

CENTRO STUDI DI PETROGRAFIA E GEOLOGIA DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
PRESSO L'UNIVERSITÀ DI PADOVA

O. HIEKE MERLIN

Istituto di Mineralogia dell'Università di Padova

E. PICCIOTTO e S. WILGAIN

Laboratoire de Physique Nucléaire de l'Université Libre de Bruxelles

STUDIO SULLA DISTRIBUZIONE DELLA RADIOATTIVITÀ NELLA GRANODIORITE DELL' ADAMELLO

(con 1 figura nel testo e 4 tavole)



PADOVA

SOCIETÀ COOPERATIVA TIPOGRAFICA

1955

Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova

Volume XIX

INTRODUZIONE

Nel vasto quadro delle ricerche geologiche e chimico-petrografiche che da anni vengono condotte sul Massiccio dell'Adamello negli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova, si è creduto interessante inserire anche un gruppo di ricerche geochimiche rivolte allo studio della distribuzione della radioattività, dovuta a Torio ed Uranio, nelle facies intrusive più tipiche di questo complesso montuoso.

Il massiccio tonalitico-granodioritico dell'Adamello fa parte delle Alpi Meridionali ed è situato al confine fra il Trentino e la Lombardia; l'intrusione magmatica è da ritenere sicuramente posteriore al Trias in quanto le più giovani formazioni incassanti da essa metamorfosate sono riferibili a questo periodo. Sulla base di varie considerazioni geologico-petrografiche, l'età della massa risulterebbe posteriore a quella del parossismo alpino, collocabile fra l'Eocene superiore ed il Miocene inferiore. E' noto che pur essendo le granodioriti e le tonaliti le facies petrografiche nettamente prevalenti, si trova in questo plutone una serie di differenziazioni quanto mai varia e completa; dai tipi schiettamente leucogranitici sino ai gabbri orneblendici ed alle orneblenditi. Numerosi i filoni che solcano prevalentemente la periferia della massa intrusiva principale e le formazioni incassanti; anche fra le facies filoniane si ritrovano sia tipi poco differenziati rispetto la massa granodioritico-tonalitica, sia tipi schiettamente differenziati in senso sialico e femico: dalle apliti granitico-granodioritiche sino alle porfiriti anfibolico-pirosse-niche, talvolta ad olivina.

Per ampie e dettagliate notizie geologico-petrografiche, rimandiamo il lettore alle pubblicazioni di A. BIANCHI e GB. DAL PIAZ [da 3 a 6], da cui sono state attinte le brevi indicazioni geologico-petrografiche da noi qui riferite. Nei predetti lavori viene offerta inoltre un'ampia bibliografia delle numerose pubblicazioni geologico-petrografiche relative all'interessante massiccio.

Offriamo in questa memoria i risultati delle nostre ricerche su un gruppo di facies granodioritiche, che sono fra le più rappresentative della massa.

Lo scopo principale del nostro lavoro non è stato quello di determinare le concentrazioni totali in Torio ed Uranio, bensì quello di stabilire la distribuzione di questi elementi fra i vari costituenti mineralogici della roccia. Per queste indagini il metodo fotografico, basato sulla rivelazione delle particelle α , è espressamente adatto.

Su questa tecnica e sulle sue applicazioni sono già noti vari lavori di Autori stranieri [9, 11, 20, 38, 42] e di studiosi italiani [1, 2, 17, 27, 28, 29, 45]. Una bibliografia completa, sino al 1949, sui principi di questo metodo si trova nel ben noto lavoro di YAGODA [46].

Questo nostro lavoro, nato dalla collaborazione fra l'Istituto Mineralogico di Padova ed il Laboratorio di Fisica Nucleare dell'Università Libera di Bruxelles, viene pubblicato, sotto gli auspici e con il contributo finanziario del Centro Studi di Petrografia e Geologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche, nelle Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova. Esprimiamo per questo i più vivi ringraziamenti ai Professori Angelo BIANCHI e Giambattista DAL PIAZ, Direttori del Centro stesso.

CENNI PETROGRAFICI E CHIMICI

SULLA FACIES GRANODIORITICA DEL BAITONE

Sono stati studiati quattro tipi granodioritici provenienti dal gruppo del Baitone nell'Adamello nord-occidentale, tipi che possono bene rappresentare la facies acida media di tutto il massiccio.

Il rilevamento geologico-petrografico del gruppo del Baitone è dovuto a G. SCHIAVINATO che ha svolto ricerche di dettaglio in questa zona, pubblicando una nota di carattere preliminare [43].

Riteniamo necessario dare le caratteristiche petrografiche essenziali dei tipi rocciosi da noi presi in considerazione.

La granodiorite del Baitone è caratterizzata da una struttura olocristallina a grana media. Gli elementi leucocratici sono rappresentati dal quarzo, dall'ortoclasio e dai plagioclasti. Questi ultimi costituiscono in tutte le facies la parte prevalente, mentre l'ortoclasio è relativamente poco abbondante anche nei termini granodioritici più acidi; sono geminati, per lo più secondo le leggi Albite-Carlsbad e Albite-Carlsbad-periclino, e per zonatura presentano ampie oscillazioni nella composizione, con passaggi limite da nuclei riccamente calcici di tipo labradoritico (55-60 % An), attraverso a zone mediane andesiniche (40 % An), a bordi di composizione oligoclasica (20 % An); se ne deduce una composizione media andesinica. Talora minute associazioni mirmechitiche segnano il limite fra gli elementi ortoclastici ed i plagioclasti.

Gli elementi colorati sono rappresentati nelle facies più acide da sola biotite, intensamente pleocroica, a cui si associa nei termini granodioritici più femici, passanti a tonaliti, l'anfibolo in quantità crescente.

Si tratta di orneblenda verde con pleocroismo marcato dai toni gialli ai verdi e con angolo di estinzione $c: \gamma = 18^{\circ}-20^{\circ}$.

Fra gli accessori in quantità variabili si rinvencono: magnetite in granuli neri opachi; apatite in elementi nettamente idiomorfi ad abito prismatico-bipiramidato per lo più inclusa negli elementi ferromagnesiaci; cristallini di zirconio; titanite in granuli.

A questi componenti si associano termini vari del gruppo dell'epidoto. E' possibile ritrovare: piccoli elementi di pistacite gialla ferrifera, il cui idiomorfismo fa pensare ad una origine primaria, e minuti grumi epidotici di composizione intermedia fra la clinozoisite e la pistacite, la cui formazione è ricollegabile con il processo secondario di cloritizzazione delle miche.

L'ortite, termine epidotico a terre rare, bruna intensamente pleocroica è piuttosto frequente, in individui relativamente sviluppati.

Accenni di trasformazioni autometamorfiche, rappresentati da caolinizzazione, sericitizzazione e zoisitizzazione dei feldspati, cloritizzazione della mica.

Per quanto riguarda il chimismo di queste facies del Baitone ci si può basare sull'analisi eseguita da G. SCHIAVINATO sul tipo medio delle rocce granodioritiche che costituiscono l'estrema parte nord-occidentale dell'Adamello, analisi che, assieme alla formula magmatica NIGGLI, è stata da noi attinta dal lavoro precedentemente citato [43] di questo studioso.

Dai dati analitici e dalla relativa formula magmatica, si deduce per questa facies media un chimismo schiettamente alcali-calcico; nel quadro dei tipi magmatici NIGGLI di differenziazione essa rientra nel gruppo dei magmi granodioritici.

SiO ₂	63.04	si	=	230
TiO ₂	0.55	al	=	38.5
P ₂ O ₅	0.13	fm	=	26
Al ₂ O ₃	17.56	c	=	20
Fe ₂ O ₃	1.16	alc	=	15.5
FeO	3.71	k	=	0.40
MnO	0.08	mg	=	0.42
MgO	1.95	ti	=	1.45
CaO	5.05	p	=	0.22
Na ₂ O	2.70			
K ₂ O	2.54			
H ₂ O+	1.17			
H ₂ O—	0.20			
	99.84			

TECNICA USATA: METODO DELLA « COLATA DIRETTA »

Dai lavori precedentemente citati nell'introduzione, risulta che il metodo fotografico usato finora dai vari Autori è stato sempre quello della « sovrapposizione » della lastra fotografica su campioni variamente preparati (polveri, preparati lucidi o sezioni sottili di rocce). Le tecniche, comunque usate, basate sulla « sovrapposizione » della lastra fotografica non sfruttano tutte le possibilità del metodo fotografico.

Il metodo della « sovrapposizione » su polveri non offre evidentemente alcuna indicazione sulla localizzazione delle α e su preparati lucidi non permette un rapido e facile studio microscopico dei minerali emittenti; anche il metodo della sovrapposizione su sezioni sottili, pur essendo rapido, offre una rispondenza piuttosto imprecisa fra le tracce delle α ed i loro punti di emissione. Ammesso di poter ritornare dopo lo sviluppo a quelle posizioni di riferimento che la lastra e la sezione avevano rispettivamente durante il periodo di esposizione, ne risulta ad ogni modo una perdita di precisione nella localizzazione delle α , dovuta allo strato d'aria che esiste sempre fra la lastra e la sezione di roccia. Dato che il potere di arresto dell'aria rispetto a quello dell'emulsione è trascurabile, le particelle α , emesse più o meno tangenzialmente, possono percorrere un lungo tragitto nell'aria prima di entrare nell'emulsione; ne può risultare inoltre fal-

sata la loro direzione di emissione, per deviazioni dovute ad urti sui nuclei dell'aria, con conseguente spostamento fra il punto di emissione ed il punto di entrata della particella α nell'emulsione.

Questi inconvenienti possono essere evitati mediante l'uso di una tecnica che permetta il perfetto contatto fra la sezione di roccia in esame e l'emulsione stessa e che, dopo l'esposizione, per procedere allo sviluppo non renda necessario il distacco della emulsione dalla roccia.

Sono state finora descritte due tecniche che soddisfano a tali requisiti: una basata sull'uso di fogli di emulsione senza supporto, che vengono incollati direttamente sulla sezione sottile [44 STIEFF-STERN], l'altra sull'uso di emulsione colata allo stato liquido [18 FORD, 40 PICCIOTTO]. In entrambi i casi l'emulsione è sviluppata assieme alla sezione di roccia. Al microscopio è possibile in tal modo una sicura e simultanea osservazione sia dei costituenti mineralogici sia delle tracce di particelle α da essi emesse.

Per queste nostre ricerche abbiamo preferito l'uso della « colata diretta » perchè in tal modo risultano ridotte al minimo il numero di tracce α dovute a contaminazioni radioattive dell'emulsione.

Riteniamo opportuno e utile fornire alcune delucidazioni sul modo di procedere durante gli stadi di colata e di sviluppo.

Colata ed esposizione. - Su una sezione sottile di roccia di 35 μ di spessore, non ricoperta, priva di tracce di balsamo alla superficie, perfettamente pulita con acqua bidistillata per eliminare qualsiasi impurezza pulverulenta ed asciugata con alcool etilico puro, viene colata l'emulsione (in camera oscura e su un piano perfettamente orizzontale! I pochi cm^3 necessari di emulsione Ilford C₂ « in gel form » vengono fusi in un tubicino di vetro, a bagnomaria a 45°). Viene versata a goccia a goccia, attraverso un filtro di garza, sulla sezione sottile in modo da ottenere, ad avvenuto asciugamento, spessori di circa 50-100 micron; si deve tener conto che, per asciugamento, il volume dell'emulsione viene ridotto di circa 8 volte e pertanto bisogna far uso di circa 0,1 cc di emulsione per ricoprire un cm^2 di superficie.

La sezione viene asciugata su un piano orizzontale, in essiccatore, per un periodo che varia dalle sei alle dodici ore. È necessario che l'asciugamento sia completo, per tutto lo spessore dell'emulsione, dato che eventuali eccessi di umidità favorirebbero la scomparsa dell'immagine latente delle tracce (fading). I preparati vanno tenuti in ambiente secco e freddo (5° C); per queste rocce acide il tempo di esposizione si aggira sui tre mesi.

Sviluppo. - Siccome mediante questa tecnica la sezione sottile va immersa insieme all'emulsione nel bagno di sviluppo, si deve far uso di un rivelatore poco alcalino, prossimo alla neutralità; viene in tal modo ridotta l'azione chimica dello sviluppo sul preparato ed impedito l'eccessivo gonfiamento dell'emulsione con relativo distacco di essa dalla roccia e conseguente formazione di bolle d'aria.

Per gli stessi motivi abbiamo preferito il metodo di sviluppo a due temperature [15,16], che si svolge in due tempi: il primo a bassa temperatura denominato « stadio d'impregnazione », il secondo « a secco » e a temperatura più alta.

Rivelatore :	Amidolo	gr.	3	KBr	gr.	0,5
	Na ₂ SO ₃	gr.	12	Acido borico	gr.	4
		Acqua	gr.	1000		

I° stadio d'« impregnazione »: a 4°C e per 45 minuti.

II° stadio: lo sviluppo viene gettato via e la lastra « a secco » portata a 14°C per la durata di 40 minuti.

E' consigliabile fare previamente dei saggi di sviluppo, date le variazioni di sensibilità presentate da uno stesso tipo di emulsione.

Bagno di arresto:

acido acetico all'1 % a 10°, per 2 minuti.

Fissaggio:

iposolfito di sodio al 30 % a 10°, fino a schiarimento.

Lavaggio:

alcune ore in acqua corrente.

