

## RISULTATI SPERIMENTALI NEL SISTEMA DIOPSIDE-LEUCITE-ALBITE-ANORTITE

TOMMASO FAVALE, RAFFAELLO TRIGILA

Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, p.le Aldo Moro, 00185 Roma

**RIASSUNTO.** — Studi petrologici di dettaglio su alcuni complessi vulcanici della Regione Comagmatica Romana hanno messo in evidenza, all'origine comune delle serie *HK* e *LK*, alcuni litotipi con chimismo intermedio tra quello dei trachibasalti e delle tefriti leucitiche. È stato, pertanto, intrapreso lo studio sperimentale di un giunto del sistema Di-Lc-Ab-An nel quale sono rappresentati i litotipi suddetti. Le relazioni di fase sono state ricostruite proiettando sul triangolo Cpx-Lc-Pl i risultati sperimentali ottenuti a *Patm.* fra 1262° e 1185° C. Al di sotto dei 1230° C la comparsa di un volume tetrafase rappresentato dalla paragenesi Cpx+Lc+Pl+L mette in evidenza il carattere senario del sistema. La localizzazione fortemente asimmetrica di questo volume rispetto a quella del minimo ternario, dove si incontrano i campi primari di Di+L, Lc+L, Pl+L, e la composizione delle soluzioni solide di clinopirosseno e plagioclasio suggeriscono la generazione di liquidi più potassici all'interno del volume e più calcomagnesiaci in prossimità del minimo.

**ABSTRACT.** — Petrological investigations on the Roman Province volcanic complexes evidence trachy-basaltic-tephritic types as the common source of *HK* and *LK* fractionation series. For this reason the experimental study of the system Di-Lc-Ab-An, which represents the above compositions adequately, has been undertaken. The results of the experiments at atmospheric pressure show a volume, below 1230° C, where the assemblage Cpx+Lc+Pl+L indicates a six components behaviour of the system. At higher temperatures the primary fields of Cpx+L, Lc+L, Pl+L join and the system can be considered as ternary one. Phases relations geometry and the composition of Cpx and Pl solid solutions suggest the generation of more potassic liquids inside the four phases volume if compared with those produced in proximity of the piercing point.

### Introduzione

Non è un caso che a più di cinquant'anni dalla pubblicazione dell'opera di Bowen « The evolution of igneous rocks » la petrologia sperimentale dei sistemi sintetici non abbia dato contributi realmente decisivi alla soluzione del problema sull'origine ed evolu-

zione dei magmi potassici dell'Italia centrale. La grande varietà dei litotipi affioranti (WASHINGTON, 1906; TROGER, 1935) fra loro correlati in più serie di differenziazione (APPLETON, 1972) e la loro scarsa incidenza volumetrica nel panorama litologico mondiale (GUPTA, 1980) non hanno di fatto portato all'identificazione di un sistema sintetico globalmente rappresentativo, su cui approfondire le ricerche, come è avvenuto invece per quello basaltico, andesitico, kimberlitico, ecc.. Tuttavia, in tempi recenti o recentissimi, ricerche di dettaglio sulle serie di differenziazione di alcuni complessi dell'area circumtirrenica, effettuati tramite bilanci di massa e modelli di differenziazione quantitativa (CRESCENZI et al., 1983), hanno messo in evidenza all'origine delle *HKS* e *LKS* alcuni litotipi che di volta in volta sono stati classificati come trachibasalti o tefriti leucitiche. È questo il caso delle tefriti microfiriche legate all'attività intracalderica finale del complesso vulcanico di Latera, nei Vulcani Vulsini (BRAI et al., 1979) e di alcuni trachibasalti nella caldera di Montefiascone (DOLFI, 1982, com. pers.) sempre nei Vulcani Vulsini ed anche dei trachibasalti a leucite nel vulcano di Roccamonfina (CRESCENZI et al., 1983).

Queste osservazioni hanno stimolato la necessità dello studio sperimentale su un sistema sintetico che rappresentasse in modo semplificato i litotipi sopracitati. Tenendo conto delle fasi essenziali che li costituiscono, è stato pertanto individuato il giunto Di-Lc-Ab-An come porzione rappresentativa del più ampio sistema *CMASNK*.

In questo lavoro sono state esaminate le relazioni di fase, a pressione atmosferica, in un intorno termico compreso fra 1262° e

