

Contributo alla conoscenza delle plutoniti austroalpine dell'Alta Valtellina

Il granito di Val Ferrata

ADALBERTO NOTARPIETRO

Centro di Studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali, Via Botticelli 23, 20133 Milano

LUISA DE CAPITANI

Dipartimento di Scienze della Terra, Via Botticelli 23, 20133 Milano

RIASSUNTO. — Il « Granito di Val Ferrata » è un piccolo corpo intrusivo di circa 3 km², che affiora sul crinale che divide la Val di Poschiavo (Svizzera, Cantone dei Grigioni) dalla Val Grosina, situata in Alta Valtellina, a ovest di Grosio. Strutturalmente è considerato appartenere all'Austroalpino superiore. Vengono qui presentati i risultati di uno studio chimico-petrografico, a conclusione del rilevamento di tutta la massa. Oltre agli elementi maggiori sono stati determinati Ba, Rb, Sr, Y, La, Ce, Ga, Ni, Cu di 15 campioni. La composizione di queste rocce risulta essere granodioritica, con carattere peralluminoso e tendenza calcalkalina. L'analisi petrografica ha permesso di distinguere due fasi minerogenetiche: una magmatica caratterizzata da plagioclasio, quarzo, anfibolo (orneblenda), biotite, muscovite, K-feldspato; una metamorfica ad epidoto, anfibolo (actinolite-tremolite) e stilpnomelano. Tra queste due fasi si sarebbe instaurato un evento deformativo abbastanza intenso. Il magma che costituisce la roccia sembrerebbe derivare da fusione di materiale crostale e l'età di messa in posto dell'intrusione risulta verosimilmente ercinica.

Parole chiave: granodiorite, analisi chimiche, metamorfismo di basso grado, orogenesi ercinica, Alpi Centrali.

CONTRIBUTIONS TO THE KNOWLEDGE OF THE AUSTRIDIC PLUTONITES IN THE UPPER VALTELLINA. THE VAL FERRATA GRANITE

ABSTRACT. — The Val Ferrata Granite is a small pluton (around 3 km²) outcropping on the ridge between Poschiavo Valley (Grigioni Canton, Switzerland) and Grosina Valley (Valtellina, Italy). 15 chemical analyses by XRF for major and trace elements (Ba, Rb, Sr, Y, La, Ce, Ga, Ni, Cu) display a granodioritic composition with a calcalkaline trend and a probable genesis due to crustal melting. The magmatic mineralogical assemblage is characterized by plagioclase, quartz, amphibole,

biotite, muscovite, K-feldspar. After a deformative phase, the following metamorphic event (Alpine age) makes epidote, amphibole (actinolite-tremolite) and stilpnomelane. The Val Ferrata Granite is suggested to belong to the Hercynian magmatic cycle, according to structural and radiometric evidence.

Key words: granodiorites, chemical composition, low-grade metamorphism, hercynian orogeny, Central Alps.

Introduzione

Il « Granito di Val Ferrata » costituisce un piccolo corpo intrusivo allungato in direzione N-S, che si estende per circa 3 km² a cavallo dello spartiacque che separa la Val Grosina occidentale, tributaria della Valtellina, a ovest di Grosio, dalla Valle di Poschiavo (figura 1).

Gli affioramenti in territorio italiano sono per lo più localizzati alla testata della Val Piana, laterale della Val Grosina, dove costituiscono le pareti di un piccolo circo di origine glaciale, che forma il lago di Val Ferrata, situato tra 2500 e 2700 m di quota. I limiti del « Granito di Val Ferrata » sul confine italo-svizzero coincidono all'incirca a nord col Passo di Valù e a sud col Passo Portone, comprendendo al loro interno il Pizzo Ometto. L'appendice meridionale del granito è caratterizzata dagli affioramenti presso l'Alpe Grüm, oltre quota 2000 m, sopra l'abitato di Brusio, sul versante sinistro della Valle di Poschiavo. Il « Granito di Val Ferrata »