Osservazione microscopica.(*) - Lo studio della sezione va eseguito al microscopio da polarizzazione, preferibilmente binoculare. Per l'osservazione dettagliata delle α è necessario l'uso di obbiettivi ad immersione, questo per ridurre la profondità di campo ed essere certi dei rapporti spaziali esistenti fra le particelle α ed i minerali; ciò permette di distinguere le α provenienti dai minerali da quelle dovute a contaminazione dell'emulsione per causa di sorgenti esterne [13].

Le misure di plaghe radioattive ed il conteggio di α emesse da zone ad alta densità sono state rese facili dall'uso di oculari muniti di reticolo a grata, tarato. Tutte le α emesse sono state riferite ai rispettivi minerali emittenti ed inoltre riportate su una fotografia della sezione sottile ad ingrandimento noto.

RISULTATI SPERIMENTALI

Abbiamo sintetizzato in Tabelle i dati ricavati [Tabella I^a, II^a, III^a, IV^a], seguendo il modo di esposizione usato da uno di noi in un lavoro precedente [PICCIOTTO, 38].

Le ricerche sono state condotte, come abbiamo già precisato, su quattro facies granodioritiche: tre tipi acidi (Ad 5, Ad 7, Ad 8) con prevalenza di minerali leucocrati, ed un tipo più femico (Ad 9) in cui si nota il netto prevalere dell'elemento colorato sui componenti sialici. Questo ultimo tipo proviene da una massa lentiforme di un metro di diametro circa rappresentante una concentrazione femica della stessa granodiorite; è noto che noduli, lenti e zolle, più o meno sviluppati differenziati in senso femico sono frequentemente disseminati nella massa granodioritica principale del Massiccio dell'Adamello.

Abbiamo particolarmente preso in considerazione i rapporti fra le radioattività delle inclusioni e dei minerali essenziali.

Per offrire una più esatta idea del contributo delle inclusioni alle attività dei singoli componenti essenziali e della roccia nel suo assieme, in ciascun tipo studiato ab-

(*) Siamo grati a M.me Jacqueline Meesters, microscopista a Bruxelles, per il suo aiuto tecnico.

biamo dato per ogni accessorio, oltre ai valori della sua radioattività, i rapporti volumetrici di esso rispetto al minerale ospite ed alla roccia.

Rapide osservazioni microscopiche sono state eseguite anche su altre sezioni degli stessi campioni per la ricerca di accessori rari, di centri molto attivi e di aloni pleocroici; di queste osservazioni saranno riferiti i risultati più avanti nella discussione generale dei dati sperimentali.

Sezioni con centri molto attivi sono state pure esposte secondo la tecnica della « sovrapposizione », ciò per facilitare lo studio microscopico dei minerali emittenti, evitando i disturbi dovuti all'eccessivo agglomeramento di tracce di particelle α .

Per un confronto rapido, nella Tabella V^a abbiamo riunito i valori delle attività specifiche dei costituenti mineralogici di tutte quattro le sezioni studiate. Facciamo presente che abbiamo ritenuto opportuno di non prendere in essa in considerazione i dati relativi alle attività specifiche degli anfibioli delle facies Ad 5 e Ad 7 perchè la statistica relativa risulta troppo esigua; inoltre per la granodiorite Ad 9 abbiamo pensato non necessaria la distinzione fra le attività reali della biotite e dell'anfibolo, avendo riscontrato che esse sono eguali per questi due componenti femici.

SPIEGAZIONE DELLE TABELLE

Diamo:

- nella I^a colonna: l'attività totale, l'attività degli accessori visibili e l'attività dei minerali essenziali puri, che risulta dalla differenza fra le due prime;
- nella II^a colonna: il numero di α contate;
- nella III^a colonna: la superficie esplorata in cm²;
- nella IV^a colonna: l'attività specifica (numero di α emesse per cm² e per secondo). Le attività specifiche relative agli accessori sono state misurate su individui con sviluppo lineare non inferiore ai 50 μ e con spessore non inferiore ai 35 μ , in modo di essere in condizione di emissione α « a strato infinito » [11], altrimenti il confronto fra le varie attività non ha senso;
- nella V^a colonna: la percentuale di attività dei minerali essenziali dovuti alle inclusioni;
- nella VI^a colonna: l'attività relativa dei costituenti mineralogici in rapporto a quella del feldispato, considerata come unitaria;
- nella VII^a colonna: la presupposta concentrazione in Uranio, nella ipotesi che il rapporto TH/U sia uguale a 3. E' un dato di valore del tutto informativo; per il suo calcolo rimandiamo all'articolo di I. CURIE [11].
- per tutte quattro le facies analizzate la durata d'esposizione è stata di 113 giorni.

TABELLA I: SEZIONE AD 5

I Minerale	II Numero α	III Superficie in cm^2	IV Attività $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$	V Ripartizione min. — incl.	VI Attività relat. (Feld. = 1)	VII C_U (Th/U = 3)
Sezione sottile	2600	3				
Quarzo totale	1486	2,1	$7,2 \cdot 10^{-5}$	100	1,9	$0,28 \cdot 10^{-6}$
Inclusioni	683			45		
Quarzo	803		4,1 „	55	1,1	0,16 „
Feldispato totale	568	0,70	8,4 „	100	2,3	0,34 „
Inclusioni	300			54		
Feldispato	268		3,7 „	46	1	0,15 „
Biotite totale	436	0,19	23,6 „	100	6,3	0,91 „
Inclusioni	281			63		
Biotite	155		8,2 „	37	2,2	0,32 „
Anfibolo totale	49	0,0033	16,5 „	100	44	
Inclusioni	26			50		
Anfibolo	23		82	50	22	
Ortite			0.58		16000	$2,9 \cdot 10^{-3}$
Interstizi	40					
Zircone			0.18		4800	0,54 „
Titanite			0.13		3500	0,49 „
Apatite			0.013		350	0,046 „

PERCENTUALE IN VOLUME DEI MINERALI ACCESSORI
INCLUSI IN CIASCUN MINERALE ESSENZIALE

Minerale	Apatite	Zircone	Titanite
Quarzo	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,06 \cdot 10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$
Feldispato	0,07 „	0,07 „	0,17 „
Biotite	17 „	1,0 „	0,5 „
Anfibolo	50 „	—	—
Sezione sottile	1,3 „	0,12 „	0,07 „

TABELLA II: SEZIONE AD 7

I Minerale	II Numero α	III Superficie in cm^2	IV Attività $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$	V Ripartizione min. — incl.	VI Attività relat. (Feld. = 1)	VII C_U (Th/U = 3)
Sezione sottile	2437	2,8				
Quarzo totale	404	0,52	$7,5 \cdot 10^{-5}$	100		$0,32 \cdot 10^{-6}$
Inclusioni	299			74		
Quarzo	105		1,9 „	26	1,6	0,081 „
Feldispato totale	1251	1,8	6,6 „	100		0,27 „
Inclusioni	1024			82		
Feldispato	227		1,2 „	18	1	0,050 „
Biotite totale	657	0,39	16,3 „	100		0,60 „
Inclusioni	574			87		
Biotite	83		2,1 „	13	1,7	0,077 „
Anfibolo totale	47	0,014	32,4 „	100		
Inclusioni	40			85		
Anfibolo	7		4,8 „	15	4,0	
Interstizi	78					
Zircone			0,061		5100	$0,19 \cdot 10^{-3}$
Epidoto			0,048		4000	0,15 „
Apatite			0,014		1200	0,052 „

Inclusioni piccolissime ed indeterminabili ad altissima attività superiore a $50 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$.

PERCENTUALE IN VOLUME DEI MINERALI ACCESSORI
INCLUSI IN CIASCUN MINERALE ESSENZIALE

Minerale	Apatite	Zircone	Epidoto
Quarzo	$0,10 \cdot 10^{-3}$	$0,03 \cdot 10^{-3}$	—
Feldispato	0,19 „	0,13 „	$0,41 \cdot 10^{-3}$
Biotite	1,6 „	0,5 „	9,1 „
Anfibolo	13 „	—	—
Sezione sottile	0,7 „	0,3 „	2,0 „

TABELLA III : SEZIONE AD 8

I Minerale	II Numero α	III Superficie in cm^2	IV Attività $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$	V Ripartizione min. — incl.	VI Attività relat. (Feld. = 1)	VII C_U (Th/U = 3)
Sezione sottile	1787	2,0				
Quarzo totale	161	0,28	$5,5 \cdot 10^{-5}$	100	3,4	$0,23 \cdot 10^{-6}$
Inclusioni	89			55		
Quarzo	72		2,4 „	45	1,5	0,10 „
Feldispato totale	868	1,41	5,9 „	100	3,7	0,25 „
Inclusioni	634			73		
Feldispato	234		1,6 „	27	1	0,068 „
Biotite totale	722	0,33	21,1 „	100	13	0,78 „
Inclusioni	579			80		
Biotite	143		4,3 „	20	2,6	0,16 „
Ortite	41500	$110 \cdot 10^{-4}$	0,36		22000	$1,23 \cdot 10^{-3}$
Interstizi	36					
Zircone			0,12		7100	$0,37 \cdot 10^{-3}$
Epidoto			0,058		3500	0,21 „
Apatite			0,008		490	0,025 „

Inclusioni piccolissime ed indeterminabili ad altissima attività superiore a $50 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$.

PERCENTUALE IN VOLUME DEI MINERALI ACCESSORI
INCLUSI IN CIASCUN MINERALE ESSENZIALE

Minerale	Apatite	Zircone	Epidoto
Quarzo	$0,09 \cdot 10^{-3}$	$0,05 \cdot 10^{-3}$	—
Feldispato	0,17 „	0,11 „	$0,16 \cdot 10^{-3}$
Biotite	2,5 „	0,39 „	3,9 „
Sezione sottile	0,75 „	0,26 „	1,0 „

TABELLA IV : SEZIONE AD 9

I Minerale	II Numero α	III Superficie in cm^2	IV Attività $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$	V Ripartizione min.—incl.	VI Attività rel. (Feld.=1)	VII C_U (Th/U=3)
Sezione sottile	9059	3,7				
Quarzo totale	22	0,22	$1,0 \cdot 10^{-5}$	100	0,3	$0,04 \cdot 10^{-6}$
Inclusioni	0			0		
Quarzo	22		1,0 „	100	0,3	0,04 „
Feldispato totale	4430	1,2	39 „	100	10	1,6 „
Inclusioni	4016			91		
Feldispato	414		3,7 „	9	1	0,15 „
Silicati Fe-Mg totale	4607	2,3	21 „	100	8,1	0,89 „
Inclusioni	4036			88		
Silicati Fe-Mg	571		2,6 „	12	0,7	0,11 „
Zircone	212	$1,9 \cdot 10^{-4}$	0,11		3000	$33 \cdot 10^{-3}$
Titanite	800	9,2 „	0,089		2400	0,34 „
Epidoto	56	1,1 „	0,051		1400	0,16 „
Apatite	45	5,7 „	0,008		220	0,028 „

TABELLA V :

Attività specifiche dei componenti mineralogici delle quattro facies granodioritiche studiate

	(Ad 5)	(Ad 7)	(Ad 8)	(Ad 9)
Quarzo reale	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	—
Quarzo totale	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	
Feldispato reale	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$
Feldispato totale	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	
Biotite reale	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$
Biotite totale	$23,6 \cdot 10^{-5}$	$16,3 \cdot 10^{-5}$	$21,1 \cdot 10^{-5}$	
Anfibolo reale	—	—	—	$21,1 \cdot 10^{-5}$
Anfibolo totale	—	—	—	
Ortite	1,3	—	0,36	—
Titanite	$13 \cdot 10^{-2}$	—	—	$11 \cdot 10^{-2}$
Zircone	$18 \cdot 10^{-2}$	$61,2 \cdot 10^{-3}$	$115,5 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-2}$
Apatite	$13 \cdot 10^{-3}$	$14,4 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Epidoto	—	$48,2 \cdot 10^{-3}$	$58,0 \cdot 10^{-3}$	—

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Distribuzione dell'attività. - Sulla base delle ricerche da noi svolte, risulta evidente che l'attività α è distribuita nei vari costituenti mineralogici della granodiorite studiata in modo alquanto eterogeneo. E' già stato dimostrato che anche le facies granitiche di altre località presentano un analogo comportamento [39].

Si riscontra che la maggior parte dell'Uranio e del Torio di questa granodiorite è concentrata nei minerali accessori: inclusioni infinitesime di torbernite, xenotimo, probabilmente uraninite, torite, ortite, titanite, zircone, apatite, epidoti che rappresentano nel totale meno di un millesimo del volume della roccia. I più attivi accessori sono ben 100 mila volte più emittenti dei minerali essenziali. Una frazione considerevole (60-90 %) dell'attività apparentemente legata a costituenti essenziali è dovuta a minutissime inclusioni microscopiche, non risolvibili, di minerali accessori. Le attività specifiche reali dei diversi minerali presentano scarti considerevoli.

Attività interstiziale. - Abbiamo rivolto speciale attenzione alla determinazione dell'attività eventualmente localizzata negli interstizi dei minerali e nelle fessure di risanamento della roccia. Il metodo della « colata diretta », che noi abbiamo usato, è particolarmente adatto per questa ricerca che richiede una localizzazione molto precisa dell'origine delle α .

La concentrazione in Uranio negli spazi interstiziali dei minerali era già stata presa in considerazione da PIGGOT per giustificare la constatazione che la somma delle attività parziali misurate per i singoli minerali è sovente inferiore all'attività di tutta la roccia [41].

I risultati da noi ottenuti suggeriscono invece che questa differenza è dovuta essenzialmente alla perdita di minerali accessori, molto attivi, durante la separazione meccanica [31, KEEVIL].