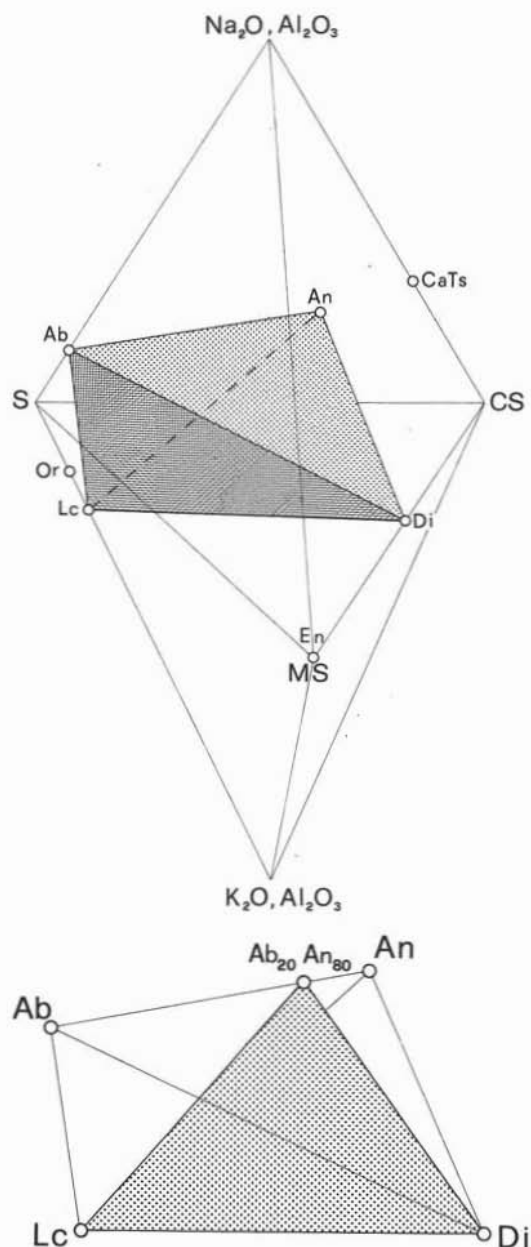


Fig. 1. — a) Chemografia su base molare del giunto Di-Lc-Ab-An all'interno di una porzione del sistema CMASNK. Per ottenere una rappresentazione del sistema senario in uno spazio a tre dimensioni sono stati accoppiati due tetraedri lungo il piano  $S(\text{SiO}_2)\text{-MS}(\text{MgSiO}_3)\text{-CS}(\text{CaSiO}_3)$ . Sui restanti vertici, cioè quelli non impegnati dal piano predetto, sono riportati  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , proiettando i due componenti da ciascun vertice (rispettivamente  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) per i quali il rapporto molare nelle fasi del sistema rimane costante. b) Localizzazione del giunto Di-Lc-Ab<sub>20</sub>An<sub>80</sub> all'interno del tetraedro Di-Lc-Ab-An.

1185° C. Esse costituiscono la base di partenza per ulteriori necessari approfondimenti alle condizioni termobariche tipiche dei processi di fusione parziale e di evoluzione magmatica in ambientazioni controllate da valori differenti di  $p\text{H}_2\text{O}$  e  $p\text{CO}_2$ .

### Studi precedenti

Una prima ricostruzione delle relazioni di fase nel sistema è già possibile sulla base delle conoscenze che riguardano i giunti di cui si compone. Come è noto, il giunto Di-Ab (SCHAIRER e YODER, 1960) non è binario a causa dell'incorporazione di Al nel pirosseno e di Ca nel plagioclasio, ma può essere espresso mediante cinque componenti:  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  (MORSE, 1980). Il giunto Di-Ab<sub>20</sub>An<sub>80</sub> è parte del sistema Di-Ab-An (BOWEN, 1915), che consideriamo pseudoternario a causa della composizione non stechiometrica del diopside che cristallizza sulla superficie del *liquidus*. Il pirosseno può contenere, infatti,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in quantità pari a 0,37-2,4 % in peso; se tutto l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  è presente nel clinopirosseno come molecola di Tschermak, la quantità della stessa varia tra 0,8 e 5,1 % (KUSHIRO, 1972). Probabilmente, però, tale soluzione solida è metastabile (CLARK et al., 1962). Ulteriori indagini hanno posto in evidenza che tale soluzione solida contiene un eccesso molare di Mg rispetto al Ca, indicando perciò che la sua composizione giace sul piano Di-En-Cats. Informazioni sul giunto Lc-Ab<sub>20</sub>An<sub>80</sub> si ricavano dallo studio del sistema Lc-Ab-An (GUPTA ed EDGAR, 1975) anche esso pseudoternario a causa della soluzione solida di albite nella leucite già in evidenza dalle relazioni di pseudoeutettico sul giunto Lc-Ab, dove leucite e feldspati coesistono con il liquido per un consistente intervallo di temperature. Sono inoltre da citare i risultati sperimentali sul sistema binario Lc-Di (BOWEN e SCHAIRER, 1929), il cui eutettico, di composizione  $\text{Lc}_{35}\text{-Di}_{65}$  è individuato alla temperatura di 1300° C. A completamento di questo quadro, consideriamo i risultati ottenuti sempre a pressione atmosferica sul sistema Lc-Di-An (GUPTA, 1980) pseudoternario per quanto considerato precedentemente. In esso a 1249° C viene localizzato un punto  $\text{Lc}_{22}\text{-Di}_{43}\text{-An}_{35}$ , in cui diopside, leucite ed anortite coesistono con il liquido la cui

TABELLA 1  
Composizione dei gels utilizzati per gli esperimenti

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Di <sub>20</sub>	Di <sub>10</sub>	Di <sub>30</sub>	Di <sub>20</sub>	Di <sub>10</sub>	Di <sub>30</sub>	Di <sub>20</sub>	Di <sub>50</sub>	Di <sub>40</sub>	Di <sub>40</sub>	Di <sub>10</sub>	Di <sub>30</sub>	Di <sub>20</sub>	Di <sub>40</sub>	Di <sub>30</sub>
	Lc <sub>60</sub>	Lc <sub>60</sub>	Lc <sub>50</sub>	Lc <sub>50</sub>	Lc <sub>50</sub>	Lc <sub>40</sub>	Lc <sub>40</sub>	Lc <sub>30</sub>	Lc <sub>30</sub>	Lc <sub>40</sub>	Lc <sub>40</sub>	Lc <sub>30</sub>	Lc <sub>30</sub>	Lc <sub>20</sub>	Lc <sub>20</sub>
	Pl <sub>20</sub>	Pl <sub>30</sub>	Pl <sub>20</sub>	Pl <sub>30</sub>	Pl <sub>40</sub>	Pl <sub>30</sub>	Pl <sub>40</sub>	Pl <sub>20</sub>	Pl <sub>30</sub>	Pl <sub>20</sub>	Pl <sub>50</sub>	Pl <sub>40</sub>	Pl <sub>50</sub>	Pl <sub>40</sub>	Pl <sub>50</sub>
SiO <sub>2</sub>	53.75	53.01	53.79	53.05	52.31	53.09	52.35	53.88	53.13	53.83	51.61	52.39	51.65	52.43	51.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.69	24.02	18.35	21.69	25.02	19.35	22.69	13.68	17.02	16.02	26.02	20.36	23.69	18.02	21.35
MgO	3.72	1.86	5.59	3.72	1.86	5.59	3.72	9.31	7.45	7.45	1.86	5.59	3.72	7.45	5.59
CaO	8.44	7.48	11.03	10.07	9.12	12.66	11.71	16.21	15.25	13.62	10.75	14.29	13.34	16.88	15.92
Na <sub>2</sub> O	0.45	0.68	0.45	0.68	0.90	0.68	0.90	0.45	0.68	0.45	1.13	0.90	1.13	0.90	1.13
K <sub>2</sub> O	12.95	12.95	10.79	10.79	10.79	8.63	8.63	6.47	6.47	8.63	8.63	6.47	6.47	4.32	4.32

