

BRUNO FIGORINI e FERNANDO VENIALE

L'APATITE ACCESSORIA
NELLE DIVERSE FACIES LITOLOGICHE
DELLE FORMAZIONI GRANITOIDI DELLA VAL SESSERA
(VERCELLI)

RIASSUNTO. — L'apatite accessoria nelle diverse facies litologiche delle formazioni granitoidi della Val Sessera è stata studiata sia per quanto riguarda la morfologia che la composizione.

Sono stati osservati differenti aspetti morfologici entro i diversi differenziati, studiando anche al microscopio elettronico il modo di presentarsi della superficie esterna dei cristalli, sia nelle condizioni originarie che dopo attacco con HCl; inoltre si sono classificati diversi tipi di inclusioni.

Le diverse caratteristiche morfologiche risultano correlate alle differenti facies e la superficie esterna dei cristalli appartenenti alle facies che risultano interessate da fenomeni di metasomatismo alcalino si presenta irregolare e fortemente corrosa.

Cristalli appartenenti alle diverse facies litologiche sono stati analizzati mediante microsonda elettronica, mettendo in evidenza come, per le facies metasomatizzate, esistono anomalie rispetto a una normale distribuzione degli elementi costituenti (principali o in tracce) così come si avrebbe in semplici processi di differenziazione magmatica. Nel reticolo dell'apatite sono stati riscontrati solo Y, Ce e sporadicamente Nd. Elementi come Si, Fe e Al sono risultati concentrati entro microfessure o imperfezioni dei cristalli.

E' stata definita la natura di numerose inclusioni: plagioclasio (?), biotite, monazite e xenotimo. Alcuni elementi del gruppo delle terre rare (La, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho e Yb), come anche U e Th, sono presenti unicamente entro le inclusioni di monazite e xenotimo, distribuiti secondo caratteristiche « associazioni selettive » a seconda del minerale ospite.

Dal punto di vista cristallografico e geochimico questi fatti rimettono in discussione l'attendibilità di molte considerazioni, così come sono apparse in letteratura, riguardanti eventuali deviazioni stechiometriche o possibili sostituzioni isomorfe entro l'apatite; esse infatti sono basate su risultati di analisi globali di cristalli di apatite, la cui omogeneità spesso non era stata controllata. Ne consegue pertanto che è da ritenersi inadeguato e ingiustificato l'uso di simili dati analitici quando non si conosca con certezza e precisione il contributo di inclusioni, impurezze, ecc. estranee al reticolo cristallino proprio del minerale in questione.

SUMMARY. — The accessory apatite of the different lithological facies (granodiorite, granite, porphyroid granite and aplite-like microgranite) of the granitoid rocks from Val Sessera (Vercelli Province, northern Italy) has been investigated with regard to morphology and composition.

Some morphological features and aspects have been classified, which are closely typical for each differentiate. Furthermore, the crystal surface — before and after HCl etching — has been studied under the electron microscope using the replica technique. The external surface of the apatites from porphyroid granite and aplite-like microgranite, which result affected by alkali metasomatism, looks very irregular and corroded.

Electron microprobe analyses of single crystals from different facies indicate an anomalous distribution of some fundamental and trace elements in the apatite belonging to metasomatized facies, against a normal magmatic differentiation suite. Between the rare earths, Y and Ce, and sporadically Nd, are the only constituents detected in the apatite lattice. Elements alien to the apatite structure — like Si, Fe and Al — are concentrated along cracks, fissures and within crystal defects.

Different types of inclusions have been recognized and defined: plagioclase (?), biotite, monazite and xenotime. Most of the elements of the rare earths group (La, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho and Yb), U and Th occur only in the monazite and xenotime inclusions. The relative abundance of rare earths is united into « selective assemblage » according to the host mineral.

From the crystalchemical and geochemical points of view, these facts involve some remarks on the reliability of some previous considerations and assumptions about the degree of non-stoichiometry or of solid solution in apatite, as quoted in literature. They seem to be often considered inadequate, because drawn on the basis of whole analytical data regarding crystals of uncertain homogeneity. Indeed, the evaluation of mineral analyses for meaningful correlations requires that foreign mineral phases and impurities be known.

Introduzione.

Proseguendo nel programma di studio sui minerali accessori nei graniti sub-alpini iniziato da alcuni anni, viene affrontato lo studio dell'apatite accessoria nelle diverse facies delle formazioni granitoidi della Val Sessera (Vercelli).

Le caratteristiche mineralogiche, petrografiche e petrochimiche delle varie facies delle formazioni granitoidi della Val Sessera e le relative relazioni di giacitura hanno permesso di mettere in evidenza entro la massa principale, una chiara differenziazione con andamento S → N a partire dalle rocce vulcaniche, che ne costituiscono il limite meridionale, fin verso la « formazione kinzigitica » posta a settentrione (VENIALE, 1961).

Da tipi granitico-adamellitici in facies piuttosto grossolana e di

color roseo, oppure quasi granodioritici di colore biancastro, si fa passaggio a facies a grana media di colore brucicco, spesso a due miche e con abbondante feldspato potassico, tra cui talora prevale nettamente il microclino in parte originatosi per fenomeni di metasomatismo potassico (BALCONI e VENIALE, 1959). Tra i tipi a grana grossolana e quelli a grana media si intercalano quasi costantemente forme di passaggio con struttura porfiroide per maggiori elementi feldspatici, in certi casi di plagioclasio e in altri esempi di feldspato potassico. Qui si hanno anche particolari e singolari tipi di strutture micropegmatitiche e mirmechitiche, le quali, unitamente ad orli e frange albitiche sviluppate intorno ai diversi tipi di feldspato potassico, sono attualmente oggetto di uno studio e di una classificazione dettagliata.

Al limite estremo settentrionale di queste formazioni si hanno facies minute, di colore sia bianco-grigio che roseo, con tendenza ad assumere caratteri aplitici, sebbene sempre in masse di notevoli dimensioni.

L'evidenza di caratteristiche che indicano apporti e modificazioni tardo-(post?)magmatiche ha indotto a verificare se e in quale maniera e misura tali fatti avessero agito anche sulla morfologia e la composizione dei minerali accessori.

Questa nota riguarda appunto lo studio dettagliato condotto sulla apatite accessoria delle diverse facies litologiche; sono stati studiati e classificati gli aspetti morfologici, sia per quanto riguarda lo sviluppo delle tipiche forme cristallografiche, come pure per ciò che concerne le condizioni della superficie esterna dei cristalli, quest'ultima esaminata al microscopio elettronico, nelle condizioni naturali e dopo attacco con HCl, mediante repliche di superficie. Utilizzando la microsonda elettronica si è determinata la composizione di numerosi individui di apatite appartenenti a campioni tra i più rappresentativi delle diverse facies litologiche; inoltre si è cercato di verificare e definire la natura di varie inomogeneità (inclusioni, microfessure, ecc.) aventi vario aspetto e ubicazione, in modo da poter accertare il loro significato e contributo quali-quantitativo.

Metodologia.

La *separazione dei concentrati* di apatite è stata fatta seguendo i procedimenti descritti in precedenti pubblicazioni (PIGORINI, SOGGETTI e VENIALE, 1964; PIGORINI e VENIALE, 1965) e ad esse si rimanda per ulteriori particolari, anche per quanto riguarda la realizzazione dei preparati di granuli per l'osservazione al microscopio polarizzante.

Le repliche di superficie per l'osservazione al microscopio elettronico sono state preparate sia su superfici dei cristalli non trattati, che su superfici previamente attaccate con HCl (soluzione molare, tempo di attacco 30-60"). Il procedimento seguito è quello cosiddetto della replica doppia, secondo PFISTERER (1953) (vedasi in MÜLLER, 1962; pag. 38 e segg.) leggermente modificato; esso viene schematicamente rappresentato nella fig. 1.

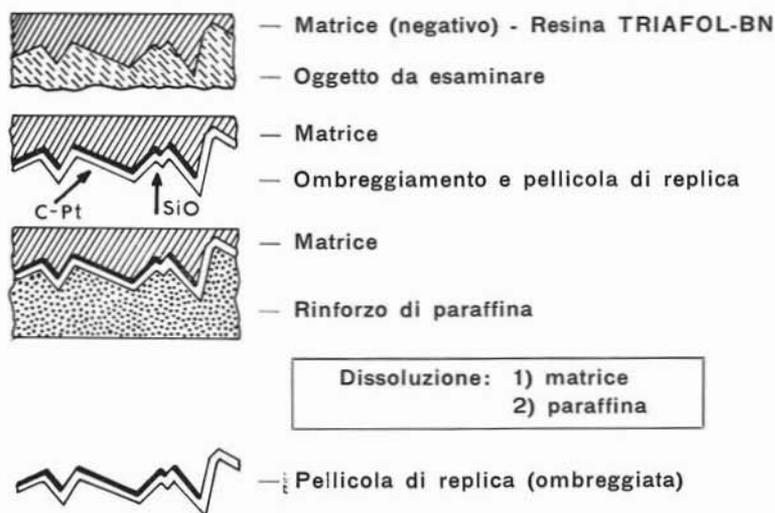


Fig. 1. — Schema del procedimento impiegato per la preparazione delle repliche di superficie e del relativo ombreggio, per l'osservazione in microscopia elettronica.

Dapprima si prepara una matrice di replica (negativo) della superficie da esaminare, comprimendo su di essa un foglietto dello spessore di circa 0,1 mm. di Triafol-BN e lasciandolo sulla superficie per 1-3 min'. Dopodichè il foglietto di Triafol viene strappato e l'impronta della superficie del cristallo viene in un primo tempo ombreggiata per evaporazione sottovuoto su di essa di uno strato dello spessore di circa 300 Å di C e Pt, tenendo la superficie da ombreggiare inclinata di 45° rispetto alla sorgente di evaporazione. In seguito si rinforza tale superficie con uno strato uniforme di SiO dello spessore di 400 Å, evaporato sotto vuoto, tenendo però il piano della superficie di replica disposto ortogonalmente rispetto alla sorgente di evaporazione. Lo strato di SiO viene poi ricoperto da uno strato di paraffina dello spessore di circa

1 mm. per rinforzare la superficie di replica in modo che non subisca contrazioni o altre modificazioni durante l'operazione di dissoluzione della matrice. Si procede quindi alla dissoluzione della matrice di Triafol con una soluzione satura di paraffina in acetato di metile. La paraffina viene infine disciolta con toluolo, ottenendo così la replica di superficie, costituita dallo strato di SiO ombreggiato con C e Pt, e che serve per l'osservazione al microscopio elettronico.

In un precedente lavoro (PIGORINI e VENIALE, 1966, p. 209), al quale si rimanda, sono riportati in dettaglio i procedimenti e gli accorgimenti adottati nella preparazione dei singoli granuli per l'*analisi mediante microsonda elettronica*, nonché le correzioni eseguite per ottenere dati quantitativi relativi agli elementi determinati. Per un maggior aggiornamento della letteratura metodologica sulle analisi mineralogiche mediante microsonda elettronica si veda KEIL (1967); inoltre si è tenuto conto, per le varie correzioni, dei recenti dati di SPRINGER (1967) e di FRAZER et al. (1966).

Prima di tutto, sulla base della «immagine elettronica» (back-scattered electron image = BSE), che rivela le irregolarità di distribuzione globale dei diversi elementi entro la superficie analizzata, si sono selezionate le aree da analizzare.

L'analisi qualitativa è stata eseguita di norma per punti secondo il procedimento dello «static electron beam», il quale fornisce gli spettri che permettono di individuare i diversi elementi presenti. Inoltre, specialmente nei casi di cristalli con eterogeneità (strutture zonari, cavità, fratture, fessure e inclusioni), si sono analizzate anche aree opportunamente selezionate, mediante «immagini a raggi X» (X-ray scanning picture); tale immagine di intensità di emissione per una determinata radiazione X, caratteristica dell'elemento considerato, permette di avere una visione diretta della distribuzione di ciascuno dei vari elementi costituenti entro l'area selezionata.

La determinazione quantitativa degli elementi presenti è stata fatta confrontando l'intensità (numero d'impulsi) della linea caratteristica per un dato elemento con l'intensità della stessa linea per uno standard puro o per un minerale standard di cui è noto il contenuto di tale elemento. Per tutti gli elementi con numero atomico > 10 è stata controllata, sia negli spettri che per ripetuti controlli all'oscilloscopio e al rivelatore d'impulsi, la loro eventuale presenza; quando gli elementi non vengono riportati (vedi Tab. I), ciò significa che essi sono risultati as-

senti o in quantità inferiore al limite di rivelabilità dell'apparecchio (variabile tra 500 ppm e 100 ppm a seconda dell'elemento).

Per la determinazione di Ca e P i confronti sono stati fatti con apatite standard analizzata chimicamente (Ca = 39.14% ; P = 18.15%). Per Fe, Si, K, Cl e Ce si sono usati come standard, rispettivamente, minerali quali olivina con 7.0% di Fe, anortite con 20.19% di Si, adularia con 14.07% di K, fosgenite con 13.0% di Cl e monazite con 60% di Ce. Per le determinazioni di Mn e Y si sono usati standard puri.

Si è utilizzata la radiazione $K\alpha$ per Ca, P, Fe, Si, K, Cl e Mn, la radiazione $L\alpha$ per Y e Ce. In alcuni spettri si è accertata la presenza di numerosi elementi appartenenti al gruppo delle terre rare, quantitativamente però si è determinata soltanto la percentuale di Ce, elemento che è risultato preponderante.

Sono stati utilizzati una microsonda elettronica ARL-tipo EMX e un microscopio elettronico SIEMENS-Elmiskop 1, in dotazione presso l'Earth Science Department dello « Scripps Institution of Oceanography » di La Jolla, Università di California (U.S.A.).

