

PIERO ATZORI *, ANTONINO LO GIUDICE *

I PIROSSENI DELL'ETNA: CARATTERI CRISTALLOCHIMICI E IMPLICAZIONI PETROLOGICHE **

RIASSUNTO. — Sono state studiate le variazioni cristallogchimiche di 30 pirosseni etnei con il metodo delle componenti principali. Le variazioni riscontrate sono state messe in relazione con quelle che si realizzano nelle rispettive vulcaniti. Si sono constatati i seguenti schemi di correlazione diretta:

- a) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - (\text{CaO} + \text{MgO})$ vulcanite $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} - \text{MgO}$ pirosseno;
 b) $\text{TiO}_2 + \text{FeO}_{\text{tot}} + \text{MgO} + \text{CaO} - (\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ vulcanite $\rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{SiO}_2 + \text{FeO})$ pirosseno.

Questi risultati sono in accordo con le tendenze evolutive note per i magmi dell'Etna e chiariscono gli schemi di variazione cristallogchimica che si verificano nei pirosseni etnei.

ABSTRACT. — The crystallochemical variations of 30 pyroxenes of Mt. Etna have been studied using the method of principal components. The obtained variations have been related to the petrological characters of the host rocks. The following interdependences have been obtained:

- a) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - (\text{CaO} + \text{MgO})$ host rock $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} - \text{MgO}$ pyroxene;
 b) $\text{TiO}_2 + \text{FeO}_{\text{tot}} + \text{MgO} + \text{CaO} - (\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ host rock $\rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{SiO}_2 + \text{FeO})$ pyroxene.

These results agree with the trends of differentiation in the Mt. Etna's magmas and explain the significance of the crystallochemical variations in the corresponding pyroxenes.

Introduzione

Il procedere delle indagini petrologiche sulle vulcaniti dell'Etna ha messo in evidenza che i diversi e più o meno complessi meccanismi di differenziazione dei magmi etnei sono sempre in larga misura connessi alla cristallizzazione frazionata con separazione di fasi a segregazione precoce (Lo GIUDICE, 1971; Lo GIUDICE et al., 1975 a). Questi fatti inducono, per una migliore e più corretta interpretazione delle fenomenologie petrologiche, ad un attento esame delle fasi minerali, presenti nelle vulcaniti etnee, che di fatto giuocano un ruolo determinante nelle variazioni petrochimiche delle vulcaniti stesse.

Nell'ambito di questa problematica, essendo il pirosseno una fase a composizione complessa sempre coinvolta nei processi di differenziazione che provocano

* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Catania.

** Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R.

l'evoluzione dei magmi etnei, si è ritenuto opportuno indagare sui tipi di variazioni cristallochimiche presenti in tali minerali, sulle possibili correlazioni fra le diverse variazioni e sulla loro genesi.

TABELLA 1
Analisi chimiche di pirosseni etnei

N°	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O
1	51.13	1.06	3.72	3.11	4.96	13.41	21.13	0.91
2	51.73	1.14	4.32	2.94	4.93	13.35	21.21	0.91
3	50.88	1.63	3.44	3.06	5.28	13.14	21.20	0.83
4	48.04	2.38	4.84	5.14	3.98	13.17	22.46	0.49
5	47.48	1.61	4.40	4.84	4.40	13.66	22.30	0.65
6	47.83	2.38	3.95	4.43	4.41	13.56	21.98	0.31
7	48.20	1.26	3.06	4.71	4.67	15.37	21.43	0.46
8	51.52	0.45	3.09	4.62	2.54	15.75	22.00	0.47
9	48.44	1.26	5.04	4.84	4.93	13.70	20.95	0.61
10	47.56	1.75	5.42	4.74	4.29	13.93	22.02	0.55
11	49.00	1.26	2.93	4.67	4.98	16.03	21.17	0.42
12	48.80	2.20	4.88	4.80	4.91	12.93	20.82	0.77
13	51.12	1.19	1.91	5.17	4.75	15.17	20.62	0.52
14	49.00	1.66	4.50	4.18	4.60	13.50	21.20	1.00
15	51.81	0.44	3.86	1.30	3.10	16.84	22.43	0.54
16	48.21	1.34	6.58	3.81	3.68	14.46	21.24	0.63
17	48.55	1.28	5.65	3.52	3.28	15.46	21.90	0.62
18	48.33	1.12	5.00	4.68	3.52	13.60	21.73	1.52
19	48.16	1.15	6.47	3.32	3.53	15.21	21.03	0.75
20	48.52	0.94	4.86	4.81	4.37	14.92	21.32	0.41
21	51.08	0.70	2.66	4.59	3.98	14.79	21.83	0.47
22	46.40	1.56	5.86	4.62	3.25	13.72	22.75	0.44
23	48.08	1.31	4.89	4.66	4.26	13.78	21.85	0.74
24	47.89	2.02	3.55	4.17	5.98	13.40	21.49	0.70
25	48.01	1.86	3.08	5.47	5.76	12.83	21.17	0.76
26	49.38	1.61	4.21	5.05	5.14	13.32	21.09	0.72
27	48.21	1.52	4.53	4.60	5.11	13.45	21.34	0.85
28	48.39	1.08	5.43	4.22	3.67	14.50	21.75	0.79
29	49.10	1.67	5.70	4.09	4.03	12.98	22.20	0.45
30	49.64	0.79	5.30	2.63	3.51	16.65	20.81	0.64
\bar{X}	49.02	1.39	4.44	4.23	4.31	14.22	21.55	0.66
σ	1.41	0.48	1.13	0.89	0.80	1.12	0.54	0.23

