

GIANNANTONIO BOTTINO*, MICHELE ARMANDO ROSA**,
LUISA STAFFERI**, FERNANDO VENIALE***

STUDIO MEDIANTE MICROSCOPIO ELETTRONICO A SCANSIONE E MICROSONDA DI SEQUENZE DI ALTERAZIONE ATMOSFERICA DI FELDSPATI

RIASSUNTO. — Vengono presentati i risultati di uno studio di dettaglio dei prodotti corrispondenti a vari stadi di sequenze di alterazione atmosferica osservati su feldspati di gneiss e micascisti appartenenti alla « zona Strona-Ceneri » affioranti in Valduggia (versante orientale della bassa Valsesia).

Lo studio morfologico mediante microscopio elettronico a scansione ha messo in evidenza forme incipienti di alterazione dei feldspati con sottili aureole di aspetto pseudo-amorfo localizzate ai bordi esterni più esposti dei cristalli; negli stadi di alterazione più spinta si passa a patine più o meno continue disposte sulla superficie esterna dei cristalli e costituite da aggregati di particelle di aspetto filamentoso in fiocchi o microglobulare, oppure in lamelle a contorni irregolari, mentre più rare sono forme poliedriche abbastanza regolari. Talora le superfici esterne dei cristalli di feldspati risultano corrose, come se i prodotti di alterazione superficiale vi fossero stati asportati.

I dati analitici ottenuti con la microsonda elettronica si possono schematizzare come segue: *a*) forme lamellari, dove il rapporto Si : Al varia da 2 : 1 (qui è ancora presente anche il K, però in quantità variabile) fino a 1 : 1 (dove, invece, il K è praticamente assente); *b*) forme filamentose a fiocchi e microglobulari, con rapporto Si : Al = 1 : 1 costante e con il K assente o presente solo in tracce. Non è stato possibile analizzare granuli di aspetto poliedrico morfologicamente assimilabili a gibbsite.

I nostri risultati confermerebbero, almeno per gli esempi studiati, che la neo-formazione di caolinite entro i prodotti di alterazione superficiale dei feldspati sia avvenuta quale risultato di un processo di sottrazione preferenziale della silice rispetto all'allumina.

ABSTRACT. — In this paper the results of a detailed study about the products corresponding to various levels of sequences of weathering that have been observed on feldspars of gneiss and micascists belonging to the « Strona-Ceneri area » outcropping in Valduggia (West side of the Lower Sesia Valley) are shown.

The morphologic study by means of scanning electron microscope has shown initial materials of alteration of feldspars with narrow aureolas having a pseudo-amorphous aspect, situated in the most exposed external edges of the crystals.

At the more advanced levels of alteration there are more or less continuous patinas situated on the crystals external surface and formed by aggregates of particles of filamentous aspect or micro-globular, or else in lamellae with irregular edges, where as the rather regular polyhedral shapes are more uncommon.

Sometimes the crystals external surfaces of feldspars are corroded as if the superficial weathering products were taken away.

* Istituto di Mineralogia, Geologia e Giacimenti minerali - Politecnico di Torino.

** Istituto di Chimica generale ed applicata - Politecnico di Torino.

*** Istituto di Mineralogia e Petrografia - Università di Pavia.

The analytical data obtained by means of the electron micro-probe may be schematically given as follow: *a*) lamellar shapes where the Si : Al ratio varies from 2 : 1 (here it is still present K too, but in a variable quantity) up to 1 : 1 (where, on the contrary, K is practically absent); *b*) filamentous and micro-globular shapes with a constant Si : Al = 1 : 1 ratio and with K absent or present only in small percentage. It has not been possible analysing granules of polyhedral aspect morphologically similar to gibbsite.

Our results would confirm that the neoformation of kaolinite in the weathering products of feldspars has come as the result of preferential subtraction of the silica regarding aluminium, as leas in the samples examined.

Introduzione

In un lavoro precedente (BOTTINO et alii, 1975), basandosi sullo studio mineralogico e petrografico di campioni di roccia fresca ed alterata, si sono individuate delle sequenze di alterazione atmosferica di rocce metamorfiche (gneiss e mica-

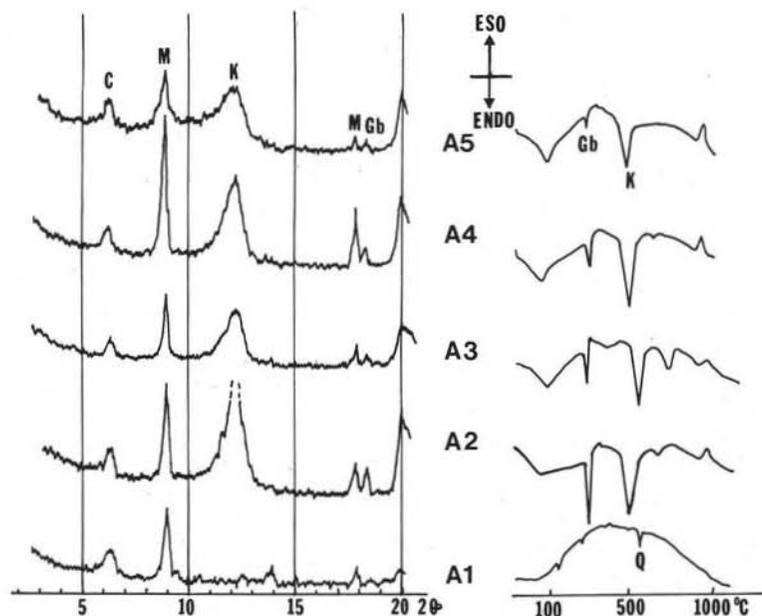


Fig. 1. — Diffratogrammi X e curve DTA dei vari campioni costituenti il profilo A.

scisti), caratterizzate dalla presenza di gibbsite nelle fasi iniziali del processo e da un progressivo arricchimento in caolinite procedendo verso forme più mature di alterazione.

