
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI
RENDICONTI

ACHILLE BLASI

**Identificazione delle varianti strutturali del
K-feldspato in sezioni sottili di rocce. Nota II**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 52 (1972), n.6, p. 934-945.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1972_8_52_6_934_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*

SIMAI & UMI

<http://www.bdim.eu/>

Mineralogia. — *Identificazione delle varianti strutturali del K-feldspato in sezioni sottili di rocce* (*). Nota II di ACHILLE BLASI presentata (**) dal Socio Corrisp. G. SCHIAVINATO.

SUMMARY. — See Nota I in the preceding issue (vol. 52, n. 5) of the "Rend. Acc. Naz. Lincei".

3. ELABORAZIONE DEI DATI

3.1. *Orientazione cristallografica dei (K, Na)-feldspati triclini.*

Poiché l'orientazione cristallografica di un cristallo triclinico è più o meno arbitraria, si accetta per consuetudine l'orientazione descritta per la prima volta. Tuttavia è opportuno cambiare la scelta originale degli assi cristallografici, se si trova che una nuova orientazione può esprimere relazioni strutturali prima sconosciute. È questo il caso del microclino, in relazione con gli altri feldspati triclini, in particolare con l'albite (Laves, 1951 b).

Laves (1950) ha descritto il reticolo reciproco del microclino e Laves e Chaisson (1950) hanno confrontato la geometria di questo con quella delle albite di bassa e alta T, adottando l'orientazione cristallografica comunemente accettata per i feldspati triclini, secondo la quale è $\alpha^* < 90^\circ$. Successivamente Laves (1951 a), dopo aver trattato a caldo criptopertiti contenenti smistamenti di albite bassa, è giunto alla conclusione che microclino e albite bassa possono costituire una serie completa di soluzioni solide, metastabile ad alte T, nella quale α^* varia da $86^\circ 20'$ (albite) a $90^\circ 22'$ (microclino).

Ciò significa che l'orientazione cristallografica del microclino può essere direttamente confrontata con quella dell'albite bassa soltanto quando, tenuta fissa la posizione degli assi cristallografici dell'albite in modo che α^* risulti angolo acuto, il valore di α^* del microclino venga scelto in modo tale da essere ottuso.

Per questa ragione Laves (1951 b) ha proposto di cambiare l'orientazione cristallografica del microclino; la nuova orientazione si ottiene da quella pubblicata da tale Autore (Laves, 1950) mediante una rotazione di 180° del sistema delle coordinate intorno all'asse b^* .

3.2. *Orientazione ottica dei (K, Na)-feldspati triclini.*

La nuova scelta degli assi cristallografici del microclino, oggi ampiamente accettata dagli Autori, è determinante anche per quanto concerne l'orientazione ottica dello stesso minerale.

(*) Lavoro eseguito presso l'Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università di Milano, diretto dal prof. G. Schiavinato, nel quadro dei programmi del Centro di Studi sulla stratigrafia e petrografia delle Alpi Centrali del C.N.R..

(**) Nella seduta del 13 maggio 1972.

Pertanto l'orientazione ottica tradizionale del microclino, reperibile in Winchell e Winchell (1951, pag. 309, fig. 203), deve essere ruotata di 180° intorno a b^* (1). Conseguentemente le notazioni A e B degli assi ottici devono essere invertite in modo da risultare confrontabili con quelle degli assi ottici dell'albite (Marfunin, 1966) riportate in Winchell e Winchell (1951, pag. 272, fig. 170; riprodotta da Duparc e Reinhard, 1924).

In questo modo le orientazioni ottiche del microclino e dell'albite, che in Winchell e Winchell (1951) appaiono proiettate su un piano $\perp [001]$, risultano direttamente confrontabili. Su questo piano il reticolo di Wulff è orientato in modo tale che il meridiano, diametro della circonferenza, sia diretto da sinistra a destra; la posizione di un punto qualunque viene determinata da due coordinate sferiche λ e φ , i cosiddetti « angoli di Becke » (2). Le longitudini λ vengono misurate dal centro della proiezione da 0° a $+90^\circ$, verso l'alto, e da 0° a -90° , verso il basso; le latitudini φ vengono misurate dal centro della proiezione da 0° a $+90^\circ$, verso destra, e da 0° a -90° , verso sinistra; il polo della faccia (010) viene sempre rappresentato nel punto $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = +90^\circ$ (cfr. Burri, Parker e Wenk, 1967).

La proiezione $\perp [001]$ viene comunemente usata per rappresentare l'orientazione ottica dei plagioclasti, in quanto presenta numerosi vantaggi; per i (K, Na)-feldspati è più conveniente utilizzare una proiezione $\perp [100]$ (Marfunin, 1966). Pertanto le proiezioni $\perp [001]$ degli elementi ottici dell'albite e del microclino devono essere trasferite su un piano $\perp [100]$ mediante rotazione intorno a b^* . Tale rotazione può essere effettuata trasladando ogni punto sul reticolo di Wulff nella direzione delle λ positive del valore $\beta = 116^\circ$, che è circa costante in tutti i (K, Na)-feldspati.

