

ROSANGELA BOCCHIO, ANNIBALE MOTTANA (*)

LE ECLOGITI ANFIBOLICHE IN SERPENTINA DI VARA
(GRUPPO DI VOLTRI) (**)

RIASSUNTO. — Le rocce eclogitiche che affiorano nelle serpentine della Valle di Vara sotto forma di banchi potenti fino a 100 m, paralleli e con giacitura regolarmente periclinale, comprendono una varietà di tipi litologici riconducibile ai seguenti tre gruppi:

a) eclogiti con struttura a « flaser », caratterizzate dalla presenza di grossi cristalli di cloromelanite, talora contenenti relitti di un primitivo pirosseno magmatico, attorniate da corone concentriche di granato + onfacite, granato + barroisite, granato + actinolite, spesso coalescenti a formare una struttura a nido d'ape;

b) eclogiti « brecciate », costituite da frammenti di granato + glaucofane immersi in una matrice di cloromelanite suturata + ilmenite o rutilo; gli elementi della breccia sono cementati da un intreccio diablastico prevalentemente actinolitico;

c) eclogiti retrocesse, un gruppo eterogeneo costituito da rocce prevalentemente anfiboliche, con epidoto, zoisite, albite e quarzo, con tessitura tendente alla prasinitica, ma di indubbia derivazione eclogitica.

Chimicamente i tre gruppi sono molto simili e mostrano una composizione formalmente ultrabasica che rispecchia bene i tipi magmatici di Niggli. Tuttavia queste rocce sono più povere in SiO_2 e, insolitamente, molto più ricche in FeO_{tot} e TiO_2 di tutte le altre eclogiti finora descritte: la loro composizione chimica si accorda bene solo con un tipo particolare di gabbri ad ilmenite associati alle ofioliti toscane (P. Brotzu e L. Morbidelli, 1968) e con altri ferrogabbri dragati dalla Catena Medio-Atlantica (A. Miyashiro et al., 1969).

Sulla base del loro chimismo e delle loro caratteristiche tessiturali e mineralogiche, si può prospettare per le eclogiti di Vara una derivazione da filoni o filoni-strato di ferrogabbri intrusi nella originaria massa peridotitico-lherzolitica

(*) Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università degli Studi di Milano - Via Botticelli, 23 - 20133 Milano.

(**) Lavoro eseguito nel quadro degli *Studi Geodinamici sul Gruppo di Voltri*, finanziati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche.

del Gruppo di Voltri e metamorfosati durante fasi successive del metamorfismo alpino.

La trasformazione del gabbro è iniziata nelle condizioni di alta pressione e bassa temperatura della facies degli scisti blu, con la formazione di cloromelanite (\pm glaucofane) che ha sostituito la primitiva augite magmatica; un successivo rialzo termico, con pressione rimasta elevata, ha prodotto la cristallizzazione del granato attorno alla cloromelanite con associato rutilo e omfacite. A questa facies di scisti blu di alta temperatura segue una facies di scisti verdi di alta pressione che porta alla cristallizzazione di anfibolo barroisiteico attorno al granato, rapidamente seguita dall'associazione actinolite \pm granato \pm albite \pm albite \pm epidoto, tipica della facies degli scisti verdi e comune nelle fasi finali del metamorfismo in facies a scisti verdi della Zona Pennidica delle Alpi.

ABSTRACT. — *The amphibole-eclogites in serpentinite of the Vara Valley (Voltri Group).*

Eclogites occur as layers up to 100 m thick within the serpentinites of the Vara Valley. They have a domelike structure parallel to that of the enclosing rocks, and belong to three major groups interrelated by continuous transitions:

a) flaser-eclogites, where large crystals of chloromelanite, sometimes enclosing relics of the primary magmatic pyroxene, are surrounded by coronas formed by garnet + omphacite, garnet + barroisite then garnet + actinolite. Merging of nearby coronas gives a honeycomb pattern;

b) « breccia »-like eclogites, made up of fragments consisting of euhedral garnet + glaucophane in a saturated matrix of chloromelanite + ilmenite or rutile. The fragments are connected together by diablastic actinolite (\pm garnet \pm albite \pm quartz);

c) retrograded eclogites, an heterogeneous group formed by albite-amphibolites, albite-epidote-amphibolites, quartz-epidote-amphibolites, all of eclogitic derivation.

Chemically all three groups are similar and show a marked ultrafemic composition, matching however Niggli's magmatic types. These eclogites are poorer in SiO_2 and much richer in TiO_2 and FeO_{tot} than all the others described so far: their chemistry resembles that of the ilmenite-rich gabbros associated with the Tuscan ophiolites (P. Brotzu and L. Morbidelli, 1968), as well as the ferrogabbros described by A. Miyashiro et al. (1969) from the Mid-Atlantic Ridge. On the basis of their chemistry and their textural and mineralogical characteristics the eclogites of the Vara Valley are believed to be the equivalents of ferrogabbro sills intruded into the tectonic peridotites of the Voltri Group and metamorphosed during the polyphasal alpine metamorphism. Chloromelanite (\pm glaucophane) formed during an early, low-temperature blueschist phase substituting paracrystally for the augite phenocrysts of the gabbro; then during a high-temperature blueschist stage of metamorphism the eclogite proper assemblage omphacite + garnet \pm rutile formed as a corona around chloromelanite. Release of pressure and entry of water under isothermal conditions produced the garnet + blue-green amphibole assemblage, rapidly followed by the actinolite \pm garnet \pm albite \pm albite \pm epidote \pm quartz assemblage, a common one in the late stage greenschist metamorphism of the entire Pennidic Zone of the Alps.

Introduzione.

Lo « sviluppo straordinario delle eclogiti nell'alta Valle dell'Olba » (S. FRANCHI, 1893 p. 67), ed in particolare nel settore del bacino noto come Valle di Vara, è segnalato fin dai primordi dello studio geologico del Gruppo di Voltri. Ad esso però non fa riscontro un analogo sviluppo degli studi geologico-petrografici, cosicchè, se per frequenza ed estensione le eclogiti del Gruppo di Voltri sono probabilmente le più importanti di tutto il dominio pennidico alpino, per approfondimento scientifico esse sono di gran lunga in secondo piano rispetto, per esempio, alle eclogiti di Zermatt magistralmente descritte da P. BEARTH (1959, 1967, 1973, i.a.).

Proprio a questo autore, anzi, sono dovuti gli unici dati chimico-petrografici dettagliati finora pubblicati sulle eclogiti di Vara (1967). Sparse, brevi descrizioni ora macroscopiche ora microscopiche sono inoltre contenute nei lavori di G. ROVERETO (1893; 1939 p. 357-359), S. FRANCHI (1900 p. 149-151), S. CONTI (1944 p. 19-22) e G. PASQUARÈ (in: A. ALLASINAZ *et al.*, 1971 p. 42-48). Rari dati petrografici e petrochimici di confronto esistono anche su alcune eclogiti affioranti nella massa ofiolitica di Capanne di Marcarolo (S. FRANCHI, 1920; C. PERRIER, 1924; G. PASQUARÈ, 1958 p. 190-192).

La Valle di Vara è stata assunta dai rilevatori della seconda edizione del F° 82 « Genova » della Carta d'Italia come zona tipo di una unità formale denominata « membro delle anfiboliti eclogitiche di Vara », concetto poi ribadito nelle note illustrative allo stesso foglio (A. ALLASINAZ *et al.*, 1971 pp. 45-46) ma non ancora adeguatamente documentato nè dal punto di vista petrografico nè da quello petrogenetico.

Nel presente lavoro, condotto nell'arco dal 1969 al 1973 e che si vale anche dell'esperienza acquisita sulle eclogiti di altre zone del Gruppo di Voltri, non solo si vuole dare una adeguata illustrazione petrografica e petrochimica ad un'unità formale di elevato interesse scientifico, ma ci si propone anche, illustrandone l'evoluzione metamorfico-strutturale caratteristica, di contribuire alla conoscenza del processo di eclogitizzazione su litotipi chimicamente ben diversi dalle ben note eclogiti del metamorfismo regionale.

Situazione geologica.

Le eclogiti della Valle di Vara sono interamente contenute nelle serpentine dell'unità tettonica Monte Beigua-Urbe, una delle tre unità tettoniche in cui possono essere distinte le ultramafiti metamorfiche del Gruppo di Voltri (F. FORCELLA, G. PASQUAREÈ e P. M. ROSSI, in preparazione).

Questa unità è troncata bruscamente a Nord da una faglia di importanza regionale denominata « linea Sassello-M. Colma » che interrompe la distribuzione delle rocce eclogitiche tagliandone in discordanza anche i banchi. A Sud essa è limitata da un fascio di faglie decorrente da Ellera ad Arenzano connesse a movimenti tra il Gruppo di Voltri e il Cristallino Savonese. L'unità M. Beigua-Urbe è probabilmente la più profonda tra le tre unità tettoniche di cui è costituito il Gruppo di Voltri e sembra estendersi, attraversando il diaframma di calcescisti e metabasiti della zona Voltri-Rossiglione, anche all'apice nord-occidentale della massa ofiolitica orientale, nella zona attorno ai Laghi di Lavagnina.

Tale massa ofiolitica è litologicamente caratterizzata da serpentiniti antigoritiche (S. CHIESA, in preparazione), prevalentemente tabulari, sovente con una marcata scistosità pian parallela che a luoghi ne permette l'estrazione industriale per lastre tegolari (ad esempio proprio presso il ponte di S. Pietro d'Olba, vicinissimo agli affioramenti di alcune delle eclogiti studiate). L'unità inoltre si distingue litologicamente dalle circonvicine per la frequente presenza di intercalazioni di grossi banchi di composizione appunto eclogitica (sostituite altrove da prasiniti e gabbri) e dalla diffusione di zone rodingitiche generate in almeno due fasi metamorfiche.

Strutturalmente l'unità M. Beigua-Urbe mostra una pronunciata conformazione a duomo, riconoscibile specie sui lati orientale e occidentale per la giacitura dei banchi serpentinitici, e al centro per quella delle intercalate eclogiti.

I banchi di eclogiti, potenti da pochi decimetri a un massimo di circa 100 m, sono concordanti con l'orientazione della scistosità di campagna e sfumano talora in lingue anche multiple nelle serpentine incassanti.

Quasi sempre però sono presenti locali distorsioni meccaniche (fratture, breccie), sovente accompagnate da fasci di asbesto e patine di clorite, da porre in ovvia relazione con la ben diversa competenza delle due rocce.

Internamente all'eclogite le sollecitazioni meccaniche sono evidenziate da un doppio sistema di fratture che isolano grossi prismi, passanti per alterazione a blocchi tondeggianti. Le fratture sono sede di notevoli trasformazioni anfibolitiche, estese per parecchi cm, e sono coperte da clorite, asbesto e talco. In alcuni banchi sono presenti fratture tapezzate di hessonite e titanite in eri-

stalli anche centimetrici, attornati da clorite della varietà gavite: si tratta evidentemente di rodingiti di genesi molto tardiva.

Rodingiti in banchi e lenti, potenti fino a 30 cm e costituiti quasi totalmente da granato, intersecano alcuni filoni lungo l'asta del T. Orba. Alcune sono fresche ed indeformate, altre presentano una chiara scistosità interna parallela a quella delle serpentinite: si tratta probabilmente di filoni intrusivi in epoca tarda del metamorfismo, prima però che fossero completamente terminati gli assestamenti meccanici e metamorfici della massa M. Beigua-Urbe.

L'asserita presenza alla periferia delle masse maggiori di eclogiti di « una compenetrazione intrusiva nelle serpentinite che talvolta assume aspetto filoniano » (S. CONTI, 1944, p. 30) non ha potuto trovare conferma diretta nelle nostre osservazioni di campagna; tanto meno d'accordo ci trova quindi l'interpretazione che le eclogiti derivino da una doppia intrusione magmatica, una pirossenitica ed una di tipo gabbroide basico, con fenomeni di contatto termico (S. CONTI, 1944, p. 32). Tutti i contatti discordanti osservati in campagna tra eclogiti e serpentinite ci sono parsi tipicamente meccanici e posteriori alla fase petrogenetica principale di entrambe le rocce, almeno nello stadio metamorfico della loro evoluzione, mentre gli asseriti fenomeni di contatto termico possono in realtà essere zone di reazione di bassa temperatura di tipo rodingitico.