Allo scopo di meglio chiarire il meccanismo di alterazione così individuato, si è proseguito lo studio servendosi del microscopio elettronico a scansione e della microsonda elettronica, concentrando le analisi sui feldspati e sulle loro forme di alterazione.

Viene riportato di seguito, a titolo di esempio, lo schema riassuntivo delle caratteristiche mineralogiche dei campioni di uno dei profili studiati nel lavoro sopra menzionato.

Lo studio è stato condotto sulla maggior parte dei materiali provenienti dall'area presa in esame.

TABELLA 1

Risultati dell'analisi chimica dei campioni del profilo A

CAMPIONE	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
P. P. C.	0,92%	9,27%	2,26%	3,36%	4,50%
SiO ₂	75,08%	57,96%	76,32%	72,29%	60,25%
Al ₂ O ₃	13,97%	25,88%	14,80%	17,48%	17,48%
Fe ₂ O ₃	1,23%	1,46%	0,61%	0,51%	0,82%
CaO	0,30%	—	—	—	—
MgO	0,15%	tracce	0,23%	0,42%	—
K ₂ O	5,29%	4,80%	5,05%	5,35%	7,30%
Na ₂ O	3,00%	0,60%	0,70%	0,55%	0,60%

Nella Figura 1 sono rappresentate le curve dell'analisi diffrattometrica X (eseguita su aggregati orientati, frazione < 2 μ) e quelle dell'analisi termico-differenziale condotte sui campioni prelevati da uno dei profili studiati.

I vari campioni di cui si tratterà sono suddivisi per profili, cui competono le sigle A, B, C, D; per ogni profilo, i campioni sono disposti in progressione dai meno alterati ai più alterati, secondo numeri crescenti.

In Tabella 1 vengono riportati i risultati relativi alle analisi chimiche eseguite sugli stessi campioni.

Modalità di studio al microscopio elettronico a scansione

È stato utilizzato un microscopio STEREOSCAN a scansione della CAMBRIDGE in dotazione al Centro Studio Geologia dell'Italia Centrale del CNR di Roma (1).

(1) Si ringrazia il Prof. RENATO FUNICELLO per la sollecitudine con cui ci ha permesso di utilizzare il microscopio a scansione.

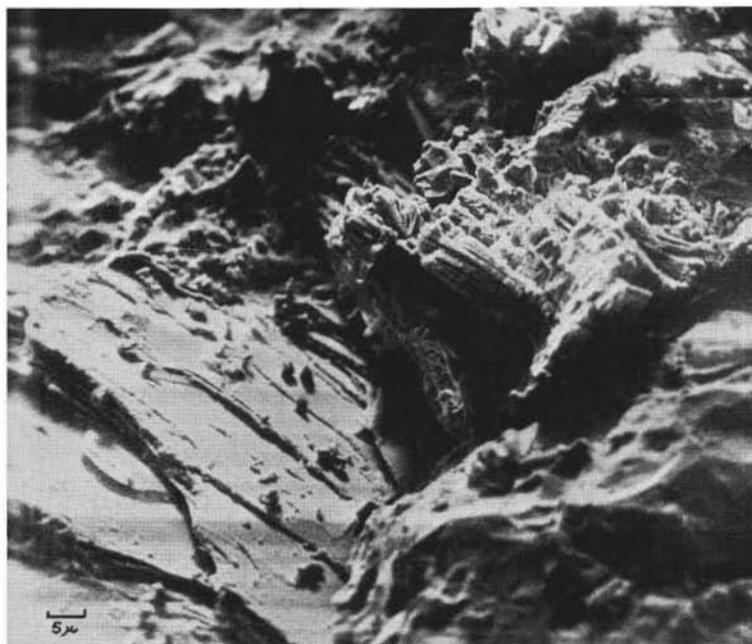


Fig. 2.



Fig. 3.

I campioni da sottoporre all'esame, in piccoli frammenti di roccia presentanti superfici naturali, sono stati preventivamente metallizzati con cromo per deposizione galvanica.

Studio morfologico

Nelle Figure 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 si possono osservare alcune interessanti e significative fotografie eseguite sui campioni esaminati; le Figure, nell'ordine, si riferiscono a stadi crescenti del grado di alterazione.

Le Figure 2, 3, 4 e 5 presentano alcuni degli aspetti più ricorrenti dell'alterazione, sia per quanto riguarda la superficie dei minerali (Figure 2 e 3), sia per quanto riguarda le forme dei prodotti di alterazione (Figure 4 e 5).

