

MARCO FRANZINI (*)

PROGRESSI E SVILUPPI
DELLA DETERMINAZIONE DEI FELDISPATI
AI FINI PETROGRAFICI

Premessa.

E' scopo di queste pagine fornire una revisione aggiornata di quelli che sono i metodi di determinazione, cioè di valutazione della composizione e delle più importanti caratteristiche strutturali dei feldispati, che possono interessare il petrografo. Come limite di questa discussione poniamo la considerazione che intendiamo come metodi di interesse petrografico soltanto quelli che per tipo di attrezzatura e per tempi di misura di dati siano applicabili generalmente alla misura di un notevole numero di individui feldispatici.

Prima di entrare nel merito dell'argomento mi sembra opportuno sviluppare preliminarmente alcuni concetti, che potremmo definire inerenti alla filosofia della impostazione della ricerca petrografica, che sembrano emergere chiaramente dalla bibliografia più recente.

Un primo concetto fondamentale è che la ricerca petrografica, soprattutto nel campo delle rocce magmatiche, si sta spostando sempre più dalla descrizione e classificazione delle rocce allo studio delle condizioni di genesi dei magmi dal cui consolidamento dette rocce si sono formate. In questa prospettiva assume preponderante importanza la determinazione della composizione chimica dei feldispati, con limiti di precisione, anche e soprattutto nei riguardi degli elementi che non sono costituenti maggiori (comprendendo in questi ad es. anche il K nei plagioclas) che difficilmente sono raggiungibili con i classici metodi ottici o a raggi X. Questa necessità, e lo sviluppo di nuove apparecchiature, ha portato ad una notevole diffusione, nello studio delle rocce, delle tecniche basate sulla emissione di raggi X, ed in particolare della microsonda elettronica.

(*) Istituto di Mineralogia e Petrografia - Università di Pisa.

Per mancanza di esperienza personale, ma anche perché ritengo la trattazione di queste tecniche in un certo senso fuori del tema che mi sono prefisso, non tratterò assolutamente delle applicazioni della microsonda allo studio dei feldispati; è certo tuttavia che questa tecnica deve essere tenuta nella debita considerazione anche perché esistono casi, quali ad es. la presenza di microliti plagioclasici di dimensioni assai piccole, che non possono proficuamente essere affrontati con altre metodologie.

Un secondo concetto è che, nonostante il rapidissimo progresso delle ricerche geochimiche e cristallografiche sui feldispati, e lo spostarsi quindi anche degli interessi petrografici nell'esame di questo gruppo di minerali, resta pur sempre vero che i feldispati sono i minerali di gran lunga più diffusi sulla crosta terrestre e che pertanto una loro accurata determinazione rappresenta una base imprescindibile per la classificazione delle rocce.

E pertanto, nonostante la premessa iniziale, penso che una puntualizzazione sullo stato attuale dei metodi determinativi, che definirei classici, possa avere ancora una certa importanza.

Prima di procedere ulteriormente vorrei tuttavia svolgere ancora alcune considerazioni. Da quanto detto risulta chiaro che è mia intenzione soffermarmi quasi esclusivamente sui metodi determinativi basati sulla valutazione delle costanti ottiche e sulla diffrazione dei raggi X. Metodologie di questo tipo, e particolarmente quelle ottiche, hanno una lunga tradizione e sono pertanto giunte ad un elevato grado di raffinatezza e precisione, tanto che si può ritenere che ben poco si possa fare per migliorarle se si vogliono escludere gli studi, sempre necessari, che tendono a perfezionare i valori di base delle costanti ottiche e strutturali.

Una seconda considerazione emerge non solo dalla bibliografia specifica relativa ai feldispati ma dall'insieme delle ricerche mineralogiche dell'ultimo ventennio che hanno utilizzato metodi determinativi basati sulla misura di costanti fisiche.

Tutti i metodi determinativi fisici, a qualsiasi gruppo di minerali siano applicati, godono di una limitazione fondamentale conseguente al fatto che la loro validità è generalmente assicurata purché siano rispettate alcune condizioni limite, generalmente semplificative e spesso assai restrittive rispetto alla varietà delle realtà naturali, nei riguardi o della composizione o dello stato strutturale dei minerali esaminati.

Dette condizioni limite non sono generalmente verificabili dallo sperimentatore, o per lo meno non sono verificabili direttamente attraverso lo stesso metodo determinativo fisico che il ricercatore intende utilizzare.

Per chiarire con un esempio è ben noto che la quantità di forsterite in una olivina può essere determinata attraverso la misura degli indici di rifrazione o del 2V. Questa determinazione è piuttosto precisa, ma è valida purché l'olivina sia priva di manganese. Ora il punto delicato della situazione è che attraverso la sola misura dell'indice di rifrazione o dell'angolo degli assi ottici il ricercatore non si può accorgere che la propria olivina contiene manganese. La conclusione è evidentemente che i metodi fisici possono e devono essere utilizzati purché preceduti da un attento esame critico dei campioni da studiare. Questo concetto piuttosto logico è andato precisandosi in forma chiara soltanto in tempi relativamente recenti come è testimoniato dal fatto che l'uso indiscriminato dei metodi fisici ha portato spesso, nella letteratura mineralogica e petrografica, a determinazioni talvolta assurde.

Tornando al campo dei feldispati, per questi minerali, assai più studiati di altri gruppi e per i quali si ricorre usualmente alla misura di molti parametri fisici indipendenti, la situazione è forse meno critica: non si deve tuttavia trascurare il fatto che le più recenti acquisizioni, quali ad esempio l'esistenza di plagioclasì non stechiometrici, od i fenomeni di sinneusi, ci devono sempre rendere molto cauti nella applicazione dei metodi determinativi fisici e nell'interpretazione dei risultati conseguiti.