KLERKX (1968) an. 4-13 e 20-23; LO GIUDICE (1970) an. 1-3; LO GIUDICE e RITTMANN (1975) an. 19 e 30; LO GIUDICE (an. inedite) an. 18 e 29; SPADEA (1972) an. 15-17; TANGUY (1966) an. 14 e 24-28.

Tale indagine risulta indispensabile per fornire dati utili alla comprensione dei meccanismi evolutivi già individuati per le vulcaniti etnee e viene imposta dall'estrema delicatezza del problema della sottrazione di fasi pirosseniche, poichè la complessità composizionale di detta fase potrebbe influenzare in modo sostanziale l'evoluzione dei magmi etnei.

Analisi delle correlazioni fra le variabili chimiche dei pirosseni dell'Etna

In tabella 1 sono riportate le analisi di n.° 30 pirosseni etnei che costituiscono i dati utilizzati nel presente lavoro per l'elaborazione statistica tendente ad eviden-

ziare le più interessanti correlazioni tra le variazioni chimiche e il loro significato cristallografico.

Come si è avuto modo di prospettare in precedenti lavori (ATZORI et al., 1973; LO GIUDICE, 1973) un metodo valido per porre chiaramente in evidenza le relazioni di variabilità tra diverse variabili è quello delle *componenti principali*. Anche in

TABELLA 2

	I C.P.	II C.P.	III C.P.	IV C.P.	h^2	R^2
SiO ₂	-0.546	-0.737	0.051	-0.252	0.907	0.891
TiO ₂	0.884	0.165	-0.058	0.009	0.812	0.775
Al ₂ O ₃	-0.085	0.912	-0.172	-0.235	0.924	0.879
Fe ₂ O ₃	0.681	0.062	0.150	0.433	0.678	0.801
FeO	0.671	-0.358	0.530	-0.084	0.876	0.891
MgO	-0.856	-0.011	0.083	0.424	0.920	0.897
CaO	0.046	0.124	-0.958	0.161	0.961	0.786
Na ₂ O	0.068	0.095	0.218	-0.872	0.822	0.567
%	34.3	19.5	16.4	16.0		

questo caso si ritiene utile adoperare tale metodologia di elaborazione dei dati per le sue caratteristiche specifiche (LO GIUDICE, 1973).

L'analisi della varianza del chimismo dei pirosseni è stata eseguita estraendo successivamente le prime 4, 3 e 2 componenti principali. I vettori dei fattori di ciascuna componente per i tre casi indicati, unitamente alle proporzioni di varianza

