

BONA BIANCHI POTENZA *, LUCIANO GORLA *, ADALBERTO NOTARPIETRO **

LA « FORMAZIONE DI VALLE GROSINA »:
REVISIONE DEI SUOI ASPETTI PETROGRAFICI
IN UN NUOVO CONTESTO GEOLOGICO
II. GLI « GNEISS MINUTI »***

RIASSUNTO. — Gli autori, proseguendo lo studio sulla « Formazione di Valle Grosina », prendono in esame gli gneiss minuti, che ne costituiscono il litotipo più diffuso. È stato eseguito un accurato studio al microscopio di 60 campioni, su 34 dei quali, analizzati in fluorescenza X, sono stati determinati gli elementi maggiori. La presenza di staurolite, talora associata a cianite e/o andalusite, ha permesso di stabilire che questi gneiss si collocano tra le metamorfiti di medio grado. I risultati dell'analisi chimica e le osservazioni di campagna concorrono nell'indicare un'origine sedimentaria per questi scisti, che deriverebbero da sedimenti pelitici ricchi in magnesio.

ABSTRACT. — The « Gneiss minuti », the most widespread rocktype of the « Formazione di Valle Grosina », are described. Petrographic observations on 60 statistically collected samples and 34 XRF analyses of major elements have been carried out. According to their mineralogical composition (presence of staurolite, sometimes associated with kyanite and/or andalusite), these gneisses are to be considered medium-grade metamorphites. The chemical composition points out the sedimentary origin of these rocks, deriving from Mg-rich sediments.

Introduzione

La « Formazione di Valle Grosina », costituita da tre litotipi (gneiss occhiadini, gneiss minuti, gneiss granitoidi), affioranti diffusamente in alta Valtellina, viene presa in esame per quanto riguarda lo studio degli gneiss minuti, che ne rappresentano il tipo arealmente più diffuso. Essa venne attribuita dagli estensori del Foglio 8, « Bormio », della Carta Geologica d'Italia, all'Austroalpino superiore e più precisamente alla base del sistema Scarl-Umbrail.

CORRADINI et al. (1973), GORLA e POTENZA (1974), BIANCHI POTENZA e NOTARPIETRO (1977) hanno già ampiamente illustrato l'assetto geologico e strutturale della zona in esame, ed hanno dimostrato la sostanziale analogia tra gran parte della « Formazione della Punta di Pietra Rossa » e la « Formazione di Valle Grosina ». A quest'ultima sono stati attribuiti molti dei litotipi cartografati come « Formazione della Punta di Pietra Rossa » nel Foglio suddetto (fig. 1).

* Istituto di Mineralogia, Petrografia, Geochimica dell'Università, via Botticelli 23, 20133 Milano. ** Centro di Studio sulla Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali del C.N.R., Milano.

*** Lavoro eseguito nell'ambito delle ricerche del Centro di Studio sulla Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali del C.N.R., Milano.

Gli gneiss minuti hanno, in tutta l'area esaminata, una posizione strutturale ben fissa e definita, costituendo il termine intermedio tra gneiss occhiadini, generalmente alla base, e gneiss granitoidi, solitamente al tetto. Hanno inoltre caratteri omogenei; sono rocce molto compatte, con tessitura nettamente scistosa e struttura minuta; il colore è grigio, variabile da chiaro a scuro, con un'alterazione rossastra molto comune e ben visibile soprattutto sulle superfici di discontinuità e nei depositi detritici.

Altro aspetto caratteristico è la facile sfaldabilità in lastre prismatico-tegolari. La potenza di questo litotipo è valutabile attorno ai 2 km e si mantiene pressochè

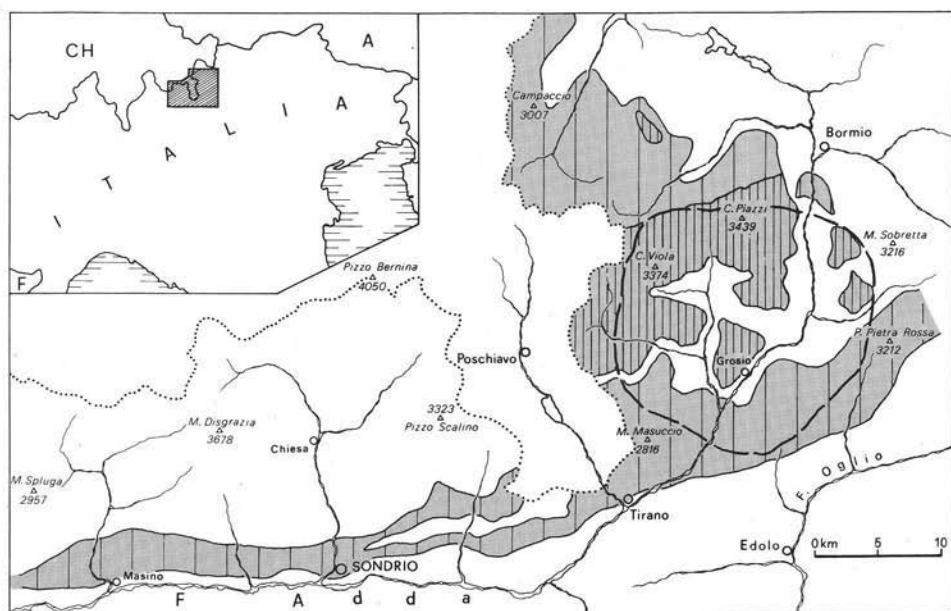


Fig. 1. — In grigio è indicata l'estensione della « Formazione di Valle Grosina » comprendente la « Formazione di Valle Grosina » auct. (tratteggio verticale fitto) e la « Formazione della Punta di Pietra Rossa » (tratteggio verticale largo). La linea tratteggiata racchiude l'area presa in esame.

costante; la bancatura è ben marcata, con giaciture generalmente poco inclinate e con immersione media all'incirca verso Sud. Localmente sono caratterizzati da pieghe, anche fitte, a raggio variabile da pochi cm a qualche metro.