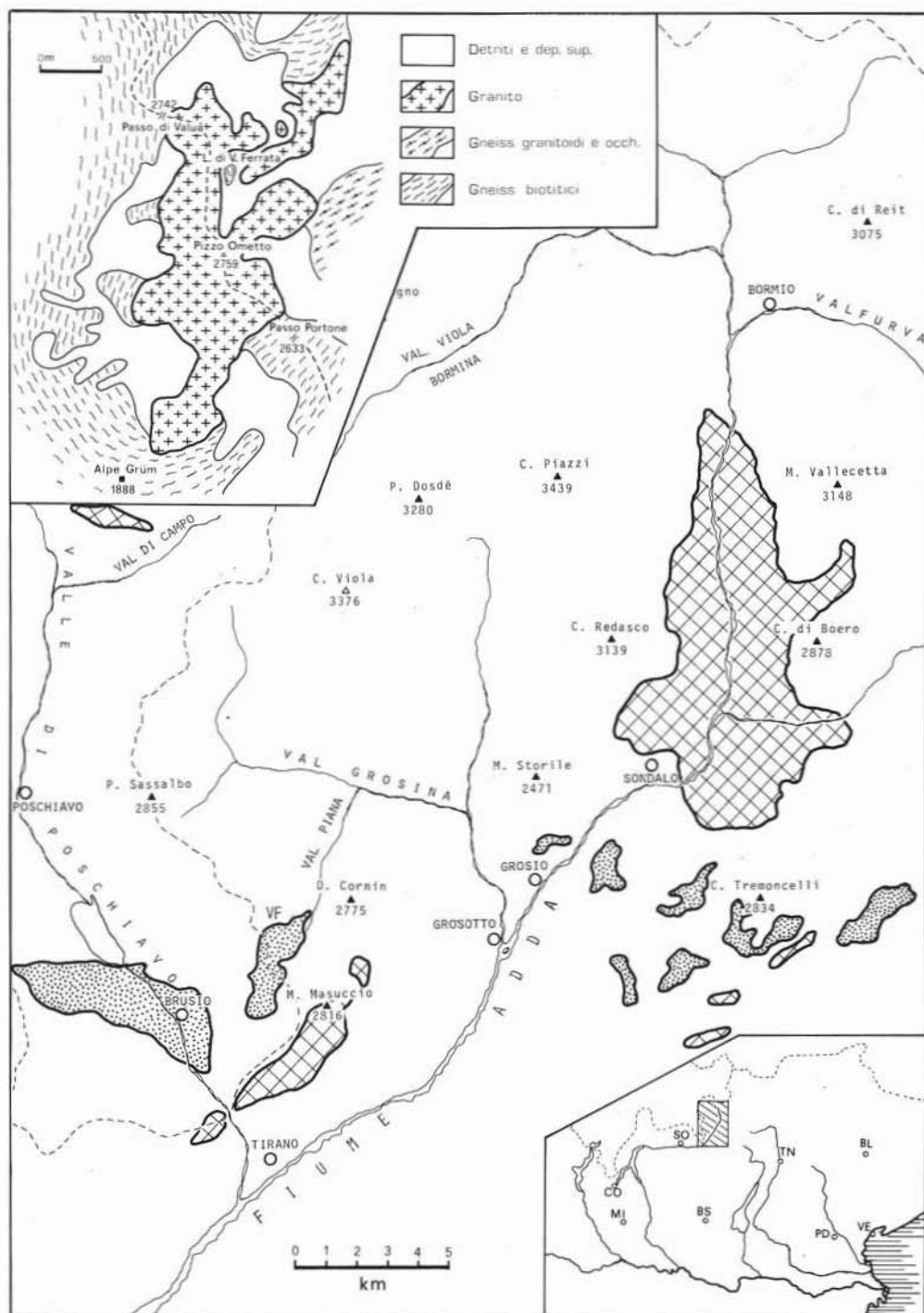


Fig. 1. — Localizzazione dei principali corpi magmatici dell'alta Valtellina. - Col puntinato sono indicate le plutoniti a carattere acido, mentre col retino quelle a carattere basico. Il «Granito di Val Ferrata», situato nella parte bassa a sinistra dello schizzo, e riportato in dettaglio nell'inserito, è contraddistinto dalla sigla VF. Il tratto spezzato indica il confine di Stato. — Location of main magmatic bodies of the Upper Valtellina. - The «Val Ferrata Granite» (VF) is located on the lower left part of the general sketch map. Symbols: small dots = acidic plutonites; screen = basic plutonites; dashed lines = State boundaries. Inset: detailed sketch map of the Val Ferrata Granite.

è strutturalmente compreso nell'Austroalpino superiore ed apparterebbe alla falda Campo (sub-silvettidi) di Staub.

Di quest'area non esistono in letteratura studi geologici di dettaglio. STAUB, nella sua carta del 1946, descrive queste rocce come gneiss intrusivi, senza ulteriori specificazioni. È solo in seguito, con i rilevamenti delle aree alto-valtellinesi, iniziati presso l'Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università degli Studi di Milano sul finire del 1950, che vengono prodotti lavori geologicamente più dettagliati, per lo più limitati ai territori italiani.

BONSIGNORE (1962) descrive per primo la massa granitica di Val Ferrata, supponendone la continuità in territorio elvetico; successivamente BONSIGNORE e RAGNI (1971), per la Carta Geologica d'Italia, F° 19 «Tirano», formulano anche ipotesi genetiche, senza però aver delimitato in modo completo l'intera superficie affiorante del granito.

Solo di recente, nell'ambito dei programmi di revisione geo-strutturali avviati dal Centro di Studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali del C.N.R., in collaborazione col Dipartimento di Scienze della Terra (Università di Milano) queste zone sono state oggetto di studi sistematici.

Il «Granito di Val Ferrata», sul terreno, presenta un aspetto massiccio, caratterizzato da abbondanza di quarzo e feldspati, che gli conferiscono un colore chiaro. Al suo interno fanno spicco grosse lamine di biotite bruna, che talvolta assumono una debole isorientazione (BONSIGNORE, 1962; FRISIA, 1976).

Il «Granito di Val Ferrata» è compreso, in modo per lo più concordante, per la maggior parte entro gneiss biotitici a grana minuta: verso est questi lasciano posto a metamorfiti ortoderivate, tipo gneiss occhiadino e/o granitoidi. Nelle fasce marginali il granito assume una laminazione concordante con la scistosità principale della roccia incassante, con un marcato allineamento della componente micacea. Questa caratteristica è stata osservata fino ad alcune decine di metri dal contatto.

L'aureola termo-metamorfica non è apprezzabile, nè risulta siano stati citati in letteratura fenomeni di contatto. Questo potrebbe essere spiegato con cause diverse, quali retrocessione metamorfica in epoca alpina o tettonizzazione. Nelle zone marginali del

granito sono presenti xenoliti di colore scuro, a grana fine e con abbondanti miche, riferibili a gneiss minuti. All'interno di questi ultimi, sono inoltre da segnalare, in vicinanza del granito, filoni aplitici di spessore decimetrico, che si sviluppano con andamenti generalmente paralleli alla scistosità principale, su distanze notevoli dell'ordine del chilometro e più.

Circa le unità geologiche di appartenenza del «Granito di Val Ferrata» è necessario fare alcune considerazioni. Nel foglio 19 esso viene attribuito alla Formazione della Punta della Pietra Rossa, entro cui trova posto anche il Gabbro del M. Masuccio, ritenuto da BONSIGNORE e RAGNI (1971), il magma progenitore del granito. Motivazioni di carattere petrologico-strutturale, sostenute da argomentazioni diverse espresse da: FRISIA (1976), CARIMATI (1977), TERAZZI (1978), BIANCHI et al. (1978 a, b), NOTARPIETRO et al. (1981) mettono in dubbio la validità dei criteri che hanno portato ad istituire la Formazione della Punta di Pietra Rossa per l'area alto-valtellinese. Il «Granito di Val Ferrata», inoltre, presenta forti analogie con le altre manifestazioni a carattere acido (notevole rassomiglianza col Granito di Vernuga) comprese nella Formazione di Valle Grosina (note illustrative F° «Tirano» e osservazioni di campagna di A. Notarpietro).

Caratteri petrografici

Al microscopio, il «Granito di Val Ferrata» mostra sensibili e diffusi fenomeni deformativi con parziale ricristallizzazione.

Il minerale più abbondante è il quarzo, che si concentra assieme al K-feldspato, attribuendo alla roccia un aspetto porfirico. Attorno a questi minerali e, successivo in ordine di abbondanza, si dispone il plagioclasio, che appare quasi completamente trasformato in sericite ed epidoto. Lamine biotitiche di dimensioni medie, per lo più isolate, associate a lamelle di muscovite, più piccole e meno frequenti, si trovano disposte solitamente in modo casuale; inoltre, cristalli di biotite di piccole dimensioni tendono a costituire aggregati debolmente isorientati. La sericite tende a svilupparsi fino a costituire nuovi cristalli di muscovite.