TABELLA 3

	I C.P.	II C.P.	III C.P.	h^2	R^2
SiO ₂	-0.697	-0.535	-0.113	0.786	0.891
TiO ₂	0.892	0.058	-0.027	0.799	0.775
Al ₂ O ₃	0.064	0.873	-0.288	0.848	0.879
Fe ₂ O ₃	0.725	-0.161	0.301	0.642	0.801
FeO	0.605	-0.661	-0.248	0.864	0.891
MgO	-0.792	0.007	0.386	0.777	0.897
CaO	0.033	0.614	0.495	0.623	0.786
Na ₂ O	0.013	0.035	-0.894	0.800	0.567
%	35.1	23.7	18.0		

estratta da ciascuna componente (%) e alla «*communality*» (h^2) e ai quadrati dei coefficienti di correlazione multipla (R^2) di ciascun ossido sono riportati nelle tabelle 2, 3 e 4. Si rileva che il significato della 1^a C.P. (TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO — (SiO₂ + MgO)) rimane costantemente invariato; analogamente invariato è il carattere di indipendenza delle variazioni di Na₂O rispetto alle variazioni degli altri ossidi (3 o 4 C.P. estratte) espresso dalla ultima e meno «*importante*» delle

componenti. Infine qualora si estraggano le prime 2 o 3 C.P., la 2^a di esse in entrambi i casi esprime le correlazioni $Al_2O_3 + CaO - (SiO_2 + FeO)$ che viceversa si scindono in $Al_2O_3 - SiO_2$ (2^a C.P.) e $FeO - CaO$ (3^a C.P.) qualora si estraggano 4 componenti.

Queste osservazioni consentono di poter esprimere compiutamente le variazioni cristallografiche dei pirosseni etnei soltanto mediante le prime due componenti principali, anche se la « *communality* » da loro espressa risulta priva di significato per quanto riguarda Na_2O , dato che tale ossido manifesta costantemente le proprie variazioni non specificamente correlate a quelle di altri ossidi.

Esaminando adesso in dettaglio le prime due componenti principali si nota che la prima di esse risulta fortemente correlata alle variazioni di TiO_2 , Fe_2O_3 e MgO e la seconda a quella di Al_2O_3 e CaO ; inoltre le stesse componenti prin-

TABELLA 4

	I C.P.	II C.P.	h^2	R^2
SiO_2	-0.727	-0.508	0.786	0.891
TiO_2	0.892	0.002	0.795	0.775
Al_2O_3	0.167	0.718	0.543	0.879
Fe_2O_3	0.676	-0.083	0.463	0.801
FeO	0.567	-0.734	0.860	0.891
MgO	-0.823	0.176	0.708	0.897
CaO	0.037	0.744	0.554	0.786
Na_2O	0.104	-0.273	0.085	0.567
%	35.2	24.7		

cipali si ripartiscono, circa con uguale peso, la varianza di SiO_2 e FeO che risultano correlati positivamente nella 2^a C.P. e negativamente nella 1^a.

È inoltre interessante notare che, in accordo con la tendenza del metodo di elaborazione statistica a fornire delle nuove variabili (C.P.) il meno possibile correlate fra loro, le due componenti estratte presentano un bassissimo e quasi nullo coefficiente di correlazione ($r = -0,025$). Ciò indica che *le variazioni nel chimismo dei pirosseni dell'Etna si realizzano realmente secondo degli andamenti preferenziali fra loro non connessi*; indipendentemente dal significato che ciascuna di tali variazioni di per se stessa assume, quanto sopra pone il problema della ricerca delle cause che inducono le variazioni stesse e che dovranno essere, come gli effetti prodotti, tra loro distinte e non correlate.

Le variazioni espresse dalla 1^a C.P. ($TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO - (SiO_2 + MgO)$) indicano lo svilupparsi della sostituzione di (Ti, Fe^{III}) a Mg nei termini pirossenici più poveri in SiO_2 (cioè l'ingresso delle molecole $CaTiAl_2O_6$ e $CaFe^{III}AlSiO_6$)

con il contemporaneo vicariarsi di Fe" a Mg e incremento della molecola acmitica in soluzione solida nei pirosseni etnei.

Le variazioni espresse dalla 2^a C.P. ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$) — ($\text{SiO}_2 + \text{FeO}$) invece individuano l'incremento della molecola di Tschermak in soluzione solida nei pirosseni etnei meno ferriferi.