composizione, a causa delle soluzioni solide sopra illustrate, giace fuori dal sistema stesso.

### Il sistema Di-Lc-Ab-An

Quanto esposto precedentemente porta alla conclusione che il sistema Di-Lc-Ab-An non è quaternario, ma almeno quinario risultando dalla composizione di giunti anche a cinque componenti.

Alla luce delle soluzioni solide che interessano le fasi in equilibrio con il fuso, una prima individuazione dei componenti può essere effettuata sulla base degli ossidi costituenti il sistema CMASNK. Un'opportuna combinazione degli stessi consente tuttavia di focalizzare meglio il tipo di componenti che riguardano la zona studiata del sistema. Non avendo pertanto interesse per le composizioni prossime ad MgO e CaO, scegliamo MgSiO<sub>3</sub> per rappresentare l'enstatite, il giunto CaSiO<sub>3</sub>-MgSiO<sub>3</sub> per individuare il diopside, il giunto CaSiO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> per rappresentare la molecola di Tschermak, il giunto ternario CaSiO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> per rappresentare l'anortite; l'albite si costruirà sul giunto Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> ed infine la leucite ed il K-feldspato sul giunto K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (fig. 1). Da rilevare che, benchè ciascuno di questi componenti venga usato più volte per la costruzione delle soluzioni solide che possono cristallizzare nel sistema, il numero dei componenti indipendenti (SiO<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, CaSiO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) risulta uguale a quello degli ossidi costituenti. La rappresentazione chemografica del sistema verrebbe di molto semplificata qualora si riuscisse a ridurre il numero dei componenti da sei a cinque. Ad esempio, qualora risultasse una soluzione solida di clinopirosseno priva di enstatite, i

componenti del sistema potrebbero essere espressi dalla combinazione di cinque « end members »: Di, Lc, Ab, An, SiO<sub>2</sub>. Il componente Tschermak verrebbe rappresentato sul giunto An-SiO<sub>2</sub> ed il K-feldspato su quello Lc-SiO<sub>2</sub>.

### Le composizioni sintetiche

Sulla base delle considerazioni sopra avanzate, sono state preparate quindici composizioni di cui dieci sono state utilizzate nel presente lavoro. Le composizioni espresse in ossidi sono riportate in tabella 1. In fig. 2 viene anche definita la loro caratterizzazione petrografica mediante il diagramma alcali-silice, nel quale compaiono i domini dei vari litotipi, come proposto da Cox et al. (1979). In numeri romani sono proiettate le stesse composizioni comprensive delle percentuali di Fe<sub>tot</sub>, ricavate sulla base dei valori tipici dell'elemento nei litotipi corrispondenti.

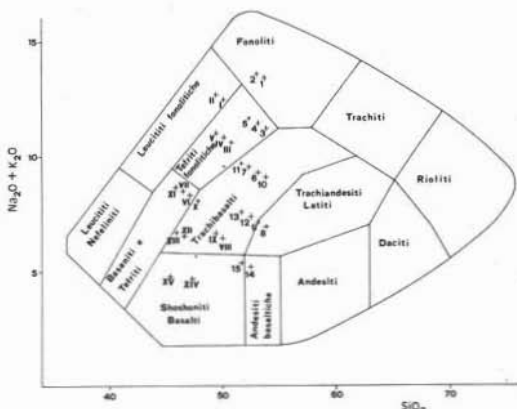


Fig. 2. — Rappresentazione delle composizioni dei « gels » sul diagramma alcali-silice e loro caratterizzazione petrografica secondo Cox et al. (1979).