L'anfibolo si presenta sotto due aspetti diversi, in scarsi cristalli di probabile orne-

blenda, per lo più biotitizzata e cloritizzata; e più numerosi aciculi (actinolite prevalente e tremolite subordinata) associati ad epidoto. Piccoli ed isolati ciuffi, parzialmente addensati, di stilpnomelano, si rinvencono saltuariamente.

Tra i minerali accessori vi sono: apatite spesso fratturata, zircone abbastanza frequente e rutile (varietà sagenite) molto diffuso.

Il quarzo presenta bordi lobati; per frantumazione di un unico cristallo originario si ottengono individui più piccoli con forte estinzione ondulata.

Il *K-feldspato* è solitamente pertitico, inoltre, presenta deformazioni intense specie nei cristalli in cui è evidente la geminazione albite e periclino. Il microclino interstiziale è molto sviluppato e spesso contiene plagioclasì sericitizzati di dimensioni modeste. Verosimilmente il microclino rappresenta l'unica forma di feldspato potassico, anche se non è difficile intuire segni evidenti di derivazione da un primitivo ortoclasio, ormai completamente trasformato nella sua modificazione più stabile. La cristallizzazione del feldspato potassico appare successiva a quella del plagioclasio.

Il *plagioclasio*, in cristalli di dimensioni anche notevoli, è trasformato pressochè completamente in sericite. La zonatura è ancora visibile, mentre solo raramente si osservano tracce di geminazione polisintetica. Frequenti sono le strutture mirmechitiche a contatto con il *K-feldspato*. La composizione corrisponde a circa 25 % An.

Le miche mostrano caratteri riconducibili a genesi diverse.

La *biotite* è presente sia in grossi cristalli, con forte pleocroismo sui toni rossastri e contorni sfrangiati, disposti casualmente (Bi_1), sia in lamine di dimensioni più piccole talvolta pseudo-orientate (Bi_2).

La *muscovite* appare sia associata alla biotite primaria (Ms_1), sia come prodotto di aggregazione da sericite (Ms_2). Comuni alle biotiti ed alla muscovite (Ms_1) sono pieghe e fratture, mentre la muscovite (Ms_2) non sembra risentire di questi effetti.

La *clorite* si forma a spese delle biotiti e dell'anfibolo e mostra anch'essa pieghe accentuate.

L'*apatite* è presente in sezioni idiomorfe, spesso con forma allungata e contorni smussati. Presenta frequenti fratture con scompo-

sizione del cristallo originario. Sembra avere un'origine precoce e la sua genesi è senz'altro da attribuire alle prime fasi di cristallizzazione della roccia.

Gli *epidoti*, varietà clinozoisitica prevalente, sono abbondantemente diffusi e, nelle sezioni esaminate, si distribuiscono nei plagioclasì, dai quali derivano. Tendono a disporsi, con una certa frequenza, attorno a cristalli di mica ed al loro interno, in corrispondenza di fratture.

Associati agli epidoti vi sono *anfiboli* (actinolite prevalente su tremolite) con abito prismatico allungato, in aggregati fascicolari, raggiati e talora intrecciati.

Inoltre, in quantità molto ridotta si sono rinvenuti piccoli cristalli di *stilpnomelano*, con disposizione radiale e in masserelle, che presentano colori di interferenza giallo-rossastri.

Il quadro evolutivo che emerge dalle osservazioni microscopiche si può tentativamente riassumere nel seguente modo.

In un primo stadio genetico si formerebbero: plagioclasio, quarzo, anfibolo (orneblenda?), biotite, muscovite, *K-feldspato*. Quest'ultimo presenta una cristallizzazione tardiva con notevole sviluppo interstiziale; tende, infatti, ad espandersi a spese del plagioclasio, spesso inglobandolo al suo interno.

Ad una blastesi, verosimilmente alpina, sono da attribuire, partendo dall'ultimo minerale neoformato: stilpnomelano, anfibolo (actinolite-tremolite), epidoto.

A questa fase è probabilmente da attribuire anche la muscovite (Ms_2) apparentemente non deformata.

Tra queste due fasi si instaurerebbe un evento deformativo testimoniato da segni evidenti su quarzo (tessitura mortar), *K-feldspato*, miche e cloriti (pieghe e fratture). Gli effetti di questa deformazione sono riscontrabili sia sulla Bi_1 e sulla Bi_2 che sulle cloriti da queste derivate.

Caratteri petrochimici

Sono state eseguite le analisi di 15 campioni su cui si sono determinati gli elementi maggiori ed inoltre Ba, Rb, Sr, Y, La, Ce, Ga, V, Ni, Cu. I risultati sono riportati nella tabella 1 accanto ad altri parametri magmatici.

TABELLA 1

Percentuali degli ossidi degli elementi maggiori e ppm degli elementi in traccia, norme C.I.P.W., D.I., mesonorma Mielke-Winkler, medie e deviazioni standard — Chemical analyses, C.I.P.W. norms, D.I., Mielke-Winkler's mesonorms, means and standard deviations of the Val Ferrata Granite samples

