

RELAZIONI TRA FUSIONE E DEFORMAZIONE NELLA PERIDOTITE DI BALMUCCIA (IVREA - VERBANO)

PIERO COMIN-CHIARAMONTI, GABRIELLA DEMARCHI, SILVANO SINIGOI

Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Piazzale Europa 1, Trieste

FRANCA SIENA

Istituto di Mineralogia dell'Università, Corso Ercole I d'Este 32, Ferrara

RIASSUNTO. — Nella peridotite di mantello di Balmuccia (Ivrea-Verbano) esistono due principali generazioni di filoni websteritici, distinguibili sulla base delle relazioni di intersezione e delle caratteristiche petrografiche, petrochimiche e mineralogiche. I filoni di prima generazione, composizionalmente appartenenti alla « suite » Cr-diopside, sono interpretabili come prodotti di primo frazionamento di liquidi generati dalla fusione parziale della peridotite. Questi filoni registrano la forte deformazione subita dalla roccia più o meno contemporaneamente alla fusione. Dal confronto tra chimismo della peridotite e dei filoni spazialmente associati, è ipotizzabile che i liquidi prodotti fossero diversi in funzione del grado di fusione. Tali liquidi tendevano a disporsi preferenzialmente in layers orizzontali e riuscivano a risalire soltanto con una certa difficoltà. I successivi filoni, della « suite » Al-augite, registrano la lenta risalita di liquidi simili, prodotti in porzioni più « profonde » del mantello, che attraversavano il corpo peridotitico di Balmuccia quando questo non era più interessato da processi di fusione e diveniva progressivamente più rigido. Il chimismo di questi filoni testimonia una differenziazione caratterizzata da arricchimento marcato in Al, debole in Fe e da una diminuzione in Cr e Mg, in accordo con un frazionamento di alta pressione.

ABSTRACT. — In the mantle lherzolite of Balmuccia (Ivrea-Verbano zone, Western Alps, Italy), two main websteritic-type dikes can be distinguished on the basis of their cross-cutting relationships and petrographical, petrochemical and mineralogical features. The oldest dikes, belonging to « Cr-diopside suite » are regarded as the first fractionation products of liquids generated by the peridotite partial melting. These dikes also testify the strong deformations undergone by the host peridotite, which are more or less contemporaneous to the melting event. From the bulk chemistry of both peridotite and Cr-diopside dikes, it can be inferred that compositionally different liquids were produced, corresponding to various degrees of partial melting. The interstitial liquids were probably squeezed out of the residuum and

accumulated in horizontal layers as they did not find easy ways for ascent.

The younger dikes, belonging to the « Al-augite suite » were products of partial melting of « deeper » zone of the mantle and cut the Balmuccia peridotite when this body was no longer affected by melting processes and more rigid. The chemical features of Al-augite dikes show a differentiation characterized by strong Al and low Fe enrichment as well as Cr and Mg depletion. These features are consistent with high-pressure fractionation.

Introduzione

La zona «Ivrea-Verbano» rappresenta una sezione di crosta profonda ed è suddivisibile in tre unità fondamentali:

a) tettoniti di mantello al margine occidentale, definite dai corpi peridotitici di Baldissero, Balmuccia e Finero;

b) il « Complesso basico stratiforme » intruso e differenziato in crosta profonda e distinto in *LLG*, *ULG* e *MG* (Lower layered group, Upper layered group, Main gabbro: RIVALENTI et al., 1975);

c) formazione kinzigitica al margine orientale.

Le peridotiti di Baldissero e di Balmuccia sono state riconosciute come porzioni di mantello (LENSCH, 1968, 1971; RIVALENTI et al., 1975; CAPEDEI et al., 1977 a; ERNST, 1978; SHERVAIS, 1979 a), mentre Finero è stata interpretata sia come tettonite di mantello (LENSCH, 1971), sia come cumulite (CAWTHORN, 1975).

I tre corpi peridotitici sono lherzoliti a spinello, il cui campo barico è quindi com-

preso tra i 9 e i 25 kb (PRESNALL et al., 1979).

Peridotiti sono presenti anche come cumulati entro il complesso stratiforme (RIVALENTI et al., 1975); questi tipi di peridotite sono però differenziabili sulla base dei caratteri mineralogici, strutturali e tessiturali (GARUTI, 1977; GARUTI & FRIOLO, 1979) e sono stati inoltre discriminati anche in base ad analisi fattoriale Q-mode (CAPEDRI et al., 1977 a; RIVALENTI et al., 1981 a).

I vari gradi di impoverimento delle tettoniti di mantello (SINIGOI et al., 1980 e bibliografia citata) e la presenza di una più o meno fitta rete filoniana associata ad esse, suggeriscono che tali porzioni di mantello abbiano subito dei processi di fusione parziale di grado variabile in concomitanza con le « fasi » di risalita « più o meno » adiabatica.

La presenza di peridotiti di mantello, l'alta pressione di frazionamento e le paragenesi di facies granulitica del complesso stratiforme sovrastante, la facies granulitica-anfibolitica del settore Nord-occidentale della serie kinzigitica sono compatibili con l'idea che la zona Ivrea-Verbanò costituisca una sezione di interfaccia crosta-mantello (RIVALENTI et al., 1975).

La peridotite di Balmuccia: osservazioni petrografiche e strutturali

La peridotite di Balmuccia è rappresentata da un corpo massiccio, composizionalmente disomogeneo, di circa 4 kmq di superficie, definita principalmente da lherzoliti povere in clinopirosseno, al limite con harzburgiti e minori duniti (RIVALENTI et al., 1975).

La lherzolite è il litotipo più frequente ed è in media modalmente composta da 50-70 % di olivina, 20-40 % di ortopirosseno, 10-12 % di clinopirosseno, 1-3 % di spinello (cfr. anche ERNST, 1978); l'anfibolo è spesso presente, ma nettamente subordinato e la presenza di flogopite è del tutto eccezionale (GARUTI & SINIGOI, 1978). In campagna la disomogeneità composizionale dà luogo ad un « banding » che è concordante con la marcata foliazione presente nell'intero corpo e con il « layering » del complesso stratiforme sovrastante. Sia ad Est che ad Ovest la peridotite confina tettonicamente



Fig. 1. — Microlayers pirossenitici (suite Cr-diopside) nella peridotite di Balmuccia.

con la parte basale del complesso (costituito da pirosseniti, gabbri, rare peridotiti cumulative e intercalazioni metapelitiche). Tuttavia, lungo il bordo orientale, è stato trovato anche un contatto magmatico lievemente discordante (RIVALENTI et al., 1981 a). Nel settore orientale della tettonite prevalgono le composizioni lherzolitiche e strutturalmente la peridotite è caratterizzata da microlayers pirossenitici di colore verdastro, paralleli alla foliazione (fig. 1); nel settore centro-occidentale diventano più frequenti le zone a composizione harzburgitica e dunitica in cui sono spesso osservabili « trenini » di spinello.

Tre tipi tessiturali ⁽¹⁾ sono stati riconosciuti a Balmuccia (GARUTI, 1977; GARUTI & FRIOLO, 1979): tessitura protogranulare, foliata e porfiroclastica, i cui caratteri sono simili a quelli delle tessiture degli xenoliti

⁽¹⁾ Per coerenza di trattazione con gli altri Autori, il termine « tessitura » va inteso secondo la nomenclatura anglosassone.

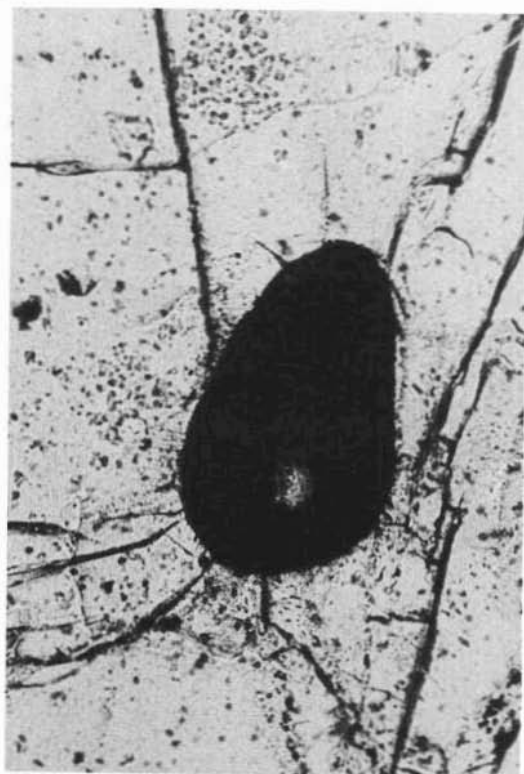


Fig. 2. — Spinello cromifero, incluso in olivina, includente a sua volta olivina (in peridotite fortemente impoverita, a tessitura protogranulare secondaria, Balmuccia). Dimensioni dello spinello: $0,1 \times 0,05$ mm circa. Solo polarizzatore.



Fig. 3. — Spinello «vermiculare», in relazione di reazione con pirosseno (in peridotite poco impoverita, a tessitura protogranulare primaria, Baldissero). Lunghezza massima degli spinelli: 0,1 mm. Solo polarizzatore.

inclusi in alcalibasalti e descritti da MERCIER & NICOLAS (1975). Esse sono il risultato dei processi di ricristallizzazione sotto stress e deformazione che hanno accompagnato i movimenti profondi di risalita e di messa in posto della porzione di mantello.