HURLEY [25], basandosi sullo spettro d'energia delle α emesse e sul fatto che una parte dell'attività dei minerali essenziali è facilmente estratta mediante un trattamento all'acido cloridrico, ha pensato che anche nel granito di Quincy, da lui studiato, ci fosse una certa concentrazione di attività negli interstizi.

Facciamo presente che l'estrazione mediante acido non è una prova convincente, perchè noi abbiamo constatato che nella granodiorite una buona parte dell'attività dei minerali essenziali è legata ad inclusioni di minerali accessori relativamente solubili: ortite, epidoto, apatite.

Il metodo fotografico ha permesso di mettere direttamente in evidenza una concentrazione di radioelementi α negli interstizi fra i minerali; ciò fu già osservato ad esempio nel granito del Lago Bianco [39] dove il 18 % dell'attività totale di una sezione era concentrata negli interstizi. Si potrebbe obiettare trattarsi di attività dovuta a diffusione di gas radioattivi o a contaminazione; ma l'osservazione microscopica ha permesso di con-

statare che questa attività α interstiziale è vincolata al riempimento delle fessure da parte di un miscuglio di minerali opachi e di epidoto di probabile origine idrotermale. Il granito dell'Isola d'Elba, studiato con la stessa tecnica [39], non ha presentato invece alcuna attività interstiziale. Sembra pertanto che la radioattività localizzata negli interstizi fra minerali non sia caratteristica per tutte le rocce granitiche e quindi sarebbe interessante chiarire le modalità e le cause di queste variazioni.

Non considerando per il momento l'interesse geochimico di questa constatazione sperimentale, si può invece mettere in rilievo la notevole importanza che essa assume nella discussione del metodo dell'elio, applicato alla misura delle età geologiche.

Nella granodiorite dell'Adamello non abbiamo trovato concentrazioni di attività negli interstizi (meno dell'1 % dell'attività totale).

Campionatura per le misure di radioattività α . - La non uniformità nella distribuzione della attività α messa in luce dal metodo fotografico conferma ciò che era già stato posto in evidenza dai metodi di misura classici: che è molto difficile ottenere un campione medio rappresentativo della concentrazione media in Uranio e Torio per una roccia eruttiva acida. Per esempio nella sezione Ad 7, noi abbiamo trovato parecchi grani della dimensione di qualche micron, rappresentanti meno di un milionesimo del volume totale della sezione, ma con una concentrazione di attività α superiore a quella di tutta la sezione. Queste inclusioni molto attive sono assenti nelle altre sezioni.

Il metodo fotografico può risultare molto utile per stabilire le dimensioni minime di un campione, perchè questo sia ancora veramente rappresentativo di un determinato tipo di roccia.

Per una rapida e preliminare localizzazione delle inclusioni attive e per la determinazione delle loro attività e del volume relativo in sezioni sottili di grande superficie, si può sovrapporre una lastra fotografica oppure colare l'emulsione su un campione levigato di roccia, che deve in tal caso evidentemente essere studiato in luce riflessa.

Concentrazioni in Uranio e Torio. - L'attività α specifica dipende dalle concentrazioni in Uranio e Torio, ma per ottenere separatamente queste due concentrazioni è necessaria una misura indipendente del rapporto Th/U. Questo rapporto si può determinare mediante lo spettro delle lunghezze delle α ⁽¹⁾ (ma questo metodo è lungo e poco preciso), oppure mediante la determinazione della concentrazione in Uranio partendo dal conteggio dei frammenti di fissione dopo irradiazione con neutroni [12]. La sensibilità di questo ultimo metodo (10^{-5} gU/g) è insufficiente per la misura dell'Uranio dei minerali essenziali, ma si potrebbe applicare bene alla determinazione degli accessori attivi.

Dato lo scopo delle nostre ricerche, noi abbiamo creduto opportuno di non determinare separatamente questi due elementi, ma per offrire tuttavia degli ordini di grandezza delle loro concentrazioni abbiamo supposto che il rapporto Th/U fosse uguale a 3, che è appunto il valore medio per rocce granitiche [32].

⁽¹⁾ Spettro espresso nella grandezza reale delle α oppure secondo la loro proiezione orizzontale [7].

Le concentrazioni in Uranio sono state da noi calcolate sulla base delle attività α e sul predetto presupposto; hanno quindi un valore indicativo.

Data la distribuzione molto eterogenea dell'attività, riteniamo che sia pure impossibile dare un valore sufficientemente reale dell'attività totale media della roccia, partendo dai dati sperimentali delle sole quattro sezioni osservate.

Attività dei minerali essenziali. - La Tabella V^a a pag. 12 raggruppa i valori delle attività specifiche di tutti i componenti mineralogici. Per i minerali essenziali sono dati due valori.

Abbiamo già precisato che per attività « totale » noi intendiamo l'attività α corrispondente a tutta la superficie occupata dal minerale essenziale; l'attività « reale » è quella invece che resta dopo aver sottratta dalla « totale » l'attività vincolata alla presenza di inclusioni estranee alla fase cristallina di un determinato minerale. E' probabile che una parte di questa attività sia ancora legata ad inclusioni che si trovano in occlusioni submicroscopiche pertanto questa attività reale deve essere considerata come un limite superiore dell'attività dovuta ad atomi radioattivi contenuti nel reticolo di minerali essenziali.

Nella colonna V^a delle Tabelle I^a-IV^a pagg. 9-12, si può vedere che dal 50 al 90 % l'attività dei minerali essenziali è legata ad inclusioni. Questo risultato, che il metodo fotografico ha potuto mettere in evidenza in maniera quantitativa, mostra che le misure di Uranio e Torio effettuate sui minerali essenziali separati meccanicamente non hanno reale significato, perchè la maggior parte delle inclusioni sono troppo piccole per essere separate dal loro minerale ospite.

Un esempio interessante è offerto dalla sezione Ad 9 nella quale l'attività « totale » dei feldspati è sei volte più grande dell'attività « totale » media dei feldspati degli altri tre campioni studiati. Un tal fatto potrebbe essere interpretato come un arricchimento in Uranio e Torio nei feldspati di questa facies granodioritica; il metodo fotografico chiarisce al contrario che la attività reale di questi feldspati non è più grande, ma che l'aumento del valore dell'attività « totale » è dovuto alla loro maggior ricchezza in inclusioni; il che, dal punto di vista geochimico, imposta il problema in modo del tutto diverso.

Gli stessi minerali essenziali non mostrano variazioni notevoli nei valori dell'attività reale nei quattro campioni presi in considerazione, compresa pure la concentrazione basica Ad 9.

I minerali essenziali della facies granodioritica Ad 5 sono sistematicamente più attivi di quelli delle altre sezioni, questo senza un motivo evidente.

Le attività specifiche « reali » del quarzo e del feldspato sono molto simili. L'attività « totale » della biotite è in media tre volte più alta di quella del quarzo e del feldspato, ma il rapporto fra le attività « reali » è solamente 1,6; ciò dimostra di nuovo che l'attività più elevata della biotite, già notata da PIGGOT [41], non è sostanzialmente dovuta ad una maggior concentrazione di Torio ed Uranio nel suo reticolo, ma a ricchezza di inclusioni.

La Tabella VI^a, riportata a pag. 16, dà le concentrazioni in Uranio e Torio dei componenti essenziali, calcolate secondo i valori medi delle attività specifiche e nell'ipotesi che il rapporto Th/U sia uguale a 3. Non abbiamo tenuto conto della sezione Ad 9 per il calcolo dell'attività media del feldspato.

TABELLA VI:
CONCENTRAZIONI IN URANIO E TORIO DEI MINERALI ESSENZIALI
(Th/U = 3)

		Attività specifica $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec.}$	U — 10^{-6} gU/g	Th. 10^{-6} gTh/g
Quarzo	reale	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,11	0,33
	totale	6,7 „	0,26	0,78
Feldispato	reale	2,5 „	0,10	0,30
	totale	7,0 „	0,28	0,84
Biotite	reale	4,3 „	0,16	0,48
	totale	20,0 „	0,74	2,22

Attività dei minerali accessori. - I minerali accessori presentano attività simili nei quattro campioni di granodiorite. Vedremo più avanti che le variazioni di attività da una sezione all'altra sono dello stesso ordine di grandezza delle variazioni che si riscontrano nell'interno di uno stesso cristallo.

Accessori molto attivi.

In più sezioni, fra cui nell'Ad 7, abbiamo trovato dei centri microscopici molto attivi che, durante il periodo d'esposizione, avevano emesso da un centinaio a parecchie migliaia di particelle α . Il fatto che queste inclusioni sono circondate da intensi aloni pleocroici, quando si trovano nella biotite e nell'anfibolo, dà la certezza che non si tratta di contaminazioni radioattive. E' ben difficile dare un valore esatto delle corrispondenti attività e concentrazioni in Uranio e Torio perchè queste inclusioni hanno dimensioni di appena qualche micron, inferiori alle condizioni di emissione « a strato infinito ». Stimiamo che in esse le percentuali dell'Uranio e del Torio siano comprese fra il 10 ed il 40 %. Si tratta certamente di minerali in cui questi elementi sono i costituenti chimici prevalenti. La presenza di uraninite e thorite nei graniti è già stata segnalata, in particolare da COPPENS [8], da LARSEN [37] e da altri Autori.

Abbiamo trovato traiettorie di particelle α lunghe dai 40 ai 50 micron; devono essere attribuite al Torio C'. E' dimostrata pertanto la presenza di Torio, ma una precisa determinazione del rapporto Th/U, in base alla distribuzione delle lunghezze delle α , non la abbiamo tentata. Sarebbe senza significato, perchè queste inclusioni sono molto sottili, di spessore non misurabile e potrebbero essere situate al disotto della superficie della sezione, il che falserebbe completamente la distribuzione delle lunghezze delle α .

La determinazione ottica di queste inclusioni riesce molto laboriosa, perchè sono di piccolissime dimensioni e spesso opache.

Fra esse siamo arrivati ad individuare i seguenti tipi:

a) lamelle, incluse in elementi feldispatici, ad abito micaceo, a rilievo medio (superiore a quello della mica), lievemente pleocroiche dai toni giallastri ai verde-bruni,

birifrangenti a colori di interferenza massimi giallo-rossi di I° ordine. Si tratta con probabilità di Torbernite, fosfato idrato di rame ed uranio. Per poter procedere allo studio ottico di questi minutissimi elementi abbiamo dovuto togliere l'emulsione dalla sezione di roccia, dato l'intenso annerimento dovuto all'intrecciarsi delle moltissime tracce α (Tav. IV^a, fig. 1).

b) lamine nere ad altissima radioattività, opache in luce trasmessa, che inducono una forte alonatura nella biotite e nell'anfibolo in cui sono incluse. Le due foto n. 1, 2 della Tav. I^a mostrano una di queste piccole lamelle incluse in biotite, circondata dall'alone da essa indotto nel minerale ospite, ed il fascio di tracce α da essa irradiato. In questo caso si è proceduto secondo la tecnica della « sovrapposizione ».

Anche la foto N. 3 della Tav. IV^a, relativa alla sezione Ad 8, riproduce una di queste piccole lamelle, ma inclusa in feldispato.

Data la loro opacità a luce trasmessa, lo studio microscopico non riesce possibile. In base alle considerazioni sulle dimensioni degli aloni pleocroici (vedi più oltre a pag. 22) si tratterebbe di un minerale essenzialmente uranifero, probabilmente uraninite.

Analoga interpretazione si potrebbe dare ai granuli neri opachi a forte potere emissivo generalmente inclusi in feldispati (Fig. 2, Tav. IV^a).

c) granuli molto piccoli birifrangenti, a forte rilievo, molto simili per aspetto allo zircone; per la loro forte radioattività e per le loro caratteristiche ottico-cristallografiche si potrebbero identificare con lo xenotimo (fosfato di terre rare) che è in abituale associazione con lo zircone, l'ortite, la torbernite, ecc. in questo tipo di rocce da noi studiate.

d) piccoli elementi prismatico-allungati, a forte rilievo, zonati, incolore alla periferia, presentano un nucleo bruno, sono nettamente pleocroici (dai toni bruni per posizioni parallele alla direzione di allungamento ai toni verde-giallastri per posizioni perpendicolari ad esso), hanno estinzione retta e carattere della zona negativo (vedi foto n. 1 e 2 - Tav. III^a). Li abbiamo interpretati come cristallini di epidoto con nucleo di tipo ortitico.

TABELLA VII:

CONCENTRAZIONE IN URANIO E TORIO DEI MINERALI ACCESSORI

	Attività specifica $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec.}$	U gU/g	Th gTh/g
Opachi	50	0,10 — 0,60	0,10 — 0,60
Ortite	0,47	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Titanite	0,11	$0,42 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Zircone	0,11	$0,36 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Epidoto	0,052	$0,17 \cdot 10^{-3}$	$0,51 \cdot 10^{-3}$
Apatite	0,011	$0,04 \cdot 10^{-3}$	$0,12 \cdot 10^{-3}$

Le piccole plaghe brune in clorite a forte rilievo, a pleocroismo marcato, a colori d'interferenza chiazzati, e a debole potere emissivo sono pure da considerare come termini isomorfi di epidoti ortitici.

Per gli altri accessori attivi sicuramente determinabili, l'attività è stata misurata in condizioni di emissione α « a strato infinito », cioè solo su cristalli aventi uno spessore di 35 micron e dimensioni superiori ai 50 micron.