	VF 5	VF 6	VF 7	VF 8	VF 9	VF10	VF11	VF12	VF13	VF14	VF15	PB52	MM42	SP28	FT42	$\bar{X}$	st. dev.
SiO ₂	66.82	66.20	66.78	67.23	67.11	66.84	68.70	67.80	69.02	67.44	67.59	68.90	66.09	69.77	66.36	67.51	1.12
TiO ₂	.42	.46	.44	.45	.41	.59	.52	.54	.54	.50	.54	.46	.53	.47	.47	.49	.05
Al ₂ O ₃	16.84	16.91	16.69	16.55	16.57	15.85	15.31	15.56	14.90	15.97	15.43	15.41	15.42	14.98	16.45	15.92	.69
Fe ₂ O ₃	1.50	1.71	1.32	1.44	1.47	1.61	1.35	1.60	1.43	1.55	1.93	1.45	2.67	2.77	2.11	1.73	.46
FeO	1.97	2.04	2.06	2.11	1.81	2.81	2.30	2.25	2.38	2.14	2.03	2.00	1.70	1.02	1.77	2.03	.39
MnO	.06	.07	.06	.06	.06	.07	.06	.07	.06	.06	.07	.07	.07	.06	.06	.06	.00
MgO	1.09	1.12	1.08	1.15	1.06	1.51	1.35	1.37	1.42	1.26	1.45	1.23	1.59	1.15	1.27	1.27	.17
CaO	2.98	3.21	2.59	3.01	2.76	2.89	2.58	2.71	2.41	2.64	2.40	2.67	3.27	2.26	3.08	2.76	.30
Na ₂ O	3.99	3.95	4.02	3.92	3.96	3.22	3.31	3.58	3.31	3.49	3.43	3.44	3.01	3.25	3.59	3.57	.33
K ₂ O	3.60	3.29	4.01	3.25	3.95	3.73	3.66	3.48	3.77	3.97	3.39	3.70	3.70	3.48	3.45	3.63	.24
P ₂ O ₅	.21	.23	.19	.21	.20	.22	.20	.20	.18	.20	.19	.18	.23	.16	.22	.20	.02
H ₂ O	1.20	1.21	1.21	1.22	1.19	1.29	1.24	1.23	1.25	1.23	1.21	1.20	1.13	1.10	1.17	1.21	.05
Tot.	100.68	100.40	100.45	100.60	100.55	100.63	100.48	100.39	100.68	100.45	99.66	100.71	99.41	100.47	100.00		
Ba	789	662	854	629	756	685	673	701	708	1021	628	766	709	733	703	734	99.36
Rb	138	134	128	133	140	142	137	134	136	147	143	133	129	136	135	136	5.11
Sr	151	139	149	139	140	133	128	138	122	132	121	136	147	113	163	137	12.85
Y	45	50	46	51	46	46	47	49	46	65	52	45	39	37	45	47	6.31
La	32	26	32	36	26	42	20	32	27	25	31	28	23	24	52	30	8.15
Ce	58	67	64	70	59	82	65	77	67	56	70	63	45	63	69	65	8.79
Ga	19	18	20	19	18	20	17	16	17	15	16	16	14	13	20	17	2.21
V	18	20	19	21	17	44	28	31	29	20	26	22	42	24	19	25	8.33
Ni	11	11	11	12	9	14	11	12	12	11	12	11	11	10	13	11	1.18
Cu	6	5	4	3	5	4	2	3	4	4	3	5	4	4	6	4	1.12
NORME C.I.P.W.																	
Q	21.59	21.95	20.47	23.48	21.32	24.65	27.38	25.43	27.49	24.09	27.27	26.84	25.61	31.43	24.01	24.86	2.94
C	1.46	1.56	1.48	1.61	1.24	1.78	1.69	1.45	1.44	1.61	2.20	1.32	1.06	2.14	1.73	1.58	3.03
OR	21.27	19.44	23.69	19.20	23.34	22.04	21.62	20.56	22.27	23.46	20.03	21.86	21.86	20.56	20.38	21.44	1.41
AB	33.76	33.42	34.01	33.17	33.50	27.24	28.00	30.29	28.00	29.53	29.02	29.10	25.47	27.50	30.37	30.16	2.78
AN	13.41	14.42	11.60	13.56	12.38	12.90	11.49	12.13	10.71	11.79	10.66	12.07	14.72	10.16	13.84	12.39	1.39
EN/HY	2.71	2.78	2.68	2.86	2.63	3.76	3.36	3.41	3.53	3.13	3.61	3.06	3.95	2.86	3.16	3.17	.42
FS/HY	1.79	1.70	2.07	2.05	1.54	2.98	2.36	2.04	2.40	1.93	1.37	1.84	.17	.00	.84	1.67	.81
MT	2.17	2.47	1.91	2.08	2.13	2.33	1.95	2.31	2.07	2.24	2.79	2.10	3.87	2.12	3.05	2.37	.51
HM	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.30	.00	.09	.34
IL	.79	.87	.83	.85	.77	1.12	.98	1.02	1.02	.94	1.02	.87	1.00	.89	.89	.92	.99
AP	.49	.54	.45	.49	.47	.52	.47	.47	.45	.47	.45	.42	.54	.37	.52	.44	.13
D.I.	76.62	74.81	78.17	75.85	78.16	73.93	77.00	76.28	77.76	77.08	76.32	77.80	72.94	79.49	74.76	76.46	1.77
MESONORMA MIELKE-WINKLER																	
AB	38.44	38.84	39.18	38.44	38.21	35.47	32.92	35.69	32.98	34.52	34.82	33.57	30.39	31.61	35.62	35.38	2.69
OR	18.98	16.11	20.97	15.63	20.80	11.03	17.82	16.61	18.30	20.37	16.39	18.55	18.62	18.67	17.38	17.75	2.40
AN	15.25	16.73	13.35	15.69	14.11	16.77	13.49	14.28	12.60	13.76	12.78	13.90	17.54	11.67	16.21	14.54	1.68
QZ	27.33	28.31	26.49	30.24	26.88	36.74	35.77	33.43	36.11	31.35	36.01	33.99	33.44	38.06	30.79	32.33	3.74

Le determinazioni degli elementi maggiori, eccettuato FeO, e degli elementi in traccia sono state effettuate mediante fluorescenza a raggi X su pastiglie di polvere pressata con aggiunta di alcool polivinilico, usando come riferimento gli standard internazionali. FeO è stato determinato mediante titolazione potenziometrica con K₂Cr₂O₇. La perdita al fuoco è stata effettuata in muffola a 1000° C per una notte.

Le concentrazioni degli elementi determinati indicano un chimismo sostanzialmente omogeneo per rocce acide ad elevato contenuto di allumina. La composizione media approssima quella di una granodiorite, con

un D.I. (Differentiation Index, THORNTON e TUTTLE, 1960), compreso tra 72,94 e 79,49. Più difficile risulta definire il carattere seriale di queste rocce, anche se la tendenza generale manifesta un'affinità calcalca-

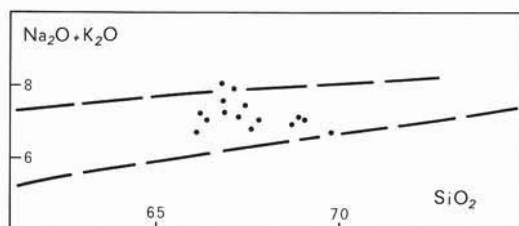


Fig. 2. — *Diagramma SiO_2 vs alcali.* - Le linee spezzate corrispondono ai limiti proposti da KUNO (1969) per la definizione del campo calcalcalino. — *Alkali/Silica diagram.* The dashed lines delimit the calc-alkaline field (KUNO, 1969).

lina. Se si prende in considerazione il rapporto $\text{SiO}_2/\text{Alcali}$, si può vedere, come illustrato in figura 2, che i campioni esaminati si interpongono tra le due rette di KUNO (1969).