La tessitura protogranulare compare solo come relitto ed è associata alle zone più impoverite di composizione dunitica; in base alle relazioni tessiturali dello spinello, ossia spinello incluso nei grossi grani di olivina ricristallizzata e talvolta includente a sua volta una «gocciolina» di olivina (fig. 2), può essere definita come protogranulare secondaria, in riferimento a MERCIER & NICOLAS (1975). Tale particolarità la differenzia dalla tessitura protogranulare presente nella peridotite di Baldissero, caratterizzata invece da spinello incluso in forma vermiculare nel pirosseno (fig. 3); in base a ciò, sempre secondo MERCIER & NICOLAS, que-

sta tessitura può essere definita di tipo primario.

Dal confronto tra Baldissero e Balmuccia si può ipotizzare che questi due tipi tessiturali sono legati ad un diverso grado di impoverimento delle due porzioni di mantello, in quanto a Balmuccia la tessitura protogranulare secondaria è associata a composizioni dunitiche, mentre a Baldissero la tessitura protogranulare primaria, l'unica presente, è legata a composizioni lherzolitiche. La composizione di Baldissero rivela infatti in media un grado di «impoverimento» minore rispetto a Balmuccia (SINIGOI et al., 1980) e non si raggiungono mai composizioni dunitiche.

Il tipo tessiturale più frequente a Balmuccia è quello foliato, caratterizzato da marcate impronte deformative di tipo plastico dei cristalli, tipo estinzione ondulata, kink-banding, appiattimento e allungamento



Fig. 4. — Peridotite di Balmuccia: contatto orientale col complesso stratiforme. Foliazione accentuata e presenza di lenti Cr-diopside.

dei granuli; gli effetti deformativi sui cristalli e la foliazione possono presentarsi con vari gradi di intensità fino a definire una tessitura fortemente foliata.

La tessitura fortemente foliata è più frequente lungo il contatto orientale del massiccio col complesso stratiforme, dove la foliazione è particolarmente accentuata (fig. 4). Qui compare anche la tessitura porfiroclastica che definisce una foliazione secondaria debolmente discordante col layering del complesso (GARUTI & FRIOLO, 1979). Lungo il contatto, il complesso è costituito da pirosseniti pegmatoidi i cui cristalli appaiono intensamente deformati; i solfuri magmatici associati dimostrano di essere stati allo stato liquido, mentre i pirosseni erano già cristallizzati (FERRARIO et al., 1982), e di aver contribuito alla deformazione degli stessi. In base a ciò, gli effetti deformativi nella parte basale del complesso, si sarebbero impostati ad una temperatura di circa 800° C

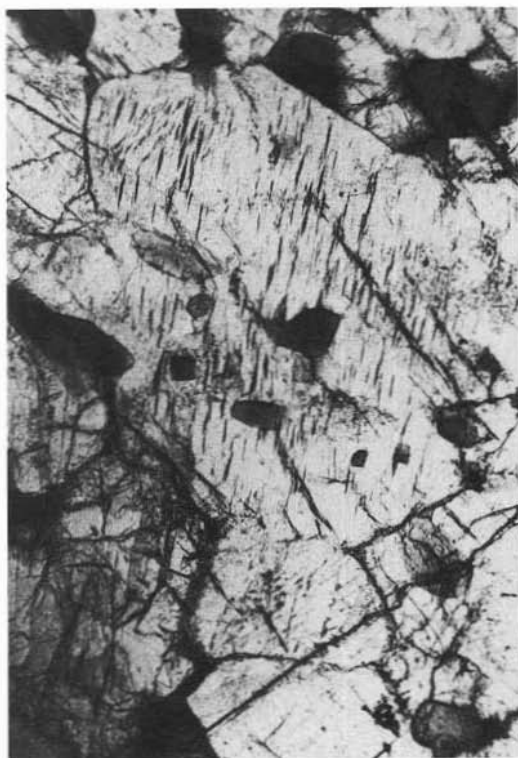


Fig. 5. — Spinelli alluminiferi, sia interstiziali, che idiomorfi, inclusi in pirosseno, nelle websteriti della suite Al-augite. Dimensioni massime dello spinello: 0,5 mm circa. Solo polarizzatore.

(FERRARIO & GARUTI, comunicazione personale).

Questi caratteri offrono l'evidenza di effetti deformativi nella peridotite e nel complesso, almeno parzialmente contemporanei.

I filoni: osservazioni petrografiche e strutturali

La peridotite di Balmuccia è interessata da una fitta rete di filoni pirossenitici, con rari filoni gabbrici (LENSCH, 1971; CAPEDEI et al., 1977 b; SHERVAIS, 1979 b). Sulla base delle relazioni di incrocio i filoni sono riconducibili ad almeno quattro generazioni (RIVALENTI et al., 1975), mentre sulla base delle caratteristiche chimiche dei pirosseni, in analogia agli xenoliti inclusi in basalti, sono raggruppabili in due suites principali: suite « Cr-diopside » e suite « Al-augite » (WILSHIRE & SHERVAIS, 1975; SHERVAIS, 1979 b).

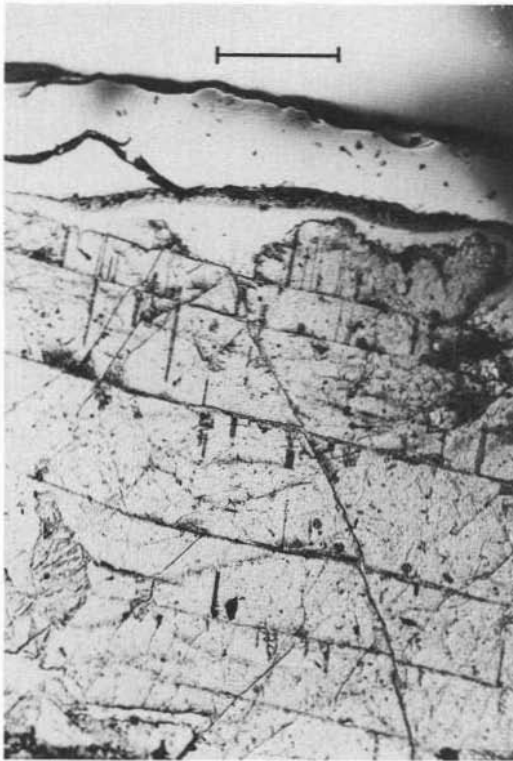


Fig. 6. — Smescolamenti di spinello alluminifero nel clinopirosseno della suite Al-augite. Lunghezza della barra: 0,2 mm. Solo polarizzatore.

Si può notare una stretta relazione tra generazione e chimismo dei filoni: infatti i filoni di prima generazione sono pirosseniti verdi il cui colore è dato dalla presenza di pirosseni cromiferi e pertanto sono attribuibili alla suite Cr-diopside; quelli delle generazioni successive, pur presentando una vasta gamma di tipi composizionali, sono sostanzialmente grigi e caratterizzati da pirosseni alluminiferi e pertanto attribuibili alla suite Al-augite.

I filoni della suite Cr-diopside sono websteriti verdi costituite da clinopirosseno-ortopirosseno-spinello, in ordine di abbondanza (mediamente 58 % di clinopirosseno, 40 % di ortopirosseno, 2 % di spinello); tuttavia il rapporto modale clino/ortopirosseno può variare da filone a filone, mentre lo spinello è costantemente presente in percentuali molto basse. Microscopicamente i pirosseni mostrano frequenti smescolamenti di lamelle di ortopirosseno in clinopirosseno e viceversa; lo spinello, di colore bruno, è presente

come fase interstiziale, spesso in forma vermiculare tra i pirosseni e, in rarissimi casi, compare come fase di smescolamento nel clinopirosseno.

I filoni della suite Al-augite sono pirosseniti grigie e comprendono una vasta gamma di tipi, sia dal punto di vista composizionale che tessiturale. Le fasi costantemente presenti sono clinopirosseno, ortopirosseno (in quantità modali variabili e talora invertite) e spinello, ma in vari casi compare anche plagioclasio, orneblenda e, molto raramente, flogopite. I filoni della suite Al-augite si differenziano nettamente dai filoni di prima ge-

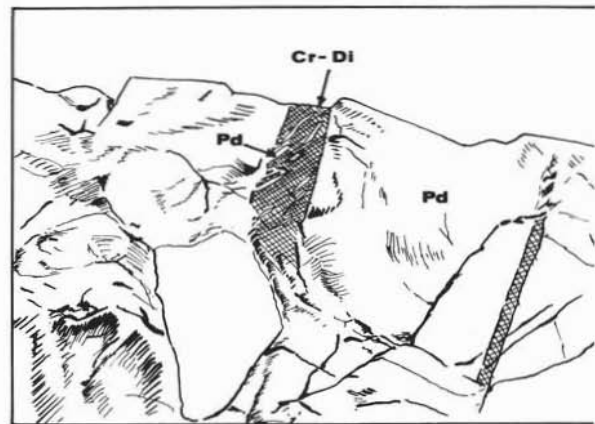


Fig. 7. — Strutture ad « en échelons » in bande della suite « Cr-diopside ».

nerazione per il brusco aumento modale di spinello, mediamente presente in ragione del 10 %; microscopicamente lo spinello è verde e può essere presente sia come fase interstiziale tra i pirosseni, sia incluso in

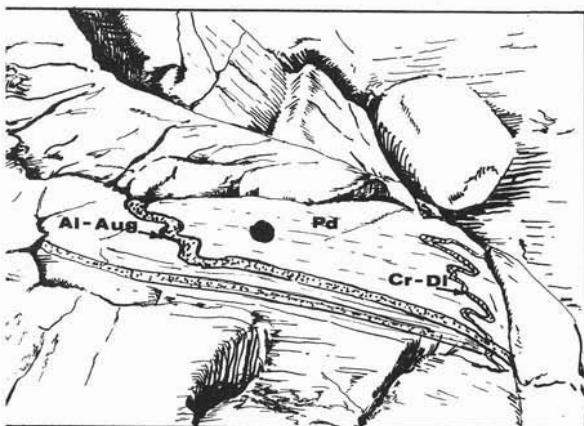


Fig. 8. — Pieghe ptigmatiche isoclinali nei filoni della suite Cr-diopside (Cr-Di). Si possono osservare anche pieghe con lo stesso piano assiale (parallelo alla foliazione) nei filoni della suite Al-augite (Al-Aug), nella peridotite di Balmuccia (Pd)

forma idiomorfa nei clinopirosseni, talvolta anche a grana grossa (fig. 5).