Come accennato in precedenza le variazioni cristallografiche sopra espresse non risultano fra loro correlate e sono da ritenere indotte da cause esterne pure non correlate. Poichè il pirosseno all'atto della sua formazione era in equilibrio con il fuso magmatico da cui ha tratto origine la vulcanite che lo contiene, è da ritenere che le variazioni nel chimismo dei pirosseni siano in qualche modo legate alle variazioni petrochimiche riscontrabili nelle lave che li ospitano. Sulla base di quanto sopra per ritrovare delle valide spiegazioni alle variazioni cristallografiche dei pirosseni, espresse dalle componenti principali, occorre ricercare un metodo di elaborazione dei dati che consenta la correlazione fra le variazioni del chimismo dei pirosseni e quelle delle vulcaniti che li contengono. Un metodo di elaborazione statistica che porta ai risultati che ci siamo prefissi è quello della « *correlazione canonica* ».

Analisi delle correlazioni fra chimismo dei pirosseni e chimismo delle vulcaniti che li ospitano

Lo studio delle correlazioni esistenti fra diverse serie di dati, rappresentabili da misure distinte su differenti variabili, viene solitamente eseguito mediante l'esame delle correlazioni esistenti fra coppie di variabili omologhe o non omologhe delle due serie di dati. Questa metodologia risulta valida allorchè la variabilità di ciascuna variabile (misurata dalla varianza) è sufficientemente ampia e non influenzata in misura significativa dalla variabilità di altre variabili cioè qualora non esistano delle correlazioni all'interno delle variabili che definiscono ciascuna delle serie di dati da correlare. Qualora invece esistano delle correlazioni all'interno delle variabili, come nel nostro caso, lo studio attento ed accurato dei possibili legami tra le diverse variabili oltre a risultare notevolmente dispersivo può condurre spesso ad errori di interpretazione legati sia alla presenza di correlazioni « spurie » sia alla non identificazione delle correlazioni latenti. È ovvio che in tali condizioni un metodo di approccio al problema può consistere nell'esame delle correlazioni esistenti tra le due serie di dati riportando ciascuna serie ad un vettore variabile normalizzato (z_{11} e z_{21}) definito da più variabili; tale approccio viene realizzato mediante il metodo della « *correlazione canonica* » che fornisce le funzioni lineari, massimamente correlate, dei vettori variabili rappresentanti le due serie di dati (v. COOLEY e LOHNES, 1971, per i dettagli sui procedimenti analitici). Per descrivere in modo completo le correlazioni esistenti fra i vettori z_{11} e z_{21} è tuttavia opportuno indagare sull'esistenza e consistenza di altre coppie di funzioni lineari che, come le precedenti fra loro massimamente correlate ed esprimenti correlazioni via via decrescenti rispetto alla prima coppia, siano soggette alla limitazione di non essere corre-

TABELLA 5
Analisi di vulcaniti dell'Etna

N°	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO [*] _{tot}	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1	53.70	1.25	17.74	7.35	3.75	7.23	5.07	2.28
2	51.63	1.36	18.86	7.40	4.57	7.98	4.75	1.86
3	48.10	1.37	18.15	10.64	4.87	9.95	4.06	1.48
4	46.13	1.79	17.40	10.30	4.52	9.55	4.70	1.88
5	45.67	1.57	17.84	9.12	4.14	9.11	3.58	1.78
6	47.51	1.60	18.22	10.28	4.76	9.68	4.51	1.46
7	54.65	0.90	19.60	6.34	2.85	6.94	5.24	2.28
8	48.92	1.32	17.52	9.50	4.57	8.89	5.19	1.98
10	46.32	1.44	17.46	10.14	5.66	8.45	4.97	1.88
11	53.29	1.01	17.33	6.88	4.01	7.75	4.37	2.03
12	51.14	1.32	17.94	7.10	3.40	8.80	4.97	2.12
13	57.24	1.49	16.95	6.53	2.62	5.19	5.40	2.66
14	47.88	1.88	17.57	9.76	4.54	10.99	4.10	1.65
15	47.84	1.48	16.46	9.22	7.94	12.41	2.97	0.59
17	46.12	2.08	15.05	11.53	8.16	12.60	2.96	0.70
18	48.00	1.51	17.33	9.59	5.84	9.53	4.60	1.84
19	49.55	1.42	18.22	8.41	5.52	9.66	4.39	1.15

$$* \text{FeO}_{\text{tot}} = \text{FeO} + 0.9 \text{Fe}_2\text{O}_3$$

La numerazione delle analisi di ciascuna vulcanite corrisponde a quella del pirosseno, in essa contenuto, il cui chimismo è riportato in tabella 1. Per i riferimenti bibliografici vedi Tabella 1.