Elencandoli secondo l'attività decrescente, gli accessori attivi sono quindi: minerali opachi o birifrangenti determinabili con difficoltà, ortite, titanite, zircone, epidoto, apatite. I valori delle loro concentrazioni medie in Uranio e Torio (calcolate sulla base delle attività specifiche medie date nelle Tabelle I^a-IV^a e nell'ipotesi che $\text{Th/U} = 3$) si trovano nella Tabella VII^a.

CONFRONTO CON I RISULTATI DI RICERCHE SVOLTE DA ALTRI AUTORI

Poco numerosi sono ancora i dati sperimentali di cui disponiamo sulla distribuzione dell'Uranio e del Torio nei minerali delle rocce; il confronto inoltre fra i risultati è reso difficile dalla diversità di metodi applicati nelle ricerche dai vari Autori.

Generalmente le concentrazioni in Uranio e Torio sono espresse in $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ (misurate in condizioni di « strato infinito ») o in $\alpha/\text{mg} \cdot \text{ora}$ (misurate in condizioni di « strato sottile ») od infine in unità arbitrarie; il modo più soddisfacente sarebbe invece quello di esprimere direttamente i valori delle concentrazioni in Uranio e Torio.

Nella Tabella VIII^a, abbiamo messo a confronto le attività specifiche « reali » dei minerali dell'Adamello con quelle di due altri graniti precedentemente studiati con lo stesso metodo [39]. Si riscontra che le attività sia dei minerali essenziali sia degli accessori sono più basse nella granodiorite (ad eccezione del quarzo del granito del Lago Bianco che presenta un'attività estremamente lieve).

E' noto che la radioattività totale di una roccia dipende dal suo grado di acidità e precisamente aumenta con l'aumentare di questo. Senza voler generalizzare le osservazioni da noi citate in questo lavoro, riteniamo interessante constatare che questo aumento si rivela contemporaneamente per tutti i costituenti mineralogici.

I lavori più importanti relativi alla determinazione delle concentrazioni in Uranio e Torio di minerali separati meccanicamente, sono quelli di KEEVIL e collaboratori [30, 33] e quelli del gruppo di E. S. LARSEN [34, 37]. Le rocce prese maggiormente in considerazione sono i graniti; due soli tipi di rocce granodioritiche, studiate in dettaglio, provengono da Lakewiew e da Woodson [34], località della California.

Abbiamo precedentemente precisato che la misura delle concentrazioni in Uranio e Torio nei minerali essenziali separati meccanicamente riesce a dare solo un valore limite superiore molto approssimativo, data l'impossibilità di isolare tutte le inclusioni; al contrario i minerali accessori possono essere separati ad uno stato molto puro e dare risultati medi significativi.

TABELLA VIII :
CONFRONTO FRA LE ATTIVITA' SPECIFICHE DELLA GRANODIORITE DELL'ADAMELLO
E DEI GRANITI DELL'ISOLA D'ELBA E DEL LAGO BIANCO ⁽¹⁾

	Granito Isola d'Elba	Granito Lago Bianco	Granodiorite Adamello (valori medi)
Quarzo	$45 \cdot 10^{-5}$ ($1,9 \cdot 10^{-6}$)	$1,6 \cdot 10^{-5}$ ($6,5 \cdot 10^{-8}$)	$2,8 \cdot 10^{-5}$ ($1,1 \cdot 10^{-7}$)
Feldispato	$1 \cdot 10^{-4}$ ($4 \cdot 10^{-7}$)	$2,5 \cdot 10^{-4}$ ($1 \cdot 10^{-6}$)	$2,5 \cdot 10^{-5}$ ($1 \cdot 10^{-7}$)
Biotite	$8,4 \cdot 10^{-5}$ ($3,0 \cdot 10^{-6}$)	$1,7 \cdot 10^{-4}$ ($6,1 \cdot 10^{-6}$)	$4,3 \cdot 10^{-5}$ ($1,7 \cdot 10^{-7}$)
Zircone		8 ($2,4 \cdot 10^{-2}$)	0,11 ($4,2 \cdot 10^{-4}$)
Titanite	9,2 ($3,5 \cdot 10^{-2}$)		0,12 ($4,2 \cdot 10^{-4}$)
Apatite		0,01 ($3,4 \cdot 10^{-4}$)	0,011 ($4 \cdot 10^{-5}$)

TABELLA IX :
CONCENTRAZIONI IN URANIO, IN GRAMMI PER TONNELLATA, NELLE GRANODIORITI

	Adamello	Lakeview	Woodson
Quarzo	0,11 (totale 0,26)	0,3	2,2
Feldispato	0,10 (totale 0,28)	0,3	8,2 (perthite) 6,0 (plagiocl.)
Biotite Anfibolo	0,16 (totale 0,74)	1	2,6 2,8
Ortite	1600		
Titanite	420	403	
Zircone	360	611	1750
Apatite	40	85	62
Monazite			820
Xenotimo			12700

⁽¹⁾ I valori superiori esprimono le attività in $\alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$, i numeri fra parentesi le concentrazioni in Uranio, presupposto il rapporto Th/U = 3.

Non esiste invece alcun metodo di separazione che permetta di isolare le inclusioni microscopiche molto attive e poco frequenti, come ad esempio quelle che abbiamo trovato nella sezione Ad 7.

Nella tabella IX^a abbiamo messo a confronto le concentrazioni in Uranio della granodiorite dell'Adamello, della tonalite di Lakeview e della granodiorite di Woodson. Il rapporto Th/U nella tonalite di Lakeview è molto vicino a 3 per tutti i minerali. Il Torio non è stato misurato nella granodiorite di Woodson.

VARIAZIONI DI ATTIVITA' NEI SINGOLI CRISTALLI

Sono già stati messe in evidenza, mediante diversi metodi, variazioni nella distribuzione dell'Uranio e del Torio in monocristalli molto sviluppati di zircone o di altri minerali; per esempio, vedi [7,36].

Uno dei vantaggi del metodo fotografico è di poter studiare le variazioni della radioattività nei cristalli di piccolo formato.

A titolo d'esempio, abbiamo preso in considerazione le variazioni di attività in un cristallo di ortite incluso nella sezione Ad 9.

Il cristallo è stato diviso in 45 zone, delimitate da fessure; in ciascuna zona sono state contate da 100 a 200 α , verificando lo spessore e l'omogeneità del cristallo; si è

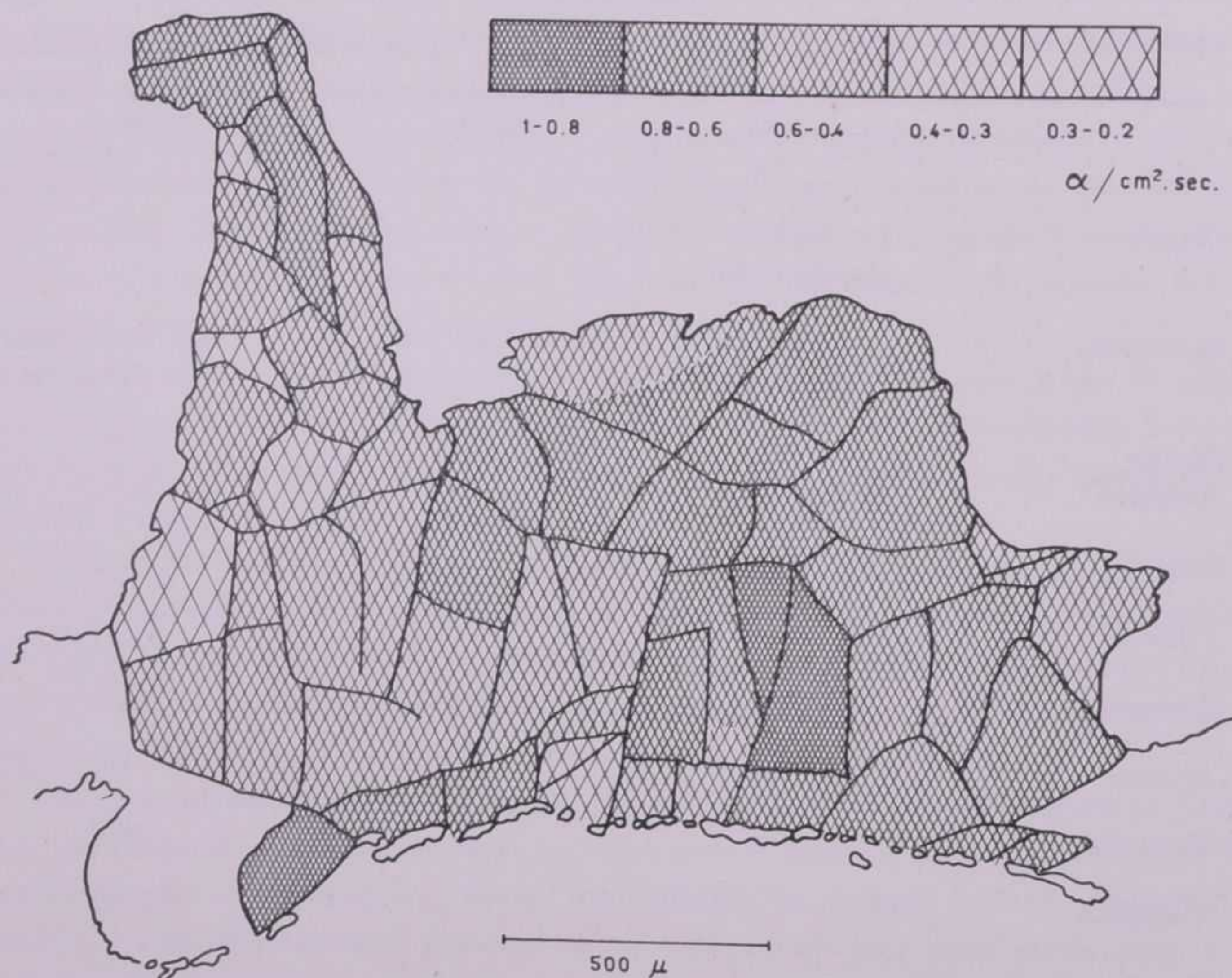


FIG. 1

evitato inoltre di contare le α provenienti dai bordi del cristallo o da fratture, quantunque non sia stata constatata alcuna variazione di attività lungo le fratture stesse. La perdita per emanazione sembra molto debole, perchè non abbiamo trovato stelle a 3 rami, dovute a Thoron o a Radon, che sarebbero diffuse nell'emulsione.

La distribuzione dell'attività α è rappresentata nella fig. 1 a pag. 20. Si constata che la ripartizione non è omogenea. L'attività media è di $0,58 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$, le zone più attive raggiungendo $1 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ e le meno attive $0,2$. Gli scarti dalla media non sono considerevoli, ma oltrepassano largamente le fluttuazioni statistiche.

Un altro esempio di distribuzione non omogenea di attività è dato dalle fig. 3 e 4 - Tav. III^a, che rappresentano un cristallo di epidoto a struttura zonata; solo il nucleo, che presenta le caratteristiche dell'ortite, è radioattivo.

L'omogeneità o la non omogeneità nella distribuzione degli elementi radioattivi nei minerali è motivo di grande interesse per la risoluzione dei problemi di misura di età su minerali isolati.

POSSIBILITA' DI DETERMINAZIONI DI ETÀ SU MINERALI ACCESSORI ATTIVI

Sarebbe di grande interesse geologico una determinazione dell'età assoluta del Massiccio dell'Adamello. I rapporti di giacitura fra la massa intrusiva ed i terreni incassanti permettono solo di assegnargli un'età post-triassica, probabilmente l'Eocene od il Miocene, ossia circa 40 milioni di anni [23].

Data la mancanza di giacimenti uraniferi, il metodo più interessante sembra sia quello al Piombo applicato ai minerali accessori radioattivi inclusi nella roccia. Il metodo Stronzio-Rubidio non è applicabile ad una roccia così giovane ed il metodo Argon-Potassio, anche se pieno di promesse, non ha dato ancora risultati soddisfacenti e non offre la possibilità di controllare eventuali perdite in Argon e Potassio.

E' noto, sulla base delle ricerche di LARSEN e dei suoi collaboratori [35], che, fra i minerali accessori radioattivi, lo zirconio è il più adatto minerale per misurare le età tramite il rapporto Piombo-Uranio, dato che non è contaminato da Piombo ordinario e per la sua notevole resistenza all'alterazione.

Gli zirconi della granodiorite dell'Adamello presentano una concentrazione piuttosto bassa in Uranio e Torio, ma senza dubbio sufficiente per la determinazione dell'età.

La concentrazione totale in zirconio nella roccia è dell'ordine del 1 per mille, di conseguenza bisognerebbe disporre di una decina di chili di materiale per isolare 1 grammo di zirconio puro, in granuli di dimensioni convenienti.

Supponendo un'età di 40 milioni di anni, il rapporto Piombo-Uranio sarebbe di 0,6 %.

Sulla base dei valori contenuti nella Tab. VI a pag. 16, un grammo di zirconio dovrebbe contenere:

Uranio:	$0,36 \cdot 10^{-3}$ gr
Torio:	$1,1 \cdot 10^{-3}$ gr
Piombo:	$4 \cdot 10^{-6}$ gr

Queste quantità possono essere misurate mediante diversi metodi. I rapporti Pb/U e Pb/Th possono essere determinati in base ai rapporti RaD/Pb e ThB/Pb, il che evita qualsiasi analisi dell'Uranio e del Torio [24].