Nei filoni in cui compare il plagioclasio, esso si presenta in minuti cristalli associato a spinello verde e/o a orneblenda bruna. In base alle percentuali modali di plagioclasio la composizione sfuma da websteriti a plagioclasio a gabbri. Nei rari filoni gabbri, pirosseni e plagioclasio sono ancora accompagnati da spinello verde (il cui contenuto modale si mantiene sempre attorno al 10%) che spesso compare in reazione con l'anfibolo. I clinopirosseni smescolano frequentemente spinello (fig. 6), accompagnato da lamelle di ortopirosseno.

Dal punto di vista strutturale i filoni della suite Cr-diopside ben si differenziano da quelli della suite Al-augite: i primi prevalgono nel settore centro-occidentale di Balmuccia, associati spesso ad una peridotite di composizione da harzburgitica a dunitica; i secondi sono invece più frequenti nel settore orientale, dove la composizione della peridotite varia da lherzolitica ad harzburgitica.

Le *pirosseni verdi della suite Cr-diopside* possono presentarsi sia in bande che in filoni: le bande sono sempre concordanti con la foliazione e possono essere sia in contatto netto con la peridotite, sia in contatto « sfrangiato », dato da un intreccio di vene anastomizzate. Frequentemente contengono inclusioni peridotitiche sia stirate parallelamente alla foliazione, sia « en échelon », sempre comprese tra due piani di foliazione (fig. 7); quest'ultima struttura è stata osservata a Lanzo da BOUDIER & NICOLAS (1972), relativa però a lenticelle feldspatiche. Quando compare l'olivina, nella maggior parte dei casi essa fa parte dei brandelli lherzolitici inclusi nelle bande di questa serie ed è quindi estranea al processo di formazione delle stesse (l'olivina potrebbe rappresentare una fase di liquidus solo nei rarissimi casi in cui si presenta sotto forma di minuti cristalli a composizione più fayalitica). I filoni della suite Cr-diopside sono generalmente concordanti con la foliazione, sempre a contatto netto con la peridotite, a grana media e omogenei, mediamente potenti 5-6 cm, ma possono raggiungere potenze anche di 80 cm. Quando sono discordanti non contengono inclusi peridotitici e presentano invece spinte deformazioni penetrative evidenziate da pieghe ptigmatiche isoclinali con piano assiale parallelo alla foliazione (fig. 8) e nelle cui cerniere sono talvolta osservabili concentrati di spinello. Come già accennato, nelle porzioni dunitiche a fianco di questi filoni, sono spesso presenti concentrati di spinello sotto forma di sottili e continui microlayers paralleli alla foliazione, oppure discordanti, con pieghe ptigmatiche simili a quelle dei filoni Cr-diopside (fig. 9).

Le strutture di « boudinage » compaiono molto raramente e solo lungo il margine orientale: i « budini » possono essere di composizione Cr-diopsidica o bronzititica e sono sempre avvolti nella foliazione, formando

talvolta lenti a grana grossa (v. fig. 4).

Le *pirosseniti della suite Al-augite* mostrano un ampio range composizionale e notevoli variazioni per quanto riguarda l'assetto strutturale e mesoscopico. Si possono distinguere:

1) filoni websteritici compatti a grana fine o grossa, omogenei;

2) filoni con forti zonature legate alle concentrazioni di spinello che generalmente si dispongono al centro dei dicchi. Le zonature possono essere accompagnate anche da variazioni locali del rapporto orto-clinopirosseno;

3) filoni di potenza variabile, a grana grossa, fortemente arricchiti in spinello;

4) filoni websteritici, a grana variabile, con comparsa di plagioclasio al centro del filone;

5) filoni e pods gabbrici (rari).

I filoni di questa suite sono generalmente subconcordanti con la foliazione, mostrano sempre un contatto netto con la peridotite incassante e non contengono mai inclusioni lherzolitiche. Quando sono discordanti ripetono i motivi strutturali a pieghe isoclinali della suite Cr-diopside. In certi casi si può notare che le pieghe dei filoni Cr-diopside e quelle dei filoni Al-augite hanno lo stesso piano assiale, con la differenza però che le pieghe della serie Al-augite sono molto meno accentuate (fig. 8). Tale caratteristica suggerisce che il meccanismo di deformazione era dello stesso tipo e continuato nel tempo, mentre la risposta alle sollecitazioni di stress era via via meno plastica fino ad arrivare ad una risposta essenzialmente rigida, testimoniata da esempi di intrusioni in piani di faglia (fig. 10). Spesso i filoni discordanti Al-augite, ad andamento rettilineo, sono deformati in corrispondenza della intersezione con un filone più vecchio, e formano una piega con piano assiale parallelo alla direzione del filone intersecato.

Esistono anche filoni zonati, di potenza variabile, a carattere transizionale tra una suite e l'altra: la zonatura è data da bordi verdi Cr-diopsidici e centro grigio-rosato, a composizione Al-augitica, spesso con concentrazioni di spinello (fig. 11). In linea generale la zonatura può essere attribuibile ad un processo di differenziazione per flusso lento; tuttavia, nei casi in cui il contatto con la



Fig. 9. — Pieghe ptygmatiche, registrate da « trenini » di spinello cromifero (Cr-Sp) nella peridotite di Balmuccia.

peridotite è sfrangiato e i bordi verdi Cr-diopsidici contengono inclusi peridotitici, la zonatura può essere il risultato di un processo di riintrusione di liquidi diversi nella stessa zona di discontinuità.

Petrochimica e chimismo delle fasi della peridotite di Balmuccia e dei filoni

In tabella 1 sono riportate le analisi di alcuni campioni rappresentativi della peridotite e dei filoni e nelle tabelle 2, 3, 4, 5 le analisi rappresentative delle fasi minerali.

Gli elementi maggiori e in tracce (roccia totale) sono stati determinati mediante fluorescenza a raggi X, secondo il metodo di FRANZINI et al. (1975) e LEONI & SAIITA (1976). Le composizioni delle fasi minerali sono state determinate mediante microsonda

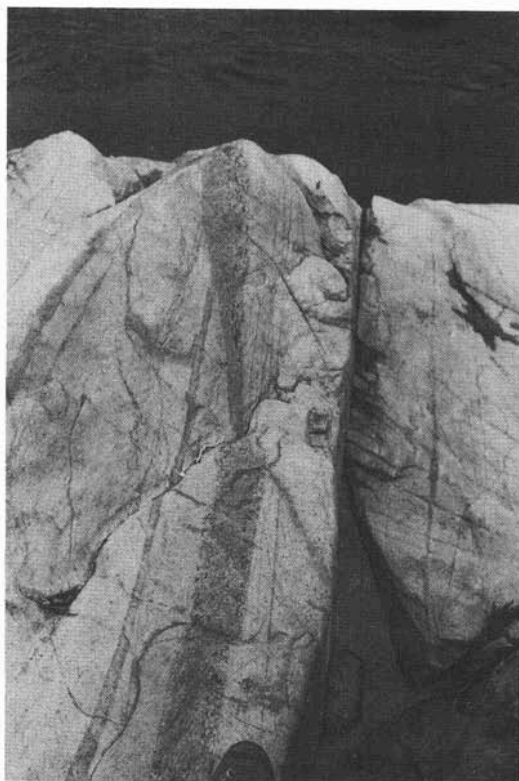


Fig. 10. — Filone della serie «Al-augite» (potenza 15 cm) impostatosi in piano di faglia.



Fig. 11. — Filone «transizionale». Per la spiegazione v. testo.

elettronica (analisi puntuali e traverse). Le proporzioni cationiche sono state calcolate assumendo nelle olivine tutto il ferro come bivalente; il ferro trivalente nei *pirosseni* è stato stimato sulla base dell'eccesso cationico nella formula (CAWTHORN & COLLERSON, 1974); negli spinelli il contenuto in ferro ferrico è stato calcolato su base stechiometrica.

Il range di variazione composizionale nelle peridotiti è piuttosto ampio (SINIGOI et al., 1980; RIVALENTI et al., 1981 a e bibliografia citata): il rapporto $FeO_{tot}/FeO_{tot} + MgO$ delle composizioni globali varia notevolmente (da 0,156 a 0,177), mentre il rapporto Fe/Mg delle fasi è relativamente costante. Ciò suggerisce che le variazioni composizionali della peridotite si possono ricavare sostanzialmente dalle variazioni modalali, ovvero dalle variazioni del rapporto olivina/pirosseni: modalmente infatti i campioni TS 9, TS 19, TS 28B variano da lherzolititi ad harzburgiti (59-62 % di olivina; 25-

28 % di ortopirosseno; 15-9 % di clinopirosseno; 1 % di spinello), mentre il campione TS 32 è rappresentativo delle porzioni più impoverite, a composizione dunitica (90 % di olivina; 8 % di ortopirosseno; 1 % di clinopirosseno; 1 % di spinello).