Caratteristiche morfologiche dell'apatite accessoria nelle diverse facies litologiche.

In questo capitolo verranno descritte più specificatamente le caratteristiche morfologiche esterne presentate dai cristalli di apatite accessoria nelle diverse facies litologiche, rimandando la descrizione dei vari tipi di inclusioni osservate e delle irregolarità e fessurazioni interne al capitolo che tratta dell'analisi mediante microsonda elettronica; questo per rendere anche più immediata e comprensiva l'esposizione dei dati morfologici e analitici relativi.

A) Osservazioni al microscopio ottico (polarizzante).

Poco sicure e quindi non indicative sono, sui preparati in granuli, le misure di dimensioni di apatite, specie della lunghezza, a causa della facile sfaldabilità basale secondo {0001}. I vari esempi di cristalli piuttosto allungati riportati nelle Tav. I e II ⁽¹⁾, riferibili alla facies gra-

⁽¹⁾ Nella Tav. I sono riportati esempi scelti in modo da mettere in evidenza più le caratteristiche esterne dei cristalli (forme cristallografiche, aspetti della superficie esterna, ecc.), mentre nella Tav. II si fa riferimento maggiormente alle caratteristiche interne (fessure, inclusioni, ecc.).

nooidritica (camp. R21/II) e granitica (camp. 558), presentano appunto per la maggior parte segni di fratturazione normalmente all'allungamento dei cristalli. Risulta perciò non attendibile fare considerazioni sulle dimensioni dei cristalli, particolarmente per quanto riguarda il rapporto di allungamento. Comunque altre caratteristiche morfologiche, sia esterne che interne, possono essere prese in esame per considerazioni petrogenetiche (vedi HOPPE, 1962).

Per certi aspetti è più opportuno esaminare granuli separatamente dagli altri costituenti della roccia; è infatti talvolta assai difficile e problematico, data la bidimensionalità della rappresentazione, condurre in sezione sottile un esame particolareggiato dei vari aspetti che i singoli cristalli di apatite possono presentare, come sviluppo delle forme cristallografiche, aspetto della superficie esterna, dimensioni e disposizioni delle inclusioni, ecc. Pur tuttavia non sono da ignorare le relazioni paragenetiche fra costituenti mineralogici principali e accessori (vedi ad es. MOORHOUSE, 1956; KRAUS, 1963); per la zona in questione le caratteristiche strutturali mineralogico-petrografiche, così come si presentano all'osservazione microscopica in sezione sottile, erano già state descritte nel già citato lavoro di uno degli Autori (VENIALE, 1961).

Se si osservano i singoli granuli di apatite riportati nelle Tav. I e II si riscontrano due tipi morfologici caratteristici. I cristalli di apatite accessoria nella granodiorite biancastra (camp. R 21/II) e nella granitite rosea (camp. 558) presentano un più o meno spiccato idiomorfismo e sono sviluppati prevalentemente secondo un abito prismatico $\{10\bar{1}0\}$; ben riconoscibili sono spesso anche le forme della bipiramide $\{10\bar{1}1\}$, mentre meno frequente è il pinacoide basale $\{0001\}$. Si notano marcate strie parallele all'asse *c*, come ad esempio in certi cristalli della granodiorite biancastra (vedi Tav. I, camp. R 21/II - 1, 3, 8 e 9, e Tav. II, camp R 21/II - 2, 3 e 5).

D'altra parte, invece, i cristalli appartenenti alle facies metasomatizzate (camp. 351 e R 56) e ai micrograniti con tendenza aplitica (camp. 333 e R 61/II) presentano aspetto morfologico differente da quello delle facies normali sopradette. Infatti i granuli hanno abito per lo più tozzo, prevalentemente mal definito ed irregolare, e inoltre presentano evidenti segni di corrosione talora molto spinti, con opacizzazione della superficie esterna ad opera di diffuse microgranulazioni pulverulente; sono pure frequenti fessurazioni e fratture interne (vedi specialmente i cristalli: camp. 558, Tav. II - 1; camp. 351, Tav. I - 2, 3 e

4 e Tav. II - 1, 2, 4 e 6; camp. R 56, Tav. II - 3; camp. 333, Tav. II - 2, 6 e 7; camp. R 61/II, Tav. II - 1.

Per completare il quadro si possono dare alcuni dati relativi alla distribuzione della colorazione dei cristalli di apatite accessoria entro le differenti facies litologiche. Per la verità l'apatite si presenta per lo più incolore in tutti i tipi di rocce, e solo nei tipi metasomatizzati (camp. 351 e R 56) si rinvengono alcuni granuli leggermente colorati in maniera non uniforme, con tinte pallide per lo più verdastre e bluastre; qualche raro granulo si presenta brunastro. Nei tipi a tendenza aplitica (camp. 333 e R 61/II) i granuli colorati sono più scarsi.

B) Osservazioni al microscopio elettronico.

La Tav. III riporta alcuni esempi del modo di presentarsi della superficie esterna di cristalli di apatite appartenenti alle diverse facies litologiche, così come si sono osservati al microscopio elettronico su repliche di superficie prima e dopo trattamento con HCl.

La superficie esterna dei cristalli di apatite accessoria entro le facies normali (granodiorite e granitite) si presenta piuttosto uniforme, con leggere scanalature ⁽²⁾ che tendono ad assumere disposizioni con allineamento regolare secondo due direzioni grossolanamente ortogonali fra di loro (vedi l'esempio riferibile alla granodiorite, camp. R 21/II). Nelle facies metasomatizzate le incavature sono più accentuate nel camp. R 56 rispetto al camp. 351 e in qualche caso s'intersecano secondo angoli ben definiti, sì da far pensare a dislocazioni strutturali (vedasi anche a questo proposito LOVELL, 1958); nel camp. R 56 è inoltre da notare la evidente fitta striatura osservabile sul piano di fondo. Abbastanza marcate, sebbene più rare, le stesse irregolarità si osservano sulla superficie esterna dei cristalli di apatite nelle facies microgranitiche a tendenza aplitica (camp. 333).

A dire il vero, era sorto il dubbio che alcuni degli aspetti irregolari osservati fossero dovuti ad artefatti nella preparazione delle repliche; tuttavia la loro pressochè costante presenza in un elevato numero di preparati fa ritenere reale la loro esistenza.

Le figure di corrosione osservate sui cristalli di apatite dopo trattamento con HCl hanno l'aspetto delle tipiche figure dovute a disloca-

⁽²⁾ Quelle che in fotografie appaiono come increspature e protuberanze, sono in effetti delle cavità.

zioni sviluppatasi durante lo sviluppo e l'accrescimento dei cristalli; esse non assumono mai il modo di presentarsi delle figure di corrosione anormale che alcuni Autori hanno attribuito ad effetti di danneggiamento strutturale in seguito all'azione di radiazioni (FLEISCHER et al., 1964; PATEL et al., 1966).

La letteratura riporta numerosi studi sulle figure di corrosione e viene comunemente ritenuto che le figure di corrosione si formino dove si hanno dislocazioni ed altri difetti reticolari oppure inclusioni. Quest'ultime vengono classificate come « primarie » quando sono state incluse nel cristallo durante il suo sviluppo, mentre si definiscono « secondarie » quelle instauratesi entro fratture od imperfezioni del cristallo dopo la sua formazione.

Figure di corrosione su una faccia $(10\bar{1}0)$ di sfaldatura prismatica sono simili a quelle riportate nella Tav. III - camp. R 21/II e che si riferiscono ad un cristallo di apatite entro la granodiorite; esse vengono generalmente attribuite a dislocazioni. Le dislocazioni, nel caso in esame, devono essersi formate durante lo sviluppo del cristallo e si spiega così anche il loro allineamento piuttosto regolare. Dislocazioni di forma non ben definita, come quella indicata dalla freccia nella Tav. III - camp. R 21/II (dopo attacco con HCl), potrebbero essere anche dovute a inclusioni di minerali diversi dall'apatite oppure ad impurità contenute entro inclusioni fluide ⁽³⁾.

Le figure di corrosione come si osservano in alcuni cristalli del camp. R 56 (vedi sempre Tav. III) possono essere dovute a deformazioni instauratesi in seguito ad azioni meccaniche.

Le figure di corrosione osservate nell'apatite del camp. 333 (microgranito a tendenza aplitica) denotano la presenza di diversi e complessi tipi di facce vicinali; in questo caso la superficie del cristallo che corrisponde con la superficie di replica non deve essere parallela alla superficie di una faccia $(10\bar{1}0)$ del prisma esagonale. Una interpretazione plausibile di queste constatazioni è che la superficie in questione rappresenti una superficie che sia stata corrosa da soluzioni tardo- o post(?) magmatiche.

⁽³⁾ Reiterati tentativi di determinare mediante microsonda elettronica gli elementi eventualmente presenti entro le cavità osservate non sono approdati ad alcun risultato positivo; ciò fa propendere per ritenere che tali cavità siano dislocazioni tutt'al più riempite da sostanze allo stato fluido, che si disperdono durante i procedimenti di preparazione per l'analisi.

Analisi mediante microsonda elettronica.

Le analisi mediante microsonda elettronica sono state eseguite sia per punti, che per immagini elettroniche e a raggi X di aree selezionate; queste ultime permettono di controllare l'omogeneità o meno delle aree in esame e sono inoltre particolarmente adatte per la definizione delle microinclusioni.

A) *Analisi dell'apatite.*

La Fig. 2 riporta alcuni dei numerosi spettri di raggi X che sono stati eseguiti su diversi cristalli scelti fra i più tipici e rappresentativi tra quelli osservati entro le popolazioni di apatite accessoria appartenenti alle diverse facies litologiche. Questi dati, seppure abbiano un valore solamente semiquantitativo, permettono già alcune osservazioni e considerazioni.

Si può innanzitutto notare come il Mn sia maggiormente rappresentato nella facies porfiroide metasomatizzata (camp. 351) e nelle facies minute a tendenza aplitica (camp. 333 e R 61/II), rispetto alle facies a grana normale (granodiorite - camp. R 21/II e granitite - camp. 558).

Il Si compare in quantità chiaramente apprezzabile solo in alcuni cristalli di apatite accessoria appartenenti alla facies porfiroide (camp. 351), che presenta anche i più evidenti fenomeni di metasomatismo (⁴). Il Si è presente, sebbene in quantità relativamente inferiore, anche nel reticolo di cristalli di apatite appartenenti alla granitite (camp. 558). Nelle altre facies, specie quelle microgranulari a tendenza aplitica, questo elemento è talvolta non rilevabile entro i cristalli di apatite accessoria.

Tra le terre rare, mentre l'Y non sembra presentare significative variazioni entro i cristalli appartenenti alle diverse facies litologiche (se si fa eccezione per un tenore leggermente maggiore nell'apatite delle facies normali: granodiorite - camp. R 21/II e granitite - camp. 558), è invece da segnalare come il Ce (e talora anche il Nd) siano significativamente rappresentati solo nelle facies a grana normale. Il Cl è presente nei cristalli di apatite della facies porfiroide metasomatizzata (camp. 351) e delle facies minute a tendenza aplitica (camp. 333 e R 61/II) con tenori relativamente maggiori rispetto alle facies normali.

(⁴) A questo proposito si veda anche quanto è scritto più avanti sulla presenza del Si in microfature di cristalli di apatite appartenenti alla stessa roccia.

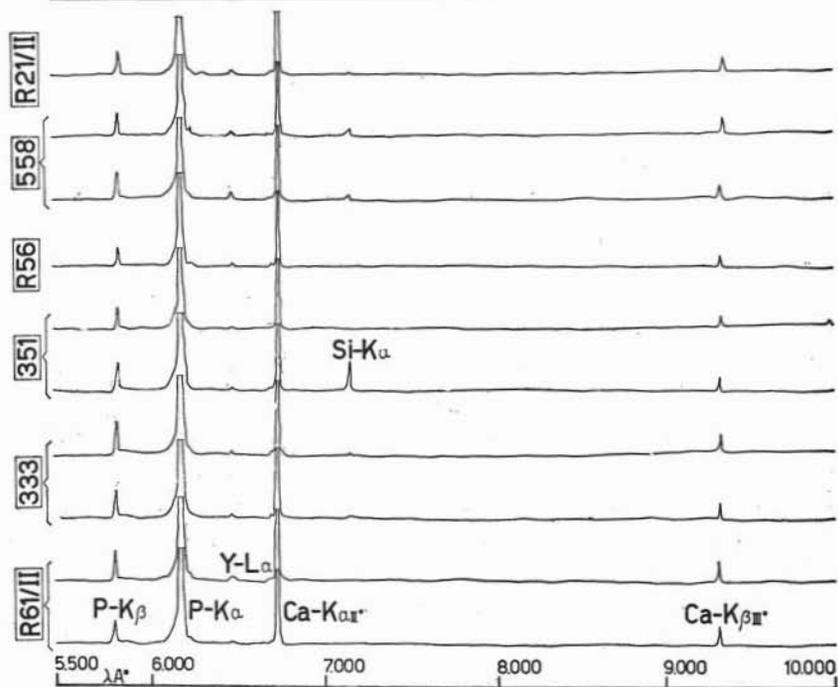
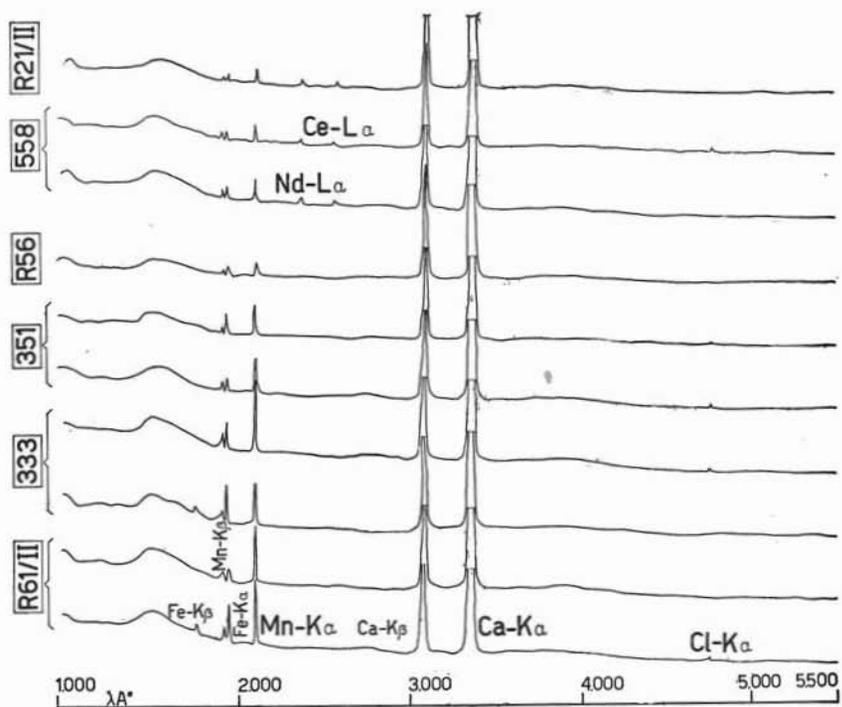


Fig. 2. — Spettri di raggi X da granuli di apatite accessoria nelle diverse facies litologiche.