Per quanto riguarda i rapporti verticali, gli gneiss minuti passano inferiormente, nell'ambito di pochi metri, a termini occhiadini; il passaggio è sempre netto e generalmente concordante. Si passa infatti da gneiss occhiadini, che al contatto mostrano effetti di laminazione, a gneiss minuti, poveri in componenti melanocrati, che però dopo pochi metri si arricchiscono in biotite, assumendo così il loro aspetto caratteristico. Talora il passaggio occhiadini-minuti è caratterizzato dalla presenza di una fascia di miloniti più o meno potenti, che mancano al contatto superiore tra minuti e granitoidi. Quest'ultimo avviene in uno spazio molto breve; il parallelismo degli

elementi micacei viene mantenuto rigidamente costante sia negli gneiss minuti, sia nei granitoidi. Il contatto tra questi litotipi non si manifesta con caratteri costanti; infatti può avvenire lungo una superficie orizzontale o secondo superfici inclinate, lungo le quali il rigido parallelismo tra gli elementi micacei dei granitoidi e la scistosità dei minuti rimane uniformemente costante. In questo caso, particolari fenomeni erosivi hanno messo in evidenza un rapporto tra minuti e granitoidi apparentemente anomalo, simulando per questi ultimi una posizione strutturalmente inferiore rispetto ai minuti. Tale fenomeno risulta particolarmente evidente al contatto con i granitoidi che costituiscono il « Granito di Val Ferrata » (Auct.); inoltre, sia all'interno di questo, sia all'interno dei granitoidi l.s., si rinvengono inclusi gneissici, la cui scistosità è allineata lungo la direzione degli elementi micacei. Nelle valli tributarie dell'Adda, situate sul suo versante destro, il contatto tra gneiss minuti e gneiss granitoidi si complica notevolmente; questi ultimi tendono ad assumere sempre più carattere migmatico, per cui il passaggio da un litotipo all'altro ha sempre più l'aspetto di interpenetrazione.

Variazioni verticali caratteristiche dei minuti sono costituite per lo più da quarziti di spessore limitato, generalmente concordanti; vene di quarzo di minor entità si trovano talvolta deformate in stretta connessione con le fasi dinamiche cui queste rocce sono state sottoposte. Un altro carattere peculiare degli gneiss minuti rispetto agli altri tipi della « Formazione di Valle Grosina » è costituito dalla presenza di intrusioni di tipo acido di forma e dimensioni diverse; queste sono numerose e generalmente di estensione limitata nel settore orientale dell'area studiata (M. Serottini) e sono rappresentate da numerosi piccoli corpi circoscritti.

Descrizione petrografica

Gli gneiss minuti presentano sempre una tessitura piuttosto scistosa, talora con lenti di quarzo, plagioclasio, K-feldspato; la grana è variabile da minuta a media. La componente leucocrata non sempre è prevalente su quella melanocrata; infatti sovente minerali melanocrati e leucocrati sono contenuti in ugual quantità.

La paragenesi varia da zona a zona; sempre presente è il quarzo, in genere in individui di dimensioni medio-piccole, fratturato, con estinzione ondulata e struttura a mosaico. In alcuni casi si può notare la presenza di due generazioni: gli individui più piccoli non presentano allora estinzione ondulata.

Il plagioclasio è diffuso quasi uniformemente, ed ha composizione attorno al 30 % An; generalmente è geminato e, talora, parzialmente alterato in sericite ed epidoti. Meno diffuso del plagioclasio è il K-feldspato, presente sempre come microclino, anch'esso talora parzialmente alterato; frequenti sono pertiti e mirmechiti. Tra i componenti melanocrati, ovunque diffusa è la biotite, di color rosso-bruno, più raramente verde, in lamine sfrangiate, fratturate, piegate, spesso decolorate o alterate in clorite. Anche la muscovite è molto diffusa, pur non essendo ovunque presente; nei campioni contenenti entrambe le miche, si nota che spesso la musco-

vite prevale sulla biotite. Associata a quest'ultima è la clorite, generalmente quasi incolore e debolmente pleocroica; è sicuramente primaria e solo talvolta deriva per alterazione dalla biotite. La presenza di clorite primaria in queste condizioni si giustifica con il tipo di chimismo di queste rocce, come è spiegato a pag. 9-10. In alcuni campioni si nota un anfibolo incolore o verde chiaro, allungato, con angolo di estinzione di circa 15°; si tratta probabilmente di un anfibolo di tipo attinolitico. Frequente è l'epidoto, sia primario, talora con il nucleo pleocroico, sia di alterazione; in quest'ultimo caso si presenta in individui di dimensioni minori di quelle degli epidoti di genesi primaria. Accessori molto diffusi sono i granati, l'apatite, la titanite, lo zircone, i minerali opachi; poco frequente è la tormalina.

Poco diffusi sono staurolite, cianite e andalusite, associate o meno tra loro; le associazioni osservate sono: cianite-staurolite e staurolite-andalusite. Si può notare che questi minerali non compaiono mai nelle rocce affioranti sulla sinistra orografica della Valtellina, ma solo in alcune rocce affioranti sulla destra orografica, in particolare nella Val Grosina occidentale.

Lo studio petrografico ha permesso di individuare tre zone metamorfiche attraverso il riconoscimento delle seguenti associazioni paragenetiche:

- 1) biotite, muscovite, clorite, quarzo \pm K-feldspato \pm plagioclasio \pm epidoto, in equilibrio nelle condizioni di stabilità previste dalla zona a biotite;
- 2) granato, biotite, muscovite, quarzo \pm clorite \pm K-feldspato \pm plagioclasio \pm epidoto \pm anfibolo, in equilibrio nelle condizioni di stabilità previste dalla zona a granato;
- 3) staurolite, granato, biotite, muscovite, plagioclasio \pm clorite \pm cianite \pm andalusite \pm K-feldspato, in equilibrio nelle condizioni di stabilità previste dalla zona a staurolite.

