabile dal 30 ad oltre il 90%. All'interno di tali aggregati i singoli cristalli di rutilo presentano dimensioni variabili da pochi micron fino a qualche centinaio di micron, con dimensioni medie dell'ordine dei 30-40 micron. In alcuni granuli sparsi di rutilo si rinvencono inclusioni di pirosseno e/o anfibolo. Le altre fasi titanifere, come la titanite, raramente si riscontrano all'interno degli aggregati come inclusioni nei pirosseni.

La roccia mineralizzata più ricca in rutilo si presenta prevalentemente costituita da

pirosseno cloromelanitico spesso in fase di avanzata trasformazione, da un anfibolo blu chiaro, a composizione variabile, che sembra appartenere alla serie glaucofane-riebeckite con granato nei termini piropo-almandino. In qualche caso è stata riscontrata la coesistenza tra anfibolo attinolitico e orneblenda (Cimmino *et al.*, 1975).

Il clinopirosseno sodico è presente anche in grossi cristalli sub-automorfi uralitizzati in un anfibolo più o meno largamente cristallizzato, contornato da cristalli millimetrici a sub-centimetrici di granati automorfi «ad atollo».

ANALISI MINEROCHIMICHE

Le analisi alla microsonda elettronica rivelano la notevole presenza di cloromelanite tra i clinopirosseni e la identificano tra quelli di colore da grigio a grigio-verde, molto spesso in più o meno avanzata trasformazione. Fasi ulteriori sono l'onfacite, il granato rossastro nei termini piropo-almandino, un anfibolo di composizione variabile, appartenente alla serie glaucofane-riebeckite che si evidenzia in sezione sottile per il colore da grigio verdastro a blu violaceo. Le fasi accessorie sono ben rappresentate da rutilo, più o meno associato a pseudoilmenite-ilmenite (Gorga, 1994) e fasi secondarie come miche di tipo cloritico, epidoto, titanite, quarzo, pirite e calcopirite.

Nella tab. I le analisi chimiche sono state effettuate alla microsonda elettronica e i valori della deviazione standard (E) degli ossidi risultano significativi tra Al (2,29) e Fe (2,12), tra Ca (1,90) e Na (1,69) e in parte il contenuto di Si (0,98) mostra una vicinanza tra questi elementi, che potrebbe essere una caratteristica dei pirosseni cloromelanitici.

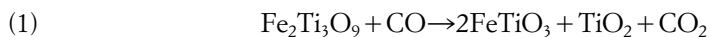
In tab. III si osserva, nelle variazioni del contenuto in FeO tra i vari granuli della frazione granulometrica intorno ai 40 micron, che la media dei punti analizzati non supera lo 0,52%. La presenza di FeO si potrebbe interpretare come Fe residuo nel reticolo cristallino del rutilo (osservazione che potrebbe essere in accordo con la paragenesi metamorfica di alta pressione della eclogite) dalla riduzione del Fe^{3+} a Fe^{2+} nelle pseudoilmeniti e/o ilmeniti.

PSEUDOMORFOSI

Il rutilo derivato da pirosseni cloromelanitici si riscontra sempre senza che si osservi la variazione della forma idiomorfa della fase silicatica ferro-magnesiaca. L'abito del minerale originario ospita il rutilo in cristalli idiomorfi e/o ipidiomorfi senza essere affatto modificato nei dettagli della sua morfologia. Dalle relazioni chimiche (1) e (2), l'effetto della riduzione del Fe^{3+} a Fe^{2+} nella pseudoilmenite e nell'ilmenite dà luogo alla formazione della nuova fase come residuo del vecchio edificio cristallino lasciando intatto l'aspetto geometrico. I cristalli singoli di cloromelaniti vengono parzialmente o quasi totalmente sostituiti da aggregati di numerosissimi microcristalli di rutilo cementati più o meno saldamente fra loro.