Le Figure 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 mettono in evidenza dettagli del fenomeno, sia per quanto riguarda, anche in questo caso, la superficie dei minerali (Figure 6, 10, 11 e 12), sia per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche dei prodotti di alterazione (Figure 7, 8, 9 e 13).

Figura 2. — La fotografia, che si riferisce al campione A 2, presenta, nella parte sinistra, un grosso elemento di mica praticamente non alterato; è possibile osservare come soltanto i margini delle lamelle presentino, in alcuni punti, un aspetto di corrosione solo incipiente per un'iniziale illitizzazione. Nella parte destra della fotografia si può notare un individuo feldspatico, in stato non molto avanzato di alterazione. Nella fotografia, sono, inoltre, visibili alcuni grumi isolati, costituiti da prodotti di alterazione.

Figura 3. — Si riferisce al campione D 3 e mette in evidenza un grosso individuo di feldspato, ricoperto, in parte, dai prodotti di incipiente alterazione; fra questi prevalgono le forme di tipo lamellare, alcune delle quali assumono abito allungato a contorno frastagliato.

Figura 4. — Rappresenta il Campione C 2; vi si nota un grosso individuo cristallino la cui superficie è ricoperta da materiali di alterazione di varia forma e dimensione; fra le forme più minute prevalgono le particelle globulari, mentre fra quelle a dimensione più grossa si notano le forme lamellari, prevalentemente tozze ed a bordi irregolari: forme simili sono state descritte per la gibbsite presente in bauxiti carsiche (LAHODNY-SARC et alii, 1972).

Figura 5. — La fotografia si riferisce al campione A 2 ed evidenzia delle forme di alterazione più avanzata ad aspetto prevalentemente globulare, oppure romboidale pseudo-esagonale e poliedrico, verosimilmente di gibbsite, tendenti a formare degli agglomerati di aspetto tozzo.

Figura 6. — La fotografia (campione A 3) mostra la superficie di alterazione di un feldspato in uno stadio già più evoluto. È da notare l'aspetto corrosivo di questa superficie caratterizzato da numerose, piccole cavità: si è portati a pensare che, in questo stadio, l'alterazione non proceda solo lungo le fratture, ma intacchi anche

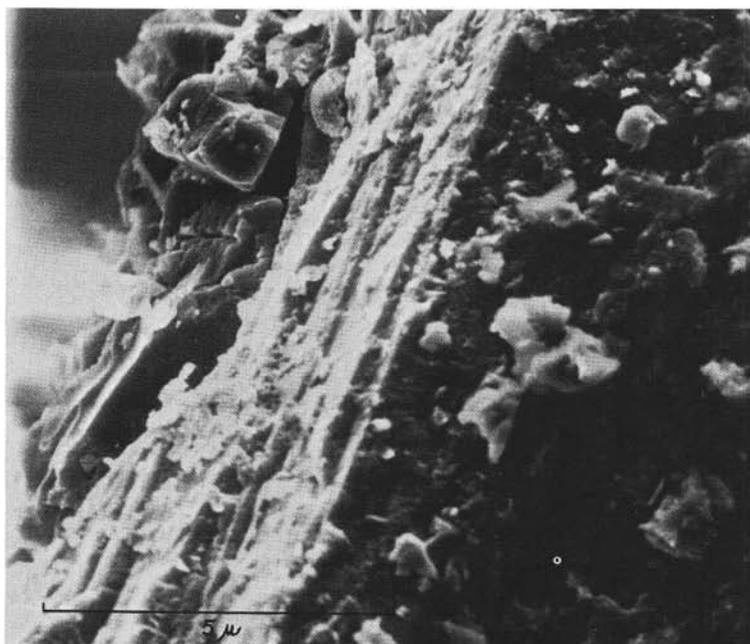


Fig. 4.

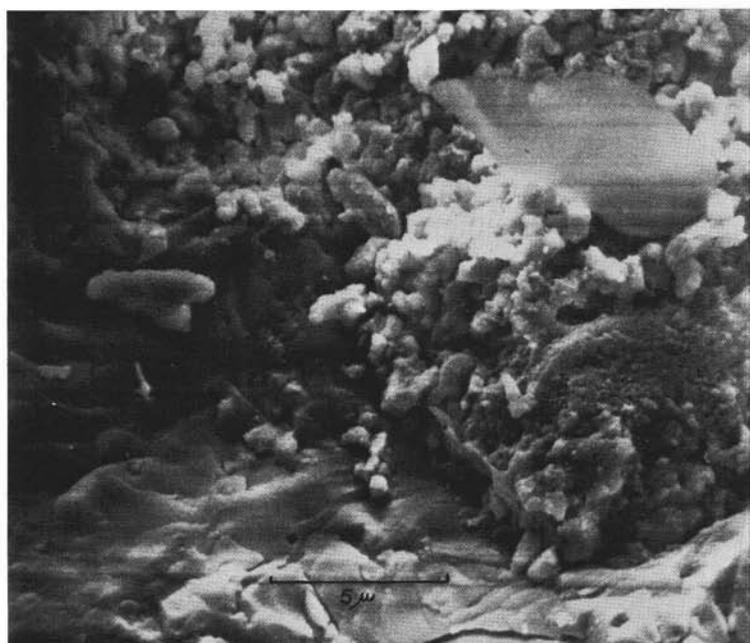


Fig. 5.