In proiezione $\perp [100]$ gli assi ottici A e B si distinguono facilmente, in quanto l'asse ottico A forma con $\perp (010)$ un angolo minore di quello formato da B con la medesima direzione. La proiezione stereografica del polo di (010) di tutti i feldspati resta, ovviamente, nel punto $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = +90^\circ$; quella del polo di (001) dell'albite è rappresentata nel punto $\lambda = +90^\circ$, $\varphi = +3^\circ 40'$ essendo $\alpha^* = 86^\circ 20'$; mentre quella del medesimo polo del microclino è situata nel punto $\lambda = +90^\circ$, $\varphi = -22'$ dato che in quest'ultimo minerale è $\alpha^* = 90^\circ 22'$.

L'orientazione degli assi cristallografici del microclino proposta da Laves (1951 b), come già si è visto, viene oggi comunemente accettata da tutti gli Autori. Altrettanto non si può dire per la nuova orientazione degli elementi dell'indicatrice ottica; ciò è riscontrabile nei lavori di vari Autori. Finney e Bailey (1964) accettano la nuova orientazione cristallografica del microclino, ma forniscono valori dell'angolo d'estinzione su (001) positivi. Tröger (1959) rappresenta in proiezione stereografica un'orientazione ottica analoga a quella di Winchell e Winchell (1951), conservando le vecchie notazioni per gli assi

(1) Questa considerazione è stata in seguito sottolineata dallo stesso Laves (1965).

(2) Usati da A. Michel-Lévy e F. Becke per rappresentare l'orientazione ottica dei plagioclasti.

ottici A e B. Deer, Howie e Zussman (1967) accettano la nuova orientazione cristallografica, ma non quella ottica; tali Autori rappresentano una proiezione stereografica analoga a quella di Winchell e Winchell (1951) senza però segnare le notazioni A e B degli assi ottici. Una proiezione stereografica $\perp [100]$ è stata utilizzata da Tuttle (1952) per mostrare le variazioni di orientazione dell'indicatrice ottica rispetto ai piani (001) e (010) in feldspati alcalini di alta T, ricchi di Na. In essa, l'orientazione ottica sia dell'albite sia dei (K, Na)-feldspati di alta T non appare conforme a quella presentata in questa sede, tenendo conto delle posizioni degli elementi cristallografici indicati; purtroppo tale proiezione non è corredata da dati espressi in modo quantitativo.

3.3. *Orientazione cristallografica e ottica dei K-feldspati monoclini.*

Per poter confrontare l'orientazione ottica dei K-feldspati triclini con quella dei K-feldspati monoclini è necessario rappresentare anche gli elementi cristallografici e ottici di questi ultimi in proiezione $\perp [100]$. Per i K-feldspati monoclini è $\alpha^* = 90^\circ$, quindi la proiezione stereografica del polo di (001) è situata nel punto $\lambda = +90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$, mentre quella del polo di (010) è situata, come già visto, nel punto $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = +90^\circ$; il piano degli assi ottici deve risultare $\perp (010)$ oppure $\parallel (010)$. Per i K-feldspati triclini è $\alpha^* = 90^\circ$ a meno di pochi primi, trascurabili in proiezione stereografica; il piano degli assi ottici è $\sim \perp (010)$.

3.4. *Elaborazione dei parametri determinati in modo diretto.*

La proiezione stereografica degli elementi cristallografici (001), (010) e di quelli ottici Z, Y, X, A, B⁽³⁾ deve essere innanzitutto trasferita dal piano della sezione sottile sul piano $\perp [100]$ ⁽⁴⁾.

Successivamente è opportuno, dal nuovo piano di riferimento $\perp [100]$, riportare in Tabella i valori delle coordinate sferiche λ , φ di ciascuno dei parametri indicati, aggiungendo anche una colonna con i valori di 2 V.

La colonna delle coordinate λ , φ di (010) può però essere omessa in quanto in questo tipo di proiezione il polo di tale piano per tutti i feldspati è rappresentato costantemente nel punto $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = +90^\circ$. Se lo studio riguarda soltanto i K-feldspati si può omettere anche la colonna relativa ai valori λ , φ di (001) in quanto il polo di tale piano è proiettato in pratica sempre nel punto di coordinate $\lambda = +90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$.

(3) Tutti i parametri indicati sono determinabili per via diretta, ad eccezione di X.

(4) Al fine di ridurre a valori trascurabili gli errori di tipo esclusivamente grafico, compiuti nel corso delle operazioni effettuate sul foglio trasparente fissato al reticolo di Wulff, è opportuno usare un tipo di carta poco deformabile nel tempo. I risultati migliori si ottengono impiegando carta da lucido piuttosto spessa, oppure fogli trasparenti a base di poliesteri; su questi, è conveniente segnare i punti rappresentativi dei valori definitivi degli elementi ottici e cristallografici mediante un pennino molto sottile ($\varnothing = 0,1$ mm) e inchiostri appropriati al tipo di sostanza di cui è costituito il foglio trasparente impiegato.

3.5. *Elaborazione dei parametri determinati in modo indiretto.*

Ai fini di uno studio accurato dei feldspati essenzialmente potassici è opportuno presentare in Tabella anche opportuni parametri ottenibili da quelli sopra considerati.

In particolare è conveniente fornire i valori angolari compresi fra $\perp(010)$ e Z , Y , X , come pure quelli compresi fra queste ultime direzioni e $\perp(001)$. Questi valori, che sono caratteristici nelle differenti varianti strutturali dei (K, Na) -feldspati, come è stato mostrato da Nikitin (1933), possono utilmente venire confrontati con quelli analoghi presentati da Marfunin (1961 a).