Considerazioni petrologiche

A Baldissero la peridotite mostra delle variazioni composizionali simili a quelle di Balmuccia, senza arrivare però a composizioni dunitiche. Inoltre le variazioni composizionali nella peridotite di Baldissero sono molto più limitate arealmente, essendo la maggior parte della massa piuttosto omogenea e con una composizione media corrispondente ad una peridotite relativamente poco impoverita (SINIGOI et al., 1980). Tenendo presente tale fatto e considerando inoltre che le porzioni più impoverite nella peridotite di Balmuccia compaiono in prossimità delle bande e dei filoni Cr-diopside,

TABELLA 1
Composizioni globali « anidre »

A: peridotite « media » di Balmuccia; B: pyrolite (GREEN & RINGWOOD, 1967); TS 9, TS 19, TS 28B: tipi peridotitici « normali »; TS 32: peridotite « impoverita »; TS 13: peridotite « arricchita ». Da 1 a 6: suite Cr-diopside; da 7 a 17: suite Al-augite (7-16: filoni pirossenitici; 17: filone gabbrico). Fe totale come Fe₂O₈.

	A	B	TS9	TS 19	TS28B	TS 32	TS 13	1	2	3	4	5
SiO ₂	44.98	45.16	44.69	45.33	45.05	40.23	47.61	52.07	52.26	49.31	51.03	52.21
TiO ₂	.09	.71	.09	.10	.09	.02	.10	.16	.22	.15	.16	.22
Al ₂ O ₃	2.59	3.54	2.51	2.80	2.37	.69	2.58	3.37	4.42	3.77	3.98	4.59
Fe ₂ O ₃	9.13	9.39	9.28	9.13	9.04	10.02	8.78	6.16	5.62	6.96	6.29	6.73
MnO	.14	.14	.14	.15	.14	.14	.14	.15	.14	.14	.14	.16
MgO	39.84	37.47	40.27	38.39	40.37	48.62	36.37	21.67	21.58	26.90	25.74	22.45
CaO	3.23	3.08	3.01	4.08	2.93	.28	4.41	16.36	15.54	9.95	12.41	13.74
Na ₂ O	.01	.57	.01	.01	.01	.00	.01	.08	.19	.11	.24	.17
K ₂ O	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.01
P ₂ O ₅	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.02	.01	.01	.01	.01
Cr	2754	2945	2660	2940	2714	3320	2283	2797	5410	3805	3247	4238
Ni	1930	1572	2033	1872	2059	2551	1848	685	789	1448	1176	1221

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	TS 23	TS 26	TS6	TS2	TS 25	TS 1	TS 10	TS3	TS5	TS 20	TS 15	TS 4G
SiO ₂	51.82	44.76	44.97	45.34	46.66	46.93	47.66	48.49	49.27	49.91	50.08	49.66
TiO ₂	.25	.44	.68	.43	.59	.68	.55	.67	.52	.42	.31	.91
Al ₂ O ₃	5.07	13.13	12.30	9.30	11.37	9.52	10.05	7.89	6.29	6.28	6.36	16.86
Fe ₂ O ₃	7.00	8.77	7.80	8.06	6.93	8.07	5.32	7.41	11.00	9.09	8.35	6.52
MnO	.16	.16	.23	.14	.14	.15	.13	.15	.11	.19	.17	.11
MgO	21.66	18.60	18.60	24.01	19.87	21.97	19.56	20.50	21.67	21.95	21.44	12.52
CaO	13.81	13.80	15.23	12.42	14.02	11.84	16.27	14.49	10.87	11.91	12.99	10.73
Na ₂ O	.21	.32	.18	.29	.40	.34	.44	.37	.26	.23	.27	2.65
K ₂ O	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.00	.01	.00	.01	.01	.03
P ₂ O ₅	.01	.02	.02	.01	.01	.01	.02	.02	.01	.01	.01	.02
Cr	1688	7	158	1138	1217	1402	141	988	1042	829	445	482
Ni	792	442	730	1423	841	846	931	856	787	777	615	644

come già osservato da SHERVAIS (1979 b, e per es. a Lanzo da BOUDIER & NICOLAS, 1972), e che, come a Baldissero, esse sono caratterizzate da spinello più cromifero e pirosseno e olivina più magnesiaci (v. TS 32), è verosimile supporre che le disomogeneità composizionali di Balmuccia non siano primarie, ma piuttosto il risultato di un processo di fusione parziale, prolungato nel tempo e forse caratterizzato da possibili discontinuità, che in gradi diversi ha impoverito la porzione di mantello.

Il campione TS 13 (particolarmente arricchito in ortopirosseno: 44 % di olivina; 38 % di ortopirosseno; 17 % di clinopirosseno; 1 % di spinello) ha una composizione globale « anomala ». Strutturalmente corrisponde alle porzioni lherzolitiche caratterizzate da microlayering pirossenitico. Verosimilmente esso rappresenta il prodotto di un « autoinquinamento » della peridotite da parte di liquidi derivati dalla fusione parziale; liquidi che, nella prima fase, a comportamento fortemente plastico della massa, potevano restare « intrappolati » e permeare

la peridotite, producendo pertanto l'arricchimento in pirosseni. Di questo inquinamento risente anche la composizione delle fasi (v. per es. il contenuto più elevato in Al nell'ortopirosseno del campione TS 13).

La stretta analogia tra la composizione media di Balmuccia (calcolata escludendo sia i tipi arricchiti tipo TS 13, sia quelli fortemente impoveriti tipo TS 32) e la pyrolite di GREEN & RINGWOOD viene evidenziata nella tabella 1.

In base alle composizioni globali « anidre » relative ai filoni Cr-diopside e Al-augite si può notare che nessuno dei filoni della prima suite può rappresentare un liquido primario derivato dalla fusione parziale di una lherzolite a spinello; mentre tra quelli della seconda suite, qualcuno (tipo TS 25, corrispondente ad un filone omogeneo a grana fine, tipo « 1 ») si avvicina alla composizione di un liquido picritico.

Le due suites si distinguono sostanzialmente per il contenuto in Cr (nettamente superiore nei filoni Cr-diopside) e in Al₂O₃ (nettamente superiore nei filoni Al-augite).

TABELLA 2
Analisi rappresentative di olivine

	1	2	3	4	5	6	7
	TS9	TS 13	TS 19	TS 21	TS29B	TS 32	TS 22
SiO ₂	41.26	40.34	41.62	41.03	39.51	40.49	40.73
TiO ₂	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00
Al ₂ O ₃	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.00
FeO	10.16	10.33	9.96	10.52	11.25	8.66	10.33
MnO	.14	.17	.16	.17	.17	.15	.15
MgO	48.90	48.17	49.87	49.05	46.92	51.57	49.84
CaO	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.00
Cr ₂ O ₃	.02	.00	.00	.03	.05	.10	.00
NiO	.35	.28	.31	.28	.23	.29	.31
Somma	100.84	99.29	101.92	101.08	98.13	101.32	101.36
Si	1.004	.999	1.001	.999	.996	.978	.989
Ti	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
Al	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000
Fe ²⁺	.207	.214	.200	.214	.237	.175	.210
Mn	.003	.004	.003	.004	.004	.003	.003
Mg	1.774	1.778	1.788	1.779	1.762	1.856	1.804
Ca	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
Cr	.000	.000	.000	.001	.001	.002	.000
Ni	.007	.006	.006	.005	.005	.006	.006
Fo	89.56	89.26	89.92	89.26	89.14	91.39	89.58

1-5: peridotite; 6: peridotite impoverita; 7: banda Cr-diopside.

Ciò si riconduce al fatto che i filoni Cr-diopside sono caratterizzati da pirosseni e spinelli cromiferi, mentre quelli Al-augite da pirosseni e spinelli alluminiferi, questi ultimi accompagnati da un brusco aumento modale di spinello a composizione ercinitica (cfr. tab. 3-4-5). I pirosseni della seconda suite registrano inoltre tenori più bassi in Mg e un debole arricchimento in Ti, Fe e Na.

Si può notare che le composizioni dei pirosseni della suite Cr-diopside sono analoghe a quelle dei pirosseni della peridotite: ciò suggerisce che i filoni di tale suite rappresentino il primo frazionato depositato dai liquidi prodotti dalla fusione, liquidi evidentemente in equilibrio con la peridotite residua. In certi casi il rapporto Fe/Mg e Al/Cr è più alto nei pirosseni dei filoni rispetto ai pirosseni della peridotite, ma ciò è spiegabile considerando il fatto che il primo frazionato non necessariamente è infini-

tesimo, ma può essere rappresentativo anche di un più alto rapporto solido/liquido (5-10 %).