Studio petrochimico

Tra i campioni esaminati petrograficamente ne sono stati selezionati e analizzati 34, che rappresentano la distribuzione dei litotipi nell'area in esame. Sono state determinate con l'analisi spettrometrica per fluorescenza X (metodo di LEAKE et al., 1969, modificato) le percentuali in ossido dei dieci elementi maggiori. La percentuale di FeO è stata ottenuta per titolazione con KMnO_4 , eseguita in doppio; l'acqua è stata determinata come perdita al fuoco. I risultati delle analisi sono riportati nella tabella n. 1.

I dati chimici sono serviti come base per la ricerca di relazioni tra il chimismo e la presenza di alcuni minerali, al fine di individuare associazioni caratteristiche che consentano di precisare grado e condizioni metamorfiche di queste rocce. A questo scopo è stato applicato il metodo dell'analisi fattoriale, che, tra le tecniche statistiche multivarianti, presenta la maggior densità di informazioni, utili dal punto di vista qualitativo ed estremamente importanti ed apprezzabili sul piano quantitativo. Il programma usato è quello di ONDRICK e SRIVASTAVA (1970) che calcola modo-Q e modo-R. Prendiamo dapprima in considerazione il modo-Q. Ai fini

di una lettura più immediata si è deciso di riferire i risultati, che il programma esprime in forma bidimensionale, ad un diagramma triangolare. Questo consente di quantificare direttamente la dispersione dei campioni rispetto ai fattori estratti (fig. 2). Va precisato che non sempre questa rappresentazione può essere fatta in modo corretto: nel caso in esame la somma delle deviazioni standard dei primi tre fattori è pari al 97,50 %. Ciò significa che la distribuzione dei campioni all'interno del triangolo dei fattori F_1 , F_2 , F_3 rappresenta il 97,50 % della loro dispersione massima. Se la somma della deviazione standard dei fattori raggiunge una percentuale accettabile in senso statistico solo utilizzando più fattori, l'uso del diagramma triangolare, che ne riporti solo tre, risulterebbe ovviamente meno significativo e talora perfino inesatto.

Oltre a questa indispensabile premessa bisogna tener conto delle differenze che esistono tra i parametri statistici (in questo caso i coefficienti di correlazione) di un sistema aperto com'è quello ottenuto dai confronti multipli variabili/campioni, rispetto ad un sistema chiuso, quale appunto un diagramma triangolare, dove si stabiliscono relazioni tra i tre elementi che costituiscono i vertici del triangolo, la somma dei cui valori va riportata a 100. Affinchè queste differenze siano minime e presentino un errore statisticamente accettabile, cioè al di sotto del 5 % e dell'1 %, in generale bisogna che (SKALA, 1977):

- il valore medio di ogni variabile confrontata sia superiore a 1,5;
- il valore della varianza di ogni variabile sia inferiore a 2;
- il numero di variabili da confrontare sia superiore a 6.

Nel caso in questione i valori percentuali medi degli ossidi, che rappresentano le variabili del sistema, sono tutti superiori ad 1,5, tranne per TiO_2 (0,84), P_2O_5 (0,14) e MnO (0,08) che per contro hanno deviazioni standard molto basse, rispettivamente di 0,08, 0,04 e 0,19. Le deviazioni standard, se si esclude quella relativa a SiO_2 (5,09), sono tutte inferiori a 2; il numero di variabili confrontate è di 12. Per questi motivi il passaggio dal sistema aperto (matrice di varianza/covarianza) al sistema chiuso (diagramma triangolare) operato in questo caso risulta del tutto corretto.

Dalla fig. 2, discriminando la posizione dei campioni rispetto alla loro composizione, che all'interno del diagramma triangolare viene riferita ai tre fattori estratti dall'analisi fattoriale, si è potuto constatare che al fattore F_1 sono legati Al_2O_3 , Fe_2O_3 tot., MgO e K_2O ; al fattore F_2 SiO_2 e al fattore F_3 CaO ed Na_2O . Dei tre fattori, F_1 rappresenta il 43 % della varianza totale, F_2 il 28 % della residua e F_3 il 27 %. Questo significa che responsabili del 43 % della varianza totale rappresentata dal fattore F_1 , sono le variazioni di Al_2O_3 , Fe_2O_3 tot., MgO e K_2O ; le variazioni di SiO_2 , legate al fattore F_2 , ne rappresentano invece il 28 %; mentre le fluttuazioni dei tenori di CaO ed Na_2O , legati al fattore F_3 sono la causa dell'ulteriore 27 % della varianza totale. Il rimanente 2 % è legato alle variazioni degli altri ossidi nel loro insieme.

TABELLA 1

*Risultati delle analisi chimiche e coordinate chilometriche dei campioni esaminati
Sono riportati anche i valori dei fattori F_1 , F_2 , F_3 estratti dall'analisi fattoriale*