TABELLA 6

Var.Canon.	R	r ²	χ ²	g.d.l.	%
I	0.9866	0.973	89.40	64	98.0
II	0.9738	0.948	54.97	49	74.1
III	0.8093	0.655	26.84	36	13.4
IV	0.7733	0.598	16.73	25	10.9
V	0.6533	0.427	8.08	16	5.4
VI	0.4422	0.196	2.79	9	2.8
VII	0.2703	0.073	0.72	4	5.1
VIII	0.0175	0.000	0.00	1	0.0

late ad altre coppie di funzioni lineari. In altri termini, indicati con z_{11} e z_{21} i due vettori variabili che si vogliono correlare, si tratta di definire:

a) due nuove variabili x e y (variabili canoniche), i cui valori sono definiti dalle relazioni:

$$x_i = c'z_{11} \quad \text{e} \quad y_i = d'z_{21}$$

(in cui c e d sono i vettori dei fattori dei coefficienti) in modo tale che x e y risultino massimamente correlati;

b) definire successivamente tutte le serie di coppie di variabili x_k e y_k i cui valori sono definiti dalle relazioni:

$$x_{ki} = c'_k z_{11} \quad \text{e} \quad y_{ki} = d'_k z_{21}$$

(in cui c_k e d_k sono i diversi vettori dei fattori dei coefficienti) in modo che per ogni valore di k si realizzi la massima correlazione fra x_k e y_k e l'assenza di correlazione fra valori di k fra loro differenti.

Per conoscere ora il reale significato delle nuove variabili canoniche occorre vedere in che misura esse risultano correlate alle vecchie variabili costituenti i vettori z_1 e z_2 e quindi quali delle vecchie variabili contribuiscono con maggior « peso » a rendere correlate le variabili canoniche. Ciò è possibile per ciascuna

TABELLA 7

Vettori delle due variabili canoniche e dei coefficienti di correlazione relativi per i pirosseni ($c_1 - c_2 - S_{11} - S_{12}$) e per le vulcaniti ($d_1 - d_2 - S_{21} - S_{22}$)

	c_1	c_2	S_{11}	S_{12}
SiO ₂	0.530	0.660	-0.079	-0.408
TiO ₂	-0.437	-0.036	0.216	0.130
Al ₂ O ₃	0.193	1.166	-0.450	0.710
Fe ₂ O ₃	1.047	0.586	0.603	-0.052
FeO	1.028	0.463	0.442	-0.529
MgO	0.037	0.244	-0.447	-0.211
CaO	0.932	1.020	0.070	0.683
Na ₂ O	0.418	0.302	0.212	0.253
	d_1	d_2	S_{21}	S_{22}
SiO ₂	-0.175	-1.457	0.113	-0.865
TiO ₂	-0.130	0.314	-0.175	0.536
Al ₂ O ₃	0.339	0.208	0.292	-0.341
FeO _{tot}	0.425	-0.876	-0.129	0.669
MgO	0.862	1.391	-0.617	0.616
CaO	0.098	-0.193	-0.557	0.643
Na ₂ O	-1.171	0.106	0.518	-0.416
K ₂ O	2.811	0.972	0.764	-0.474

delle nuove variabili eseguendo i prodotti $R_{11} c_k$ e $R_{22} d_k$ e per tutte le k nuove variabili costruendo le matrici $S_1 = R_{11} C$ e $S_2 = R_{22} D$ (dove C e D sono le matrici dei coefficienti di tutte le k nuove variabili canoniche e R_{11} e R_{22} sono le matrici di correlazione rispettivamente delle variabili originarie dei vettori z_1 e z_2).

L'elaborazione statistica dei dati con il metodo della correlazione canonica è stata qui applicata assumendo come vettori variabili z_{11} e z_{21} rispettivamente il chimismo dei pirosseni e delle lave che li ospitano.

In tabella 5 sono riportate le analisi di 17 vulcaniti etnee utilizzate, di cui era anche disponibile l'analisi del relativo pirosseno (le analisi n.° 8 e 15 sono state abbinate alle due analisi di pirosseno 8-9 e 15-16 rispettivamente disponibili per lo stesso campione e relative al nucleo e periferia di pirosseni zonati).