Tuttavia le condizioni di esposizione della Valle di Vara non sono tra le migliori: comuni sono le coltri detritico-colluviali e profonde le alterazioni in posto, per cui le eclogiti si sfasiano in blocchi dai contorni arrotondati. In parecchi casi sorge addirittura il dubbio se certi livelli di ciottoloni (5-100 cm) non siano altro che i relitti di un paleoalveo torrentizio abbandonato dall'Olba.

La maggior parte delle osservazioni e quasi tutta la campionatura è limitata agli intagli freschi delle numerose nuove strade di cui si è arricchita la zona dopo il 1968 ed inoltre al letto dei torrenti. Di conseguenza è, in linea di massima, possibile che ci siano sfuggiti affioramenti particolari atti, forse, a suffragare alcune delle osservazioni di S. CONTI (1944), le cui indagini geologiche furono eseguite in condizioni ben diverse.

Descrizione petrografica.

Le eclogiti di Vara sono rocce compatte, molto pesanti, in massa di colore verde scuro fino a quasi nero, ma screziate, all'osservazione ravvicinata, di verde smeraldo e rosso carminio con frequenti sciami giallo oro. Sono comunemente percorse da minute fratture sulle quali si dispongono aghi di actinolite diablastica verde brillante e più rara-

mente spalmature cloritiche. A tratti si osservano anche plaghette millimetriche violacee di un lustro metallico caratteristico.

Macroscopicamente si possono riconoscere almeno tre varietà litologiche. La più diffusa presenta una tessitura a flaser definita da grossi cristalli di pirosseno di un verde da chiaro a scuro sovente in aggetto sulle superfici di alterazione; attorno ad essi si dispongono fluidalmente letti sottili e discontinui, spesso con disposizione zonata, di



Fig. 1. — Facoidi di cloromelanite (Cpx-I), fratturato con una frangia di glaucofane nella sutura, circondato da una corona di cristallini di granato associati ad anfibolo barroisitico, passante esternamente ad una associazione actinolite + quarzo + epidoto. Solo polarizzatore; 25 ingr. lineari. (Camp. 69-GV-161).

granato rosso, di anfibolo verde (anch'esso variabile da chiaro a scuro) e di epidoto giallastro. Questi letti sono costellati da lenticelle e sciami di pirite giallo oro e rutilo violaceo.

Nella parte Sud dell'area esaminata, in direzione del mare, queste rocce passano inavvertibilmente a litotipi più ricchi di anfibolo, generalmente diablastico e di colore scuro. Nei tipi più trasformati compaiono anche chiazze biancastre o singoli cristallini tondeggianti di pla-

gioclasio: da eclogiti parzialmente anfibolitizzate si passa cioè a prasiniti anfiboliche, in cui sono a tratti ancora contenuti relitti uralitizzati di pirosseno. Sul f° Genova esse sono state distinte con un colore particolare dove maggiormente sviluppate; tuttavia esse compaiono anche in zone più ristrette nella parte centrale del complesso eclogitico, limitatamente a banchi minori, sottili, cosparsi di prismetti vitrei di zoisite e di aggregati opachi o dorati. Al margine di alcuni grossi banchi, in transizione con le precedenti, sono rocce a tessitura chiaramente zonata, definita da alternanze millimetriche abbastanza continue di letti verdi \pm scuri pirossenico-anfibolici, rossi granatiferi e giallastri epidotici. Anch'esse sono sempre percorse da vene trasverse ricche di anfibolo diablastico.

Un tipo litologico caratteristico, ma piuttosto raro, è stato osservato in particolare nei dintorni immediati di Vara inf.: esso è contraddistinto da una tessitura brecciata ad elementi costituiti da una eclogite verde chiara in cui sono sparsi minuti individui idiomorfi di granato senza alcun accenno a concentrarsi in letti; questi elementi sono cementati da bande anfibolico-granatifere più scure e ricche di cristallini di pirite.

Descrizione microscopica.

La struttura a flaser o facoidale è la struttura tipica della maggioranza delle eclogiti esaminate. Cristalli singoli di pirosseno (o un aggregato mosaico di evidente derivazione da un unico cristallo) di forme tozze (2-6 mm), più o meno arrotondati o allungati alle estremità, spiccano in una matrice a grana minuta (0,05-0,5 mm) costituita da un pirosseno di seconda generazione, da granato idiomorfo, rutilo, pirite e feltri di anfibolo. Attorno al facoide pirossenico questi minerali sono quasi sempre in disposizione zonata concentrica formando una corona in cui si susseguono in senso centrifugo: granato \pm rutilo \rightarrow clinopirosseno II + granato e \rightarrow anfibolo solo. La presenza di queste strutture coronitiche era già stata riconosciuta da B. LASNIER (1970 p. 97) in una eclogite di « Le Pian Palludo » (= Piampaludo). Nelle eclogiti meno tettonizzate le corone attorno ai flaser di Cpx-I sono a contatto in modo che gli sciami di granato passino dall'una all'altra senza interruzione, producendo così una caratteristica tessitura a nido d'ape con i granati più o meno concentrati nella matrice essenzialmente an-

fibolico-pirossenica. Esternamente la corona passa inavvertibilmente a feltri o ad aggregati appena orientati di composizione essenzialmente anfibolica in cui possono essere presenti tanto Cpx-II quanto granato, zoisite, epidoto, rutilo, pirite ecc.

Nelle varietà eclogitiche a tessitura listata, frequenti soprattutto alle salbande dei banchi, le evidenze di una struttura coronitica sono

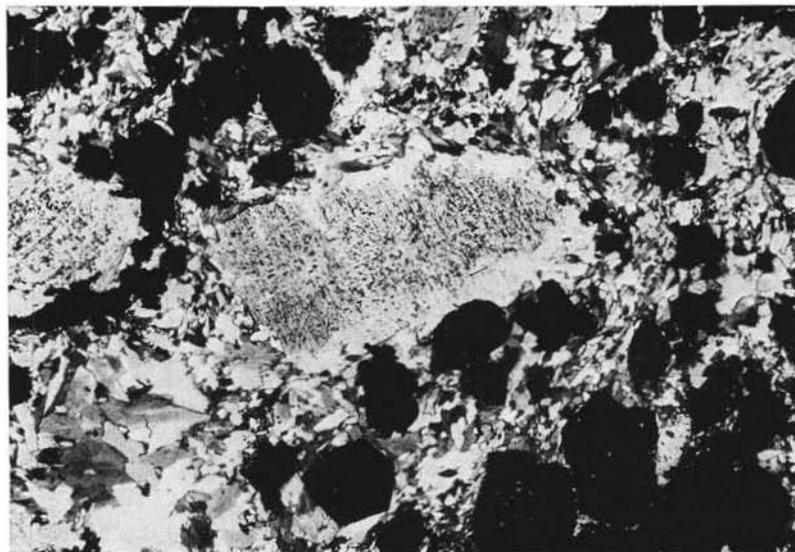


Fig. 2. — Facoide di cloromelanite (Cpx-I), torbida per inclusioni minute di ilmenite e ben sfaldata, passante al bordo in onfacite (Cpx-II) limpida; essa è circondata da granato subidiomorfo immerso in una plaga di fondo minuta di anfibolo barroisiteo ed onfacite. Nicols inerociati; 25 ingr. lineari. (Camp. 69-GV-157).

saltuarie: tuttavia è ancora possibile, in alcuni casi, riconoscere come i sottili letti monomineralici discontinui alternanti a costituire le liste derivino dallo stiramento di originarie corone.

Fanno eccezione alla struttura ora descritta i tipi litologici macroscopicamente definiti « a tessitura brecciata » (p. 861). Negli elementi di questa breccia i pirosseni fenoblastici sono rari; prevalgono individui idiomorfi singoli di granato di medie dimensioni (0,4-2 mm) immersi in un aggregato disorientato di clinopirosseno in individui tozzi e addentellati di dimensioni un po' minori (0,2-0,6 mm). Attorno a

questi elementi della « breccia » si dispongono, fluidalmente o in aggregati diastiblastici, gli anfiboli, con qualche granato relitto, abbondante metallo opaco e quarzo interstiziale.

Il *clinopirosseno* che forma i facoidi (Cpx-I) si presenta verdastro, sempre ben sfaldato, talora geminato sec. (100) anche polisinteticamente, ma più normalmente scomposto in blocchi debolmente ruotati con contorni addentellati; eccezionalmente cristallini di granato o fibre di anfibolo si insinuano in queste suture. A nicol incrociati il Cpx-I presenta una caratteristica estinzione anomala a chiazze, tipica delle cloromelaniti alpine (S. FRANCHI, 1900 p. 128-130; 1901; A. MOTTANA, 1971 p. 144), ben visibile soprattutto nelle sezioni subbasali. Questo Cpx-I deriva da una sostituzione paramorfica di una augite magmatica, di cui conserva al suo interno chiazze fortemente corrose ⁽¹⁾, ridotte più comunemente solo a nubi torbide di opachi a disposizione lobata al nucleo dei cristallini (*clouded pyroxenes* di B. LASNIER, 1970 p. 57-58 e fot. 2 p. 206). In alcuni casi eccezionali la sostituzione della augite magmatica con la cloromelanite è avvenuta rispettando sia la doppia sfaldatura diallagica (100) e (110) sia (in 69-GV-26) gli smistamenti orientati della prima, costituiti da minutissime lacinie indeterminabili, di alta birifrazione ed estinzione retta, con allungamento negativo giacenti sulle sfaldature (100), mentre parallelamente a (110) si hanno fibrille di anfibolo.

Le proprietà ottiche del Cpx-I sono alquanto omogenee: $Z^{\wedge}c = 36^{\circ}-40^{\circ}$, $2V_z = 64^{\circ}-70^{\circ}$; il pleocroismo è osservabile già su sezioni normali, ma è ben determinabile solo su sezioni spesse:

- X giallastro
- Y verdiccio più o meno marcato
- Z verde smeraldo-azzurro

Caratteristiche tessiturali simili, ma colore un poco meno intenso, mostra il pirosseno suturato che avvolge i granati idiomorfi

⁽¹⁾ In un campione studiato da BEARTH (1967, pp. 77-78) lo stato di conservazione di questo pirosseno era talmente buono da permetterne uno studio ottico completo: PVB 56 (Vara inf.) n_{α} 1.690; n_{β} 1.698; n_{γ} 1.716; $A = 0.026$; $2V_{\alpha} 61^{\circ}(54^{\circ}-70^{\circ})$; $c/n_{\gamma} 45^{\circ}$, cioè augite.

delle eclogiti a struttura brecciata: è quindi anch'esso una cloromelanite ⁽²⁾.

Al bordo e al di fuori dei facoidi ⁽³⁾ il Cpx-I è sostituito da un Cpx-II di dimensioni molto minori (0,2-0,5 mm), in aggregati isoorientati o diastiblici concresciuti con il granato a grana fine. Esso non

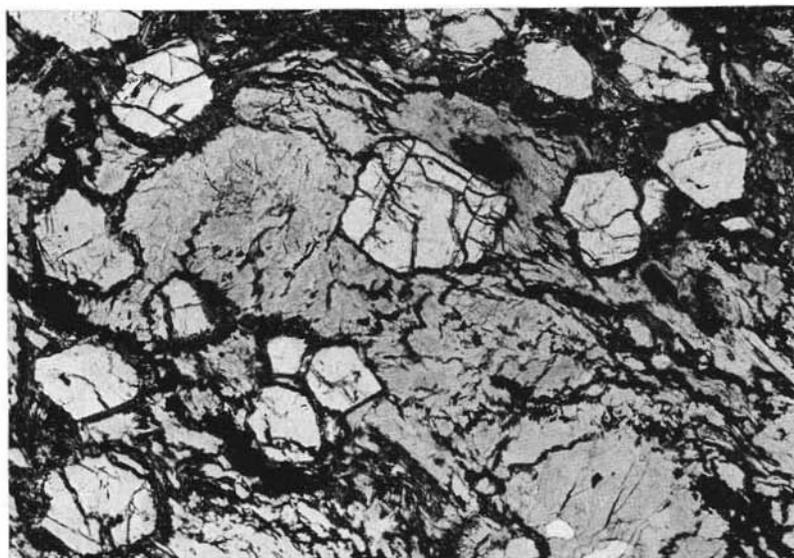


Fig. 3. — Granato in cristalli isolati subidiomorfi contenuti in un aggregato saturato di cloromelanite. I cristalli di granato sono circondati da un sottile bordo di actinolite, all'infuori dell'unico cristallo centrale, privo di bordo di reazione perchè interamente contenuto in un'unica plaga di pirosseno. Solo polarizzatore; 25 ingr. lineari. (Camp. 69-GV-24).

presenta pleocroismo, ma solo deboli sfumature verdognole e non mostra neppure colori di interferenza anomali in prossimità della estinzione. Le proprietà ottiche ($Z^c = 40^\circ-42^\circ$, $2V_z = 70^\circ-75^\circ$) stanno ad indicare un termine intermedio della serie diopside-giadeite povero di acmite (onfacite).