Convien fornire inoltre i seguenti parametri: $\Delta_{op} = 0,0555 [\perp(010) \wedge Z]$ (indice di triclinismo ottico), angolo d'estinzione su (010) , angolo d'estinzione su (001) , $\perp(010) \wedge A$ e $\perp(010) \wedge B$, $A_{san} \wedge A$ e $B_{san} \wedge B$.

Per questi ultimi vengono effettuate alcune considerazioni sul significato strutturale e compositivo, in quanto ogni parametro è più o meno fortemente influenzato da vari fattori.

3.5.1. *Indice di triclinismo ottico.*

L'angolo $\perp(010) \wedge Z$, come anche l'angolo d'estinzione su (001) , indica, nei (K, Na) -feldspati, una deviazione dalla simmetria monoclinica.

Come parametro che definisca il carattere più o meno triclinico dei K -feldspati, Goldsmith e Laves (1954) hanno introdotto l'indice di triclinismo, definito dal valore ottenuto mediante la relazione $\Delta = 12,5 [d_{131} - d_{\bar{1}\bar{3}1}]$. In analogia, Marfunin (1961 a) ha designato come indice di triclinismo ottico il valore espresso dalla relazione $\Delta_{op} = 0,0555 [\perp(010) \wedge Z]$, essendo pari a 18° il valore massimo dell'angolo $\perp(010) \wedge Z$ nei K -feldspati.

L'indice di triclinismo ottico dipende sia dal grado di ordine che dalla presenza di geminazioni sub-microscopiche (Marfunin, 1961 a). K -feldspati geminati sub-microscopicamente in modo equilibrato⁽⁵⁾, anche se i gemelli componenti consistono di microclino massimo ($\Delta = \Delta_{op} = 1,0$), mostrano nel complesso $\Delta_{op} = 0$; con lo stesso grado di ordine massimo dei singoli gemelli si può avere $0 < \Delta_{op} < 1,0$ solo se il geminato non è bilanciato (cfr. anche Blasi, 1972).

3.5.2. *Angolo d'estinzione su (010) . Relazioni con $\perp(001) \wedge Y$ e Z .*

L'angolo d'estinzione $X \wedge [100]$ oppure $X' \wedge [100]$ su (010) , non può essere determinato con metodo diretto sulla sezione del K -feldspato scelta per effettuare lo studio con il procedimento indicato.

Nella metodologia illustrata da Marfunin (1961 a; 1961 b) dato che si opera su cristalli di dimensioni relativamente cospicue, si ha la possibilità

(5) Un geminato in equilibrio, o bilanciato, presenta le serie dei singoli gemelli egualmente sviluppate ed equivalenti, vale a dire che i sub-individui costituenti le differenti serie sono in eguale quantità e occupano eguale volume.

di tagliare da un singolo individuo varie sezioni orientate in modo diverso e di ottenere lamine di sfaldatura $\{010\}$ su cui si possa determinare per via diretta l'angolo d'estinzione. Se si opera su K-feldspati presenti in sezioni sottili di rocce tale parametro potrebbe essere determinato in modo diretto soltanto impiegando un cristallo diverso da quello preso in esame. La proprietà ottica così determinata non sarebbe più direttamente confrontabile con tutte le altre misurate sulla sezione di un cristallo tagliato all'incirca $\perp [100]$.

È quindi necessario determinare l'angolo d'estinzione su (010) per via indiretta; esso può essere rapidamente calcolato mediante la relazione $\lambda_A + (\lambda_B - \lambda_A)/2$ (cfr. Marfunin, 1961 a) utilizzando le coordinate λ_A, λ_B degli assi ottici, lette direttamente sulla proiezione stereografica $\perp [100]$, oppure può essere ottenuto graficamente applicando il Teorema di Fresnel sulla stessa proiezione.

Fra tutti i parametri determinabili con il metodo presentato in questa sede, l'angolo d'estinzione su (010) è praticamente il più adatto a fornire informazioni sulla composizione del (K, Na)-feldspato in esame. Spencer (1937) ha messo in evidenza che nella serie ortoclasio-albite bassa tale angolo aumenta proporzionalmente con il contenuto di Na. Tuttle (1952) ha leggermente modificato l'inclinazione della retta fornita da Spencer (1937) e ha illustrato inoltre la curva di variazione angolo d'estinzione su (010) /composizione, nella serie sanidino-anortoclasio-albite alta; quest'ultima curva è stata successivamente confermata da Hewlett (1959).

La variazione dell'angolo d'estinzione su (010) è comunque influenzata anche dal grado di ordine Al/Si del (K, Na)-feldspato; tale influenza è però praticamente trascurabile nei feldspati essenzialmente potassici.

Le variazioni di composizione influiscono anche su altri parametri determinati, quali l'angolo $\perp (001) \wedge Y$ e $2V$.

L'angolo $\perp (001) \wedge Y$ è in effetti influenzato anche dal grado di ordine Al/Si, e, a differenza dell'angolo d'estinzione su (010) , dalle geminazioni sub-microscopiche. Nella serie microclino-albite bassa, se il (K, Na)-feldspato non è geminato sub-microscopicamente l'angolo $\perp (001) \wedge Y$ è sensibilmente più elevato dell'angolo d'estinzione su (010) ; se invece esso è geminato sub-microscopicamente, con conseguente variazione di simmetria ottica, l'angolo $\perp (001) \wedge Y$ diminuisce fino a diventare eguale all'angolo d'estinzione su (010) (cfr. Blasi, 1972). I valori dei due angoli sono evidentemente sempre eguali nei K-feldspati monoclini aventi piano degli assi ottici $\perp (010)$; in tal caso, perciò, è inutile ricorrere alla costruzione di Fresnel per determinare il valore dell'angolo d'estinzione su (010) , dato che tale angolo può essere ricavato anche dalla relazione $90^\circ - \perp (001) \wedge X$. Il valore fornito da quest'ultima relazione, oppure quello espresso dalla relazione $\perp (001) \wedge Z$, rappresenta il valore dell'angolo d'estinzione su (010) nei K-feldspati monoclini aventi piano degli assi ottici $\parallel (010)$.