In tabella 6 sono riportati, per la serie completa delle possibili variabili canoniche, i coefficienti di correlazione canonica, i coefficienti di correlazione fra le variabili canoniche, i valori del test χ^2 per la significatività dei coefficienti di correlazione canonica, il numero di gradi di libertà ed infine le soglie di attendibilità

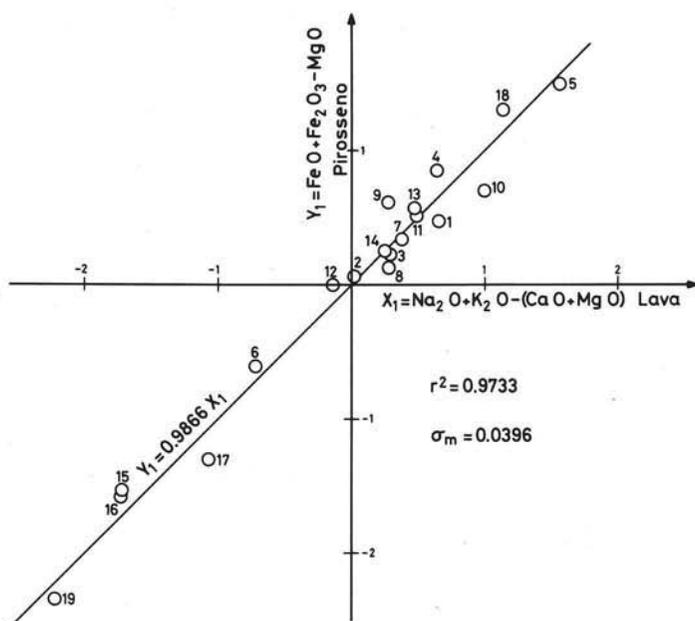


Fig. 1. — Posizione delle coppie pirosseno-lava nel piano definito dalla prima coppia di variabili canoniche.

per ciascun coefficiente di correlazione canonica. Dalla tabella 6 risulta che solo le prime due variabili canoniche si possono prendere in considerazione e che la seconda di esse è al limite di accettabilità per gli scopi che ci siamo prefissi.

Nella tabella 7 sono riportati i valori delle due variabili canoniche e i coefficienti di correlazione fra le stesse e gli ossidi originari sia per i pirosseni che per le relative vulcaniti. L'esame della tabella 7 mette in evidenza quanto segue:

- la prima coppia di variabili canoniche $x_1 y_1$ ($x_{11} = c'_1 z_{11}$ e $y_{11} = d'_1 z_{21}$) esprime rispettivamente le variazioni: $x_1 = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - (\text{CaO} + \text{MgO})$ delle vulcaniti e $y_1 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} - \text{MgO}$ dei pirosseni;
- la seconda coppia di variabili canoniche $x_2 y_2$ ($x_{21} = c'_2 z_{11}$ e $y_{21} = d'_2 z_{21}$) esprime rispettivamente le variazioni: $x_2 = \text{TiO}_2 + \text{FeO}_{\text{tot}} + \text{MgO} + \text{CaO} -$

— ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) delle vulcaniti e $y_2 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - (\text{SiO}_2 + \text{FeO})$ dei pirosseni.

Nelle figure 1 e 2 sono riportate le proiezioni dei valori x_{11}/y_{11} e x_{21}/y_{21} nei diagrammi x_1/y_1 e x_2/y_2 delle variabili canoniche. Si nota l'ottima correlazione esistente in entrambi i casi.

L'interpretazione petrologica dei risultati ottenuti mediante l'elaborazione statistica presentata e delle figure 1 e 2 è la seguente:

a) l'aumento del contenuto in alcali accompagnato dalla diminuzione dei tenori in CaO e MgO nelle vulcaniti (prima coppia di variabili canoniche), legato all'in-