Compatibilmente ai diversi gradi di impoverimento presenti nella peridotite, il processo di fusione parziale deve aver dato luogo a liquidi composizionalmente diversi; questo è anche suggerito dalle relazioni composizionali degli spinelli proiettate nel diagramma binario Cr/Cr+Al (Sp), Fe²⁺/BIV. (sp) (fig. 12). Si possono notare due concentrazioni: per valori Cr/Cr+Al > ,040 si proiettano gli spinelli dei filoni Cr-diopside e della peridotite; per Cr/Cr+Al < ,040 quelli dei filoni Al-augite. Nella parte relativa ai filoni Cr-diopside la correlazione è positiva e definita da un fascio di rette (zonature degli spinelli) parallele tra loro: questo indicherebbe che essi sono stati frazionati da liquidi diversi, caratterizzati da diversi rapporti iniziali Fe/Cr; tale rapporto dovrebbe essere principalmente funzione del

TABELLA 3
Analisi rappresentative di ortopirosseni

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	TS9	TS 13	TS 19	TS 21	TS28B	TS29B	TS 14	TS 17	TS 22	TS 23	TS 24	TS 27	TS32A
SiO ₂	57.16	53.54	55.03	55.49	54.56	55.14	53.60	55.36	55.15	54.47	54.00	54.35	55.45
TiO ₂	.00	.05	.06	.11	.08	.14	.05	.07	.05	.07	.06	.04	.04
Al ₂ O ₃	1.33	4.15	2.78	3.97	3.02	2.75	3.58	3.10	3.23	5.07	4.23	4.09	2.54
Fe ₂ O ₃	.83	1.18	.00	.60	1.34	1.07	.97	.14	.69	.73	1.09	.82	1.37
FeO	6.60	5.95	6.84	6.40	5.21	6.74	8.98	6.77	6.40	8.97	7.59	8.09	7.34
MnO	.20	.18	.18	.19	.14	.20	.24	.18	.19	.22	.19	.22	.24
MgO	35.20	33.41	31.87	33.76	34.19	33.82	31.48	33.17	33.76	31.86	32.65	32.29	34.06
CaO	.15	.37	.25	.28	.91	.37	.32	.27	.28	.28	.33	.33	.26
Na ₂ O	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.01	.01	.01	.00
Cr ₂ O ₃	.14	.21	.29	.26	.24	.26	.30	.26	.26	.20	.48	.26	.27
Somma	101.61	99.14	97.30	101.06	99.71	100.52	99.52	99.33	100.01	101.88	100.63	100.51	100.57
Si	1.948	1.876	1.953	1.898	1.895	1.907	1.892	1.928	1.910	1.873	1.874	1.889	1.905
Al ^{IV}	.052	.124	.047	.102	.105	.093	.108	.072	.090	.127	.126	.111	.095
Al ^{VI}	.001	.001	.070	.003	.018	.004	.041	.055	.042	.078	.047	.056	.008
Ti	.000	.001	.002	.003	.002	.004	.001	.002	.001	.002	.002	.001	.001
Fe ³⁺	.021	.031	.000	.015	.035	.028	.026	.004	.018	.019	.029	.021	.035
Fe ²⁺	.188	.174	.203	.199	.151	.195	.265	.197	.185	.258	.220	.235	.211
Mn	.006	.005	.005	.004	.004	.006	.007	.005	.006	.006	.006	.006	.007
Mg	1.788	1.741	1.686	1.701	1.769	1.743	1.656	1.721	1.742	1.632	1.689	1.672	1.744
Ca	.005	.014	.010	.021	.034	.014	.012	.010	.010	.010	.012	.012	.010
Na	.000	.000	.000	.002	.001	.002	.000	.001	.000	.001	.001	.001	.000
Cr	.004	.006	.008	.007	.007	.007	.008	.007	.007	.005	.013	.007	.007
Fe	9.49	9.02	10.69	10.34	7.74	9.99	13.71	10.22	9.56	13.57	11.46	12.25	10.74
Wo	.28	.72	.50	1.07	1.73	.70	.63	.52	.54	.54	.64	.64	.49
En	90.24	90.26	88.80	88.59	90.53	89.31	85.66	89.26	89.90	85.88	87.90	87.11	88.77
NiO	.00	.06	.06	.08	.11	.04	.13	.08	.00	.09	.10	.08	.08
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	TS1	TS2	TS3	TS5	TS 11	TS 12	TS 15	TS 16	TS 20	TS 25	TS 26	TS 46	
SiO ₂	53.87	52.96	51.66	51.35	53.92	52.07	52.67	52.74	52.94	53.54	51.60	51.61	
TiO ₂	.19	.11	.18	.16	.08	.05	.06	.09	.09	.09	.14	.14	
Al ₂ O ₃	5.38	4.38	5.88	5.97	5.32	5.59	5.45	5.25	4.65	5.14	5.67	4.85	
Fe ₂ O ₃	1.57	1.54	1.80	.36	.00	.25	.64	.54	.64	.19	1.49	.70	
FeO	7.74	6.75	8.47	12.74	9.09	10.58	9.89	10.34	11.00	8.90	9.42	10.87	
MnO	.22	.22	.19	.24	.21	.26	.21	.26	.23	.23	.26	.23	
MgO	32.87	32.92	31.38	27.05	30.60	28.83	30.06	29.77	29.54	30.77	29.60	28.74	
CaO	.45	.28	.29	.61	.36	.28	.27	.28	.35	.31	1.29	.37	
Na ₂ O	.02	.00	.00	.03	.01	.02	.01	.00	.02	.00	.05	.04	
Cr ₂ O ₃	.04	.03	.06	.12	.26	.14	.06	.22	.03	.00	.00	.09	
Somma	102.35	99.19	99.91	98.63	99.85	98.17	99.32	99.49	99.49	99.17	99.52	97.64	
Si	1.842	1.861	1.819	1.857	1.887	1.870	1.866	1.869	1.882	1.886	1.835	1.872	
Al ^{IV}	.158	.139	.181	.143	.113	.130	.134	.131	.118	.114	.165	.128	
Al ^{VI}	.059	.042	.063	.112	.107	.111	.093	.089	.077	.100	.072	.079	
Ti	.005	.003	.005	.004	.002	.001	.002	.002	.002	.002	.004	.004	
Fe ³⁺	.040	.041	.048	.010	.000	.007	.017	.014	.017	.005	.040	.019	
Fe ²⁺	.221	.198	.249	.385	.266	.318	.293	.306	.327	.262	.280	.330	
Mn	.006	.007	.006	.007	.006	.008	.006	.008	.007	.007	.008	.007	
Mg	1.675	1.724	1.647	1.458	1.596	1.543	1.587	1.573	1.565	1.615	1.569	1.553	
Ca	.016	.011	.011	.024	.013	.011	.010	.011	.013	.012	.049	.014	
Na	.001	.000	.000	.002	.001	.001	.001	.000	.001	.000	.003	.003	
Cr	.001	.001	.002	.003	.007	.004	.002	.006	.001	.000	.000	.003	
Fe	11.57	10.26	13.07	20.64	14.18	16.98	15.50	16.22	17.17	13.88	14.76	17.38	
Wo	.86	.55	.58	1.27	.72	.58	.54	.56	.70	.62	2.59	.76	
En	87.57	89.19	86.35	78.09	85.10	82.44	83.95	83.22	82.13	85.50	82.65	81.87	
NiO	.07	.00	.00	.08	.04	.07	.06	.00	.08	.05	.00	.00	

1-6: peridotite di Balmuccia; 7-13: filoni Cr-diopsidi; 14-25: filoni Al-augite.

grado di fusione parziale, considerando che la fugacità di ossigeno doveva essere verosimilmente costante. Anche i filoni Al-augite definiscono una correlazione positiva, ma i punti rappresentativi sono notevolmente più dispersi. Il gap tra le due suites e la dispersione della correlazione nella parte sinistra del diagramma sono probabilmente imputa-

bili al mancato controllo del Cr sul Kd Fe-Mg tra spinello e pirosseno (RIVALENTI et al., 1981 b e bibliografia citata).

Tale considerazione è visualizzabile nel diagramma $Fe_{tot}/Fe_{tot} + Mg$ (cpx) contro $Fe^{2+}/Fe^{2+} + Mg$ (sp) (fig. 13). Le aree tracciate racchiudono i diversi contenuti in Cr^{sp} e danno modo di evidenziare il con-

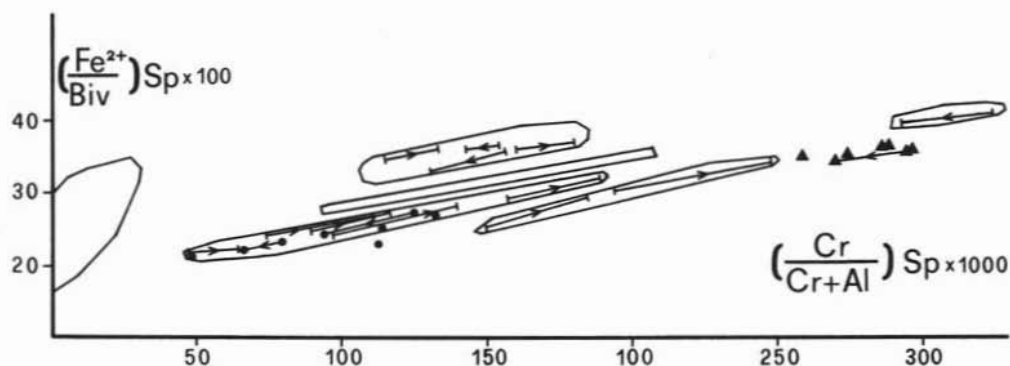


Fig. 12. — Diagramma $(\text{Fe}^{2+}/\text{Biv}) \cdot 100 - (\text{Cr}/\text{Cr} + \text{Al}) \cdot 1000$ degli spinelli. ●: composizioni rappresentative di spinelli della peridotite « media » di Balmuccia; ▲: composizioni rappresentative di spinelli della peridotite « impoverita » (TS 32). Per $(\text{Cr}/\text{Cr} + \text{Al}) \cdot 1000 < 40$, l'area rappresentata racchiude le composizioni degli spinelli della suite Al-augite. Le altre aree si riferiscono agli andamenti degli spinelli nei filoni appartenenti alla suite Cr-diopside. I segmenti e le frecce indicano rispettivamente l'ampiezza e il verso delle zonature (da centro a bordo).

trollo del Cr sull'inversione di relazione Fe/Mg del clinopirosseno - Fe/Mg dello spinello coesistente:

- per bassi Cr^{sp} (minori di 0,7) la correlazione è positiva e l'area rappresenta i filoni gabbrici e i filoni Al-augite;
- per Cr^{sp} tra 0,7 e 1,3 si ha il campo dei filoni « transizionali »;
- per Cr^{sp} superiore a 1,3 la correlazione è tendenzialmente negativa e le aree rappresentano i filoni della suite Cr-diopside; nell'area indicata con Cr^{sp} tra 4 e 5,5 cadono i punti rappresentativi dei filoni Cr-diopside « più primitivi »: il Fe^{2+} , sotto controllo del Cr, si concentra negli spinelli e per contro Mg nei pirosseni.

