

DIANA RICHARDSON \*, ERIC CONDLIFFE \*, ANNIBALE MOTTANA \*

## CARATTERI PETROCHIMICI DEL MASSICCIO VAL MASINO - VAL BREGAGLIA (ALPI CENTRALI)\*\*

RIASSUNTO. — In base a 20 nuove analisi e a 40 analisi di letteratura viene confermata la continuità di chimismo esistente tra i vari membri dell'intrusione delle Valli Masino e Bregaglia: ghiandone, serizzo e granito di San Fedelino. Essa risulta compatibile con un processo continuo di differenziazione di tipo alcalcalcico. Tutti gli ossidi maggiori, proiettati in funzione dell'indice di differenziazione di Larsen, presentano una variazione lineare, continua e senza scarti, che sembra indicare una continua e regolare evoluzione magmatica allo stato fuso. L'assenza di discontinuità nella variazione del  $K_2O$  non è compatibile con un metasomatismo localizzato di certe parti del Massiccio, suggerendo che i grandi megacristalli si sono formati piuttosto da un liquido residuale molto mobile accrescendo pochi nuclei: il passaggio serizzo/ghiandone non rappresenterebbe quindi un fronte metasomatico. Anche l'intrusione di San Fedelino con il suo corteo di pegmatiti e apliti è in continuità petrochimica con le altre rocce del Massiccio, per cui va interpretata come appartenente a un differenziato dello stesso magma, benchè geometricamente discordante dal resto.

ABSTRACT. — *The petrochemistry of the Val Masino - Val Bregaglia Massif (Central Alps).* On the basis of 20 new and 40 previously published analyses of the M. Bassetta tonalite (« serizzo »), the Val Masino granodiorite (« ghiandone ») and the San Fedelino granite of the alpine Bergell Massif it is possible to show that all three rock types are related and are the products of calcalkaline differentiation from a single parent magma. In particular: a) All the major oxides when plotted against the Larsen index show a continuous linear variation indicating a regular and continuous magmatic evolution (figs. 2, 3, 4). b) The absence of any discontinuity in the  $K_2O$  vs. Larsen index plot (fig. 3) would suggest that the presence of the K-feldspar megacrysts in the ghiandone is a result of magmatic crystallisation and not that they are the product of large scale metasomatism; the passage serizzo/ghiandone does not represent, therefore, a metasomatic front. c) The fact that there is no interval in the diagrams (figs. 5, 6) between the analyses of San Fedelino granites and those of the main rock types of the Val Bregaglia and Val Masino is interpreted as indicating that the granite represent the final acid differentiate of the same intrusive magma, and not a separate intrusive event.

### Introduzione

Benchè in letteratura si trovi frequentemente ribadita una affermazione di E. WENK (1956) relativa alla posizione chiave che il Massiccio Val Masino - Val Bregaglia ha nell'ambito del plutonismo e metamorfismo d'età alpina delle Alpi

\* Ist. di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università di Milano.

\*\* Lavoro eseguito nell'ambito delle ricerche del « Centro Studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali », con contributi speciali relativi al Programma Geodinamico Italiano.

Centrali, poco si sa in realtà di questa estesa massa. Solo negli ultimi tempi, per esempio, ne è stata eseguita la cartografia di dettaglio (S. VENZO et al., 1970; H. R. WENK, in preparazione) e ne è stata pubblicata la carta strutturale (H. R. WENK, 1973).

I dati numerici elaborabili con i metodi geo-matematici moderni sono addirittura dispersi: analisi modali e chimiche sono rese molto onerose dalla grana estremamente variabile, fino a gigantesca, delle rocce del massiccio, che richiedono un pesante lavoro di omogeneizzazione per risultare rappresentative. Questo fattore, non sempre preso in considerazione dai ricercatori che nell'ultimo secolo si sono succeduti su questa zona, pone inoltre un serio limite alla possibilità di utilizzarne i dati, danno comunque non molto grave se si considera che in mezzo secolo sono state eseguite solo 57 analisi chimiche di queste plutoniti, di cui 24 nel secondo dopoguerra, con metodi moderni. Mancano, in particolare, studi condotti con criterio sistematico, se si eccettuano quelli limitati di J. WEBER (1957) e M. WEIBEL (1960), rivolti purtroppo ad aree marginali, non rappresentative dell'intero massiccio.

La ricerca presente tenta di ovviare in parte alle deficienze di conoscenza pur senza pretendere di avere un carattere sistematico. Essa è rivolta ad una precisa definizione petrochimica delle unità base del massiccio (serizzo, ghiandone, granito di San Fedelino), ed inoltre di quei litotipi meno diffusi, recentemente individuati nel rilevamento, il cui significato geo-petrologico non è ancora chiaro del tutto. Essa costituisce dunque una fase intermedia, indispensabile per avviare uno studio organico e complessivo della petrochimica del Massiccio, da affrontare con rigorosi criteri matematico-statistici.

Col metodo petrochimico si ritiene di poter contribuire a risolvere alcuni degli interrogativi più importanti per la genesi ed evoluzione di questo corpo geologico:

a) quali relazioni composizionali e genetiche esistono tra il serizzo, il ghiandone ed il granito di San Fedelino;

b) quali siano le relazioni esistenti tra questi tre litotipi fondamentali ed i succitati tipi meno diffusi, differenziati o no;

c) se esista una dipendenza tra la distribuzione delle composizioni del Massiccio e quella delle rocce incassanti, in parte in esso inglobate <sup>(1)</sup>;

d) se un modello di differenziazione magmatica, a partire da un magma primario o anatettico, soddisfi maggiormente i dati disponibili al momento attuale di un modello di introduzione metasomatica o di rifusione polifasica.

In sostanza, riassumendo, il fine di questa ricerca è di valutare la massa esistente di dati per programmare ed indirizzare gli studi ulteriori, ai quali sarà strettamente applicato un criterio geo-matematico.

<sup>(1)</sup> Di questo problema si era interessato già E. BONARDI (1882), primo esempio noto nelle Alpi di utilizzazione delle analisi chimiche finalizzata in senso geologico.

## Parte sperimentale

Per le varietà normali di serizzo e di ghiandone, a grana da medio-grossa a gigantesca, sono stati scelti per l'analisi dei blocchi freschissimi di 25-30 kg provenienti da cave, intagli o falde di frana recente. Solo per il microgranito e per la «tonalitische Randfazies» (T. GYR, 1967) sono stati utilizzati campioni di circa 1 kg forniti dal Dott. Attilio Montrasio.