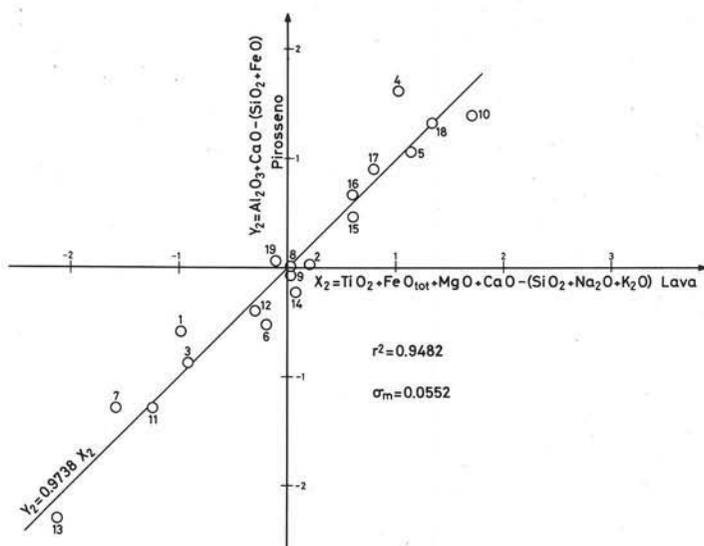


Fig. 2. — Posizione delle coppie pirosseno-lava nel piano definito dalla seconda coppia di variabili canoniche.

staurarsi nelle stesse di una tendenza di differenziazione del tipo *alcalibasalti-tefriti fonolitiche* (Lo GIUDICE, 1971), si manifesta nel pirosseno con l'arricchimento in Fe_2O_3 e FeO e l'impoverimento in MgO. In altri termini l'arricchimento in ferro nei magmi, differenziati legato alla diminuzione relativa del contenuto in magnesio determina una evoluzione del pirosseno sia verso termini acmitici che verso termini più feriferi;

b) l'aumento del contenuto in alcali ed in silice accompagnato dalla diminuzione dei tenori in TiO_2 , FeO_{tot} , MgO e CaO nelle vulcaniti (seconda coppia di variabili canoniche), legato all'instaurarsi nelle stesse di una tendenza di differenziazione del tipo *alcalibasalti - hawaiiiti - mugariti - trachiti* (Lo GIUDICE, 1971; Lo GIUDICE et al., 1975 a) si manifesta nel pirosseno con l'arricchimento

in silice e FeO e l'impoverimento in calcio ed alluminio; ciò equivale a dire che nel pirosseno viene indotta una evoluzione verso termini più feriferi e via via impoveriti nella molecola di Tschermak.

Conclusioni

Le recenti indagini petrologiche condotte sulle vulcaniti etnee hanno messo in evidenza che i meccanismi evolutivi dei magmi dell'Etna si esplicano in larga misura attraverso il fenomeno della cristallizzazione frazionata cui partecipa, costantemente come fase importante, il pirosseno (Lo GIUDICE, 1973). In base a ciò si è ritenuto opportuno e necessario analizzare la variabilità dei caratteri cristallografici dei pirosseni delle vulcaniti etnee ed indagare sugli eventuali rapporti di causalità esistenti tra le variazioni del chimismo globale degli stessi e quello delle vulcaniti che li contengono.

Le variabilità cristallografiche riscontrate nei pirosseni sono inquadrabili nei due seguenti e non correlati schemi:

- a) $TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO - (SiO_2 + MgO)$;
 b) $Al_2O_3 + CaO - (SiO_2 + FeO)$.

Per quanto riguarda le interconnessioni tra chimismo delle vulcaniti e chimismo dei pirosseni si sono riconosciute le correlazioni positive seguenti:

- a) $Na_2O + K_2O - (CaO + MgO)$ vulcanite $\rightarrow Fe_2O_3 + FeO - MgO$ pirosseno;
 b) $TiO_2 + FeO_{tot} + MgO + CaO - (SiO_2 + Na_2O + K_2O)$ vulcanite $\rightarrow Al_2O_3 + CaO - (SiO_2 + FeO)$ pirosseno.

L'esame comparato dei risultati ottenuti mediante l'elaborazione statistica mette in evidenza che la seconda componente principale e la seconda variabile canonica, entrambe relative ai pirosseni, sono uguali, mentre la prima componente principale e la prima variabile canonica sovrapponendosi parzialmente assumono analogo significato. Più precisamente l'incremento del contenuto in acmite e l'arricchimento in Fe'' (prima componente principale e prima variabile canonica dei pirosseni) sono accompagnati dal vicinarsi di Ti e Fe''' a Mg nei termini più poveri in SiO_2 (prima componente principale).