Sulla base di quanto premesso, e nella coscienza della impossibilità di coprire in modo esauriente l'ampio soggetto argomento di questa discussione, esamineremo qui di seguito alcuni aspetti del problema, a mio giudizio particolarmente interessanti.

Determinazione della composizione e dello stato strutturale dei feldispati.

Nonostante che nella letteratura (si veda ad es. il volume di Barth del 1969) siano stati suggeriti, nell'intervallo di tempo più che secolare dedicato allo studio dei feldispati con particolare riguardo alla determinazione della composizione, metodi basati sulla misura delle

più disparate proprietà fisiche, quali ad es. la durezza od il peso specifico, è ovvio che ai fini pratici hanno interesse quasi esclusivamente i metodi basati sulla misura delle proprietà ottiche o sulla diffrattometria dei raggi X. La misura di altre proprietà fisiche può certamente portare a dati di uguale attendibilità, resta tuttavia provato che usualmente l'attrezzatura di un laboratorio petrografico comprende le apparecchiature ottiche e a raggi X, mentre più raramente è completato da altre attrezzature di tipo specialistico.

I metodi ottici e diffrattometrici di determinazione dei feldispati sono abbastanza noti e perfezionati perché valga la spesa di insistere ulteriormente su tali metodi in questa sede. Sarà sufficiente citare la memoria di Burri, Parker e Wenk (1967) relativa alle possibilità dei metodi ottici nei plagioclasii, il lavoro di Wright e Stewart (1968) sulla determinazione della composizione e dello stato strutturale dei feldispati alcalini, i dati di Bambauer e al. (1967) per la determinazione dei plagioclasii in spettro di polvere.

Sono questi soltanto degli esempi che tuttavia mettono chiaramente in luce il notevole grado di perfezione che si può raggiungere nella determinazione dei feldispati ai fini petrografici associando i metodi ottici con quelli a raggi X.

Al di là di quelli che sono i metodi determinativi sono tuttavia emersi nella letteratura più recente alcuni fatti, strettamente connessi con i problemi relativi alla interpretazione dei dati, che richiedono più attenta considerazione.

Il problema fondamentale risiede nel fatto che mentre per i feldispati di ambienti genetici chiaramente definiti, quali quelli appartenenti a rocce magmatiche intrusive, a rocce vulcaniche o a rocce di metamorfismo regionale, cioè per quei feldispati che possiamo immaginare cresciuti lentamente in equilibrio con le condizioni chimico fisiche del loro ambiente di cristallizzazione, si riscontra usualmente un ottimo accordo fra le caratteristiche, composizionali e strutturali, determinate otticamente ed ai raggi X, per altri feldispati, quali ad esempio quelli neogenici delle rocce sedimentarie o quelli di alcune rocce filoniane, non sempre i dati ottici e quelli a raggi X sono tra loro coerenti. Questa distinzione che io pongo a livello petrografico, cioè a livello di tipi di rocce contenenti feldispati, è strettamente legata alla distinzione introdotta da Laves nel 1960, e ripresa, fra altri, da Bambauer e al. nel 1967, fra stati strutturali stabili e instabili. Ad es. i feldispati neogenici a stato strutturale intermedio o di A.T.

realizzano stati strutturali instabili. Proprio l'esistenza di stati strutturali intermedi e « instabili » nel senso di Laves, preclude la possibilità di attribuire un significato assoluto alle determinazioni ottiche e diffrattometriche che portino a concludere che un determinato feldispato è di stato strutturale intermedio.

In altre parole non hanno significato, certamente allo stato attuale delle conoscenze e prescindendo dalle osservazioni che si possono eseguire su spettri di cristallo singolo, le suddivisioni quantitative, espresse come per cento di ordine e di disordine, quali quelle proposte da Slemmons nel 1962. Ma tornando alla discrepanza che si osserva talvolta fra dati ottici e diffrattometrici, questo fenomeno si osserva più frequentemente nei feldispati di stato strutturale intermedio, cioè proprio in quelli nei quali la determinazione è più significativa.

E' opportuno infatti notare per inciso che ai fini petrografici, soprattutto per quanto riguarda i plagioclasì, la determinazione dello stato strutturale è di norma inutile in rocce francamente vulcaniche, o francamente intrusive o metamorfiche, tenuto conto che i dati accumulati nella letteratura degli anni più recenti consentono di accettare a priori con sicurezza uno degli stati termici estremi in funzione del tipo di roccia.

Dal punto di vista teorico la discrepanza tra i dati ottici e quelli a raggi X, si deve tipicamente imputare al fatto che mentre gli stati strutturali estremi di ordine o di disordine completo hanno un significato, anche strutturistico, ben definito, gli stati intermedi di parziale disordine possono essere di tipo assai diverso e, nella loro infinita varietà, schematizzabili almeno nelle due grandi classi di stati di disordine a breve distanza e di stati di disordine a lunga distanza.

Ovviamente questi diversi stati strutturali intermedi sono legati a condizioni genetiche diverse. Come esempio tipico possiamo citare i differenti tipi di disordine che si riscontrano in un feldispato di origine magmatica in conseguenze di particolari modalità di raffreddamento e in un feldispato neogenico in conseguenza della velocità di accrescimento elevata, almeno in confronto alle basse temperature prevalenti durante la diagenesi.

Il fatto stesso che si possa parlare di diversi stati intermedi è di enorme importanza petrografica: purtroppo il loro studio sperimentale in campioni naturali può essere proficuamente affrontato soltanto con i metodi della cristallografia strutturale, cioè con metodi che ben raramente possono essere applicati alla ricerca petrografica.

