

F. LAVES

(Istituto di Cristallografia e Petrografia dell'ETH, Zurigo)

I FELDSPATI E LE LORO RELAZIONI DI FASE (*)

I. - Introduzione alla struttura dei feldspati e cenni storici.

I feldspati sono considerati, dal punto di vista chimico, come cristalli misti dei composti:

KAlSi_3O_8 : feldspato potassico (Or)

$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$: feldspato sodico (Ab)

$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$: feldspato calcico (An)

Nella seguente trattazione non saranno presi in esame i composti più rari ($\text{RbAlSi}_3\text{O}_8$, $\text{SrAlSi}_2\text{O}_8$ e $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

Nel 1933 Taylor è riuscito a trovare una impalcatura strutturale GO_2 , comune a tutti i feldspati, costituita da due ioni fondamentali, (Gerüstionen) $G = \text{Si}$ e Al , combinati con l'ossigeno in modo da costituire tetraedri deformati, riuniti fra di loro a costituire catene tridimensionali infinite, nelle quali ogni O si trova a far parte di due tetraedri. E' naturale che se noi consideriamo le distanze ($G-O$) relative a uno stesso tetraedro ($d_{Go}^{(1)}$) anche esse dovranno costituire un'impalcatura tridimensionale infinita come è schematicamente indicato nella fig. 1, nella quale i punti in cui concorrono quattro segmenti rappresentano centri di ioni G, pertanto a metà distanza di ognuno di questi segmenti dovrebbero trovarsi i centri degli atomi di ossigeno. Naturalmente nella figura non si è tenuto conto del fatto che, trattandosi di tetraedri deformati, i suddetti segmenti dovrebbero essere piuttosto rappresentati da una linea spezzata. La schematizzazione è giustificata dal fatto che nè la metrica, nè la topologia nè la simmetria dei GO_2 hanno importanza per quello che diremo in seguito. La figura, a simmetria monoclinica (C_{2h}), corrisponde al modello strutturale pro-

(*) Traduzione a cura di E. ONORATO e A. PENTA.

posto dal Taylor per il *sanidino*. In essa per gli ioni G appaiono posizioni topologicamente diverse contrassegnate con le lettere A e B, che corrispondono alle posizioni indicate dal Taylor con Si_2 e Si_1 , potendo fare a meno dei simboli più complicati proposti da Megaw nel 1956.

Taylor trovò (e lo si può anche ricavare dalla figura) che nella cella monoclina basi-centrata del feldspato potassico si trovano quattro unità $KAlSi_3O_8$, ossia 16 ioni G, corrispondenti rispettivamente a $4Al + 12Si$. Per la simmetria monoclina oloedrica questi ioni G possono disporsi in $8 + 8$ posizioni equivalenti, corrispondenti alle posizioni A e B. Poichè i punti corrispondenti a queste posizioni equivalenti non possono essere occupati da atomi della stessa specie, il Taylor concluse che il sanidino non potesse avere la simmetria (C_{2h}), ma al massimo C_2 , C_s o C_1 , dato che solo con queste simmetrie è possibile disporre di quattro posizioni equivalenti, nelle quali collocare i quattro atomi di Al. La fig. 1 mostra il caso C_1 con la suddivisione delle 8 posizioni A in $4 + 4$ indicate con A_1 e A_2 e delle 8 posizioni B rispettivamente in B_1 e B_2 . Mentre Taylor considerava come probabile una simmetria monoclina emiedrica, Barth (1934) richiamò l'attenzione sulla possibilità che le posizioni A e B potessero essere occupate indifferentemente da Al e da Si « disordinatamente ». Tale interpretazione, mentre da una parte rende possibile riaffermare la simmetria monoclina oloedrica del sanidino (che nessuna proprietà ha mai messo in dubbio), dall'altra consente di spiegare il diverso comportamento ottico del sanidino (otticamente monoclinico) e del microclino (otticamente triclinico). Infatti il Barth, in contrapposizione a una distribuzione « disordinata » Al/Si nel sanidino, suggerì invece per il microclino una distribuzione Al/Si « ordinata », avente simmetria triclinica, il che si può ottenere se nella figura 1 una qualsiasi delle posizioni A_1 , A_2 , B_1 , B_2 sia occupata completamente dagli ioni Al lasciando a disposizione del Si le altre.

L'ipotesi di Barth rende ora possibile rimettere in discussione, con nuovi argomenti, la vecchia questione relativa al polimorfismo del feldspato potassico. Secondo l'ipotesi di Barth vi dovrebbero essere per lo meno due modificazioni: il sanidino monoclinico e il microclino triclinico. Contro questa ipotesi ci sarebbe però la teoria di Mallard (1876), secondo la quale tutti i feldspati sarebbero da considerarsi triclinici e il carattere monoclinico sarebbe dovuto a poligeminati submicroscopici.

Laves (1956), in base a una discussione teorica strutturale delle leggi, determinate röntgenograficamente, che regolano i poligeminati a graticcio del microclino (due orientamenti di geminati secondo la legge dell'albite e due orientamenti secondo la legge del periclino, distribuiti in modo che b^* del dominio che spetta alla legge dell'albite coincide con il b del dominio relativo alla legge del periclino), giunse a dare la prova

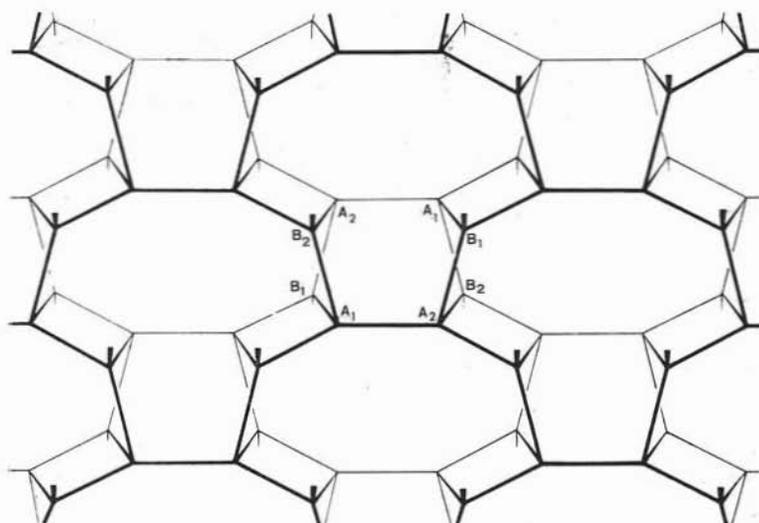


Fig. 1. — Proiezione delle posizioni Al e Si, cioè della struttura GO_2 normalmente a (001). E' rappresentato uno «strato» tra 2 identici piani adiacenti della serie piana (001). Nelle posizioni «B» si può rilevare che le posizioni G ad esse più prossime possono trovarsi sia negli «strati» sottostanti che sovrastanti.

della reale esistenza delle due modificazioni, dando così un valido appoggio alla ipotesi di Barth. L'ipotesi fu ulteriormente confermata dall'osservazione che il microclino possiede un reticolo di traslazione distintamente triclino e, per gli angoli reticolari $\alpha^* = (010) \wedge (001)$, $\gamma^* = (010) \wedge (100)$, tutti i possibili valori che, partendo da un «massimo di triclinità», dato da $\alpha^* = 90^\circ 25'$, $\gamma^* = 92^\circ 16'$, arrivano ai valori angolari del monoclinio dati da $\alpha^* = \gamma^* = 90^\circ$. Questo ultimo fatto sta ad indicare che deve esistere un meccanismo di trasformazione che procede con continuità e lentamente. Ciò si può spiegare solo ammet-

tendo una variazione nella distribuzione Al/Si, dovendosi escludere un'influenza dello ione K (1951) (1).

D'altra parte la giustezza dell'ipotesi di Barth non significa *necessariamente* che l'ipotesi di Mallard non ha valore. Mallard sostenne il punto di vista che ogni feldspato potassico, che otticamente appare monoclinico, è in realtà triclino (submicroscopicamente geminato). L'ipotesi di Mallard espressa in una forma così assoluta non è esatta. Ci si può però facilmente persuadere che detta ipotesi in molti casi *deve* essere giusta. Sia dato un feldspato potassico monoclinico (sanidino), che a bassa temperatura dovrebbe tendere allo stato triclino (microclino) stabile a bassa temperatura; allora, più o meno contemporaneamente, nei diversi punti del cristallo si deve sviluppare l'« ordine » Al/Si, di modo che in questi punti risulta la simmetria triclina. Ora, questa si può manifestare in modo che i domini relativi ai geminati albite e periclino si sviluppino con uguale probabilità a destra e a sinistra degli elementi di simmetria originari. Poichè il fenomeno procede con continuità, dipende dall'attenzione dello sperimentatore e dall'efficienza dei suoi strumenti il poter indicare da che momento in poi ha inizio la triclinità dei domini orientati nei poligeminati del microclino. Spesso un feldspato potassico che con un microscopio cattivo appare otticamente omogeneo e monoclinico, quando lo si esamina con un buon microscopio risulta finemente geminato. E spesso feldspati potassici, che esaminati a un buon microscopio appaiono otticamente omogenei e monoclini, si dimostrano come microclini « estremi » all'esame röntgenografico. Anche all'esame röntgenografico si osservano « submicroscopicamente » tutti i passaggi dalla netta « triclinità » alla « monoclinità » praticamente ideale, come è indicato dalla presenza di effetti di interferenza diffusi. Ma anche in questo caso la possibilità di poter definire la simmetria triclina dipende dal tempo di posa che si dà alla lastra fotografica. Vi possono essere quindi anche cristalli di feldspati potassici ai quali si può applicare la teoria di Mallard. Studi dettagliati a tale proposito furono eseguiti da Goldsmith e Laves (1954). Per questi tipi di cristalli fu proposto da Laves la denominazione di « ortoclasio comune » (« gewöhnlicher Orthoklas » oppure « common orthoclase »).