⁽²⁾ La frequenza di cloromelanite nelle eclogiti di Vara era già stata notata da P. BEARTH (1976, p. 81) che ne aveva fatto un carattere distintivo da altre eclogiti alpine.

⁽³⁾ Raramente certi facoidi sono interamente trasformati in aggregati fascicolati di Cpx-II.

Anche di *granato* sono presenti, nelle eclogiti analizzate, almeno due tipi strutturali, che però non sono mai coesistenti nella stessa sezione. Il più comune, caratteristico delle eclogiti a flaser, è un granato carminio in massa e roseo pallido in sezione sottile, privo di inclusi, che compare in una corona di minuti cristallini subidiomorfi al bordo della cloromelanite. La coalescenza di corone produce una caratteristica struttura a nido d'ape, talora visibile anche macroscopicamente. Nell'ambito di una stessa corona, forma e dimensioni dei granati possono variare: quelli più vicini al pirosseno sono a stretto contatto tra loro, sono più grossi e mostrano talora forme cubiche; quelli più esterni sono invece più piccoli, meno ben formati (prevale la forma rombododecaedrica) e progressivamente dispersi nella matrice anfibolica o pirossenica.

Nelle eclogiti a struttura brecciata il granato è porfiroblastico rispetto al pirosseno, pur rimanendo di dimensioni modeste (0,4-2 mm). Si tratta di cristalli isometrici ben formati, spesso fratturati, poveri di inclusioni, fuorchè al nucleo dei cristalli maggiori dove si osserva qualche prisma di glaucofane; essi sono costantemente circondati da un sottile bordo chelifitico costituito da actinolite verde brillante che si insinua anche nelle fratture.

Mentre il granato delle eclogiti a flaser è chiaramente tardivo rispetto alla cloromelanite e appare sinmetamorfico rispetto al Cpx-II, quello delle eclogiti brecciate è cristallizzato tutto in sincronia con il pirosseno. Relitti di granato fortemente corrosivo sono presenti nelle bande anfibolitizzate che tengono insieme gli elementi della « breccia ».

L'*anfibolo* è il terzo componente in ordine di frequenza, talora così abbondante da essere del tutto prevalente, ma non fa parte, nella maggior parte dei casi, della paragenesi eclogitica primaria. Di esso si possono distinguere parecchie varietà. Il meno comune, ma il più significativo dal punto di vista petrogenetico, contenuto negli elementi delle eclogiti brecciate, è un *glaucofane* chiarissimo, presente sotto forma di prismi tozzi (0,1-0,8 mm) eresiuti in equilibrio col granato e col clinopirosseno nei quali è spesso contenuto. Si tratta di un glaucofane tipico con le seguenti caratteristiche ottiche:

X	giallastro	$Z^c 2^\circ$
Y	lilla	$2V_x 25^\circ-30^\circ$
Z	azzurro cielo	P.A.O. (010)

Esso è costantemente alterato al bordo in un fine aggregato verde più marcato di actinolite simile a quella che diablasticamente cementa i frammenti della « breccia » e che nell'insieme ne rispetta l'originaria forma prismatica idiomorfa. Sono indenni da alterazione solo alcuni cristalli contenuti nel granato.



Fig. 4. — Plaga di avanzata retrocessione in facies di scisti verdi, costituita da relitti di granato corrosi da actinolite e quarzo, nel cui interno si notano plaghette grigiastre di vermiculite. Solo polarizzatore; 25 ingr. lineari. (Camp. 69-GV-20).

L'anfibolo più comune, costituente più esterno delle corone in aggregati fascicolati passanti a diablastici nelle zone completamente prive di relitti della paragenesi eclogitica, è un *termine barroisitico* (0,2-0,6 mm) dai colori azzurrognoli smorti, poco pleocroico con

X	incoloro	$Z^{\wedge}c$	14°-17°
Y	verdolino	2V _x	80°-85°
Z	verde pallido con toni azzurrognoli		

Esso è frequentemente circondato, specie al contatto con il granato, da un bordo di *actinolite* verde brillante, pleocroica con

X	giallo	$Z^{\wedge}c$	14°-15°
Y	verde smeraldo	2Vx	80°-85°
Z	verde debolmente azzurro		

che rappresenta l'ultimo prodotto della anfibolitizzazione delle eclogiti a flaser ed è del tutto simile alla actinolite che cementa gli elementi e margina i porfiroblasti di granato nelle eclogiti brecciate.

Anfibolo verde-azzurro del primo tipo, con bordi verdi del secondo, compare anche in aghi (0,2-1 mm) isolati di crescita statica che attraversano in tutte le direzioni i flaser di Cpx-I e la stessa matrice listata alle salbande di alcuni corpi eclogitici.

Fra i tipi strutturali di incerta collocazione cronologica vanno infine citati gli smistamenti di anfibolo incolore giacenti sui piani (110) di alcune cloromelaniti, probabilmente sinmetamorfici con loro, e una seconda generazione di anfibolo decisamente glaucofanico, presente nella matrice di alcune eclogiti a flaser sotto forma di prismi peccioloblastici nei confronti del granato ma alterati marginalmente in actinolite verde. Essi presentano colori un po' meno vivaci del glaucofane-I:

X	incolore	$Z^{\wedge}c$	4°
Y	lilla pallido	P.A.O.	(010)
Z	azzurrognolo	2Vx	40°

e possono esser tentativamente considerati rappresentare un equivalente locale un po' più sodico della barroisite, di cui mostrano di occupare la stessa situazione nella sequenza paragenetica delle eclogiti relative.

Ilmenite e rutilo sono i principali accessori di queste rocce, presenti tanto come granuli sparsi in tutte le sezioni, quanto come aggregati e concrescimenti di notevole interesse petrogenetico. Si tratta di aggregati di forma ameboide interposti tra i grossi facoidi pirossenici delle eclogiti a flaser, chiaramente derivati da un originario granulo interstiziale. In essi il nucleo è costituito in genere da ilmenite, la periferia (più o meno larga) da granuli di rutilo allotriomorfo a forma di corona di reazione. Anelli discontinui di rutilo si trovano anche attorno ai facoidi pirossenici a formare il primo strato della corona, in stretta associazione con il granato.

Un altro tipo di aggregato metallico molto significativo, in forma di reticolato a maglia rombica, è costituito da minutissimi aghi e lamelle di rutilo e ilmenite in una pasta bianca alto-riflettente definibile come «leucoxeno»: esso deriva sempre da un minerale interstiziale e ricorda molto da vicino gli smistamenti per raffreddamento di magnetite titanifera descritti da P. RAMDHOR (1971), a conferma delle osservazioni di S. BANNO e D. H. GREEN (1968 p. 31) sulla instabilità della magnetite primaria in eclogiti di bassa temperatura e alta pressione.

La *pirite* è sparsa nelle sezioni in granuli subidiomorfi, concentrati in particolare nelle zone anfibolitizzate. Eccezionale la presenza di *apatite*, probabilmente primaria.

TABELLA 1. — *Proprietà roentgenografiche dei minerali della eclogite a flaser 69-GV-10.*

Minerali	$a_0, \text{Å}$	$b_0, \text{Å}$	$c_0, \text{Å}$	$\beta(^{\circ})$	$V(\text{Å}^3)$
Granato	11.578(2)				1552.3
	11.603(1)				1562.1
Pirosseno	9.644(3)	8.818(3)	5.269(2)	106.74(2)	429.1
Anfibolo	9.817(8)	17.988(16)	5.317(5)	104.52(4)	908.9
Epidoto	8.876(3)	5.605(2)	10.153(4)	115.46(2)	456.0
Rutilo	4.592(3)		2.960(2)		62.4
Pirite	5.417(5)				159.0

N.B. - La cifra in parentesi costituisce l'errore riferito all'ultima decimale.

Un altro minerale accidentale di possibile origine primaria è la *mica bianca* presente in rare laminette non meglio determinabili, corrose e smembrate da una alterazione secondaria che produce soprattutto anfibolo azzurrognolo. Più frequente è una mica bianca quasi uniasica (fengite) associata ad epidoto pistacite e quarzo nelle eclogiti ad avanzato grado di trasformazione.

L'*epidoto* è un componente praticamente assente nelle parti meno trasformate delle eclogiti, come ad esempio negli elementi delle ecolo-

giti brecciate, ma può diventare abbondante nelle eclogiti a flaser. Compare sostanzialmente in due varietà: come idioblasti nei giunti di distensione, in cui è associato a quarzo albite e clorite; come aggregati di pecloblasti cribrosi a contorno suturato, che formano liste più o meno continue alternanti con quelle granatifere e anfiboliche nelle parti esterne delle corone là dove queste raggiungono una notevole estensione. La composizione è variabile, alternando i vivaci colori della pistacite con quelli grigio-azzurrognoli delle clinzoisite. Zoisite propriamente detta è stata osservata solo nella anfibolite granatifera di derivazione eclogitica sulla strada di Marasca (69-GV-152): è in cristalli subidiomorfi visibili anche ad occhio nudo, a giunti tripli con il granato, ma fratturati e con le fratture riempite da barroisite e da actinolite diablastiche.

Quarzo, *plagioclasio* albitico ($An_{0.2}$), *clorite* sono prodotti secondari della anfibolitizzazione di queste eclogiti, assieme a più scarsi e irregolarmente diffusi prodotti come *vermiculite*, *titanite*, *calcite* ed aggregati finissimi, feltrati, non meglio definibili che coi nomi di *simplectite* e *chelifite*, presenti solo in rare sezioni, specie alle salbande dei banchi maggiori soggette a percolazioni recenti di acque ad alto contenuto salino provenienti dalle vicine serpentine.

A meglio caratterizzare i minerali di queste rocce è stata eseguita la separazione isopiometrica dei componenti maggiori di un tipico campione con tessitura a flaser, che sono stati studiati in dettaglio ai raggi X (Tabella 1).

Anche in mancanza di dati chimici, possibili su questi minerali solo con la microsonda, si può riconoscere che il Cpx-I è un termine monoclinico della variante onfacitica IIa di I. V. GINZBURG e G. A. SIDORENKO (1964), con una cella compatibile con quella della cloromelanite e contenente 28% Jd, sec. la curva determinativa di A. D. EDGAR *et al.* (1969) oppure 26-30% con le curve determinative rapide di A. MOTTANA (1969); il granato, malgrado la sua piccolezza e apparente omogeneità ottica, è risultato marcatamente zonato, pur nei limiti di miscele almandino-spessartina con prevalenza dei termini più ricchi di ferro ⁽⁴⁾ in base al rapporto di intensità tra i picchi; l'*epidoto*, molto

⁽⁴⁾ Analisi preliminari dei granati delle eclogiti «brecciate» ottenute con la microsonda elettronica confermano trattarsi di miscele eccezionalmente ricche in almandino (FeO = 32-34%), con subordinata grossularia (CaO = 6-7%), ma povere invece di spessartina e piropo (MnO e MgO < 2%). Sono dati in ottimo accordo con l'origine di bassa temperatura di queste eclogiti (tipo C di R. G. COLEMAN *et al.*, 1965).

omogeneo, è una clinzoisite moderatamente ricca in Fe^{3+} (numero di atomi di Fe^{3+} per 25 ossigeni 0.08 ± 0.04 sec. G. MYER, 1966); l'*anfibolo*, inomogeneo, appare, nel concentrato studiato, un termine intermedio tra actinolite e barroisite di tipo carintina (A. MOTTANA e A. D. EDGAR, 1970) ma è probabile che si tratti di una determinazione solo fittizia dovuta alla sovrapposizione di riflessi delle due varianti chimiche estreme succitate.