TABELLA 2  
Risultati sperimentali

N°	COMPOSIZIONE	N° CORSA	T °C	DURATA h	PARAGENESI
6	Di <sub>30</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>30</sub>	4	1262	24	Lc + L
6	Di <sub>30</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>30</sub>	25	1240	53	Lc + L
6	Di <sub>30</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>30</sub>	3	1225	48	Cpx + Lc + Pl + L
6	Di <sub>30</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>30</sub>	44	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
7	Di <sub>20</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>40</sub>	2	1262	24	Lc + Pl + L
7	Di <sub>20</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>40</sub>	26	1240	53	Lc + Pl + L
7	Di <sub>20</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>40</sub>	1	1225	48	Cpx + Lc + Pl + L
7	Di <sub>20</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>40</sub>	45	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	6	1262	24	Cpx + Lc + L
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	27	1240	53	Cpx + Lc + L
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	5	1225	48	Cpx + Lc + L
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	51	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
9	Di <sub>40</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>30</sub>	8	1262	24	Lc + L
9	Di <sub>40</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>30</sub>	21	1240	53	Cpx + Lc + L
9	Di <sub>40</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>30</sub>	7	1225	48	Cpx + Lc + L
9	Di <sub>40</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>30</sub>	46	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
9	Di <sub>40</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>30</sub>	52	1185	264	Cpx + Lc + Pl + L
10	Di <sub>40</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>20</sub>	10	1262	24	Cpx + Lc + L
10	Di <sub>40</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>20</sub>	9	1225	48	Cpx + Lc + L
11	Di <sub>10</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>50</sub>	12	1262	24	Lc + Pl + L
11	Di <sub>10</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>50</sub>	11	1225	48	Lc + Pl + L
12	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>40</sub>	14	1262	24	Lc + L
12	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>40</sub>	22	1240	53	Lc + L
12	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>40</sub>	13	1225	48	Cpx + Lc + Pl + L
12	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>40</sub>	47	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
12	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>40</sub>	55	1185	264	Cpx + Lc + Pl + L
13	Di <sub>20</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>50</sub>	16	1262	24	Pl + L
13	Di <sub>20</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>50</sub>	28	1240	53	Lc + Pl + L
13	Di <sub>20</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>50</sub>	15	1225	48	Lc + Pl + L
13	Di <sub>20</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>50</sub>	50	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	18	1262	24	L
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	23	1240	53	L
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	17	1225	48	Cpx + Pl + L
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	48	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	58	1185	264	Cpx + Lc + Pl + L
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	20	1262	24	Pl + L
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	24	1240	53	Pl + L
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	19	1225	48	Cpx + Pl + L
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	49	1197	65	Cpx + Lc + Pl + L
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	61	1185	264	Cpx + Lc + Pl + L
3	Di <sub>30</sub> Lc <sub>50</sub> Pl <sub>20</sub>	69	1197	65	Cpx + Lc + L

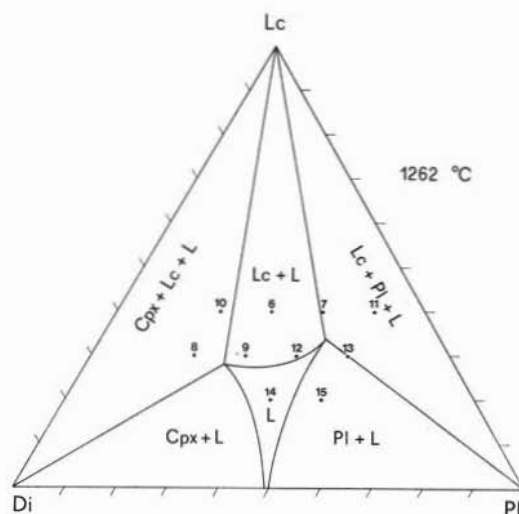


Fig. 3. — Isotherma a 1262°C. Relazione di fase.

### Risultati sperimentali

In tabella 2 vengono riportati i risultati significativi degli esperimenti di «quenching». Questi sono anche visualizzati nelle figg. 3, 4, 5, 6, 7, dove le relazioni di fase ottenute alle varie temperature sono proiettate sul piano Di-Lc-Pl ( $Ab_{20}An_{80}$ ). A 1262°C il campo di stabilità del liquido si estende dal settore centrale del diagramma fino allo pseudoeutettico sul giunto Di-Pl (fig. 3). A 1240°C (fig. 4), si riscontra, ovviamente, una riduzione dell'area in cui è stabile esclusivamente il fuso. Tale modificazione, più marcata in corrispondenza del giunto Di-Pl, sottolinea la minore pendenza delle falde bifase: Cpx+L e Pl+L. A 1225°C (fig. 5), la situazione è fortemente mutata: compare per la prima volta la paragenesi tetrafase: Cpx+Lc+Pl+L, il cui campo di stabilità, alla temperatura dell'esperimento, si dispone abbastanza simmetricamente nella porzione centrale del triangolo. Tale campo si sviluppa rapidamente a temperature di poco più basse (fig. 6) interessando tutte le composizioni studiate a 1185°C. In fig. 7 i risultati sopra illustrati vengono proiettati tridimensional-

### Metodologie

Come materiale di partenza sono stati utilizzati gels omogenei a base di Si, Al, Mg, Ca, Na, K, preparati secondo il metodo di BIGGAR e O'HARA (1969) e con le procedure descritte in dettaglio da FAVALE e TRIGILA (1982). Gli esperimenti sono stati condotti in una «quenching furnace» con resistenza in Kanthal A1. In ogni corsa i campioni sono stati sigillati in capsule di Pt. La misura della temperatura è stata effettuata con termocoppie Pt-Pt13%Rh calibrate sul punto di fusione dell'oro; la stabilità del sistema di controllo ha permesso un'accuratezza di  $\pm 2^\circ\text{C}$  intorno al valore fissato. Le fasi prodotte negli esperimenti sono state identificate sia per via ottica che diffrattometrica (1).

(1) Le analisi sono state effettuate con diffrattometro Philips mod. 1220 alle seguenti condizioni sperimentali: rad. CuK $\alpha$ ; 40 kv, 20 mA; filtro di Ni; vel. gon.  $\frac{1}{2}^\circ/\text{min.}$ ; scala  $2 \cdot 10^\circ$ ; costante di tempo 4; vel. carta  $5 \cdot 120 \text{ mm/h}$ ; standard interno silicio.

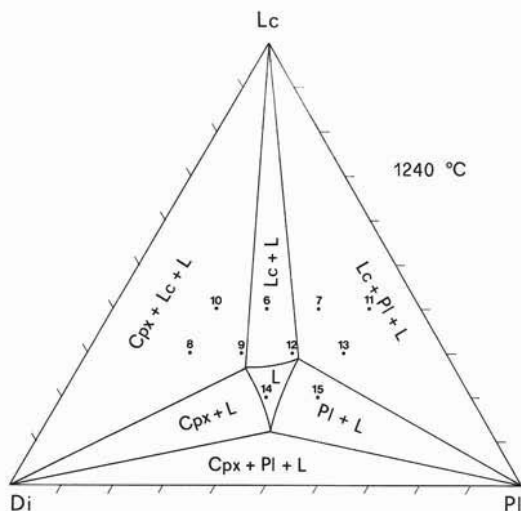


Fig. 4. — Isoterma a 1240° C. Relazioni di fase.