	RT87	DM72	DM100	GL16	GL17	GL23	GL27	GL30
Coord.	0056 3753	8834 3511	9026 3691	1138 3490	1080 3434	0950 3300	1036 3448	1042 3380
SiO ₂	62.70	65.74	62.42	66.26	71.45	67.39	55.96	56.14
Al ₂ O ₃	14.69	14.87	14.83	13.60	12.01	13.62	19.28	19.87
Fe ₂ O ₃	3.12	2.90	3.17	3.62	3.27	3.97	5.31	4.53
FeO	3.07	2.41	3.69	2.26	1.35	2.05	2.94	3.98
MnO	.09	.06	.09	.11	.08	.08	.10	.10
MgO	3.46	1.96	3.25	2.72	2.09	2.44	4.00	2.89
CaO	4.27	2.25	2.21	3.01	1.35	2.09	1.90	1.01
Na ₂ O	3.97	3.89	2.97	5.10	3.47	4.35	2.55	1.97
K ₂ O	2.66	3.70	2.86	0.86	2.02	1.68	3.57	5.21
TiO ₂	.55	.72	.85	.77	.72	.93	1.08	.96
P ₂ O ₅	.09	.16	.24	.14	.15	.15	.16	.10
H ₂ O	1.95	2.01	4.22	2.15	2.93	1.82	3.69	3.61
	100.62	100.67	100.80	100.60	100.89	100.57	100.54	100.37
F_1	33.7	34.4	42.7	30.2	34.6	33.1	46.8	50.8
F_2	28.0	37.5	27.5	29.2	35.3	32.1	26.0	28.6
F_3	38.3	28.1	29.8	40.6	30.1	34.8	27.2	20.6
	GL56	GL62	FT40	FT41	FT27	FT38	SF1	SF13
Coord.	0690 4000	0650 3920	9150 2756	9174 2694	9119 2840	9162 2790	8885 2730	8733 3053
SiO ₂	62.04	54.67	67.55	68.06	59.41	62.04	63.13	69.99
Al ₂ O ₃	17.01	18.77	15.27	15.26	17.76	15.62	16.38	14.82
Fe ₂ O ₃	4.72	5.71	2.70	2.48	3.96	4.19	3.83	1.84
FeO	2.42	3.51	1.94	1.83	3.30	3.29	2.99	1.34
MnO	.08	.09	.05	.06	.08	.10	.09	.04
MgO	2.89	3.50	2.04	1.98	3.40	3.25	2.90	1.16
CaO	1.01	1.52	1.10	.69	1.42	1.47	1.88	0.79
Na ₂ O	2.21	2.16	3.54	3.56	2.94	3.41	3.61	4.67
K ₂ O	3.74	5.40	3.33	3.66	3.29	2.99	2.45	3.58
TiO ₂	.88	1.08	.60	.55	.93	.87	.98	.38
P ₂ O ₅	.22	.16	.14	.12	.12	.13	.13	.14
H ₂ O	3.17	3.26	2.09	2.22	4.00	3.06	2.57	1.78
	100.39	99.83	100.35	100.47	100.61	100.42	101.04	100.53
F_1	44.7	49.4	35.1	35.8	45.9	42.6	40.0	27.1
F_2	31.8	28.4	40.4	41.5	28.4	28.2	28.9	49.9
F_3	23.5	32.2	24.5	22.7	25.7	29.2	31.1	33.0

(continua)

(segue Tab. 1)

	NA2	NA4	NA1	NA8	NA9	NA17	NA23	GC12	GC19
Coord.	9981	0026	9968	0012	9615	9858	9820	9226	8990
	3081	3078	3098	3739	4040	3040	3270	3230	3258
SiO ₂	68.82	61.38	55.28	59.40	60.99	57.78	66.08	60.17	62.27
Al ₂ O ₃	15.71	15.90	17.30	15.06	15.60	17.41	13.76	16.35	16.04
Fe ₂ O ₃	2.01	4.12	4.98	3.57	4.65	6.30	3.43	4.75	4.50
FeO	.85	3.27	3.89	3.86	1.63	2.80	2.21	2.99	2.84
MnO	.04	.06	.11	.09	.08	.08	.08	.08	.08
MgO	.87	3.46	4.39	4.20	2.55	3.56	2.74	3.42	3.16
CaO	.90	1.90	1.63	5.18	3.47	.54	2.65	1.60	1.81
Na ₂ O	4.53	3.80	3.34	3.21	3.86	2.75	4.54	2.86	2.78
K ₂ O	4.48	3.05	3.08	2.84	3.30	3.35	1.43	3.02	2.75
TiO ₂	.31	.93	1.03	.67	.73	.99	.84	.94	.92
P ₂ O ₅	.08	.16	.13	.11	.10	.14	.24	.13	.16
H ₂ O	1.87	2.46	4.26	2.31	3.48	4.68	2.77	4.09	2.99
	100.47	100.49	99.42	100.50	100.44	100.38	100.77	100.40	100.30
F ₁	27.3	40.3	47.0	37.8	36.3	49.2	32.3	45.4	42.7
F ₂	53.7	30.3	23.8	23.4	32.5	28.0	31.5	27.7	28.4
F ₃	19.0	29.4	29.2	39.8	31.2	22.8	36.2	36.9	28.9
	GC26	GC34	GC54	GC64	FM47	FM8	FM1	FM48	RT58
Coord.	9328	9414	9360	9410	9534	9623	9285	9521	9822
	3166	3134	3298	3428	3968	4093	3738	3941	3215
SiO ₂	57.61	51.79	59.95	59.42	57.42	62.92	72.47	63.10	68.06
Al ₂ O ₃	18.12	19.31	16.42	17.50	17.09	15.37	12.73	14.75	13.18
Fe ₂ O ₃	6.30	5.98	5.08	5.24	4.34	3.94	3.00	3.07	3.27
FeO	2.57	4.46	3.18	2.82	4.45	3.10	2.17	3.36	2.47
MnO	.09	.09	.10	.09	.10	.09	.08	.10	.07
MgO	2.94	4.76	3.58	3.54	4.33	3.18	1.79	3.17	2.80
CaO	.95	1.23	2.32	1.52	1.52	1.96	0.93	2.41	1.57
Na ₂ O	2.71	2.13	3.95	2.67	2.84	4.35	1.69	4.71	3.34
K ₂ O	3.77	4.56	1.94	3.13	4.35	2.83	2.92	2.53	2.69
TiO ₂	1.02	.98	.97	.93	.95	.83	.82	.87	.84
P ₂ O ₅	.12	.11	.14	.13	.14	.14	.07	.15	.14
H ₂ O	4.75	4.44	3.72	3.87	2.78	2.43	2.20	2.28	2.16
	100.95	99.84	101.35	100.86	100.31	100.32	100.84	100.50	100.59
F ₁	48.6	53.1	41.4	46.1	47.1	36.1	42.6	36.0	37.9
F ₂	28.9	23.7	25.6	27.3	25.8	30.5	32.8	29.4	32.4
F ₃	22.5	33.2	33.0	25.6	27.1	33.4	14.6	34.6	29.7

Nella fig. 2 sono inoltre riportati a fianco di ogni fattore gli ossidi che più sono responsabili delle loro variazioni. Come si può osservare, i campioni si raccolgono in un'area molto ristretta, rivelando una notevole omogeneità composizionale.