Dati analitici più precisi sono stati ottenuti mediante l'analisi per punti, conteggiando gli impulsi relativi alle linee caratteristiche per ogni elemento costituente. I risultati sono riportati nella Tab. I, mentre nelle Tav. I e II sono indicati i cristalli presi in esame unitamente alla posizione del punto analizzato.

Osservando i componenti principali Ca e P, si nota una diminuzione del contenuto in Ca andando dai tipi di rocce relativamente più basiche (granodiorite e granitite) verso i tipi più acidi a tendenza aplitica; nell'insieme si può dire che la stessa tendenza si verifica per il P. Però se si considerano i valori rapportati a 100 (valori riportati nella Tab. I fra parentesi) allora i tenori di Ca e P risultano abbastanza costanti per le apatite di tutte le facies litologiche. Resta da notare che il contenuto di P è relativamente più basso nei cristalli dove è più elevato il tenore di terre rare, più particolarmente di Ce.

Se si prendono ora in considerazione i costituenti minori, è possibile verificare alcuni fatti interessanti. Il Fe risulta costante in tutti i tipi di apatite; allo stesso modo si comporta il K. Il Si è presente in quantità notevolmente basse, inferiori ai valori che normalmente vengono riscontrati attraverso i procedimenti classici di analisi. In alcuni casi, addirittura, il tenore di Si non raggiunge nemmeno il limite di rivelabilità della microsonda utilizzata (circa 500 ppm). Il Mn mostra invece un aumento significativo passando dalle facies relativamente più basiche a quelle più acide. E' da notare che, come indicano le immagini a raggi X riportate nelle Tav. IV e VI, il Mn è effettivamente un costituente del reticolo dell'apatite.

Fra gli elementi delle terre rare, i più abbondanti sono Y e Ce, il cui comportamento risulta abbastanza singolare giacchè tendono a diminuire entro l'apatite appartenente alle facies metasomatizzate e più acide. Va notato però che le facies porfiroidi metasomatizzate (camp. 351) sembrano non ubbidire a tale comportamento in quanto mostrano valori assai variabili di questi elementi; in alcuni casi si raggiungono tenori uguali a quelli dell'apatite delle facies relativamente più basiche (granitite e granodiorite).

Il Cl è presente sempre in quantità assai ridotte, con una certa tendenza ad aumentare nei differenziati di tipo aplitico. Le facies metasomatizzate contengono cristalli di apatite con percentuali di Cl assai irregolari; si passa infatti da valori 2-3 volte superiori a quelli delle altre facies, ad esempi in cui il Cl è talmente scarso da non essere nemmeno rivelato dalla microsonda elettronica.

TABELLA I. — Risultati dell'analisi per punti mediante microsonda elettronica di alcuni cristalli dei diversi tipi di apatite accessoria nelle differenti facies litologiche (*).

Camp.	Tipo litologico	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	K ₂ O	MnO	Cl	Y ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Totale	
R21/II	granodiorite a grana normale (colore biancastro)	0.17 (0.16)	59.69 (54.11)	46.90 (42.51)	0.17 (0.15)	0.05 (0.05)	0.39 (0.35)	0.04 (0.05)	0.48 (0.43)	2.44 (2.21)	110.33 (100.00)	
558	granitite a grana normale (colore roseo)	0.19 (0.17)	59.70 (55.45)	45.32 (42.10)	0.17 (0.16)	0.05 (0.04)	0.42 (0.39)	0.05 (0.04)	0.58 (0.54)	1.20 (1.11)	107.68 (100.00)	
R. 56	facies porfiroide a grana media con fenocristalli di plagioclasio	0.20 (0.19)	57.50 (55.03)	44.50 (42.58)	—	—	0.57 (0.54)	0.02 (0.02)	0.29 (0.28)	1.43 (1.36)	104.51 (100.00)	
		0.27 (0.27)	55.31 (54.65)	44.06 (43.54)	—	0.07 (0.07)	0.63 (0.62)	0.04 (0.04)	0.28 (0.28)	0.53 (0.53)	101.19 (100.00)	
		0.19 (0.19)	55.85 (54.94)	43.24 (42.52)	—	0.07 (0.07)	1.13 (1.11)	0.12 (0.11)	0.35 (0.34)	0.73 (0.72)	101.68 (100.00)	
		0.62 (0.60)	55.65 (54.11)	43.65 (42.43)	—	0.07 (0.07)	1.00 (0.97)	0.21 (0.20)	0.56 (0.54)	1.11 (1.08)	102.87 (100.00)	
351	facies porfiroide a grana medio- minuta con porfiroblasti di feldspato potassico	1	0.19 (0.19)	55.86 (55.04)	43.24 (42.60)	—	—	1.13 (1.12)	—	0.35 (0.35)	0.73 (0.72)	101.51 (100.00)
		2	0.13 (0.13)	57.00 (55.47)	43.65 (42.47)	—	—	1.05 (1.03)	—	0.34 (0.33)	0.61 (0.59)	102.78 (100.00)
		3	0.15 (0.15)	56.59 (55.25)	43.75 (42.70)	—	—	1.05 (1.03)	—	0.36 (0.36)	0.54 (0.52)	102.45 (100.00)
		4	0.15 (0.14)	55.80 (54.88)	43.78 (43.06)	—	—	1.04 (1.03)	—	0.36 (0.35)	0.54 (0.54)	101.62 (100.00)
333	granito minuto in facies aplitica (colore bianco-grigio)	0.52 (0.52)	54.21 (54.65)	41.79 (42.13)	—	0.07 (0.07)	1.13 (1.14)	0.12 (0.12)	0.31 (0.31)	1.05 (1.06)	99.20 (100.00)	
R 61/II	granito minuto in facies aplitica (colore roseo)	0.30 (0.28)	58.60 (55.28)	45.32 (42.76)	—	0.05 (0.05)	0.94 (0.89)	0.06 (0.06)	0.12 (0.11)	0.61 (0.58)	106.00 (100.00)	

(*) I valori tra parentesi rappresentano il rapporto a 100 dei valori direttamente ottenuti, i quali ultimi sono riportati senza parentesi.

Per quanto riguarda l' U, nelle apatiti esaminate non è mai stato riscontrato la presenza di tale elemento; solamente in alcune micro-inclusioni costituite da minerali estranei, come ad esempio la monazite, è stato possibile verificare la presenza di U.

B) *Analisi delle inclusioni.*

Nella Tav. II (vedi anche alcuni esempi nella Tav. I) sono riportati un certo numero di cristalli di apatite in modo da dare un'idea della varietà di inclusioni osservate entro di essi. Brevemente si possono mettere in evidenza alcuni degli aspetti più caratteristici:

a) Inclusioni bastonciniiformi, aghiformi più o meno allungate e allineate secondo l'asse *c* del cristallo ospite (Tav. II: camp. 558 - 3; camp. R 21/II - 1, 2, 3 e 5; camp. 351 - 4; camp. R 56 - 4; camp. R 61/II - 1). In altri casi si presentano però senza disposizione orientata (Tav. II: camp. 351 - 1, 2, 3 e 5; camp. R 56 - 2 e 5; camp. 333 - 6); a dire il vero qualche volta non è possibile fare riferimento alle direzioni cristallografiche, se non per quelle individuabili come direzioni di estinzione, data la irregolarità dei contorni e della superficie esterna dei cristalli, che rende impossibile il riconoscimento di forme cristallografiche (Tav. II: camp. R 56 - 2 e 4; camp. 333 - 6). La maggior parte di queste inclusioni aghiformi, bastonciniiformi si presentano incolore come il cristallo ospite, oppure con colorazione leggermente più intensa sul rosa; altre, aventi pure dimensioni maggiori (vedi Tav. II, camp. R 21/II - 2 e 3), mostrano un evidente pleocroismo da bruno-rossastro, secondo l'allungamento, a giallino-verde piuttosto stinto, nella direzione ortogonale (con ogni verosimiglianza si tratta di biotite).

b) Inclusioni di forma tozza a contorni più o meno regolari. Tra di esse si possono distinguere quelle trasparenti, sebbene presentanti colorazione piuttosto variabile da rosa a giallo fino a bruno (Tav. I: camp. 351 - 3 e 4; camp. R 56 - 1. Tav. II: camp. 558 - 1 e 2; camp. R 21/II - 1, 4, 6 e 7; camp. 351 - 2, 3, 6 e 7; camp. R 56 - 1, 3, 5 e 6; camp. 333 - 2, 4, 5, 6 e 7; camp. R 61/II - 2), da quelle completamente opache (Tav. I: camp. R 56 - 3; camp. 333 - 2. Tav. II: camp. R 21/II - 1, 4, 6 e 7; camp. 351 - 2 e 7; camp. 333 - 1, 3 e 4; camp. R 61/II - 2). Queste inclusioni possono essere uniche o multiple, situate al centro del cristallo di apatite oppure irregolarmente distribuite dentro di esso; è da notare come alcune di quelle che in fotografia appaiono come inclusioni opache, in realtà sono disposte sulla superficie esterna del cristallo ospite.

Troppo tedioso sarebbe descrivere le relazioni fra cristallo ospite e inclusioni o fra inclusioni di varia forma e aspetto. Forma, dimensioni e colore delle inclusioni, la loro disposizione relativa rispetto al cristallo ospite sono fattori che alcuni Autori ⁽⁵⁾ hanno assunto come indicatori dell'andamento di cristallizzazione della roccia in cui l'apatite è contenuta come minerale accessorio; in altre parole, si è cercato di stabilire se l'apatite si sia formata simultaneamente o dopo le inclusioni, e se ciò potesse dare indicazioni nella natura magmatica o ibrida della roccia. Comunque, anche per i motivi accennati nell'introduzione (studio sul significato petrologico dei diversi tipi di « mirmechiti » e « pertiti », ancora in corso), si ritiene prematuro per il momento addentrarsi in tale problema, riservandosi eventualmente di riprenderlo quando si avranno maggiori dati a disposizione.

La determinazione per via ottica al microscopio polarizzante della natura specifica delle diverse inclusioni che si possono osservare entro cristalli di apatite appartenenti a differenti tipi di rocce ha spesso costituito un problema di non facile soluzione, specialmente per le inclusioni più minute, anche in relazione all'influenza e alla sovrapposizione delle caratteristiche ottiche (colore, intorbidamento, ecc.) del cristallo ospite. Per alcuni tra gli esempi più favorevoli si è cercato da parte di vari Autori (GROVES e MOURANT, 1929; SIMPSON, 1933; BAKER, 1941) di arrivare anche ad una definizione: orneblenda, biotite, clorite, zircone, sillimanite, tormalina (?), minerali opachi non definiti, ecc.; bisogna peraltro dire che tali definizioni hanno in seguito sempre lasciato adito a seri dubbi (vedasi ad es. HOPPE, 1962).

L'omogeneità o meno di zone di un cristallo può però venire controllata mediante sonda elettronica con i procedimenti di analisi detti « immagine elettronica » (BSE) e « immagine a raggi X ». Il primo di questi procedimenti permette di eseguire un controllo globale circa l'omogeneità di aree selezionate; il secondo permette l'osservazione immediata della diversa distribuzione dei singoli elementi costituenti entro le stesse aree selezionate: risulteranno chiare nelle parti ricche nell'elemento considerato e scure, invece, in quelle parti a contenuto scarso dello stesso elemento.

⁽⁵⁾ Vedasi per brevità GROVES e MOURANT (1929), SIMPSON (1933), BAKER (1941), HOPPE (1962) e le pubblicazioni da essi citate.

Nelle Tav. IV, V, VI e VII sono riportati alcuni dei numerosi esempi di analisi eseguite su aree selezionate utilizzando i procedimenti di analisi sopradetti; questi esempi sono stati scelti come i più rappresentativi, perchè sarebbe stato troppo lungo e costoso riprodurre tutte le determinazioni eseguite.