Le analisi 1-14 sono state eseguite in duplicato a partire da porzioni di 400-600 g ottenute frantumando, inquartando e macinando a grana via via più fine i blocchi suddetti. Infine tutte le rocce sono state polverizzate per 8 minuti in un mulino ad anelli di carburo di tungsteno e omogeneizzate per 2 ore in un mortaio d'agata sotto acetone. Si tratta degli stessi campioni usati per le ricerche di petrologia sperimentale (E. CONDLIFFE e A. MOTTANA, 1974; in stampa). Le analisi sono state eseguite con una procedura mista gravimetrica ( $\text{SiO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ), colorimetrica ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), volumetrica ( $\text{FeO}$ ) e in assorbimento atomico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Sono inoltre riportate anche 6 analisi di serizzo finora non pubblicate, eseguite nel 1965-66 con un metodo combinato gravimetrico e rapido (sec. Shapiro e Brannock), a partire da campioni omogenei di solo 0,5 kg.

Le analisi modali sono state eseguite su tre sezioni per campione, variamente orientate, con punti intervallati di un mm. Vista la grana, eterogenea ed enorme specie del ghiandone, esse hanno solo un valore indicativo. Nelle varietà a grana fine l'accuratezza, stimata sulla base della riproducibilità dei risultati ottenuti su ciascuna sezione, è del 5% circa.

## Risultati

Le nuove analisi chimiche e modali sono riportate in tab. 1 assieme ad altre, finora non pubblicate, eseguite nell'Istituto di Mineralogia di Milano durante le fasi iniziali dello studio del Massiccio. Le analisi dei due gruppi sono ordinate secondo tenori crescenti di silice.

Questa serie di dati presenta una triplice partizione riflettente i tre ben noti litotipi caratteristici: ai due estremi stanno rispettivamente il serizzo, litotipo più basico, e il granito di San Fedelino, quello più acido. L'intervallo intermedio, nel quale dovrebbe essere rappresentato il solo ghiandone, è in realtà piuttosto confuso, perchè in esso cadono anche quelle varietà a grana fine la cui presenza nel Massiccio, se non ignota, era finora stata presa in considerazione troppo scarsa. Un esempio di questa convergenza è dato dalla coincidenza quasi totale dei dati analitici relativi al ghiandone della Valle di Mello (PS-13), località tipica, anzi, su basi strutturali, quella di massima potenza del ghiandone (H. R. WENK, 1973), con quelli relativi al «microgranito» dell'Alpe Cameraccio, che traversa il ghiandone con relazioni di tipo intrusivo. Vi è inoltre una certa differenza composizionale

TABELLA 1

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	TOTALE
PS2	50.09	17.24	2.61	5.77	0.16	7.04	10.28	2.31	1.53	0.89	0.19	1.90	0.11	100.30
PS5	54.56	18.22	2.39	4.72	0.14	3.98	7.25	3.31	2.32	0.77	0.31	1.40	0.30	99.67
PS4	55.85	18.45	1.92	4.77	0.14	3.97	7.54	3.04	2.02	0.70	0.22	1.22	0.19	100.03
PS3	56.06	18.52	1.38	5.01	0.14	3.51	6.68	3.38	3.05	0.77	0.30	1.43	0.16	100.42
PS1	61.36	17.37	1.62	2.91	0.10	2.62	5.64	3.30	2.93	0.54	0.17	1.14	0.31	100.01
PS14	63.29	16.32	0.71	2.98	0.08	2.15	5.05	3.90	4.05	0.46	0.32	0.96	0.34	100.61
PS12	63.35	16.47	0.57	2.77	0.07	1.82	4.44	3.86	4.63	0.42	0.26	0.83	0.31	99.78
PS13	64.82	15.93	0.39	2.93	0.07	1.91	4.41	3.11	4.13	0.42	0.30	0.99	0.27	99.41
PS6	65.63	16.83	0.64	2.53	0.07	1.73	3.63	3.50	4.22	0.34	0.17	0.82	0.18	100.29
PS10	66.69	17.51	0.20	2.24	0.06	0.89	4.21	4.21	2.96	0.36	0.15	0.63	0.33	100.49
PS11	68.17	14.91	0.39	2.00	0.06	1.14	3.34	4.16	4.14	0.30	0.21	0.44	0.32	99.58
PS7	71.57	16.59	0.20	0.65	0.04	0.22	1.86	4.35	3.21	0.10	0.09	0.66	0.37	99.91
PS8	71.81	16.58	0.03	0.89	0.04	0.25	1.56	4.16	3.67	0.09	0.05	0.48	0.43	100.04
PS9	72.16	16.15	-	0.64	0.14	0.06	1.03	4.04	4.42	tr	0.05	0.49	0.38	99.56
PA38	53.15	17.91	4.95	6.45	0.08	4.72	7.90	2.67	1.00	0.21	0.12	0.36	0.20	99.72
IN131	54.25	17.21	2.09	4.71	0.04	5.62	7.21	2.82	2.55	0.61	0.49	1.15	0.41	99.16
VA71	54.30	17.14	3.29	4.76	0.15	3.57	7.54	3.10	2.45	3.35	0.02	0.65	0.04	100.36
IN4	56.84	17.16	1.59	4.07	0.10	3.34	8.59	3.85	2.05	0.86	0.24	1.15	0.24	100.10
VA9	61.93	16.27	1.89	3.08	0.02	2.54	5.54	3.00	3.50	0.55	0.11	0.24	1.06	100.10
PA1	65.89	16.60	3.20	2.16	tr	0.09	4.03	3.20	2.50	0.87	0.13	0.52	0.18	100.18

analisti: PS-1+14: D.Richardson (1975); PA-1 e PA-38: V.Paternollo (1965); IN-4 e IN-131: G.Invernizzi (1966); VA-9 e VA-71: E.Valentino (1966).