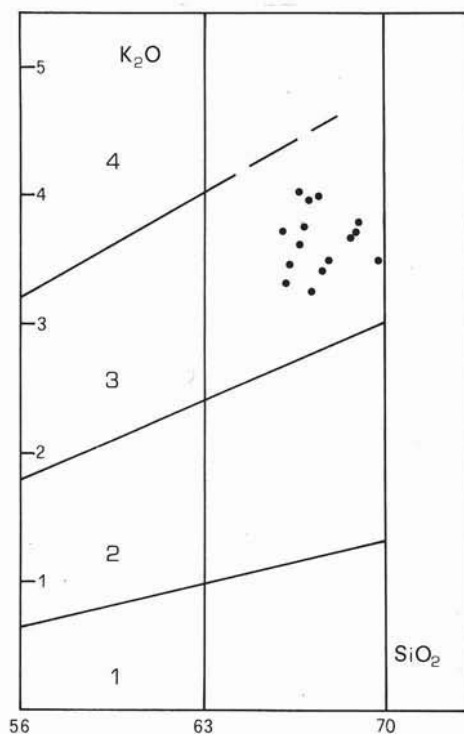


Fig. 3. — *Diagramma SiO_2 vs K_2O .* - 1 = serie a basso contenuto di K; 2 = serie calcalcaline; 3 = serie calcalcaline ad alto contenuto di K; 4 = serie shoshonitiche, da PECCERILLO e TAYLOR (1976). — *$\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ diagram* (PECCERILLO and TAYLOR, 1976). 1 = low-K tholeiitic series; 2 = calc-alkaline series; 3 = high-K calc-alkaline series; 4 = shoshonitic series.

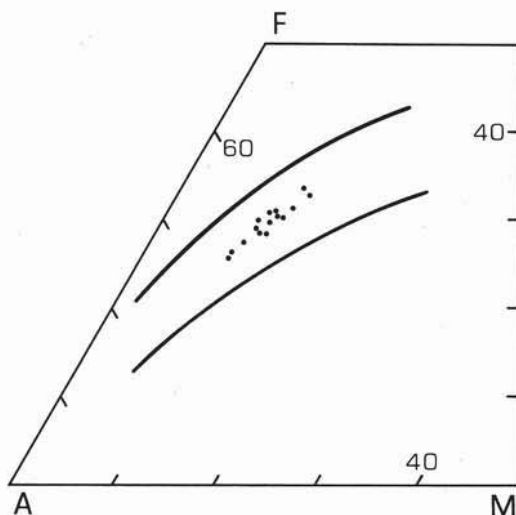


Fig. 4. — *Diagramma AFM.* - Le linee di spessore maggiore definiscono il campo di frequenza delle rocce a carattere calcalcalino, da RINGWOOD (1975). — *A-F-M diagram.* The strong lines delimit the calc-alkaline field (RINGWOOD, 1975).

Dal diagramma SiO_2 vs K_2O (figura 3) da PECCERILLO e TAYLOR (1976), invece, si osserva che le rocce in esame giacciono all'interno del campo indicativo di serie calcalcaline ad alto K. Questa tendenza trova inoltre conferma nel diagramma AFM di figura 4, dove i punti rappresentativi dei campioni risultano ben allineati e compresi entro il campo delle rocce calcalcaline (RINGWOOD, 1975).

Il « Granito di Val Ferrata » si dimostra peralluminoso ($\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ molare) con corindone normativo sempre presente. La percentuale di FeO è solitamente maggiore di quella di Fe_2O_3 , tranne che per tre campioni provenienti da zone marginali del plutone. Il coefficiente di ossidazione è in ogni caso sempre elevato. La quantità di CaO è generalmente inferiore sia a quella di Na_2O che a quella di K_2O , tranne che in un caso. Il rapporto $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ si mantiene pressochè costantemente vicino all'unità.

Gli elementi minori non presentano sensibili variazioni quantitative, mostrando un comportamento sostanzialmente omogeneo sia nei compatibili che negli incompatibili. Da rilevare una relativa abbondanza di Ba ed una scarsità di Sr, secondo un comportamento coerente con quello di un granito

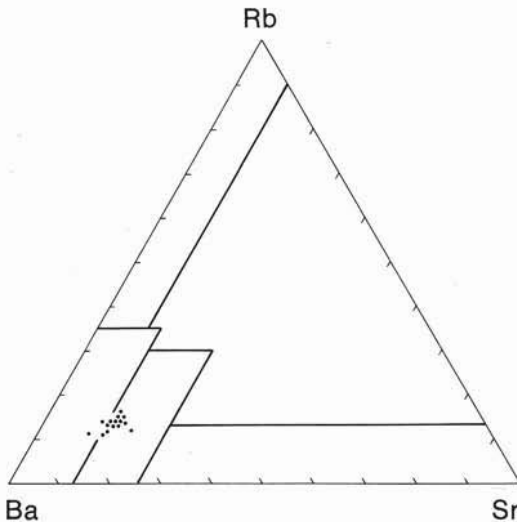


Fig. 5. — Diagramma Rb-Ba-Sr. - I campioni di « Granito di Val Ferrata » si distribuiscono, secondo la definizione data dagli autori (EL BOUSEILY et al., 1975) tra il campo dei graniti anomali (in prevalenza) e quello dei graniti normali. — *Discriminating diagram Rb-Ba-Sr* (EL BOUSEILY and EL SOKKARY, 1975). Most samples fall in the field of the « anomalous granite ».

di tipo « subsolvus » (BONIN, 1982). I valori di Rb e Sr sono molto simili. Nel diagramma di figura 5 sono messi in evidenza i rapporti tra le concentrazioni di Rb, Ba e Sr; in base alle percentuali espresse, si può notare che i campioni in esame, pur avendo composizione granodioritica, occupano il campo di pertinenza dei graniti (EL BOUSEILY et al., 1975).