I metodi ottici e diffrattometrici su polveri, per la loro natura, permettono di individuare due soli parametri indipendenti, e cioè composizione e stato strutturale medio, e non certamente i molti parametri necessari a distinguere tipi diversi di disordine.

A questo punto è necessario osservare che i diversi metodi determinativi a raggi X proposti nella letteratura, utilizzano in effetti soltanto una parte minima delle informazioni contenute in uno spettro di polveri. Infatti per lo più ci si limita a considerare la posizione di due o tre picchi caratteristici; al massimo si utilizza lo spettro di polveri per ricavare le costanti reticolari. Ma in realtà uno spettro di polveri contiene un numero assai maggiore di informazioni, quando si considerino la posizione e la forma di tutti i picchi registrati. Così ad esempio, per mia esperienza, le albiti delle vene dei marmi di Carrara, non solo non trovano un buon inquadramento, sia per quanto riguarda la composizione sia per lo stato termico, utilizzando uno qualsiasi dei metodi determinativi classici, ma anche presentano uno spettro di polveri il cui aspetto generale non somiglia minimamente a quelli riportati in letteratura per le albiti sia di alta che di bassa temperatura. La difficoltà è che evidentemente è difficile correlare l'« aspetto » di uno spettro di polveri con le caratteristiche composizionali e strutturali del campione esaminato. Tuttavia, anche se per ora niente è stato fatto ai fini determinativi di interesse petrografico, una notevole speranza è offerta dagli studi condotti in questi ultimi anni da Borg e Smith (1969). Questi autori hanno infatti messo a punto dei metodi di calcolo che consentono, data la struttura cristallina, di generare degli spettri di polvere perfettamente identici a quelli ottenibili sperimentalmente ma dei quali, per i metodi di calcolo utilizzati, si conosce punto per punto il contributo dato dai singoli parametri strutturali.

Dato che sono ormai perfettamente note le strutture di molti feldispati di diversa composizione e diverso stato strutturale, il metodo di Borg e Smith consentirà di preparare una serie di spettri di polvere per i feldispati che potranno essere proficuamente confrontati con quelli di campioni ignoti fornendo probabilmente informazioni assai più dettagliate di quelle ottenibili dalla posizione di pochi picchi.

Ma per tornare ad un discorso più strettamente legato alle metodologie determinative, occorre ancora precisare che, per i feldispati di stato termico intermedio, esiste una ulteriore difficoltà. Infatti come è noto sia i parametri ottici che quelli a raggi X sono sensibili contemporaneamente sia alle condizioni strutturali, sia alla composizione.

Concedendo per scontato che quando si osservi una concordanza

fra i dati ottici e quelli a raggi X (e ricordiamo che questa concordanza si osserva più frequentemente per i feldspati di origine magmatica, cioè per quei feldspati che più sono noti e sui quali di norma sono costruiti i diagrammi determinativi) si possa giungere ad una valutazione, teoricamente giustificata, della composizione e dello stato termico, ogni volta che detta concordanza non si verifichi nulla di preciso potrà concludersi sul campione in esame.

E' evidente che la sola misura ottica, o la sola misura a raggi X è sempre, o quasi sempre, autoconsistente e potrà quindi essere utilizzata soltanto dopo che una attenta critica del campione da esaminare dia sufficiente garanzia sull'applicabilità di un solo tipo di misura.

Per evitare le difficoltà ora accennate sarebbe necessario disporre di metodi che consentano la valutazione indipendente della composizione e dello stato strutturale.

Non esistono parametri dipendenti esclusivamente dallo stato strutturale, è tuttavia possibile determinare la composizione chimica dei feldspati a prescindere dal loro stato termico. A parte l'uso della microsonda o di metodi chimici in genere, esistono infatti misure fisiche correlate praticamente alla sola composizione.

Nella serie dei plagioclasii gli indici di rifrazione principali, ma anche quelli relativi alle lamine di sfaldatura, ed in particolare alle lamine (001), dipendono secondo le misure di Smith (1958) quasi esclusivamente dalla composizione, avendosi fra le serie di A.T. e quella di B.T., differenze che, espresse in contenuto di An, sono inferiori all'1% su tutto il campo di variabilità.

A questo riguardo è opportuno notare che Morse nel 1968, riprendendo dei lavori di Tsuboi degli anni venti, ha messo a punto un metodo basato sulla misura dell'indice di rifrazione dei plagioclasii a temperatura costante e con variazione della lunghezza d'onda della luce, che è particolarmente raccomandabile e per precisione di determinazione e per velocità di misura. Nota la composizione, l'orientazione dell'indicatrice ottica, il 2V, lo spettro di polveri, eccetera, forniranno notizie assai attendibili sullo stato strutturale del plagioclasio.

Per quanto riguarda i feldspati alcalini, la composizione globale può essere ricavata, indipendentemente dallo stato termico, con il ben noto metodo di misura in spettro di polvere dopo omogeneizzazione a temperatura sufficientemente elevata.

La composizione così accertata potrà essere sempre confrontata con quella ricavata, contemporaneamente allo stato strutturale, con il metodo proposto da Wright e Stewart nel 1968.

Per i feldispati alcalini i problemi sono tuttavia ulteriormente complicati dal fatto che, in un opportuno campo di composizione, i cambiamenti di stato strutturale sono accompagnati dai fenomeni di smescolamento di due fasi. La composizione delle due fasi coesistenti in una pertite, o in una antipertite è un dato di notevolissimo interesse petrografico; tale composizione potrà essere misurata indipendentemente dallo stato strutturale, soltanto attraverso l'uso della microsonda.

Per concludere quanto osservato sulle possibili discrepanze tra dati ottici e a raggi X, vorrei citare i risultati ottenuti da Wenk nel 1969 riscaldando, ad alta pressione, 5-15 kbar, un oligoclasio.