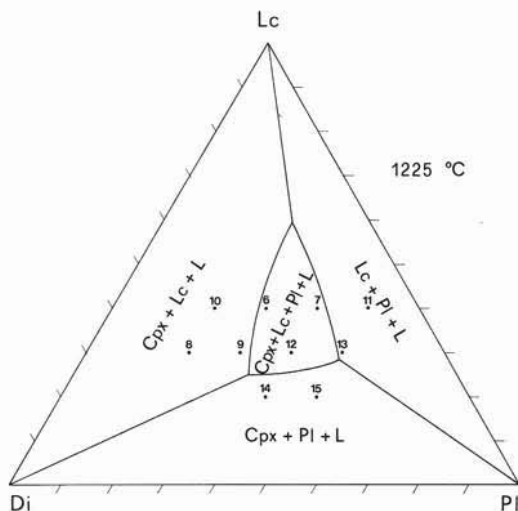


Fig. 5. — Isoterma a 1225° C. Relazioni di fase.

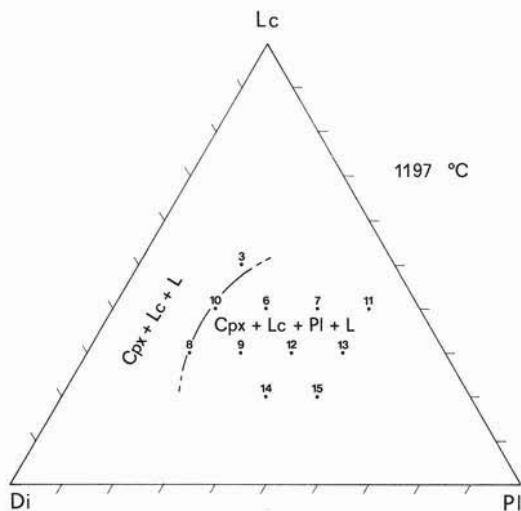


Fig. 6. — Isoterma a 1197° C. Relazioni di fase.

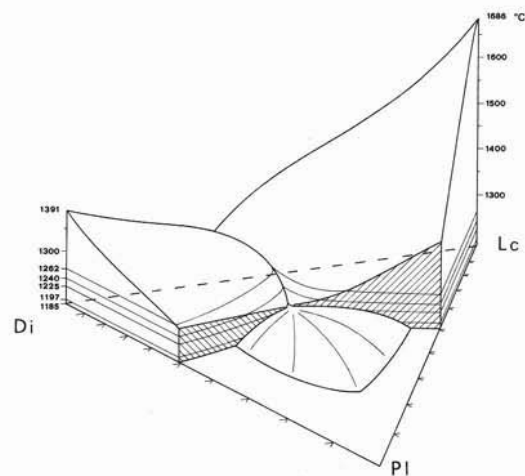


Fig. 7. — Stereogramma del sistema acui è stato asportato, per chiarezza, il settore in corrispondenza del campo primario del plagioclasio. Risalta in primo piano il volume tetrafase: Di+Lc+Pl+L del quale è possibile osservare la calotta superiore.

mente utilizzando l'asse verticale per la scala delle temperature. Risulta evidente che al di sopra dei 1225° C il sistema si comporta come ternario con tre falde bifase, separate da curve cotettiche trifase. Al di sotto di questa temperatura, compare il volume tetrafase, possibilmente collegato a quello del liquido tramite un « piercing point », ed il sistema, in accordo con la regola delle fasi, si comporta come senario. Proiettando sul piano Di-Lc-Pl la superficie monofase a 1240° C e quella tetrafase a 1225° C (fig. 8) si ottiene una disposizione molto asimmetrica delle due superfici. Tenendo conto dei

risultati sperimentali ottenuti alle altre temperature si forma una sorta di clessidra il cui asse, passante per il « piercing point » è debolmente inclinato rispetto al piano composizionale.

Anche se tali risultati sono da considerare preliminari, poichè costituiscono la base conoscitiva per l'impostazione degli esperimenti ad alta pressione, sono essi stessi fonte di interesse. Infatti i liquidi che si generano all'interno del volume tetrafase (ad es. per

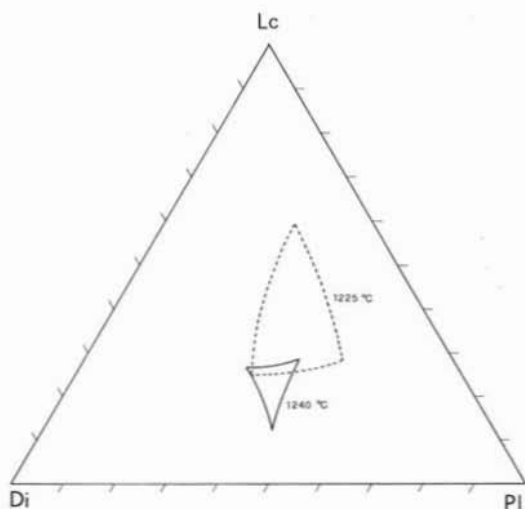


Fig. 8. — Proiezione sul piano delle composizioni del campo di stabilità del fuso a 1240°C e del volume tetrafase a 1225°C.