I numerosi studi tra i quali quelli con l'effetto Mössbauer (Immele-Meziou *et al.*, 1992) e di petrologia sperimentale (Lindsley, 1991) sarebbero in accordo con certe condizioni termodinamiche locali sulla riduzione dei titanati di Fe. La riduzione delle

ilmeniti e/o pseudoilmeniti avverrebbe in due fasi secondo le reazioni (1) e (2): riduzione da Fe^{3+} a Fe^{2+} seguita da riduzione da Fe^{2+} a Fe metallico:



Le reazioni chimiche che avvengono nel processo minerogenetico (Waychunas, 1991) rivestono grande importanza nell'ambito dello studio di un processo di arricchimento, in quanto l'eventuale presenza di Fe residuo nel reticolo cristallino del rutilo determina una particolare difficoltà al conseguimento di un prodotto concentrato d'elevata qualità (Layton e Bagley, 1965; Clerici e Comoglio, 1984). Il dato riveste anche grande importanza nell'ambito di misure di suscettività magnetica, ai fini di un trattamento di separazione magnetica nella concentrazione del rutilo (Banerjee, 1991; Fabbrì, 1971; Marabini *et al.*, 1991).

Nelle pseudomorfosi dei pirosseni cloromelanitici è importante stabilire che il passaggio alla nuova fase cristallina rutilo dipende dalla lisciviazione del ferro delle pseudoilmeniti e/o ilmeniti contenute nel reticolo dei pirosseni sodici e che avviene in certe condizioni termodinamiche. Da osservazioni effettuate sui numerosi campioni provenienti da maggiori e minori profondità questo fenomeno non risulta così diffuso ed accentuato come nei campioni analizzati provenienti dalla profondità di 41,5 m.

La pseudomorfosi di rutilo su pirosseno sodico ferro-magnesiaco ha una notevole importanza geochimica poiché l'apporto e la sottrazione degli atomi o ioni di ferro costituiscono un ottimo geotermometro. Questi processi suggeriscono, nelle future ricerche, l'opportunità di operare indagini più approfondite, intese come ulteriore contributo alla conoscenza della situazione minerogenetica locale ed estesa alle altre zone circostanti delle rocce eclogitiche d'ambiente chimico-fisico caratterizzato da alte pressioni e basse temperature (Mottana, 1993).

Altro materiale detritico proveniente da altri sondaggi a diverse quote sulla superficie di Monte Tarme (v. fig. 1), e caratterizzato con la stessa metodologia, mostra una notevole variabilità minerochimica e tessiturale. Infatti la roccia, nello stesso sondaggio, alla profondità massima di 115 m circa, è a grana molto più sottile rispetto a quella grossolana dei campioni provenienti da zone più o meno superficiali. Anche l'associazione mineralogica della zona più profonda con assenza di rutilo ma con titanite ed es-soluzioni di ilmenite e/o pseudoilmenite, anfibolo orneblenda (Cimmino *et al.*, 1975; Mongkoltip e Ashworth, 1983), plagioclasio albite, epidoto e relitti di granato molto corroso si differenzia notevolmente da quella della parte superficiale con pirosseno fortemente uralitizzato, corone di fenocristalli di granato (Gomez Pugnaire *et al.*, 1979), anfiboli (glaucofane, attinolite), epidoto, zoisite, pseudorutilo e accessori (pirite, calcopirite, quarzo, muscovite).

CONCLUSIONI

Le indagini microscopiche e le analisi chimiche hanno dato un'esauriente caratterizzazione della roccia eclogitica ed in particolare delle conoscenze sulle proprietà magnetiche dei vari costituenti nei campioni di eclogite sottoposti a macinazione e depu-