La determinazione della composizione isotopica del Piombo è necessaria per una determinazione sicura dell'età per poter verificare le eventuali perdite di Piombo e di Uranio; per una tale misura sono sufficienti pochi microgrammi di Piombo, ma la misura va eseguita con uno spettrografo di massa di grande sensibilità.

OSSERVAZIONI SUGLI ALONI PLEOCROICI

E' noto che gli aloni pleocroici, che bordano certe inclusioni, sono prodotti dalla radiazione dovuta alle particelle α emesse da queste inclusioni.

L'intensità di un alone è funzione, a parità di altri fattori, del numero totale di particelle α emesse dal momento di formazione della roccia; è dunque funzione dell'età della roccia o più esattamente dell'età del minerale attorno a cui si è sviluppato l'alone.

Gli aloni pleocroici d'altra parte risentono delle variazioni delle condizioni ambientali chimico-fisiche, in particolare della temperatura.

Uno studio quantitativo degli aloni potrebbe pertanto offrire interessanti notizie sull'età e sulla storia geologica di una roccia. Tale ricerca richiede sia la misura dell'intensità dell'alone pleocroico sia la determinazione dell'attività α dell'inclusione. Questa attività è molto debole, dell'ordine di qualche α per giorno o per settimana, data la piccolezza delle inclusioni; pertanto prima della messa a punto della tecnica delle emulsioni fotografiche nucleari, non era possibile misurare attività così deboli, e gli studi sugli aloni pleocroici vertevano prevalentemente su misure del diametro degli anelli [HENDERSON, 21 e 22].

Il metodo fotografico, rendendo possibile la misura dell'attività α delle inclusioni, offre oggi invece nuove ed interessanti possibilità allo studio quantitativo degli aloni.

COPPENS [10] ha misurato l'attività di inclusioni con alone. Si deve ad HAYASE [19] il primo tentativo di confronto fra l'attività delle inclusioni e l'intensità degli aloni per la determinazione dell'età. Il parametro scelto da HAYASE per definire l'intensità dell'alone è il « raggio » dell'alone stesso.

DEUTSCH e collaboratori [14] hanno studiato i rapporti fra le attività dell'inclusione e l'intensità dell'alone in diverse rocce di età nota, compresa la granodiorite dell'Adamello (l'intensità dell'alone essendo definita dalla densità ottica media misurata con un microfotometro).

Le considerazioni da noi riportate nella presente nota sono in gran parte basate sui dati di DEUTSCH e collaboratori.

Noi ci siamo unicamente interessati degli aloni nelle biotiti attorno ad inclusioni di dimensioni lineari superiori ai 50 μ ; in tal modo i valori delle attività α corrispondono a condizioni di emissione « a strato infinito ».

In queste condizioni, le particelle α che escono dall'inclusione presentano uno spettro di energia e di lunghezza che varia in maniera continua da zero al massimo percorso delle α nella biotite ($\text{ThC}' = 42 \mu$ per la famiglia del Th, $\text{RaC}' = 34 \mu$ per la fami-

glia dell'U). Gli aloni non presentano dunque una struttura ad anelli concentrici, come nel caso di inclusioni molto piccole, ma un effetto continuo che va dall'inclusione fino ad una distanza ρ che noi chiamiamo il « raggio » dell'alone.

Apatiti. - L'attività media delle apatiti è di $1,1 (\pm 0,1) \cdot 10^{-2} \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$. che corrisponde ad una concentrazione in Uranio di $4 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g}$; non sono mai alonate nella granodiorite dell'Adamello.

Zirconi. - Nelle sezioni Ad 5, 7, 8 e 9 l'attività media degli zirconi è di $0,11 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$; non abbiamo trovato zirconi, di sicura determinazione, alonati.

Nella sezione Ad 122, al contrario abbiamo osservato due gruppi di minerali accessori che sviluppano aloni pleocroici nella biotite; entrambi presentano caratteri molto simili a quelli dello zircone, ma hanno attività diversa. Dato che sono rari e di piccole dimensioni non ci è stato possibile verificare se si tratta di due specie mineralogiche distinte.

Abbiamo riscontrato che alcune di queste inclusioni presentano un'attività dell'ordine di $0,1 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ e sono circondate da un debole alone di 14μ di raggio, altre invece hanno un'attività di $2,5 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ e sono circondate da aloni intensi e più estesi di 30μ di raggio.

Ci proponiamo di riprendere in esame questo problema degli zirconi su altri campioni di varie facies petrografiche dell'Adamello.

Inclusioni opache molto attive. - In un cristallo di anfibolo ed in una lamina di biotite abbiamo rinvenuto un'inclusione opaca molto attiva; di essa abbiamo fatto già menzione nel capitolo precedente.

Nei due minerali ospiti, si è sviluppato un alone molto intenso, ad annerimento uniforme indipendente dalla distanza dell'inclusione, ciò che indica un effetto di saturazione nella colorazione. Il raggio di questo alone è di 32μ valore che corrisponde circa al percorso del RaC' , la traiettoria α più lunga della famiglia dell'Uranio.

Dato la sua fortissima intensità è probabile che questo alone abbia raggiunto il suo massimo sviluppo e possiamo quindi ritenere che l'attività delle inclusioni sia dovuta essenzialmente alla famiglia dell'Uranio con traiettorie α nella biotite di circa 34μ e non alla famiglia del Torio C' con traiettorie di 42μ .

Possiamo dare valori molto approssimati dell'attività specifica di questa inclusione, perchè, essendo le sue dimensioni dell'ordine di 10μ non sono rispettate le condizioni di emissione « a strato infinito ». Reputiamo che questa inclusione, se si trovasse in condizioni di « strato infinito », manifesterebbe un'attività di $50 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$.

Nella Tabella X^a a pag. 24 abbiamo riunito le osservazioni relative agli aloni ed al numero totale di α emesse per cm^2 , supponendo che la roccia abbia un'età di $40 \cdot 10^6$ anni.

Possiamo dedurre le seguenti conclusioni:

una quantità di $1,4 \cdot 10^{13} \alpha/\text{cm}^2$ (emesse in condizioni di « strato infinito ») non produce alcun effetto di alonatura nella biotite;

una quantità di $1,3 \cdot 10^{14} \alpha/\text{cm}^2$ produce un alone a medio sviluppo; ne risulta che la soglia per ottenere un effetto di colorazione è compresa fra $1,4 \cdot 10^{13}$ e $1,3 \cdot 10^{14} \alpha/\text{cm}^2$;

una quantità di $3 \cdot 10^{15} \alpha/\text{cm}^2$ da un alone intenso, ma non ancora saturo.

L'annerimento continua ad aumentare fino a $6 \cdot 10^{16} \alpha/\text{cm}^2$, al cui valore l'alone è saturato, ma non ancora invertito.

Queste conclusioni sono in buon accordo con le osservazioni di HAYASE [19] e di DEUTSCH e collaboratori [14]. Per una discussione più dettagliata rimandiamo a questo ultimo lavoro.

TABELLA X :

ALONI PLEOCROICI ED ATTIVITA' DELLE INCLUSIONI

Natura delle inclusioni	Attività delle inclusioni "a strato infinito"	Numero totale di α emesse $40 \cdot 10^6$ anni	Aspetto dello alone	Raggio dello alone
Apatite	$(1,1 \cdot 10^{-2}) \alpha/\text{cm}^2$	$1,4 \cdot 10^{13}$	nessun alone	$r = 0 \mu$
Zircone (I tipo)	0,1 „	$1,3 \cdot 10^{14}$	alone leggero	$r = 15 \mu$
Zircone (II tipo)	2,5 „	$3,2 \cdot 10^{15}$	alone intenso	$r = 30 \mu$
Minerale opaco (Uraninite ?)	50 „	$6 \cdot 10^{16}$	alone saturo	$r = 32 \mu$

I punti sperimentali sono ancora troppo poco numerosi per trarne affermazioni definitive sull'età dell'Adamello; i dati fin'ora a nostra disposizione ci permettono di affermare solo che queste rocce hanno meno di $100 \cdot 10^6$ anni.

CONCLUSIONI

La granodiorite del Baitone nel Massiccio dell'Adamello che può essere considerata come facies granodioritica normale per l'intero plutone, presenta una distribuzione dell'attività α , dovuta alla famiglia del Torio e dell'Uranio, simile a quella già messa in evidenza per le rocce granitiche sia mediante il metodo fotografico sia tramite altri metodi.

Questa distribuzione è caratterizzata da eterogeneità, essendo la maggior parte dell'attività concentrata nei minerali accessori che rappresentano meno dell'0,1 % del volume della roccia.

Gli accessori più attivi possono essere 100.000 volte più emittenti dei minerali essenziali.

Più della metà e talora più del 90 % della radioattività α , apparentemente vincolata ai minerali essenziali, è in realtà dovuta ad inclusioni microscopiche di accessori attivi. L'arricchimento apparente in Uranio e Torio dei minerali ferromagnesiaci, messo in evidenza da vari Autori, è dovuto alla maggior frequenza in questi minerali di inclusioni radioattive e non alla sostituzione di certi elementi da parte dell'Uranio e del Torio nel loro reticolo.

Fra i minerali accessori, si trovano, seppur in piccolissime proporzioni, inclusioni microscopiche molto attive, con un tenore in Uranio e Torio che oltrepassa il 10 %. Non è possibile una loro esatta identificazione, ma vi sono buone ragioni per credere che i più attivi siano di *uraninite* (ossido di Uranio) e di *torbernite* (fosfato di Rame e di Uranio).

Fra i minerali accessori più frequenti, il più attivo è l'ortite che emette $0,47 \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$, valore che corrisponde ad un tenore in Uranio del 0,16 %.

Seguono in ordine di attività decrescente: la titanite, lo zircone, l'epidoto e l'apatite.

L'attività « reale » dei minerali essenziali: quarzo, feldispato, biotite è dell'ordine di $3 \cdot 10^{-5} \alpha/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$, valore che corrisponderebbe ad una concentrazione in Uranio del 10^{-7} gU/g .

Contrariamente a quanto è stato osservato in altre rocce granitiche, la granodiorite dell'Adamello non presenta alcuna concentrazione di elementi radioattivi negli interstizi.

La tecnica delle emulsioni « colate » su sezioni sottili si presta molto bene allo studio della ripartizione della radioattività nelle rocce; essa permette di sfruttare al massimo grado i vantaggi delle emulsioni nucleari: localizzazione e sensibilità.

Bisogna tuttavia sottolineare i limiti di questo metodo come è stato da noi sfruttato in questo lavoro. Il suo campo di applicazione è diverso da quello dei metodi classici di misura dell'Uranio e del Torio, e lo si deve quindi concepire come un complemento di questi stessi metodi.

Il metodo fotografico non è molto preciso per la misura dell'attività di « sorgenti » solide, si presta male per determinazioni separate di Torio e di Uranio o per il calcolo del rapporto Torio-Uranio; non dà valori significativi per l'attività media di una roccia o per i valori *medi* dell'Uranio e del Torio contenuto in essa; non permette uno studio quantitativo dei rapporti di equilibrio radioattivo fra i diversi elementi emittenti.

I fattori che creano queste limitazioni sono certamente: la diffusione dei gas radioattivi Radon e Thoron, l'imprecisione sul potere d'arresto del campione per le α , l'incertezza statistica sul numero delle disintegrazioni numerate.

Questo metodo d'altra parte presenta vantaggi che altre tecniche non possono offrire; noi abbiamo infatti dimostrato la sua utilità alla risoluzione di vari problemi: variazione della radioattività nei monocristalli, localizzazione di attività negli interstizi, discriminazione fra la radioattività « reale » e quella dovuta ad inclusioni microscopiche, studio preliminare per determinazioni di età su inclusioni radioattive, studio quantitativo degli aloni pleocroici.

BIBLIOGRAFIA

1. BACHELET F., FERRETTI SFORZINI M. e IPPOLITO F. - *Studio della radioattività di lave vesuviane*. Nuovo Cimento, vol. VIII, n. 11, 1951.
2. BARBERA L., M. CURATOLO, M. M. INDOVINA ADDARIO e M. SANTANGELO - *Studio della radioattività delle lave dell'Etna col metodo delle emulsioni nucleari*. Annali di Geofisica, vol. V, n. 4, pag. 603.
3. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. - *Il settore meridionale del Massiccio dell'Adamello. Relazione sul rilevamento e studi preliminari della zona compresa fra la valle di Stabio e l'Alta valle del Caffaro*. Boll. Uff. Geol. Ital., vol. LXII, Roma.
4. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. - *Il settore occidentale del Massiccio dell'Adamello. Relazione preliminare sul rilevamento e sugli studi geologico-petrografici compiuti durante l'anno 1930 nell'alta Val Camonica*. Boll. Uff. Geol. Ital., vol. LXV, Roma, 1939.
5. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. - *Differenziazioni petrografiche e metamorfismi selettivi di contatto nel Massiccio dell'Adamello*. Rend. S. M. I., vol. V, Pavia, 1948.
6. BIANCHI A. e DAL PIAZ Gb. - *Il problema dell'età del Corno Alto nel Massiccio dell'Adamello*. Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia Univ. Padova, vol. XVII, Padova, 1950.
7. BUTTLAR H. v. e HOUTERMANS F. G. - *Photographische Messung des U- und Th-Gehaltes nach der Auflagemethode*. Geochim. et Cosmochim. Acta, 2, p. 43, 1951.
8. COPPENS R. - *Sur une inclusion radioactive à forte teneur en Uranium et Thorium contenue dans un granite*. Compt. rend. 229, p. 617, 1949.
9. COPPENS R. - *Sur l'emploi de l'émulsion photographique pour la détermination de la radioactivité des roches par l'examen des trajectoires des rayons α* . J. Phys. Radium, 11, p. 21, 1950.
10. COPPENS R. - *Sur l'activité des petits cristaux à halo pléochroïque contenus dans un granite*. Compt. Rend. 231, p. 343, 1950.
11. CURIE L. - *Sur la possibilité d'étudier la radioactivité des roches par l'observation des trajectoires des rayons α dans l'émulsion photographique*. J. Phys. Radium, 6, p. 361, 1946.
12. CURIE I. e FARAGGI H. - *Autoradiographie par neutrons. Dosage séparé de l'uranium et du thorium dans les minéraux*. Compt. Rend., 232, p. 959.
13. DEUTSCH S. e DODD E. - *Radioactivité α spécifique des plaques Illford pour recherches nucléaires*. Nuovo Cimento, 10, pp. 858-861, 1953.
14. DEUTSCH S., HIRSCHBERG S. e PICCIOTTO E. - *Mesure des âges géologiques par les halos pléochroïques*. Experientia, 11, pp. 172-178, 1955.
15. DILWORTH C., OCCHIALINI G. e PAYNE R. - *Processing thick emulsion for nuclear research*. Nature, 162, p. 102, 1948.
16. DILWORTH C., OCCHIALINI G. e VERMAESEN L. - *On processing nuclear emulsion. Part I*, Bull. Centre Phys. Nucl. Univ. Bruxelles, N. 13^a, 1950.