Le aree da analizzare sono state selezionate dopo una preliminare osservazione mediante immagine elettronica (BSE), che permette appunto di vedere se tali aree sono omogenee o meno. Si può notare che l'immagine elettronica relativa ad un'area di un cristallo di apatite entro la granodiorite (camp. R 21/II) — riportata nella Tav. III (in alto a destra) — indica una omogeneità di composizione entro l'area selezionata, mentre le immagini elettroniche di aree selezionate entro diversi cristalli di apatite appartenenti al granito porfiroide metasomatizzato (camp. 351, vedi Tav. IV, V, VI, VII) mettono in evidenza l'eterogeneità delle aree stesse; come si vedrà più avanti, tale eterogeneità è dovuta a diverse cause, come inclusioni, microfatture, ecc.

Le immagini a raggi X permettono di avere indicazioni qualitative e semiquantitative circa la natura delle inclusioni osservate entro le aree selezionate.

Nella Tav. IV viene messa in evidenza la presenza di due inclusioni entro un'area selezionata in un cristallo di apatite accessoria nel granito porfiroide metasomatizzato (camp. 351). La distribuzione degli elementi costituenti entro le due inclusioni permette di definire già con una certa sicurezza la natura biotitica dell'inclusione situata inferiormente; essa risulta infatti costituita prevalentemente da Si, Al e K, con un certo tenore di Fe, mentre più scarso è il Mn. Lo stesso si può dire per l'orlo esterno dell'inclusione situata superiormente, il cui nucleo è però costituito da un minerale delle terre rare, con ogni verosimiglianza monazite. Monazite è anche il minerale che costituisce l'inclusione di forma allungata che si osserva entro l'area selezionata in un altro cristallo di apatite accessoria entro lo stesso granito porfiroide a microclino (camp. 351): vedi Tav. V. Sicuramente biotitica è pure l'inclusione riscontrata entro l'area selezionata in un altro cristallo di apatite appartenente alla stessa facies litologica, come risulta dalla distribuzione degli elementi costituenti e cioè Si, Al, Fe, K e Mg (vedi Tav. VI).

La composizione di alcune inclusioni è stata determinata in modo più preciso, anche se non rigorosamente quantitativo, mediante spettri

di raggi X per punti. Alcuni di questi spettri sono riportati nella Fig. 3 ed indicano che si tratta di monazite, xenotimo, biotite e plagioclasio (?).

Per le inclusioni di xenotimo e monazite la loro esatta definizione è stata possibile non solo sulla base dei rapporti semiquantitativi fra i costituenti principali, ma anche tenendo presente le associazioni di elementi del gruppo delle terre rare che sono state riscontrate presenti. Difatti (vedi RANKAMA e SAHAMA, 1950), le associazioni di elementi del gruppo delle terre rare sono selettive per xenotimo e monazite-allanite. Nel tipo xenotimo prevalgono gli elementi del gruppo delle terre rare con numero atomico più elevato e pari (Gd, Dy, Er, Yb), mentre nel tipo monazite-allanite prevalgono gli elementi del gruppo delle terre rare con numero atomico più basso e sempre pari (oltre al Ce, anche Nd e Sm).

In considerazione del tenore di Ce relativamente alto, le monaziti si potrebbero definire come monazite(Ce): vedi LEVINSON (1966).

Un'inclusione è stata definita in senso dubitativo come plagioclasio, in quanto i rapporti semiquantitativi fra i costituenti principali determinati si accorderebbero abbastanza bene con la composizione di termini della serie albite-anortite, però è da tenere presente che mediante la microsonda elettronica utilizzata non è stato possibile eseguire la determinazione del Na.

C) *Microfessure.*

Come già detto, e come si può osservare nella Tav. I (camp. 351 - 2, 3 e 4) e nella Tav. II (camp. 558 - 1; camp. R 21/II - 1; camp. 351 - 1, 2, 4 e 6; camp. R 56 - 2 e 3; camp. 333 - 2 e 6; camp. R 61/II - 1), i cristalli di apatite sono più o meno interessati da minute fessurazioni e fratture. Per essere precisi, quelle che in fotografia appaiono come tracce simili a fessurazioni o fratture in realtà corrispondono talora a imperfezioni della superficie esterna. Solo nel camp. 351 (granito a struttura porfiroide per porfiroblasti di microclino, facies intensamente metasomatizzata) tali microfessure sono sicuramente evidenti e presenti anche in numero relativamente elevato di cristalli.

Si è ritenuto perciò opportuno controllare la natura di queste irregolarità mediante immagini a raggi X. Un esempio, che è parso particolarmente interessante, è riportato nella Tav. VII; esso rivela come entro le microfessure siano presenti elementi quali Si, Al e Fe, che sono estranei alla struttura e alla cristallografia dell'apatite, almeno nelle concentrazioni che si possono dedurre dalle intensità riscontrate nelle immagini a raggi X.

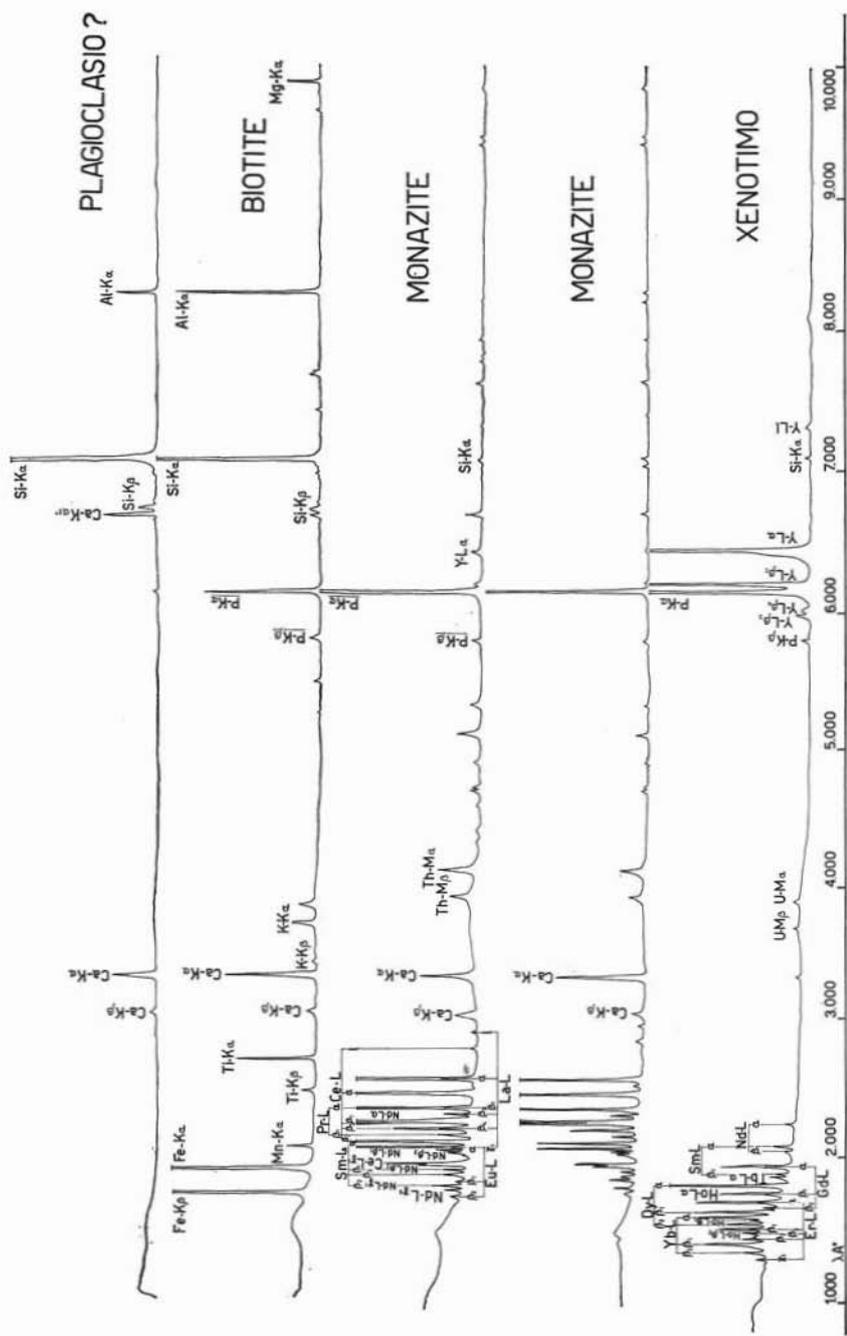


Fig. 3. — Spettri di raggi X da alcune inclusioni entro cristalli di apatite accessoria nel granito porfiroide a due miche, con prevalenti porfiroblasti di microcino (camp. 351): facies intensamente metasomatizzata.

Discussione dei risultati e considerazioni conclusive.

Il significato petrologico dei diversi aspetti morfologici che possono osservarsi in cristalli di popolazioni di apatite accessoria in rocce ignee di varia composizione e genesi ⁽⁶⁾ è stato discusso in modo esauriente da HOPPE (1962), basandosi sia su dati originali di sue ricerche personali che tenendo presente i risultati pubblicati da altri Autori, di cui viene fatta un'ampia revisione e discussione; i dati pubblicati permettono di stabilire che l'apatite offre sicure possibilità per una utilizzazione a tale scopo delle sue caratteristiche morfologiche, anche se queste non sono così ampie e favorevoli come per altri minerali accessori (vedi ad es. lo zirconio). Potrebbe essere di sicuro interesse e di maggior attendibilità prestare contemporaneamente attenzione alla morfologia dell'apatite insieme a quella dello zirconio.

Ai dati citati e discussi da HOPPE, si possono aggiungere quelli riportati da WILLIE e al. (1962), i quali hanno messo in evidenza come la forma e la dimensione dei cristalli di apatite accessoria siano da mettere in relazione con la velocità di raffreddamento del fuso dal quale si separano; in altri termini, i cristalli di apatite coesistenti con liquido e vapore sono equidimensionali, mentre quelli precipitati da un liquido durante un raffreddamento veloce sono allungati parallelamente all'asse *c* e possono esibire forme scheletriche.

Del tutto recentemente, LE GEROS et al. (1967), oltre a presentare le prove che il gruppo carbonato costituisce parte integrale della struttura dell'apatite quale sostituto del gruppo fosfato (vedi anche WINAND, 1963; BOONE et al., 1965), hanno pure osservato che la presenza del gruppo carbonato nel reticolo dell'apatite influenza e limita lo sviluppo dei cristalli, i quali risultano di aspetto più equiassiale e di forma irregolare.

Le popolazioni di apatite accessoria osservate nelle diverse facies litologiche delle formazioni granitoidi della Val Sessera, presentano caratteristiche ed aspetti morfologici piuttosto tipici e distintivi. Come già descritto precedentemente, esse si possono così riassumere:

⁽⁶⁾ Includendovi sia quelle strettamente magmatiche, cioè formatesi per solidificazione di masse silicate fuse non contaminate, come pure rocce di anatessi o anche ibride.

a) Le facies a grana normale (granodiorite, granitite) presentano apatite accessoria con forme cristallografiche ben evidenti e abito prismatico per lo più abbastanza allungato, mentre più rari sono cristalli biterminati tozzi.

b) Le facies porfiroidi intensamente metasomatizzate lasciano riconoscere, in un certo numero di cristalli, forme cristallografiche ancora definite, sebbene su di essi si riconoscano segni di arrotondamenti e corrosioni anche abbastanza spinte; per il resto, l'effetto delle azioni corrosive è stato talmente intenso da cancellare anche del tutto le forme cristallografiche originali.

c) Nelle facies minute a tendenza aplitica i cristalli di apatite presentano quasi costantemente forme assai irregolari con superfici esterne rugose e frastagliate. Anche lo studio della superficie esterna dei cristalli, condotto al microscopio elettronico mediante repliche di superficie, ha confermato i risultati delle osservazioni fatte al microscopio polarizzante: i cristalli di apatite delle facies normali presentano superfici esterne regolari, mentre quelle delle facies metasomatizzate e a tendenza aplitica denotano evidenti irregolarità, rilevabili anche dall'orientamento e dall'aspetto delle figure di corrosione.

d) Non è facile dare una interpretazione delle striature osservate sulla superficie esterna dei cristalli di apatite nelle facies granodioritica e granitica; esse possono essere ricondotte a quelle descritte da AMELINCKX (1952) e SEAGER (1953) e riferite a spirali di sviluppo del cristallo (⁷). L'abito del cristallo può subire variazioni ad opera di agenti che mutino rapporto e velocità relative di accrescimento; striature multiple possono così nascere da un cambiamento in abito del cristallo, causato da variazioni nel liquido « madre » (STROITELEV, 1961).

e) I cristalli di apatite si presentano prevalentemente incolori in tutte le diverse facies litologiche; nelle facies metasomatizzate e a tendenza aplitica si è notata la presenza di un certo numero di cristalli colorati, anche se le variazioni non sono molto significative e, con ogni probabilità, da mettere in relazione con i processi tardo- o post(?)magmatici o anche con un relativo maggior contenuto in Mn (vedasi più avanti).

(⁷) Le proprietà strutturali e cristallografiche di facce di sviluppo sono state discusse per vari tipi di cristalli da HARTMAN (1963).

LJAKHOVICH (1962) ha riscontrato che l'apatite formatasi in uno stadio magmatico iniziale si presenta in cristalli prismatici trasparenti, mentre l'apatite di generazione post-magmatica è in granuli equidimensionali, opachi, lattescenti. Si può anche ricordare, a questo proposito, che KREITER (1966) ha osservato come forme diverse da quelle usuali siano presenti solo nell'apatite di rocce albitizzate, per azioni di soluzioni post-magmatiche.