Solo due si discostano dagli altri in modo più sensibile: la causa di ciò si è vista risiedere nel minor contenuto di Fe_2O_3 tot. (3,71 % e 4,52 % rispetto al valore medio di 9,66 %) oltre che al più basso tenore di CaO ed MgO, mentre

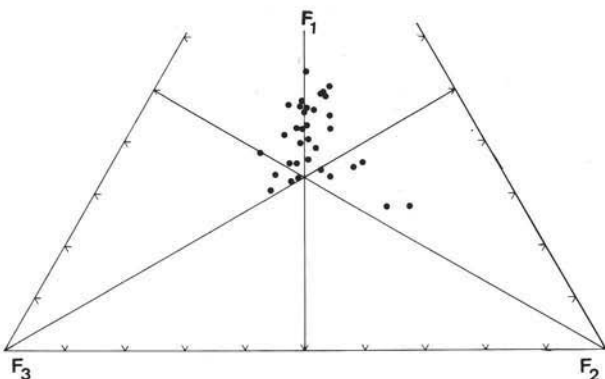


Fig. 2. — Diagramma triangolare $F_1F_2F_3$ che mette in evidenza la distribuzione dei campioni rispetto ai primi tre fattori espressi dall'analisi fattoriale.

TABELLA 2

Matrice di correlazione con medie e deviazioni standard

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	H_2O
Al_2O_3	-.871**											
Fe_2O_3	-.923**	.731**										
FeO	-.783**	.549*	.825**									
MnO	-.574*	.290	.695**	.663**								
MgO	-.841**	.534*	.888**	.877**	.716**							
CaO	-.068	-.276	.013	.187	.314	.288						
Na_2O	.486	-.557*	-.576*	-.435	-.229	-.385	.357					
K_2O	-.460	.693**	.284	.255	-.287	.072	-.430	-.573*				
TiO_2	-.673**	.516*	.849**	-.638*	.683**	.703*	-.118	-.518*	.039			
P_2O_5	.002	-.098	.050	.058	-.048	.102	.003	.092	-.255	.252		
H_2O	-.729**	.656*	.750**	.452	.451	.576*	-.243	-.569*	.255	.651*	.110	
Medie	62.34	15.92	4.06	2.80	.08	3.01	1.83	3.37	3.15	.84	.14	3.00
Dev.St.	5.09	1.92	1.76	.87	.02	.88	.99	.87	.97	.19	.04	.91

elevate sono le percentuali di SiO_2 . Questi campioni presentano infatti una percentuale di CaO di 0,90 e di 0,79 rispetto al valore medio di 1,83; una percentuale di MgO di 0,87 e di 1,16 rispetto al valore medio di 3,01; una percentuale di SiO_2 di 68,82 e di 69,99 rispetto al valore medio di 62,34. Queste differenze, valutate anche in un ambito più generale, non hanno fornito nessuna indicazione particolare, per cui il loro significato va visto, almeno per quanto riguarda questa fase di studio, in variazioni molto circoscritte e comunque di ordine locale.

I risultati del modo-R sono riassunti nella matrice di correlazione (tabella n. 2) dove, secondo le normali consuetudini, sono state contraddistinte con un asterisco le correlazioni con valori superiori al coefficiente $r_{0,95}$ che nel caso in esame (32 gradi di libertà e $\rho = 0$) è pari a 0,337 e con due asterischi le correlazioni con valori superiori al coefficiente $r_{0,99}$ pari a 0,433. Nella tabella sono anche riportati i valori medi con le relative varianze. Ancor prima di esaminare in dettaglio la matrice di correlazione, una rapida lettura dei valori di \bar{x} e di σ serve a dare un'idea approssimativa del tipo di chimismo di queste rocce e di alcuni loro attributi distintivi. Ad esclusione della silice, i ridotti valori di σ indicano fluttuazioni molto ridotte rispetto al valore medio, sottolineando una generale isochimia dei campioni in esame. L'alto contenuto di Al_2O_3 , di Fe_2O_3 tot., di MgO e di Na_2O , i rapporti $FeO < Fe_2O_3$, $MgO > CaO$ ed $Na_2O > K_2O$ ne individuano il tipo pelitico con tendenze grovacchiche.

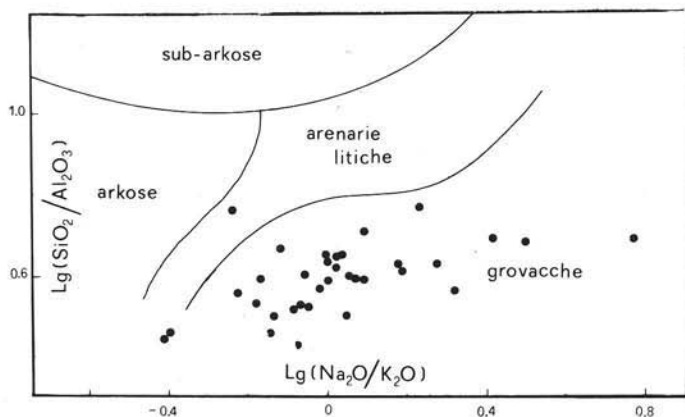


Fig. 3. — Diagramma che illustra il carattere delle rocce in esame.

La fig. 3 evidenzia efficacemente le affinità sedimentarie delle rocce analizzate. Il diagramma (PETTJHON, 1972 mod.) che mette a confronto i Log dei rapporti SiO_2/Al_2O_3 e Na_2O/K_2O , mostra che i campioni esaminati occupano sostanzialmente il campo delle grovacche. Fa eccezione un solo campione, caratterizzato da un tenore elevato di SiO_2 (72,47, $\bar{x} = 62,34$) e basso di Al_2O_3 (12,73, $\bar{x} = 15,92$), in cui inoltre K_2O (2,92, $\bar{x} = 3,15$) è maggiore di Na_2O (1,69, $\bar{x} = 3,37$).