Indice di L A R S E N	A (mm <sup>2</sup> )	Q	P	A	Bi(±Chl)	Ho	Ms	Ep	altri
-7.21	1936	13.2	86.6	0.2	7.5	43.6	-	1.6	1.7
2.41	1685	26.9	72.3	0.8	19.8	12.7	-	4.7	1.2
2.72	1851	25.6	74.1	0.3	16.3	15.1	-	2.9	1.5
5.30	1963	27.0	65.7	7.3	19.6	10.3	-	4.5	1.4
10.75	1948	35.3	59.5	5.2	19.3	0.7	-	6.5	0.6
14.33	1624	26.4	52.3	21.3	17.2	2.7	-	0.5	1.2
16.21	1615	19.3	31.7	49.1	9.4	3.6	-	0.2	2.1
16.14	1657	26.2	41.5	32.3	14.8	3.5	-	0.8	0.8
17.63	1887	34.1	48.6	17.3	19.2	2.2	-	0.8	0.6
17.67	1940	29.4	58.1	12.5	10.9	-	3.1	0.7	1.0
20.03	1843	21.5	42.6	34.9	7.4	-	0.3	tr.	0.8
24.16	2106	39.0	42.9	18.1	3.1	-	2.9	-	0.1
24.88	2130	36.5	40.5	23.0	3.2	-	5.3	-	0.1
26.74	2177	48.2	23.8	28.0	0.4	-	3.0	-	0.6
-4.80	n.d.	34.0	50.8	15.2	9.1	-	1.3	-	-
1.21	n.d.	32.0	68.0	-	18.9	10.0	-	10.2	2.1
1.72	n.d.	18.5	81.5	-	13.3	20.2	-	-	0.6
3.57	n.d.	32.2	67.8	-	17.3	14.8	-	5.6	2.7
11.28	n.d.	34.0	60.5	5.5	18.1	2.5	-	5.8	0.6
14.49	n.d.	33.1	47.2	19.7	11.9	1.7	-	3.2	0.3

tra i ghiandoni della parte italiana del Massiccio, stirati e dai megacristalli evidentemente orientati, e quello dell'Albigna in Svizzera (PS-11), poco o nulla deformato nella sua pasta di fondo e dai megacristalli disordinati ed enormi.

La composizione media delle tre varietà fondamentali, espressa in termini magmatici (P. NIGGLI, 1935), è di tipo dioritico per il serizzo, con passaggi a gab-

broide miharaitico per le varietà melanocrate e leucotonalitico per quelle leucocrate, entrambe in posizione marginale rispetto alla massa; tra granodioritica e leuco-quarzodioritica per il ghiandone ed infine trondhjemitiplitica per il granito di San Fedelino. I due campioni a grana fine esaminati sono di magma granodioritico, confermando la loro affinità chimica con il ghiandone e non con il granito di San Fedelino, come prospettato da alcuni ricercatori.

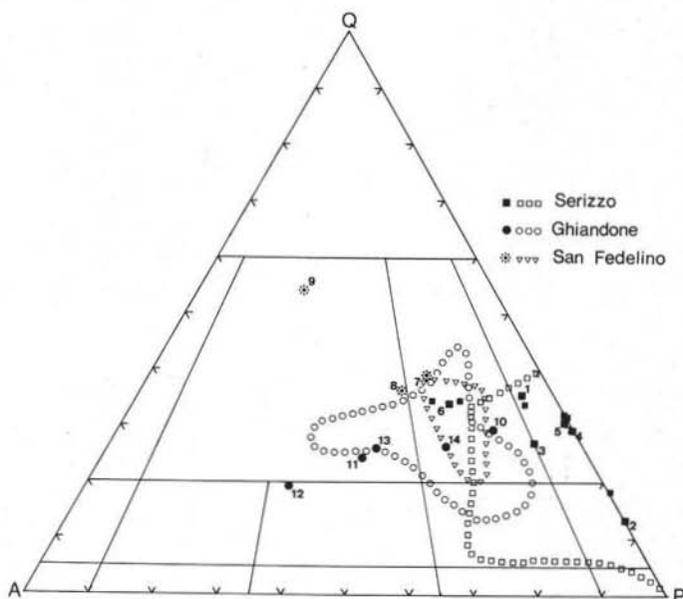


Fig. 1. — Analisi modali dei campioni analizzati chimicamente (la serie PS è numerata, i restanti sei solo indicati). Sono delineati anche i campi di variazione dei tre litotipi fondamentali del Massiccio come risultano dalle analisi modali della letteratura.

Da questa serie di dati risulta quindi confermata la conclusione di M. WEIBEL (1960) sulla natura granodioritica del « Bergellgranit » (= ghiandone), mentre viene messa in luce la prevalente natura dioritica del serizzo, che gli autori più recenti consideravano una quarzodiorite (= tonalite). Anche il granito di San Fedelino ha una composizione chimica non esattamente corrispondente al nome con cui va famoso in letteratura, dato che rientra nei magmi della serie trondhjemitica.

La tab. 1 dà anche le analisi modali delle rocce analizzate, proiettate a scopo classificatorio nella parte superiore QAP del doppio triangolo quarzo-feldspato alcalino-plagioclasio-feldspatoidi (fig. 1), nel quale figurano anche i campi di variazione modale dei tre tipi litologici fondamentali del massiccio sulla base dei dati riportati dalla letteratura <sup>(2)</sup>. Non esiste una buona corrispondenza tra norma e

<sup>(2)</sup> Essendo queste state determinate quasi tutte da M. WEIBEL (1960) e da P. MOTICKA (1970), non possono essere propriamente considerate rappresentative se non degli estremi N e SW del Massiccio.

modo delle rocce analizzate, in quanto il quarzo vi è nettamente più abbondante di quanto risulti dal calcolo normativo. Ciò fa sì che il serizzo risulti in prevalenza tonalitico (=quarzodioritico) in luogo di dioritico, il ghiandone granitico ed il granito di San Fedelino (ulteriormente complicato dal fatto che parte del  $K_2O$  vi è presente come muscovite) granodioritico. È tuttavia notevole nella fig. 1, anche se potrebbe essere dovuto puramente a una compensazione di accidentalità, l'andamento lineare di variazione esistente tra serizzo e ghiandone, in quanto suggerisce