Studio modale.

Di tutte le eclogiti analizzate e di parecchie altre è stata eseguita l'analisi modale contando da 800 a 1600 punti ad intervalli di $0,5 \times 1$ mm, così da consentire una valutazione degli elementi maggiori presenti nella sezione con una precisione di $\pm 3\%$ (L. VAN DER PLAS e A. C. TOBI, 1965). I risultati sono riportati in Tabella 2 e rappresentati graficamente nella fig. 5. I campioni studiati sono proiettati in termini di granato, clinopirosseno (Cpx-I + Cpx-II) e anfibolo (barroisite + actinolite + glaucofane): un diagramma di questo genere è atto a dare una rappresentazione immediata del grado di retrocessione rispetto alla paragenesi eclogitica fondamentale, in quanto, a parte lo scarso glaucofane delle eclogiti «brecciate», tutto l'anfibolo è da considerarsi cristallizzato durante fasi tardive del metamorfismo in facies di seisti verdi.

Va da sè che le eclogiti esaminate solo in rari casi ottemperano alla condizione posta da H. LANGE (1963) per l'uso del nome eclogiti p.d. ($> 50\%$ Cpx + Gar): nella maggior parte dei casi si tratterebbe di «eclogiti anfibolitizzate», «anfiboliti eclogitiche» e «anfiboliti eclogitogene». Tuttavia, nell'applicazione del nome eclogite, ci sembra preferibile seguire l'esempio di altri autori (p. es. R. G. COLEMAN *et al.*, 1965), che chiamano eclogite ogni roccia in cui sia presente, anche in quantità minori, l'associazione paragenetica granato + pirosseno sodico, proprio per mettere in evidenza che lo stadio di alta pressione ne costituisce una parte significativa della storia petrogenetica.

Oltre che delle eclogiti analizzate, è stata eseguita l'analisi modale sistematica di due serie di campioni tratti da corpi unitari (Tabella 3), la prima raccolta a distanze crescenti nel banco maggiore affiorante lungo la strada che costeggia il bacino artificiale di Vara (campioni 69-GV-192 a 202), in parte anche analizzati chimicamente (vedi oltre), la seconda ottenuta su un solo campione a mareata tessitura zonata proveniente da un banco sottile affiorante alla progr. 10,330 della strada per il Passo del Fajallo; questo è stato studiato su tutta la sua sezione trasversale di 20 cm tramite 7 sezioni sottili contigue.

Nel diagramma fig. 6 relativo al banco maggiore appare chiaro non solo l'intercalarsi nell'eclogite di sottili scaglie di serpentinoscisti puri o con taleo

(196 e 198), ma anche la presenza di zone fortemente retrocesse fino a complete anfiboliti albitiche (200) oppure prasiniti arricchite in quarzo secondario (199). E' d'altra parte ancora più significativa la brusca variazione di tessi-

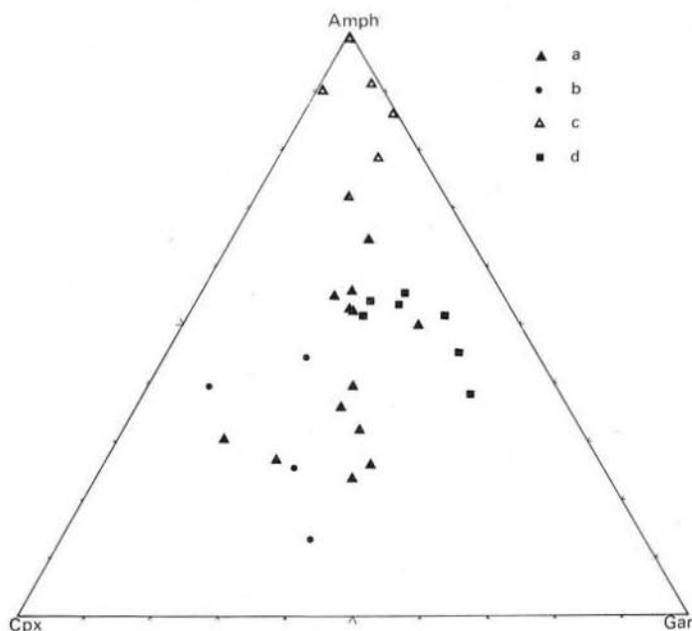


Fig. 5. — Proiezione delle analisi modali (tab. 2 a, b, c, e 3 a, b) in termini dei tre soli componenti Cpx (cloromelanite + onfaeite) - Gar - Amph (glaucofane + barrosite + actinolite). Questo diagramma dà una rappresentazione del grado di trasformazione in facies di scisti verdi delle eclogiti di Vara poiché l'anfibolo in esse contenuto (ad eccezione del glaucofane delle eclogiti « brecciate ») è secondario rispetto alla paragenesi eclogitica. Il campione meno retrometamorfosato è 69-GV-192.

Spiegazione dei simboli: a. eclogiti a flaser; b. eclogiti « brecciate »; c. eclogiti « retrocesse »; d. serie 69-GV-158 a → g.

tura che si osserva tra i campioni 192 (salbanda settentrionale) e 193, raccolto a 4 m dal precedente dopo una sottile fascia di scisti serpentinosi: il primo è una eclogite a tessitura debolmente zonata, con granati piccoli, ma idiomorfi e porfiroblastici rispetto al pirosseno; il secondo è una tipica eclogite a flaser con belle strutture coronitiche. Questa variazione suggerisce che 192 è il prodotto di ricristallizzazione di una roccia originariamente a grana fine,

TABELLA 2a. — *Analisi modali delle eclogiti a flaser.*

	69-GV-10	69-GV-11	69-GV-20	69-GV-26	69-GV-157	69-GV-159	69-GV-161	69-GV-169	69-GV-176	69-GV-193	69-GV-197	
Gar	21.0	28.8	33.1	36.7	31.0	12.7	26.4	10.1	15.7	15.8	35.2	22.1
Cpx I	12.2	21.9	5.2	21.4	13.7	17.4	17.1	10.2	16.0	8.0	8.8	0.5
Cpx II	8.7	8.9	8.6	6.8	14.7	5.0	2.5	—	—	10.6	22.6	6.6
Barr	23.8	30.1	29.5	18.3	25.1	—	17.1	2.4	4.3	—	15.8	—
Act	22.2	2.3	17.1	5.6	3.3	23.7	16.8	31.4	30.0	29.3	—	23.9
Ru	3.3	4.5	1.6	6.5	6.1	4.0	6.0	0.2	—	3.8	5.1	3.7
Tit	0.1	0.6	1.7	—	0.2	0.5	2.9	0.8	0.7	0.1	—	0.5
Qz	3.2	0.1	0.8	1.6	0.1	4.6	2.9	2.6	0.8	5.2	1.8	3.1
Zois/ep	1.2	0.6	0.5	—	1.6	3.1	3.1	13.8	11.8	13.4	—	0.2
Op	0.7	1.9	0.4	0.3	3.2	7.8	2.3	10.1	8.8	2.8	1.8	3.7
Alter Cpx	—	—	—	2.9	—	19.3	5.7	—	—	—	3.2	34.3
Alter Act	—	—	—	—	—	—	—	18.4	5.9	11.5	5.7	—
Anat	2.9	0.2	1.0	—	0.5	0.2	—	—	5.9	—	—	—
Ap	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	tr	1.0
Verm	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ms	—	—	—	—	0.4	—	—	—	—	—	—	—
Chl	0.4	0.1	—	—	—	1.7	—	—	—	—	—	0.4
Pl	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ρ (g/cm ³)	3.5	3.6	3.6	3.6	3.5	n.d.	n.d.	3.6	3.4	3.4	3.3	3.2

TABELLA 2b. — *Analisi modali
delle eclogiti brecciate.*

	69-GV-29	69-GV-24	69-GV-23	69-GV-192
Gar	8.0	18.8	24.5	29.7
Cpx I	3.1	6.4	10.8	7.2
Cpx II	18.5	9.6	8.5	25.7
Gp	3.8	2.7	7.0	3.3
Act	25.0	29.0	14.8	7.5
Ru	—	3.6	9.2	—
Qz	1.6	2.4	2.8	1.0
Zois/ep	0.4	0.4	—	11.0
Op	9.1	4.2	2.6	3.2
Alter Cpx	24.1	14.6	19.8	6.3
Alter Act	6.3	8.3	—	—
Anat	—	—	—	0.3
Ap	—	—	—	2.4
Ms	—	—	—	2.4
ρ (g/cm ³)	3.4	3.4	3.5	3.6

TABELLA 2c. — *Analisi modali
delle eclogiti retrocesse.*

	69-GV-152	69-GV-31	69-GV-200
Gar	5.6	9.9	—
Cpx I	0.6	—	—
Cpx II	0.1	—	—
Gp	9.0	—	—
Act + Barr	56.9	62.1	65.9
Ru	2.4	—	3.4
Tit	3.2	—	—
Qz	8.8	9.7	—
Zois/ep	2.1	7.8	9.5
Op	7.2	10.2	0.1
Alter Act	2.7	—	—
Anat	1.2	—	—
Idd	0.2	—	—
Pl	—	0.3	21.5
ρ (g/cm ³)	3.3	3.4	3.1

Spiegazione delle abbreviazioni delle Tab. 2a - 2b - 2c e 3a - 3b.

Gar	: granato	Zois/ep	: zoisite/epidoto	Chl	: clorite
Cpx I+II:	clinopirosseno I + II	Op	: opachi	Hm	: ilmenite
Barr	: barroisite	Alter Cpx:	alteraz. del clinopiros.	Idd	: iddingsite
Gp	: glaucofane	Alter Act:	alteraz. dell'actinolite	Serp	: serpentino
Act	: actinolite	Anat	: anatasio	Bru	: bruceite
Ru	: rutilo	Ap	: apatite	Cal	: calcite
Tit	: titanite	Ver	: vermiculite	Aggr	: aggregato indeterminato
Qz	: quarzo	Ms	: muscovite	Pl	: plagioclasio

TABELLA 3a. — *Analisi modali
della serie 69-GV-192 → 202.*

	69-GV-194	69-GV-195	69-GV-196	69-GV-198	69-GV-199	69-GV-201
Gar	16.0	13.8	—	—	—	11.0
Cpx I	13.0	7.8	—	—	2.5	4.9
Cpx II	3.1	2.7	—	—	—	—
Barr	—	—	—	—	2.0	—
Gp	2.7	4.1	—	—	—	2.8
Act	33.0	40.5	—	—	21.5	55.3
Ru	3.4	4.0	—	—	0.4	5.1
Tit	—	—	—	—	—	0.2
Qz	4.4	3.8	—	—	34.9	10.1
Zois/ep	9.4	5.6	—	—	18.3	0.6
Op	1.1	5.6	—	3.5	0.2	2.7
Alter Cpx	7.4	10.9	—	—	—	1.8
Ms	0.5	0.6	—	—	—	—
Chl	1.9	0.5	—	—	20.2	1.9
Serp	—	—	98.9	83.0	—	—
Bru	—	—	1.1	13.1	—	—
Cal	—	—	—	0.3	—	—
Aggr	4.1	—	—	—	—	1.7
Pl	—	—	—	—	—	1.9

TABELLA 3b. — *Analisi modali
della serie 69-GV-158 (a → g).*

	a	b	c	d	e	f	g
Gar	21.5	19.8	25.7	40.8	34.2	21.4	30.0
Cpx I	3.1	6.9	4.2	3.6	3.2	3.5	0.9
Cpx II	7.1	9.0	9.8	7.5	7.3	14.9	7.4
Barr	22.9	29.0	40.5	28.6	43.8	41.7	34.7
Act	16.7	11.9	4.6	3.2	0.9	1.2	6.1
Ru	6.2	3.1	8.0	13.2	7.8	7.8	13.0
Tit	0.1	0.2	0.3	—	—	—	—
Qz	3.8	1.2	1.5	0.4	0.3	0.7	1.0
Zois/ep	15.4	16.9	1.3	0.1	0.4	7.2	3.4
Op	0.5	0.3	1.0	1.2	0.5	—	0.3
Alter Cpx	—	—	0.5	—	—	0.7	—
Anat	1.1	0.8	—	0.7	—	0.7	—
Chl	0.7	0.3	0.9	—	0.1	—	—
Hm	—	—	—	—	0.1	0.2	0.5
Idd	—	—	—	0.1	0.1	—	0.3
Aggr	0.8	0.5	1.6	0.5	1.3	—	2.4

N.B. - Per i campioni 69-GV-192-193-197-200-202 che appartengono a questa stessa serie vedere le Tabelle 2a-2b-2c.

probabilmente la salbanda (chilled margin) dell'originario filone, mentre 193 e tutto il resto del banco possedevano già originariamente fenoeristalli piro-senici di grosse dimensioni e quindi derivano dalle zone interne del filone raffreddatesi lentamente. Ciò costituirebbe quindi una indicazione sul carattere essenzialmente conservativo del metamorfismo.