La teoria di Barth, in seguito al successo ottenuto, insieme all'ipo-

(1) A mezzo di scambi ionici a $\sim 1000^\circ\text{C}$ si potè ottenere un microclino da un'albite. Questo dimostra una grande mobilità degli ioni alcalini paragonata alla bassa velocità di trasformazione.

tesi di Mallard, sull'interpretazione dei diversi aspetti delle modificazioni del KAlSi_3O_8 , fu estesa nel 1952 anche al campo dei plagioclasii, per quanto in tale epoca non fosse ancora conosciuta la fase monoclinica dell' $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. A tale riguardo è da osservare che l'ortoclasio sodico scoperto dal Barbier nel 1908 a Kragerö, e denominato da Schaller (1910) barbierite, già messo in dubbio da Barth, risultò, in base a ricerche röntgenografiche eseguite da Schneider e Laves sul materiale originario, essere una geminazione submicroscopica microclino-pertite. Senonchè Bowen e Tuttle (1950) avevano trovato che l' $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ sintetico aveva proprietà ottiche e spettri di polvere diversi dall'albite naturale; pertanto, ammessa l'esistenza del dimorfismo per detto composto, chiamarono la modificazione sintetica « high albite » (1), in contrapposizione al termine albite usato per quella naturale.

Laves e Chaisson (1950) studiarono questa « high albite » röntgenograficamente con i metodi del cristallo singolo. Si trovò che gli angoli del reticolo dell'« high albite » differivano solo di poco da quelli dell'albite e che queste differenze erano analoghe a quelle che sussistono fra sanidino e microclino. Vedi Tab. 1 (Laves, 1951 a).

TABELLA 1

Albite	86°20'	90°30'
Analbite (high albite) (2)	86°05'	88°17'
Albite - Analbite	15'	2°13'
Microclino	90°22'	92°10'
Sanidino	90°	90°
Micr.-sanid.	22'	2°10'

Inoltre fu trovato che, per riscaldamento dell'albite, per trasformarla nell'« high albite » (il processo richiede $\sim 1000^\circ$ e diverse settimane ed avviene pertanto lentamente), si hanno stati che si succedono con continuità. Questi diversi stati sono caratterizzati dal fatto che gli an-

(1) Albite di alta temperatura \equiv albite alta.

(2) Intanto era stato proposto il nome di analbite che per la prima volta introdotto da Winchell (1925), fu poi confermato (1952 a, 1959).

goli del reticolo variano con continuità fra quelli dell'albite e quelli della « high albite ». Poichè in seguito a esperienze sulla diffusione (Laves 1951 b) si è visto che l'impalcatura GO_2 del microclino è identica a quella dell'albite, si sono potute trarre le seguenti conclusioni: 1) ammesso che sia possibile con l'ipotesi di Barth interpretare la differenza delle due fasi monoclina e triclina corrispondenti al sanidino e al microclino, la stessa ipotesi dovrebbe essere anche in grado di spiegare la differenza fra le fasi triclina relative alla serie « high albite » - albite; 2) la « high albite » dovrebbe dunque avere una distribuzione Al/Si disordinata, corrispondente circa a quella del sanidino.

Nella fig. 1 è stata disegnata una impalcatura GO_2 con simmetria monoclina. Dal punto di vista del collegamento topologico questo reticolo, al massimo, può avere una simmetria monoclina, essendo naturalmente sempre possibile una simmetria triclina, se gli angoli del reticolo α e γ risultano diversi da 90° .

Le condizioni poste nel punto 2, su indicate, sono teoricamente soddisfatte dal punto di vista della distribuzione Al/Si perchè ciò si è potuto dimostrare sperimentalmente (1952) nel modo seguente: furono studiati feldspati alcalini naturali ad alto tenore di Na ($Or_{19}Ab_{81}$; $Or_{23}Ab_{77}$; $Or_{35}Ab_{65}$; $Or_{37}Ab_{63}$), che si trovano nello stato dell'« high albite ». Essi potranno essere portati reversibilmente allo stato monoclinico per riscaldamento. Tale trasformazione non si verifica nè per surriscaldamento nè per sottoraffreddamento ma avviene appena si raggiunge la temperatura di trasformazione ($T_{displ.}$).

La « triclinità » dello stato triclino è una funzione rapida della temperatura. Lo stato monoclinico è raggiunto in modo continuo per riscaldamento. Esiste quindi una trasformazione « di ordine più elevato » che Buerger (1948) ha denominato « displacive transformation ». La $T_{displ.}$ è una funzione del rapporto K/Na e, come fu discusso nel 1959, deve anche essere una funzione della distribuzione Al/Si (vedi in seguito). Tra l'altro fu trovato che era per $K/Na = 37/63$ $T_{displ.} \sim 60^\circ C$, per $K/Na = 19/81$ $T_{displ.} \sim 560^\circ C$. Da questi dati, per estrapolazione, si arriva per l' $NaAlSi_3O_8$ puro a una $T_{M/A} \sim 1080^\circ C$. Valori praticamente uguali furono trovati indipendentemente da Mackenzie (1952), senza però interpretarli nel senso dell'influenza della distribuzione Al/Si relativamente alla impalcatura GO_2 , come appunto fu fatto dall'autore (1952). Benchè già Mackenzie, in base a ricerche röntgenografiche su un $NaAlSi_3O_8$, ottenuto sinteticamente ad alte temperature,

abbia dato come probabile che, al disotto del punto di fusione (1000°C), esiste una modificazione monoclina di detto composto (che non si lascia raffreddare bruscamente a temperatura ambiente), tuttavia la dimostrazione dell'esistenza di tale fase fu data per la prima volta da Baskin (1956). Baskin, e più tardi anche Schneider (1957), indicarono come fosse possibile portare « per riscaldamento lento » a circa 1050° un cristallo singolo non geminato di albite in uno stato che, dopo raffreddamento a temperatura ambiente, appaia otticamente monoclinico. Tali cristalli però, all'esame röntgenografico, si mostrarono geminati submicroscopicamente secondo la « legge del microclino ». Da qui può essere dedotto che il minerale ad alta temperatura era realmente monoclinico.

Dunque oggi non sussiste più alcun dubbio che a temperature ancora più elevate di quella dell'« high albite » (triclina) esiste una modificazione stabile monoclina di $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Poichè, d'altra parte, la modificazione « high albite » rappresenta l'ultimo termine privo di potassio di una serie di feldspati alcalini ricchi di Na, indicata da Winchell (1925) come « analbite », fu proposto dall'autore (1952 a) di scegliere come nome « analbite » invece di « high albite ». Questa proposta (a parte la ragione storica) ha i seguenti vantaggi: fu già detto che alti tenori di K hanno una grande influenza sulla $T_{\text{displ.}}$, e che un « high albite » contenente K ($\text{Or}_{33}\text{An}_{67}$) è capace di esistere solo al disotto di 60°C circa, ma al disopra (fino al punto di fusione $\sim 1050^{\circ}\text{C}$) si trasforma in una modificazione monoclina. Sarebbe veramente strano dover indicare come modificazione « high » una modificazione di feldspato che esiste solo al disotto dei 60°C .

Riassumendo: Per quanto si riferisce al Na, si può trovare a temperatura ambiente oltre che albite (triclina), stabile a bassa temperatura, l'analbite (triclina) instabile a bassa temperatura. Strutturalmente, un'analbite sta all'albite come un sanidino raffreddato bruscamente alla temperatura ambiente sta al microclino. Mentre un sanidino raffreddato bruscamente a temp. ambiente non cambia per riscaldamento la sua simmetria, la simmetria triclina dell'analbite si cambia per riscaldamento (non appena si raggiunge la $T_{\text{displ.}}$) nella simmetria monoclina di uno stato, che si deve indicare come « modificazione monoclina di alta temperatura dell' $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ». E' conveniente dare un nome breve a questo stato. Dopo che Schneider e Laves (1957) poterono mostrare l'inesistenza della barbierite, proposero il nome di *monalbite* per questo stato; dove il prefisso « mon » sta ad indicare monoclinico.

In tab. 2 sono riassunte le più importanti relazioni fra le diverse fasi che esistono fra l'estremo stato sanidino (alto), microclino (basso), monalbite (alta), albite (bassa) e analbite.

Per altri particolari si rimanda a una ricerca dell'autore compiuta nel 1959 nella quale sono discussi a fondo i seguenti problemi:

1) Come variano in funzione della temperatura, in condizioni di equilibrio (equilibrium conditions), le concentrazioni Al/Si relative alle posizioni A, B (per l'impalcatura monoclina GO_2) e relative alle posizioni A_1 , A_2 , B_1 , B_2 (nell'impalcatura GO_2 triclina). Oppure, in altre parole: quali stati stabili intermedi sono possibili fra (i due) stati estremi;

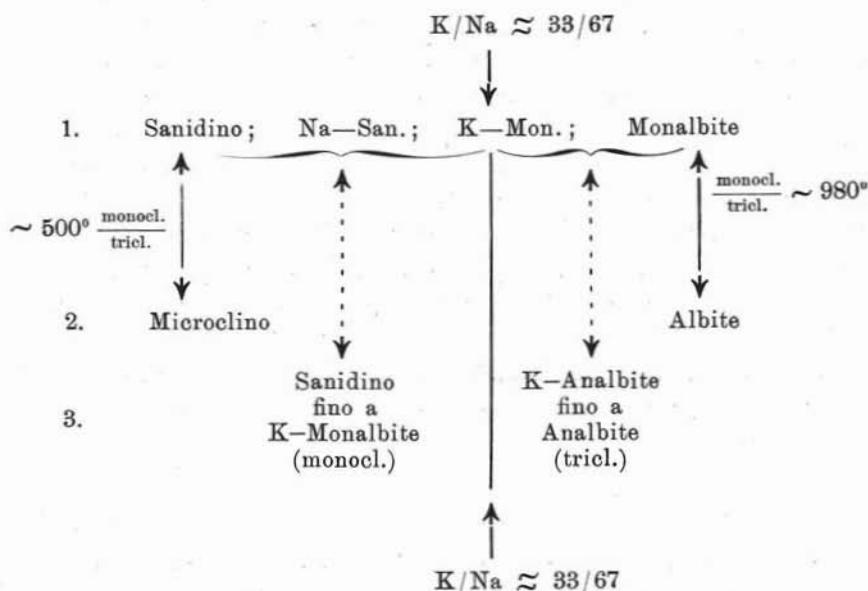
2) Quali stati instabili (a tutte le temperature) sono da prevedere quando un sanidino raffreddato bruscamente (o qualsiasi feldspato potassico che si trovi nello stato sanidino a bassa temperatura per effetto di una rapida cristallizzazione) sta per trasformarsi in microclino stabile e quali stati, anche essi instabili, si possono prevedere (a tutte le temperature) quando si raffredda velocemente una monalbite in modo che la distribuzione Al/Si non segue sincronicamente gli stati, che si dovrebbero formare in condizioni di equilibrio.