D'altra parte, per quanto riguarda le apatiti oggetto del presente studio, non è stato possibile accertare se l'aspetto irregolare o corrosivo dei cristalli presenti nelle facies metasomatizzate e a tendenza alitica sia stato favorito da una più facile suscettibilità all'alterazione come conseguenza di un più elevato contenuto in carbonato; fatto che, a modo di vedere di LE GEROS et al. (1967), indebolirebbe i legami strutturali (8). In effetti, però, tutte le carbonato-apatiti naturali hanno un rapporto Ca/P che eccede il valore stechiometrico (= 1.667, rapporto molecolare; vedi McCONNELL, 1965); nelle apatiti delle formazioni granitoidi della Val Sessera invece, tale rapporto è sempre inferiore al valore teorico, verosimilmente in relazione alla sostituzione del Ca da parte delle terre rare (principalmente Ce e Y).

Dal punto di vista geochimico l'apatite è senza dubbio uno dei minerali più importanti per studiare in modo esauriente come le sue differenze di composizione possano riflettere gli ambienti chimico-fisici di formazione della grande e ampia varietà di tipi di rocce in cui essa è presente come minerale accessorio. L'apatite esiste infatti in rocce fortemente differenti per composizione e genesi e perciò deve presentare una grande variazione negli elementi in tracce; inoltre essendo un fosfato, ci si può aspettare un ruolo geochimico differente dai silicati per quanto riguarda l'incorporamento di elementi in tracce (TAYLOR, 1965; TAUSON, 1965).

FLEISCHER (1965) ritiene che sia la paragenesi quanto la cristallografica del minerale ospite abbiano effetto sulla distribuzione dei lantanidi, quantunque la scuola geochimica russa (9) tenda ad attri-

(8) Le condizioni di formazione delle carbonato-apatiti sono state discusse recentemente da SIMPSON (1967): vedi anche SIMPSON (1966) e BIGGAR (1966).

(9) Sarebbe troppo lungo citare qui l'enorme letteratura geochimica e cristallografica sull'argomento; si rimanda alle annate dell'ultimo decennio della rivista « Geochemistry » e alle ampie citazioni fatte nelle sopracitate revisioni monografiche di TAYLOR e TAUSON, nell'apposito capitolo in DEER et al. (1962) e nelle recenti pubblicazioni di TABORSZKY (1962), CRUFT et al. (1965) e CRUFT (1966).

buire maggior influenza alla composizione (caratteristiche geochemiche) del fuso originario rispetto alle caratteristiche cristallografiche del minerale.

Secondo MINEYEV (1963) la variazione di composizione delle associazioni di terre rare nelle successive generazioni di minerali in pegmatiti e formazioni granitoidi, la loro correlazione con processi post-magmatici, l'esistenza di minerali che contengono associazioni di terre rare con massimi per i lantanidi intermedi (Nd, Gd, Dy e Er), sono tutti fatti che possono essere spiegati con una differenziazione geochemica degli elementi del gruppo delle terre rare, i quali migrano nella forma di complessi, come risultato di variazioni regolari nell'acidità delle soluzioni post-magmatiche.

Una composizione selettiva per quanto riguarda le terre rare è stata notata in diversi minerali, tra cui l'apatite, in relazione al loro momento di segregazione durante l'andamento della solidificazione magmatica; in altre parole, è stata indicata una forte predominanza delle terre rare del gruppo del Ce ⁽¹⁰⁾ entro minerali formati durante il periodo iniziale di cristallizzazione del magma granitico, mentre per minerali di segregazione tardiva (pegmatitici o post-magmatici) si hanno varietà più ricche in terre rare del gruppo dell'Y ⁽¹¹⁾. Apatiti ricche in Ce si trovano anche in rocce alcaline. D'altra parte i più alti contenuti di terre rare sono caratteristici di apatiti magmatiche, mentre il contenuto di terre rare è più basso in apatiti pneumatolitiche e pegmatitiche.

E' opportuno ricordare qui anche la capacità selettiva che i minerali di Ca hanno di catturare prevalentemente le terre rare del gruppo dell'Y. In molti processi geochemici si osserva un frazionamento delle terre rare in due gruppi: « più basico » e « meno basico ». La composizione di questi gruppi, essendo determinata da condizioni geochemiche « concrete » (cioè pertinenti alle particolari condizioni di formazione delle rocce in questione), non è costante; in certi casi questi gruppi corrispondono semplicemente alle terre rare del gruppo del Ce e del gruppo dell'Y, in altri casi però ciò non si verifica e il cambiamento di composizione di ambedue i gruppi è determinato dalle relazioni mutuali (dirette e inverse) e multiple osservate per tutti gli ele-

⁽¹⁰⁾ Terre rare « leggere », cioè con numero atomico da 57 (= La) a 62 (= Sm).

⁽¹¹⁾ Terre rare « pesanti », con numero atomico da 64 (= Gd) a 71 (= Lu).

menti del gruppo delle terre rare. La composizione del gruppo delle terre rare che si separa dal fuso può determinare la possibilità che appaia un'associazione selettiva oppure complessa di terre rare in minerali della stessa paragenesi. Ad esempio, la composizione in terre rare di monazite e xenotino è di solito costante; però, mentre se sono presenti fosfati l'allanite ha composizione normale ricca in terre rare del gruppo del Ce, quando invece i fosfati mancano essa risulta ricca in Y.

L'associazione di terre rare nei minerali concentratori pare così essere determinata principalmente dalla proporzione dei singoli elementi durante il processo di formazione del minerale e della loro abilità a migrare; essa non dipende, in generale, dalle caratteristiche cristallochimiche della specie mineralogica.

Le apatiti di facies tardive (pegmatiti) risultano in generale arricchite in Mn (VASILIEVA, 1958).

Le apatiti colorate (brune, bruno-rossastre, verdastro-gialle) contengono più terre rare delle apatiti incolori o a colorazione stinta (RJA-BOKONJ, 1956; SUMIN, 1957; YOUNG e MUNSON, 1966); il colore dell'apatite sembra dipendere anche dal contenuto in Mn e dalla diversa valenza di questo elemento (VASILIEVA, 1958).

Contenuto di Mn, Sr, Fe (?), Cl, ossidrili e terre rare influiscono e in vario modo anche su alcune proprietà fisiche dell'apatite, come indici di rifrazione e densità (TABORSZKY, 1962; DENISOV et al., 1961; YOUNG, 1964); il grado di sostituzione isomorfa influisce pure sulle dimensioni reticolari ⁽¹²⁾.

Le apatiti ricche in Cl sono piuttosto rare in natura e per lo più correlate a rocce basiche (VASILIEVA, 1958).

Passando ora a considerare i dati analitici ottenuti mediante microsonda elettronica su cristalli di apatite accessoria entro le diverse facies litologiche delle formazioni granitoidi della Val Sessera (vedi Tab. I), si possono fare alcune considerazioni specifiche. Per quanto riguarda i componenti principali i risultati diretti dell'analisi indicherebbero una diminuzione del contenuto in Ca andando dai tipi di rocce relativamente più basiche (granodiorite e granitite) verso i tipi più acidi a tendenza aplitica; lo stesso si verifica per il P. E' però

⁽¹²⁾ Per dettagli sulla struttura dell'apatite, vedasi DEER et al. (1962), e YOUNG (1966).

da notare che se si considerano i valori ricalcolati a 100, i tenori di Ca e P risultano piuttosto costanti per apatiti appartenenti alle diverse facies litologiche.

Per quanto concerne i costituenti minori, si può notare quanto segue:

a) Il Fe è praticamente costante in tutti i tipi di apatite, così come il K. Il Si è presente in quantità assai basse (0.17% SiO_2), significativamente inferiore ai valori riportati in letteratura per analisi condotte con metodi classici, compresi tra 0.36-1.78% SiO_2 (TABORSZKY, 1962; CRUFT et al., 1965); spesso il tenore di Si non raggiunge nemmeno il limite di rivelabilità per questo elemento (circa 500 ppm) della sonda elettronica utilizzata. Il Mn aumenta significativamente passando dalle facies relativamente più basiche ai differenziati più acidi.

b) Gli elementi del gruppo delle terre rare più rappresentati, cioè Y e Ce, denotano un comportamento piuttosto singolare, in quanto, come andamento generale, i loro contenuti tendono a diminuire nelle apatiti delle facies differenziate in senso più acido; le apatiti delle facies porfiroidi metasomatizzate non obbediscono però a questa regola e presentano valori piuttosto variabili del tenore di Y e Ce, che in taluni casi raggiungono quelli delle facies relativamente più basiche (granodiorite e granitite).

c) Il Cl, che è sempre in quantità assai scarse tali da escludere che si tratti di Cl-apatiti (infatti questa varietà di apatite viene definita tale quando il contenuto di Cl è maggiore del 3%), denota una tendenza ad aumentare nelle apatiti appartenenti ai differenziati di tipo aplitico rispetto a quelle delle facies relativamente più basiche; di norma le apatiti di rocce relativamente basiche dovrebbero invece essere maggiormente arricchite in questo elemento (vedi anche VASILIEVA, 1958). E' pure da notare che le facies metasomatizzate contengono cristalli di apatite con tenore assai irregolare di Cl: da valori 2-3 volte superiori rispetto a quelle delle altre facies, si passa a valori talmente scarsi da non essere determinabili con l'apparecchiatura impiegata (limite di rivelabilità per il Cl = 100-200 ppm).

I dati e le considerazioni sopra esposte indicano, a nostro modo di vedere, che le facies metasomatizzate, e per un certo verso anche gli stessi differenziati a carattere aplitico, rappresentano tipi piuttosto anomali rispetto a una normale sequenza di differenziazione magmatica. Infatti, se si considerano i dati riportati da TABORSZKY (1962) e da

CRUFT et al. (1965), andando da tipi di rocce ad acidità intermedia verso tipi di rocce differenziati in senso più acido, il contenuto di P nelle apatiti dovrebbe aumentare, mentre per le apatiti delle diverse facies delle formazioni granitoidi della Val Sessera si ha una tendenza alla diminuzione nello stesso senso. Il Cl, come regola, dovrebbe diminuire andando da apatiti di facies intermedia verso apatiti di facies più acido; nelle rocce studiate invece presenta una tendenza inversa, anche se non molto accentuata, e inoltre la sua distribuzione è piuttosto irregolare nelle apatiti delle facies metasomatizzate. Infine, per quanto riguarda le terre rare, da una parte il Ce sembra avere comportamento regolare, risultando concentrato maggiormente nelle apatiti di facies formatesi in stadi relativamente iniziali (facies granodioritiche e granititiche), salvo restando le anomalie e irregolarità di contenuto per alcuni cristalli di apatite entro le facies metasomatizzate. D'altro canto, per quanto concerne l'Y, esso ha un comportamento anormale, poichè le apatiti delle facies granodioritiche e granititiche risultano più ricche di Y rispetto a quelle dei differenziati più acidi (e presumibilmente più tardivi); di norma invece dovrebbe verificarsi il contrario. Anche qui sono ancora una volta da mettere in evidenza i valori assai variabili di Y riscontrati nelle facies metasomatizzate.

A proposito dei processi di metasomatizzazione sembra utile ricordare come diversi autori (KALITA, 1959; PAVLENKO et al., 1959; ZHIROV et al., 1961; MINEYEV, 1963; YOUNG e MUNSON, 1966) hanno messo in evidenza i seguenti fatti:

a) Come risultato dell'azione di soluzioni tardive su minerali Y-selettivi si formano metasomaticamente dei minerali « secondari » che sono caratterizzati da un basso contenuto in terre rare del gruppo dell'Y.

b) Minerali contenenti terre rare, quando sono stati sottoposti a processi di alterazione da parte di soluzioni tardive, contengono in generale tenori più bassi in terre rare, e più significativamente del gruppo del Ce, mentre possono risultare relativamente arricchiti in elementi del gruppo dell'Y; in altri termini, le terre rare del gruppo del Ce presentano una maggiore mobilità.

c) Una maggiore rimozione (impoverimento) di terre rare viene causata da metasomatismo potassico rispetto ad un metasomatismo sodico, il quale ultimo può invece portare ad un arricchimento in terre rare.

d) Se nel fuso si verificano modificazioni sensibili della composizione (in seguito a pulsazioni brusche di pressione e temperatura o per contaminazione-ibridazione), i lantanidi intermedi si arricchiscono durante i periodi di aumento (o diminuzione) dell'acidità del fuso.

Queste considerazioni, se confrontate con i dati ottenuti per le apatiti studiate, vengono a confermare che le facies porfiroidi delle formazioni granitoidi della Val Sessera sono state interessate da fenomeni di metasomatismo (potassico), come era già stato messo in evidenza sulla base di altre osservazioni (BALCONI e VENIALE, 1959).

Ulteriori constatazioni avallano questa conclusione. La presenza di Si nel reticolo dell'apatite accessoria entro le facies normali (granodiorite e granitite), il suo tenore più elevato nell'apatite delle facies metasomatizzate dove può riempire anche microfature dei cristalli, la sua netta subordinazione o addirittura la sua assenza entro l'apatite delle facies a tendenza aplitica, fanno pensare che questo elemento venga introdotto nel reticolo dell'apatite ad opera di soluzioni deuteriche o post (?) magmatiche. Tale processo può avvenire in seguito alle azioni autometasomatizzanti delle soluzioni magmatiche tardive, nel caso delle facies normali, mentre per le facies intensamente metasomatizzate non è da escludere l'intervento di soluzioni post-magmatiche.

Una conferma indiretta di questa possibile interpretazione viene data dal fatto che nell'apatite accessoria delle facies microgranitiche a tendenza aplitica il Si è praticamente assente o quasi nel reticolo del minerale, e ciò in quanto il fuso da cui si sono originate queste fasi certamente era più « secco ».