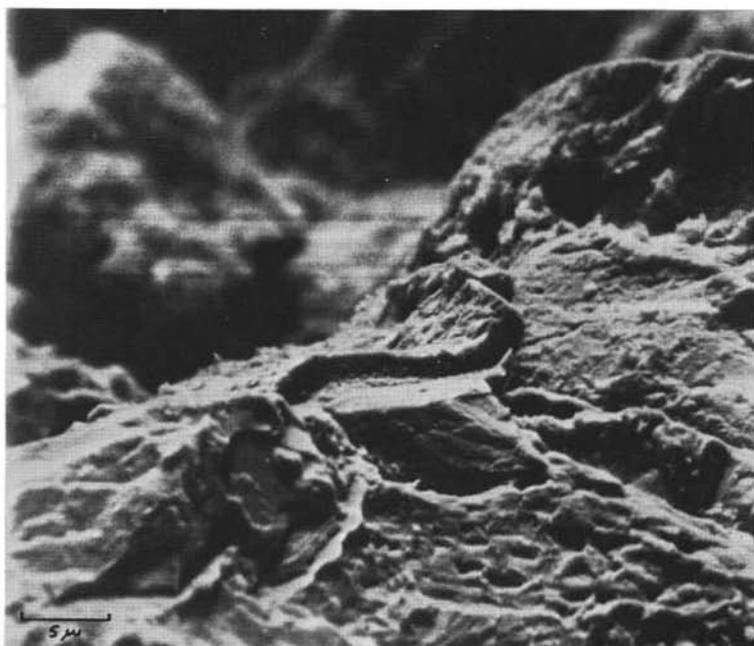


Fig. 6.



Fig. 7.

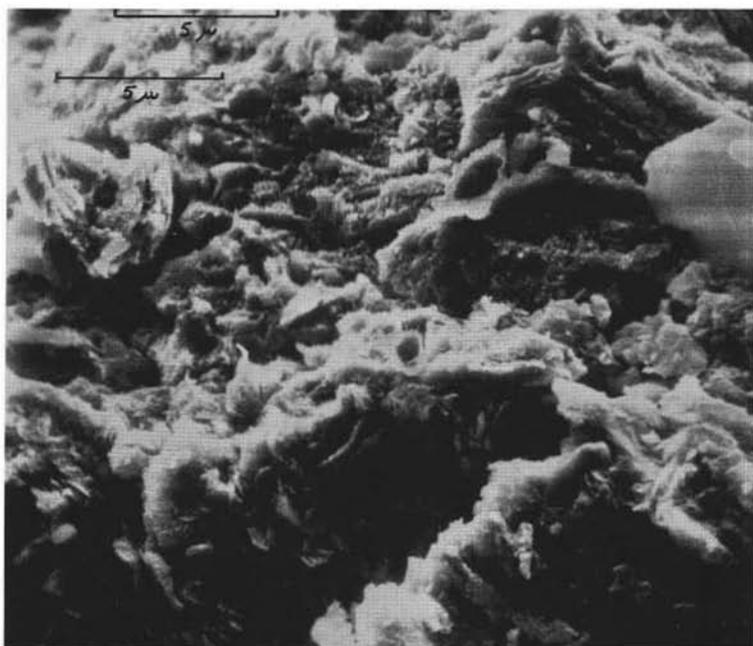


Fig. 8.

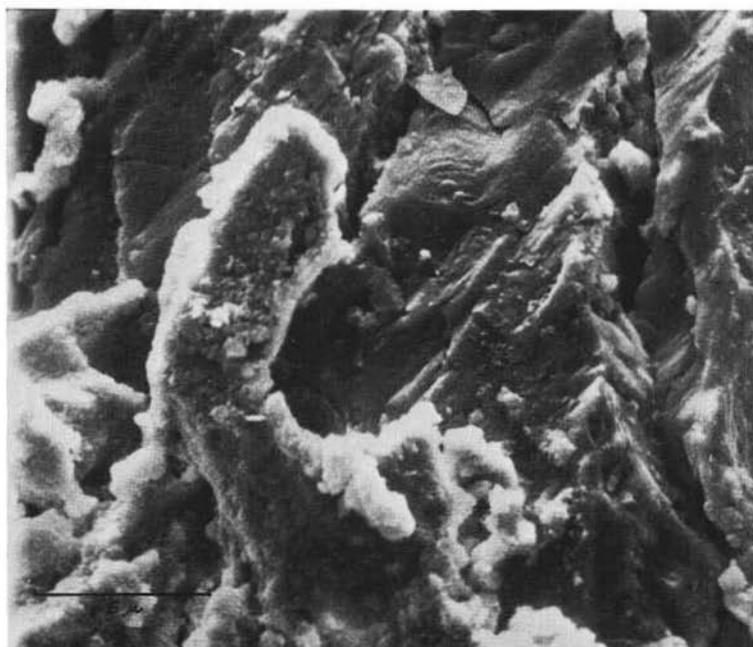


Fig. 9.

la superficie stessa. I prodotti di alterazione presentano aspetto di patine microglobulari.