Il rapporto K/Rb compreso tra 197 e 260 con valore medio pari a 221 si dimostra coerente con quello di rocce acide di tipo « granitico » (HEIR e ADAMS, 1964).

Le concentrazioni degli ossidi e degli elementi determinanti sono state diagrammate rispetto all'Indice di Larsen, che presenta valori compresi all'incirca tra 17 e 20 (figura 6). I campioni si distribuiscono in modo prevalentemente rettilineo per quanto riguarda MgO, CaO, FeO_t, P₂O₅ e Sr, mentre gli altri appaiono più dispersi, rispetto agli altri elementi/ossidi.

Sulle quantità degli elementi in esame è stato calcolato il coefficiente di correlazione, espresso attraverso la matrice riportata in tabella 2.

Tra gli elementi maggiori emerge un'interessante correlazione negativa tra SiO₂ e

P₂O₅; tra i minori risultano correlazioni positive sia tra elementi incompatibili (La vs Ce, La vs Sr) che tra questi ed alcuni compatibili (Rb vs Y, Sr vs Ni).

Questi caratteri si ripetono anche tra elementi maggiori e minori (Mg vs V), mentre non sempre tra elemento maggiore e minore isomorfo c'è correlazione positiva, come nel caso di K vs Rb e di Fe³⁺ vs V.

Oltre a queste relazioni, sinteticamente espresse dal parametro statistico, si è anche cercato di evidenziare graficamente, per mezzo di diagrammi binari, il reciproco comportamento di alcuni elementi. Le distribuzioni che si ottengono non sono di facile lettura e, comunque, non individuano andamenti riconducibili a situazioni teoricamente ben definite. Questo succede sia che si confrontino tra loro elementi incompatibili, sia che il confronto avvenga tra elementi compatibili

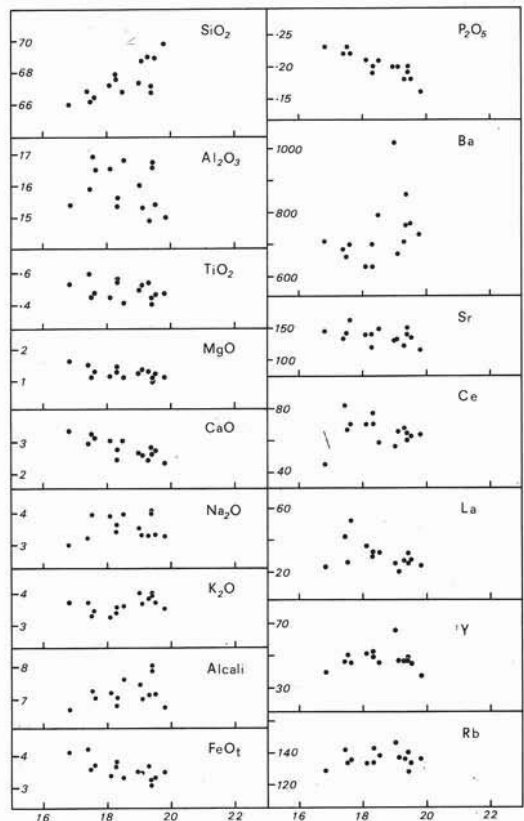


Fig. 6. — Diagramma ossidi ed elementi su Indice di Larsen. - Distribuzione dei campioni rispetto all'indice di Larsen. - *Variation diagrams for major and trace elements against Larsen Index for the Val Ferrata Granite.*

mente distinte: una magmatica e l'altra metamorfica. La fase magmatica è caratterizzata da: microclino interstiziale notevolmente sviluppato, biotite abbondante rispetto a muscovite ed anfibolo (orneblenda), plagioclasio abbondantemente sericitizzato e quarzo deformato. Questi caratteri sono comuni, secondo la classificazione di MARMO (1971) a graniti sincinematici. La presenza di muscovite, che associata a quarzo, presuppone condizioni di pressione almeno superiori a 4 Kb, spiega l'alto contenuto di allumina, che definisce queste rocce come peralluminose. Il corindone normativo è sempre presente, come si può ben osservare dal diagramma molare $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ illustrato in figura 8. La composizione chimica di queste rocce corrisponde a quella di una granodiorite con affinità calcalcalina. Questo carattere trova ulteriore conferma nel diagramma QAP normativo di figura 9, dove i punti rappresentativi dei campioni del « Granito di Val Ferrata » occupano un campo di pertinenza delle serie calcalcaline « granodioritiche o a medio K » (LAMEYRE e BOWDEN, 1982).

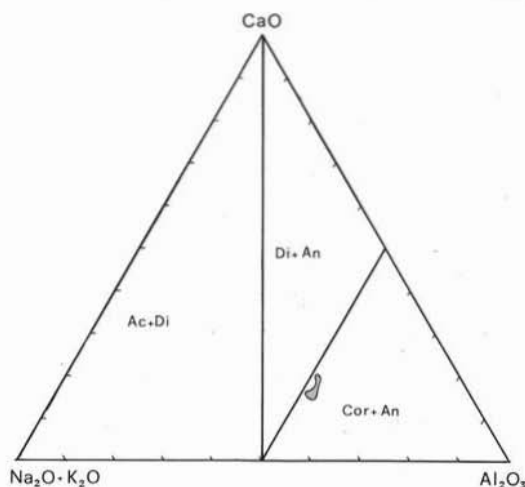


Fig. 8. — Diagramma $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. - I campioni del « Granito di Val Ferrata » cadono all'interno del dominio Anortite + Corindone (normativi), relativo a rocce peralluminose (BONIN, 1982). — $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ diagram. The Val Ferrata Granite samples lie within the Cor + An field for peraluminous rocks (BONIN, 1982).