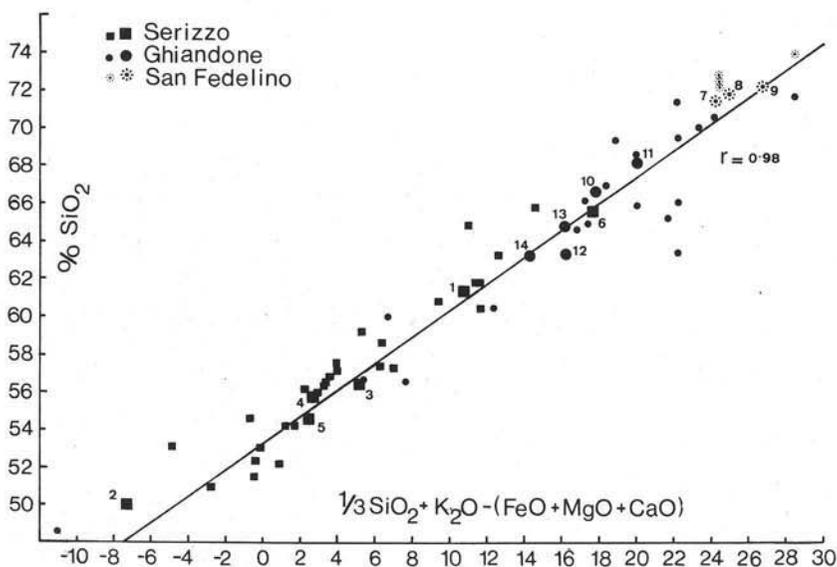


Fig. 2. — Distribuzione della silice nelle rocce del Massiccio in relazione all'indice di differenziazione di Larsen. Sono numerati solo i campioni della serie PS. I 60 punti rappresentativi di 20 nuove analisi e di 40 della letteratura sono interpolabili con una sola retta avente un altissimo coefficiente di correlazione. Notare l'intervallo di dispersione ristretto e l'assenza di lacune.

l'esistenza di una differenziazione anche a livello mineralogico. Le varietà meno diffuse, benchè siano le più rappresentative dal punto di vista modale, cadono disperse.

### Discussione dei risultati

I dati petrochimici ottenuti nel corso di questo lavoro sono proiettati, per facilitarne l'interpretazione e la valutazione immediata, in una serie di diagrammi di variazione che hanno come ascissa l'indice di differenziazione di Larsen:  $\frac{1}{3} SiO_2 + K_2O - (FeO_t + MgO + CaO)$ . Diagrammi analoghi costruiti in funzione di altri indici hanno dato risultati coerenti con questi. Per facilitare i confronti nei diagrammi delle figg. 2 e 3 sono proiettati anche i punti relativi a 40 analisi chimiche della letteratura, scartando solo gli inclusi di vario tipo e le rocce sintetiche (p. es. i graniti a diopside).

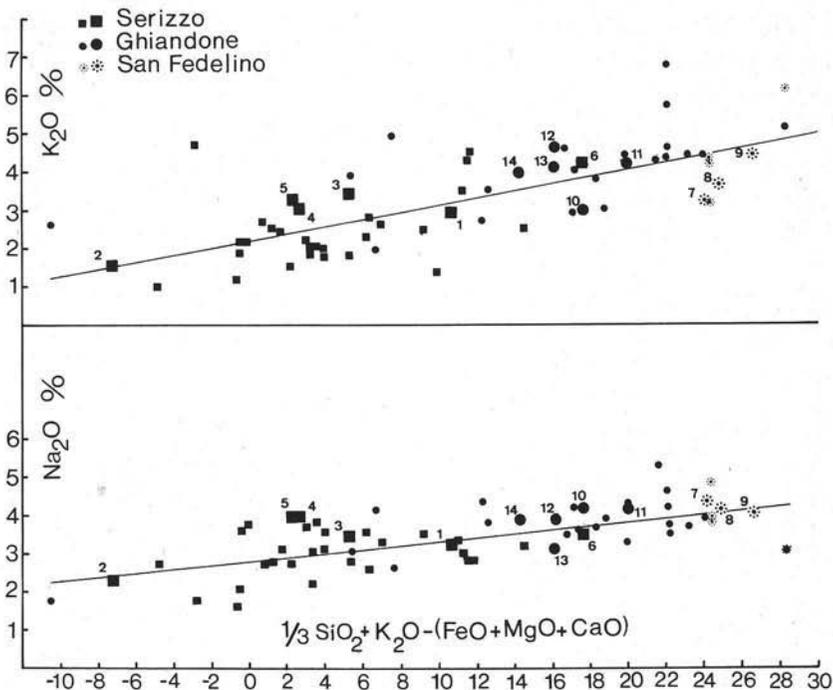


Fig. 3. — Distribuzione degli alcali in funzione dell'indice di Larsen. Anche queste serie di punti sono interpolabili con rette, ma avendo maggiore dispersione hanno anche un coefficiente di correlazione più basso di quello della silice. Mancano grosse lacune, salti bruschi o cambiamenti di pendenza tali da suggerire un apporto, o un asporto, metasomatico su larga scala.

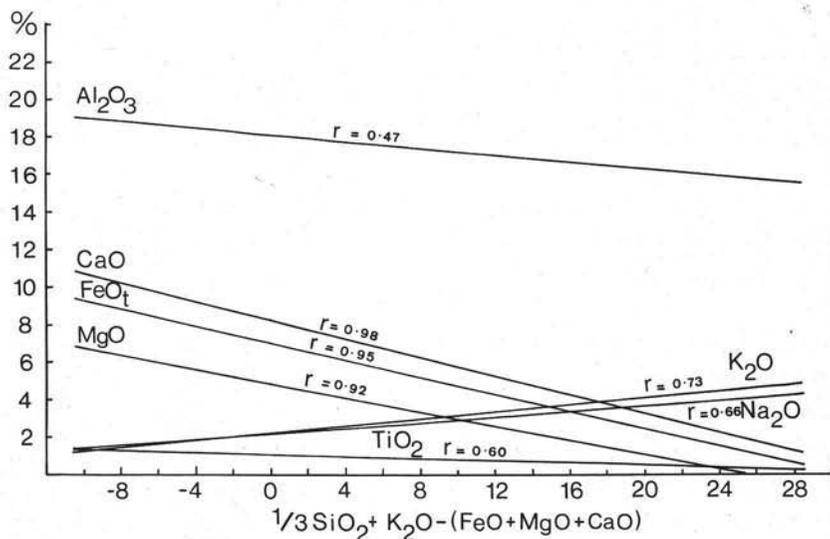


Fig. 4. — Proiezione riassuntiva delle rette di regressione di tutti gli ossidi maggiori in relazione all'indice di Larsen. L'andamento delle curve corrisponde a quello noto per associazioni granitogranodiorite-tonalite di origine intrusiva. Notare l'altissima significatività della correlazione lineare, che risulta ridotta, ma sempre superiore a un livello di confidenza del 99 %, nel solo caso dell'allumina.