Figura 7. — (Fotografia inerente al campione D 2). Vi si osserva una forma di alterazione molto più spinta, con elementi ad abito prevalentemente lamellare, di aspetto tozzo e contorno molto frastagliato (gibbsite: vedi ancora LAHODNY-SARAC et alii, 1972); l'insieme di queste lamelle assume l'aspetto di un intreccio irregolare all'interno del quale si sviluppano delle agglomerazioni di particelle più minute di forma indefinita.

Figura 8. — La fotografia, eseguita sul campione C 2, mostra la superficie di un cristallo in avanzato stato di alterazione. Si nota, in prevalenza, lo sviluppo di forme ad efflorescenza, costituite da minuti individui filamentosi (gel di allofane?) e la presenza di alcune forme lamellari ad abito tozzo e bordi irregolari; le lamelle sembrano presentare, in taluni casi, un'alterazione concentrica crescente dal centro alla periferia, nella quale prevalgono gli elementi filamentosi e microglobulari.

Figura 9. — La fotografia, che si riferisce al campione A 2, mostra una interessante forma di concrezione di particelle di alterazione micro-globulari sviluppatesi sulla superficie di un cristallo di feldspato e concentrate sui bordi esterni (gel di alterazione nello stadio iniziale).

Figura 10. — Campione A 3. Gli individui cristallini presentano un avanzato stato di alterazione, i cui prodotti ricoprono con continuità la superficie; predominano particelle molto minute di forma indefinita, pulverulente, che danno origine ad estese agglomerazioni. Si notano, inoltre, delle forme globulari di dimensione relativamente maggiore e qualche rara forma lamellare a contorno irregolare. Si tratta di miscele di materiale tipo gel e di particelle di gibbsite.

Figura 11. — La fotografia, eseguita sul campione D 3, presenta forme di alterazione assimilabili a quelle della Figura 10, però lo stadio del fenomeno appare notevolmente più avanzato. Sono da notare, inoltre, nella parte superiore della fotografia, considerevoli aggregati di aspetto fioccoso costituiti da individui filamentosi.

Figura 12. — La fotografia (campione D 1) mostra il margine di un cristallo lungo il quale appaiono evidenti forme di alterazione aventi aspetto di agglomerazioni irregolari, in qualche punto tendenti a forme lamellari. Questa alterazione impartisce ai bordi del cristallo un aspetto frastagliato.

Figura 13. — La fotografia mostra un particolare della Figura 2, in cui si nota un cristallo di feldspato in incipiente stato di alterazione, che sembra sottolineare la struttura stessa del cristallo, mettendo in risalto i sistemi quasi ortogonali dei piani di sfaldatura. Sui margini sono ben visibili i concrescimenti di minute particelle di aspetto talora filamentoso-fioccoso (gel) e tal'altra globulare. Morfologia analoga presentano materiali costituenti i prodotti incipienti di alterazione sintetica e naturale di allofane in bauxite studiati da LAHODNY-SARAC et

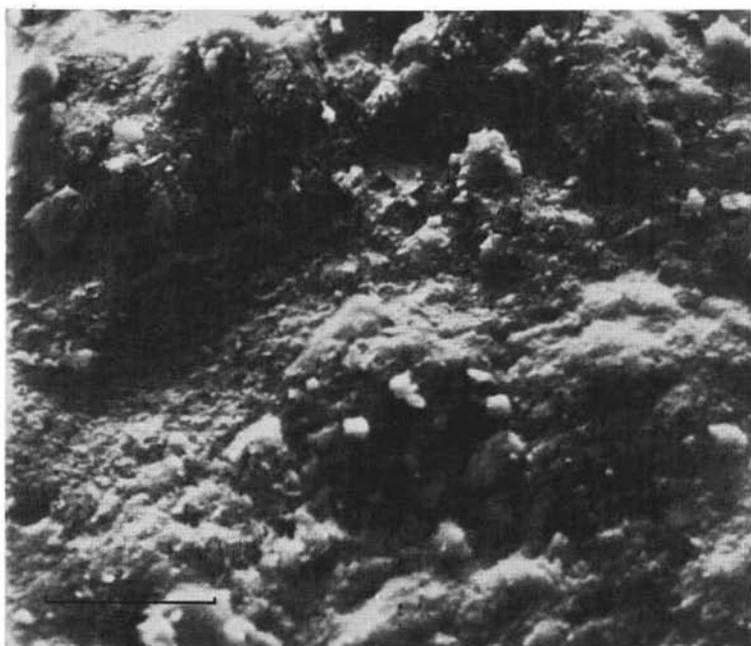


Fig. 10.