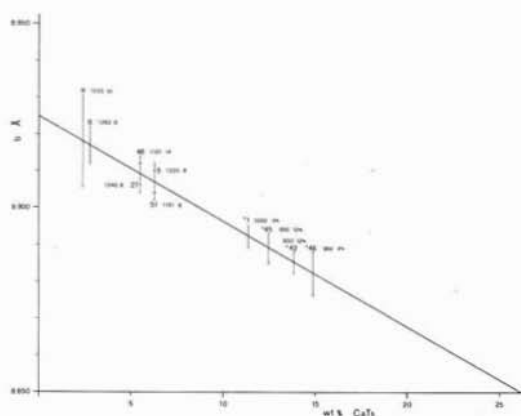


Fig. 9. — Percentuale di molecole di Tschermak nelle soluzioni solide di clinopirosseno. La lunghezza dei segmenti sulla curva esprime il grado di incertezza del dato diffrattometrico. I numeri accanto a questi ultimi si riferiscono alla temperatura sperimentale, al numero dell'esperimento ed al numero della composizione, rispettivamente.

un basso grado di fusione parziale di un materiale la cui composizione ricade nel sistema) possono risultare di chimismo assai differente rispetto a quello, presumibilmente più ricco in Ca ed Mg (fig. 8), che si origina in corrispondenza del « piercing point ».

Alcune indicazioni in questo senso vengono dall'analisi delle soluzioni solide di clinopirosseno e plagioclasio effettuate per via diffrattometrica e dalla determinazione dell'in-

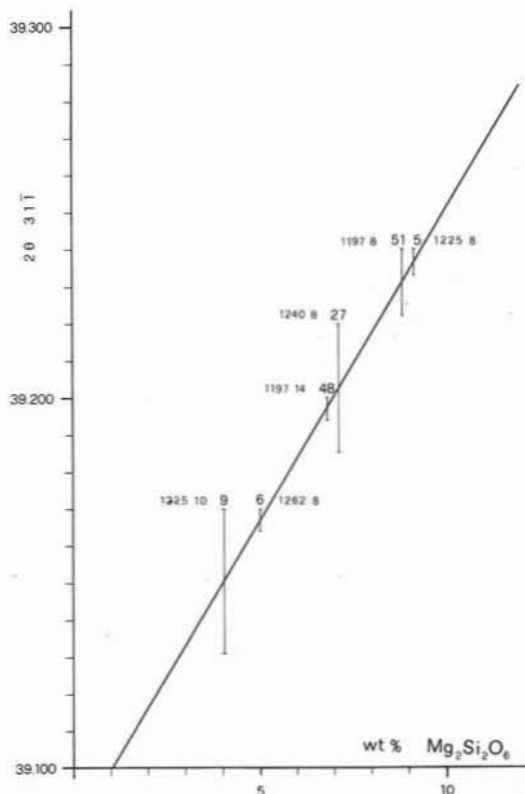


Fig. 10. — Percentuale di molecole enstatitiche nelle soluzioni solide di clinopirosseno. Per le spiegazioni vedi fig. 9.

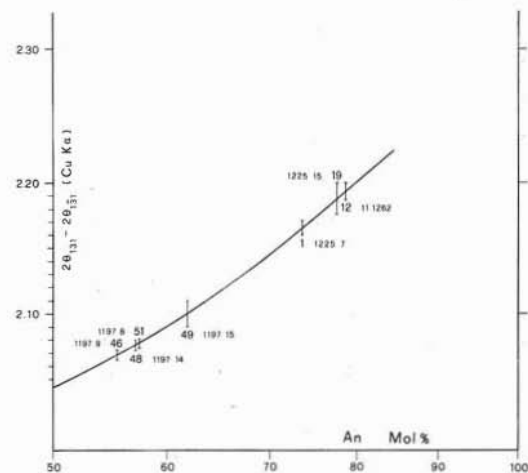


Fig. 11. — Percentuale di molecole anortitiche nelle soluzioni solide di plagioclasio. Per le spiegazioni vedi fig. 9.



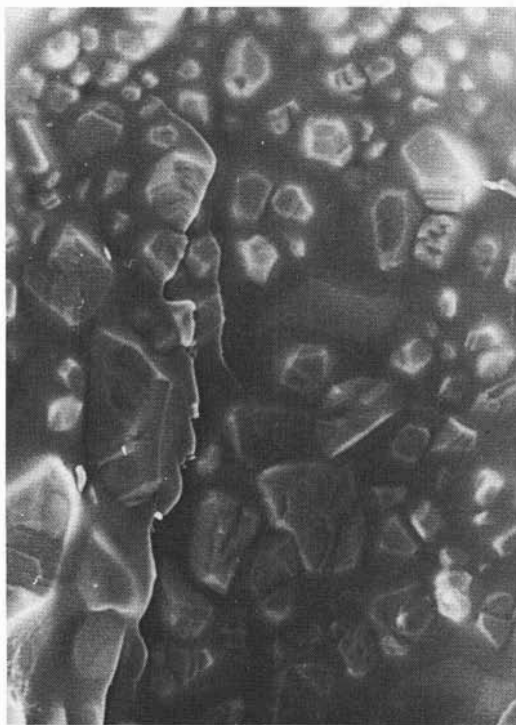


Fig. 12. — Fotografia al SEM della paragenesi Di+Lc+Pl+L ottenuta per la composizione 12 a 1185° C. Le fasi cristalline costituiscono la metà circa della paragenesi. Si possono riconoscere minuscoli leucitoedri, barrette di plagioclasio e sezioni di prisma riferibili a pirosseni, immersi in un mezzo continuo che costituisce appunto il vetro.