La distribuzione della silice nelle rocce del Massiccio presenta un'evidente variazione continua, lineare e pochissimo dispersa (fig. 2). Essa va da un minimo corrispondente al campione PS-2, facies melanocrata marginale («tonalitische Randfazies» di T. GYR, 1967) in Val Sissone, che conferma una vecchia analisi di J. JAKOB (in P. NIGGLI et al., 1930, n. 4) del «basischer Granitrand» di Naravedro in Val Bondasca, sull'altro versante del Massiccio, fino ad un massimo corrispondente alla pegmatite nel granito di San Fedelino (PS-9). Questa tuttavia appare

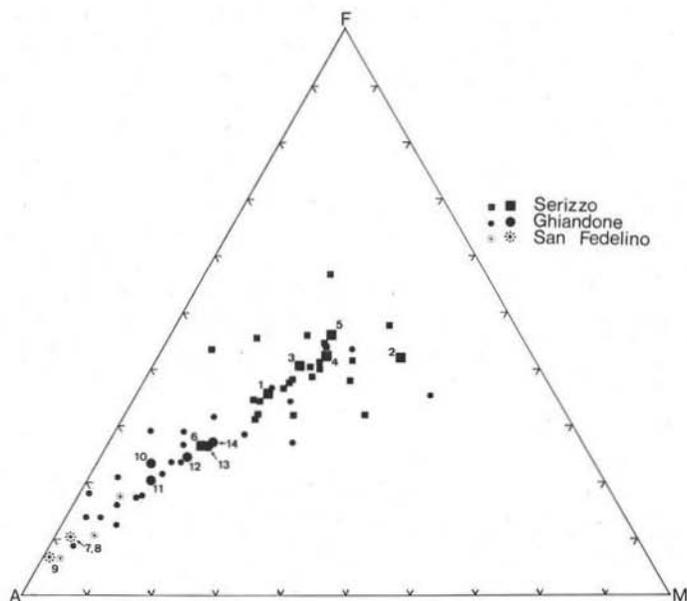


Fig. 5. — Diagramma A ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) - F ( $\text{FeO} + 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) - M ( $\text{MgO}$ ) delle rocce del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia. I punti giacciono su un allineamento regolare, poco disperso soprattutto nel caso delle nuove analisi. Esso corrisponde ad un andamento di differenziazione di tipo alcalicalco, privo dell'apice destro, femico, di cui si nota appena un accenno d'inflessione.

un po' meno acida di certi graniti aptitici filoniani intrusivi nel ghiandone del tunnel tra il lago dell'Albigna e il bordo settentrionale dell'intrusione (M. WEIBEL, 1960, n. 6), che l'autore interpreta come ricollegabili all'attività telemagmatica del corpo di San Fedelino.

Un andamento continuo e lineare analogo a quello della silice si ottiene proiettando tutti gli altri ossidi, anche se l'ampiezza della dispersione è per alcuni maggiore. In particolare, proiettando integralmente l'andamento degli alcali (fig. 3), se ne evidenzia l'intervallo di dispersione abbastanza ristretto e la perfetta continuità: non si notano in queste proiezioni nè salti bruschi, nè lacune al passaggio tra i tre tipi litologici fondamentali, caso inaspettato trattandosi di due elementi ben soggetti a migrare. Questa distribuzione è indubbiamente in contrasto con quella ipotizzabile secondo certi modelli geologici del massiccio che vorrebbero il ghiandone derivato dal serizzo per feldspatizzazione. Se tale fosse il caso, nella curva del

$K_2O$  non si dovrebbe avere una relazione lineare continua, ma un salto di valori, o almeno un cambiamento di pendenza riflettentesi in minore misura anche su componenti quali  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Na_2O$ , al passaggio tra campioni metasomatizzati e non.

Nella fig. 4 sono proiettate tutte insieme le rette di regressione degli elementi maggiori (fuorchè la silice), ovvie ragioni di spazio consigliano di rinunciare a proiettare i singoli grafici per punti. Da una semplice osservazione dei coefficienti di correlazione di ciascuna retta è evidente l'altissima significatività della regressione lineare, che si riduce solo per  $Al_2O_3$  e  $TiO_2$ , due ossidi notoriamente « difficili » per le tecniche analitiche usuali. Anche per loro però la retta è significativa al 99 % di confidenza ( $r_t = 0,325$  per 60 campioni). La linearità è assolutamente eccezionale se si calcola la correlazione tra i soli campioni PS-1→PS-14, analizzati in metodo uniforme.

L'andamento degli ossidi nel diagramma di variazione corrisponde pienamente a quello ben noto valido per le maggiori associazioni plutoniche granito-granodiorite-tonalite e, come osservato da F. J. TURNER e J. VERHOOGEN (1960, p. 348), questo coincide precisamente con quello della serie vulcanica riolite-dacite-andesite.

Anche dal diagramma AFM della fig. 5 risulta un perfetto andamento igneo di tipo alcalicalcico, pressochè lineare, soprattutto quando si dia il giusto peso alle nuove analisi, in cui si è specificatamente cercato di ovviare alla dispersione priva di significato petrogenetico indotta da una campionatura insufficientemente rappresentativa nelle rocce a grana grossa. In questo andamento risulta mancante l'estremità parallela al lato FM del triangolo, rappresentante i termini più basilari dell'associazione. Si nota in realtà un accenno di inflessione rappresentato dal campione PS-2. L'andamento sarebbe risultato senz'altro più completo se si fossero proiettate le analisi degli inclusi melanocrati (ma anche più disperso). Si è evitato di prenderli in considerazione in quanto la loro interpretazione non è ben definita: per certi autori si tratta solo di restiti anfibolitiche, per altri di filoni basilari frammentati e parzialmente riassorbiti. A. GANSSER e T. GYR (1964) hanno esaurientemente dimostrato che esistono « xenoliti esogeni », derivanti dall'inglobamento delle rocce incassanti, e « xenoliti endogeni », testimoni di una fase precoce di segregazione basilica del magma. Una tale distinzione però non risulta chiara nelle descrizioni accompagnanti le analisi chimiche, nè sono stati eseguiti da noi per ora studi petrografici specifici, e di conseguenza si è preferito ignorare il problema.