Questo ricercatore, utilizzando cristalli di grosse dimensioni, ha operato in modo che durante il riscaldamento si creasse un gradiente di temperatura all'interno del cristallo (la differenza di temperatura all'interno del cristallo è di 200 gradi). Prima del riscaldamento l'oligoclasio aveva comportamento strutturale di B.T. sia per i parametri ottici sia per quelli a raggi X. Dopo il riscaldamento il cristallo risulta otticamente diviso in due porzioni nettamente distinte, con zona di transizione praticamente inesistente, una con ottica di A.T. verso l'estremità calda e una con ottica di B.T. verso l'estremità fredda. L'inversione corrisponde ad una temperatura di 840°. Ai raggi X il cristallo risulta invece omogeneo con stato strutturale di A.T.

Un'altra osservazione di notevole importanza soprattutto nei riguardi delle misure diffrattometriche a raggi X, deriva dalle osservazioni compiute da Vogel nel 1964.

Questo autore ripetendo numerosissime misure, esclusivamente ottiche, sui plagioclasidi di numerosi campioni di rocce magmatiche di tipo diverso, conclude che in questi minerali esiste, all'interno di uno stesso campione, una variazione dell'orientazione dell'indicatrice ottica tra cristallo e cristallo. Secondo Vogel questo fenomeno presenta due caratteristiche:

Primo: la variazione di orientazione dell'indicatrice ottica può corrispondere a variazioni di composizione o a variazioni di stato strutturale.

Secondo: variazioni di composizione si osservano in tutti i tipi di rocce, e questo è abbastanza ovvio. Più sorprendente è il fatto che variazioni di stato strutturale sono assenti nei plagioclasidi delle rocce vulcaniche e metamorfiche, mentre sono tipici delle rocce a struttura granulare.

In alcuni casi estremi la variazione di stato strutturale osservata su cristalli diversi di una stessa roccia coprirebbe l'intero intervallo fra la bassa temperatura e l'alta temperatura.

Secondo la mia esperienza personale i dati di Vogel devono essere considerati con estrema cautela a causa della ormai dimostrata esistenza dei fenomeni di sinneusi, fenomeni dei quali si discuterà più ampiamente nel seguito. Se tuttavia quanto osservato da Vogel corrisponde effettivamente ad una situazione reale delle rocce a struttura granulare, è ovvio che per queste rocce la determinazione dello stato termico dei plagioclasti in spettro di polvere è assai poco significativa. Esaminando infatti in spettro di polveri una popolazione di cristalli di diverso stato termico, non è affatto sicuro che lo stato termico che si ricava da tali misure rappresenti una media dei diversi stati termici presenti nel campione.

Analoga osservazione possiamo fare per quanto riguarda la determinazione della composizione, in spettro di polveri, dei plagioclasti zonati.

Secondo i recenti dati di Alberti (1970) infatti, la dispersione della composizione chimica dei granuli costituenti una polvere da analizzare a raggi X non si riflette linearmente sulla posizione dei picchi utilizzati per la stima della composizione. In effetti Alberti ha studiato il caso della determinazione delle olivine, nelle quali i due termini di miscela presentano assorbimento dei raggi X assai diverso. Per i plagioclasti le differenze di assorbimento fra albite e anortite sono evidentemente assai inferiori. Tuttavia le dispersioni di composizione chimica assunte da questo Autore come realistiche nel caso delle olivine, sono certamente assai più piccole di quelle comunemente osservate per i plagioclasti. Per questi minerali infatti non è raro ritrovare, in un solo campione, differenze di composizione dell'ordine del 30 o 40% in An. In casi di questo genere i dati a raggi X sono probabilmente del tutto privi di significato ai fini della determinazione della composizione; non è possibile cioè né stimare l'intervallo di composizione dei plagioclasti presenti in una certa roccia, né la loro composizione media.

I metodi ottici sono quindi da preferire per lo studio dei plagioclasti fortemente zonati, in quanto per lo meno consentono di determinare l'intervallo di composizione.

I metodi ottici, in sezione sottile, sono invece anche loro incapaci di fornire una stima della composizione media. Per ottenere una tale valutazione sarebbe infatti necessario determinare i volumi corrispon-

denti alle diverse composizioni; tale determinazione, salvo casi particolarissimi, si può considerare inattuabile.

Numerose analisi puntuali eseguite alla microsonda elettronica, se condotte con una giusta strategia, potrebbero portare alla determinazione della composizione media dei plagioclasti zonati. Esiste tuttavia una metodologia assai più semplice la quale, con modestissime attrezzature porta a risultati assai attendibili.

Infatti praticamente l'unico modo sicuro di determinare la composizione media dei plagioclasti zonati di una roccia, consiste nella misura dell'indice di rifrazione del vetro ottenuto per fusione del minerale separato dalla roccia (Foster 1955; Dawson e Maxwell, 1958).

Finalmente vorrei svolgere un'ultima considerazione relativa non tanto alle difficoltà di applicazione dei metodi ottici e diffrattometrici, quanto legate ad una osservazione che avevo fatto inizialmente, e precisamente al fatto che la massima parte delle volte lo stato termico del feldispato può essere assunto come noto in relazione alle caratteristiche della roccia esaminata.

Una particolare attenzione va rivolta ad alcune rocce metamorfiche, metavulcaniche, nelle quali possono esistere feldispati relitti. Non ho conoscenza di dati relativi ai feldispati alcalini in questo particolare tipo di giacitura. Esistono tuttavia dati abbastanza numerosi relativi ai plagioclasti.