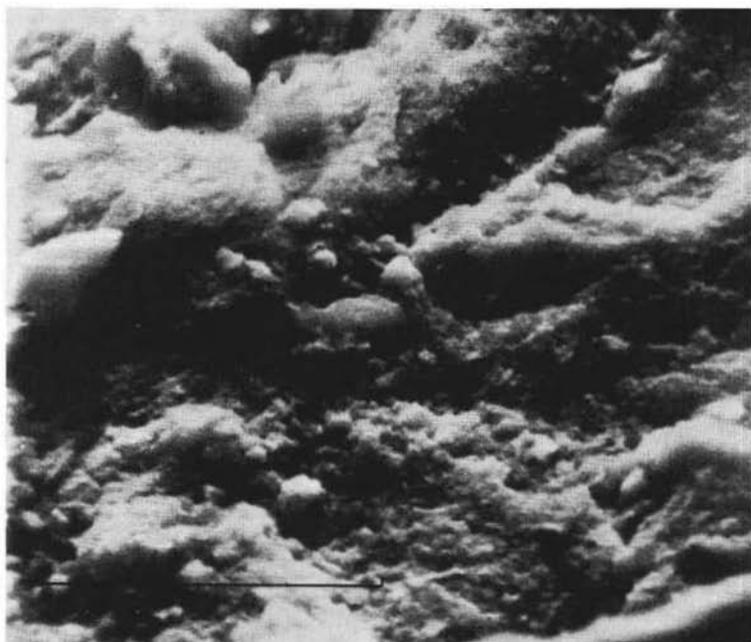


Fig. 11.

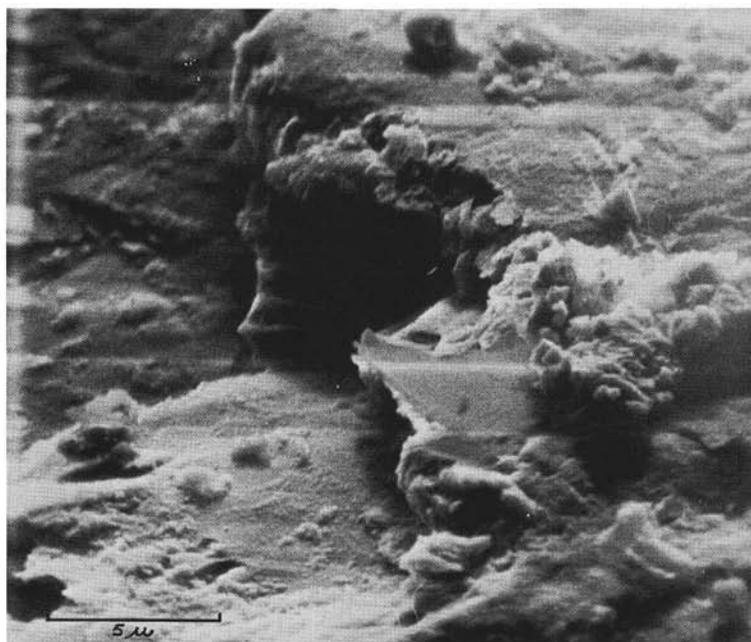


Fig. 12.

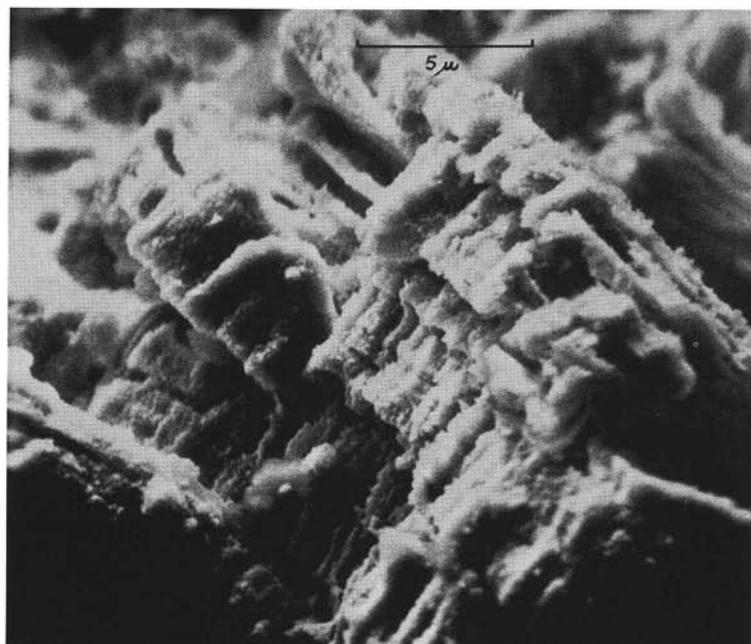


Fig. 13.

alii (1972); aspetti morfologici simili sono stati osservati anche quali prodotti iniziali di alterazione atmosferica di antigorite in nontronite.

Studio mediante la microsonda

Su diversi campioni studiati al microscopio elettronico a scansione si è anche condotta l'analisi con la microsonda.

Si è proceduto con analisi per punti ed analisi di aree, individuati tramite il microscopio stesso.