Volendo poi cercare altre relazioni tra composizione chimica ed ambiente tettonico, se si considera la distribuzione dei campioni secondo il rapporto $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ri-

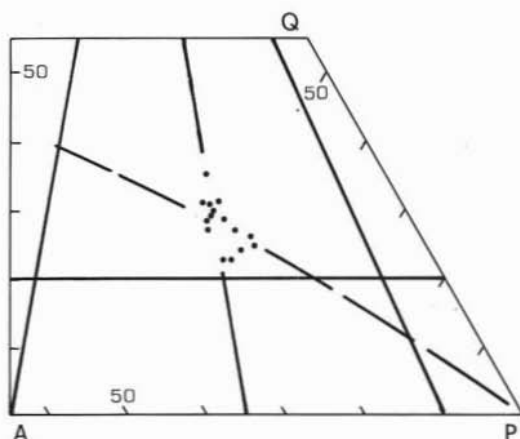


Fig. 9. — Diagramma QAP. - I campioni del « Granito di Val Ferrata » giacciono all'interno del campo delle serie granodioritiche calcalcaline e si distribuiscono lungo il trend mediano che le rappresenta. — Q-A-P diagram. The Val Ferrata Granite samples plot within the granodioritic calcalcaline series field.

spetto alla concentrazione di SiO_2 (figura 10), e, si calcola l'equazione lineare della retta interpolante, secondo quanto proposto da Christiansen e Lipman in PETRO et al. (1979), per $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 1$ si otterrà un valore di SiO_2 pari a 58. Questo valore è intermedio rispetto ai limiti inferiore e superiore che si ottengono nelle serie compressionali (rapporto = 60-64) ed estensionali (rapporto = 50-56).

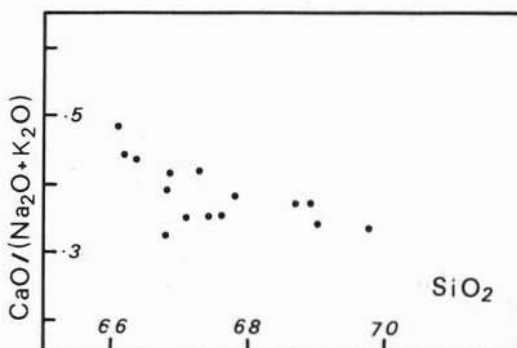


Fig. 10. — Diagramma SiO_2 vs $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$. - La distribuzione dei campioni, lungo una direttrice preferenziale indicherebbe l'appartenenza ad una serie compressionale, secondo quanto proposto da Christiansen e Lipman in PETRO et al. (1979). — SiO_2 vs $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ diagram. See text for explanation.

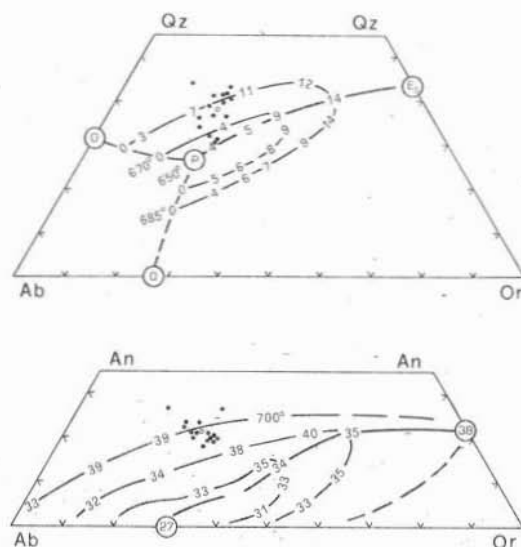


Fig. 11. — Diagramma An-Ab-Or e Ab-Qz-Or. — Per la spiegazione vedi il testo. — ● = campioni; ○ = valore medio. — An-Ab-Or and Ab-Qz-Or diagrams for the Val Ferrata Granite samples. Dots = analyzed samples; circle = mean value. See text for explanation.

La distribuzione dei campioni nel diagramma AFM (figura 4) è invece più vicina a quella di una serie di tipo compressionale (PETRO et al., 1979).

Circa l'origine di queste rocce, se si fa riferimento al sistema Qz-Ab-Or-An-H₂O a 5 Kbar di P(H₂O), si può vedere dai diagrammi Qz-Ab-Or e An-Ab-Or illustrati in figura 11, che i campioni del « Granito di Val Ferrata » si situano nello spazio dei plagioclasii. La quantità di plagioclasio e quarzo di cui deve essere modificata la composizione della roccia perchè il rapporto Qz:Ab:An:Or venga a trovarsi sulle superfici cotettiche è circa pari al 6 % di plagioclasio e all'8 % di quarzo. Cioè il rapporto Qz:Ab:Or:An è distante +6 % An e -8 % Qz dalla superficie cotettica pl+pz+L+V. In queste condizioni comincerà a cristallizzare plagioclasio, quindi la composizione del liquido si modificherà in direzione della superficie pl+qz+L+V, che segna l'inizio della cristallizzazione del quarzo. A questo punto il fuso residuo si muoverà verso la linea cotettica P-E₅ dando luogo alla separazione di K-feldspato.

È stato dimostrato sperimentalmente che per fondere piccole quantità in leggero ec-

cesso, rispetto a composizioni di fasi liquide situate esattamente sulle superfici cotettiche, sono sufficienti aumenti di temperatura abbastanza ridotti (WINKLER, 1979). Ciò significa che la composizione delle rocce come quelle che costituiscono il « Granito di Val Ferrata », è tale da raggiungere uno stato di fusione quasi completa a temperature dell'ordine dei 700° C in condizioni di pressione pari a 5 Kbar.

La fase magmatica è seguita da eventi deformativi di considerevole entità, che hanno prodotto effetti particolarmente sensibili sulla tessitura dell'intera compagine rocciosa.

La blastesi ad epidoto caratterizza, insieme all'anfibolo (actinolite-tremolite) e allo stilpnomelano, la fase di cristallizzazione tardiva di età alpina, che ha interessato il granito in esame, contestualmente alle unità litostratigrafiche circostanti.

Conclusioni

La massa intrusiva, nota in letteratura come « Granito di Val Ferrata », situata in alta Valtellina tra la Valle Grosina (Grosio) e la Valle di Poschiavo (Tirano), strutturalmente compresa nell'Austroalpino superiore, è stata caratterizzata sia chimicamente che petrograficamente.

Le rocce esaminate presentano composizione granodioritica, affinità calcicalina e carattere peralluminoso.

Lo studio petrografico ha evidenziato la presenza di due distinte fasi minerogenetiche. L'una magmatica, in cui cristallizzano plagioclasio-quarzo-anfibolo-biotite-muscovite e K-feldspato, con un notevole sviluppo di microclino interstiziale a scapito di plagioclasio sericitico. L'altra metamorfica di età Alpina, contraddistinta da una blastesi ad epidoto, molto diffuso ed abbondante, anfibolo, prevalentemente actinolitico, e stilpnomelano. Tra queste due fasi si instaurerebbe un intenso regime deformativo con produzione di estese fratturazioni, maggiormente vistose nei minerali più fragili.