17. FERRETTI SFORZINI M., FESTA C. e IPPOLITO F. - *Sulla applicazione del metodo delle emulsioni nucleari allo studio della radioattività delle lave vesuviane*. Annali di Geofisica, vol. VII, N. 4, p. 539, 1954.
18. FORD I. H. - *Radioactivity of rocks: An improvement in the photographic technique*. Nature, 167, p. 273.
19. HAYASE I. - *Relative Geologic age measurements on granites by pleochroic halos and the radioactivity of the mineral in their nuclei*. Amer. Mineralogist, 39, p. 761, 1954.
20. HEE A. - *Recherches sur la radioactivité d'un granite des Vosges par la méthode photographique*. Ann. Géophys. 4, p. 242, 1948.
21. HENDERSON G. H. - *A quantitative study of pleochroic haloes. V. The genesis of haloes*. Proc. Roy. Soc. London A. 173, p. 250, 1939.
22. HENDERSON G. H. - *A new method of determining the age of certain minerals*. Proc. Roy. Soc. London A. 145, p. 591, 1934.
23. HOLMES A. - *The construction of a geological time-scale*. Trans. Geol. Soc. Glasgow, 21, p. 117, 1947.
24. HOUTERMANS F. G. - *Über ein neues Verfahren zur Durchführung chemischer Altersbestimmungen nach der Blei-Methode*. Sitzber. Heidelberg. Akad. Wiss. Math.-naturw. Kl. n. 2, 1951.
25. HURLEY P. - *Distribution of radioactivity in granites and possible relation to Helium age measurement*. Bull. Geol. Soc. Amer., 61, p. 1, 1950.
26. IMBO G. e CASERTANO L. - *Deduzione delle concentrazioni di Uranio e Torio nelle sostanze radioattive con il metodo fotografico*. Annali di Geofisica, 5, p. 1, 1952.
27. IMBO G. e CASERTANO L. - *Analisi radioattiva delle rocce col metodo fotografico*. Annali di Geofisica, vol. VI, n. 3, p. 315, 1953.
28. INDOVINA MM. ADDARIO, PALUMBO D. e SANTANGELO M. - *Radioattività di una lava etnea. Studio quantitativo*. Annali di Geofisica, vol. VI, n. 2, p. 161, 1953.
29. IPPOLITO F. - *Sulla radioattività delle lave del Somma Vesuvio*. Boll. Soc. Naturalisti, vol. LX, Napoli, 1951.
30. KEEVIL N. B. - *The distribution of Helium and radioactivity in rocks. I. Mineral separates from the Quincy granite*. Amer. J. Sc., 36, p. 406, 1938.
31. KEEVIL N. B. - *The distribution of Helium and radioactivity in rocks. II. Mineral separates from the Cape Ann granite*. Amer. J. Sc., 240, p. 13, 1942.
32. KEEVIL N. B. - *Thorium-Uranium ratios in rocks and minerals*. Amer. J. Sc., 242, p. 309, 1944.
33. KEEVIL N. B., LARSEN E. S. e WANK F. J. - *The distribution of Helium and radioactivity in rocks VI. The Ayer granite-migmatite at Chelmsford, Mass.* Amer. J. Sc., 242, p. 345, 1944.
34. LARSEN E. S. e KEEVIL N. B. - *The distribution of Helium and radioactivity in rocks. III. Radioactivity and petrology of some California intrusives*. Amer. J. Sc., 240, p. 204, 1942.
35. LARSEN JR. E. S., KEEVIL N. B. e HARRISON H. C. - *Method for determining the age of igneous rocks using the accessory minerals*. Bull. Geol. Soc. Amer., 63, p. 1045, 1952.
36. LARSEN E. S., WARING C. L. e BERMAN J. - *Zoned Zircon from Oklahoma*. Amer. Mineralog., 38, p. 1118, 1953.
37. LARSEN E. S. e PHAIR G. - *The distribution of Uranium and Thorium in igneous rocks*. in « Nuclear Geology », New York, 1954.
38. PICCIOTTO E. - *L'étude de la radioactivité des roches par la méthode photographique*. Bull. Soc. Belge Géol. Paléontol. et Hydrol., 58, p. 75, 1949.

39. PICCIOTTO E. - *Distribution de la radioactivité dans les roches éruptives*. Bull. Soc. Geol. Paléontol. et Hydrol., 59, p. 170, 1950.
40. PICCIOTTO E. - *Utilisation des émulsion liquides dans l'étude de la radioactivité de roches*. Bull. Centre Phys. Nucléaire, Univ. Libre Bruxelles, n. 33, 1952.
41. PIGGOT C. S. - *Radium in rocks: The Radium content of some representative granites of the eastern seaboard of the United States*. Amer. J. Sc., 17, p. 13, 1929.
42. POOLE J. H. J. e BREMNER J. W. - *Investigation of the distribution of the radioactive elements in rocks by the photographic method*. Nature, 163, p. 130, 1949.
43. SCHIAVINATO G. - *Relazione sul rilevamento geologico-petrografico del gruppo del Baitone (Adamello nord-occidentale)*. Rend. S. M. I., Anno VI, 1951.
44. STIEFF e STERN - *Preparation of nuclear track plates and stripping films for the study of radioactive minerals*. Amer. Mineralogist, 37, p. 184, 1952.
45. TAMBURINO S. e STELLA A. - *Determinazione della radioattività di una pegmatite di Delianova mediante emulsioni nucleari esposte a strati di roccia polverizzata e compressa ed a sezioni sottili*. Notizie di Mineralogia Siciliana e Calabrese, fasc. IV, 1952.
46. YAGODA H. - *Radioactive measurements with nuclear emulsion*.

I N D I C E

INTRODUZIONE	pag.	3
CENNI PETROGRAFICI E CHIMICI SULLA FACIES GRANODIO- RITICA DEL BAITONE	„	4
TECNICA USATA: METODO DELLA « COLATA DIRETTA » . . .	„	5
RISULTATI SPERIMENTALI	„	7
DISCUSSIONE DEI RISULTATI	„	13
CONFRONTO CON I RISULTATI DI RICERCHE SVOLTE DA ALTRI AUTORI	„	18
VARIAZIONI DI ATTIVITA' NEI SINGOLI CRISTALLI	„	20
POSSIBILITA' DI DETERMINAZIONI DI ETA' SU MINERALI ACCESSORI ATTIVI	„	21
OSSERVAZIONI SUGLI ALONI PLEOCROICI	„	22
CONCLUSIONI	„	24



TAVOLA I.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA I.

FIG. 1. - Minutissima laminetta nera opaca di probabile uraninite, inclusa in biotite, in cui ha indotto una marcata alonatura. (Ingr.: 1 cm corrisponde a 50 μ).

» 2. - Fascio di tracce di particelle α , irradiate dalla laminetta di uraninite sopraillustrata; l'elevato numero di traiettorie denota l'alto potere radioattivo di questo minerale.

Per queste due sole foto si è proceduto secondo la tecnica della « sovrapposizione », (tempo d'esposizione: 120 giorni)