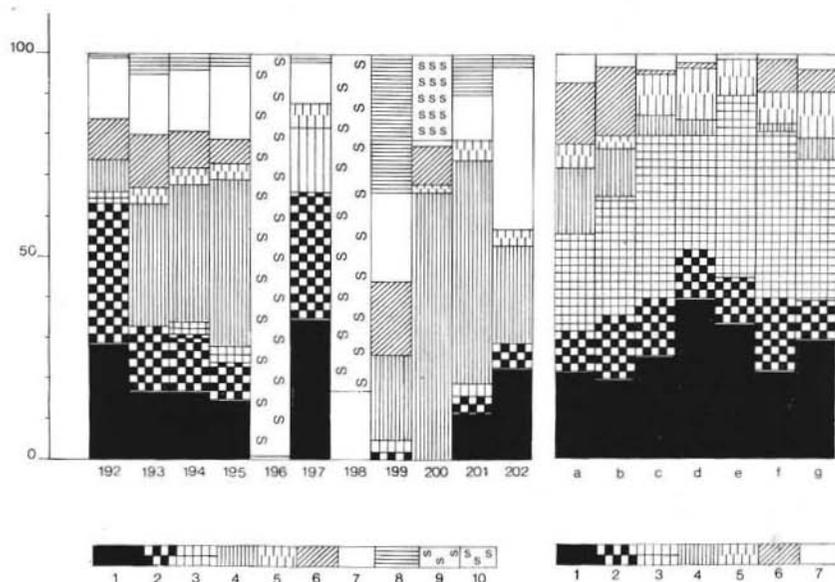


Fig. 6. — Variazione della composizione mineralogica trasversalmente a due corpi eclogitici: (a) serie 69-GV-192 fino a 202, banco affiorante lungo la strada che costeggia il bacino di ritenuta di Vara, potente circa 90 m, caratterizzato dalla presenza di scaglie di serpentinoscisti e di zone fortemente retrocesse; (b) serie 69-GV-158, filoncello potente cm 20. Vedere nel testo per spiegazioni. Simbologgiatura: 1. granato; 2. cloromelanite + onfaeite; 3. barrosite + glaucofane; 4. actinolite; 5. rutilo; 6. zoisite/epidoto; 7. accessori; 8. quarzo; 9. serpentino; 10. plagioclasio.

La serie 69-GV-158 a → g mostra una progressione continua senza brusche variazioni per i costituenti maggiori; sembra quindi che la tessitura zonata, visibile sul campione macroscopico, sia dovuta solo ad arricchimento di particolari elementi minori, in genere connessi con ricristallizzazioni metamorfiche tardive (facies degli scisti verdi con epidoto e actinolite), probabilmente localizzate lungo piani di movimento facilitanti l'afflusso di soluzioni.

Caratteri petrochimici.

Per lo studio petrochimico delle eclogiti della valle di Vara sono stati analizzati 19 campioni opportunamente scelti a rappresentare i tre tipi litologici sopra descritti. Cinque di loro inoltre provengono dall'unico grande banco, potente circa 90 m, affiorante lungo il bacino di Vara, già studiato dal punto di vista modale (fig. 6 e pag. 870).

Le analisi sono state eseguite almeno in doppio su 80 g di polvere (> 220 mesh) ottenuta per inquartamento da campioni del peso iniziale di circa 1 kg. Esse sono state effettuate con un metodo misto: chimico rapido (L. SHAPIRO e W. W. BRANNOCK, 1962, modificato) per Fe_2O_3 tot, MnO, MgO, CaO, Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 ; fluorescenza X con standard interno (C. SAVELLI, 1965) per SiO_2 e Al_2O_3 , e infine metodo chimico classico ponderale e volumetrico per H_2O^+ tot e FeO rispettivamente. Notevoli difficoltà sono state in ogni caso incontrate per porre in soluzione il campione, benchè si sia fatto uso di miscele di $\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HClO}_4$: fino a sette giorni sono stati a volte necessari per disciogliere i minerali di titanio.

I risultati analitici sono esposti nelle Tabelle 4 (dati singoli) e 5 (medie e valori di confronto) e rappresentati graficamente nelle fig. 7 e 8. Le tabelle sono completate con l'unica analisi chimica finora nota in letteratura su una eclogite della zona di Vara (P. BEARTH, 1967 p. 56) e con la eclogite del M. Tobbio (C. PERRIER, 1924 p. 3).

I risultati analitici, espressi sotto forma di medie e deviazioni standard in Tabella 5, indicano che le rocce esaminate formano un complesso omogeneo, caratterizzato da tenori bassi di SiO_2 ed elevati FeO_{tot} e TiO_2 . Non si notano differenze chimiche sistematiche tra i tre gruppi di eclogiti distinti petrograficamente: il campo di dispersione delle eclogiti a flaser include interamente quello degli altri due gruppi, di cui solo il tipo « brecciato » presenta una omogeneità chimica particolarmente evidente, come già più omogeneo degli altri esso appariva dal punto di vista modale.

Il confronto tra il gruppo terzo (« retrocesso ») e i due precedenti mette in evidenza la sostanziale conservatività geochimica del metamorfismo nelle sue fasi calanti e suggerisce quindi, di riflesso, una altrettanto forte probabilità che il metamorfismo sia stato isochimico anche nelle sue prime fasi, responsabili delle paragenesi di alta pressione.

Questo è confermato anche dalla perfetta aderenza di tutte le rocce esaminate ai tipi magmatici definiti da P. NIGGLI (1936) (cfr. Tabella 4), in ottimo accordo con la tendenza attuale quasi generale che

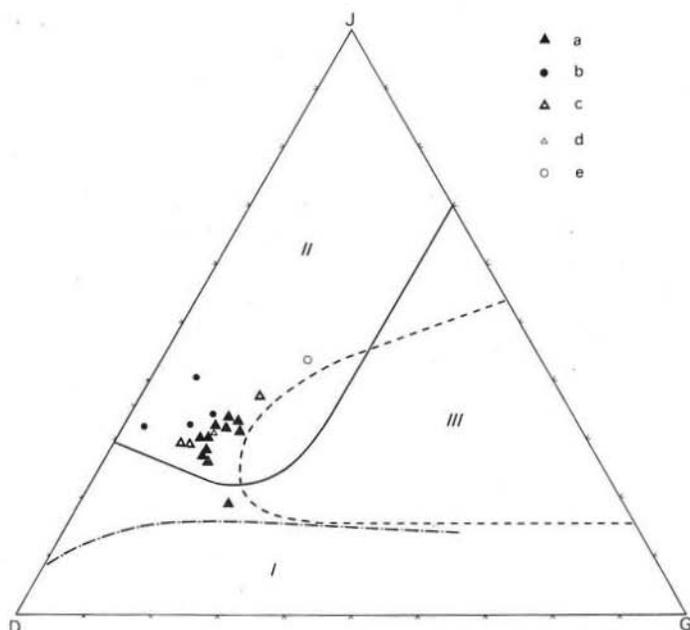


Fig. 7. — Proiezione J-D-G secondo la norma di K. SMULIKOWSKI delle eclogiti di Vara. All'infuori del campione 69-GV-176 tutte le eclogiti analizzate cadono nel campo II (eclogiti ofiolitiche) invece che nel campo I (pirosseniti granatifere associate ad ultramafiti \pm serpentizzate), che sarebbe stato il loro se si fosse trattato di banchi ad affinità ariegitica. Non c'è nessuna relazione tra le eclogiti esaminate e quelle del metamorfismo regionale (campo III). Simbologgiatura: *a. b. c.* come nella fig. 5; *d.* eclogite di Vara (P. Bearth, 1967); *e.* eclogite filoniana di Voltaggio (C. Perrier, 1924).

fa delle eclogiti ofiolitiche i derivati metamorfici di alta pressione di rocce sia intrusive (gabbri, diabasi) sia effusive (basalti a pillow, spiliti), solo talora accettando una possibile derivazione da rocce piroclastiche (tufi a blocchi), che però sono chimicamente pressochè indistinguibili da rocce magmatiche.

Le eclogiti in esame presentano altre chiare evidenze di derivazione magmatica: *a)* formano orizzonti continui stratoidi intercalati

TABELLA 4. — *Analisi chimiche e calcoli petrochimici delle rocce eclogitiche della Valle di Vara.*

	10	11	20	26	157	159	161	169	176	193	197	202	23	24	29	192	31	152	200
SiO ₂	44.3	44.0	46.1	41.3	45.3	42.2	46.2	43.6	40.5	41.8	46.5	44.7	41.7	46.1	42.4	42.7	43.4	39.9	50.5
Al ₂ O ₃	12.0	10.6	11.7	10.6	10.4	11.1	12.1	11.7	11.1	10.4	12.6	11.7	8.6	11.1	10.1	11.8	9.9	10.4	13.4
Fe ₂ O ₃	4.33	3.84	3.17	3.66	4.47	3.35	3.64	4.02	3.72	4.11	3.54	4.51	5.25	4.15	5.65	6.88	4.39	5.92	3.93
FeO	13.43	13.83	13.75	17.67	13.55	14.47	13.49	11.41	14.14	15.38	10.17	12.43	16.14	14.02	12.74	15.10	14.15	17.96	6.99
MnO	0.17	0.26	0.21	0.29	0.20	0.25	0.23	0.17	0.22	0.24	0.25	0.26	0.32	0.24	0.19	0.47	0.21	0.32	0.13
MgO	6.80	7.66	6.04	5.95	6.34	6.63	6.20	6.81	6.38	6.48	8.27	6.41	6.55	4.70	6.24	3.75	6.68	4.70	8.31
CaO	9.02	9.19	8.67	6.71	9.16	9.16	8.60	10.90	12.73	8.49	9.66	8.82	8.30	8.14	7.96	9.35	8.07	8.70	8.89
Na ₂ O	3.12	2.95	3.80	2.60	3.43	3.53	3.61	3.82	2.00	2.93	3.73	3.63	4.30	5.00	3.80	4.20	3.32	3.55	4.17
K ₂ O	0.07	0.12	0.06	0.04	0.03	0.15	0.04	0.07	0.06	0.11	0.06	0.13	0.19	0.09	0.07	0.06	0.26	0.14	0.22
TiO ₂	3.46	4.50	4.28	7.30	5.54	6.37	3.79	4.61	7.18	7.27	3.04	4.84	4.66	4.42	6.63	2.65	5.70	3.26	1.39
P ₂ O ₅	0.04	0.02	0.10	0.08	tr.	0.00	0.04	0.00	0.06	0.04	0.01	0.31	0.51	0.37	0.20	0.97	0.17	0.00	0.00
H ₂ O	2.95	2.48	2.28	2.90	1.74	2.26	2.58	2.35	2.05	2.43	2.05	2.17	2.77	1.92	3.47	2.08	3.28	4.15	2.29
Σ	99.7	99.5	100.2	99.1	100.2	99.5	100.5	99.5	100.1	99.7	99.9	99.9	99.3	100.3	99.5	100.0	99.5	99.0	100.2
si	99.4	98.4	107.3	96.9	103.9	94.7	106.7	96.5	87.2	95.1	103.1	102.8	91.2	109.2	99.6	95.2	100.7	87.3	117.8
al	15.9	14.0	16.0	14.7	14.1	14.7	16.5	15.3	14.1	13.9	16.5	15.8	11.1	15.5	14.0	15.5	13.5	13.4	18.4
fm	55.6	57.5	53.7	62.5	55.8	55.4	54.1	50.6	52.3	58.7	52.5	54.2	60.1	52.2	57.2	53.0	58.6	58.5	49.6