Per quanto riguarda il significato globale delle due variabili canoniche relative alle vulcaniti, constatato che esso coincide con il significato complessivo delle componenti principali delle vulcaniti etnee già studiate da Lo GIUDICE (1973), si può affermare che la scissione delle due variabili canoniche corrisponde ai motivi petrologico-evolutivi dominanti già riconosciuti per le vulcaniti etnee. Tali meccanismi d'evoluzione (Lo GIUDICE, 1971; Lo GIUDICE et al., 1975 a) consistono sostanzialmente nella cristallizzazione frazionata con « asporto » più o meno marcato di alcali (*alcalibasalti - hawaiiiti - mugeariti - trachiti*) o nella cristallizzazione frazionata senza o con debole apporto di alcali (*alcalibasalti - tefriti fonolitiche*). La prima

variabile canonica delle vulcaniti esprime chiaramente la serie evolutiva alcali-basalti - tefriti fonolitiche, legata alla sottrazione di Ca-plagioclasti più fasi femiche con conseguente arricchimento passivo in alcali; la seconda variabile canonica esprime la tendenza alcalibasalti - trachiti mediante la sottrazione di Ca-plagioclasti e fasi femiche accompagnata da « asporto » di alcali che mitiga il loro generale arricchimento passivo e favorisce il contemporaneo aumento del contenuto in SiO_2 (Lo GIUDICE, 1971). Queste osservazioni rendono conto a posteriori dell'assenza di correlazioni fra le componenti principali dei pirosseni: infatti queste, accordandosi con le due variabili canoniche, esprimono le variazioni cristallogchimiche indotte in tali minerali dai due suddetti processi petrogenetici distinti e non correlati.

È infine il caso di sottolineare che le variazioni compositive che si realizzano nei pirosseni zonati sembrano ancora compatibili con il chimismo complessivo della vulcanite in cui si rinvencono, come indicato (fig. 1 e 2) dalla prossimità dei punti rappresentativi delle coppie pirosseno-roccia di due « campioni » qui considerati (camp. n.° 8-9 e 15-16).

BIBLIOGRAFIA

- ATZORI P., LO GIUDICE A., PEZZINO A., RITTMANN L. (1973) - *Analisi fattoriale della correlazione fra le variabili chimiche di biotiti di diversi ambienti genetici*. Riv. Min. Sic., CXLII-CXLIV, 171-190.
- COOLEY W. W., LOHNS P. R. (1971) - *Multivariate data analysis*. Wiley and Sons Inc., New York.
- KLERKX J. (1968) - *Etude géologique et pétrologique de la Valle del Bove (Etna)*. Thèse. Université de Liège.
- LO GIUDICE A. (1970) - *Caratteri petrografici e petrochimici delle lave del Complesso di Vavalaci (Etna)*. Rend. S.I.M.P., 26, 687-732.
- LO GIUDICE A. (1971) - *La differenziazione magmatica nelle lave del Complesso di Vavalaci (Etna)*. Per. Min., 40, 241-259.
- LO GIUDICE A. (1973) - *Variazioni e discriminazioni petrochimiche entro e fra le lave dell'Etna*. Min. e Petr. Acta, 19, 3-42.
- LO GIUDICE A., ROMANO R., STURIALE C. (1975 a) - *Geologia e petrologia delle vulcaniti della parete occidentale della Valle del Bove (Etna)*. Rend. S.I.M.P., 30, 801-838.
- LO GIUDICE A., RITTMANN L. (1975 b) - *Su alcune accumuliti etnee: aspetti mineralogici e genetici*. Riv. Min. Sic., CLI-CLIII, 20-36.
- SPADEA P. (1972) - *Alcalibasalti fra le lave antiche dell'Etna nell'area di Piedimonte Etneo (Etna, NE)*. Rend. S.I.M.P., 28, 297-338.
- STURIALE C. (1967) - *Le vulcaniti rinvenute in un pozzo trivellato presso Bronte (Etna)*. Atti Acc. Gioenia Sc. Nat. Catania, ser. 6, 40, 93-109.
- TANGUY J. C. (1966) - *Les laves récentes de l'Etna*. Bull. Soc. Géol. Franc., ser. 7, 8, 201-217.