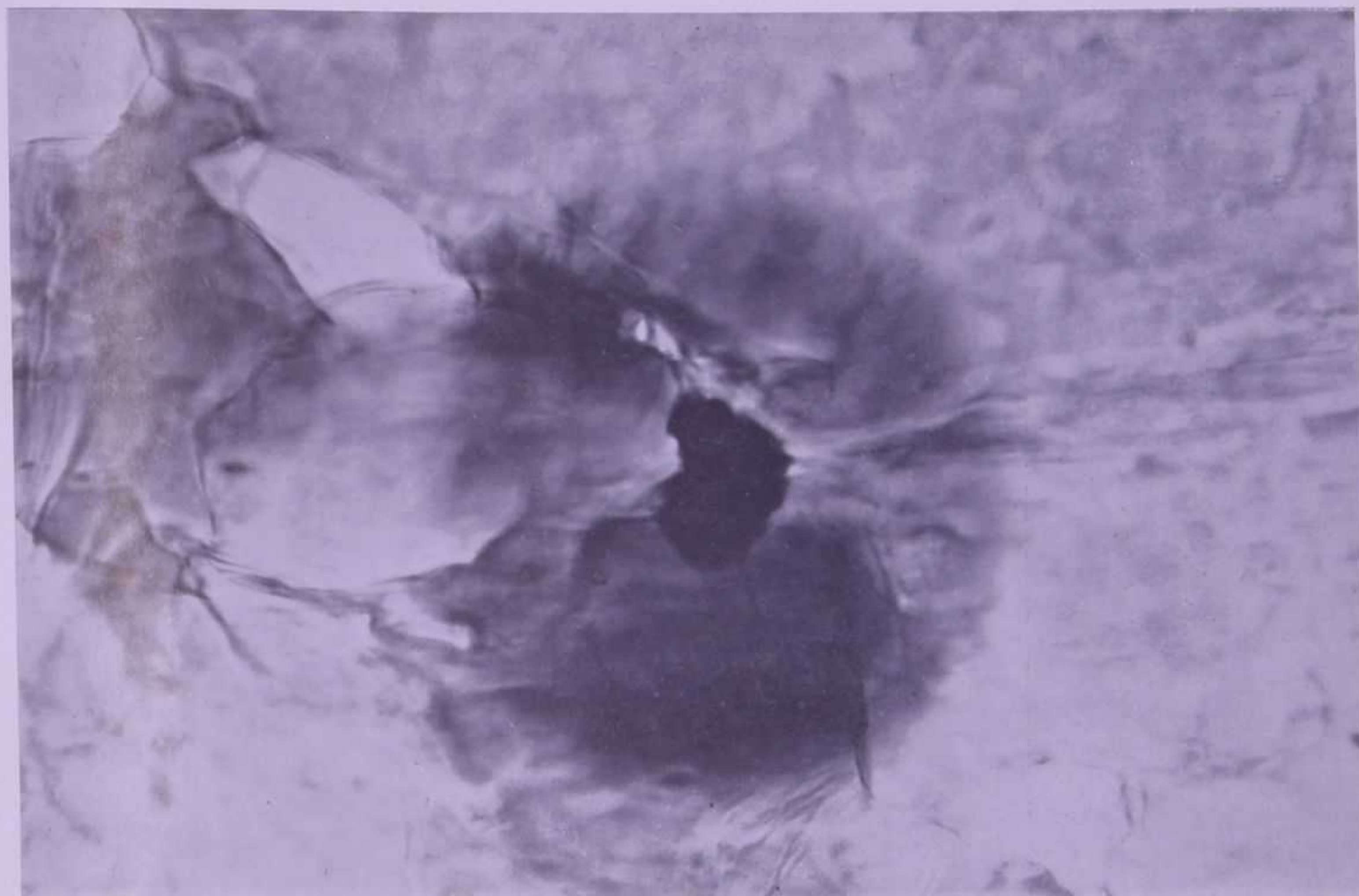


FIG. 1

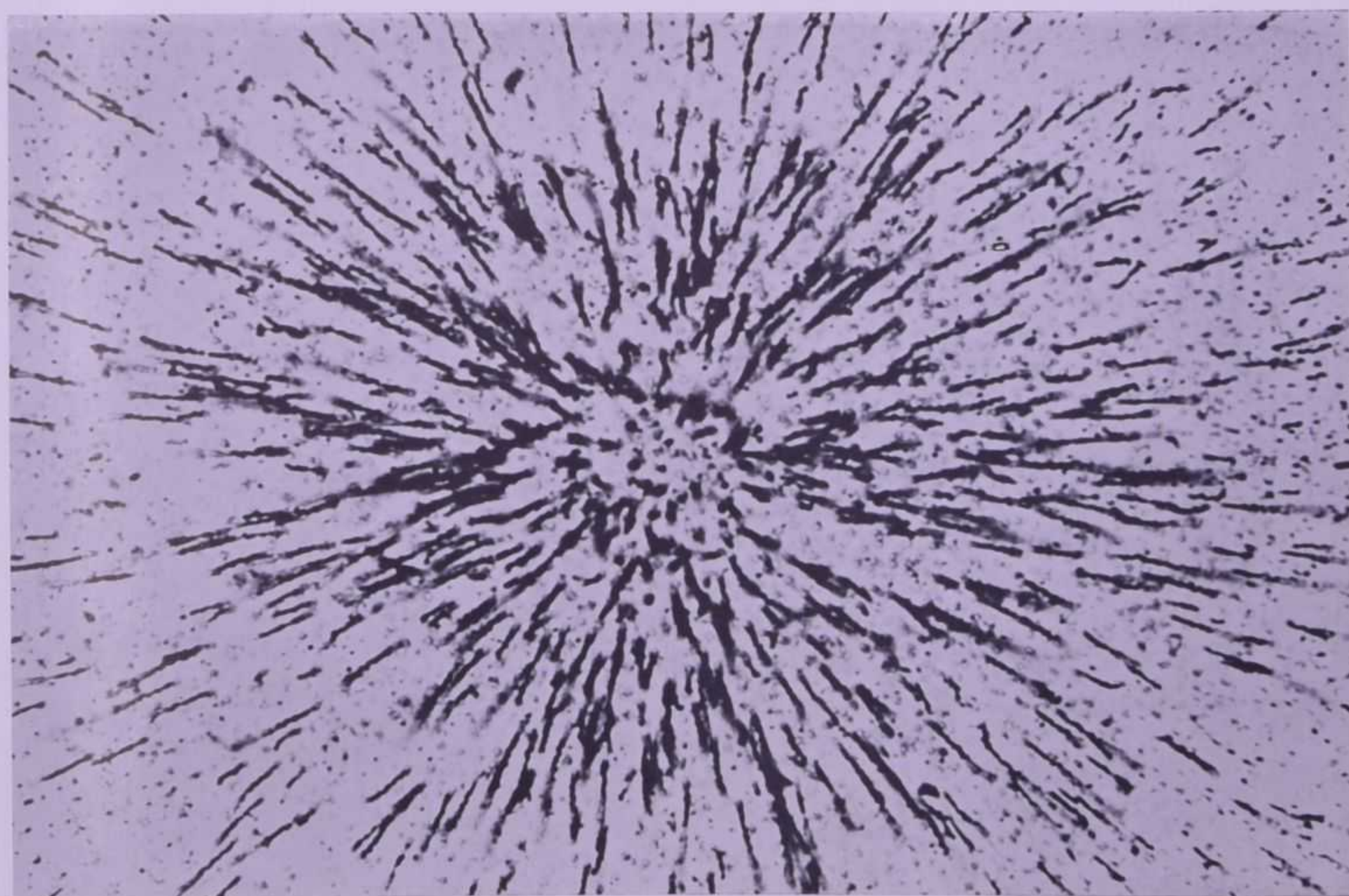


FIG. 2



TAVOLA II.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA II.

FIG. 1. - Granulo di zircone, incluso in biotite, con tracce di particelle α . Si noti la mancanza dell'effetto di alonatura indotta nel minerale ospite. (Ingr.: 1 cm corrisponde a 8 μ).

» 2. - Particolare di un vistoso elemento di ortite. Le numerose tracce di particelle α denotano l'alta attività di questo costituente mineralogico. (Ingr.: 1 cm corrisponde a 12 μ).

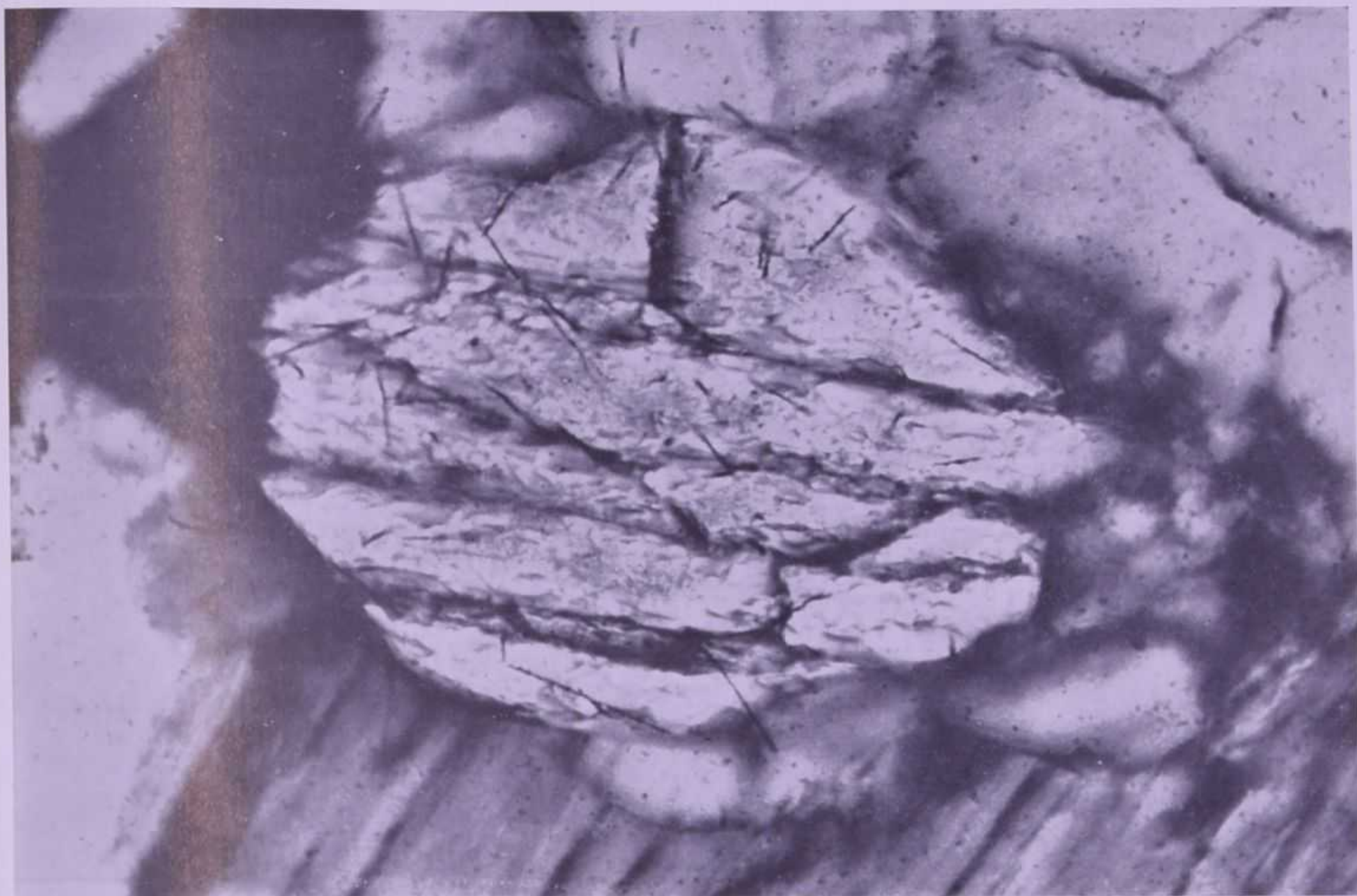


FIG. 1

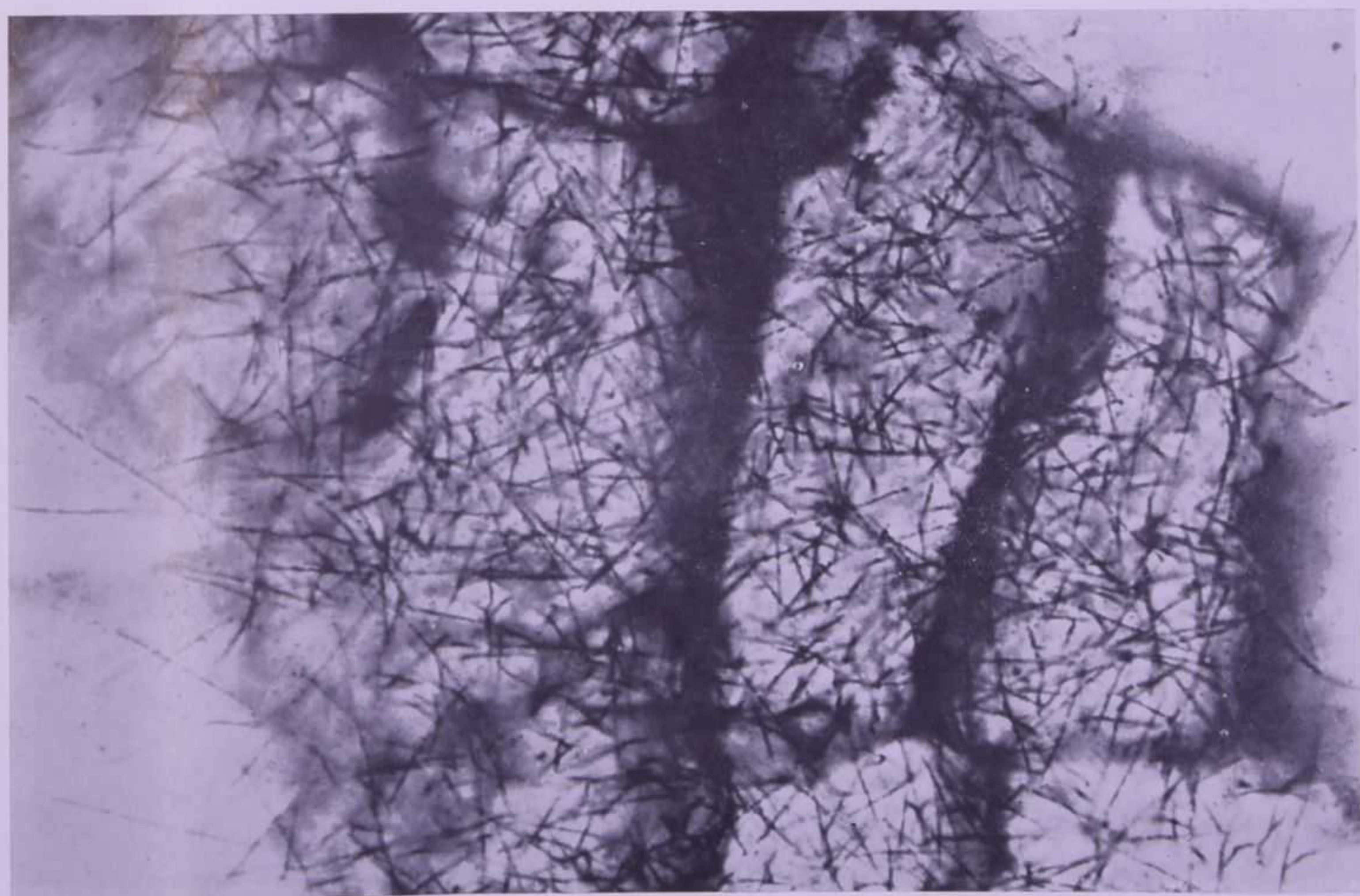


FIG. 2



TAVOLA III.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA III.

FIG. 1-2. - Piccolo elemento di epidoto zonato a nucleo ortico. E' evidente che l'emissione α è dovuta alla parte centrale del minerale.

Nella foto 1 è stato messo a fuoco il minerale, nella foto 2 le traiettorie delle particelle α . (Ingr.: 1 cm corrisponde a 8 μ).