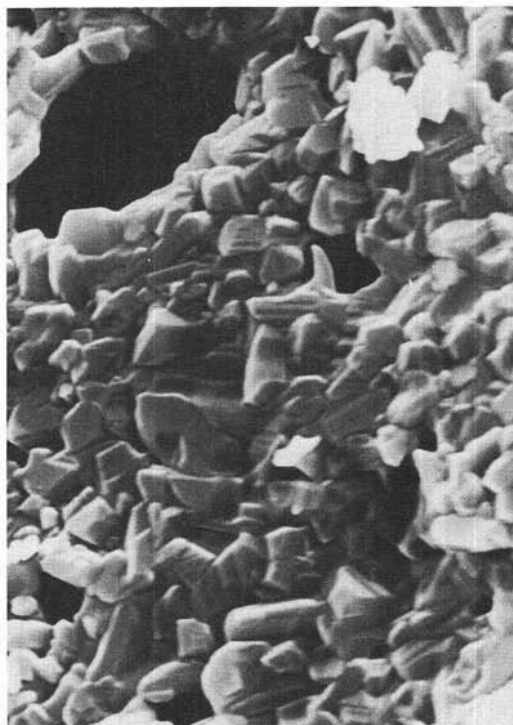


Fig. 13. — Fotografia al SEM della paragenesi Di+Lc+Pl+L ottenuta per la composizione 14 a 1185° C. Le fasi cristalline costituiscono più del 90 % della paragenesi. Le rare plaghette di vetro si riconoscono per la frattura concoide e per le superfici curve.

TABELLA 3  
Clinopirosseni s.s.: valori di Cats e di En  
per via diffrattometrica

N°	COMPOSIZIONE	N° CORSA	T °C	b <sub>v</sub>	wt. % Cats	20 <sub>211</sub> <sup>1</sup>		wt. % En
						ob	cd	
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	6	1262	8.917(5)	2.8	39.17	39.164	5.0
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	27	1240	8.909(3)	5.5	39.22	39.185	7.1
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	5	1225	8.907(3)	6.3	39.24	39.233	9.2
10	Di <sub>40</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>20</sub>	9	1225	8.918(10)	2.4	39.17	39.131	4.0
8	Di <sub>30</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	51	1197	8.907(5)	6.3	39.24	39.222	8.8
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	48	1197	8.909(5)	5.5	39.20	39.194	6.8

cidenza del fuso (cioè del vetro nei prodotti degli esperimenti all'interno del volume tetrafase) come la si può ottenere al SEM, non essendo stato possibile procedere all'analisi delle fasi tramite microsonda elettronica a causa della struttura minutissima dei prodotti sperimentali.

L'esame dei clinopirosseni è stato focalizzato sulla valutazione delle molecole di Cats e di En in soluzione solida nel diopside. Le composizioni sperimentali ed i relativi dati

TABELLA 4  
Composizione dei plagioclasii  
per via diffrattometrica

N°	COMPOSIZIONE	N° CORSA	T °C	$\frac{2\theta_{131}^{ob} - 2\theta_{131}^{cd}}{2\theta_{131}^{ob} + 2\theta_{131}^{cd}}$		Mol. % An
				ob	cd	
11	Di <sub>10</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>50</sub>	12	1262	2.20	2.186	78
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	19	1225	2.20	2.177	77
7	Di <sub>20</sub> Lc <sub>40</sub> Pl <sub>40</sub>	1	1225	2.16	2.170	73
15	Di <sub>30</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>50</sub>	49	1197	2.11	2.090	62
14	Di <sub>40</sub> Lc <sub>20</sub> Pl <sub>40</sub>	48	1197	2.08	2.072	57
9	Di <sub>40</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>30</sub>	46	1197	2.07	2.065	55
8	Di <sub>50</sub> Lc <sub>30</sub> Pl <sub>20</sub>	51	1197	2.08	2.075	57

diffrattometrici elaborati al calcolatore per ottenere i parametri della cella elementare (DE ANGELIS et al., 1976), sono riportati nella tabella 3.

A causa dell'interferenza tra il riflesso 22 $\bar{1}$  del clinopirosseno con quello 420 della leucite, è risultato di utilizzazione parziale il

reticolo proposto da HERZBERG e CHAPMAN (1976) e successivamente modificato da BENNA et al. (1981) mediante il quale si ottengono simultaneamente i tenori in Cats ed En in soluzione solida nel pirosseno. In fig. 9 pertanto si riporta il % di Cats nel diopside, definito in base al parametro  $b_0$  della cella elementare (CLARK et al., 1962). I valori rilevati, compresi fra il 2 ed il 7 % tendono a decrescere per più elevate temperature degli esperimenti e con un gradiente maggiore al di sopra di 1240° C. Per fasi ottenute alla stessa temperatura, la soluzione solida non sembra risentire della diversa composizione del materiale di partenza. Sullo stesso diagramma compaiono le composizioni dei clinopirosseni ottenuti da esperimenti a 4 kbar e con diverso tenore di H<sub>2</sub>O nel sistema. In tali condizioni si osserva un incremento della quantità di molecola di Cats che raggiunge valori compresi tra l'11 ed il 15 %. L'incidenza di En in soluzione solida nel diopside viene messa in evidenza nel diagramma di fig. 10 (SCHAIRER e BOYD, 1957), costruito in funzione delle variazioni dell'angolo  $2\delta$  31 $\bar{1}$ , per il giunto Di-En. I risultati mettono in evidenza come la percentuale di En nel clinopirosseno sia in relazione inversa con la temperatura dell'esperimento e che dipenda inoltre dalla composizione del materiale di partenza. Si osserva, infine, che le soluzioni solide ottenute a 4 kbar presentano valori di En che non si discostano da quelli ottenuti a pressione atmosferica.

La composizione del plagioclasio è stata determinata utilizzando il diagramma di BAMBAUER et al. (1967) (fig. 11), mentre nella tabella 4 sono riportati i dati diffrattometrici relativi ai campioni analizzati. La tendenza generale è quella di un aumento della molecola anortitica per valori crescenti della temperatura. Si passa, infatti, da 55An, a 75An ed infine ad 80An per temperature degli esperimenti, rispettivamente di 1197°, 1225° e di 1262° C. La composizione del plagioclasio non risente a temperatura costante della diversa composizione del materiale di par-

tenza, come si può osservare dai risultati ottenuti per le sezioni isoterme di 1197° e 1225° C.