Riassumendo i dati espressi dalla matrice di correlazione, si può affermare che: all'aumento della silice corrisponde una diminuzione di tutti gli altri ossidi, tranne Na_2O e CaO ; al crescere di Al_2O_3 diminuiscono SiO_2 e Na_2O ; all'aumento di Na_2O corrisponde una diminuzione di Fe_2O_3 tot., K_2O , TiO_2 e H_2O ; MgO è correlato negativamente con SiO_2 ; se aumenta K_2O aumenta Al_2O_3 e diminuisce Na_2O ; H_2O è correlata negativamente con SiO_2 e Na_2O , quindi aumentando la percentuale di questi ossidi l'acqua tende a diminuire.

Da queste sintesi si possono trarre alcune considerazioni di notevole interesse petrologico: l'aumento della silice è legato per la maggior parte ad aumento di quarzo; il comportamento dei componenti melanocrati rivela un'omogeneità molto accentuata verso gli altri ossidi; la presenza di Na_2O è contrapposta a quella di K_2O , cosicchè ad un aumento dell'uno corrisponderà una diminuzione dell'altro e viceversa; TiO_2 varia in stretta armonia con i componenti melanocrati; H_2O diminuisce aumentando la percentuale di SiO_2 e di Na_2O .

Serve a questo punto precisare che la matrice di correlazione esprime rapporti di variazione che di per sè possono avere un significato abbastanza limitato dal punto di vista interpretativo, mentre, associata ai caratteri petrografici ed alle osservazioni petrologiche, contribuisce a dare una miglior definizione della roccia in esame, precisandone, con dati oggettivi, natura, derivazione e condizioni metamorfiche.

Oltre all'analisi fattoriale abbiamo fatto uso di elaborazioni grafiche, riferendoci ai diagrammi triangolari ACF, A'KF, AFM. I diagrammi sono stati usati per rappresentare la composizione dei campioni: i valori dei vertici sono riportati al di sotto di ogni figura. SiO_2 viene considerato come componente in eccesso. Su ogni triangolo sono stati riportati i minerali, costituenti le paragenesi osservate microscopicamente, le cui posizioni derivano dalla loro composizione virtuale, e si sono costruite le « tie lines ».

Nel diagramma ACF (fig. 4) i minerali coesistenti sono rappresentati da staurolite-epidoto (clinozoisite)-anfibolo (attinolite)-granato⁽¹⁾-clorite; la distribuzione dei campioni ne sottolinea il carattere pelitico. Essi infatti si dispongono per la maggior parte al di sopra della linea coniugata epidoto-clorite, mentre è noto che quelli che stanno al di sotto manifestano una tendenza basica, essendo caratterizzati da alte percentuali di CaO. La distribuzione dei campioni all'interno del triangolo rivela che gli gneiss minuti in equilibrio con tale associazione sono sempre molto distanti dagli gneiss granitoidi e sempre prossimi al contatto con gli gneiss occhiadini. I campioni in equilibrio con staurolite, clorite e granato provengono da zone vicine agli gneiss granitoidi.

Nel diagramma A'KF (fig. 5) i minerali coesistenti sono: staurolite-muscovite-almadino-(clorite); staurolite-muscovite-biotite; cianite/andalusite-staurolite-biotite; muscovite-biotite-K-feldspato (microclino). Anche qui i campioni si dispongono in modo da confermare il loro carattere pelitico (TURNER, 1968) essendo in equilibrio nel sistema trifase muscovite-biotite-andalusite. All'infuori di un solo campione, caratterizzato da una percentuale minima di K_2O (0,86), tutti gli altri coesistono con le condizioni di pressione e temperatura che rendono stabili le associazioni riportate sul diagramma, esclusa la paragenesi muscovite-biotite-K-feldspato. Dall'esame dei diagrammi ACF e A'KF, per quanto concerne condizioni di equilibrio metamorfico, si deduce che queste rocce sono attualmente stabili nella zona a staurolite

(1) Per proiettare il granato si è accettata la schematizzazione, già proposta da Winkler, che si tratti sostanzialmente di almandino.

del medio grado (facies anfiboliti). È possibile stabilire inoltre che il metamorfismo è stato crescente e continuo; si è visto infatti che i minerali individuati microscopicamente, le cui associazioni hanno consentito la suddivisione nelle tre zone citate, sono attualmente coesistenti nelle condizioni di equilibrio dei sistemi aventi come fasi:

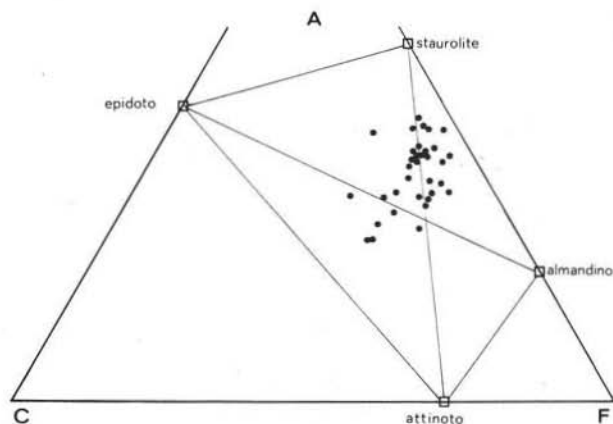


Fig. 4. — Distribuzione dei campioni all'interno del diagramma ACF. I valori dei vertici corrispondono a: $A = [Al_2O_3] + [Fe_2O_3] - ([Na_2O] + [K_2O])$; $C = [CaO] - 3,3 [P_2O_5]$; $F = [MgO] + [MnO] + [FeO]$.