A questo punto tali dati dovrebbero essere sufficienti a dare una idea delle molteplici varietà che possono presentarsi nello studio delle strutture dei feldspati alcalini. D'altra parte sarebbe importante avere uno sguardo di insieme che mostri sistematicamente (1950, 1952 a, 1959) quali possibilità di ordine e di disordine si possono avere da un punto di vista puramente strutturale in quanto ciò renderebbe molto più facile capire i diversi aspetti che possono presentare i feldspati ed interpretarne le proprietà fisiche onde poterle utilizzare per l'interpretazione genetica.

E' sorprendente che ci siano tanti autori che esitano ad accettare questi principi qui considerati, ma ciò si spiega perchè, in mancanza di dati sperimentali, si sono potute dare solo dimostrazioni indirette circa la realtà della distribuzione Al/Si deducibile teoricamente.

Infatti la stessa metodica röntgenografica non può venire incontro avendo l' Al^{+3} e il Si^{+4} poteri riflettenti così simili da non consentirne la differenziazione. Tuttavia è riuscito a Taylor e collaboratori (Bailey 1955, Ferguson, Traill 1958) in tre casi particolari (un microclino in-

TABELLA 2



Riga 1: Stabile ad alta temperatura

Riga 2: Stabile a bassa temperatura

Riga 3: Instabile a bassa temperatura

Righe 1 e 3: disordinati in modo che è possibile una simmetria *monoclina*

Riga 2: ordinati in modo che è necessaria una simmetria *triclina*

← → significa che è possibile una trasformazione che decorre con continuità attraverso un *meccanismo diffusivo*, che richiede molto tempo, particolarmente nella direzione delle basse temperature.

← - - - → significa che ogni variazione di temperatura è collegata momentaneamente con una variazione che è originata da un *meccanismo displasivo*. Dal lato del potassio questa si manifesta essenzialmente come una contrazione termica e risp. come una dilatazione; dal lato del sodio viceversa come una *trasformazione displasiva*: monoclini ← - - - → triclino. A quale temperatura questa trasformazione avrà luogo dipenderà dal rapporto K/Na e dal grado di ordine/disordine di Al e Si. Quanto più alto è il grado di disordine e quanto più grande è il rapporto K/Na , tanto più piccolo è T_{displ} .

termedio, un albite estrema e un « high albite ») ricavare dalla grandezza dei tetraedri O_4 la distribuzione Al/Si, confermando così qualitativamente il punto di vista qui sostenuto. Però i dati quantitativi che si riferiscono all'albite (Ferguson, Traill e Taylor, 1958) molto probabilmente non sono esatti. Difatti gli autori, partendo da quei dati, giunsero a delle conclusioni sulla stabilità del microclino, che non solo sono in contraddizione con i principi generali qui esposti, ma anche con il dato indiscutibile che di tutti gli stati $KAlSi_3O_8$ a noi noti lo « estremo » microclino (e non ortoclasio) è quello che si avvicina di più allo stato stabile a temperatura ambiente. Esse sono anche incompatibili con il fatto, dimostrato sperimentalmente da Laves (1951 b, cfr. anche Hafner e Laves, 1957), che le impalcature GO_2 del microclino « estremo » e dell'albite estrema sono identiche. D'altra parte, a conferma delle conclusioni tratte già dal Laves (1952 a), Ferguson, Traill e Taylor non trovarono nessuna differenza dei tetraedri O_4 nella « high albite ».

II. - Prova di una diversa distribuzione Al/Si nei feldspati alcalini.

A completamento degli indizi indiretti finora menzionati circa la diversa distribuzione Al/Si nei diversi stati del feldspato, Brun, Hafner, Hartman, Laves e Staub (1959) riuscirono a dare un diretto contributo sperimentale con l'aiuto della risonanza nucleare magnetica, con la quale si poté dimostrare con evidenza che, nel microclino e nell'albite, l'alluminio ha una distribuzione ordinata; nel sanidino naturale invece, come nel sanidino e nell'albite, ottenuti per riscaldamento lento (diverse settimane) rispettivamente dal microclino e dalla albite, l'alluminio ha una distribuzione disordinata.

Adesso in base ad alcuni esempi sarà messa in evidenza, in tutta la sua importanza, l'ipotesi di Barth.

III. - Distribuzione Al/Si stabile ed instabile.

A) Feldspati potassici.

La fig. 2 mostra uno schizzo di come si può rappresentare la distribuzione Al/Si in funzione della temperatura nelle condizioni di equilibrio (Laves, 1959).

Le curve a e b, risp. a_1 , a_2 e b_1 , b_2 , indicano la probabilità di incontrare Al nelle posizioni A e B e, rispettivamente, A_1 , A_2 e B_1 , B_2 .

Le curve hanno andamento continuo, ciò in base alla premessa che la trasformazione sanidino-microclino, che è considerata una trasformazione diffusiva (Laves, 1952 e), è una trasformazione di ordine più elevato. Non sono noti dati sperimentali che siano contrari a questa ipotesi, ma esistono molte indicazioni a favore di una trasformazione continua. In base alla composizione chimica $Al Si_3 O_8$ dell'impalcatura

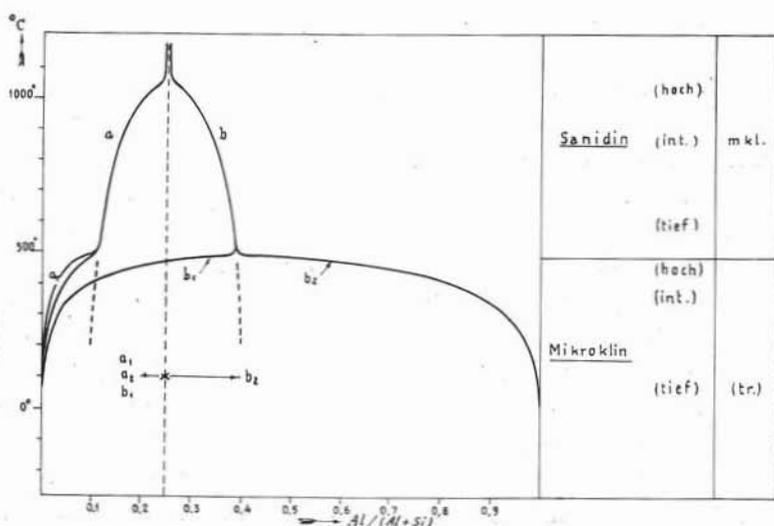


Fig. 2. — Schizzo schematico delle distribuzioni Al/Si nel $KAlSi_3O_8$ in funzione della temperatura in condizioni d'equilibrio. Le curve a , b , a_1 , ecc. rappresentano la probabilità di incontrare l'Al nelle posizioni A, B, A_1 , ecc. Nella parte destra della figura viene fatta una proposta di denominazione.

GO_2 e in base al fatto che nella cella elementare si trovano 16 ioni G, è necessario che, nel caso monoclinico, sia $a + b = 0,5$ e, nel caso triclino, sia $a_1 + a_2 + b_1 + b_2 = 1$. Nel caso perciò del monoclinico la concentrazione b è determinata da quella di a e viceversa.

E' del tutto diverso nel caso del triclino perchè ad ogni a_1 corrispondono infinite terne di valori di a_2 , b_1 e b_2 . Nelle condizioni di equilibrio vi è naturalmente per ogni a_1 solo una ben determinata combinazione di valori di a_2 , b_1 e b_2 . La forma delle curve riprodotte in fig. 2 è stata sufficientemente discussa nel lavoro del 1959, pertanto qui interessa soltanto affermare il principio che, col decrescere della

temperatura, è possibile passare da un disordine praticamente completo ($a = b$), ad un dato ordine ($a \neq b$) senza che si modifichi la simmetria monoclinica e passare poi, con continuità, a una simmetria triclinica ($a_1 \sim a_2$; $b_1 \sim b_2$) per raggiungere infine il massimo ordine possibile (con $a_1 = a_2 = b_1 = 0$; $b_2 = 1$). Chiamiamo sanidino le possibili modificazioni monocline stabili e microclino quelle tricline con gli attributi di alta e bassa temperatura per un'indicazione qualitativa del relativo grado di « ordine ».

Oltre agli stati stabili, che possono essere caratterizzati da una serie di curve del tipo della fig. 2 bisogna tener conto dell'esistenza di modificazioni *instabili* a tutte le temperature.

Tali stati potrebbero formarsi per es. in questa maniera: un feldspato potassico di bassa temperatura, trovandosi nelle condizioni richieste per originare un microclino, può svilupparsi con tanta rapidità da presentarsi come un sanidino monoclinico (Goldsmith, 1953), oppure quando un sanidino è portato a bassa temperatura con raffreddamento relativamente rapido. Mettiamoci nel caso estremo di un sanidino con $a = b = 0,25$ (vedi il punto x in fig. 2), sarebbe da aspettarsi di raggiungere direttamente lo stato stabile del microclino con $a_1 = a_2 = b_1 = 0$ e $b_2 = 1$ e che quindi l'alluminio migri nella posizione B_2 e che di conseguenza le posizioni A_1 , A_2 , B_1 si impoveriscano di alluminio circa nella stessa misura. Si consideri invece come altro esempio uno stato con $a_1 = a_2 = b_1 = 0,20$ e $b = 0,40$. Un tale stato non sarebbe stabile a nessuna temperatura e potrebbe essere chiamato eventualmente « microclino sanidino » (sanidiniger Mikroklin) oppure « pseudosanidino microclino » (mikrokliniger pseudo-Sanidin) secondo che esso presentasse carattere più del microclino che del sanidino.

B. Il problema dell'adularia.

Notoriamente molte adularie (1), che morfologicamente appaiono monocline e si sono accresciute sicuramente a bassa temperatura nel campo di stabilità del microclino, mostrano otticamente e röntgenograficamente una grande variazione di proprietà, scostandosi più o meno

(1) L'« adularia » non rappresenta una modificazione di fase ma una modificazione puramente morfologica [definita dal maggior sviluppo delle forme (110) (201) oppure (101), con (010) e (001) del tutto subordinate, ammesso che siano presenti].

dalla simmetria monoclina (Laves, 1950 e Chaisson 1950). Esse sono considerate rappresentanti tipici degli stati intermedi, che sono stati descritti nel precedente paragrafo. Cfr. Bambauer e Laves (1959).