Le quantità di fuso all'interno del volume tetrafase sono state valutate analizzando al Quantimet l'incidenza di vetro che risulta da una serie di fotografie effettuate al SEM sui prodotti degli esperimenti (figg. 12 e 13). Su questa base, l'incidenza del vetro varia fortemente: a 1185° C si passa da circa il 5 % per la composizione 14, a circa il 25 % per la composizione 15, e a quasi il 50 % per la 12. Tali valori mettono in evidenza un certo sviluppo del volume tetrafase verso il polo composizionale del plagioclasio, coerentemente con quanto espresso dalle relazioni di fase sui giunti Di-Pl e Pl-Lc che non sono binari.

### Conclusioni

Benchè i risultati sperimentali sopra riportati siano da considerare preliminari con riferimento ai parametri che controllano le ambientazioni naturali, di per se stessi danno le seguenti indicazioni:

1) l'individuazione di un volume tetrafase (Cpx + Lc + Pl + L) che affiora sul *liquidus* a 1230° C  $\pm$  5, divide il sistema in due zone: una inferiore dove il liquido coesistente con le tre fasi solide ha composizione variabile, ma sempre nell'ambito di quelle potassiche; ed una superiore dove in prossimità del « piercing point » i liquidi sono più ricchi in calcio e magnesio;

2) gli andamenti delle s.s. di clinopirosseno e plagioclasio riflettono la situazione sopra citata. Al di sopra dei 1230° C il clinopirosseno è praticamente diopside puro ed il plagioclasio ha un contenuto in anortite pari a quello della composizione di partenza, nel volume tetrafase, invece, il clinopirosseno presenta significative incidenze di molecola di Tschermak ed enstatitica ed il plagioclasio è più albitico.

Ricerca eseguita con il contributo finanziario del C.N.R. (CTB n. 81.02004).

### BIBLIOGRAFIA

APPLETON J.D. (1972) - *Petrogenesis of potassium-rich lavas of Roccamonfina Volcano, Roman Magmatic Region, Italy*. J. Petrol., 13, 425-456.

BAMBAUER H.U., CORLETT M., EBERHARD E., VISWANATHAN K. (1967) - *Diagrams for the determination of plagioclases using X-ray powder*



- methods (Part III of laboratory investigations on plagioclases). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 47, 333-350.
- BENNA P., BRUNO E., FACCHINELLI A. (1981) - X ray determination and equilibrium composition of clinopyroxenes in the system  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Contrib. Mineral. Petrol., 78, 272-278.
- BIGGAR G.M., O'HARA M.S. (1969) - A comparison of gels and glass starting materials for phase equilibrium studies. Min. Mag., 37, 198-205.
- BOWEN N.L. (1915) - The crystallization of haplobasaltic, haplodioritic and related magmas. Am. Jour. Sci., 40, 161-185.
- BOWEN N.L., SCHAIRER J.F. (1929) - The system Leucite-Diopside. Am. Jour. Sci., 218, 301-312.
- BRAI A., PIRO M., TRIGILA R. (1979) - Studio geopetrografico del complesso vulcanico di Latera (Vulcani Vulsini). Nota III: I termini lavici dell'attività intracalderica finale. Per. Min., 48, 205-254.
- CLARK S.P., SCHAIRER J.F., DE NEUFVILLE J. (1962) - Phase relations in the system  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{-CaAl}_2\text{SiO}_6\text{-SiO}_2$  at low and high pressure. Ann. Rep. of Dir. of the Geoph. Lab. C.I. Wash. Yearb., 61, 59-68.
- COX K.G., BELL J.D., PANKHURST R.J. (1979) - The interpretation of igneous rocks. G. Allen & Unwin, London.
- CRESCENZI R., GIANNETTI B., TRIGILA R. (1983) - Evoluzione magmatica e petrogenesi del vulcano di Roccamonfina. Per. Min. (in corso di stampa).
- DE ANGELIS G., FARINATO R., LORETO L. (1976) - The crystal lattice constants refinement: a least squares procedure for the direct or the reciprocal case. S.I.M.P., 33, I, 3-14.
- FAVALE T., TRIGILA R. (1982) - Preparazione di gels come materiali di partenza per studi di equilibri di fase. Rapp. Int. n. 1, Lab. Petr. Sper., Ist. di Min. e Petr. Univ. degli Studi di Roma.
- GUPTA A.K. (1980) - Petrology and genesis of leucite bearing rocks. Springer-Verlag.
- GUPTA A.K., EDGAR A.D. (1975) - Leucite-Na feldspar incompatibility: an experimental study. Min. Mag., 40, 377-384.
- HERZBERG C.T., CHAPMAN N.A. (1976) - Clinopyroxene geothermometry of spinel lherzolites. Am. Mineral., 61, 626-637.
- KUSHIRO I. (1972) - The system Diopside-Anorthite-Albite: determination of composition of coexisting phases. Ann. Rep. of Dir. of the Geoph. Lab. C.I., Wash. Yearb., 72, 502-507.
- MORSE S.A. (1980) - Basalts and phase diagrams. Springer-Verlag, New York Inc.
- SCHAIRER J.F., BOYD F.R. (1957) - Pyroxenes: the join  $\text{MgSiO}_3\text{-CaMgSi}_2\text{O}_6$ . Ann. Rep. of Dir. Geoph. Lab. C.I., Wash., Yearb., 57, 223-225.
- SCHAIRER J.F., YODER H.S. (1960) - The nature of residual liquids from crystallization, with data on the system Nepheline-Diopside-Silica. Am. J. Sci., vol. 258 A, 273-283.
- TRÖGER W.E. (1935) - Spezielle petrographie der Eruptivgestein. Berlino.
- WASHINGTON H.D. (1906) - Roman Comagmatic Region. Washington.