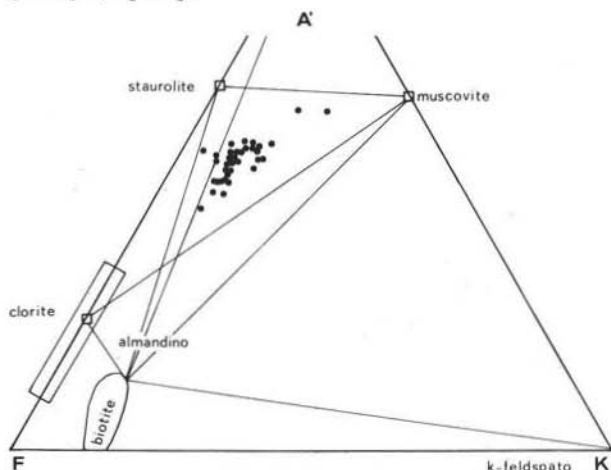


Fig. 5. — Distribuzione dei campioni nel diagramma triangolare A'KF. I valori dei vertici corrispondono a: $A' = [Al_2O_3] + [Fe_2O_3] - ([Na_2O] + [K_2O] + [CaO])^2$; $K = [K_2O]$; $F = [FeO] + [MgO] + [MnO]$.

stauroilite-muscovite-biotite; stauroilite-muscovite-almandino; andalusite/cianite-muscovite-biotite. Dal triangolo A'KF si osserva molto bene come nessun campione si trovi coesistente con i sistemi caratterizzati dall'associazione biotite-muscovite-clorite-quarzo, che, all'interno del grado medio, rappresentano la zona a biotite della facies anfiboliti, e neppure con quello caratterizzato dall'associazione almandino-clorite-

muscovite, che, dello stesso grado, rappresentano la zona ad almandino della facies anfiboliti.

Nel diagramma AFM (fig. 6) infine, vengono evidenziate le fasi: staurolite-almandino-cianite/andalusite; staurolite-almandino-biotite; staurolite-clorite-biotite; cianite/andalusite-staurolite-clorite; cianite/andalusite-staurolite-biotite; cianite/andalusite-biotite-clorite. Tranne due campioni, che sono gli stessi messi in evidenza dall'analisi fattoriale per il contenuto particolarmente scarso di Fe_2O_3 tot., CaO ed MgO, e abbondante di SiO_2 e di Al_2O_3 , gli altri sono tutti coesistenti con le fasi staurolite-clorite-biotite e staurolite-almandino-biotite. Le condizioni di equilibrio di queste fasi si possono ricavare da alcune reazioni oltremodo significative per riuscire

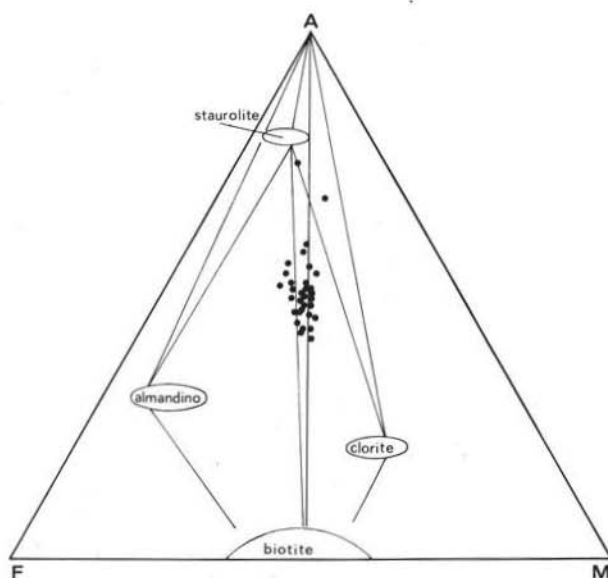


Fig. 6. — Distribuzione dei campioni nel diagramma triangolare AFM. I valori dei vertici corrispondono a: A = $[\text{Al}_2\text{O}_3]$; F = $[\text{FeO}]$; M = $[\text{MgO}]$.

a fissarne il limite di stabilità. Ci è parso utile segnalare quanto indicato da THOMPSON e NORTON (1968) per la reazione:



che per impostarsi all'interno del medio grado richiede pressioni più alte di quelle normalmente ammesse in queste condizioni. Tra le paragenesi osservate nelle nostre rocce ha un ruolo determinante la presenza di muscovite + quarzo. Questi due minerali, che nelle reazioni sopra citate si comportano da reagenti, tendono a definire i valori minimi di temperatura per cui tali reazioni avvengono. HOSCHEK (1969) fissa il limite di stabilità della staurolite nella reazione:



a $675 \pm 15^\circ \text{C}$ e 5,5 kbar.

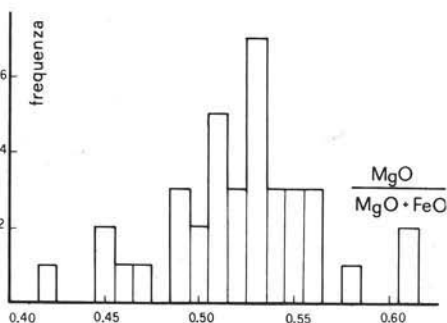


Fig. 7. — Classe di frequenza del rapporto $MgO/MgO+FeO$.

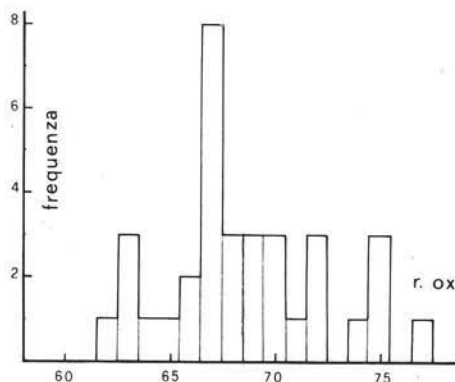


Fig. 8. — Classe di frequenza del rapporto $2Fe_2O_3 \times 100 / 2Fe_2O_3 + FeO$.

Si può affermare che i limiti di stabilità delle reazioni prese come riferimento per precisare le condizioni di pressione e temperatura degli gneiss minuti della « Formazione di Valle Grosina » rimangono al di sotto della zona della sillimanite, e che quindi non raggiungono mai l'alto grado (facies granuliti).