C. *Il problema dell'ortoclasio.*

Mentre il passaggio dell'adularia al microclino avviene chiaramente nella zona esterna e procede per settori, in modo che a ciascuno di essi corrisponde un determinato orientamento triclinico preferenziale, nei feldspati potassici le trasformazioni procedono per lo più in modo tale che si arriva al monoclinico nella geminazione a graticcio come a uno stato finale provvisorio. Sembra che casualmente, attraverso una « ricristallizzazione posteriore » — cristallizzazione secondaria — il microclino possa anche formarsi in cristalli unici. Microclini primari sviluppati come cristalli unici sembrano essere assai rari.

E' stato già sopra dimostrato che si deve necessariamente passare per uno stato di geminazione submicroscopica, il cui carattere ottico triclinico non è ancora riconoscibile. Per tale minerale è stato proposto il nome di « ortoclasio comune » (common orthoclase). Si deve aggiungere inoltre che dipende dalla particolare storia termica del singolo caso se i « domini » di geminazione si trovano nei possibili stati stabili del microclino (fig. 2) oppure negli stati intermedi instabili, concettualmente del tipo di quelli che son caratteristici delle adularie.

D. *Feldspati sodici.*

Si può tracciare per i feldspati sodici un diagramma del tutto simile a quello dei feldspati potassici (fig. 2) (Laves, 1959). Come differenza sostanziale sia qui menzionato che la temperatura, a cui le curve a e b si dividono in a_1 , a_2 e b_1 , b_2 (per i feldspati potassici considerati a $\sim 500^\circ$) si può ritenere sia per i feldspati sodici sui 980° C.

Come un'ulteriore differenza si può dire che la monalbite, al contrario del sanidino, generalmente per raffreddamento si trasforma spontaneamente nella analbite triclinica. Ciò ha come conseguenza immediata che, nel caso dei feldspati sodici, non si conosce nessuno stato di tipo ortoclasio e nessun geminato di tipo « microclino » che starebbero a dimostrare una trasformazione diffusiva. Geminati di tipo microclino sono noti invece nei cristalli di feldspati della « Rhomben-

porphyre » (1) (e rocce analoghe). Ma qui queste geminazioni sono piuttosto da spiegare come conseguenza di una trasformazione displasiva monalbite - potassica \rightarrow analbite - potassica. Si capisce da sè che interviene anche un meccanismo di trasformazione.

Ed ora accenneremo solo brevemente alle altre complicazioni in seguito alla separazione antiperitica.

Mentre ci deve essere, in seguito alla trasformazione diffusiva (con $T_{\text{mon/alb.}} \sim 980^\circ$), una serie continua *stabile* da monalbite disordinata al massimo ad albite ordinata al massimo, le analbiti che invece si formano per trasformazione displasiva dalla monalbite si devono considerare *instabili* a tutte le temperature.

Nel paragrafo seguente si accennerà brevemente agli altri numerosi stati instabili che si trovano tra l'analbite e l'albite; in esso, per analogia ai termini usati per i feldspati potassici, useremo i termini di « albite analbitica » e di « analbite albitica ».

Si confronti per questo un lavoro di MacKenzie (1957) in cui sono riportate interessanti notizie su stati intermedi preparati sinteticamente.

E. Il diagramma di stato stabile e il diagramma di stato instabile dei feldspati alcalini.

Sulla base della discussione precedente si può teoricamente tracciare un diagramma di stato stabile (vedi fig. 3). L'andamento esatto della curva non è noto e vi dovrebbero essere anche grosse difficoltà a determinarlo sperimentalmente; (infatti, in un'esperienza del genere, per ottenere stati di equilibrio a temperature al di sotto di $\sim 800^\circ\text{C}$, occorrerebbero intervalli di tempo grandissimi, della durata di tempi geologici). La fig. 3 dovrebbe essere sicuramente giusta dal punto di vista topologico. La forma della curva di smescolamento peritico è stata disegnata sulla base di dati pubblicati e non pubblicati.

Dunque, per ogni temperatura c'è una serie di stati stabili di feldspati alcalini (con una distribuzione Al/Si caratteristica per ciascuna di queste temperature) in dipendenza della composizione chimica. Se si varia bruscamente la temperatura, sia per riscaldamento che per raffreddamento, in modo tale che resti invariata la distribuzione Al/Si, si hanno diagrammi di stato, che danno rapporti stabili solo per una

(1) Porfiriti della Norvegia con feldspati a sezione rombica (anortoclasio?).

determinata temperatura. Due diagrammi di questo tipo sono riportati in fig. 4 e 5 per gli stati stabili rispettivamente a 930° C e 1030° C. Qui compare, per i feldspati sodici, la complicazione della « trasformazione displasiva ».

Per avere uno sguardo d'insieme su tutte le possibili variazioni di modificazioni dei feldspati alcalini, bisogna considerare che gli stati,

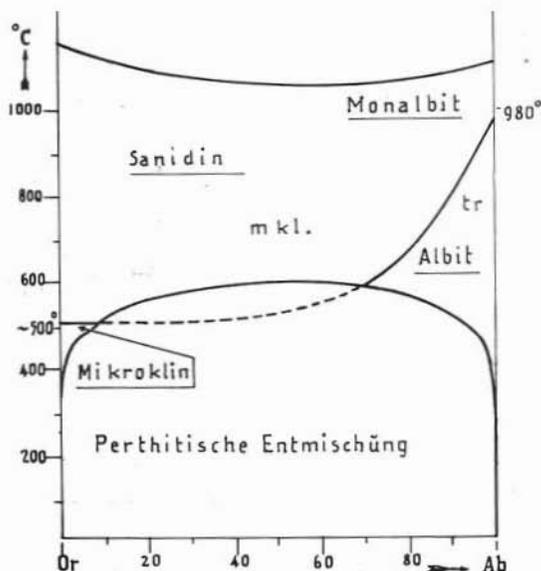


Fig. 3. — Schema del diagramma di stato stabile dei feldspati alcalini.

rappresentati nel diagramma in fig. 4 e 5, col tempo si devono trasformare negli stati stabili della fig. 3. Quindi ci deve essere un'infinita e molteplice varietà di stati che non sono stabili a nessuna temperatura.

Se da una parte non è possibile e neppure interessante riportare la rappresentazione di tutti questi stati, d'altra parte è importante chiarire come è estesa questa varietà. Quindi non è possibile rappresentare con una semplice funzione (per es. proprietà ottiche in funzione della composizione chimica) queste molteplici possibilità corrispondenti alle distribuzioni Al/Si, però è sempre possibile, con opportune interpolazioni, trarre conclusioni importanti purchè si siano stabiliti precedentemente con esattezza gli stati caratteristici estremi.

F. « Anortoclasio ».

Tenute presenti le considerazioni fatte nel paragrafo precedente, risulta evidente come sia impossibile dare una definizione precisa per quel feldspato che la maggior parte dei mineralogisti e petrografi chiamano « anortoclasio ». Perciò fu proposto, già nel 1952, di definire piut-

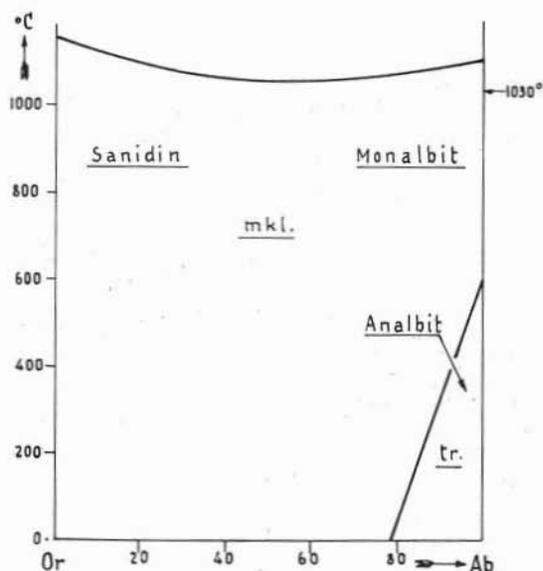


Fig. 4. — Diagramma di stato instabile dei feldspati alcalini che possono essere stabili verso i 1030°. Confrontare con la fig. 3.

tosto chimicamente questo minerale come un feldspato alcalino ricco in Na. Strutturalmente l'anortoclasio può presentare diversissime proprietà fisiche (per es. ottiche). Per ulteriori discussioni su questo problema vedi il lavoro del 1959.

IV. - I Plagioclasii.

Nel 1937 Spencer indicò come un lungo riscaldamento a 1075°C avesse una grande influenza sulle proprietà ottiche dell'albite. Egli riferì che era possibile che il 2V da 100° (valore dell'albite normale) variasse a ~ 35°. Risultati analoghi ottennero Tuttle, Bowen (1950) e Köhler (1941). Quest'ultimo trovò, in generale, per i plagioclasii che

le proprietà ottiche non dipendono solo dalla composizione chimica. Difatti egli precisò che si può distinguere tra un'alta temperatura ottica e una bassa temperatura ottica dei plagioclasii.

Sulla base delle discussioni fatte nei capitoli precedenti, ci si potrebbe aspettare che anche le variazioni dell'ottica dei plagioclasii siano influenzate molto dalla variazione della distribuzione Al/Si.

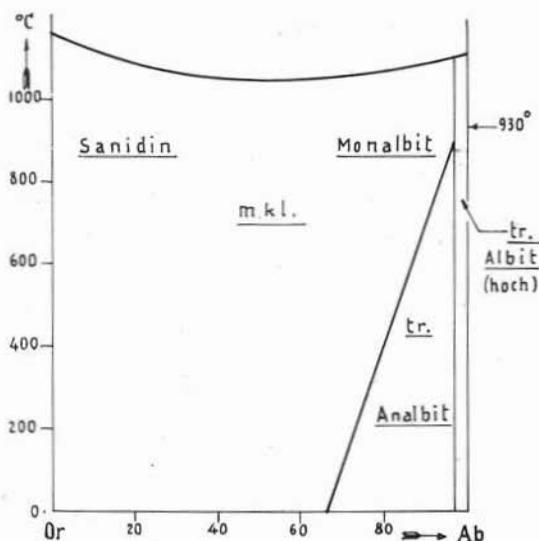


Fig. 5. — Diagramma di stato instabile dei feldspati alcalini che possono essere stabili verso i 930°. Confrontare Fig. 3.