Il confronto dei dati analitici, di roccia in toto e delle fasi minerali, tra i filoni Cr-diopside e Al-augite, la presenza di filoni a carattere « transizionale » e le relazioni chimiche di fase esposte nei diagrammi, suggeriscono che la suite Al-augite può essere geneticamente collegabile a quella Cr-diopside mediante un unico tipo di processo di frazionamento. Ovvero i filoni Al-augite potrebbero rappresentare il frazionato di liquidi già evoluti, impoveriti in Cr e Mg, in quanto nelle stesse zone di fusione essi avevano frazionato le websteriti Cr-diopside. Il più ampio range di variazione composizionale che essi offrono rispetto alla suite precedente può essere legato a percentuali variabili di solidus da essi rappresentate.

Discussione

I dati tessiturali e analitici della peridotite di Balmuccia e dei filoni Cr-diopside registrano gli eventi relativi alla fusione parziale del mantello, mentre quelli della suite Al-augite il successivo frazionamento dei liquidi.

Le tessiture e le variazioni composizionali della peridotite suggeriscono che i processi di fusione parziale sono avvenuti in gradi diversi e in condizioni dinamico-deformative alle quali la peridotite rispondeva plasticamente (tessitura protogranulare secondaria e foliata). Tali processi erano verosimilmente concomitanti alla fase di risalita adiabatica del mantello.

La presenza di fasi idrate primarie (anfipolo e flogopite), scarsissime nelle websteriti Cr-diopside e via via più abbondanti nella suite Al-augite e nei gabbrici, indica che du-

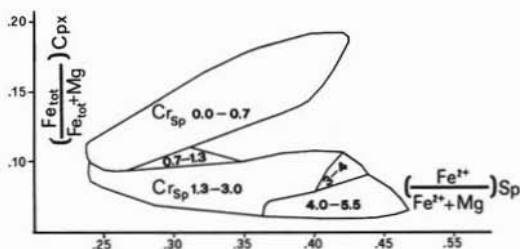


Fig. 13. — $(\text{Fe}^{10i}/\text{Fe}^{10i} + \text{Mg}) \text{ cpx} - (\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}) \text{ Sp}$. Diagramma areale. Vengono distinte le aree a vari contenuti in Cr degli spinelli. $\text{Cr}_{\text{Sp}}: 0,0-0,7$, filoni della suite Al-augite. $\text{Cr}_{\text{Sp}}: 0,7-1,3$, filoni « transizionali ». $\text{Cr}_{\text{Sp}} > 1,3$, filoni della suite Cr-diopside.

TABELLA 4
Analisi rappresentative di clinopirosseni

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	TS9	TS 13	TS 19	TS 21	TS288	TS298	TS 32	TS 14	TS 17	TS 22	TS 23	TS 24	TS 27
SiO ₂	51.09	50.89	52.11	51.67	50.85	49.65	51.66	52.77	50.06	51.24	51.31	50.56	50.87
TiO ₂	.42	.35	.35	.55	.43	.76	.42	.19	.30	.25	.28	.30	.25
Al ₂ O ₃	5.41	4.32	5.30	5.33	4.02	4.63	3.22	3.58	5.05	4.88	5.29	4.92	4.92
Fe ₂ O ₃	.29	.88	.00	.19	.76	.58	1.23	.86	.22	.86	.95	1.18	.50
FeO	2.38	1.83	2.79	2.97	1.59	2.42	.90	2.73	2.59	1.81	2.54	1.82	2.79
MnO	.08	.09	.10	.11	.11	.11	.10	.13	.08	.10	.06	.15	.15
MgO	14.54	15.98	15.13	14.96	15.36	14.74	17.02	16.95	15.42	15.92	15.60	15.96	15.25
CaO	21.95	22.79	21.80	21.88	22.78	21.37	22.71	23.29	20.76	22.70	23.30	22.30	21.73
Na ₂ O	1.17	.65	.00	1.03	.90	1.04	.81	.54	.80	.92	.63	.80	.84
Cr ₂ O ₃	.95	.29	.74	.43	.60	.62	1.03	.37	.82	.58	.21	.85	.60
Somma	98.28	98.07	99.32	99.12	97.40	95.92	99.10	101.01	96.10	98.86	100.17	98.84	97.90
Si	1.890	1.888	1.915	1.895	1.900	1.886	1.884	1.906	1.890	1.885	1.869	1.865	1.892
Al ^{IV}	.110	.112	.085	.105	.100	.114	.116	.094	.110	.115	.131	.135	.108
Al ^{VI}	.126	.077	.144	.125	.077	.093	.084	.059	.115	.097	.096	.078	.107
Ti	.012	.010	.010	.015	.012	.022	.008	.005	.009	.007	.008	.008	.007
Fe ³⁺	.008	.025	.000	.005	.021	.017	.017	.023	.006	.024	.026	.033	.014
Fe ²⁺	.074	.057	.086	.091	.050	.077	.073	.082	.082	.056	.077	.056	.087
Mn	.003	.003	.003	.003	.003	.004	.004	.004	.003	.003	.002	.005	.005
Mg	.802	.883	.828	.818	.855	.834	.935	.891	.868	.851	.847	.877	.845
Ca	.870	.906	.858	.860	.912	.870	.820	.902	.840	.895	.909	.881	.866
Na	.084	.047	.000	.073	.065	.077	.045	.038	.059	.056	.045	.057	.061
Cr	.028	.009	.021	.012	.018	.019	.024	.011	.024	.027	.006	.025	.018
Fs	4.22	3.08	4.84	5.15	2.74	4.31	1.50	4.39	4.57	3.09	4.22	3.09	4.83
Wo	49.85	49.07	48.42	48.61	50.19	48.84	48.23	48.08	46.94	49.57	49.59	48.57	48.16
En	45.93	47.85	46.74	46.23	47.07	46.85	50.27	47.52	48.49	47.24	46.19	48.35	47.01
NiO	.09	.07	.04	.10	.06	.08	.03	.02	.00	.07	.00	.00	.00
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	TS32A	TS1	TS2	TS3	TS5	TS 11	TS 12	TS 15	TS 16	TS 20	TS 25	TS 26	TS 46
SiO ₂	50.40	49.79	48.82	49.03	49.19	50.29	49.80	49.29	50.15	49.93	50.32	49.19	48.90
TiO ₂	.30	1.06	.73	.96	.82	.62	.39	.51	.61	.68	.84	.59	1.75
Al ₂ O ₃	4.73	7.25	7.25	7.69	7.15	7.23	6.47	7.40	6.48	6.58	7.15	7.77	8.54
Fe ₂ O ₃	.62	1.24	1.10	1.45	.42	.58	.37	.64	.83	.86	.81	1.23	1.10
FeO	2.44	2.50	2.28	2.69	4.86	2.72	3.70	3.44	3.67	3.46	2.44	3.04	3.95
MnO	.13	.13	.09	.14	.16	.09	.13	.14	.16	.11	.14	.11	.05
MgO	17.45	14.66	14.63	14.46	12.78	13.91	13.84	13.73	14.18	14.17	14.51	14.00	12.80
CaO	21.28	21.77	21.28	21.44	21.73	22.18	21.92	22.70	21.74	22.00	22.28	22.34	20.73
Na ₂ O	.65	1.27	1.11	1.26	.99	1.21	.84	.71	1.06	1.02	1.10	1.01	1.83
Cr ₂ O ₃	.85	.12	.00	.05	.16	.15	.17	.09	.26	.12	.07	.00	.12
Somma	100.85	99.79	97.29	99.17	98.26	98.98	97.63	98.65	99.14	98.93	99.76	99.28	99.77
Si	1.884	1.820	1.826	1.806	1.840	1.844	1.853	1.829	1.851	1.846	1.837	1.813	1.797
Al ^{IV}	.116	.180	.174	.194	.160	.156	.137	.171	.149	.154	.163	.187	.203
Al ^{VI}	.084	.133	.145	.140	.155	.157	.149	.153	.133	.133	.144	.151	.167
Ti	.008	.029	.021	.027	.023	.017	.011	.014	.017	.019	.023	.016	.048
Fe ³⁺	.017	.034	.031	.040	.012	.016	.010	.018	.023	.024	.022	.034	.030
Fe ²⁺	.073	.077	.071	.083	.152	.083	.116	.107	.113	.107	.074	.094	.121
Mn	.004	.004	.003	.004	.005	.003	.004	.004	.005	.003	.004	.003	.002
Mg	.935	.799	.815	.794	.712	.760	.772	.759	.780	.781	.795	.769	.701
Ca	.820	.853	.853	.846	.871	.872	.879	.902	.860	.872	.871	.882	.816
Na	.045	.090	.080	.090	.072	.086	.061	.051	.076	.073	.078	.072	.130
Cr	.024	.003	.000	.001	.005	.016	.005	.003	.008	.004	.002	.000	.003
Fs	4.01	4.43	4.10	4.81	8.76	4.86	6.56	6.04	6.47	6.08	4.27	5.36	7.42
Wo	44.85	49.35	49.02	49.12	50.19	50.81	49.75	51.03	49.04	49.54	50.06	50.56	49.81
En	51.15	46.22	46.88	46.08	41.05	44.32	43.69	42.93	44.49	44.38	45.66	44.07	42.78
NiO	.03	.04	.00	.00	.07	.00	.02	.00	.00	.03	.04	.00	.00

1-6: peridotite di Balmuccia; 7: peridotite impoverita; 8-14: filoni Cr-diopside; 15-26: filoni Al-augite.

rante il processo di fusione e di frazionamento dei liquidi l'attività delle fasi fluide poteva non essere trascurabile e condizionare il grado di fusione; è da ritenersi pertanto che Balmuccia rappresentasse una sorgente almeno parzialmente idrata.