Secondo le ricerche di Noble, come anche secondo i dati più recenti di Vogel e Spencer (1969), i plagioclasti relitti di rocce vulcaniche, durante il metamorfismo si mantengono inalterati, come stato strutturale e composizione, approssimativamente sino alle condizioni di metamorfismo della facies degli scisti verdi. Aumentando il grado metamorfico si ha passaggio allo stato strutturale ordinato, e soltanto in condizioni di metamorfismo ancora più spinto si ha anche un riequilibrio della composizione chimica. A livello della facies ad anfiboliti si possono trovare plagioclasti relitti che hanno conservato la forma esterna originaria, ma totalmente riequilibrati come stato strutturale e composizione chimica. Questi dati hanno una notevole importanza se non altro perché mettono chiaramente in evidenza come il riordinamento alluminio silicio a breve raggio, in condizioni isochimiche, sia certamente un fenomeno più facile che la diffusione a lungo raggio di alluminio, silicio, calcio, sodio. Hanno inoltre un interesse petrografico notevole perché consentono, insieme ad altri dati, di seguire l'evoluzione del processo metamorfico.

Al termine di questa velocissima rassegna, necessariamente incompleta, di quelli che sono i limiti e le possibilità dei metodi ottici e diffrattometrici nella determinazione della composizione e dello stato strutturale dei feldispati, vorrei concludere osservando ancora una volta come in questo campo i progressi registrati in questi ultimi anni più che ad una rivoluzione nei metodi determinativi hanno portato ad un perfezionamento dei metodi esistenti, ma soprattutto ad una revisione critica dell'interpretazione dei risultati. Ai fini petrografici questo comporta che prima di passare alle analisi di routine su serie di campioni analoghi, è sempre conveniente analizzare preliminarmente alcuni campioni nel modo più completo possibile ai fini di evitare possibili grossi errori.

Determinazione quantitativa del contenuto di feldispati nelle rocce.

Premetto che non vi sono in questo campo grosse novità. Vi sono tuttavia alcuni aspetti che conviene ugualmente illustrare.

Un primo aspetto riguarda lo studio delle rocce metamorfiche nelle quali, in particolari condizioni, più che la determinazione del contenuto di feldispati può addirittura interessare il riconoscimento della presenza di questi minerali. Non è infatti raro il caso che in rocce metamorfiche a grana fine sia impossibile riconoscere la presenza dei feldispati all'indagine microscopica per l'assenza delle geminazioni caratteristiche. E' evidente che in questi casi lo spettro di polveri a raggi X è di grande ausilio.

Un secondo aspetto è direttamente correlato con il problema dell'analisi modale delle rocce. La composizione modale è infatti un dato fondamentale non solo ai fini della classificazione delle rocce ma anche nella soluzione di problemi più delicati quali ad esempio lo studio delle variazioni di facies all'interno di un plutone granitico, variazioni che non sempre risultano chiaramente illustrate dalla sola composizione normativa.

L'analisi modale viene normalmente determinata con le usuali tecniche di integrazione lineare o per punti in sezione sottile. A parte il tempo necessario per queste misure, i limiti più gravi di queste tecniche risiedono nella scarsa rappresentatività di una o più sezioni sottili, specialmente quando si debbano esaminare rocce a grana molto grossa quali ad esempio i gabbri o certe facies granitiche particolari ricche di grossi cristalli di ortose con dimensioni che raggiungono il decimetro. All'altro estremo, cioè per rocce a grana estremamente fine,

ancora le tecniche microscopiche non sono utilizzabili a causa dell'insufficiente risoluzione dello strumento ottico. Il problema è evidentemente particolarmente sentito nel campo delle rocce sedimentarie.

Una soluzione a questi problemi è stata cercata attraverso metodi basati sulla misura della intensità dei picchi in spettro di polvere. Così ad es.: Barberi, Innocenti e Schiaffino hanno messo a punto nel 1963 una metodologia in spettro di polvere che consente la determinazione quantitativa dei feldispati, separando i plagioclasti dall'ortose, e del quarzo nelle rocce magmatiche. Il metodo è stato successivamente esteso (Barberi et al., 1963) anche ad alcuni minerali femici, e pertanto la situazione delle analisi modali si potrebbe considerare risolta. Purtroppo i metodi a raggi X, anche se godono del grande vantaggio di una maggiore rappresentatività della polvere rispetto alla sezione sottile e di essere privi di limitazioni imposte dalle dimensioni della grana, risultano ben poco utilizzati dai petrografi. La ragione di questo disinteresse deve essere cercata nella laboriosità del metodo che richiede innanzitutto la preparazione di una polvere rappresentativa ma soprattutto, a meno che il ricercatore non si contenti di dati di concentrazione relativi a coppie di minerali, richiedono la separazione dei componenti puri della roccia per la preparazione delle rette di taratura.

La mia opinione è che ancora molto si possa fare in questo campo attraverso l'utilizzazione di generatori stabilizzati, e ricorrendo a metodi basati sulla misura dei coefficienti di assorbimento delle polveri, certo è che per ora le tecniche diffrattometriche applicate alle analisi modali non si possono ritenere metodi di routine.

Una ulteriore possibilità di razionalizzazione delle analisi modali è possibile che derivi dalla utilizzazione della microsonda. Questo apparecchio può infatti essere programmato ad identificare i singoli minerali sulla base di uno dei loro elementi costituenti maggiori, e divenire quindi in tal caso uno strumento automatico per l'esecuzione delle analisi modali. Valgono tuttavia, anche in questo caso, le considerazioni svolte sulla rappresentatività delle sezioni sottili.

Osservazioni su alcune caratteristiche morfologiche dei feldispati.

In questo paragrafo verranno descritte alcune caratteristiche, facilmente identificabili, della forma, delle geminazioni, degli smescolamenti dei feldispati che sono di fondamentale ausilio nella ricerca petrografica.