Anche l'angolo degli assi ottici viene influenzato oltre che dalla composizione, dalle geminazioni sub-microscopiche e dal grado di ordine Al/Si. Piccole diminuzioni del valore di $2V_X$ ($1-3^\circ$) si osservano nei geminati sub-

microscopici di feldspati essenzialmente potassici, mentre in quelli prevalentemente sodici le diminuzioni di $2V_x$ risultano più consistenti (8–18°) rispetto ai valori propri dei singoli gemelli (Marfunin, 1959; 1960). Le variazioni di $2V$, imputabili a cambiamenti di composizione, sono influenzate soprattutto dalla sostituzione K, Na (Spencer, 1937; Tuttle, 1952) e subordinatamente dalla presenza di vari elementi minori (Hewlett, 1959), di Ca (Muir, 1962) e probabilmente anche di Fe''' (Coombs, 1954); per quanto riguarda in particolare la dipendenza di vari parametri dalla presenza di Fe''' nel reticolo dei (K, Na)-feldspati, non si hanno ancora dati definitivi (cfr. Wones e Appleman, 1963; Thorez e Michot, 1964; Marfunin e *altri*, 1967).

Le relazioni fra $2V$ e composizione, dovute alla vicarianza K, Na nei (K, Na)-feldspati delle serie microclino-albite bassa, ortoclasio-albite bassa, sanidino-anortoclasio-albite alta, sanidino alto-albite alta, sono state studiate da Tuttle (1952) e successivamente, con maggior dettaglio, da Mackenzie e Smith (1955; 1956). Secondo gli ultimi due Autori per classificare gli alcali feldspati mediante tali curve non è necessario conoscere se il feldspato è smistato o meno. Rankin (1967) ha precisato le relazioni intercorrenti fra $2V$ e composizione nei campioni della serie microclino massimo-albite bassa, preparati da Orville (1967) mediante scambio di alcali, ottenendo una retta che si discosta sensibilmente dalla corrispondente curva stabilita dagli Autori precedenti; Wright e Stewart (1968) hanno studiato le medesime relazioni su campioni ottenuti in modo analogo, appartenenti, però, a serie strutturalmente intermedie fra quelle limiti microclino massimo-albite bassa e sanidino alto-albite alta. Secondo Wright e Stewart (1968), se la composizione del (K, Na)-feldspato è nota dall'analisi, utilizzando i valori misurati di $2V$, si può stimare mediante grafici $2V$ /composizione lo stato strutturale del feldspato solo se questo è omogeneo. In caso contrario, è opportuno porre in relazione il valore di $2V$ non con la composizione totale del (K, Na)-feldspato, bensì con quella della K-fase (Wright, 1964). Tuttavia nei casi in cui il (K, Na)-feldspato è pertitico, ai dati ottici devono affiancarsi quelli röntgenografici per stabilire accuratamente lo stato strutturale; infatti, Wright e Stewart (1968) hanno riscontrato che feldspati pertitici con dimensioni anomale della cella elementare presentano anche $2V$ anomali.

Nei feldspati essenzialmente potassici la dipendenza di $2V$ dalla composizione e dalle geminazioni sub-microscopiche è trascurabile e per una data composizione tale parametro varia quasi esclusivamente, ed in modo assai notevole, al cambiare dello stato strutturale (cfr. specialmente Marfunin, 1961 a; 1961 b; Finney e Bailey, 1964; Laves e Viswanathan, 1967; Wright e Stewart, 1968; Smith, 1970).

Una stima approssimativa della composizione totale delle criptopertiti si può ottenere, secondo Marfunin (1960), mediante un diagramma $2V$ /angolo d'estinzione su (010). In tale diagramma i (K, Na)-feldspati in esame possono essere compresi in un quadrilatero, suddiviso in campi differenziati in base alla composizione, ai cui vertici sono situati termini estremi puri. In uno solo di questi vertici è rappresentata una fase limite omogenea: il sani-

dino basso monoclinico; negli altri tre vertici compaiono fasi costituite da parafosfati pseudomonocline geminate sub-microscopicamente. I singoli gemelli di questi tre termini puri estremi consistono di fasi tricline, rispettivamente microclino, albite e analbite. Per quanto detto precedentemente e in accordo con Marfunin (1960) risulta che in tale diagramma $2V_X$ può essere espresso sia in funzione dell'angolo d'estinzione su (010) che dell'angolo $\perp(001)\wedge Y$, in quanto nella fattispecie i due valori coincidono.

3.5.3. Angolo d'estinzione su (001).

Per ragioni analoghe a quelle viste per l'angolo d'estinzione su (010) anche l'angolo d'estinzione $X'\wedge[100]$ su (001) deve essere determinato per via indiretta mediante la costruzione di Fresnel.

A questo punto occorre notare che, mentre i valori dell'angolo d'estinzione su (010) hanno sempre segno positivo nei (K, Na)-feldspati, quelli dell'angolo d'estinzione su (001) hanno segno negativo nei K-feldspati.