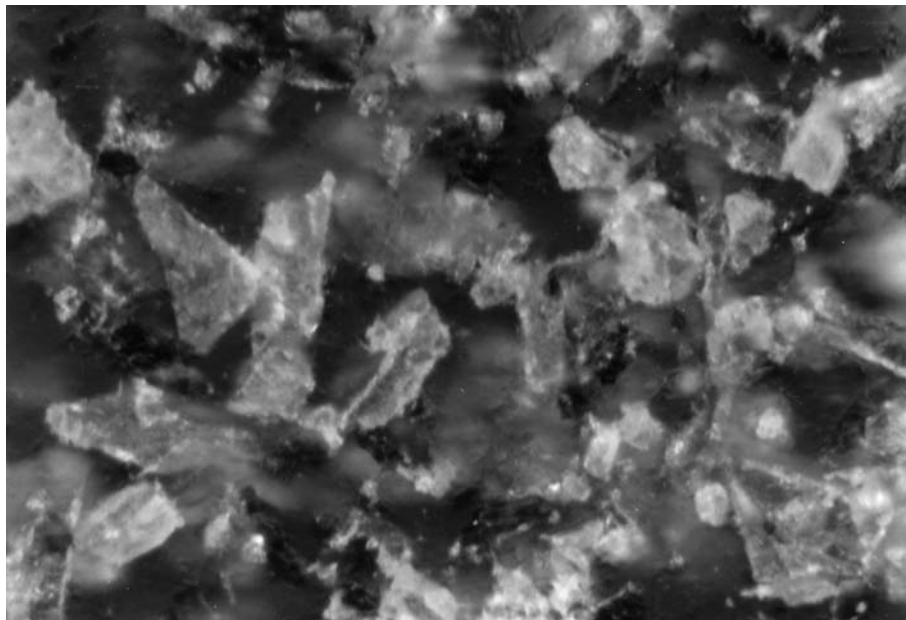


Fig. 3. – Frazione granulometrica di dimensione intorno ai 40 micron analizzata alla microsonda elettronica (ca. $\times 20$, nicol + parz.): è costituita quasi interamente da rutilo rosso.

rati della frazione granulometrica – 38 micron. Tali campioni hanno dato un granulato grezzo eclogitico che, trattato con un separatore magnetico a secco a 15.000 Gauss, si è diviso in un prodotto magnetico e in uno diamagnetico.

Gli studi condotti sulle proprietà magnetiche del rutilo e delle principali specie mineralogiche ad esso associate nell'eclogite ed i risultati di ripetute prove di separazione magnetica, eseguite sia sulla roccia tal quale sia sulle fasi isolate, hanno indotto a ricercare nell'ambito della sola flottazione un processo d'arricchimento con granulometrie richieste da un accettabile grado di liberazione.

Il rutilo presente nelle cloromelaniti e in granuli sparsi presenta una spiccata tendenza all'idiomorfismo; pertanto è stato constatato che i 40 micron rappresentano la soglia granulometrica più opportuna per lo studio di una separazione e concentrazione del rutilo per flottazione incluso nelle cloromelaniti che è puro al 99% di TiO_2 . Ciò è stato possibile tramite una serie di prove separazione effettuate su rutili dei diametri minimi compresi tra 55 e 40 micron (fig. 3).

Tuttavia, i valori medi del «fondo ambientale» di questa zona costituiscono un problema nella coltivazione dell'ossido di titanio a causa della presenza di fasi fibrose del tipo attinolite. Infatti, l'indice di rilascio è determinato secondo le modalità del DM 14/5/96 del Ministero della Sanità «Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto», previsti dalla L. 257/1992. Questa zona è considerata a rischio; pertanto le attività minerarie di

estrazione e trattamento sono da evitare mentre la valorizzazione e la conservazione del territorio in questa area devono essere limitate ai soli interventi necessari ai fini della ricerca scientifica.