Un primo aspetto riguarda gli smescolamenti pertitici e antipertitici che sono così comuni in molti tipi di rocce e che si possono presentare con così diversi aspetti.

Per quanto riguarda le pertiti vi è un accordo generale sul fatto che nella maggior parte dei casi esse prendano origine da fenomeni di smescolamento in fase solida in funzione delle temperature di formazione dei cristalli e della storia del loro raffreddamento.

Gates nel 1953 ha preso in esame il significato petrogenetico delle pertiti. Classificazioni delle pertiti basate sulle dimensioni, forma ed orientazione delle fasi smescolate sono state proposte da Rudenko nel 1954 e da Tuttle nel 1952. Queste classificazioni hanno chiaramente anche significato genetico, e particolarmente le classi proposte da Tuttle sono correlate con la temperatura di formazione e con la velocità di raffreddamento. L'attribuzione di una pertite ad una delle possibili classi potrà essere ottenuta attraverso l'applicazione di metodi ottici integrati da dati a raggi X per le pertiti submicroscopiche. Per quanto a mia conoscenza comunque ben poco di veramente nuovo è emerso sulle pertiti nel corso degli ultimi anni se si vogliono escludere alcuni dati ottenuti alla microsonda e sui quali si può fare maggiore affidamento che su quelli ricavati da indagini ottiche e a raggi X. Ben diverso è invece il discorso per le antipertiti. Per questi smescolamenti infatti non solo non vi è alcun accordo sulle loro modalità di genesi, ma in questi ultimi anni sono usciti numerosi lavori legati al problema delle antipertiti.

Premesso che relativamente poco o nulla è noto sulle criptoantipertiti, dobbiamo registrare che almeno tre sono le interpretazioni sulla genesi delle antipertiti: per smescolamento durante il raffreddamento, per nucleazione del feldispato potassico su piani di discontinuità del plagioclasio ospite (Vogel, 1970), per metasomatismo potassico. Anche se certamente il metasomatismo potassico non può essere ritenuto spiegazione valida per tutte le antipertiti, non è facile in questo momento propendere per una o l'altra delle altre due ipotesi. Sembra più logico ammettere che ambedue le possibilità possano esistere. A favore della nucleazione dell'ortose sul plagioclasio, che è la più recente delle due ipotesi, è sufficiente citare i dati di Vogel (1970) che ha descritto la formazione di antipertiti in rocce contenenti il 60% di plagioclasio modale e lo 0,7% di potassio totale.

Chiaramente non è questa la sede per discutere il significato e la genesi delle antipertiti, per le quali molti altri problemi oltre quelli

brevemente accennati attendono tuttora una spiegazione, mi basta notare come conclusione che non esiste attualmente una classificazione delle antipertiti, basata su dati ottici o a raggi X, che abbia un interesse petrografico. Lo stesso studio della composizione, ed eventualmente dello stato strutturale delle due fasi coesistenti in una antipertite, sembra che al momento attuale non abbia alcuna correlazione diretta con la soluzione di alcun problema petrografico, se si vuole ovviamente escludere il problema stesso della genesi delle antipertiti.

Un secondo aspetto che desidero discutere è legato al problema dei fenomeni di sinneusi. Il termine sinneusi è stato introdotto da Vogt nel 1921 ed è stato ripreso recentemente nel 1969 da Vance. Con il termine sinneusi si intende il processo per il quale due cristalli liberi in un fuso magmatico, vengono portati vicini, per azione della turbolenza magmatica, ed in seguito uniti in orientazioni cristallografiche parzialmente o totalmente definite.

Dato che sinneusi è un termine che ha significati genetici è fondamentale che tale tipo di relazione fra cristalli possa essere riconosciuta al microscopio. Fortunatamente attraverso i fenomeni di sinneusi si formano aggregati di cristalli con aspetti morfologici tipici, che ne permettono l'identificazione immediata in sezione sottile. La sinneusi ha riflessi importantissimi nello studio delle strutture delle rocce perché implica nella storia di formazione della roccia la presenza, in un certo momento, di una fase liquida nella quale i cristalli potevano muoversi liberamente.

Ma anche applicata al più ristretto campo dei feldispati la sinneusi ha un notevole interesse. Nei feldispati la sinneusi può svilupparsi tra cristalli della stessa specie, ad es. plagioclasì con plagioclasì, o tra feldispati differenti.

Un caso tipico di sinneusi fra ortose e plagioclasì si ha nei già citati grossi cristalli di ortose, di aspetto macroscopicamente idiomorfo, caratteristici di alcune facies granitiche.

All'interno dei cristalli di ortose sono infatti contenuti numerosi individui plagioclasici, nella maggioranza dei casi totalmente isoorientati con l'ortose. Da una serie di misure eseguite da Orlandi (1971) su cristalloni di ortose del granito dell'Isola d'Elba risulta infatti che non solo ortose e plagioclasì hanno a comune il piano (010) ma anche, quasi sempre, si ha il parallelismo degli assi z dei due minerali.

Da un punto di vista determinativo più interessanti ancora sono le associazioni fra cristalli di plagioclasio. Queste associazioni possono

al solito essere riconosciute attraverso l'esame della morfologia dei cristalli. Mentre tuttavia i fenomeni di sinneusi fra cristalli di specie differenti sono assai facilmente identificabili, le unioni per sinneusi fra cristalli di una stessa specie sono constatabili con maggiore difficoltà. Nel caso specifico dei plagioclasì l'unione per sinneusi è immediatamente identificabile in cristalli zonati in quanto si osserva un piano di unione attraverso il quale non si ha corrispondenza delle zonature. Se tuttavia i cristalli non sono zonati, o lo sono molto poco, o presentano una zonatura continua e progressiva, può essere oggettivamente difficile identificare la sinneusi, dato che altri elementi morfologici caratteristici della sinneusi, quali la forma esterna o la presenza di angoli rientranti, possono, a stretto rigore, essere messi in dubbio.