Tali valori sono negativi, comunque, solo se si accetta la nuova orientazione ottica del microclino, in analogia a quella cristallografica. Ciò è dovuto al fatto che in seguito alla rotazione di 180° intorno a b^* , effettuata per ottenere la nuova orientazione, la faccia $(00\bar{1})$ diventa (001). Se si tiene conto dei criteri sui quali si basano le norme convenzionali che regolano il segno delle estinzioni, in analogia a quanto stabilito per i plagioclasti (cfr. ad esempio Duparc e Reinhard, 1924) l'angolo d'estinzione su (001) assume segno negativo. Per altro tale variazione di segno non è stata presa in considerazione da Marfunin (1966), il quale è stato fra i primi ad accettare la nuova orientazione ottica del microclino suggerita da Laves (1951 b; 1965). Bambauer (1969), invece, riporta che l'angolo d'estinzione su (001) nel microclino può assumere valore massimo di -18° . In realtà tale valore è probabilmente un po' eccessivo; Marfunin (1961 a) ha riscontrato un valore massimo di 16° . Chi scrive conferma quanto riscontrato da Marfunin (1961 a), avendo sempre trovato in microclini massimi con $\Delta\sigma_p = 1,0$ e $2V_X = 84^\circ$, valori inferiori a quello limite riportato da Bambauer (1969).

D'altra parte se il valore massimo di $X'\wedge[100]$ su (001) fosse uguale a -18° , in un microclino massimo risulterebbe essere $|X'\wedge[100]| = |\perp(010)\wedge Z|$, in quanto nei microclini massimi è accertato sicuramente e con grandissima approssimazione che $\perp(010)\wedge Z \doteq 18^\circ$. In effetti l'eguaglianza dei due valori angolari non è possibile, e in pratica si constata quasi sempre, a meno di piccoli ma possibili errori di misura al T.U., che anche per minime deviazioni dalla simmetria monoclinica $|X'\wedge[100]|$ è costantemente minore, anche se di poco, di $|\perp(010)\wedge Z|$. Ciò fa sì che per stabilire l'indice di triclinismo ottico $\Delta\sigma_p$ si debba preferire il valore definito da $\perp(010)\wedge Z$, piuttosto che quello determinato da $X'\wedge[100]$.

L'angolo d'estinzione su (001), indice di deviazione dalla simmetria monoclinica, può utilmente essere posto a confronto e correlato con il valore di $\perp(010)\wedge Z$. Come quest'ultimo parametro, l'angolo d'estinzione su (001) è influenzato dalle geminazioni sub-microscopiche.

Anche l'angolo d'estinzione su $\perp [100]$ è influenzato, come del resto l'angolo d'estinzione su ogni sezione appartenente alla zona $[010]$, da deviazioni dalla simmetria monoclina e dalla presenza di geminazioni sub-microscopiche. I valori dell'angolo d'estinzione su $\perp [100]$, nei K-feldspati, sono comunque ancora più piccoli di quelli dell'angolo d'estinzione su (001) .

3.5.4. $\perp (010) \wedge A$ e $\perp (010) \wedge B$; $A_{\text{san}} \wedge A$ e $B_{\text{san}} \wedge B$.

I valori angolari $\perp (010) \wedge A$ e $\perp (010) \wedge B$ mettono in evidenza gli spostamenti reciproci dei due assi ottici A e B dall'asse b^* ; questi spostamenti sono influenzati dal grado di ordine Al/Si e dalle geminazioni sub-microscopiche. I parametri $b^* \wedge A$ e $b^* \wedge B$ consentono di stabilire se il K-feldspato non è geminato oppure se è geminato sub-microscopicamente e di precisare, in quest'ultimo caso, se la geminazione è bilanciata oppure no.

Le posizioni degli assi ottici A e B del K-feldspato in esame possono essere confrontate anche con quelle fisse degli analoghi assi ottici A e B di un K-feldspato monoclinico avente $2V_X = 40^\circ$ [$\perp (010)$] (sanidino basso); questo ultimo viene scelto con un $2V_X$ leggermente inferiore a quello dello Spencer C. I parametri $A_{\text{san}} \wedge A$ e $B_{\text{san}} \wedge B$ sono influenzati dagli stessi fattori che controllano i valori di $b^* \wedge A$ e $b^* \wedge B$. L'influenza di tali fattori sulle posizioni di A e di B può essere esaminata in dettaglio confrontando, nella consueta proiezione stereografica $\perp [100]$, le posizioni di A e B del K-feldspato in studio con quelle di A_{san} e B_{san} e con quella di b^* .

Secondo Marfunin (1961 a) l'asse ottico B di un microclino completamente ordinato e avente massima deviazione dalla simmetria monoclina si sposta rispetto all'asse ottico B di un sanidino basso di un angolo di circa 10° ; contemporaneamente l'asse ottico A si sposta di un angolo di circa 38° . L'angolo $B_{\text{san}} \wedge B_{\text{micr max}}$ rappresenta l'estremo angolo possibile per monocristalli di K-feldspato. Movimenti di B al di là di questo limite indicano che il K-feldspato in esame non è più un monocristallo, ma è un geminato a scala sub-microscopica. L'asse ottico A è pertanto indicativo di ordine; l'asse ottico B indicativo di geminazioni sub-microscopiche.