BIBLIOGRAFIA

- ALLASINAZ A., GNACCOLINI M., GELATI R., MARTINIS B., OROMBELLI G., PASQUARÈ G., ROSSI P.M., 1971. *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia (Sc. 1:100.000)*. F. 82, Genova, 134 pp.
- BANERJEE S.K., 1991. *Magnetic properties of Fe-Ti oxides*. Reviews in Mineralogy, 25: 107-128.
- BARBERY G., 1974. *Determination of particle size distribution from measurements on sections*. Pow. Tech., 9: 231.
- BARBERY G., HUYET G., GATEAU G., 1981. *Liberation analysis with help of image analysis: theory and application*. In: J. LASKOWSKI, *Proceedings of the XIII International Mineral Processing Congress* (Warsaw, June 4-9, 1979). Elsevier Scientific, Amsterdam-Oxford, vol. 1.
- BOCCHIO R., MOTTANA A., 1974. *Le eclogiti anfiboliche in serpentina di Vara (Gruppo di Voltri)*. Soc. It. Min. Petr., 30 (2): 855-891.
- BOCCHIO R., CORTESOGNO L., GAGGERO L., LUCCHETTI G., MOTTANA A., 1993. *Eclogites and rodingites of the Monte Beigua unit (western Voltri Group)*. Acc. Naz. Sc. detta dei XL, Scritti e Documenti, 13: 181-187.
- BONIFAZI G., GORGA R., 1994. *Digital process mineralogy applied to titanium minerals characterization*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, SME Annual Meeting, Albuquerque, New Mexico: 1-15.
- BONIFAZI G., MASSACCI P., 1986. *Mineral recognition and liberation degree measurements in industrial ore processing*. Scann. Electr. Micr., 1: 117-128.
- BONIFAZI G., MASSACCI P., 1989. *An approach for evaluating a liberation function by image processing*. Proceedings MMIJ/IMM Joint Symposium (Kyoto Japan), Today's Technology for the Mining and Metallurgical Industries. The Mining and Materials Processing Institute of Japan and The Institution of Mining and Metallurgy, London: 1-8.
- CHIESA S., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI L., MESSIGA B., PASQUARÈ G., PEDEMONTE G.M., PICCARDO G.B., ROSSI P.M., 1975. *Assetto strutturale e interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri*. Boll. Soc. Geol. It., 94: 555-581.
- CIMMINO F., CORTESOGNO L., LUCCHETTI G., 1975. *Caratteri mineralogici e significato genetico di differenti anfiboli verde-azzurri di rocce eclogitiche del Gruppo di Voltri*. Per. Min., 44, 2-3: 161-191.
- CLERICI C., 1982. *Recupero di rutilo da giacimenti non detritici (rocce titanifere dure)*. Boll. Ass. Min. Subalp., 19 (3-4): 438-442.
- CLERICI C., COMOGLIO F., 1984. *Recupero del rutilo dall'eclogite di Pian Paludo (Savona)*. Boll. Ass. Min. Subalp., 21 (1-2): 108.
- CLERICI C., MANCINI A., MANCINI R., 1976. *Studio sulla possibilità di recupero di rutilo da una eclogite*. Boll. Ass. Min. Subalp., 1321 (4): 108.
- CONTI S., 1944. *Valli in serpentina della Liguria. IV: Contribuzione: L'alta Valle d'Olba*. Boll. Soc. Geol. It., 43: 11-34.
- DULLIEN F.A.L., DHAWAN G.K., 1973. *Photomicrographic size distribution determination of non-spherical objects*. Powder Tech., 7: 305.
- ERNST W.G., 1976. *Mineral chemistry of eclogites and related rocks from the Voltri Group, Western Liguria, Italy*. Schweiz. Min. Petr. Min., 56: 293-343.
- ERNST W.G., 1981. *Petrogenesis of eclogites and peridotites from the Western and Ligurian Alps*. Am. Mineralogist, 66: 443-472.
- FABRI B., 1971. *Suscettività magnetica dei minerali nel separatore magnetico isodinamico Frantz*. Miner. Petrogr. Acta, 17: 41-54.