Per quanto siano a disposizione molti dati sulle proprietà ottiche di questa famiglia di minerali tuttavia un collegamento fra le variazioni ottiche e quelle strutturali, dal punto di vista sperimentale, è stato stabilito solo nel caso di un $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$ relativamente puro e di un'oligoclasio $\text{Or}_2 \text{Ab}_{85} \text{An}_{13}$ (Schneider, 1957). Da tale ricerca risulta che nei plagioclasii acidi ciò che esercita una maggiore influenza sulle proprietà ottiche è: 1) la variazione della distribuzione Al/Si, riconoscibile dalle variazioni degli angoli reticolari; 2) il diverso grado di geminazione submicroscopica; 3) lo smescolamento submicroscopico (peristerite) (Laves, 1954). Sarà compito interessante e importante dell'avvenire estendere le ricerche relative alle relazioni ottiche-strutturali a tutta la serie dei plagioclasii. Per quanto riguarda la letteratura fino

ad ora raccolta sulla variabilità ottica si rimanda al lavoro di Burri (1956). In seguito si cercherà di dare uno sguardo d'insieme alle relazioni di fase dei plagioclasti dal punto di vista strutturale.

Mentre per i feldspati alcalini il rapporto Al/Si è sempre 1/3, per i plagioclasti la situazione è del tutto diversa in quanto nella serie $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$ — $\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$ il rapporto Al/Si varia da 1/3 fino a 1/1. Questo ha, sotto diversi aspetti, conseguenze di grande importanza: 1) Supposto che anche per i plagioclasti l'impalcatura strutturale sia identica a quella dei feldspati alcalini e che la grandezza della cella elementare relativamente al contenuto molecolare sia sempre la stessa (cioè 16 ioni G per ogni cella), è da attendersi una struttura perfettamente ordinata per i termini puri della serie feldspato sodico puro - feldspato calcico puro, mentre i termini intermedi devono, per forza di cose, avere un certo grado di disordine. Questo significa che, con il crescere del contenuto in anortite (fino a un certo limite), deve crescere il « disordine » e si dovrebbe abolire la distinzione fra massimi gradi possibili di ordine e di disordine. Si potrebbe utilizzare questo argomento (1952 a, pag. 440) per spiegare le osservazioni di Tuttle e Bowen (1950) e per avvalorare la tesi che le differenze tra modificazioni di alta e bassa temperatura anche per i plagioclasti si basano sulla differente distribuzione Al/Si.

2) Per i plagioclasti c'è da aspettarsi un comportamento di « smescolamento », e corrisp. di « omogeneizzazione », del tutto diverso da quello dei feldspati alcalini. Mentre per questi ultimi, perchè cambi la composizione chimica occorre solo una migrazione degli ioni Na e K (fenomeno molto rapido), nei plagioclasti invece uno spostamento nel rapporto Na/Ca implica necessariamente uno spostamento Si/Al che è un processo molto lento. Così, dunque, nei feldspati alcalini si possono formare relativamente presto smescolamenti pertitici osservabili, mentre nei plagioclasti occorrerebbe, per un'analoga formazione, del tempo straordinariamente lungo. Questa potrebbe essere una delle ragioni per cui non sono conosciute « pertiti plagioclastiche » (Plagioklas-Perthite) nonostante che sia fuori di dubbio che termini intermedi della serie dei plagioclasti possano esistere instabili alle basse temperature.

Per poter avere una visione dell'insieme della serie di plagioclasti, è necessario dire qualcosa, come si è fatto per i feldspati alcalini, sulle diverse modificazioni polimorfe dei termini estremi puri $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$ e $\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$.

A. *Feldspati sodici.*

Si è già parlato prima dell' $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$. Qui ci limitiamo ad enumerare le fasi trovate:

Monalbite: stabile al disopra dei 980°C (instabile al disotto 980°C fino alla Tdispl.; vedi Analbite).

Albite: stabile al di sotto di 980°C ca; con temperatura decrescente si trova un grado di ordine Al/Si che aumenta con continuità.

Analbite: Instabile solo al disotto delle temperature Tdispl. Queste Tdispl. sono una funzione della distribuzione Al/Si; devono essere però inferiori ai 980°C ca.

Fasi instabili a tutte le temperature sono date dai termini intermedi monalbite e albite, come tra l'analbite e l'albite.

B. *Feldspato calcico.*

Il rapporto Al/Si = 1/1 nel $\text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ favorisce la formazione dell'ordine Al/Si nei complessi GO_2 e, propriamente, la tendenza all'ordine è così forte, che persiste fino al punto di fusione, che corrisponde a $\sim 1540^\circ\text{C}$, come potè essere indicata, per vie diverse, come molto probabile da Laves e Goldsmith (1951, 1954, 1955) e G. e L. (1951, 1955).

Conclusioni analoghe furono pubblicate anche da Gay e Taylor (1953). E' notevole che la struttura con distribuzione ordinata Al/Si relativa all'anortite differisce sostanzialmente da quella dell'albite, nel senso che l'asse C è raddoppiato e la cella elementare, che nell'albite è basicentrata, nell'anortite invece è corpocentrata. E' facile dare al riguardo una interpretazione giusta. Si faccia l'ipotesi, in sè possibile, che l'Al e il Si si dispongano nell'impalcatura GO_2 (v. fig. 1) in modo che ogni Al^{+3} sia circondato da 4 Si^{+4} ed inversamente ogni Si^{+4} sia circondato da 4 Al^{+3} (in modo da avere una suddivisione di carica elettrostatica il più possibile uniforme); risulta allora il fatto già trovato da Taylor, Derbyshire e Strunz (1934) dell'asse C raddoppiato (però allora ancora spiegato come dovuto allo ione Ca). Inoltre risulta che questa nuova cella non può essere più basicentrata, ma a corpo centrato.

Possono essere considerate un valido appoggio sperimentale di queste considerazioni le ricerche condotte da Goldsmith e Laves (1951,

1955) con cui fu discussa la variazione di intensità dei riflessi röntgen di anortite in cui il Si era stato sostituito largamente dal Ge, l'Al dal Ga e nel caso di disordine il Si, Al dal Ge, Ga.

Mentre da questi studi risultava che la distribuzione Al/Si nella anortite non varia, perlomeno praticamente, con la temperatura (fino al punto di fusione) si è invece osservato una trasformazione molto importante dipendente dalla temperatura al disopra dei 1000° C, che si può considerare come una variazione ordine/disordine a campo limitato e a campo esteso (« long range/short range - order/disorder ») dello ione Ca, indicata qui brevemente come trasformazione *distrettiva* (« districtive Trasformation ») e caratterizzata dal fatto che (Goldsmith e Laves 1955), come è noto, i grossi cationi K, Na e Ca si trovano nelle cavità dell'impalcatura GO_2 .

Queste cavità sono centrosimmetriche; quando i cationi sono troppo piccoli per riempire l'intera cavità (e questo è spesso il caso del Ca) essi si vengono a disporre da una parte o dall'altra, che indicheremo più brevemente con (+) e (-), rispetto al centro di simmetria. Uno ione Ca che si trovi in campo (+) agirà talmente sulle celle vicine, che il Ca di queste si dovrebbe trovare anche nel campo (+). Contro queste tendenze agisce il movimento termico. I campi (+) e (-) sono equivalenti dal punto di vista della simmetria. La loro estensione dipende dalla temperatura: per basse temperature (al di sotto dei 1100° C ~) l'intero cristallo è costituito da campi (+) o (-) mentre ad elevate temperature possono esistere ambedue i campi in uguale misura. Il diametro medio del « campo » diminuisce con l'aumentare della temperatura (corrispondentemente le superfici fra i « campi » aumenteranno con il salire della temperatura). Questo si manifesta röntgenograficamente con un aumento della diffusione di alcuni riflessi che furono chiamati da Laves e Goldsmith (1951, 1954) riflessi « c » divisi in c_1 e c_2 e da Gay e Taylor (1953) riflessi « c » e « d ». Al di sotto dei 1100° C, dove il cristallo è un « campo » (+) o (-), questi riflessi sono netti. Vicino al punto di fusione essi diventano tanto sfumati, che a mala pena si possono riconoscere. L'aspetto diffuso dei riflessi summenzionati, come anche la diminuzione del « campo », è una funzione continua e reversibile della temperatura. A 1100° C l'equilibrio viene raggiunto dopo alcune ore; a più alte temperature dopo alcuni minuti. Per definire le relazioni di stato nell'intero sistema dei Plagioclas (vedi C) è utile avere un nome caratteristico per questo stato $Ca Al_2 Si_2 O_8$ di

anortite ad alta temperatura, per cui si è proposto il nome di disanortite (1).

Bisogna accennare che nell'interno del reticolo perfettamente ordinato $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (l'asse C è raddoppiato rispetto alla struttura dell'albite, e questa cella raddoppiata è a corpo centrata) si trovano spostati l'uno contro l'altro campi di una distribuzione di Ca (+)/(-) a cui è dovuta l'accentuata diffusione dei riflessi « c ». Secondo Laves e Goldsmith (1951, 1954) col salire della temperatura e con l'aumentare del contenuto in Na la diffusione di questi riflessi « c » aumenta a tal punto che, nelle normali condizioni sperimentali, detti riflessi scompaiono.

Purtuttavia Laves e Goldsmith osservarono che plagioclasì naturali di « bassa temperatura », di composizione circa $\text{Ab}_{30}\text{An}_{70}$, con tempi di posa *molto* lunghi (circa 50 ore) possono mostrare ancora riflessi « c » molto deboli e diffusi. Sembra difficile che ci possa essere un limite netto a partire dal quale i riflessi « c » non compaiono più (anche per pose di lunga durata) sia che ci si riferisca alle alte temperature che al contenuto di albite. A tale riguardo si consulti il lavoro di Bown e Gay (1958) in cui è stato comunicato che nei plagioclasì $\text{Ab}_{50}\text{An}_{50}$ sono stati ancora trovati riflessi « c » diffusi con tempi di posa estremamente lunghi.