Dato che tuttavia almeno nei cristalli zonati non possono restare ragionevoli dubbi sull'esistenza della sinneusi, daremo per scontata la realtà di questo fenomeno, e ne esamineremo le conseguenze soprattutto dal punto di vista determinativo che è quello che più ci interessa.

Per definizione l'associazione per sinneusi di due individui della stessa specie e, nel nostro caso, di plagioclasio avviene sempre secondo orientazioni ben definite, che possono essere di isorientazione oppure corrispondere ad una delle possibili leggi di geminazione. Sulla base della esperienza acquisita esaminando sotto questo aspetto numerose sezioni della granodiorite dell'Isola d'Elba, sembra che l'orientazione più frequente delle associazioni per sinneusi corrisponda all'isorientazione o alla legge di geminazione Carlsbad. E' tuttavia possibile che, per il carattere polisintetico della geminazione albite, le unioni per sinneusi secondo questa legge siano meno facilmente identificabili e sembrano quindi meno comuni di quanto sia la realtà.

Ora il fatto che un grande numero delle associazioni Carlsbad sia in realtà da ricondursi a fenomeni di sinneusi deve rendere particolarmente cauti nella determinazione dei plagioclasì, soprattutto ricordando che i più accurati metodi ottici sono basati proprio sulla misura di geminati Albite-Carlsbad. E' evidente che se la geminazione Carlsbad non è di accrescimento, ma legata alla sinneusi, si rischia di misurare le estinzioni, o le orientazioni dell'indicatrice ottica, su individui dei quali non è garantita l'uguaglianza di composizione chimica. Una tale misura è quindi in errore, e la ripetizione di più misure su cristalli diversi di uno stesso campione, può generare quei fenomeni di dispersione delle proprietà ottiche tra cristalli diversi osservato da Vogel ed al quale abbiamo già fatto cenno.

Misure eseguite su geminati Albite-Carlsbad chiaramente sinneutici, sempre su sezioni della granodiorite dell'Isola d'Elba, hanno infatti generato una serie di dati interpretabili come conseguenti a variazioni dello stato strutturale tra cristalli diversi di una stessa sezione o addirittura tra punti diversi di uno stesso cristallo. Fra l'altro è opportuno osservare che alcune di tali misure cadono al di fuori del campo di variabilità ammesso fra gli stati strutturali estremi, ed è quindi facile accorgersi che non sono attendibili, ma molte cadono all'interno dal campo di variabilità consentito portando alla identificazione di stati strutturali intermedi. Tutte le misure più sicure eseguite sulla granodiorite dell'Isola d'Elba concordano invece nell'indicare uno stato termico di bassa temperatura.

Per la loro natura i fenomeni di sinneusi hanno maggior probabilità di verificarsi nelle rocce che con termine generico indicherò come a struttura granulare, mentre sono probabilmente più rari nelle rocce vulcaniche e con ogni probabilità assenti nelle rocce metamorfiche, purché non si abbiano plagioclasti relitti.

Questo conduce a formulare un'ipotesi, forse avventata ma la cui validità andrebbe accuratamente vagliata, che gli stati strutturali intermedi dei plagioclasti, che si rinvencono proprio nelle rocce a struttura granulare, siano assai meno frequenti di quanto appaia dalla letteratura. Allo stato attuale delle conoscenze sembra comunque indispensabile che, prima di poter affermare che un plagioclasto è di stato strutturale intermedio, sia necessario ricorrere a misure che siano indipendenti dai fenomeni di sinneusi quali la misura dell'angolo degli assi ottici o l'analisi in spettro di polvere.

Un terzo aspetto infine relativo alle caratteristiche morfologiche è legato all'esame dei tipi di geminazione e del loro aspetto.

E' questo un argomento che presenta interesse quasi esclusivamente per i plagioclasti dato che la simmetria triclinica concede per questi un numero di possibilità di geminazione assai elevato.

A parte l'ovvia considerazione che l'identificazione della legge di geminazione è basilare per ogni determinazione basata sull'orientazione della indicatrice ottica, i geminati sono stati studiati sotto aspetti molto diversi in vista di problemi petrografici molto diversi.

Un primo aspetto riguarda l'annosa discussione se i geminati, o almeno alcuni geminati quali quelli secondo le leggi dell'albite e del periclino, sono primari, cioè di accrescimento, o secondari, cioè conse-

guenti ad azioni meccaniche. Questo aspetto è stato trattato in modo approfondito da Vance (1961) al quale rimandiamo per ulteriori notizie.

Starkey nel 1967 ha preso in esame la posizione della sezione rombica, piano di unione del geminato periclino, e la obliquità della geminazione albite cioè l'angolo fra l'asse y e la perpendicolare al piano (010). Nonostante gravi inesattezze cristallografiche, i dati di questo Autore possono essere di grande aiuto, soprattutto nei riguardi della geminazione periclino. Viene infatti dimostrato che la posizione della sezione rombica, almeno per i plagioclasti più acidi, è notevolmente sensibile allo stato strutturale del plagioclasio. La determinazione dell'angolo fra la sezione rombica ed il piano (001) consente pertanto di trarre delle deduzioni sullo stato strutturale del plagioclasio nel momento in cui il geminato si formava (nell'ipotesi che si tratti di un geminato di accrescimento). Questo dato può essere utile per seguire sia la storia di raffreddamento di una roccia, od anche l'aumentare del grado di disordine di un feldispato sottoposto a condizioni di temperatura crescente.