Una variazione lineare un po' dispersa si osserva anche nel diagramma  $Na_2O-K_2O-CaO$  (fig. 6), che ribadisce la graduale continua transizione tra serizzo, ghiandone e granito di San Fedelino, priva di bruschi salti indicanti fenomeni metasomatici.

Dall'esame comparativo dei diagrammi delle figg. 2-6 si possono trarre le seguenti indicazioni:

a) la mancanza di discontinuità nei passaggi composizionali tra serizzo, ghiandone e granito di San Fedelino suggerisce una loro stretta relazione petrochimica e quindi, probabilmente, la loro appartenenza ad un unico complesso intrusivo;

b) l'assenza di discontinuità nell'andamento del  $K_2O$  pone un serio interrogativo su tutti i modelli che sostengono l'esistenza nel massiccio di migrazioni su larga scala dopo la cristallizzazione principale (R. CRESPI e G. SCHIAVINATO, 1965) e ancor più su quelli che ipotizzano un apporto dall'esterno (F. K. DRESCHER-KADEN, 1940). I vistosi megacristalli di K-feldspato, testimoni di un apporto potassico secondo il modello metasomatico, possono spiegarsi in alternativa come dovuti a migrazioni a corto raggio, massimo centimetriche, oppure con una tarda cristallizzazione magmatica attorno a nuclei sparsi in un ambiente arricchito in  $K_2O$  per differenziazione;

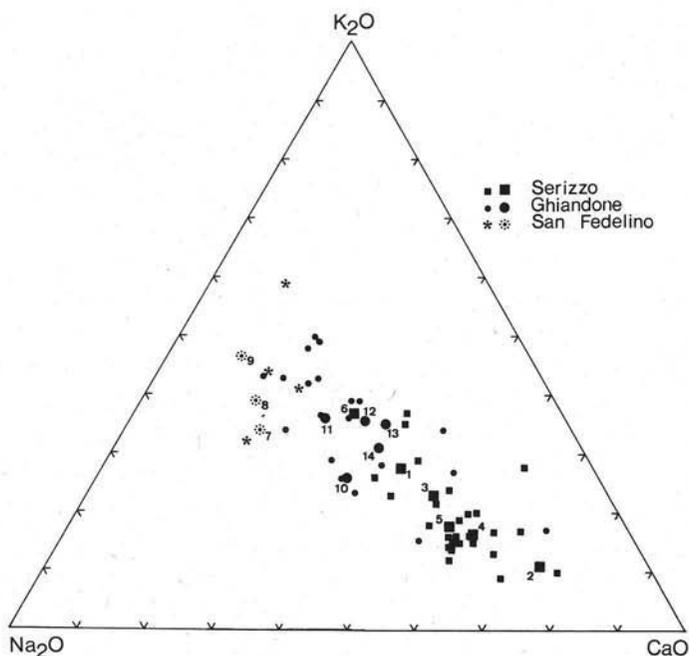


Fig. 6. — Diagramma  $Na_2O - K_2O - CaO$  delle rocce del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia. La variazione composizionale tra i tre tipi litologici principali è continua, relativamente poco dispersa.

c) l'andamento, la continuità e la regolarità di tutte le curve di variazione, coincidenti con quelle di associazioni vulcaniche la cui natura magmatica è palese, contribuiscono a far sembrare poco probabile una genesi metasomatica di parti cospicue del Massiccio e a fare avanzare un modello basato su un processo di differenziazione a partire da un focolaio magmatico unitario;

d) se l'esposto *c* è corretto, risulta che il magma parente non è rappresentato nei campioni da noi esaminati, poichè manca, all'estremità negativa dei diagrammi di variazione, un addensamento di punti corrispondenti all'analisi di una composizione omogenea, non differenziata. Forse il magma parente non è esposto, forse non è stato adeguatamente campionato; potrebbe trattarsi delle facies marginali melanocrate, da interpretarsi allora come « chilled margin », oppure degli xenoliti

basici di tipo endogeno (A. GANSSER e T. GYR, 1964), o perfino degli xenoliti ultrabasici presenti in varie località periferiche in stretta associazione tanto col serizzo (oss. nuove), quanto col ghiandone (F. ARTUS, 1959), quanto col granito di San Fedelino (E. CALLEGARI e A. MONESE, 1961; P. MOTICKA, 1970).

### Conclusioni e indicazioni

Pur nelle grosse limitazioni inerenti il basso numero di nuove analisi e l'incertezza di quelle reperibili in letteratura, la petrochimica si è dimostrata un poderoso mezzo d'indagine per lo studio petrogenetico del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia. Accoppiata ad una ricerca geochemica sugli elementi in traccia essa è probabilmente una delle chiavi che permetteranno di aprire la porta all'interpretazione petrogenetica meno difforme dal vero.

Dallo studio petrochimico sembra risultare non solo una stretta consanguineità tra il serizzo ed il ghiandone, già ammessa in generale dagli AA., ma tra questa parte del corpo magmatico e il granito di San Fedelino che l'intrude e l'agmatizza. Inoltre i tre litotipi maggiori, e le varietà minori di significato geologico non ancora ben chiaro, sembrano legati tra loro da un processo magmatico di differenziazione continua, a partire da un singolo magma primigenio.

Rimane inesplorata, forse per difetto di campionatura, la composizione di questo magma primario. I lavori sperimentali in corso sul serizzo e sul ghiandone parallelamente a questo (E. CONDLIFFE e A. MOTTANA, 1974; in stampa) inducono però a ritenere che le due rocce si siano formate durante un unico episodio di anatessi profonda, a temperature dell'ordine di 650°-750° C e alla profondità minima di 25-30 km, interessante la crosta inferiore. Mancano sinora sufficienti dati sperimentali sulla « tonalitische Randfazies » (PS-2), cioè sul campione che analiticamente risulta più vicino al possibile magma primordiale, ma tutto induce a credere che, restando più o meno inalterata la temperatura d'anatessi, risulterà un po' maggiore la profondità alla quale il fenomeno avrebbe avuto luogo (10-12 kb, pari a 30-35 km, corrispondenti alla base della crosta).