C. Il diagramma di stato stabile dei plagioclasì.

Purtroppo, finora non è stato possibile tracciare un diagramma dello stato stabile della serie dei plagioclasì prendendo come punto di partenza la realtà topologica, come fu possibile fare per i feldspati alcalini; tuttavia si è voluto fare una ricerca in questo senso. In fig. 6 i singoli campi (pur senza essere delimitati) sono contrassegnati con nomi che si riferiscono a ciascuno dei stati strutturali sopra definiti relativamente ai termini estremi della serie ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

(1) Fu proposto da Bown e Gay (1958) di chiamare questo stato « anortite di transizione ». In considerazione di una interpretazione di relazione di fase nel diagramma dei plagioclasì (vedi cap. C) si mostra necessaria l'introduzione di un nome breve per uno stato del termine estremo della serie $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, tanto più che nel diagramma tracciato da Gay e Bown, si trova oltre ad una anortite di transizione anche una struttura intermedia, il che può portare facilmente a una confusione.

I termini « Perist. » e « Labr. » si riferiscono agli stati di smescolamento di cui si è parlato nel capitolo D.

Per la fig. 6 sono stati utilizzati i risultati pubblicati da Bown e da Gay (1958), specialmente nell'ambito dei plagioclasti intermedi.

Una vera differenza qualitativa con il diagramma del Bown e Gay (1958), fig. 4) riguarda la fase della monalbite. Poichè la monalbite, costituita da solo $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$ puro, possiede un ampio campo di stabilità a $\sim 100^\circ$, deve ritrovarsi come monalbite calcica nel diagramma dei plagioclasti. Non è ancora noto fino a quale contenuto in An può essere stabile. Secondo Schneider (1957) arriva perlomeno fino $\text{Ab}_{87} \text{An}_{13}$; Bown (1959) trova indizi per cui può arrivare perlomeno fino a $\text{Ab}_{80} \text{An}_{20}$. Per quanto si riferisce agli stati instabili dei feldspati sodici, in particolare per la trasformazione monalbite, analbite, si rimanda a quanto già detto.

Per mettere in evidenza il passaggio che avviene in modo continuo dalla primitiva struttura dell'anortite, con riflessi « c » molto netti ad una struttura corpo-centrata, quale risulta per la scomparsa dei riflessi « c », è stata fatta distinzione in « anortite », « disanortite bassa (tief) », « disanortite intermedia » e « disanortite alta ». Nella disanortite « bassa » i riflessi « c » cominciano ad essere notevolmente diffusi rispetto ai riflessi « a » e « b », nella disanortite alta sono già tanto diffusi che non si mettono più in evidenza con una normale esposizione. Il passaggio anortite \longleftrightarrow disanortite è stato chiamato sopra « trasformazione distrittiva ». Essa dovrebbe essere una trasformazione di ordine superiore.

D. Fenomeno dello smescolamento nei plagioclasti.

E' noto da molto tempo che non solo i feldspati alcalini (pietra di luna) ma anche i plagioclasti (peristerite e labradorite) presentano effetti di iridescenza interna di cui si è occupato in particolare Bögild (1924).

Per quanto riguarda la composizione chimica si possono distinguere due gruppi principali per i quali si manifesta questo effetto ottico:

1. Peristerite $\text{Ab}_{90} \text{An}_{10}$
2. Labradorite $\text{Ab}_{50} \text{An}_{50}$.

Mentre per la peristerite il colore è limitato solo al bluastro per la labradorite si estende a tutti gli altri colori. Anche se fino ad ora non è stata data ancora una spiegazione fisica soddisfacente per tale fenomeno, d'altra parte non c'è dubbio che la iridescenza è in qualche

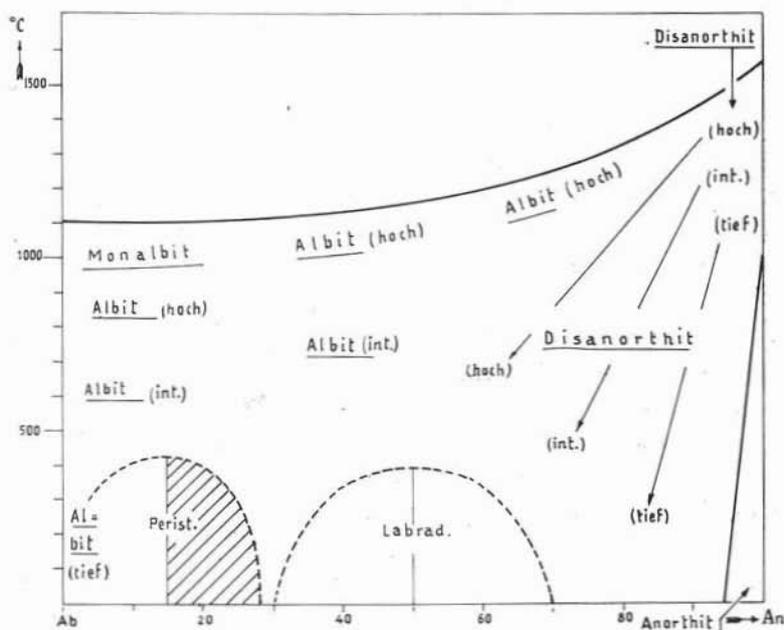


Fig. 6. — Distribuzione del campo del plagioclasio in zone compresenti stati che possono essere considerati stabili (v. sottolineature) e in zone nelle quali si suppone abbia luogo la decomposizione della peristerite e la formazione dello stato « Labrador ».

modo collegata con le particolarità strutturali che hanno i feldspati della composizione suindicata, a meno che non si presentino nella forma di alta temperatura. Si chiamino queste particolarità strutturali:

- a) peristerite di smescolamento;
- b) stato labradoritico.

Per quanto riguarda l'osservazione del fenomeno si noti bene, in generale, che per tutte e due gli stati: sempre che si vede il fenomeno dell'iridescenza vuol dire che c'è o « peristerite di smescolamento » o « stato labradoritico »; non vale però il contrario. Infatti ci sono molti plagioclasii riferibili ai tipi *a* e *b* che non presentano iridescenza.

a) *Peristerite di smescolamento.*

Ricerche su plagioclasti acidi hanno permesso di stabilire (Laves 1954; Gay e Smith, 1955), che essi per lo più sono mescolati submicroscopicamente secondo leggi cristallografiche. Non sono mai stati rinvenuti mescolamenti visibili. Dalle costanti reticolari della fase di smescolamento e dalle intensità relative, per estrapolazione, si può dedurre che la fase ricca in albite corrisponde a una vera albite pura (con circa 2 Mol% An), mentre la fase ricca in anortite fu considerata $Ab_{70}An_{30}$ (Laves, 1954). Gay e Smith (1955) trovarono come limiti 20-25% An. Secondo ricerche nuove di Brown (1959) sarebbe invece 25-28% An.

E' soprattutto importante osservare che un tale smescolamento si verifica solo per i termini fino a $\sim Ab_{83}An_{17}$; i quali (possibili anche in natura v. Brown 1959) si formano solo quando nello smescolamento il rapporto: componente ricco in Ab — componente ricco in An è ≥ 1 .

Brown (1959) propose a riguardo una spiegazione molto plausibile. Egli ammette che alla temperatura a cui ha luogo lo smescolamento, il componente ricco in anortite non è stabile nelle condizioni naturali (presenza di acqua e di altri ioni come per es. il ferro), mentre tendono invece a formarsi altri minerali, come epidoto, etc.

Finchè la parte ricca in An è in quantità piccola rispetto alla parte ricca in Ab, può essere non omogeneamente occlusa (« inselartig ») in questa ultima, restando così protetta dall'azione dell'acqua contenuta nell'ambiente di formazione.

Se invece il componente ricco in An è predominante, essendo in diretto contatto con l'ambiente, viene utilizzato per la formazione di altre combinazioni mineralogiche più stabili.

Da questa ipotesi se ne deduce che negli ambienti naturali ricchi di componenti, un termine oligoclasio-andesinico di composizione circa $Ab_{70}An_{30}$ non sarebbe stabile. Non si può dire tuttavia fino a che punto si debbano estendere queste conclusioni anche al semplice sistema dei plagioclasti puri (anidri).

Contributi sperimentali per risolvere questo problema sono necessariamente molto limitati perchè, nel caso particolare di un sistema secco, sono necessarie ricerche di laboratorio molto lunghe per dimostrare se un composto $Ab_{70}An_{30}$, omogeneo ad alta temperatura, sia o no stabile a bassa temperatura. Nel diagramma di stato della fig. 6 il campo di esistenza dell'albite omogenea non è stato pertanto tracciato

fino alla temperatura ambiente, dove ci sarebbe da aspettarsi un'albite (bassa) relativamente disordinata, poichè il rapporto Al/Si si discosta considerevolmente da 1/3. Per l' $\text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$ il rapporto $\text{Al/Si} = 13/27 \sim 1/2$.

b. *Lo stato labradoritico.*

I fenomeni di smescolamento dello stato labradoritico mostrano che alla composizione ricca in anortite di $\sim \text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$, trovata per la peristerite di smescolamento, compete un significato ben più profondo (si confrontino le considerazioni di Devore 1956). Fu osservato per la prima volta da Chao e Taylor (1940) che i plagioclasti di composizione media mostrano al posto dei riflessi, che poi Goldsmith e Laves (1957) come Gay e Taylor (1953) chiamano riflessi « b », coppie di riflessi, i quali per posizione e non per intensità risultano simmetrici rispetto a quelle direzioni per le quali nell'anortite pura compaiono riflessi « b » molto netti.

Per maggiori particolari riguardanti questa singolarità röntgenografica e la letteratura relativa, vedi il lavoro di Bown e Gay (1958). Anche se ancora non si è potuto dare una spiegazione esauriente alle osservazioni sperimentali, tuttavia gli autori (Bown, Chao, Chayes, Cole, Gay, Megaw, Smith, Sörum, Taylor), che si sono occupati di questo stato sono tutti d'accordo sui seguenti punti:

1. Solo nei plagioclasti esistono stati che mostrano proprietà ottiche di bassa temperatura.

2. Lo stato si estende da circa $\text{Ab}_{75}\text{An}_{25}$ fino a $\text{Ab}_{25}\text{An}_{75}$ (pertanto $\text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$ fino $\text{Ab}_{30}\text{An}_{70}$).