Infine, interessante è la presenza di inclusioni di monazite prevalentemente entro l'apatite delle facies metasomatizzate o a tendenza aplitica; questo minerale, a differenza dell'allanite che è stata trovata in rocce rappresentanti la intera serie magmatica a partire dalle dioriti (meno spesso nei gabbri) fino ai graniti, s'incontra solo in rocce formatesi negli stadi ultimi della differenziazione magmatica. Come indicano i dati analitici ottenuti con la microsonda elettronica si tratterebbe di monaziti (Ce), cioè inclusioni primarie entro l'apatite, le quali non sembrano interessate dai processi di alterazione e corrosione, altrimenti sarebbero impoverite di Ce. Evidenti sono invece le irregolarità sulle superfici esterne dei cristalli ospiti di apatite; questa ci sembra un'altra prova, sebbene indiretta, che le soluzioni metasomatizzanti hanno agito intensamente sui cristalli di apatite di queste facies.

A proposito del contenuto in U, nelle apatiti da noi esaminate non è stato mai possibile determinare questo elemento, sebbene l'apparecchiatura impiegata abbia una soglia di rivelabilità per l'U di 100 ppm. Molte sono le opinioni che sono state espresse sul modo di presentarsi dell'U nella apatite; tuttavia la maggior parte dei dati sembrano indicare che la presenza di questo elemento sia principalmente da imputare a cattura meccanica da parte di irregolarità interne o superficiali, escludendo la possibilità di una sostituzione isomorfa del Ca con l'U nel reticolo dell'apatite. (ALTSCHUELER et al., 1958; CAROBBI e MAZZI, 1959; BARANOV e DU LIEH-TIEN, 1961; SEREBRYAKOVA et al., 1965).

Nelle apatiti da noi analizzate, l'U è stato riscontrato solo in alcune microinclusioni di minerali estranei, come ad esempio la monazite, e mai come costituente reale del reticolo dell'apatite.

Per finire vogliamo richiamare l'attenzione sulla attendibilità con cui i dati di analisi chimiche si possono utilizzare per considerazioni cristallografiche. Le analisi di minerali riportate in letteratura non sono sempre complete e accurate, le fasi estranee incluse negli stessi minerali spesso non sono conosciute nè per composizione nè per quantità; a dire il vero, spesso è difficile se non impossibile, stimare il contributo di inclusioni molto piccole, talora submicroscopiche, ai dati di una analisi totale. Perciò dati analitici di tale fatta sono molte volte inadeguati a determinare con certezza il grado di soluzione solida o di deviazione dai rapporti stechiometrici. Ad es. CRUFT (1963), separando 100 piccoli campioni da un grosso cristallo di apatite lungo circa 10 cm. e eseguendo l'analisi sui piccoli frammenti, ha trovato che il contenuto di Ce, Y, La, Si, Fe e Mn è marcatamente inomogeneo entro le diverse parti del grosso cristallo.

I dati analitici presentati hanno permesso di individuare, entro le apatiti da noi studiate, inclusioni minute di varia natura (biotite, plagioclasio, monazite, xenotimo), le quali possono essere ritenute responsabili dei contenuti in Fe, Mg, Al, K e terre rare, elementi che molte volte sono stati ritenuti incorporati nella struttura dell'apatite senza avere portato prove dirette che ciò corrispondesse alla realtà. Mediante « scanning picture » si è potuto dimostrare che elementi estranei alla struttura dell'apatite (come Si, Al e Fe), anche quando non sono costituenti di minerali quali ad es. biotite o feldspati, riempiono microfessure presenti in cristalli di apatite fortemente alterati.

Questi risultati, anche se sono solo semiquantitativi, permettono però di valutare la distribuzione di un dato elemento entro difetti cristallini; non è invece possibile determinare direttamente l'ammontare volumetrico di tali difetti, riferendosi l'analisi mediante microsonda elettronica a una superficie. Se, d'altra parte, si tengono presenti le osservazioni fatte al microscopio polarizzante sui cristalli di apatite studiati (vedi Tav. II), ne risulta che il volume delle inclusioni e dei difetti cristallini può, in certi casi, superare anche 1/10 del volume totale del cristallo ospite; quindi per un ammontare tale da avere un contributo determinante per considerazioni interpretative sui meccanismi di sostituzioni isomorfe o di localizzazione degli elementi in tracce.

Risultati simili sono stati ottenuti da altri Autori (GOÑI e GUILLEMIN, 1964 a, b; GOÑI e DARDENNE, 1966) per altri minerali, (antigorite, biotite, titanite e carbonati), dove elementi estranei risultano essere principalmente presenti entro microfessure o imperfezioni dei cristalli e non come sostituzioni diadoche.

Sembra pertanto non giustificato definire certe varietà di una specie mineralogica con aggettivazioni o nomi specifici riferentesi ad elementi che solo da un'analisi globale risultassero presenti come tracce o in quantità « minore », qualora non sia stato accertato che in realtà tali elementi sostituiscano isomorficamente altri costituenti principali, anzichè trovarsi in effetti sotto forma di inclusioni o impurità estranee al reticolo cristallino del minerale. In questo ultimo caso, le varie discontinuità presenti nei cristalli (difetti strutturali, sfaldature, microfessure, inclusioni, pellicole superficiali e intergranulari) rappresentano i luoghi in cui si fissano e si accumulano elementi estranei, i quali possono giocare un ruolo importante nella ripartizione e nel bilancio geo-chimico (e cristallogeo-chimico) degli elementi.

La parte analitica sperimentale mediante microsonda elettronica e lo studio in microscopia elettronica sono stati eseguiti presso l'Earth Science Department della Scripps Institution of Oceanography di La Jolla, Università di California (U.S.A.), durante uno stage annuale di uno di noi (B.P.) che ha usufruito di una borsa NATO conferita dal CNR Italiano.

La realizzazione di queste ricerche è stata possibile anche grazie ai fondi stanziati per il programma gp-5204 della National Science Foundation degli U.S.A., cui rivolgiamo la nostra riconoscenza per il generoso aiuto economico.

Al Sig. R. Fitzgerald, alla Sig.ra B. Böstrom e ai tecnici del laboratorio di La Jolla va il nostro cordiale ringraziamento per l'assidua assistenza nella realizzazione delle analisi.

Esprimiamo inoltre il nostro più vivo ringraziamento al Prof. G. Arrhenius, direttore del dipartimento, per gli utili suggerimenti durante le ricerche e per la discussione dei risultati.

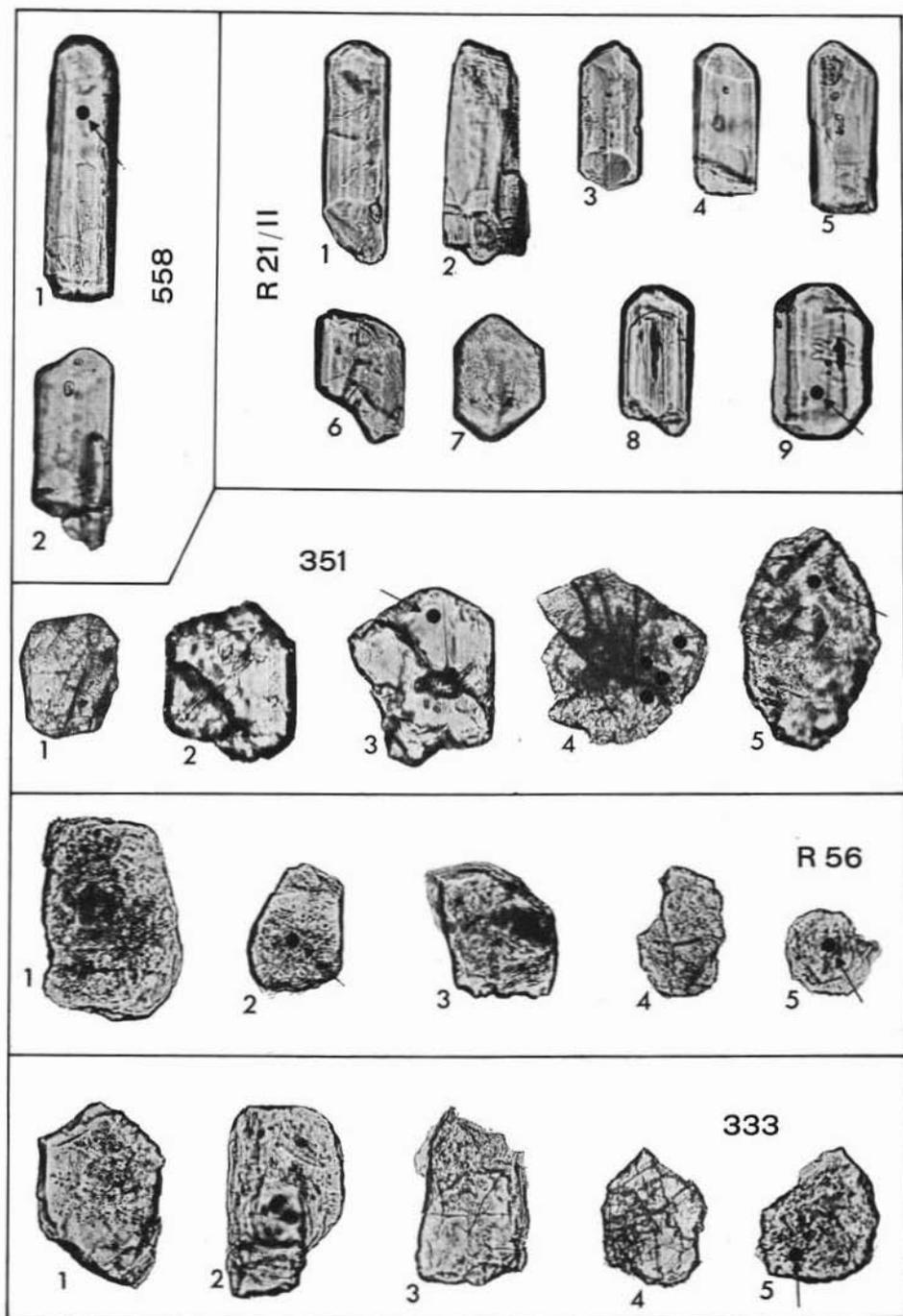
*Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica
Università di Pavia, dicembre 1967.*