- FORNASERI M., BENSÀ G., 1939. *Sulla cloromelanite di Mocchie in Val di Susa*. Per. Mineralogia, 10: 217-230.
- FRANCHI S., 1900. *Sopra alcuni giacimenti di rocce giadeitiche nelle Alpi occidentali e nell'Appennino ligure*. Boll. R. Com. Geol. It., 1: 120-158.
- FRANCHI S., 1901. *Sulla dispersione nei pirosseni cloromelanitici di alcune rocce cristalline delle Alpi occidentali*. Boll. R. Com. Geol. It., 2: 313-318.
- FRANCHI S., 1902. *Contributo allo studio delle rocce a glaucofane e del metamorfismo onde ebbero origine nella regione ligure-alpina occidentale*. Boll. R. Com. Geol. It., 3: 43-69.
- GOMEZ PUGNAIRE M.T., MOTTANA A., BOCCHIO R., LIBORIO G., 1979. *Coronitic eclogites in the Sierra de Baza (Betic Cordilleres, Spain)*. Jb. Miner. Abh., 136, 1: 42-62.
- GORGA R., 1994. *I minerali titaniferi nei grezzi eclogitici di Valle Orbarina (Appennino settentrionale)*. Rend. Fis. Acc. Lincei, s. 9, v. 5: 27-36.
- IMMELE-MEZIOU R., PRINGLE O.A., ROBERTSON D.G.C., LOM G.J., 1992. *Mössbauer effect study of reduction of ilmenite*. Trans. Inst. Min. Met., sect. C, Min. Proc. Extrac. Metall., 101: C57-C59.
- LAYTON W., BAGLEY A.S., 1965. *The nature of rutile and estimation of titanium in rutile concentrates*. Proc. Aust. Inst. Min. Met., 215: 37-52.
- LINDSLEY D.H., 1991. *Experimental studies of oxide minerals*. Reviews in Mineralogy, 25: 69-106.
- MANCINI A., MARTINOTTI G., 1979. *Sulle eclogiti di Vara e sul giacimento di rutilo di Piampaludo*. L'Ind. Mineraria, 30 (2): 108-110.
- MARABINI A., BATTAGLIA S., CIRIACHI M., 1991. *Statistical method for obtaining particle-size distribution of idiomorphic minerals by microscope analysis*. Part. Sc. Techn., 9, 3-4: 161-165.
- MASSACCI P., POLI S., 1978a. *Problemi tecnici ed economici connessi con la valorizzazione di giacimenti di rutilo in roccia*. L'Ind. Mineraria, 5: 285-297.
- MASSACCI P., POLI S., 1978b. *Beneficiation of the Val di Vara titanium eclogites*. Quaderni dell'Istituto di Arte Mineraria, Roma 1978.
- MESSIGA B., SCAMBELLURI M., 1991. *Retrograde P-T-t path for the Voltri Massif eclogites (Ligurian Alps, Italy): some tectonic implications*. J. Metam. Geol., 9: 93-109.
- MONGKOLTIPI M., ASHWORTH J.R., 1983. *Evolution of ilmenite and rutile in bornblende*. Am. Mineralogist, 68: 143-155.
- MOTTANA A., 1993. *Italian eclogite-facies minerals: phase relationships, chemical compositions, and crystal*. Acc. Naz. Sc. detta dei XL, Scritti e Documenti, 13: 121-141.
- PARIS E., 1983. *Correlation between chemistry and optics in omphacites*. Per. Min., 52: 369-379.
- PASQUARÈ G., 1959. *Contributo allo studio geologico del settore centro settentrionale del «Gruppo di Voltri»*. Boll. Serv. Geol. It., 80: 125-202.
- PASQUARÈ G., ROSSI P.M., 1971. *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia (Sc. 1:100.000)*. F. 82, Genova, 134 pp.
- PETRUK W., 1990. *Measurements of mineral liberation in connection with mineral behaviour*. In: W. PETRUK, W.R.D. HAGNY, S. PIGNOLET-BRANDOM, D.M. HAUSEN, *Process Mineralogy*. AIME/TMS, Warrendale, PA: 31-36.
- PETRUK W., 1991. *Measurements to determine mineral liberations by image analysis*. CANMET, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Ottawa (Ontario): 1-6.
- WAYCHUNAS G.A., 1991. *Crystal chemistry of oxides and oxyhydroxides*. Rev. Mineral., 25: 11-68.

Pervenuta il 14 novembre 2003,
in forma definitiva il 25 febbraio 2004.

Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Via Bolognola, 7 - 00138 ROMA