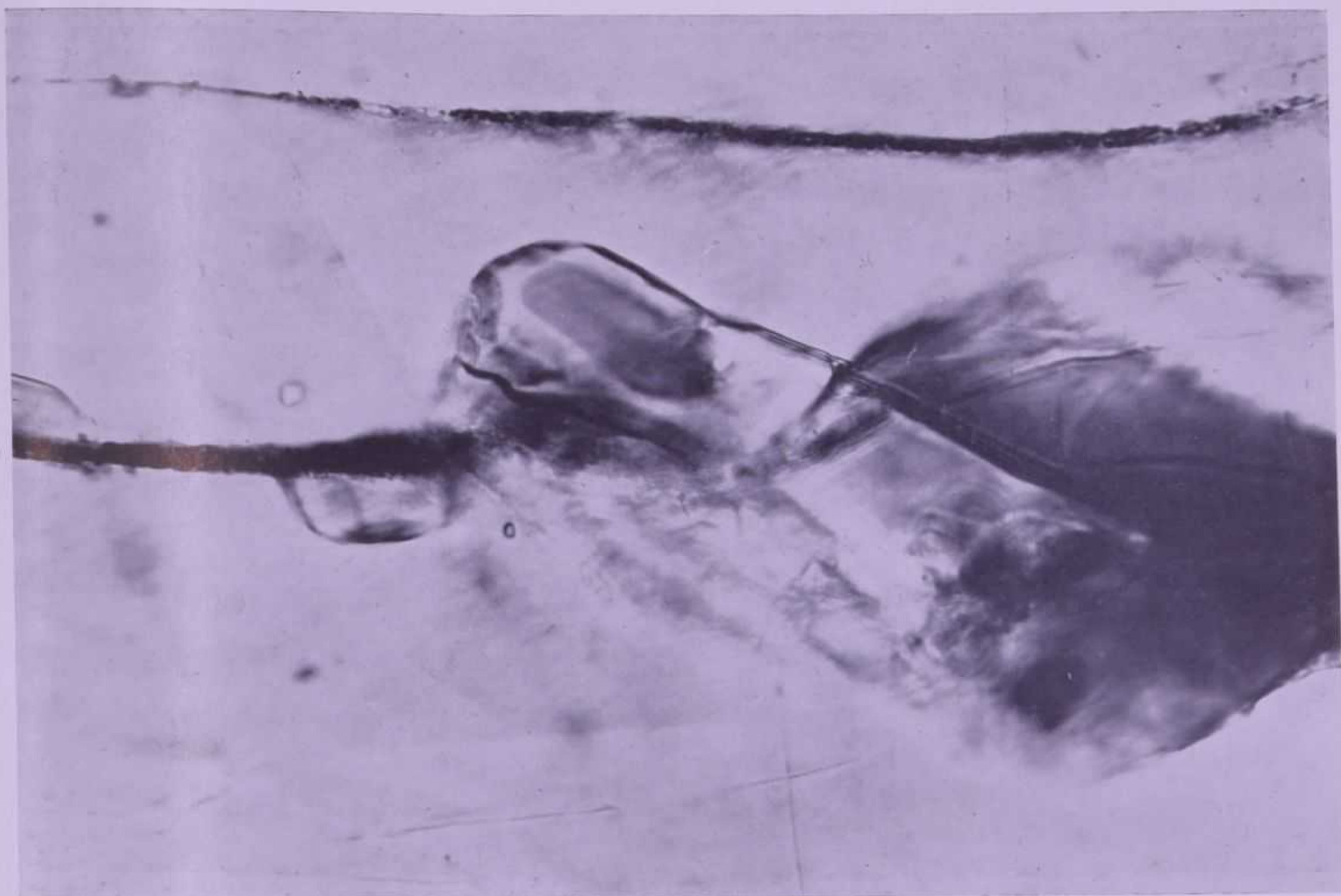


FIG. 1

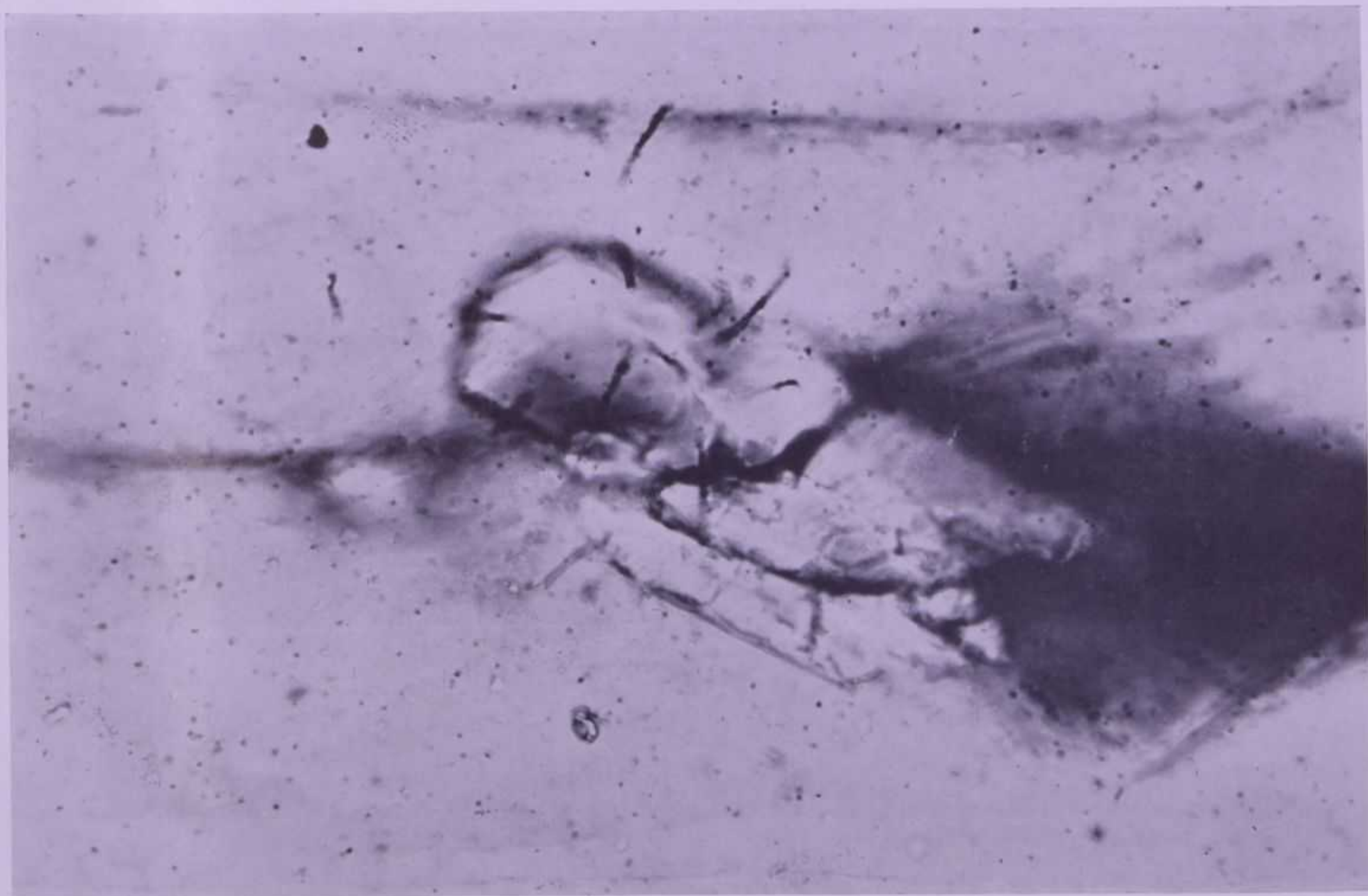


FIG. 2



TAVOLA IV.

SPIEGAZIONE DELLA TAVOLA IV.

FIG. 1. - Insieme di tracce di particelle α ; l'intenso annerimento è dovuto all'intrecciarsi delle traiettorie delle α emesse dalla sottostante minutissima lamella di torbernite, inclusa in feldispato. (Ingr.: 1 cm corrisponde a 12 μ).

» 2. - Tracce di particelle α emesse da un granulo nero opaco ad alto contenuto in elementi radioattivi, incluso in feldispato. (Ingr.: 1 cm corrisponde a 12 μ).

» 3. - Tracce di particelle α emesse da una lamella opaca di uraninite in feldispato. (Ingr.: 1 cm corrisponde a 10 μ).

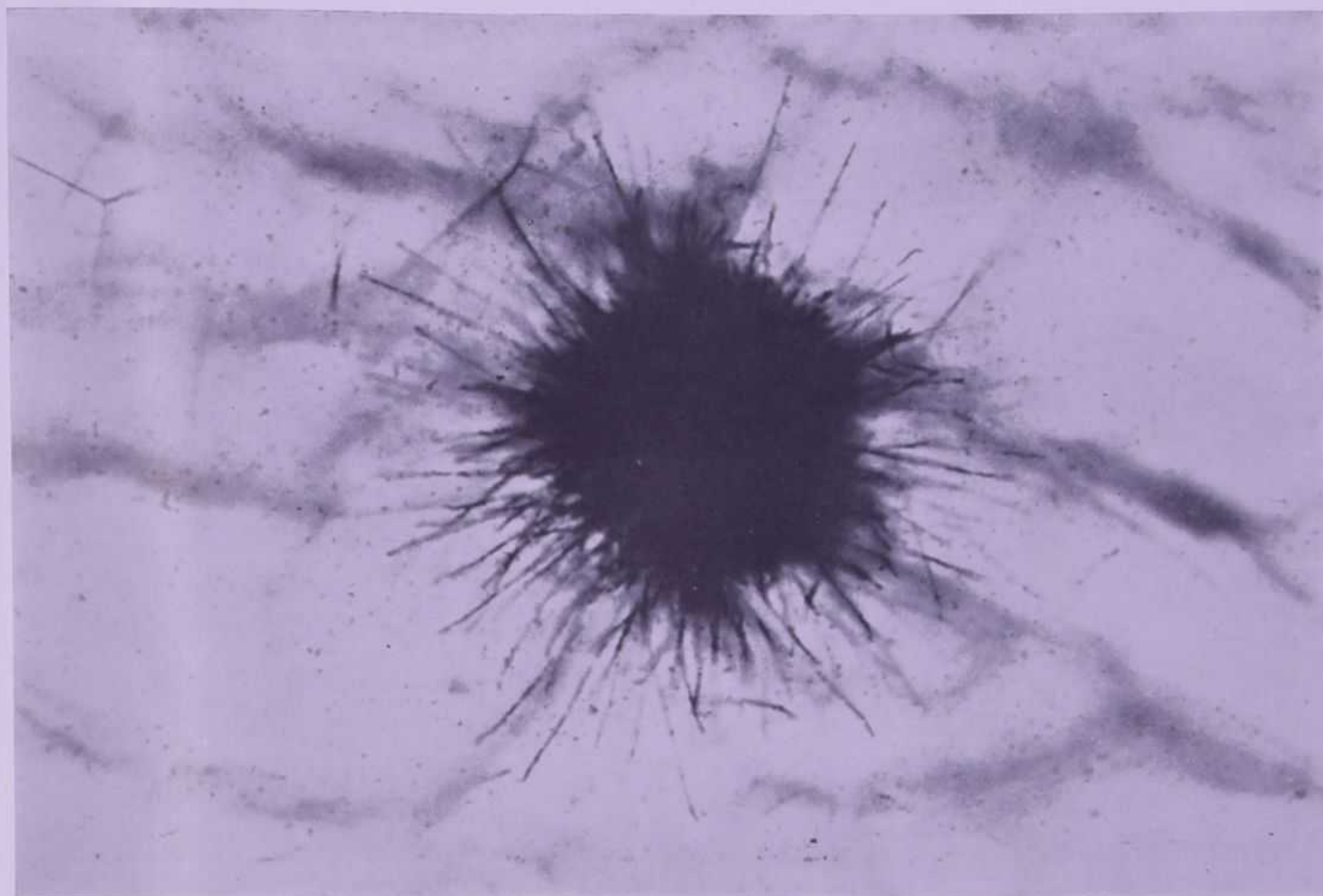


FIG. 1



FIG. 2

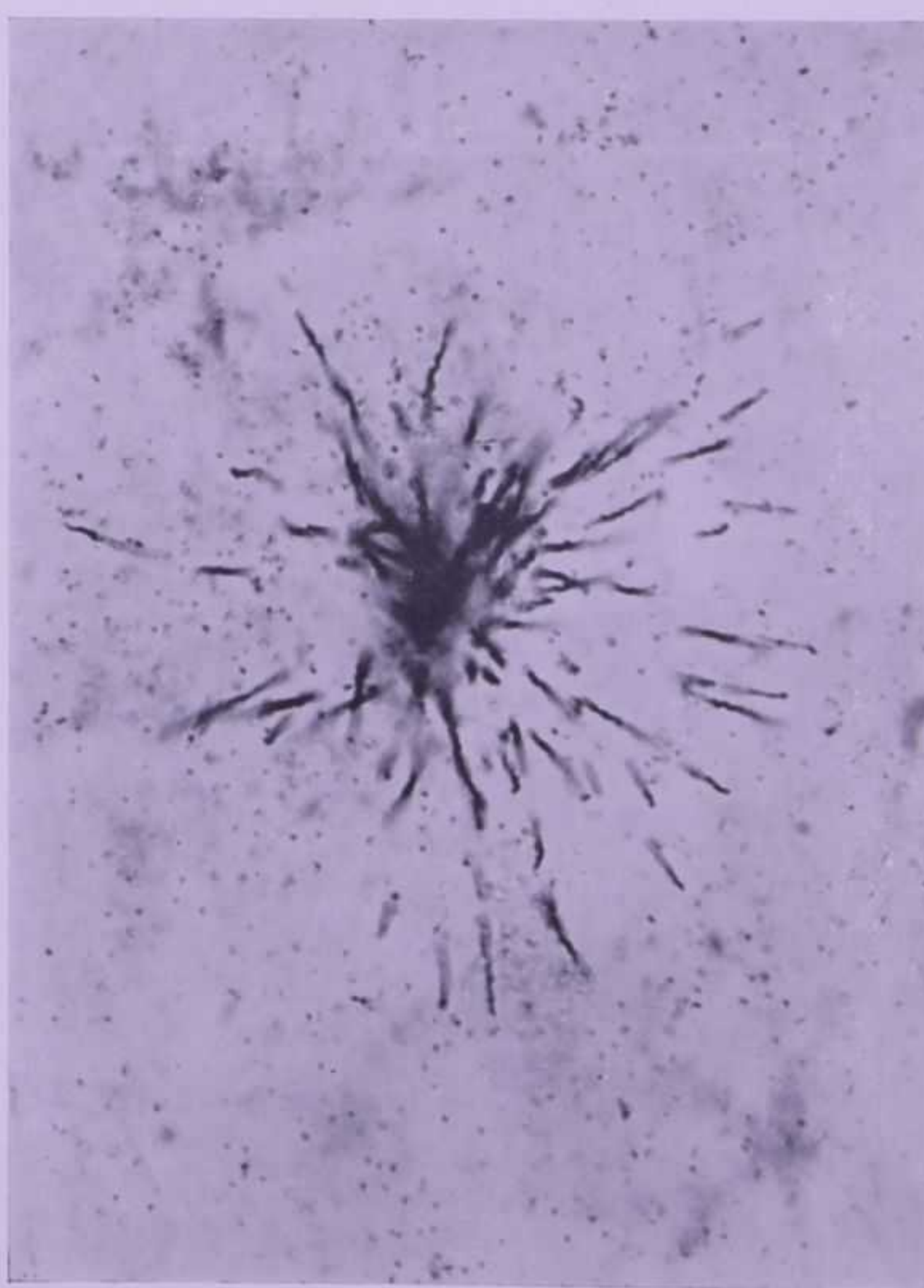


FIG. 3