Se si assume, anziché lo Spencer C, lo Spencer B ⁽⁶⁾ come K-feldspato avente il più alto grado di ordine Al/Si compatibile con una reale simmetria monoclina, le considerazioni effettuate devono essere adattate tenendo conto di $2V_X$ che assume valore di circa 65° .

3.6. *Rappresentazioni grafiche fondamentali.*

Il significato, precisato nei paragrafi precedenti, delle variazioni nei valori dei principali parametri determinati per via diretta o indiretta, consente di dedurre già dall'esame dei dati riuniti in Tabella, oltre a indicazioni sulla composizione, informazioni abbastanza precise sullo stato strutturale e sulla simmetria del K-feldspato in esame.

(6) In merito alla controversa questione cfr. Blasi (1972).

Per una rappresentazione più completa è però opportuno diagrammare in modo adeguato i valori dei parametri determinati; poiché questi sono alquanto numerosi è conveniente utilizzare soltanto quei parametri che presentano variazioni influenzate più intensamente da un unico fattore.

La rappresentazione grafica più completa è naturalmente data dalla proiezione stereografica $\perp [100]$. Tuttavia alcuni grafici parziali, fra i molti possibili, appaiono particolarmente significativi.

Un diagramma $2V/\Delta\sigma$, oppure $2V/\Delta$, che esprime le relazioni fra grado di ordine Al/Si e triclinismo, consente di classificare i K-feldspati secondo lo schema interpretativo proposto da Marfunin (1961 b; 1964) oppure secondo quello proposto da Laves e Viswanathan (1967), che tiene conto anche delle modificazioni instabili. Analogo grafico $2V/b^*\wedge Z$ era stato già in precedenza usato qualitativamente da vari Autori (cfr. Harker, 1954; Gysin, 1957) senza che tuttavia venisse fornita una interpretazione strutturale. Se dallo studio röntgenografico è noto il valore di γ^* , si può impiegare utilmente anche un diagramma $2V/\gamma^*$, avente significato analogo a quelli $2V/\Delta\sigma$ e $2V/\Delta$.

L'angolo $2V$ è uno dei parametri più importanti e significativi fra quelli determinati sia per via ottica che röntgenografica, e pertanto è opportuno che anche uno studio sui K-feldspati puramente röntgenografico sia corredato almeno dei valori di $2V$. È bene comunque non eccedere in senso opposto, anche se taluni Autori (cfr. ad esempio Glover e Hosemann, 1970) definiscono le varianti strutturali del K-feldspato solo in base ai valori di $2V$, senza il concorso di altre determinazioni ottiche o röntgenografiche.

Per mettere in evidenza se il K-feldspato in esame è un monocristallo oppure un geminato a scala sub-microscopica, si può utilizzare un grafico $b^*\wedge B/b^*\wedge A$. Marfunin (1960) ha costruito un diagramma che mostra le relazioni esistenti fra $2V_x$ e $b^*\wedge B/b^*\wedge A$ in K-feldspati non geminati o geminati sub-microscopicamente, con grado di equilibrio variabile.

Come già detto, secondo Marfunin (1960) un diagramma $2V_x/\text{angolo d'estinzione su } (010)$ consente di determinare il rapporto Or/Ab in criptopertiti. Tale diagramma rappresenta tuttavia soltanto un tentativo di valutazione della composizione; secondo Marfunin (1966) comunque le differenze tra la composizione determinata mediante questo diagramma e quella fornita dall'analisi chimica raramente eccedono il 10%. Se la composizione del (K, Na)-feldspato è nota dall'analisi è possibile, utilizzando i valori di $2V$, stimare lo stato strutturale mediante le curve riportate da Wright e Stewart (1968).

Secondo Gysin (1957), il quale utilizza come dati di confronto quelli presentati da Nikitin (1933), altri diagrammi parziali, oltre a quello già citato $2V/\perp(010)\wedge Z$, possono essere: $\perp(001)\wedge X/\perp(001)\wedge Z$; $\perp(010)\wedge X/\perp(010)\wedge Y$; $2V/\perp(001)\wedge Z$. Il più interessante tra questi è l'ultimo, in quanto pone in relazione grado di ordine Al/Si e triclinismo; tuttavia, poiché $\perp(001)\wedge Z$ presenta variazioni inferiori rispetto a quelle mostrate da $\perp(010)\wedge Z$, non appare di grande vantaggio l'uso di tale parametro e conseguentemente del relativo

diagramma. Gli altri due grafici, essendo basati su parametri influenzati contemporaneamente da vari fattori, non appaiono più utili degli altri già presi in considerazione.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La determinazione sistematica delle costanti ottiche e cristallografiche secondo il metodo illustrato consente di riconoscere, caratterizzare e classificare le varianti strutturali del K-feldspato in sezioni sottili di rocce.

Il procedimento può essere utilmente impiegato nel corso di ricerche petrologiche in quanto permette di ottenere, per ogni singolo cristallo, informazioni precise sul grado di ordine Al/Si, sul triclinismo, sulle geminazioni sub-microscopiche e indicazioni sulla composizione. Analoghe informazioni possono essere ottenute solo eseguendo indagini röntgenografiche su cristallo singolo, le quali raramente accompagnano le normali ricerche petrologiche. Le tecniche röntgenografiche su polveri, più frequentemente impiegate, possono fornire dati medi sul grado di ordine Al/Si, sul triclinismo e sulla composizione dei K-feldspati di una roccia. Esse comunque non consentono di ricavare notizie sulla presenza di geminazioni a scala sub-microscopica e appaiono, inoltre, meno sensibili delle determinazioni ottiche per stabilire piccole deviazioni dalla simmetria monoclinica.