Ciò è in accordo con l'evidenza geologica rappresentata dalle metamorfiti a saffirina della facies delle granuliti incassanti il massiccio in Val Codera (D. AKKERMANN e F. SEIFERT, 1969; E. WENK et al., 1974). A un modello in certo qual modo simile era arrivato, partendo da considerazioni strutturali, H. R. WENK (1973) quando ipotizzava la formazione del magma del ghiandone per rimobilizzazione della parte inferiore del Pennidico durante la subduzione alpina.

Ammissa la formazione del magma nella crosta inferiore, occorre ora cercare di ricostruirne l'evoluzione chimica durante la risalita, in modo da spiegare la distribuzione attuale delle facies petrochimiche nel Massiccio. Solo così, proponendo un modello ed eventualmente criticandolo, si potranno avere indicazioni atte a far procedere la ricerca lungo nuove verifiche, con criterio statistico-sistematico.

L'andamento delle curve di variazione suggerisce che il magma primario basico si è evoluto in modo continuo prima in senso dioritico (serizzo), poi granodioritico

(ghiardone) per dare infine origine al « granito » di San Fedelino ed al suo corteo di pegmatiti ed apliti. Ciò può essere messo in relazione solo con un lento processo di risalita graduale, dalla crosta inferiore granulitica fino ad un livello epiplutonico rappresentato dall'aureola di contatto della Valle del Forno, all'altro estremo del Massiccio. Il corpo principale ha grosso modo la forma di un imbuto, il cui picciolo contiene solo i termini basici, che si distribuiscono poi ai soli bordi senza arrivare alla sommità superiore. Al centro dell'imbuto vi è il ghiandone, separato dal serizzo da una « Uebergangszone » (F. MOTICKSA, 1970) che rappresenta una fascia critica di differenziazione da esaminare meglio in futuro.

Questo modello non contrasta con le evidenze strutturali di H. R. WENK (1973), anzi le spiega meglio: l'imbuto, rovesciato in una fase precoce dalla verticale all'orizzontale in senso E-W, si è comportato in modo solidale con le unità alpine a Nord della linea insubrica, arrovesciandosi a forma di falda e mettendosi in posto in condizioni semisolidi in un campo di stress, acquistando così la tessitura orientata interna, particolarmente sviluppata nella parte meridionale, più basica e quindi già più consolidata e rigida al momento della messa in posto finale. Il corpo di San Fedelino rappresenterebbe un differenziato tardo dello stesso focolaio magmatico, messo in posto da spinte sue proprie con un lieve ritardo rispetto al corpo principale: esso è formato da più « piastre intrusive », coalescenti in certe zone, intervallate nel tempo talchè alcune risultano sintettoniche, altre decisamente posttettoniche (G. PICCOLI, 1962). Le pegmatiti alpine della Valle della Mera e della Val Codera sarebbero infine i differenziati isterogenetici di tutta questa complessa ma lineare evoluzione.

Questo modello, che soddisfa a nostro avviso tutte le conoscenze attuali sul Massiccio, è da sottoporre a verifica sistematica ed è probabile che subirà modifiche quando si avranno nuovi dati, arealmente e geologicamente meglio distribuiti e soprattutto prententi in considerazione i tre punti critici che la presente ricerca ha posto in evidenza: i tipi litologici a grana fine della « Zona di transizione » tra serizzo e ghiandone, gli inclusi melanocrati del tipo endogeno e le facies periferiche rappresentanti un possibile bordo sopraraffreddato.

#### *Riconoscimenti*

Contributi del C.N.R. e dell'Accademia dei Lincei nel quadro dello scambio per la Royal Society hanno reso possibile questa cooperazione. Due dei campioni analizzati sono dono del dott. ATTILIO MONTRASIO. Il prof. GIUSEPPE SCHIAVINATO ha permesso la pubblicazione di sei analisi inedite. Infine per la lettura critica del manoscritto ringraziamo i colleghi R. CRESPI e R. POTENZA.

## **A p p e n d i c e**

### *Località e descrizione delle rocce analizzate*

- PS-1 Zocca del Lupo (32TNS43001260): serizzo, varietà leucocrata, poco orientata, marginale.
- PS-2 Val Sissone, versante sinistro (32TNS58462820): serizzo, varietà melanocrata, marginale, a grana medio-fine (« Tonalitische Randfazies », T. GYR, 1967).

- PS-3 Valle di Sasso Bisolo, cava di q. 1415 (32TNS51681903): serizzo a grana media, facies tipica, un po' allineata.
- PS-4 Cataeggio, cava grande (32TNS48701770): serizzo a grana media, facies tipica, poco o nulla allineato.
- PS-5 Nuova Olonio, cava settentrionale (32TNS34171429): serizzo, varietà scura, molto chiaramente allineata (« diorite del M. Bassetta AA »).
- PS-6 Circo del Cameraccio, a W dell'Alpe (32TNS55662465): microgranito, in banchi di alcuni metri nel ghiandone al limite con il serizzo. Colore chiaro e grana fine, assenza totale di orientazione prevalente.
- PS-7 Riva di Novate, fronte N della cava del Pescarino (32TNS34042003): granito di San Fedelino, a grana medio-fine, muscovitico, un po' orientato.
- PS-8 Riva di Novate, fronte S della cava del Pescarino (32TNS34071997): granito di San Fedelino a grana medio-fine, muscovitico, ma con lamelle di biotite evidente.
- PS-9 Riva di Novate, frana presso il casello ferroviario (32TNS33992010): pegmatite granatifera a grana fine, filone di 40 cm attraversante il granito di San Fedelino con salbande scistose cloritiche.
- PS-10 Lago d'Albigna, strada che sale al coronamento della diga (Svizzera): granito a grana fine, non scistoso, con tracce di mica bianca; filone traversante il ghiandone con una potenza di circa 4 m.
- PS-11 Lago d'Albigna, presso l'arrivo della teleferica (Svizzera): ghiandone a megacristalli di  $2 \times 5$  cm a tessitura non orientata (ortoclasio  $Or_{90}Ab_{10}$ ,  $\Delta \approx 0$ ).
- PS-12 Cascata della Merdarola, cava aperta nei blocchi (32TNS46502090): ghiandone a grana medio-grossa, abbastanza omogeneo, con rari setti melanocrati e frequenti filoncelli pegmatitici (microclino intermedio  $Or_{90}Ab_{10}$ ,  $\Delta = 0,50$ ).
- PS-13 Valle di Mello, cava di fronte alla condotta d'acqua (32TNS48802170): ghiandone con rari megacristalli, piuttosto inomogeneo per la presenza di frequenti setti biotitico-anfibolici (microclino intermedio  $Or_{92}Ab_8$ ,  $\Delta = 0,32$ ).
- PS-14 San Martino Valmasino, cava dietro il cimitero (32TNS48502097): ghiandone ricco di megacristalli di dimensioni variabili per lo più allineati (ortoclasio  $Or_{94}Ab_6$ ,  $\Delta = 0,08$ ).
- PA-1 Forcella di Revelaso (32TNS40701916): serizzo a grana media, leucocrato, ricco di cristalli di feldspato potassico.
- PA-38 q. 2350 a NW del Passo del Colino (32TNS44641635): serizzo scuro, a grana grossolana, poco orientato, percorso da venule di quarzo.
- IN-4 Cima del M. Bassetta (32TNS36871425): serizzo a grana media, poco orientato, ricco d'epidoto (« diorite del M. Bassetta » AA.).
- IN-131 q. 1290 a E del M. Soffricio (32TNS35581356): serizzo a struttura pseudo-porfirica, fortemente orientato, molto ricco d'epidoto (« diorite del M. Bassetta » AA.).