3. Tra queste variazioni chimiche si hanno con continuità variazioni di effetti röntgenografici (qualità dei riflessi e quantità di sdoppiamento).

4. Lo stato è interpretato come primo stadio di uno smescolamento con termini finali $\sim \text{Ab}_{75}\text{An}_{25}$ e $\text{Ab}_{25}\text{An}_{75}$ (pertanto $\text{Ab}_{70}\text{An}_{30}$, $\text{Ab}_{30}\text{An}_{70}$); Bown e Gay (1958) interpretarono lo stato come forma di equilibrio stabile alle basse temperature (« The intermediate structure is the equilibrium form at low temperature in the range 20-25% An to 70-75% An »). A favore di questa interpretazione vi è il fatto che sono sempre netti i riflessi principali « a », che sono caratteristici per la

struttura dell'albite (a cui si possono dare gli indici anche senza lo sdoppiamento dell'asse c), (per la peristerite di smescolamento è diverso; ivi si osservano due sistemi di riflessi, l'uno per il componente ricco di Ab e l'altro per quello di ricco di An). *Contro* questa interpretazione di Bown e Gay vi è però, anche se non probativamente, il fatto che ai riflessi della coppia « b » non si possono assegnare indici razionali.

L'autore è dell'idea che questo stato è instabile e che, nelle condizioni di equilibrio, si dovrebbe avere uno smescolamento in plagioclasti ricchi in Ab e An di dimensioni macroscopiche. Per il fatto che questo smescolamento non si verifica si possono addurre diverse ragioni.

1) In ambiente secco, a basse temperature, è molto piccola la velocità di smescolamento in particelle di dimensioni visibili, o almeno di dimensioni tali da poterle isolare meccanicamente in modo da poter osservare i due sistemi di riflessi (come per la peristerite). Sarebbe pertanto necessaria una considerevole variazione del rapporto Al/Si, con relativa estesa migrazione dell'Al e del Si. 2) In ambienti umidi possono essere addotte le stesse ragioni come per la peristerite, ossia il prodotto di smescolamento ricco in Ab e An viene utilizzato per formare altri minerali.

V. - La geminazione polisintetica dei plagioclasti.

Un geminato è detto polisintetico quando, per quella legge di geminazione, ci sono molte lamelle, e quindi molti domini, i quali hanno solo due diverse orientazioni.

Per i feldspati sono note principalmente le geminazioni polisintetiche secondo la legge dell'albite (010) e secondo quella del periclino [010]. Se in uno stesso cristallo si presentano entrambe, una normale all'altra, allora si ha la così detta *legge del microclino*. Se si osserva solo la geminazione secondo l'albite o solo quella secondo il periclino, allora è possibile considerare il geminato come accrescimento. Se invece si osserva la geminazione secondo il microclino si può concludere che si tratta di un geminato per trasformazione di fase (Laves 1950).

Ed ora accenneremo ad alcuni meccanismi che possono condurre alla geminazione polisintetica nei feldspati.

1. *Trasformazione diffusiva* (1).

Essa è di quelle più discusse ed è qui riportata solo per completare il quadro delle possibilità. Essa può portare alla geminazione polisintetica nel passaggio da sanidino a microclino e da monalbite (sia monalbite potassica che calcica) ad analbite.

2. *Trasformazione displasiva*.

Anche su questa vi sono state molte discussioni. Può portare alla geminazione polisintetica nella trasformazione monalbite (K o Ca) in analbite.

3. *Deformazione meccanica*.

Appena una impalcatura GO_2 ha una distribuzione Al/Si tale che permetta una simmetria monoclina, è teoricamente possibile senza rompere i legami forti G-O invertire un cristallo orientato a destra in uno orientato a sinistra.

A. *Formazione di geminati meccanici nei plagioclasti acidi*.

Secondo l'autore (1952 b) è praticamente semplice la formazione meccanica di geminati negli $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ disordinati. Questi esperimenti furono considerati come un'ulteriore prova che l'analbite è disordinata: se si schiaccia con un ago sotto il microscopio un cristallo unico di analbite potassica si generano lamelle di geminazione, le quali scompaiono col cessare della pressione; questa operazione si può ripetere più volte sullo stesso campione. Questo processo applicato all'analbite pura non riuscì finché non fu possibile disporre di un cristallo unico (2).

La facilità con cui si possono ottenere geminati per pressione sulle *analbiti*, si trova in interessante contraddizione con i vari tentativi di Mügge (1931) per ottenere geminati di albite di questo tipo. E' semplice spiegare l'insuccesso di Mügge: l'albite ha una distribuzione Al/Si ordinata che in seguito alla formazione di geminati per pres-

(1) Poichè la « distriktive transformation » si presenta solo nell'ambito triclino dell'anortite, che, a causa del suo ordine Al/Si (v. cap. V, B) è capace di formare geminati per azione meccanica, essa può solo favorire la formazione dei geminati di cui al § 3.

(2) Se si tenta infatti di formare un'analbite riscaldando lentamente una analbite di alta temperatura, appena questa raggiunge lo stato di « disordine », si trasforma in monalbite monoclina. Questa poi, per raffreddamento, non si trasforma in un cristallo unico di analbite, ma in un aggregato di analbite submicroscopicamente geminato secondo la legge del microclino. Forse si potrebbe ottenere un cristallo unico raffreddando sotto pressione non omogenea.

sione assume una struttura che non è più albite (Laves 1952 b). Ogni petrografo sa bene come siano frequenti, nelle sezioni sottili di rocce, plagioclasidi acidi geminati polisinteticamente. E' vero che spesso fu avanzata l'ipotesi che questa geminazione non fosse dovuta ad accrescimento ma ad azione meccanica, tuttavia questa interpretazione non si affermò decisamente finchè non si riuscì ad ottenere in laboratorio geminati meccanici di plagioclasidi acidi.

La ragione di questo è semplice: nella trattazione sui feldspati potassici si è già detto che essi crescono molto più disordinatamente di quanto compete al loro stato di equilibrio. Questo si può asserire anche per i plagioclasidi acidi: appena dopo la loro formazione sono ancora così « *disordinati* » che è possibile una geminazione meccanica. L'ordine si raggiunge col trascorrere dei tempi geologici e noi troviamo perciò in natura lo stato di albite (bassa) che per il suo ordine non permette in laboratorio la geminazione meccanica. Precedentemente è stata adoperata la espressione « così disordinata »: a tale proposito si devono fare alcune osservazioni.

Come è stato già detto è facile osservare che l'anlabite può essere geminata meccanicamente, mentre l'albite (bassa) no. Come è però la situazione di una sostanza che sia quasi « così disordinata » che la sua impalcatura GO_2 permetterebbe una simmetria « quasi » monoclinica? In tali casi ci si potrebbe aspettare in opportune condizioni di pressione e trazione di poter avere un « tipo di geminazione per pressione ». Bisogna che sia chiaro che quanto più è elevato il grado di ordine tanto più difficile è ottenere lamelle di geminati per pressione in quanto risulterebbero più discoste da una possibile struttura di feldspato; pertanto questo materiale non si può definire come un « monoclinico quasi disordinato » (Laves, 1952 b).

Non è impossibile, in base a queste premesse, chiarire fatti spesso osservati: sono frequenti i plagioclasidi (specialmente gli oligoclasidi) geminati in sistemi di lamelle tali che uno sia più sviluppato di un altro. Tale fenomeno potrebbe essere dovuto al fatto che il materiale era così lontano dal « disordine monoclinico » che solo in poche posizioni la pressione ha potuto dar luogo a questo tipo di geminati per deformazione.

Nel corso dei tempi geologici naturalmente anche queste lamelle generate per deformazione tendono allo stato dell'albite (bassa). Inoltre con considerazioni di questo tipo si deve spiegare forse anche un'altra osservazione, che eventualmente può trovarsi in letteratura, che talvolta entrambi i sistemi di un geminato polisintetico siano differenziabili otticamente.

B. *Formazione di geminati meccanici nei plagioclasti basici.*

Per i termini calcici, finchè il plagioclasio basico ha una struttura anortitica o disanortitica sono possibili geminati per compressione; infatti, in base alle premesse precedenti (IV, B), in ambedue i casi la distribuzione Al/Si della impalcatura GO_2 ammette una simmetria monoclinica e dunque anche la formazione di geminati per pressione. Infatti era riuscito anche prima a Mügge e Heide (1937) di ottenere sperimentalmente la geminazione meccanica nell'anortite. Osservazioni di Laves e Goldsmith (1954), che non furono comunicate a loro tempo (1), mostrano che per la formazione di geminazioni a temperature vicine al punto di fusione dell'anortite occorrono pressioni molto limitate. Per riscaldamento nelle vicinanze del punto di fusione si vedeva non di rado, e tanto più chiaramente quanto più lento era il riscaldamento, che un cristallo originariamente unico si trasformava in parte (fino a ~ il 10%) in albite geminata.

E' diversa la situazione per la fase dell'albite che secondo Gay è stabile ad alta temperatura. In questo caso valgono le considerazioni già fatte per i plagioclasti acidi (vedi A.): più la distribuzione Al/Si di un composto è simile a quella di una monalbite, e corrispondentemente di una analbite (considerato da un punto di vista chimico, qui il rapporto Al/Si è molto maggiore di 1/3, che è il rapporto di una monalbite pura, corrispondentemente di una analbite), tanto più facilmente tale composto potrà generare lamelle di geminati per pressione.

Riassumendo per quanto riguarda il comportamento della geminazione meccanica ci si può aspettare quanto segue:

1) Quanto più alta sarà stata la velocità e la temperatura di accrescimento, tanto più facilmente si realizzerà la formazione meccanica di geminati, perchè tanto più simile a quella dell'analbite è la distribuzione Al/Si nei cristalli che si trovano nello stato di albite (alta). Con temperatura decrescente, e avvicinandosi nello stesso tempo alla distribuzione Al/Si, che è stabile alle rispettive temperature, dovrebbe diminuire la capacità di formare geminati, finchè il composto si trova nello stato albitico.