BIBLIOGRAFIA

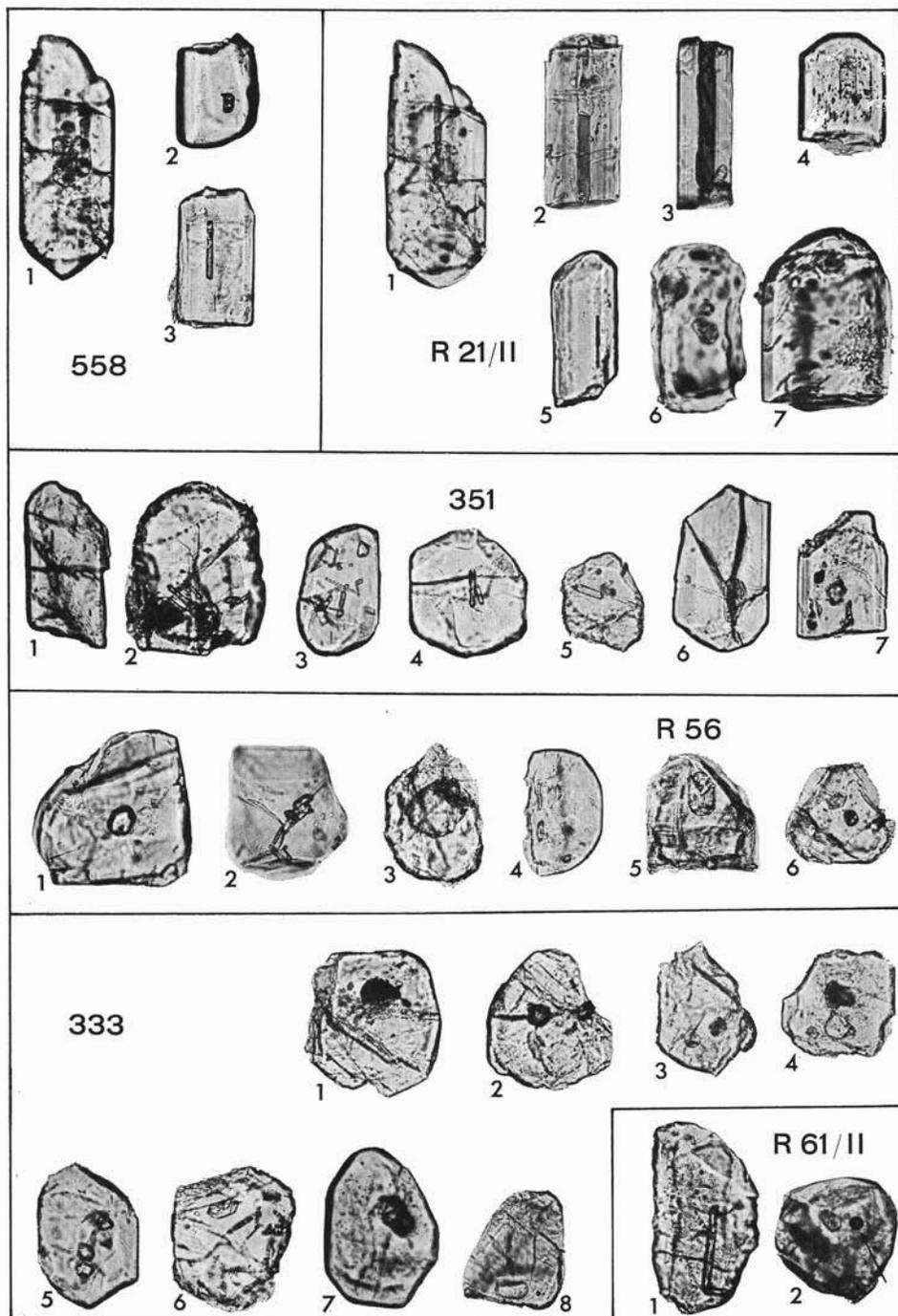
- ALTSCHULER Z. S., CLARKE R. S. e YOUNG E. J. (1958) - *The geochemistry of uranium in apatite and phosphorite*. Geol. Survey Prof. Paper 314-D.
- AMELINCKX S. (1952) - *Growth spirals and their relation to crystal habit as illustrated by apatite*. Nature 170, 760-761.
- BAXER G. (1941) - *Apatite crystals with colored cores in Victorian granitic rocks*. Amer. Miner. 26, 382-390.
- BALCONI M. e VENIALE F. (1959) - *Fenomeni di metasomatismo potassico in graniti della Val Sessera*. Studi Ric. Ist. Miner. Petr. Univ. Pavia, Fasc. I, 39-67.
- BARANOV V. I. e DU LIETH-T'IEU (1961) - *Geochemistry of uranium and thorium in the granites of the Kyzyltau massif (central Kazakhstan)*. Geochemistry, 1180-1191.
- BIGGAR G. M. (1966) - *Experimental studies of apatite crystallization in parts of the system $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$ at 1000 bars*. Miner. Mag. 35, 1110-1122.
- BOONE G. M., KRAMER J. R. e PEACOR D. R. (1965) - *Composition of some Grenville apatites*. Canad. Miner. 3, 394.
- CAROBBI G. e MAZZI F. (1959) - *Sulla possibilità di una sostituzione parziale del calcio con l'uranio nel reticolo dell'apatite*. Atti Accad. Naz. Lincei - Mem. Ser. III-5, 159-171.
- CRUFT E. F. (1963) - *The distribution of minor elements within a single apatite crystal*. Canad. Miner. 7, 816.
- CRUFT E. F. (1966) - *Minor elements in igneous and metamorphic apatite*. Geoch. Cosmoch. Acta 30, 375-398.
- CRUFT E. F., INGAMILLS C. O. e MUYSSON J. (1965) - *Chemical analysis and the stoichiometry of apatite*. Geoch. Cosmoch. Acta 29, 581-597.
- DEER W. A., HOWIE R. A. e ZUSSMAN J. (1962) - *Rock-forming minerals. V: Non-Silicates*. Apatite, 323-338. Longmans, London.
- DENISOV A. P., DUDKIN O. B., ELINA N. A., KRAVCHENKO-BEREZHNOI R. A. e POLEZHAEVA L. I. (1961) - *Dependence of the physical properties of apatite on the admixture of rare earths and strontium*. Geochemistry 8, 718-730.
- FLEISCHER M. (1965) - *Some aspects of the geochemistry of yttrium and the lanthanides*. Geoch. Cosmoch. Acta 29, 755-772.
- FLEISCHER R. L., PRICE P. B. e SYMES E. M. (1964) - *On the origin of anomalous etch pits in minerals*. Amer. Miner. 49, 794-800.
- FRAZER J. Z., FITZGERALD R. W. e REID A. M. (1966) - *Computer programs EMX and EMX2 for electron microprobe data processing*. Unpublished report, SIO Reference 66-14.
- GOŃI J. e GUILLEMIN C. (1964 a) - *Sur la localisation des éléments en trace dans les minéraux et les roches*. Bull. Soc. franç. Minér. Crist. 87, 149-156.

- GOŃI J. e GUILLEMIN C. (1964 b) - *Sites of trace elements in minerals and rocks*. Geochemistry, 1025-1034.
- GOŃI J. e DARDENNE M. (1966) - *Sur la localisation du zinc dans une calcite et une aragonite zincifères*. Bull. Soc. franç. Minér. Crist. 89, 353-361.
- GROVES A. e MOURANT A. E. (1929) - *Inclusions in the apatites of some igneous rocks*. Miner. Mag. 22, 92-99.
- HARTMAN P. (1963) - *Structure, growth and morphology of crystals*. Zeitsch. Krist. 119, 65-78.
- HOPPE G. (1962) - *Die Formen des akzessorischen Apatits*. Ber. Geol. Gesel. 2, 233-239.
- KALITA A. P. (1959) - *Distribution of rare earths in the pegmatite minerals of Northwestern and Southwestern Karelia*. Geochemistry 2, 171-177.
- KEIL K. (1967) - *The electron microprobe X-ray analyzer and its application in mineralogy*. Fortschr. Miner. 44, 4-66.
- KRAUS G. (1963) - *Das Apatit-Zirkon-Gefüge in den Wirtmineralen Hornblende und Biotit effusiver und «granitischer» Gesteine*. Tscher. Miner. Petr. Mitt. 8, 335-360.
- KREITER D. S. (1965) - *Typomorphic characteristics of zircon and apatite in rocks of a Ural alkaline complex*. Izv. Vyss. Uchebn. Zav. Geol. Razv. 8, 64-74 [Chem. Abs. (1966)-64, 463-464].
- LE GEROS R. Z., TRAUTZ O. R., LE GEROS J. P. e KLEIN E. (1967). - *Apatite crystallites: effects of carbonate on morphology*. Science 155, 1409-1411.
- LEVINSON A. A. (1966) - *A system of nomenclature for rare-earth minerals*. Amer. Miner. 51, 152-158.
- LYAKHOVICH V. V. (1962) - *Rare earth minerals in the accessory minerals of granitoids*. Geochemistry, 39-55.
- LOVELL L. C. (1958) - *Dislocation etch pits in apatite*. Acta Metal. 6, 775-778.
- MCCONNELL D. (1965) - *Deficiency of phosphate ions in apatite*. Naturwiss. 52, 183.
- MINYEV D. A. (1963) - *Geochemical differentiation of the rare earths*. Geochemistry, 1129-1149.
- MOORHOUSE W. W. (1956) - *The paragenesis of accessory minerals*. Econ. Geol. 51, 248-262.
- MÜLLER H. (1962) - *Präparation von technisch-physikalischen Objekten für die elektronenmikroskopische Untersuchung*. AVG Geest u. Portig, Leipzig.
- PATEL A. R., DESAI C. C. e AGARWAL M. K. (1966) - *Cleavage and etching of prism faces of apatite*. Acta Cryst. 20, 796-798.
- PAVLENKO A. S., VAINSHTEIN E. E. e TURANSKAYA N. V. (1959) - *Certain regularities in the behavior of rare earths yttrium in magmatic and postmagmatic processes*. Geochemistry, 357-380.
- PFISTERER H. (1953) - *Ein abdruckverfahren zur Abbildung rauher Oberflächen im Elektronenmikroskop*. Naturwiss. 40, 106.
- PIGORINI B., SOGGETTI F. e VENIALE F. (1964) - *Studio morfologico-statistico dello zircone accessorio nei graniti di Alzo, Baveno e Montorfano*. Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 103, 18-48.
- PIGORINI B. e VENIALE F. (1965) - *Anatasio autigenico in prodotti di alterazione atmosferica di rocce granitiche*. Rend. Soc. Miner. Ital. 21, 257-272.

- FIGORINI B. e VENIALE F. (1966) - *Studio mediante microsonda elettronica dei diversi tipi di zirconio accessorio nei graniti di Baveno, M. Orfano e Alzo*. Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 105, 207-264.
- RANKAMA K. e SAHAMA TH. G. (1950) - *Geochemistry*. Univ. Chicago Press.
- RJABOKONJ S. M. (1956) - *Apatite aus Pegmatitgängen im Einzugsgebiet der Flüsse Gornyj Tikitsch und Gniloj Tikitsch*. Geol. Shurnal 16, 53-60. [Zentrbl. Miner. - I (1957), 495].
- SEAGER A. F. (1953) - *The surface structure of crystals*. Miner. Mag. 30, 1-25.
- SEREBYAKOVA M. B. e RAZUMNAYA YE. G. (1964) - *Form of the occurrence of uranium in apatite*. Dokl. Acad. Sci. U.S.S.R. Earth Sci. Sect. 143, 153-156 [Miner. Abs. (1965)-17, 168].
- SIMPSON B. (1933) - *The dusky apatites of the Eskdale (Cumberland) granite*. Geol. Mag. 70, 375-378.
- SIMPSON D. R. (1966) - *Effects of magnesium on the formation of apatite*. Amer. Miner. 51, 205-209.
- SIMPSON D. R. (1967) - *Effect of pH and solution concentration on the composition of carbonate apatite*. Amer. Miner. 52, 896-902.
- SPRINGER G. (1967) - *Die Berechnung von Korrekturen für die quantitative Elektronenstrahl-Mikroanalyse*. Fortschr. Miner. 45, 103-124.
- STROITELEV S. A. (1961) - *The origin of multiple striations on crystals*. Zap. Vses. Min. Obsch. 90, 709-713. [Miner. Abs. (1965)-17, 24].
- SUMIN N. G. (1957) - *Über einige Besonderheiten des Apatits aus den Skarneisenlagerstätten*. Trudy miner. Museja Akad. Nauk. SSSR. 8, 116-121. [Zentrbl. Miner. (1958)-I, 408].
- TABORSZKY F. K. (1962) - *Geochemie des Apatits in Tiefengesteinen am Beispiel des Odenwaldes*. Beitr. Miner. Petr. 8, 354-392.
- TAUSON L. V. (1965) - *Factors in the distribution of the trace elements during the crystallisation of magmas*. Physics and Chemistry of the Earth 6, 215-249.
- TAYLOR S. R. (1965) - *The application of trace element data to problems in petrology*. Physics and Chemistry of the Earth 6, 133-213.
- VASILIEVA Z. V. (1958) - *On the role of manganese in apatites*. Mem. All-Union Min. Soc. 87, 455-468. [Miner. Abs. (1959)-14, 286-287].
- VENIALE F. (1961) - *Le formazioni granitoidi della Val Sessera*. Rend. Soc. Miner. Ital. 17, 543-590.
- WILLIE P. J., COX K. G. e BIGGAR G. M. (1962) - *The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks*. Journ. Petrol. 3, 238-243.
- WINAND L. (1963) - *Etude physico-chimique de diverses carbonatapatites*. Bull. Soc. roy. Sci. Liège 32, 575-596. [Miner. Abs. (1965)-17, 261].
- YOUNG E. J. (1964) - *Effect of isomorphic substitutions on the omega index of refraction of apatite (abs.)*. Geol. Soc. Amer. Ann. Meeting 82, 231.
- YOUNG R. A. (1966) - *Some structural details of hydroxyapatite, fluoroapatite and chloroapatite*. Acta Cryst. 21 (5-108), A73-A74.
- YOUNG E. J. e MUNSON E. L. (1966) - *Fluor-chlor-oxy-apatite and sphene from crystal Lode pegmatite near Eagle Colorado*. Amer. Miner. 51, 1476-1493.
- ZHIROV K. K., BANDURKIN G. A. e LAVRENT'YEV YU. G. (1961) - *Geochemistry of rare earth elements in pegmatites of Northern Karelia*. Geochemistry, 1107-1118.



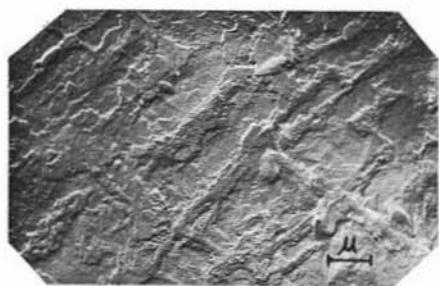
Caratteristiche morfologiche dell'apatite accessoria nelle diverse facies litologiche.



Vari tipi di inclusioni nell'apatite accessoria nelle diverse facies litologiche.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA III.

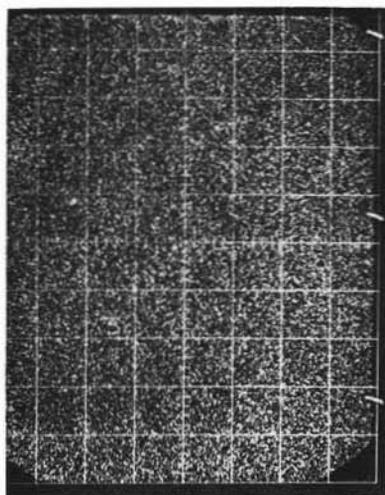
Repliehe di superficie di granuli di apatite accessoria nelle diverse facies litologiche. La fotografia R21/II (BSE) raffigura l'immagine elettronica di un'area selezionata entro un cristallo di apatite accessoria nella granodiorite biancastra (il lato dei quadratini del reticolo che compare nell'immagine elettronica corrisponde a 5μ).