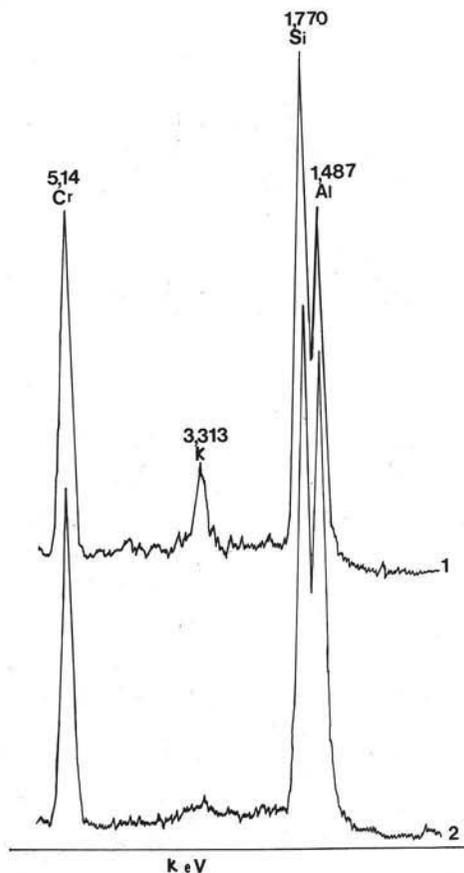


Fig. 14. — Diagrammi relativi a due campioni studiati con la microsonda elettronica.
1 - forma lamellare; 2 - forma globulare

Per la scelta dei punti su cui condurre l'analisi ci si è orientati, in generale, sulle varie forme caratteristiche dei diversi gradi di alterazione ed anche, in alcuni casi, sulla parte meno alterata dei cristalli.

La ricerca è stata condotta sui seguenti elementi: Si, Al, K, Na, Ca, ricavandone dati, oltrechè qualitativi, anche semiquantitativi.

TABELLA 2

Risultati delle analisi condotte con la microsonda elettronica sui vari campioni

CAMPIONE	Efflorescenze filamentose a fiocco					Lamelle					Forme microglobulari				
	Si*	Al	K	Na	Ca	Si	Al	K	Na	Ca	Si	Al	K	Na	Ca
A 2	10	9	tr	tr	tr	10	4	—	—	—					
	10	10	tr	tr	tr										
	10	10	—	—	—										
C 2	10	8	4	—	—	10	4	7	—	—	10	10	tr	—	—
	10	9	3	—	—										
D 1						10	5	tr	tr	tr	10	5	tr	tr	tr
						10	7	3	—	—					
D 3	10	9	—	—	—	10	9	tr	—	—	10	9	tr	—	—
	10	9	—	—	—										
	10	9	7	—	—										
	10	8	4	—	—										

*L'intensità del Si è presa come riferimento = 10

I dati ottenuti sono riportati in Tabella 2, mentre la Figura 14 rappresenta due esempi di registrazioni effettuate sui campioni rispettivamente D 3 e A 2, corrispondenti ad una forma « lamellare » (1) e ad una forma « globulare » (2).

I dati analitici, messi in correlazione con gli aspetti morfologici, portano alle seguenti considerazioni:

- nelle forme di alterazione ad « efflorescenza » si ha una presenza in misura pressochè costante ed equivalente degli elementi considerati, soprattutto per quanto riguarda Si ed Al nei diversi campioni, mentre K è presente solo in tracce od in quantità piuttosto ridotte;
- le forme « lamellari », a differenza delle efflorescenze, presentano, nei vari campioni, proporzioni piuttosto variabili degli elementi considerati, però, come tendenza prevalente, si possono distinguere due gruppi: in uno il Si è presente in misura circa doppia rispetto all'Al; nell'altro gruppo, la presenza dei due elementi è pressochè equivalente. Per quel che riguarda K, si può osservare che esso varia in maniera irregolare nei vari campioni;

c) le forme « globulari » risultano costituite unicamente da Si ed Al in rapporti costanti (1:1, oppure 2:1), mentre gli altri elementi considerati (K, Na, Ca) sono al limite delle possibilità di registrazione.

Discussione dei risultati

I processi di alterazione atmosferica (e idrotermale) dei feldspati, sia come si riscontrano in natura che come si realizzano artificialmente in laboratorio, costituiscono tuttora motivo di discussione e di ricerca per la necessità di precisare la natura dei prodotti che si formano nei vari stadi delle sequenze di trasformazione in relazione alle diverse condizioni-ambiente. L'andamento dell'evoluzione del processo di alterazione è determinato, oltre che dalla temperatura (che però non è un fattore molto significativo nei processi di alterazione atmosferica naturale per casi come quello da noi studiato, considerato il clima temperato della zona), principalmente dal grado di umidità e dalla qualità-quantità del drenaggio interno della roccia. La variazione di questi fattori, infatti, è determinante sul grado di lisciviazione degli elementi alcalini ed alcalino-terrosi e della silice, e da essi dipende, di conseguenza, la natura dei prodotti di alterazione incipienti, intermedi e finali. In altre parole, la distruzione della struttura del feldspato, che avviene per un processo di idrolisi, può portare alla formazione di gel amorfi od a incipiente grado di cristallinità (allofane), di gibbsite (o boehmite, in condizioni idrotermali), di minerali del gruppo del caolino e/o miche, la seconda che la natura meccanica della roccia e la topografia del terreno permettano o meno il drenaggio delle soluzioni e, quindi, l'asportazione selettiva di elementi come Si, K, Na e Ca, che sono i costituenti fondamentali della struttura dei feldspati, mentre l'Al sembra comportarsi come un componente inerte. Poichè il processo di alterazione dei feldspati avviene in un sistema aperto, l'associazione dei minerali entro i prodotti di alterazione non rappresenta una condizione di equilibrio. Un ruolo notevole è giocato anche dalla struttura-tessitura della roccia, specie per le rocce vulcaniche a massa di fondo vetrosa o criptocristallina (VENIALE, 1969; TRICHET, 1969); però questo non è il caso delle rocce da noi studiate, trattandosi di gneiss e micascisti olocristallini a grana medio-grossolana.