Tuttavia soltanto la correlazione delle proprietà ottiche con quelle röntgenografiche può fornire le informazioni più complete sullo stato strutturale del K-feldspato. Infatti, la presenza, ad esempio, di geminazioni a scala sub-röntgenografica può essere messa in evidenza solo affiancando allo studio ottico ricerche röntgenografiche su cristallo singolo, oppure su polveri dello stesso individuo impiegato per le indagini ottiche.

Il metodo descritto, appare inoltre particolarmente adatto allo studio di K-feldspati di diverse generazioni coesistenti in una stessa roccia. Esso, infatti, consente il riconoscimento e la classificazione delle varianti strutturali delle differenti generazioni di K-feldspato e fornisce quindi preziose indicazioni ai fini della ricostruzione dei fattori chimico-fisici che hanno controllato in tempi successivi la genesi della roccia. Esso offre anche il vantaggio di consentire l'identificazione di variazioni strutturali in aree contigue di uno stesso cristallo, anche se di dimensioni assai ridotte.

Questi vantaggi, uniti alla rapidità e alla precisione del metodo, compensano l'inconveniente dovuto al fatto che le sezioni di K-feldspato all'incirca $\perp [100]$ e aventi i requisiti richiesti non appaiono statisticamente molto frequenti. Tuttavia tale inconveniente può essere facilmente superato se si dispone per ogni campione di roccia di qualche sezione sottile supplementare.

N.B. (inerente al paragrafo 3.2). - Mentre il lavoro era in corso di stampa è pervenuta la recente 4^a edizione del vol. 1^o (Bestimmungstabellen) di W. E. Tröger; in essa compare la nuova orientazione ottica del microclino, ma vengono purtroppo conservate le vecchie notazioni per gli assi ottici A e B.

BIBLIOGRAFIA

- BAMBAUER H. U. (1969) - Nr. 228-234. *Feldspat-Familie*. In: TRÖGER W. E. (1969) - *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2. Textband*. 2^a ed., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- BLASI A. (1972) - « *Iso-microclino* » ed altre varianti strutturali del K-feldspato coesistenti in uno stesso cristallo nei graniti del Massiccio dell'Argentera (*Alpi Marittime*), « Rend. Soc. It. Min. Petr. », 28.
- BURRI C., PARKER R. L. e WENK E. (1967) - *Die optische Orientierung der Plagioclase*. Birkhäuser-V., Basel.
- COOMBS D. S. (1954) - *Ferriferous orthoclase from Madagascar*, « Min. Mag. », 30.
- DEER W. A., HOWIE R. A. e ZUSSMAN J. (1967) - *An introduction to the rock-forming minerals*. 2^a ed., Longmans, Green & Co., Ltd., London.
- DE POL C. (1970) - *Stato strutturale e composizione del feldspato potassico dei graniti dell'Argentera (zona centrale del massiccio)*, « Rend. Acc. Naz. Lincei », ser. 8, 48.
- DOLAR-MANTUANI L. (1931) - *Zur Charakteristik der Feldspate des Syenites vom Gröba-Typus*, « Min. Petr. Mitt. », 41.
- DOLAR-MANTUANI L. (1952) - *The feldspar in the intrusive rocks near Beaverdell, B.C.*, « Am. Min. », 37.
- DUPARC L. e REINHARD M. (1924) - *La détermination des plagioclases dans les coupes minces*, « Mém. Soc. Phys. Hist. nat. Genève », 40 (1).
- FAIRBAIRN H. W. e PODOLSKY T. (1951) - *Notes on precision and accuracy of optic angle determination with the universal stage*, « Am. Min. », 36.
- FINNEY J. J. e BAILEY S. W. (1964) - *Crystal structure of an authigenic maximum microcline*, « Z. Krist. », 119.
- GILBERT C. M. e TURNER F. J. (1949) - *Use of the universal stage in sedimentary petrography*, « Am. Jour. Sci. », 247.
- GLOVER J. E. e HOSEMANN P. (1970) - *Optical data on some authigenic feldspars from Western Australia*, « Min. Mag. », 37.
- GOLDSMITH J. R. e LAVES F. (1954) - *The microcline-sanidine stability relations*, « Geochim. Cosmochim. Acta », 5.
- GYSIN M. (1957) - *Sur l'existence d'« orthoses tricliniques » dans certaines roches de l'Himalaya du Nepal*, « Schweiz. Min. Petr. Mitt. », 37.
- HAGNI R. D. (1966) - *The preparation of thin sections of fragmental materials using epoxy resin*, « Am. Min. », 51.
- HARKER R. I. (1954) - *The occurrence of orthoclase and microcline in the granitic gneisses of the Carn Chuinneag-Inchbae Complex, E. Ross-shire*, « Geol. Mag. », 91.
- HEWLETT C. G. (1959) - *Optical properties of potassic feldspars*, « Bull. Geol. Soc. Am. », 70.
- LAVES F. (1950) - *The lattice and twinning of microcline and other potash feldspars*. « Jour. Geol. », 58.
- LAVES F. (1951 a) - *Artificial preparation of microcline*, « Jour. Geol. », 59.
- LAVES F. (1951 b) - *A revised orientation of microcline and its geometrical relation to albite and cryptoperthites*, « Jour. Geol. », 59.
- LAVES F. (1965) - *The correlation of optics and lattice geometry of microcline*, « Am. Min. », 50.
- LAVES F. e CHAISSON U. (1950) - *An X-ray investigation of the « high »-« low » albite relations*, « Jour. Geol. », 58.
- LAVES F. e VISWANATHAN K. (1967) - *Relations between the optic axial angle and triclinicity of potash feldspars, and their significance for the definition of « stable » and « unstable » states of alkali feldspars*, « Schweiz. Min. Petr. Mitt. », 47.
- MACKENZIE W. S. e SMITH J. V. (1955) - *The alkali feldspars: I. Orthoclase-microperthites*, « Am. Min. », 40.
- MACKENZIE W. S. e SMITH J. V. (1956) - *The alkali feldspars: III. An optical and X-ray study of high-temperature feldspars*, « Am. Min. », 41.