R 21/II

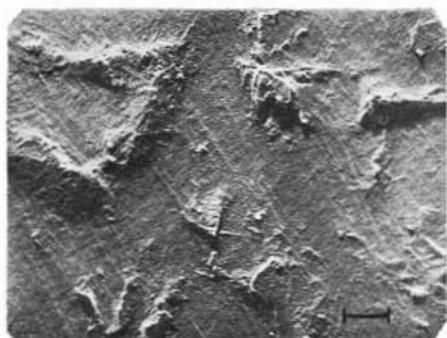


R 21/II
(HCl)

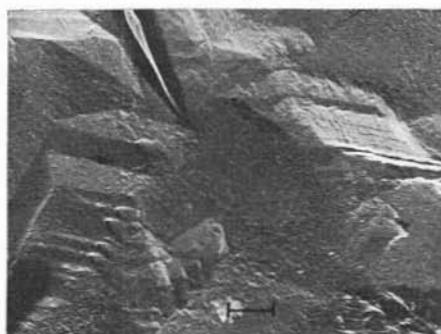


R 21/II (BSE)

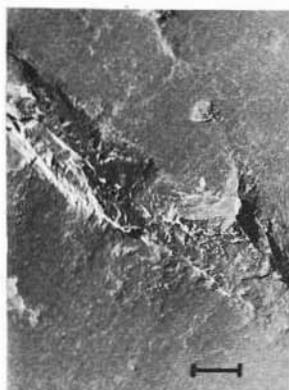
R 56 (HCl)



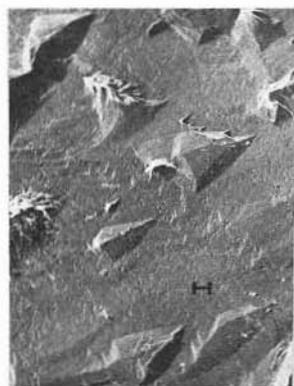
R 56



351



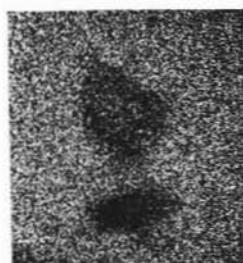
333



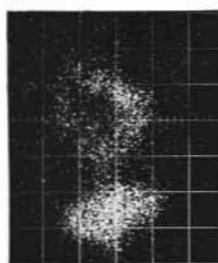
333 (HCl)

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA IV.

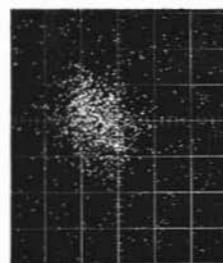
Immagine elettronica (BSE) e immagini a raggi X di due inclusioni (biotite e monazite) entro cristalli di apatite accessoria nel granito porfiroide a due miche con prevalenti porfiroblasti di microclino (camp. 351). Il lato dei quadratini del reticolo che compare nelle immagini a raggi X corrisponde a 5μ .



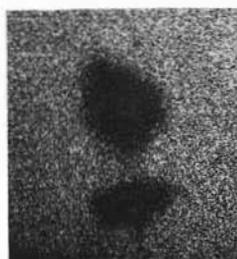
P



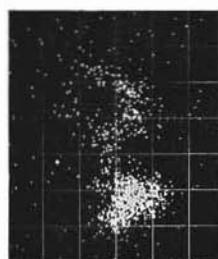
Si



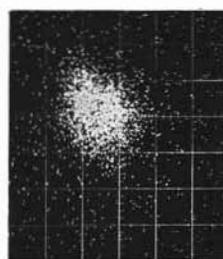
La



Ca



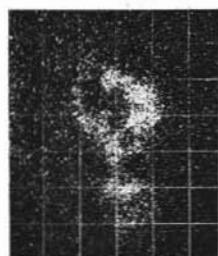
Al



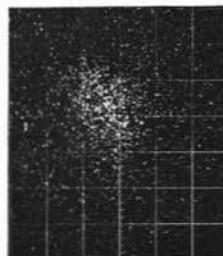
Ce



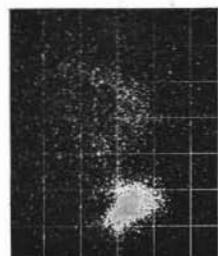
BSE



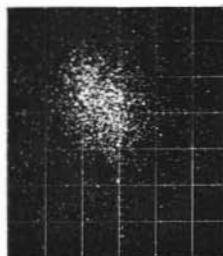
Fe



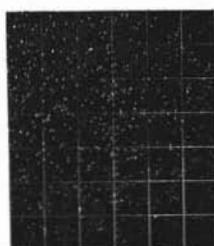
Gd



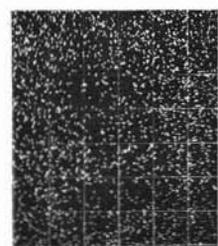
K



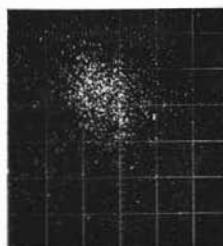
Nd



Y



Mn



Pr

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA V.

Immagine elettronica (BSE) e immagini a raggi X di un'inclusione di monazite entro un cristallo di apatite accessoria nel granito porfiroide a due miche con prevalenti porfiroblasti di microclino (camp. 351). Il lato dei quadratini del reticolo che compare nelle immagini a raggi X corrisponde a 5μ .



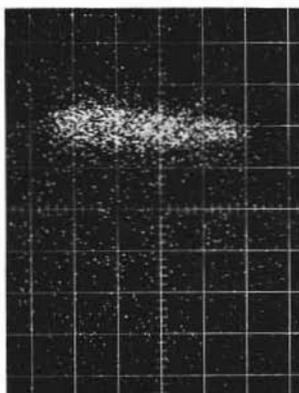
BSE



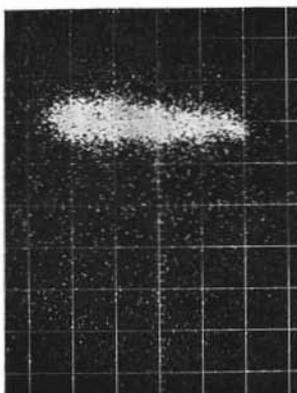
P



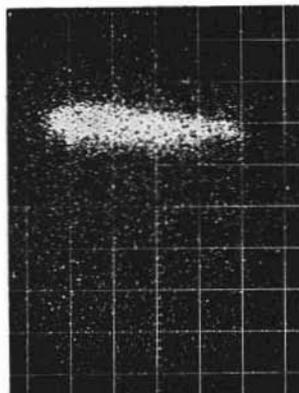
Ca



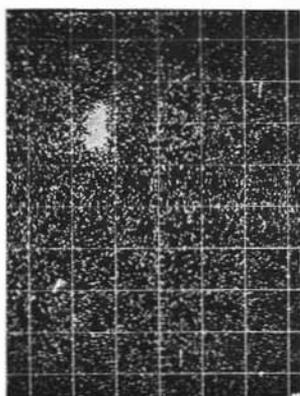
La



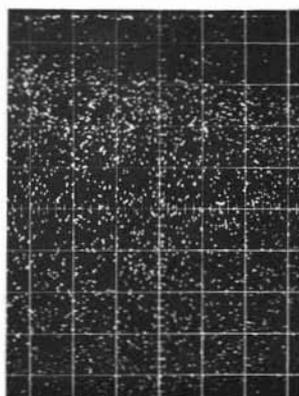
Ce



Nd



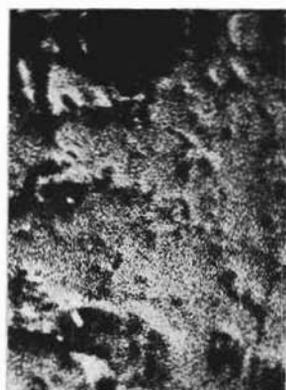
Fe



Y

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA VI.

Immagini elettronica (BSE) e immagini a raggi X di un'inclusione di biotite entro un cristallo di apatite accessoria nel granito perfiroide a due miche con prevalenti porfiroblasti di microclino (camp. 351). Il lato dei quadratini del reticolo che compare nelle immagini a raggi X corrisponde a 5μ .



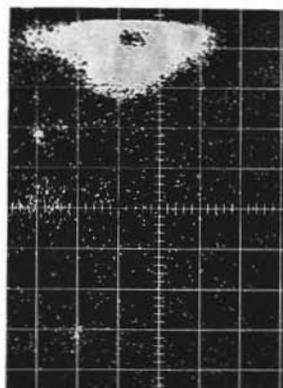
BSE



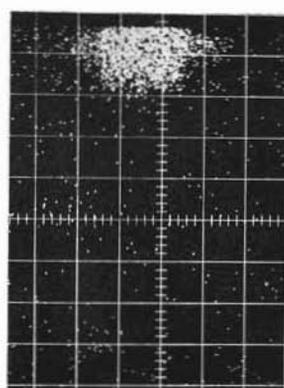
P



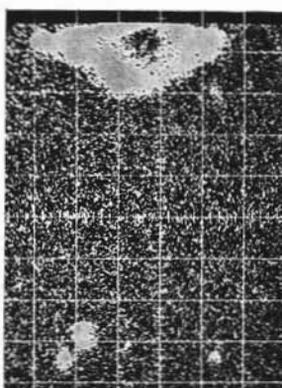
Ca



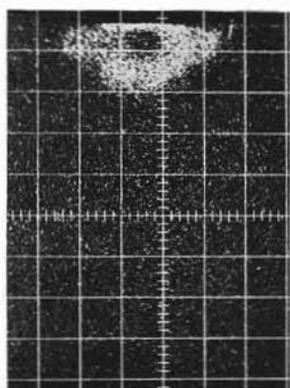
Si



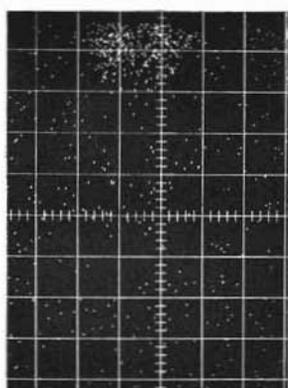
Al



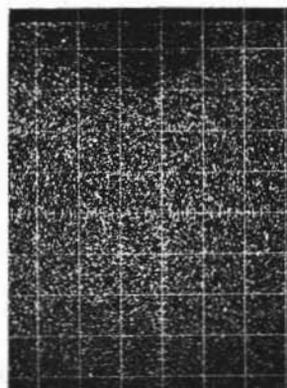
Fe



K



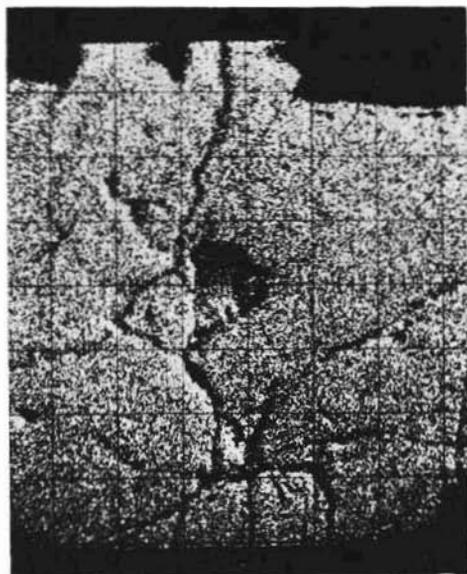
Mg



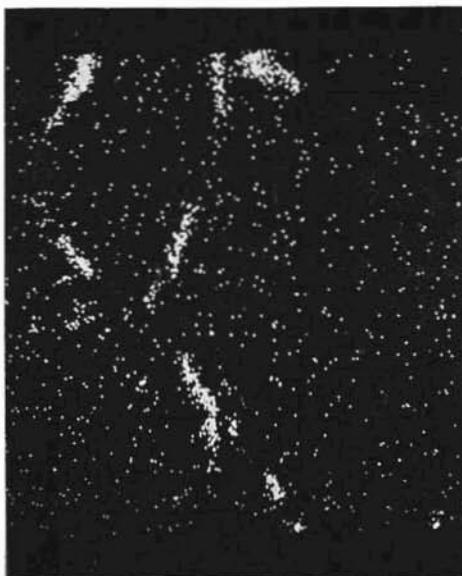
Mn

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA VII.

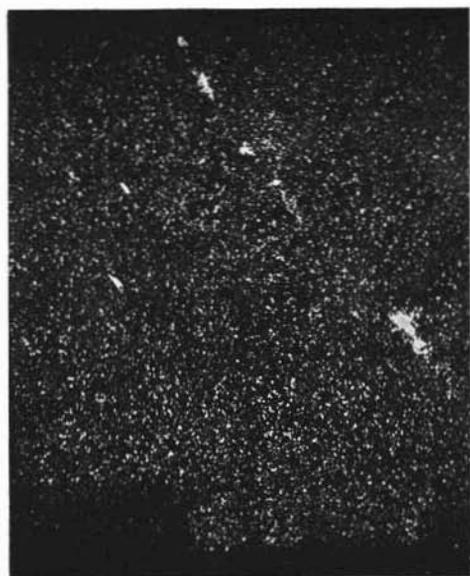
Immagine elettronica (BSE) e immagini a raggi X di microfessure entro un cristallo di apatite, nelle quali sono presenti elementi estranei alla struttura e alla cristallografia del minerale; granito porfiroide a due miche con prevalenti porfiroblasti di microclino (camp. 351). Il lato dei quadratini del reticolo che compare nelle immagini a raggi X corrisponde a 5μ .



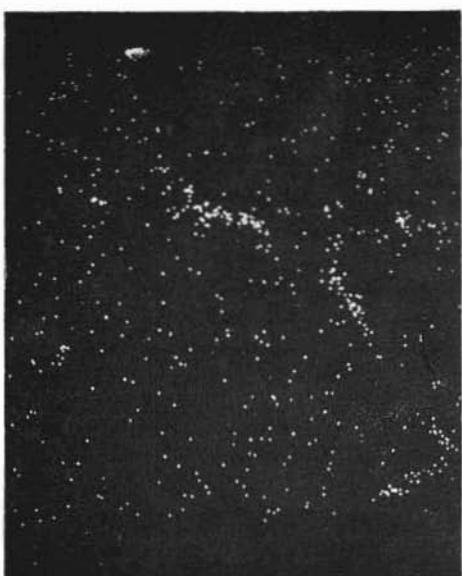
BSE



Si



Al



Fe