Dalle paragenesi osservate e dalla distribuzione dei campioni all'interno dei tre diagrammi citati, si desume che attualmente questi gneiss sono in equilibrio in condizioni metamorfiche proprie del grado medio, zona a staurolite, facies delle anfiboliti. La presenza di clorite si giustifica con il particolare chimismo di queste rocce, caratterizzate da un'elevata percentuale di Mg, come recentemente accertato da GUIDOTTI (1974) e da FROESE e GASPARRINI (1975). Tale tenore di Mg consente un valor medio di 0,52 per il rapporto $MgO/MgO+FeO$ (fig. 7). Infine l'alto valore del rapporto $2Fe_2O_3 \times 100 / 2Fe_2O_3 + FeO$, con valori compresi tra 62 e 78, indica che queste rocce sono state metamorfosate in un ambiente prevalentemente ossidante (fig. 8).

Conclusioni

Lo studio degli gneiss minuti della « Formazione di Valle Grosina » consente di esprimere le seguenti considerazioni:

- dal punto di vista petrochimico esiste una notevole omogeneità composizionale dei campioni analizzati, caratterizzata da un'alta percentuale di Al_2O_3 , sempre maggiore di K_2O+Na_2O+CaO ; da un'alta percentuale di Fe_2O_3 tot., con un rapporto FeO/Fe_2O_3 minore di 1; da un'alta percentuale di MgO , maggiore di CaO , e da un'alta percentuale di Na_2O maggiore di K_2O . Come tipo chimico questi possono perciò essere classificati come peliti con tendenze a grovacche (fig. 3);
- dal punto di vista petrografico è stata accertata la presenza di minerali caratteristici, le cui associazioni hanno permesso di individuare tre zone metamorfiche: zona a biotite, zona a granato, zona a staurolite.

Queste coincidono essenzialmente con un metamorfismo di grado medio;

— dal punto di vista petrologico, infine, è determinante la presenza dell'associazione paragenetica chiave:

staurolite-granato-cianite/
andalusite-biotite-muscovite-quarzo.

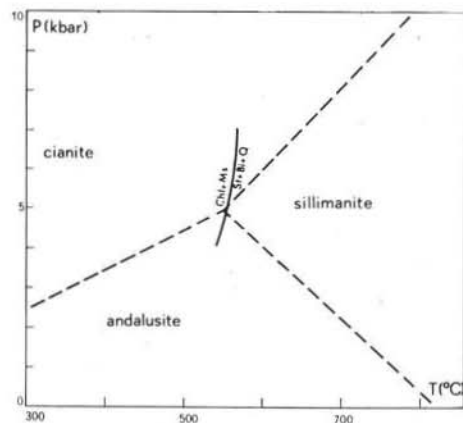


Fig. 9. — Diagramma del punto triplo del polimorfo Al_2O_3 con le curve di stabilità delle associazioni: Muscovite + Quarzo e Staurolite + Muscovite + Quarzo.

In analogia con quanto stabilito sperimentalmente da HOSCHEK (1969), DAY (1973) e da MÜLLER e SAXENA (1977), queste rocce risulterebbero formate a temperature inferiori ai $700^\circ C$ (limiti di stabilità di staurolite + quarzo e di muscovite + quarzo), e, più probabilmente, in base alla presenza dei due polimorfi cianite/andalusite, mutuamente esclusivi ma entrambi primari nelle rocce che li contengono, a cavallo della linea univariante cianite/andalusite e quindi, come direttamente verificabile dalla fig. 9, a circa $600^\circ C$ con pressioni di 5-6 kbar.

Ringraziamenti. — Gli autori ringraziano il Dott. R. CRESPI, il Prof. A. MOTTANA e il Dott. R. POTENZA per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- BIANCHI POTENZA B., NOTARPIETRO A. (1977) - La « Formazione di Valle Grosina »: revisione dei suoi aspetti petrografici in un nuovo contesto geologico. I. Gli « gneiss granitoidi ». Rend. Soc. It. Min. Petr., 33 (2), 617-629.
- CORRADINI M., NOTARPIETRO A., POTENZA R. (1973) - L'assetto geologico degli gneiss di Valle Grosina nell'alta Valtellina (Sondrio, Italia). Atti Soc. It. Sc. Nat., 114, 135-151.
- DAY H. W. (1973) - The high temperature stability of muscovite plus quartz. Am. Min., 58, 255-262.
- FROESE E., GASPARRINI E. (1975) - Metamorphic zones in the Snow Lake Area, Manitoba. Canad. Miner., 13, 162-167.
- GUIDOTTI C. V. (1974) - Transition from staurolite to sillimanite zone, Rangeley Quadrangle, Maine. Geol. Soc. Am. Bull., 85, 475-490.
- GORLA L., POTENZA R. (1975) - La « Formazione della Punta di Pietra Rossa Auct. »: revisione del suo significato nel contesto geologico delle Alpi Centrali. Boll. Soc. Geol. It., 94, 177-184.
- HOSCHEK G. (1969) - The stability of Staurolite and Chloritoid and their Significance in Metamorphism of Pelitic Rocks. Contr. Min. Petr., 22, 208-232.

- LEAKE et alii (1969) - *The chemical analysis of rock powders by automatic X ray fluorescence*. Chem. Geol., 5, 7-86.
- MÜLLER R. F., SAXENA S. K. (1977) - *Chemical Petrology*. Springer-Verlag, New York.
- ONDRICK C. W., SRIVASTAVA G. S. (1970) - «CORFAN-FORTRAN IV» *computer program for correlation, factor analysis (R and Q mode) and varimax rotation*. State geol. Survey Kansas, comp. contr., 42.
- PETTIJON F. J., POTTER E. P., STEVER R. (1972) - *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, New York.
- SKALA W. (1977) - *A Mathematical Model to Investigate Distorsions of Correlation Coefficients in Closed Arrays*. Mathematical Geology, 9, (5), 519-528.
- THOMPSON J. B., NORTON S. A. (1968) - *Paleozoic regional metamorphism in New England and adjacent areas*. Interscience, New York, 319-328.
- TURNER F. J. (1968) - *Metamorphic Petrology*. McGraw-Hill, New York.
- WINKLER H. G. F. (1976) - *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag, New York.