L'unica osservazione che si può fare a questo proposito è che l'Autore riporta soltanto posizioni della sezione rombica calcolate dai parametri e non misurate sperimentalmente, forse anche a causa della difficoltà di misurare l'angolo fra sezione rombica e piano (001). Comunque non è garantito che il periclino sia ossequiente alle leggi e realizzi proprio il piano di associazione che la composizione e lo stato strutturale gli suggeriscono nel momento in cui si forma.

I geminati dei plagioclasti sono inoltre stati studiati nella loro distribuzione di frequenza in funzione del tipo di roccia in cui si formano ed ovviamente della composizione. A parte il tempo necessario ad eseguire una statistica dei tipi di geminazione è ben noto che questi dati sono ben poco utili nello studio delle rocce magmatiche e metamorfiche. Nel campo delle rocce sedimentarie detritiche tuttavia la frequenza delle geminazioni può essere talvolta l'unico criterio utile per stabilire la provenienza dei plagioclasti. Di notevole importanza sono quindi i dati di Pittmann del 1962 e del 1969.

Come contributo personale vorrei solamente ricordare a questo proposito che i geminati de La Roc Tournè ben formati sono caratteristici esclusivamente delle albiti neogeniche.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTI A. (1970) - *Variation in diffractometer profiles of powder with a gaussian dispersion of the chemical composition*. Amer. Mineral., 55, 1772-1779.
- BAMBAUER H. U., CORLETT M., EBERHARD E., VISWANATHAN K. (1967) - *Diagrams for the determination of plagioclases using X-ray powder methods. (Part. III of laboratory investigations on plagioclases)*. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 47, 333-349.
- BAMBAUER H. U., EBERHARD E., VISWANATHAN K. (1967) - *The lattice constants and related parameters of « plagioclases (low) »*. (Part IV of laboratory investigations on plagioclases). Schweiz. Min. Petr. Mitt., 47, 351-364.
- BARBERI F., INNOCENTI F., SCHIAFFINO L. (1963) - *L'analisi mineralogica a raggi X delle rocce magmatiche. I. - La determinazione quantitativa dei feldispati e del quarzo*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 70, 1-14.
- BARBERI F., INNOCENTI F., SCHIAFFINO L. (1963) - *L'analisi mineralogica a raggi X delle rocce magmatiche. II. - La determinazione quantitativa di biotite ed anfiboli*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 70, 99-109.
- BARTH T. F. W. (1969) - *Feldspars*. Wiley Interscience, London.
- BORG I. Y., SMITH D. K. (1969) - *Calculated powder patterns: Part II. Six potassium feldspars and barium feldspars*. Amer. Mineral., 54, 163-181.
- BURRI C., PARKER R. L., WENK E. (1967) - *Die optische orientierung der Plagioklase*. Birkhäuser, Basel.
- DAWSON K. R., MAXWELL J. A. (1958) - *Possible loss of sodium and potassium during fusion of plagioclase feldspars*. Canad. Min., 6, 288.
- FOSTER W. R. (1955) - *Simple method for the determination of the plagioclase feldspars*. Amer. Mineral., 40, 179.
- GATES R. M. (1953) - *Petrogenic significance of perthite*. Geol. Soc. Amer., Mem., 52, 55-69.
- LAVES F. (1960) - *Al/Si Verteilungen, Phasen-Transformationen und Namen der Alkalifeldspate*. Zeits. Krist., 113, 265-296.
- MORSE S. A. (1968) - *Revised dispersion method for low plagioclase*. Amer. Mineral., 53, 105-115.
- ORLANDI P. (1971) - *I feldispati della granodiorite dell' Isola d'Elba*. Tesi di laurea, Univ. Pisa.
- PITTMANN E. D. (1962) - *Plagioclase feldspar as an indicator of provenance in sedimentary rocks*. Ph. D. Diss. Univ. Calif., Los Angeles.
- PITTMANN E. D. (1969) - *Twin laws and composition of plagioclase feldspar in tuffs*. Amer. Mineral., 54, 963-965.
- RUDENKO S. A. (1954) - *A morphological genetic classification of perthitic intergrowths*. Zap. Vses. Mineral. Obsh., 83, 1.
- SLEMMONS D. B. (1962) - *Determination of volcanic and plutonic plagioclases using a three- or four-axis universal stage*. Geol. Soc. Amer. S. P. 69, 1-64.
- SMITH J. R. (1958) - *The optical properties of heated plagioclases*. Amer. Mineral., 43, 1179-1194.

- STARKEY J. (1967) - *On the relationship of pericline and albite twinning to the composition and structural state of plagioclase feldspars*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 47, 257-268.
- TUTTLE O. F. (1952) - *Optical studies on alkali feldspars*. Amer. Journ. Sci., Bowen Vol.
- VANCE J. A. (1961) - *Polysynthetic twinning in plagioclase*. Amer. Mineral., 46, 1097-1119.
- VANCE J. A. (1969) - *On synneusis*. Contr. Min. Petr., 24, 7-29.
- VOGEL T. A. (1964) - *Optical-crystallographic scatter in plagioclase*. Amer. Mineral., 49, 614-633.
- VOGEL T. A. (1970) - *The origin of some anthiperthites; a model based on nucleation*. Amer. Mineral., 55, 1390.
- VOGEL T. A., SPENCER W. H. (1969) - *Relict plagioclase phenocrysts from amphibolite grade metavolcanic rocks*. Amer. Mineral., 54, 522-528.
- WENK H. R. (1969) - *Annealing of oligoclase at high pressure*. Amer. Mineral., 54,
- WRIGHT T. L., 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*. Amer. Mineral., 53, 38-87.