(segue Tab. 4)

	10	11	20	26	157	159	161	169	176	193	197	202	23	24	29	192	31	152	200
c	21.7	22.0	21.6	16.9	22.5	22.0	21.3	25.8	29.3	20.7	22.9	21.7	19.4	20.7	20.0	22.3	20.0	20.4	22.2
alk	6.9	6.6	8.7	6.0	7.7	7.9	8.1	8.3	4.3	6.6	8.1	8.3	9.4	11.6	8.8	9.2	7.8	7.7	9.7
k	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.03
mg	0.41	0.44	0.39	0.33	0.39	0.40	0.39	0.44	0.39	0.37	0.52	0.41	0.36	0.32	0.38	0.23	0.39	0.26	0.58
w	0.22	0.20	0.30	0.16	0.23	0.17	0.20	0.24	0.19	0.19	0.24	0.24	0.23	0.21	0.29	0.29	0.22	0.23	0.34
Q	22.60	21.73	23.40	21.54	22.39	19.12	23.91	19.85	19.69	20.10	22.92	22.14	15.34	21.10	19.70	18.94	20.91	16.49	26.85
L	29.93	27.18	30.92	26.84	27.71	29.68	31.01	31.03	25.31	27.04	31.65	30.68	27.86	33.20	29.10	32.72	57.60	29.65	34.01
M	47.47	51.09	45.68	51.62	49.90	51.20	45.08	49.12	55.00	52.86	45.43	47.18	56.80	45.70	51.20	48.34	51.49	53.86	39.14
J	28.75	26.52	33.79	25.32	30.03	30.85	32.79	32.40	19.21	26.89	32.46	32.70	32.57	40.22	32.63	34.56	29.91	29.76	37.99
D	52.50	58.59	51.77	56.36	57.64	55.83	50.70	53.99	58.66	58.28	50.50	52.31	64.46	52.99	57.63	53.24	59.14	59.39	44.80
G	18.75	14.88	14.44	18.32	12.33	13.32	16.71	13.61	22.13	14.83	17.04	14.99	2.96	6.79	9.74	12.20	10.95	10.84	17.21

TABELLA 5. — *Chimismo medio delle rocce eclogitiche della Valle di Vara a confronto col chimismo medio delle eclogiti e griquaiti e con le analisi chimiche di eclogiti di altre località del Gruppo di Voltri.*

	1	2	3	4	5	6	7	8
	\bar{x}/σ	\bar{x}/σ	\bar{x}/σ	\bar{x}/σ			\bar{x}/σ	\bar{x}
SiO ₂	43.85	43.88	43.22	44.60	46.8	51.51	48.00	47.50
	2.57	2.03	1.96	5.40			2.56	
Al ₂ O ₃	11.12	11.33	10.40	11.23	11.0	15.74	15.22	11.81
	1.09	0.74	1.39	1.89			2.86	
Fe ₂ O ₃	4.34	3.86	5.48	4.75	3.0	2.88	3.69	3.48
	0.96	0.43	1.96	1.04			1.79	
FeO	13.73	13.64	14.50	13.03	14.4	6.43	8.10	6.66
	2.48	1.88	1.84	7.88			3.21	
MnO	0.24	0.23	0.31	0.22	0.3	0.07	0.10	0.31
	0.07	0.01	0.02	0.09			0.12	
MgO	6.36	6.66	5.31	6.56	6.6	8.40	8.38	15.70
	1.12	0.67	1.32	1.81			2.62	
CaO	8.97	9.26	8.44	8.55	8.2	7.66	11.25	12.23
	1.23	1.45	0.62	0.43			2.27	
Na ₂ O	3.55	3.26	4.33	3.68	3.4	4.82	2.42	0.83
	0.67	0.56	0.50	0.44			0.80	
K ₂ O	0.10	0.08	0.10	0.21	0.2	0.20	0.39	0.21
	0.06	0.04	0.06	0.06			0.30	
TiO ₂	4.78	5.18	4.59	3.45	3.7	1.10	1.47	0.50
	1.67	1.53	1.63	2.16			1.26	
P ₂ O ₅	0.15	0.06	0.51	0.06	0.1	0.08		0.06
	0.24	0.08	0.33	0.07				
H ₂ O	2.54	2.35	2.56	3.24	1.8	1.12	0.90	0.74
	0.60	0.35	0.71	0.93				

Spiegazione dei numeri.

1. Chimismo generale di tutte le eclogiti analizzate (19 campioni). 2. Chimismo delle eclogiti a flaser (12 campioni). 3. Chimismo delle eclogiti brecciate (4 campioni). 4. Chimismo delle eclogiti retrocesse (3 campioni). 5. Eklogit-Amphibolit

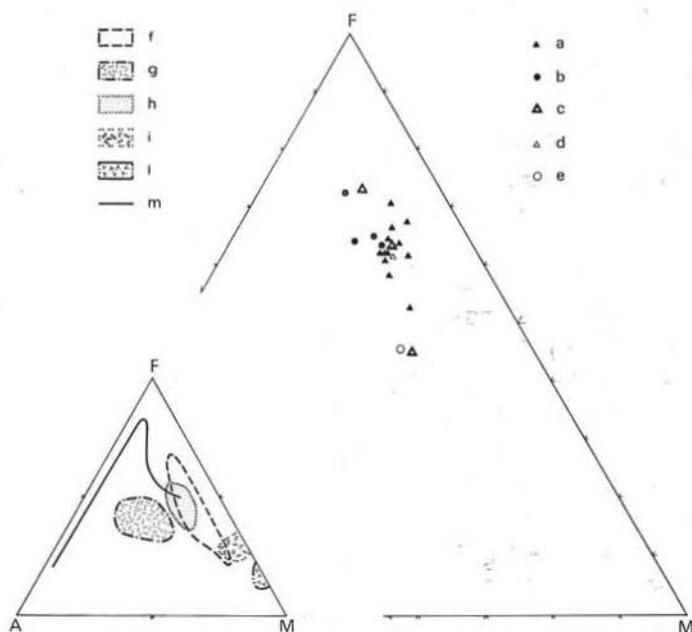


Fig. 8. — Proiezione A ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) — F ($\text{FeO} + 0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3$) — M (MgO) delle rocce eclogitiche della Valle di Vara. Risulta confermata la sostanziale omogeneità chimica delle rocce studiate e l'indipendenza del chimismo dal grado di retrocessione in facies di seisti verdi. Dal confronto con il corrispondente diagramma AFM relativo alle rocce associate alle ofioliti non metamorfiche (inserto) si può notare come le eclogiti di Vara ricoprono ed in parte estendono verso il vertice F il campo dei ferrogabbri associati alle toleiti della catena Medio Atlantica (A. Miyashiro *et al*, 1969) e seguano sostanzialmente il trend di differenziazione dello Skaergaard.

Simboli: a, b, c, d, e. come nella fig. 7 e inoltre: f. ferrogabbri della catena Medio-Atlantica; g. cheratofiri e trondhjemiti; h. toleiti abissali; i. gabbri normali delle rocce alpinotipe; l. lherzoliti delle ofioliti mediterranee; m. trend di differenziazione dello Skaergaard.

PVB 73 di Vara inferiore (P. Bearth, 1967 p. 56). 6. Eclogite filoniana di Voltaggio (C. Perrier, 1924 p. 3). 7. Chimismo generale delle eclogiti nei complessi metamorfici (37 campioni; sec. V. A. Kutolin, 1964, in: V. S. Sobolev, 1972 p. 216). 8. Chimismo medio delle pirosseniti granatifere (griquaiti) associate a ultrabasiti, kimberliti e basalti (10 campioni; sec. K. Smulikowski, 1968 p. 98).

in serpentine, cioè in rocce di sicura natura orto; *b*) presentano strutture a corona frequentissime in rocce di indubbia derivazione gabbrica o pirossenitica (B. LASNIER, 1970); *c*) contengono relitti mineralogici più o meno evidenti di componenti di alta temperatura e bassa pressione (augite: P. BEARTH, 1967); *d*) mostrano una variazione regolarmente continua di chimismo trasversalmente ad un solo banco, in buon accordo con i trend di differenziazione normali per rocce magmatiche intrusive (cfr. campioni 192-202).

Chimicamente però le rocce in esame si distaccano da tutte le eclogiti finora descritte, associate alle ofioliti o in serie metamorfiche regionali (K. SMULIKOWSKI, 1968), per il loro elevato tenore di ferro e di titanio e per il basso tenore di silice, ben lontani dai valori genericamente « basaltici » o specificamente « toleitici » (V. A. KUTOLIN, 1965) attribuiti di solito alle eclogiti. Sono inoltre del tutto diverse dal tipo A eclogitico (R. G. COLEMAN *et al.*, 1965) alias « pirosseniti granatifere » o « griquaiti » associate a kimberliti e peridotiti (K. SMULIKOWSKI, 1968) che hanno carattere ultrabasico deciso. Se per il basso tenore di silice le eclogiti di Vara possono essere definite, rigorosamente parlando, « ultrabasiche » (< 45% di SiO_2), il loro alto tenore di Fe e Ti le distacca nettamente dalle rocce ultrabasiche normali e dalle eclogiti a loro associate, generalmente ricche di magnesio. Questo si rispecchia chiaramente (fig. 7) nel diagramma normativo JGD di K. SMULIKOWSKI (1969), in cui le rocce di Vara cadono non nel campo I° delle pirosseniti granatifere (nel quale pur cadono numerose eclogiti contenute in serpentine: cfr. K. SMULIKOWSKI, 1964 p. 29), ma nel campo II° delle eclogiti ofiolitiche, in perfetto accordo con il loro contenuto di minerali di alta pressione e bassa temperatura quali il glaucofane.

Ulteriore conferma della diversità tra le eclogiti di Vara e quelle note in rocce ultrabasiche di altre regioni si ha dal tenore assoluto di TiO_2 (< 1% nelle eclogiti in kimberlite e nei noduli dei basalti hawaiani: R. B. FORBES, 1965 p. 1157) e dal loro rapporto MgO/CaO quasi sempre inferiore a 1 a differenza di queste ultime (R. B. FORBES, 1965 p. 1519) ⁽⁵⁾.

⁽⁵⁾ Un rapporto $\text{MgO}/\text{CaO} < 1$ come quello delle eclogiti di Vara mostrano le eclogiti contenute nelle kimberliti australiane, ma molto diversi sono i tenori assoluti dei due ossidi, queste ultime avendo molto più CaO (12-15%) e anche più MgO (6-15%).

Anche l'elevato tenore di Na_2O differenzia le eclogiti in esame da quelle incluse in basalti, kimberliti, peridotiti (K. SMULIKOWSKI, 1968 p. 98) avvicinandole piuttosto a quelle contenute in scisti cristallini (R. B. FORBES, 1965 p. 1518) e in particolare in scisti a glaucofane.

Il significato da attribuire alla composizione chimica di una roccia metamorfica è un soggetto spinoso, ma deve essere necessariamente qui affrontato causa la dimostrata originalità delle eclogiti in esame. Due scuole, che hanno per estremi opposti da un lato un concetto di metamorfismo totalmente « isochimico », da un altro quello di metasomatismo generalizzato, si dividono tutt'ora il mondo petrológico, presentando ciascuna di volta in volta esempi validi a favore delle proprie idee.