2) Qualora, nonostante ogni previsione contraria, si ottengono geminati per pressione, c'è da aspettarsi per le lamelle di geminazione

(1) In realtà si aveva l'intenzione di studiare più da vicino questi effetti, ma non si è potuto realizzare questo intento per mancanza di tempo.

uno stato (1) diverso da quello originario. Difatti la distribuzione di complessi GO_2 è simmetrica come nel minerale originario ma non lo è la distribuzione Al/Si nell'interno di detti complessi. Queste differenze che nascono per la geminazione, naturalmente con il passare del tempo scompaiono, poichè anche le parti geminate dovrebbero tendere allo stato stabile a meno che non si determinassero fenomeni di altro genere.

3) Se, per ulteriore raffreddamento, il cristallo cade nel campo di esistenza della disanortite, la distribuzione Al/Si dell'impalcatura GO_2 , per raggiungere lo stato di equilibrio, si cambia di nuovo, in modo da realizzare una simmetria monoclina. Sarà così possibile, da un punto di vista strutturale e teorico, una formazione di geminati propriamente meccanici.

4) Per un ulteriore raffreddamento (e con la tendenza allo smescolamento ad esso connessa nello stato labradoritico) quei plagioclasii il cui contenuto in Ab è maggiore di Ab_{25} perderanno di nuovo la loro capacità di formare geminati meccanici.

Si spera che le nozioni qui riportate rendano possibili importanti interpretazioni genetiche e petrologiche dei feldspati naturali. Esse sembrano anche adatte a chiarire plausibilmente le interessanti geminazioni osservate da Muir (1955), che si generano per riscaldamento dei feldspati basici da lui studiati.

B I B L I O G R A F I A

- S. W. BAILEY und W. H. TAYLOR (1955): The structure of a triclinic potassium feldspar. *Acta Cryst.* 8, 621-632.
- H. BAMBAUER und F. LAVES (1960): Zum Adular-Problem. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* (in Vorbereitung).
- P. BARBIER und A. PROST (1908): Sur l'existence d'un feldspath sodique monoclinique isomorphe de l'orthose. *Bull. Soc. chim.* 3, 894-899.
- T. F. W. BARTH (1929): Ueber den monoklinen Natronfeldspat. *Z. Krist.* 69, 476-481.
- T. F. W. BARTH (1934): Polymorphic phenomena and crystal structures. *Am. J. Sci.* 27, 273-286.
- Y. BASKIN (1956): Observations on heat-treated authigenic microcline and albite crystals. *J. Geology* 64, 219-224.
- O. B. BÖGGILD (1924): On the labradorization of the feldspars. *Kgl. danske vidensk. Selsk. Mat.-fys. Meddel.* 6, Nr. 3, 1-79.
- N. L. BOWEN und O. F. TUTTLE (1950): The system $NaAlSi_3O_8 - KAlSi_3O_8 - H_2O$. *J. Geology* 58, 484-511.

(1) C'è da aspettarsi che questo stato sia capace di reagire, cioè è più facilmente attaccato dalle soluzioni circolanti per fenomeni metasomatici. Un esempio di questo è descritto da Laves e Schneider (1960).

- M. G. BOWN und P. GAY (1958): The reciprocal lattice geometry of the plagioclase feldspar structure. *Z. Krist.* 111, 1-14.
- W. L. BROWN (1960): Lattice changes in heat-treated plagioclases - The existence of monalbite at room temperature. *Z. Krist. im Druck.*
- W. L. BROWN (1960): The crystallographic and petrologic significance of peristerite unmixing in the acid plagioclases. *Z. Krist. im Druck.*
- E. BRUN, ST. HAFNER, P. HARTMANN, F. LAVES und H. STAUB (1960): Magnetische Kernresonanz zur Beobachtung des Al/Si-Ordnungs/Unordnungsgrades in einigen Feldspäten. *Z. Krist. im Druck.*
- M. J. BUERGER (1948): The role of temperature in mineralogy. *Am. Mineralogist* 33, 101-121.
- C. BURRI (1956): Charakterisierung der Plagioklasoptik durch drei Winkel und Neuentwurf des Stereogramms der optischen Orientierung für konstante Anorthit-Intervalle. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 36, 539-593.
- C. BURRI (1956): Optische Charakterisierung von zwischen Hoch- und Tieftemperaturform gelegenen Ubergangsstadien bei Plagioklasen. *Z. Krist.* 108, 15-44.
- U. CHAISSON (1950): The optics of triclinic adularia. *J. Geology* 58, 537-547.
- S. H. CHAO und W. H. TAYLOR (1940): Isomorphous replacement and superlattice structures in the plagioclase feldspars. *Proc. R. Soc. London A* 176, 76-87.
- G. W. DEVORE (1956): Al-Si positions in ordered plagioclase feldspars. *Z. Krist.* 107, 247-265.
- R. B. FERGUSON, R. J. TRAILL und W. H. TAYLOR (1958): The crystal structure of low-temperature and high-temperature albites. *Acta Cryst.* 11, 331-348.
- P. GAY und W. H. TAYLOR (1953): The structures of the plagioclase feldspars. IV. Variations in the anorthite structures. *Acta Cryst.* 6, 647-650.
- P. GAY und J. V. SMITH (1955): Phase relations in the plagioclase feldspars: composition range An_0 to An_{70} . *Acta Cryst.* 8, 64-65.
- J. R. GOLDSMITH und F. LAVES (1951): On the superstructure of gallium- and germanium-containing anorthites. Reprinted in *Acta Cryst.* 7 (1954) 131-132.
- J. R. GOLDSMITH (1953): A « simplicity principle » and its relation to « ease » of crystallization. *J. Geology* 61, 439-451.
- J. R. GOLDSMITH und F. LAVES (1954 a): The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5, 1-19.
- J. R. GOLDSMITH und F. LAVES (1954 b): Potassium feldspars structurally intermediate between microcline and sanidine. *Geoch. et Cosmoch. Acta* 6, 100-118.
- J. R. GOLDSMITH und F. LAVES (1955): Cation order in anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) as revealed by Gallium and Germanium substitution. *Z. Krist.* 106, 213-226.
- J. R. GOLDSMITH und F. LAVES (1956): Crystallization of metastable disordered anorthite at « Low temperatures ». *Z. Krist.* 107, 396-405.
- ST. HAFNER und F. LAVES (1957): Ordnung/Unordnung und Ultrarotabsorption. II. Variation der Lage und Intensität einiger Absorptionen von Feldspäten. Zur Struktur von Orthoklas und Adular. *Z. Krist.* 109, 204-225.
- A. KÖHLER (1941): Die Abhängigkeit der Plagioklasoptik vom vorangegangenen Wärmeverhalten. *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 53, 24-49.
- F. LAVES (1950): The lattice and twinning of microcline and other potash feldspars. *J. Geology* 58, 548-571.
- F. LAVES und U. CHAISSON (1950): An X-ray investigation of the high-low albite relations. *J. Geology* 58, 584-592.

- F. LAVES und J. R. GOLDSMITH (1951): Short-range order in anorthite. Reprinted in *Acta Cryst.* 7 (1954), 131-132.
- F. LAVES (1951 a): A revised orientation of microcline and its geometrical relation to albite and cryptoperthites. *J. Geology* 59, 510-511.
- F. LAVES (1951 b): Artificial preparation of microcline. *J. Geology* 59, 511-512.
- F. LAVES (1952 a): Phase relations of the alkali feldspars. *J. Geology* 60, 436-450 und 549-574.
- F. LAVES (1952 b): Mechanische Zwillingsbildung in Feldspäten in Abhängigkeit von Ordnung-Unordnung der Al/Si-Verteilung innerhalb des $(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_8$ -Gerüsts. *Naturwiss.* 39, 546-547.
- F. LAVES (1954): The coexistence of two plagioclases in the oligoclase compositional range. *J. Geology* 62, 409-411.
- F. LAVES und J. R. GOLDSMITH (1954): Long-range - short-range order in calcic plagioclases as a continuous and reversible function of temperature. *Acta Cryst.* 7 (1954), 465-472.
- F. LAVES und J. R. GOLDSMITH (1955): The effect of temperature and composition on the Al-Si-distribution in anorthite. *Z. Krist.* 106, 227-235.
- F. LAVES (1960): Al/Si-Verteilungen, Phasen-Transformationen und Namen der Alkalifeldspäte. *Z. Krist. im Druck.*
- F. LAVES und T. R. SCHNEIDER (1960): Metasomatische Verdrängung von Oligoklas-Periklin durch Albit. In Vorbereitung, Schweiz. Min. Petr. Mitt.
- W. S. MACKENZIE (1952): The effect of temperature on the symmetry of high-temperature soda-rich feldspars. *Am. J. Sci. Bowen Volume*, 319-342.
- W. S. MACKENZIE (1957): The crystalline modifications of $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$. *Am. J. Sci.* 255, 481-516.
- F. MALLARD (1876): Explications des phénomènes optiques anormaux, qui présentent un grand nombre de substances cristallisées. *Ann. des Mines* 10, 187-240: referiert in *Z. Krist.* 1 (1877), 309-320.
- H. S. MEGAW (1956): Notation for feldspar structures. *Acta Cryst.* 9, 56-60.
- O. MÜGGE und F. HEIDE (1931): Einfache Schiebungen am Anorthit. *Neues Jb. Min. etc. Beil. Bd. A* 64, 163-170.
- I. D. MUIR (1955): Transitional optics of some andesines and labradorites. *Min. Mag.* 30, 545-568.
- W. T. SCHALLER (1910): La barberite, un feldspath sodique monoclinique. *Bull. soc. franç. min.* 33, 320-321.
- T. R. SCHNEIDER und F. LAVES (1957): Barbierit oder Monalbit? *Z. Krist.* 109, 241-244.
- T. R. SCHNEIDER (1957): Röntgenographische und optische Untersuchung der Umwandlung Albit-Analbit-Monalbit. *Z. Krist.* 109, 245-271.
- E. SPENCER (1937): The potash-soda feldspars. I. Thermal stability. *Min. Mag.* 24, 453-494.
- W. H. TAYLOR (1933): The structure of sanidine and other feldspars. *Z. Krist.* 85, 425-442.
- W. H. TAYLOR, J. A. DARBYSHIRE und H. STRUNZ (1934): An X-ray investigation of the feldspars. *Z. Krist.* 87, 464-497.
- O. F. TUTTLE und N. L. BOWEN (1950): High temperature albite and contiguous feldspars. *J. Geology* 58, 572-583.
- A. N. WINCHELL (1925): Studies in the feldspar group. *J. Geology* 33, 714-727.