- VA-9 Poirà (32TNS43001253): serizzo, varietà marginale leucocrata a tessitura massiccia.
- VA-71 M. Sciesa, presso la vetta (32TNS40691502): serizzo a struttura massiccia tendente all'otfita (« diorite del M. Bassetta » AA.).

## BIBLIOGRAFIA

- ARTUS F. (1959) - *Ueber metamorphe Breccien basischer Gesteine im Granit des Bergeller Massivs*. Hamb. Beitr. Miner. Kristallphys. Petrogen., 2, 1-39.
- ACKERMAND D., SEIFERT F. (1969) - *Druck und Temperaturbedingungen bei der Bildung der sapphirinfuehrenden Gesteine von Val Codera*. Fortschr. Mineral., 47, Suppl. 1, 1 (abstract).
- BONARDI E. (1882) - *Il gruppo cristallino dell'Albigna e del Disgrazia*. Rend. R. Ist. Lomb. Sc. e Lett., s. II, 15, 554-562.
- CALLEGARI E., MONESE A. (1961) - *Studio petrogenetico dei bordi di reazione metasomatica attorno a lenti ultrafemiche incluse nel granito di San Fedelino (Sondrio)*. Rend. Soc. Miner. Ital., 17, 147-192.
- CONDLIFFE E., MOTTANA A. (1974) - *Studio sperimentale del « Serizzo » a moderate pressioni*. Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol., 30, 919-930.
- CONDLIFFE E., MOTTANA A. (1975) - *Esperimenti sul ghiandone del Massiccio Val Masino - Val Bregaglia tra 1 e 3 kb P(H<sub>2</sub>O)*. Rend. Soc. Ital. Miner. Petrol. (in stampa).
- CRESPI R., SCHIAVINATO G. (1966) - *Osservazioni petrogenetiche sul settore centro-occidentale del massiccio di Val Masino - Val Bregaglia*. Rend. Soc. Miner. Ital., 22, 27-57.
- DRESCHER-KADEN F. K. (1940) - *Beitrage zur Kenntniss der Migmatit und Assimilationsbildungen sowie der synantetischen Reaktionsformen*. 1. *Ueber Schollenassimilation und Kristallisationsverlauf im Bergeller Granit*. Chemie der Erde, 12, 304-417.
- GANSSEER A., GYR T. (1964) - *Ueber Xenolithschwarme aus dem Bergeller Massiv und Probleme der Intrusion*. Eclogae geol. Helv., 57.
- GYR T. (1967) - *Geologische und petrographische Untersuchungen am Ostrande des Bergeller Massivs*. Diss. ETH Zurich, pp. 125.
- IUGS SUBCOMMISSION ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS (1973) - *Classification and nomenclature of Plutonic Rocks. Recommendations*. N. Jb. Miner. Mh., 149-164.
- MOTICSKA P. (1970) - *Petrographie und Strukturanalyse des westlichen Bergeller Massivs und seines Rahmens*. Schweiz. miner. petrogr. Mitt., 50, 355-443.
- NIGGLI P. (1936) - *Die Magmentypen*. Schweiz. miner. petr. Mitt., 16, 335-399.
- NIGGLI P., DE QUERVAIN F., WINTERHALTER R. U. (1930) - *Chemismus schweizerischer Gesteine*. Beitr. Geol. Karte Schw. Geotech. Ser., 14.
- PICCOLI G. (1962) - *Le migmatiti del granito di San Fedelino*. Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 22, 1-133.
- TURNER F. J., VERHOOGEN J. (1960) - *Igneous and metamorphic petrology*. McGraw - Hill., New York, pp. 694.
- VENZO S., SCHIAVINATO G. (1970) - *Illustrazione riassuntiva della « Carta geologico-petrografica delle Alpi Insubriche Valtellinesi tra la Val Masino e la Val Malenco (Sondrio) 1 : 25.000 » di S. Venzo, R. Crespi, G. Schiavinato e G. Fagnani, 1970*. « Boll. Soc. Geol. It. », 89, 599-602.
- WEBER J. (1957) - *Petrographische und geologische Untersuchung des Tonalitzuges von Melirola-Sorico zwischen Tessintal und Comersee*. Schweiz. miner. petrogr. Mitt., 37, 267-397.
- WEIBEL M. (1960) - *Chemismus und Mineralzusammensetzung von Gesteinen des nordlichen Bergeller Massivs*. Schweiz. Miner. Petr. Mitt., 40, 69.
- WENK E. (1956) - *Die lepontinische Gneisregion und die jungen Granite der Valle della Mera*. Eclogae geol. Helv., 49, 251-265.
- WENK H. R. (1973) - *The structure of the Bergell Alps*. Eclogae geol. Helv., 66, 255-291.
- WENK H. R., WENK E., WALLACE J. H. (1974) - *Metamorphic mineral assemblages in pelitic rocks of the Bergell Alps*. Schweiz. miner. petr. Mitt., 54, 507-554.