Particolarmente delicata è la situazione delle eclogiti di Vara in quanto esse sono contenute in un'unità geologica la cui composizione chimica è stata di certo profondamente alterata nel corso della trasformazione da peridotite l.s. a serpentina, avvenuta prevalentemente a volume costante come dimostra la conservazione macro e microscopica in luoghi separati geograficamente di strutture cumulitiche (A. BEZZI e G. B. PICCARDO, 1970 p. 32-36) e tettonitiche (osservazioni dirette).

In linea ipotetica sarebbe quindi possibile che il chimismo anormale delle eclogiti in esame fosse dovuto ad un apporto metasomatico di elementi provenienti dalle rocce incassanti in via di serpentinizzazione, in una forma generalizzata di molto precedente alla limitata formazione delle mineralizzazioni di tipo rodingitico osservate in alcuni banchi (v. p. 859). Un rapido bilancio di confronto tra la composizione chimica media delle eclogiti di Vara e quella delle eclogiti in generale, calcolata per es. nei lavori di V. A. KUTOLIN (1965) e di K. SMULIKOWSKI (1968), indica che questo apporto di materia avrebbe dovuto consistere in Fe e Ti, e sarebbe stato accompagnato da un parallelo asporto soprattutto di Si.

Ora, questi tre elementi, Si e Ti in ogni caso (assieme con Al) e Fe dopo la sua trasformazione allo stato trivalente, sono proprio gli elementi maggiori indicati come « immobili » persino dai metasomatisti più accesi (D. S. KORZHINSKII, 1965) cioè da coloro che tendono a vedere nelle rocce un flusso permanente di ioni, soluzioni o persino atomi sotto la spinta di gradienti chimici di varia natura. Ciò spinge a vedere, nelle eclogiti in esame, dei corpi conservatisi allo stato originario proprio negli elementi che più li contraddistinguono.

Resta tuttavia il problema di un equivalente magmatico attuale per le rocce in esame.

Strutture a corona del tipo osservato nelle eclogiti di Vara sono note in pirosseniti e anortositi oppure in gabbri, ma non rocce effusive (B. LASNIER, 1970). Un modello pirossenitico (livelli cumulitici all'interno di un bacino magmatico con sedimentazione gravitativa) potrebbe forse essere atto a spiegare la giacitura subparallela e periclinale dei banchi in perfetta concordanza con quella del duomo serpentino incassante. Tuttavia sarebbe necessario ancora fare ricorso a metasomatismo, date le forti differenze chimiche tra le rocce di Vara e i layers pirossenitici presenti nelle intrusioni stratoidi.

Viceversa la derivazione delle eclogiti di Vara da orizzonti gabbri non presenta difficoltà chimiche perchè sono ben noti, anche se rari, i ferrogabbri titaniferi della intrusione di Skaergaard (L. R. WAGER e W. A. DEER, 1939 p. 66). Gabbri composizionalmente analoghi alle eclogiti di Vara sono inoltre presenti nelle ofioliti non metamorfiche della Tetide e in particolare sono stati descritti affioramenti gabbri ad ilmenite in alcune zone dell'Appennino (Fosso Picciolana, Grosseto: P. BROZZU e L. MORBIDELLI, 1968) il cui tenore di Ti è ancora maggiore di quello delle eclogiti esaminate.

Importantissimo appare poi il ritrovamento di gabbri a chimismo toleítico e con alto tenore di ferro e titanio tra i frammenti dragati nella Catena Medio-Atlantica (A. MIYASHIRO *et al.*, 1969; G. THOMPSON, 1973). Essi mostrano un andamento di differenziazione simile a quella di Skaergaard (fig. 8), ma, a differenza di quest'ultimo, non sono corpi differenziatisi lentamente e tranquillamente in ambiente non orogeo (L. R. WAGER e W. A. DEER, 1939) bensì sono strettamente associati a ultramafiti subcrostali serpentizzate.

La presenza di rocce chimicamente affini nell'Appennino e nella Catena Medio-Atlantica permette quindi di favorire un modello di derivazione delle nostre eclogiti per metamorfismo sostanzialmente isochimico di ferrogabbri o ferrodiabasi, differenziatisi probabilmente in loco per cristallizzazione frazionata durante il raffreddamento (A. MIYASHIRO *et al.*, 1969 p. 363), probabilmente in condizioni subintrusive (F. BARBERI *et al.*, 1971 p. 183), caratterizzate da una bassissima fugacità iniziale di ossigeno, come nella intrusione di Skaergaard (G. THOMPSON, 1973 p. 109).

In effetti queste rocce, competamente dissimili dai gabbri normali associati alle ofioliti, in particolare quelli dell'Appennino Ligure orien-

tale (M. GALLI, 1958; F. BARBERI *et al.*, 1971), sono simili per composizione e per caratteristiche alle rocce toleitiche abissali e con esse seguono l'evoluzione chimica dell'intrusione di Skaergaard nella stessa misura dei campioni sottomarini studiati da MIYASHIRO *et al.*, 1969.

Esse anzi si proiettano nel diagramma AFM (fig. 8, p. 881) in un'area allungata parallela al lato FM che continua e in parte ricopre il campo delle toleiti e che segue rigorosamente l'andamento dello Skaergaard fino quasi al suo apice. Questo tipo di differenziazione trova conferma anche nell'ambito di un unico banco, quello del bacino di Vara, analizzato nei suoi estremi e nei punti intermedi meno influenzati da metamorfismo retrogrado: i campioni 202-200-197-193 seguono bene un trend continuo parallelo a quello di Skaergaard da cui si discosta solo 192, che costituisce probabilmente il margine sopraraffreddato dell'originario filone (cfr. p. 871).

E' possibile che nuove analisi più statisticamente distribuite portino a completare l'andamento di differenziazione finora stabilito, permettendo di ricollegarlo più da vicino ai gabbri ofiolitici normali. In questo ultimo caso però non è probabile che si tratti di eclogiti s.s. anche se ricche in minerali minori, ma piuttosto di litotipi chiaramente riconoscibili anche sul terreno come metagabbri coronitici d'alta pressione, come quelli di cui è già stata accertata la presenza in zone viciniori dell'orogene pennidico.

Riepilogo e conclusioni.

Le rocce eclogitiche affioranti nelle serpentine della Valle di Vara sotto forma di banchi potenti fino a 100 m, paralleli e con giacitura regolarmente periclinale, comprendono una varietà di tipi litologici riconducibile ai seguenti tre gruppi:

1) eclogiti con struttura a « flaser », caratterizzate da grossi facoidi di cloromelanite, talora contenenti residui del primitivo pirosseno magmatico, attorniate da corone concentriche di granato + onfacite, granato + barrosite, granato + actinolite, spesso coalescenti a produrre una struttura « a nido d'ape » irregolarmente stirata;

2) eclogiti « brecciate », costituite da frammenti più o meno arrotondati, in cui granato porfiroblastico, cloromelanite suturata, glaucofane prismatico e ilmenite/rutilo granulare sono in stretta relazione

di equilibrio, cementati da un intreccio diablastico prevalentemente actinolitico;

3) eclogiti « retrocesse »: un gruppo eterogeneo costituito da rocce prevalentemente anfiboliche, con epidoto, zoisite, albite e quarzo, con tessitura tendente alla prasinitica ma di indubbia derivazione eclogitica.

Chimicamente i tre gruppi sono pressochè identici, testimoniando un metamorfismo di carattere spiccatamente isochimico. La composizione è formalmente ultrabasica e rispecchia bene i magmi orneblenditico, pirossenitico, kaulaitico e melagabbrodioritico della serie alcali-calceica di P. NIGGLI (1936). Tuttavia le eclogiti di Vara non trovano riscontro in altre eclogiti finora descritte in quanto presentano SiO_2 insolitamente basso e, di converso, FeO_{tot} e TiO_2 insolitamente elevati. Esse non possono essere confrontate con successo nè con le pirosseniti magmatiche legate a peridotiti cumulitiche, nè coi filoni di gabbro e diabase solitamente presenti nel corteo ofiolitico.

La loro composizione chimica si accorda bene solo con un particolare tipo di ferrogabbri descritti nella intrusione di Skaergaard e con altri recentemente ritrovati tanto nei frammenti dragati della Catena Medio-Atlantica, quanto in alcune località dell'Appennino toscano meridionale. In entrambi i casi queste rocce sono in stretta associazione con ultramafiti serpentinnizzate, anche se non è ancora stato possibile stabilirne di preciso le relazioni tettoniche.

Ammessa comunque la derivazione delle eclogiti di Vara da filoni o filoni-strato di composizione ferrogabbriaca, se ne può ricostruire la storia metamorfica con una approssimazione abbastanza elevata, poichè in loro coesistono in disequilibrio elementi formati durante fasi successive, termodinamicamente differenziate, del metamorfismo alpino.

La sequenza paragenetica apparentemente più semplice è quella della varietà « brecciata », i cui elementi posseggono l'associazione trifase caratteristica delle eclogiti ofiolitiche (K. SMULIKOWSKI, 1964) o di tipo C (R. G. COLEMAN *et al.*, 1965): granato + glaucofane + cloromelanite. I primi due costituenti sembrano aver cominciato la loro cristallizzazione in anticipo sulla terza, ma tutti e tre mostrano contatti privi di reazione. Alla associazione eclogitica tipica fa seguito una associazione prasinitica in facies di scisti verdi che cementa gli elementi della « breccia », costituita da actinolite diablastica, albite, epidoto, piritite e quarzo.

Più complessa, anche se sostanzialmente concordante con quella suddetta, è l'evoluzione delle eclogiti a flaser, il cui diverso aspetto è riconducibile in gran parte al fatto che derivano da una roccia magmatica non a grana fine, ma ricca di fenocristalli di pirosseno. La sostituzione paramorfica di augite magmatica con pirosseno sodico è un processo ben noto nelle Alpi occidentali in particolari tipi di gabbri sottoposti ad un metamorfismo di alta pressione in ambiente statico (metagabbri a onfacite e/o smaragdite: P. BEARTH, 1967; A. MOTTANA, 1971).

La trasformazione iniziale del gabbro, per quanto avvenuta ad alta pressione come testimonia la formazione di cloromelanite contenente lacinie di glaucofane, non deve essere avvenuta in condizioni propriamente eclogitiche in quanto sembra mancare il granato. E' quindi probabile che essa abbia avuto luogo nelle condizioni di alta pressione e bassa temperatura della facies degli scisti blu (scisti a glaucofane e lawsonite di H. G. F. WINKLER, 1965; alias « low-temperature blueschists » di H. P. TAYLOR e R. G. COLEMAN, 1968 p. 1751). Ad essa è seguito un rialzo termico, con pressione rimasta elevata, che ha prodotto la cristallizzazione del granato in corona attorno alla cloromelanite, con associato rutilo e pirosseno onfacitico p.d. (Cpx-II), quest'ultimo a grana più fine del precedente che tende ad invadere e talora a sostituire totalmente in aggregati fascicolati. A questa facies degli scisti blu di alta temperatura (H. P. TAYLOR e R. G. COLEMAN, 1968 p. 1751) sarebbe legata la paragenesi eclogitica p.d. senza che sia necessario far ricorso ad un eccessivo aumento di temperatura e pressione ($T > 550^{\circ}\text{C}$, $P > 9 \text{ kb}$) come proposto dai due autori per la formazione delle eclogiti. In effetti già H. P. TAYLOR e R. G. COLEMAN (1968, p. 1752) ammettono che in condizioni pressocchè anidre ($P_{\text{H}_2\text{O}} < P_{\text{tot}}$) le eclogiti possono formarsi già in ognuna delle due subfacies degli scisti blu suddette.