Durante l'ascesa fortemente plastica del mantello, in funzione dell'intensità di stress, poteva localmente essere superata la soglia di plasticità della peridotite: ciò permetteva

la formazione di possibili vie di « percolamento » per i liquidi; dato il contesto dinamico-deformativo, esse non rappresentavano dei veri e propri condotti di flusso, ma piuttosto delle zone di « lacerazione » orizzontale della peridotite, in cui potevano restare brandelli sparsi lherzolitici, e dove i fusi potevano fluire molto lentamente e con difficoltà. In tali condizioni di bassa permeabilità e alta plasticità della massa i liquidi

TABELLA 5
Analisi rappresentative di spinelli

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	TS9	TS 13	TS 19	TS 21	TS28B	TS29B	TS 32	TS 14	TS17*	TS17**	TS 22	TS 24	TS 27
SiO ₂	.00	.00	.04	.00	.05	.00	.00	.00	.40	.18	.00	.00	.00
TiO ₂	.05	.00	.03	.08	.04	.05	.28	.06	.05	.05	.00	.00	.00
Al ₂ O ₃	51.93	61.04	55.34	56.61	55.66	54.42	38.64	47.68	51.47	49.25	56.38	50.85	58.76
Fe ₂ O ₃	4.32	3.35	3.05	4.37	3.54	3.18	4.21	3.70	3.37	2.39	4.79	3.59	3.28
FeO	11.98	10.22	11.69	10.85	10.36	12.63	13.49	15.94	11.19	13.33	11.34	16.07	11.32
MnO	.17	.10	.16	.11	.17	.19	.25	.21	.18	.20	.12	.20	.16
MgO	18.04	20.46	18.91	19.36	19.88	18.31	16.16	15.81	18.47	16.99	19.29	15.74	19.54
CaO	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.02
Cr ₂ O ₃	11.82	4.56	10.61	7.38	10.53	11.59	27.86	18.72	13.37	16.55	8.11	14.11	6.89
Somma	98.31	100.88	99.83	98.77	100.23	100.53	100.89	102.11	98.50	98.99	100.04	100.55	99.96
Si	.000	.000	.008	.000	.010	.000	.000	.000	.086	.039	.000	.000	.000
Ti	.008	.000	.005	.013	.006	.008	.047	.010	.008	.008	.000	.000	.000
Al	13.253	14.741	13.728	14.058	13.681	13.540	10.259	12.168	13.070	12.680	13.890	12.984	14.349
Fe ³⁺	.704	.516	.484	.692	.555	.505	.713	.603	.546	.399	.754	.585	.511
Fe ²⁺	2.169	1.750	2.057	1.911	1.807	2.229	2.541	2.885	2.016	2.434	1.984	2.810	1.961
Mn	.031	.017	.029	.020	.030	.034	.048	.039	.033	.037	.021	.037	.028
Mg	5.821	6.246	5.931	6.078	6.178	5.760	5.424	5.101	5.930	5.530	6.012	5.081	6.032
Ca	.000	.000	.000	.005	.000	.000	.000	.000	.000	.014	.000	.000	.004
Cr	2.023	.739	1.765	1.229	1.736	1.934	4.961	3.204	2.277	2.858	1.341	2.416	1.128
NiO	.33	.44	.27	.38	.31	.17	.12	.17	.24	.18	.30	.22	.23
Cr/Cr+Al	.1324	.0477	.1139	.0804	.1126	.1250	.3259	.2084	.1484	.1839	.0880	.1569	.0729
Mg/BIV	.7257	.7795	.7398	.7589	.7708	.7179	.6769	.6357	.7432	.6912	.7499	.6329	.7521
Fe ²⁺ /BIV	.2704	.2184	.2566	.2386	.2255	.2778	.3171	.3595	.2527	.3042	.2475	.3625	.2444
Al/TRIV	.8293	.9216	.8592	.8798	.8566	.8474	.6439	.7617	.8223	.7960	.8690	.8122	.8975
Cr/TRIV	.1266	.0462	.1105	.0769	.1087	.1210	.3114	.2006	.1433	.1794	.0838	.1512	.0706
Fe ³⁺ /TRIV	.0441	.0322	.0303	.0433	.0347	.0316	.0447	.0377	.0344	.0246	.0472	.0366	.0319
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	TS32A	TS1	TS2	TS3	TS5	TS 11	TS 12	TS 15	TS 16	TS 20	TS 25	TS 26	TS 4G
SiO ₂	.00	.06	.05	.05	.00	.00	.13	.08	.06	.17	.00	.10	.27
TiO ₂	.06	.03	.00	.02	.00	.00	.00	.00	.03	.03	.00	.02	.05
Al ₂ O ₃	47.68	65.05	65.52	63.55	56.96	59.42	61.02	63.68	59.33	62.25	64.68	63.72	64.30
Fe ₂ O ₃	3.70	3.91	3.79	4.37	7.47	3.43	4.31	3.06	4.26	3.95	2.88	4.23	3.43
FeO	15.94	10.17	9.41	11.52	15.00	11.06	13.10	12.54	14.90	14.86	9.61	12.14	14.16
MnO	.21	.12	.08	.14	.13	.13	.15	.14	.29	.17	.14	.15	.13
MgO	15.81	21.25	21.62	19.89	16.45	19.26	18.25	19.20	17.01	17.49	21.18	19.46	18.52
CaO	.00	.02	.01	.00	.01	.00	.01	.00	.00	.02	.00	.04	.05
Cr ₂ O ₃	18.72	.93	.13	.45	1.72	4.15	1.44	1.06	3.15	.81	1.01	.03	.65
Somma	102.11	101.54	100.62	99.99	97.73	97.45	98.41	99.76	99.03	99.75	99.51	99.89	101.56
Si	.000	.012	.010	.010	.000	.000	.027	.016	.013	.035	.000	.020	.055
Ti	.010	.004	.000	.003	.000	.000	.000	.000	.005	.005	.000	.003	.008
Al	12.168	15.245	15.397	15.237	14.485	14.757	15.046	15.334	14.759	15.199	15.393	15.310	15.301
Fe ³⁺	.603	.585	.569	.670	1.212	.544	.678	.471	.676	.616	.438	.648	.521
Fe ²⁺	2.885	1.691	1.569	1.959	2.705	1.948	2.291	2.142	2.630	2.574	1.623	2.070	2.390
Mn	.039	.020	.014	.024	.024	.023	.027	.024	.052	.030	.024	.026	.022
Mg	5.101	6.296	6.423	6.029	5.289	6.047	5.689	5.845	5.350	5.399	6.373	5.911	5.572
Ca	.000	.004	.002	.000	.002	.000	.002	.000	.000	.004	.000	.009	.011
Cr	3.204	.146	.020	.072	.293	.691	.238	.171	.526	.133	.161	.005	.104
NiO	.17	.20	.22	.21	.34	.29	.36	.28	.28	.31	.23	.08	.28
Cr/Cr+Al	.2084	.0095	.0013	.0047	.0198	.0447	.0156	.0110	.0344	.0087	.0104	.0003	.0067
Mg/BIV	.6357	.7863	.8023	.7525	.6596	.7542	.7105	.7296	.6661	.6747	.7946	.7383	.6978
Fe ²⁺ /BIV	.3595	.2112	.1960	.2445	.3374	.2429	.2861	.2674	.3274	.3216	.2024	.2585	.2994
Al/TRIV	.7617	.9543	.9631	.9536	.9058	.9228	.9426	.9598	.9247	.9531	.9625	.9591	.9608
Cr/TRIV	.2006	.0091	.0013	.0045	.0184	.0432	.0149	.0107	.0329	.0083	.0101	.0003	.0065
Fe ³⁺ /TRIV	.0377	.0366	.0356	.0419	.0758	.0340	.0425	.0295	.0424	.0386	.0274	.0406	.0327

1-6: peridotite di Balmuccia; 7: peridotite impoverita; 8-14: filoni Cr-diopside (": centro; °: bordo del cristallo, che evidenziano un possibile range composizionale di zonatura); 15-26: filoni Al-augite.

non erano in grado di abbandonare le zone di fusione; essi quindi, in equilibrio con il residuo peridotitico, frazionavano quasi « in situ » una percentuale di solido estremamente ridotta, impoverendosi in Cr e Mg. Tale fase corrisponde alla formazione dei filoni Cr-diopside ed è testimoniata dalla stretta somiglianza tra le fasi della peridotite e dei filoni. Si può visualizzare questo lento e di-

scontinuo percolamento come uno stadio di impregnazione della peridotite da parte dei liquidi, con conseguenti fenomeni di inquinamento e produzione delle bande ricche in microlayers pirossenitici (v. fig. 1).