- MARFUNIN A. S. (1959) – *The optics of submicroscopically twinned crystals*, «Doklady Akad. Nauk SSSR», 127 (4) (trad. ingl.).
- MARFUNIN A. S. (1960) – *New optical orientation diagrams for the alkali feldspars*, «Doklady Akad. Nauk SSSR», 133 (4) (trad. ingl.).
- MARFUNIN A. S. (1961 a) – *Optic orientation of potassium and sodium feldspars as a function of various factors*, «Izv. Akad. Nauk SSSR», ser. geol., n. 2 (trad. ingl.).
- MARFUNIN A. S. (1961 b) – *The relation between structure and optical orientation in potash-soda feldspars*, «Cursillos y Conferencias, Inst. 'Lucas Mallada', C.S.I.C. (España)», n. 8.
- MARFUNIN A. S. (1964) – *Some petrological aspects of order-disorder in feldspars*, «Min. Mag.», 33.
- MARFUNIN A. S. (1966) – *The feldspars: phase relations, optical properties, and geological distribution*. Israel Progr. Sci. Transl., Jerusalem, (trad. ingl. ed. russa, 1962).
- MARFUNIN A. S., BERSHOV L. V., MEILMAN M. L. e MICHOUILLER J. (1967) – *Paramagnetic resonance of Fe³⁺ in some feldspars*, «Schweiz. Min. Petr. Mitt.», 47.
- MUIR I. D. (1962) – *The paragenesis and optical properties of some ternary feldspars*. «Norsk Geol. Tidsskr.», 42, Feldspar vol.
- MUNRO M. (1963) – *Errors in the measurement of 2V with the universal stage*, «Am. Min.», 48.
- MUNRO M. (1964) – *Reply to comment on «Errors in the measurement of 2V with the universal stage»*, «Am. Min.», 49.
- NIKITIN W. W. (1933) – *Korrekturen und Vervollständigungen der Diagramme zur Bestimmung der Feldspate nach Fedorows Methode*, «Min. Petr. Mitt.», 44.
- ORVILLE P. M. (1967) – *Unit-cell parameters of the microcline-low albite and the sanidine-high albite solid solution series*, «Am. Min.», 52.
- PHILIPSBORN H. V. e HODENBERG R. FREIHN V. (1959) – *Der Universaldrehtisch als Instrument zum Vermessen sehr kleiner Kristalle (8–10 μ)*, «Z. Krist.», III.
- RANKIN D. W. (1967) *Axial angle determinations in Orville's microcline-low albite solid solution series*, «Am. Min.», 52.
- SMITH J. V. (1970) – *Physical properties of order-disorder structures with especial reference to feldspar minerals*, «Lithos», 3.
- SPENCER E. (1937) – *The potash-soda-feldspars. I. Thermal stability*, «Min. Mag.», 24.
- THOREZ J. e MICHOT J. JR. (1964) – *L'orthose ferrifère de Vedrin*, «Ann. Soc. Géol. Belgique», 86 (10), 1962–1963.
- TOBI A. C. (1964) – *Comment on «Errors in the measurement of 2V with the universal stage» by M. Munro*, «Am. Min.», 49.
- TRÖGER W. E. (1959) – *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil I. Bestimmungstabellen*. 3^a ed., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- TUTTLE O. F. (1952) – *Optical studies on alkali feldspars*, «Am. Jour. Sci.», Bowen vol..
- WINCHELL A. N. e WINCHELL H. (1951) – *Elements of optical mineralogy. An introduction to microscopic petrography. Part II. Descriptions of minerals*. 4^a ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- WONES D. R. e APPLEMAN D. E. (1963) – *Properties of synthetic triclinic KFeSi₃O₈, iron-microcline, with some observations on the iron-microcline \leftrightarrow iron-sanidine transition*, «Jour. Petrol.», 4.
- WONES D. R., TATLOCK D. B. e LIMBACH D. V. (1967) – *Coexisting orthoclase and microcline in altered volcanic rocks, West Humboldt Range, Pershing County, Nevada*, «Schweiz. Min. Petr. Mitt.», 47.
- WRIGHT T. L. (1964) – *The alkali feldspars of the Tatoosh Pluton in Mount Rainier National Park*, «Am. Min.», 49.
- WRIGHT T. L. e STEWART D. B. (1968) – *X-ray and optical study of alkali feldspar: I. Determination of composition and structural state from refined unit-cell parameters and 2V*, «Am. Min.», 53.
- WYLLIE P. J. (1959) – *Discrepancies between optic angles of olivines measured over different bisectrices*, «Am. Min.», 44.