Nell'insieme i componenti mineralogici di questa granodiorite presentano aspetti tipici da cristallizzazione pre-tettonica, con caratteri comuni a quelli di un'intrusione sincinemica.

Il « Granito di Val Ferrata » è compreso entro gneiss biotitici a grana minuta, gneiss occhiadini e/o gneiss granitoidi, generalmente interpretati come prodotti del magmatismo ordoviciano, parzialmente o totalmente trasformati dal metamorfismo ercinico. La granodiorite presenta una laminazione marginale concordante con la scistosità della roccia incassante.

Per quanto riguarda l'età di questa massa, si può dire poco di certo. Una determinazione effettuata col metodo Rb-Sr su un campione di biotite (DEL MORO et al., 1982) fissa a 224 ± 4 M.a. l'ultimo evento che ha

prodotto l'apertura del sistema Rb/Sr. Questo dato tenderebbe quindi a stabilire un'età ercinica per la messa in posto del plutone da cui si è generata la granodiorite.

Ringraziamenti. — Lavoro eseguito nell'ambito del Centro di Studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali del C.N.R., presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Milano.

Gli autori ringraziano i Proff. A. BORIANI e A. GREGNANIN per l'attenta lettura del manoscritto e per gli utili suggerimenti.

BIBLIOGRAFIA

- BIANCHI POTENZA B., GORLA L., NOTARPIETRO A. (1978 a) - *La « Formazione di Valle Grosina »: revisione dei suoi aspetti petrografici in un nuovo contesto geologico. II. Gli « Gneiss minuti »*. Rend. S.I.M.P., 34 (2), 371-385.
- BIANCHI POTENZA B., GORLA L., NOTARPIETRO A. (1978 b) - *La « Formazione di Valle Grosina »: revisione dei suoi aspetti petrografici in un nuovo contesto geologico. III. Gli « Gneiss occhiadini »*. Rend. S.I.M.P., 34 (2), 387-401.
- BONIN B. (1982) - *Les granites des complexes annulaires*. Man. e Mèth. n. 4, B.R.G.M.
- BONSIGNORE G. (1962) - *Ricerche geologico-petrografiche sul versante meridionale della media ed alta Valle Grosina (Sondrio)*. Tesi di Laurea inedita n. 122. Ist. Min. Geol. Univ. Milano.
- BONSIGNORE G., RAGNI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del cristallino dell'alta Valtellina e dell'alta Val Camonica (Alpi Retiche)*. Nota prima: *La Formazione della Punta di Pietra Rossa*. Fond. probl. Mont. arco alp. C.N.R., 73, 39 pp., 1 gm.
- CARIMATI R. (1977) - *Sviluppi chimico-petrografici e geotettonici sul Gabbro del M. Masuccio e sulle metamorfite incassanti*. Tesi di Laurea inedita n. 303. Ist. Min. Petr. Univ. Milano.
- DEL MORO A., NOTARPIETRO A., POTENZA R. (1982) - *Revisione del significato strutturale e geocronologico delle masse intrusive minori dell'Alta Valtellina: risultati preliminari*. Rend. S.I.M.P., 38 (1), 89-96.
- EL BOUSEILY A.M., EL SOKKARY A.A. (1975) - *The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks*. Chem. Geol., 16, 207-219.
- FRISIA S. (1976) - *Studio geologico-petrografico sulle formazioni cristalline del versante destro della Valle Grosina occidentale (Alta Valtellina)*. Tesi di Laurea inedita n. 292. Ist. Min. Petr. Univ. Milano.
- HEIR K.S., ADAMS J.A. (1964) - *The geochemistry of the alkali metals*, in Physics and Chem. of the Earth, 5, Pergamon Press.
- KÜNO H. (1969) - *Differentiation of basalt magmas*, in Basalts 2. Wiley & Sons, N.Y.
- LAMEYRE J., BOWDEN P. (1982) - *Plutonic rocks types series: discrimination of various granitoid series and related rocks*. Jour. Volc. Geothermal Res., 14, 169-186.
- MARMO V. (1971) - *Granite petrology and the granite problem*. Elsevier P. Comp.
- NOTARPIETRO A., GORLA L. (1981) - *Contributo alla conoscenza delle formazioni austriache dell'Alta e Media Valtellina. - Variazioni petrochimiche nella formazione di Valle Grosina*. Rend. S.I.M.P., 37 (2), 755-791.
- PECCERILLO A., TAYLOR S.R. (1976) - *Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey*. Contrib. Mineral. Petrol., 58, 63-81.
- PETRO W.L., VOGEL T.A., WILBAND J.T. (1979) - *Major-element chemistry of plutonic rock suites from compressional and extensional plate boundaries*. Chem. Geol., 26, 217-235.
- RINGWOOD A.E. (1975) - *Composition and petrology of the earth's mantle*. McGraw Hill Inc., N.Y., 618 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) - *Foglio 19: « Tirano ». Note illustrative della Carta Geologica d'Italia*.
- STAUB R. (1946) - *Geologische Karte der Berninagruppe und ihrer Umgebungen im Oberengadin, Bergell, Val Malenco, Puschlav und Livigno*. Beitr. Geol. Kart Schweiz, Geol. Spezk, 118.
- TERAZZI F. (1978) - *Studio petrochimico comparato degli gneiss minuti e gneiss occhiadini della Formazione di Valle Grosina (Val di Sacco - Alta Valtellina)*. Tesi di Laurea inedita n. 326. Ist. Min. Petr. Univ. Milano.
- THORNTON C.P., TUTTLE O.F. (1960) - *Chemistry of igneous rocks. I. Differentiation index*. Am. Jour. Science, 258, 664-684.
- TREUIL M., JORON J.L. (1975) - *Utilisation des éléments hygromagmatophiles pour la simplification de la modélisation quantitative des processus magmatiques. Exemples de l'Afar et de la Dorsale Médioatlantique*. Rend. S.I.M.P., 31 (1), 125-174.
- WINKLER H.G.F. (1979) - *Come possiamo capire i magmi granitici?*, Ed. Soc. It. Min. Petr., Milano.