Pertanto due possibili effetti composizionali possono legare i filoni Cr-diopside alla peridotite:

a) un effetto di arricchimento, risultato

del fenomeno di impregnazione sopra descritto, con produzione di porzioni peridotitiche arricchite in pirosseno (tipo TS 13);

b) un effetto di impoverimento: la peridotite adiacente al filone rappresenta la sorgente di origine del liquido. Tale possibilità è indicata dalla presenza di porzioni dunitiche che spesso si riscontrano a fianco dei filoni Cr-diopside (TS 32).

In un contesto dinamico di tale tipo, è ipotizzabile che il meccanismo di abbandono dei liquidi residuali dalle zone di fusione sia stato del tipo « filtro-prensa »: lo stress, dovuto a movimenti continuati di risalita del mantello, provocava lo « strizzamento » dei liquidi e il loro allontanamento dalla zona di fusione e dava luogo alle accentuate pieghe ptigmatiche nei filoni Cr-diopside discordanti, allo stiramento parallelo alla foliazione degli inclusi lherzolitici nelle bande e all'assottigliamento delle stesse. È pertanto probabile che le bande e i filoni Cr-diopside paralleli alla foliazione rappresentino ora solo una percentuale del volume originario.

Considerando che, dal punto di vista strutturale, i filoni Cr-diopside sono quelli che presentano le più spinte deformazioni penetrative parallele alla foliazione e che, dal punto di vista chimico, rappresentano i primi frazionati depositati contemporaneamente alla fusione, ne deriva che la fase di massima deformabilità era corrispondente al periodo di fusione. È da tener presente che i processi sinora descritti non vanno intesi come dei processi diversificati in serie, bensì come degli eventi che, agendo parallelamente, concorrono alla definizione di un unico processo, seppur discontinuo.

Secondo il quadro esposto, è possibile che la fusione sia stata prolungata nel tempo e « ciclica »: ovvero, porzioni peridotitiche già impoverite, e includenti dicchi websteritici già consolidati, potrebbero essere state risottoposte a processi di fusione, sotto controllo delle fasi fluide, caratterizzati da fusione incongruente dei pirosseni che lasciano spinello cromifero + olivina come residuo solido. Come risultato si sarebbero prodotte le peridotiti « restitiche », a composizione dunitica, con microlayers lineari di spinello, se la rifusione aveva coinvolto filoni websteritici concordanti con la foliazione, oppure con microlayers di spinello

a pieghe ptigmatiche, se la rifusione aveva coinvolto filoni discordanti caratterizzati dalle stesse strutture (v. anche SHERVAIS, 1979 b).

Questo meccanismo a più riprese spiegherebbe le relazioni tessiturali dello spinello trovate nella tessitura protogranulare secondaria delle duniti e la mancata diminuzione modale di spinello nelle stesse.

Le strutture deformative presenti nei filoni Al-augite sono ancora di tipo penetrativo, ma molto meno spinte rispetto a quelle dei filoni Cr-diopside ed inoltre compaiono casi di deformazioni rigide. Esse suggeriscono che la formazione di tale serie sia collocabile durante la fase a comportamento via via meno plastico della peridotite, probabilmente quando la risalita « crostale » del mantello non avveniva più in condizioni adiabatiche. Il decremento di P e T favoriva una risposta meccanicamente più rigida alle sollecitazioni di stress e ciò permetteva la formazione di veri e propri condotti di flusso in cui i fusi residuali potevano risalire in maniera relativamente « più veloce » e meno disturbata, e differenziare, arricchendosi in Al, Ti, Fe e Na, frazionando la suite Al-augite.

Pertanto, se la peridotite adiacente ai filoni Cr-diopside, spesso a composizione dunitica, può rappresentare la zona sorgente dei liquidi, la peridotite adiacente ai filoni Al-augite rappresenta invece solo le pareti dei condotti di flusso. In considerazione quindi del loro contesto dinamico e delle caratteristiche chimiche, i filoni Al-augite rappresentano una percentuale di « solido » senz'altro maggiore rispetto a quella dei filoni Cr-diopside; data la loro paragenesi e la mancanza di olivina, il frazionamento di tale suite, pur non avvenendo in condizioni di P e T simili a quelle di fusione (come avveniva per la suite Cr-diopside), era comunque di alta pressione ($P \sim 10$ kb).

Ringraziamenti. — Gli Autori ringraziano i professori A. DELLA GIUSTA, E.M. PICCIRILLO e G. RIVALENTI per le discussioni in fase di elaborazione. I dati relativi alle fasi minerali sono stati ottenuti nel Laboratorio di Analisi in Microsonda del C.N.R., istituito presso l'Istituto di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Modena.

Lavoro eseguito col contributo del C.N.R. 81.01873.05 (Gruppo formale « Alpi » del C.N.R.).

BIBLIOGRAFIA

- BOUDIER F., NICOLAS A. (1972) - *Fusion partielle gabbroïque dans la lherzolite de Lanzo (Alpes Piémontaise)*. Bull. Suisse Min. Petr., 52, 39-56.
- CAPEDRI S., CORRADINI A., FANUCCI O., RIVALENTI G., ROSSI A. (1977 a) - *The origin of the Ivrea-Verbano basic formation (Italian Western Alps). Statistical approach to the peridotite problem*. Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 33, 583-592.
- CAPEDRI S., GARUTI G., RIVALENTI G., ROSSI A. (1977 b) - *The origin of the Ivrea-Verbano basic formation. Pyroxenitic and gabbroic mobilizates as products of the partial melting of mantle peridotite*. N. Jb. Min. Mh., H. 4, 168-179.
- CAWTHORN R.G. (1975) - *The amphibole peridotite-metagabbro complex, Finero, Northern Italy*. Journ. Geol., 83, 437-454.
- CAWTHORN R.G., COLLERSON K.D. (1974) - *The recalculation of pyroxene end-member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analyses*. Am. Mineral., 59, 1203-1208.
- ERNST W.G. (1978) - *Petrochemical study of Lherzolithic rocks from the Western Alps*. Journ. Petrol., 19, 341-392.
- FERRARIO A., GARUTI G., SIGHINOLFI G.P. (1982) - *Platinum and Palladium in the Ivrea-Verbano basic complex, Western Alps, Italy*. Econ. Geol., 77, in stampa.
- FRANZINI M., LEONI L., SAIITA M. (1975) - *Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti di matrice*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 31, 365-378.
- GARUTI G. (1977) - *The origin of the Ivrea-Verbano basic formation (Italian Western Alps). Microstructural data on peridotites from the area of Sesia Valley*. Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 33, 601-616.
- GARUTI G., SINIGOI S. (1978) - *Occurrence of phlogopite in the peridotite of Balmuccia (Ivrea-Verbano basic formation, Italian western Alps): a preliminary note*. N. Jb. Min. Mh., H. 12, 549-533.
- GARUTI G., FRIOLO R. (1979) - *Textural features and olivine fabrics of peridotites from Ivrea-Verbano zone*. Mem. Sc. Geol. Padova, 33, 111-125.
- GREEN D.H., RINGWOOD A.E. (1967) - *The genesis of basaltic magmas*. Contr. Min. Petrol., 15, 103-190.
- LENSCH G. (1968) - *Die ultramafite der Zone von Ivrea und Ihre geologische Interpretation*. Schw. Min. Petr. Mitt., 48, 91-102.
- LENSCH G. (1971) - *Die ultramafite der zone von Ivrea*. Annls. Univ. Saraviensis, 9, 5-146.
- LEONI L., SAIITA M. (1975) - *X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rocks and mineral standards*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 32, 497-510.
- MERCIER J.C., NICOLAS A. (1975) - *Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts*. Journ. Petrol., 16, 454-487.
- PRESNALL D.C., DIXON S.A., DIXON J.R., O'DONNELL T.H. (1979) - *Generation of Mid-ocean Ridge Tholeiites*. Journ. Petrol., 20, 3-35.
- RIVALENTI G., GARUTI G., ROSSI A. (1975) - *The origin of the Ivrea-Verbano basic formation (Western Italian Alps): whole rocks geochemistry*. Boll. Soc. Geol. Ital., 94, 1149-1185.
- RIVALENTI G., GARUTI G., ROSSI A., SIENA F., SINIGOI S. (1981 a) - *Existence of different peridotite types and of a layered igneous complex in the Ivrea Zone of the Western Alps*. Journ. Petrol., 22, 127-153.
- RIVALENTI G., GARUTI G., ROSSI A., SIENA F., SINIGOI S. (1981 b) - *Chromian spinels in the Ivrea-Verbano layered igneous complex of Italian Western Alps*. TMPM, 29, 33-53.
- SHERVAIS J. (1979 a) - *Thermal emplacement model for the Alpine lherzolite massif at Balmuccia, Italy*. Journ. Petrol., 20, 795-820.
- SHERVAIS J. (1979 b) - *Ultramafic and mafic layers in the Alpine-type lherzolite massif at Balmuccia, North-western Italy*. Mem. Soc. Geol. Padova, 33, 135-145.
- SINIGOI S., COMIN-CHIARAMONTI P., ALBERTI A. (1980) - *Phase relations in the partial melting of the Baldissero spinel-lherzolite (Ivrea-Verbano Zone, Western Alps, Italy)*. Contr. Min. Petr., 75, 111-121.
- WILSHIRE H.G., SHERVAIS J.W. (1975) - *Al-augite and Cr-diopside ultramafic xenoliths in basaltic rocks from the Western United States*. Phys. Chem. Earth., 9, 257-272.