Lo stato termico ad alta pressione deve però essere stato di breve durata, perchè già nelle parti esterne delle corone al granato si associa la barroisite, anfibolo testimonante tanto un rilascio di pressione quanto l'inizio della migrazione di acqua all'interno del corpo eclogitico. Alla facies di scisti blu di alta temperatura fa cioè immediatamente seguito una facies di scisti verdi di alta pressione, forse isoterma ma certamente non isobara con la precedente e passante, a sua volta, ad una facies di scisti verdi normale in cui alla barroisite si sostituisce actinolite sia al bordo sia come cristalli indipendenti nella

parte più esterna delle corone. Il continuo calo della pressione porta infine alla cessazione della cristallizzazione del granato, alla formazione della actinolite diablastica e, laddove la composizione globale lo consente, alla formazione della associazione prasinitica tipica: actinolite-albite-epidoto con scarsa clorite e talora quarzo. Oltre alla infiltrazione di acqua, la roccia diventa allora suscettibile all'infiltrazione di altri gas.

Questa sequenza di cristallizzazione, che nei casi più fortunati è riconoscibile nell'ambito di pochi millimetri tra una corona e l'altra, risulta estesa arealmente in modo marcato, probabilmente in stretta connessione con l'infiltrazione di acqua da parte delle vicine serpentine e con lo stato di fratturazione intensa del corpo eclogitico. Questo spiega il ritrovamento di corpi completamente anfibolitici, e pur tuttavia di indubbia origine eclogitica, come pure quella di zone prasinitizzate al bordo o internamente a corpi ancora prevalentemente eclogitici, lungo zone di fratturazione.

Sono invece da legare a idrotermalismo tardivo le spalmature di clorite, di asbesto e talora di talco osservate nelle fratture di molte eclogiti, come pure le litoclasti tapezzate di hessonite e titanite che si osservano in alcuni banchi maggiori.

APPENDICE

Coordinate chilometriche U.T.M. dei campioni analizzati.

69-GV- 10	32 T MQ 6794 2572	69-GV-169	32 T MQ 6793 2520
69-GV- 11	32 T MQ 6794 2572	69-GV-176	32 T MQ 6793 2519
69-GV- 20	32 T MQ 6812 2517	69-GV-192	32 T MQ 6799 2570
69-GV- 23	32 T MQ 6918 2390	69-GV-193	32 T MQ 6899 2570
69-GV- 24	32 T MQ 6918 2390	69-GV-194	32 T MQ 6802 2569
69-GV- 26	32 T MQ 6818 2488	69-GV-195	32 T MQ 6803 2568
69-GV- 29	32 T MQ 6902 2750	69-GV-196	32 T MQ 6803 2568
69-GV- 31	32 T MQ 7052 3016	69-GV-197	32 T MQ 6804 2567
69-GV-152	32 T MQ 6886 2705	69-GV-198	32 T MQ 6804 2567
69-GV-157	32 T MQ 7255 2360	69-GV-199	32 T MQ 6805 2567
69-GV-158	32 T MQ 7125 2330	69-GV-200	32 T MQ 6806 2565
69-GV-159	32 T MQ 7000 2370	69-GV-201	32 T MQ 6808 2566
69-GV-161	32 T MQ 6813 2532	69-GV-202	32 T MQ 6808 2566

N.B. - Tutti i campioni provengono dalle tavolette «Campoligure» (82 IV S.E.) e «Urbe» (82 III N.E.) del f° 82 «Genova».

Riconoscimenti.

Le analisi chimiche in fluorescenza X sono state eseguite dalla Dott.ssa G. Steffanoni e i diffrattogrammi dal Dott. G. Liborio.

Informazioni utili sull'assetto tettonico del Gruppo di Voltri ci sono state fornite dai colleghi F. Forcella, P. M. Rossi e G. Pasquarè, sulla distribuzione dei minerali del serpentino da S. Chiesa e sul significato geochimico dei ferrogabbri dal Prof. F. Innocenti. A tutti vada il nostro ringraziamento.

Per la lettura critica del manoscritto ringraziamo inoltre i Proff. G. Schiavinato e M. Galli.

BIBLIOGRAFIA

- ALLASINAZ A., GELATI R., MARTINIS B., OROMBELLI G., PASQUARÈ G. e ROSSI P. M. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia - f° 82 «Genova»*. Roma, Nuova Tecnica Grafica, pp. 134.
- BANNO S. e GREEN D. H. (1968) - *Experimental studies on eclogites: the roles of magnetite and actinolite in eclogitic assemblages*. Chem. Geol. 3, 21-32.
- BARBERI F., INNOCENTI F., RICCI C. A. (1971) - *La Toscana Meridionale: Il Magmatismo*. Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 27, 169-210.
- BEARTH P. (1967) - *Die Ophiolite der Zone von Zermatt-Saas Fee*. Beitr. Geol. Karte Schweiz N. F. 132, pp. 56.
- BEZZI A. e PICCARDO G. B. (1970) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche della Liguria - Riflessioni sulla genesi dei complessi ofiolitici in ambiente Appenninico e Alpino*. Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 26, 1-42.
- BROTZU P. e MORBIDELLI L. (1968) - *Contributo alla conoscenza delle «rocce verdi» dell'Appennino Centrale. Nota I - Le ofioliti della Picciolana (Sovana - Grosseto)*. Quaderno N. 2. Ist. Petrografia, Univ. Roma, pp. 28.
- BROTZU P., MORBIDELLI L. e TRIGILA R. (1968) - *Contributo alla conoscenza delle «rocce verdi» dell'Appennino Centrale. Nota II - Gli affioramenti ofiolitici di «Elmo», «Boschetti» e «Il Bosco» (Sovana - Grosseto)*. Quaderno N. 4. Ist. Petrografia, Univ. Roma, pp. 35.
- COLEMAN R. G., LEE D. E., BEATTY L. B. e BRANNOCK W. W. (1965) - *Eclogites and eclogites: their differences and similarities*. Geol. Soc. Am. Bull. 76, 483-508.
- CONTI S. (1944) - *Valli in serpentina della Liguria. IV. Contribuzione: L'Alta Valle d'Olba*. Boll. Soc. Geol. Ital. 43, 11-34.
- CHIESA S. (in preparazione) - *Distribuzione dei minerali del serpentino nelle ofioliti del Gruppo di Voltri*. Period. Miner.
- EDGAR A. D., MOTTANA A. e MACRAE N. D. (1969) - *The chemistry and cell parameters of omphacites and related pyroxenes*. Mineral. Mag. 37, 61-74.
- FORCELLA F., PASQUARÈ G. e ROSSI P. M. (in preparazione) - *L'assetto strutturale del Gruppo di Voltri*. Mem. Soc. Geol. Ital. Roma.

- FORBES R. B. (1965) - *The comparative chemical composition of eclogites and basalt*. Journ. Geophys. Research. 70, 1515-1521.
- FRANCHI S. (1893) - *Nota preliminare sulla formazione gneissica e sulla roccia granitica del massiccio cristallino ligure*. Boll. R. Com. Geol. It. 24, 43-69.
- FRANCHI S. (1900) - *Sopra alcuni giacimenti di rocce giadeitiche nelle Alpi occidentali e nell'Appennino ligure*. Boll. R. Com. Geol. It. 31, 119-158.
- FRANCHI S. (1901) - *Sulla dispersione nei pirosseni cloromelanitici di alcune rocce cristalline delle Alpi occidentali*. Boll. R. Com. Geol. It. 32, 313-318.
- FRANCHI S. (1902) - *Contribuzione allo studio delle rocce a glaucofane e del metamorfismo onde ebbero origine nella regione ligure e alpina occidentale*. Boll. R. Com. Geol. It. 33, 255-318.
- FRANCHI S. (1920) - *Di un'eclogite in filoni nella lherzolite dei dintorni di Voltaggio*. Boll. Soc. Geol. It. 39, XXXII-XXXIV.
- GINZBURG I. V. e SIDORENKO G. A. (1964) - *Characterization of monoclinic pyroxenes by X-ray diffraction methods*. Geoch. Intern. (in inglese) 1, 536-584.
- GALLI M. (1958) - *Studi petrografici sulle formazioni ofiolitiche dell'Appennino ligure. Nota III - I gabbri*. Per. Min. 27, 401-500.
- KUTOLIN V. A. (1965) - *Petrochemical features of the traps of the ancient platforms and basalts of the island arcs*. Geologiya Geofiz. Novosibirsk, No. 12, 63-72.
- KORSHINSKII D. S. (1965) - *Abriss der metasomatischen Prozesse*. Berlin, Akad. Verlag, pp. 195.
- LANGE H. (1963) - *Zur petrographischen Gliederung amphibolitischer und eklogitischer Gesteine*. Bergakademie, 15, 92-96.
- LASNIER B. (1970) - *Le métamorphisme regional des gabbros d'après la littérature internationale - Étude préliminaire des gabbros coronitiques du Massif Armoricaïn et du Massif des Maures (France)*. Tesi di laurea, Fac. Sci. Nantes, pp. 297.
- MIYASHIRO A., SHIDO F. e EWING M. (1969) - *Crystallization and differentiation in abyssal tholeiites and gabbros from Mid-Oceanic Ridges*. Earth Plan. Sci. Letters 7, 361-365.
- MOTTANA A. (1969) - *Determinazione rapida roentgenografica dei pirosseni delle eclogiti*. Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 25, 93-103.
- MOTTANA A. (1971) - *Pyroxenes in the ophiolitic metamorphism of the Cottian Alps*. Miner. Soc. Japan Spec. Pap. 1, 140-146.
- MOTTANA A. e EDGAR A. (1970) - *The significance of amphibole composition in the genesis of eclogites*. Lithos, 3, 37-49.
- MYER G. H. (1965) - *X-ray determinative curve for epidote*. Am. Jour. Sci., 263, 78-86.
- NIGGLI P. (1936) - *Die Magmentypen. Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 16, 335-399.
- PIAS L. van der e TOBI A. C. (1960) - *A chart of judging the reliability of point counting results*. Amer. Jour. Sci., 263, 87-90.

- PASQUARÈ G. (1959) - *Contributo allo studio geologico del settore centro-settentrionale del « Gruppo di Voltri »*. Boll. Serv. Geol. It. 80, 125-202.
- PERRIER C. (1924) - *Sulla eclogite filoniana di Voltaggio*. Boll. R. Uff. Geol. It. 50, 1-18.
- RAMDOHR P. (1969) - *The ore minerals and their intergrowths*. Oxford, Jergamon press, pp. XIX-1174.
- ROVERETO G. (1891) - *La serie delle serpentine antiche e degli scisti in Liguria. Nota I*. Atti Soc. Lig. Sc. Nat. 2, 325-346.
- ROVERETO G. (1893) - *La serie delle serpentine antiche e degli scisti in Liguria. Nota II*. Atti Soc. Lig. Sc. Nat. 4 (2), 97-141.
- ROVERETO G. (1939) - *Liguria geologica*. Mem. Soc. Geol. It. 2, 1-743.
- SAVELLI C. (1967) - *Roetgenfluoreszenzbestimmung von Si un Al mit innerem Standard*. N. Jb. Min. Mh., 124-131.
- SHAPIRO L. e BRANNOCK W. W. (1962) - *Rapid analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks*. U. S. Geol. Survey, Bull. 1144-A, 1-56.
- SMULIKOWSKI K. (1960) - *Comments on eclogite facies in regional metamorphism*. Rep. Int. Geol. Congr. XXI, Copenhagen, Part XIII, 372-82.
- SMULIKOWSKI K. (1964) - *An attempt at eclogite classification*. Bull. Ac. Pol. Sc. sér. geol. géogr., 12/1, 27-33.
- SMULIKOWSKI K. (1968) - *Differentiation of eclogites and its possible causes*. Lithos, 1, 89-101.
- TAYLOR H. P. e COLEMAN R. G. (1968) - *O^{18}/O^{16} Ratios of coexisting minerals in glaucophane-bearing metamorphic rocks*. Geol. Soc. America Bull., 79, 1727-1756.
- THOMPSON G. (1973) - *Trace element distribution in fractionated oceanic rocks, 2. Gabbros and related rocks*. Chem. Geol. 12, 99-111.
- WAGER L. R. e DEER W. A. (1939) - *Geological Investigations in East Greenland, Pt. III - The petrology of the Skaergaard Intrusion, Kangerdlugssnag, East Greenland*. Medd. Grønlan, 105, 1-352.
- WINKLER H. G. F. (1965) - *Die Genese der Metamorphen Gesteine*. Berlin, Spriger-Verlag, pp. 218.