Il clima temperato della zona dove sono ubicate le rocce da noi studiate offre però un vantaggio: quello di permettere di ritrovare fra i prodotti di alterazione atmosferica superficiale i rappresentanti degli stadi incipienti e intermedi delle sequenze di trasformazione, non essendo qui il grado di alterazione estremamente spinto, come invece avviene, ad esempio, nelle zone tropicali umide, dove si incontrano solo i prodotti finali spinti fino alle lateriti.

Gli aspetti morfologici da noi osservati sono differenziabili e vanno da stadi incipienti costituiti da sottili e limitate aureole con aspetto di gel localizzate sui bordi esterni dei cristalli (vedasi Figure 8 e 9), a superfici completamente ricoperte da prodotti filamentosi a fiocco e microglobulari (vedasi Figure 10, 11 e 13),

fino ad altre dove i prodotti di alterazione sono in forma di particelle lamellari irregolari (vedasi Figure 4, 7, 12); anche se rari, non mancano aspetti poligonali (pseudoesagonali) e poliedrici (vedasi Figura 3).

Talora le superfici esterne dei cristalli alterati risultano di aspetto corrosivo (vedasi Figura 6), come se i prodotti di alterazione fossero stati asportati dalla loro superficie esterna.

I dati analitici ottenuti con la microsonda, pur nella limitazione del numero di determinazioni effettuate, forniscono alcune indicazioni significative.

Prima di tutto bisogna precisare che fra gli elementi alcalini ed alcalino-terrosi determinati (K, Na, Ca) solo il K è stato riscontrato in quantità notevole, probabilmente perchè nei campioni esaminati si tratta di feldspato potassico e non di plagioclasti.

I prodotti di alterazione vengono considerati separatamente in relazione ai diversi aspetti morfologici osservati (vedasi Tabella 2) per mettere in evidenza le variazioni di composizione chimica riscontrate tra di essi.

Le forme *lamellari* presentano rapporti Si : Al variabili da 2 : 1 a circa 1 : 1, passando attraverso valori intermedi. Se si tiene presente che nei feldspati il rapporto $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2,15$, mentre nella caolinite è $= 1,18$, si può verosimilmente ritenere che si tratti di materiali diversi:

- a) quando il rapporto Si : Al = 2 : 1 e non è più presente K con ogni probabilità si tratta di frammenti feldspatici da cui è già stato asportato totalmente il K; in altri casi il tenore di K è ancora significativo e si dovrebbe trattare di feldspato in uno stadio più precoce e meno spinto della lisciviazione degli alcali;
- b) quando il rapporto Si : Al = 1 : 1 e non sono presenti alcali (K) ci si dovrebbe trovare già in presenza di caolinite, o materiale pseudoamorfo di composizione analoga (allofane?). Vi sono però alcune altre situazioni dove il K è ancora presente in quantità relativamente significativa; esse si possono interpretare come frammenti di feldspato dove si sia realizzata una sottrazione selettivamente più veloce di Si rispetto ad Al.

Gli aspetti morfologici *filamentosi a fiocchi* e *microglobulari* presentano costantemente un rapporto Si : Al = 1 : 1, con K assente o molto scarso ⁽²⁾. Ricordando che hanno aspetto di sottili rivestimenti localizzati ai bordi esterni dei cristalli (vedasi Figure 9 e 13) si può ritenere trattarsi di gel rappresentanti embrioni di caolinite allo stato pseudoamorfo con basso grado di cristallinità.

Questi risultati possono essere discussi sulla base della ipotesi più generalmente ammessa che la genesi della caolinite sia il risultato di una « neoformazione per sottrazione di silice » (MILLOT, 1964), anche se esistono in letteratura alcuni esempi, indubbiamente meno frequenti, i quali indicano che la caolinizzazione può essere anche il risultato di un processo di addizione di silice sopra un supporto alluminico

(2) In un solo caso si è trovato un rapporto Si : Al = 2 : 1.

(DELVIGNE, 1965). Anche ricerche sperimentali (TCHOUBAR, 1965, OBERLIN & COUTY, 1970) hanno mostrato che, durante l'alterazione idrotermale di feldspati, la formazione di caolinite è il risultato di un'addizione di silice su una fase alluminica attivata.

Nello studio già citato (BOTTINO et alii, 1975) si è verificato che entrambe le modalità di genesi della caolinite possono coesistere; infatti la « neoformazione per sottrazione di silice » potrebbe spiegare la presenza della caolinite negli stadi iniziali dell'alterazione, mentre la « formazione per addizione di silice su una fase alluminica » potrebbe giustificare la scomparsa della gibbsite nei livelli più evoluti del profilo di alterazione.

D'altra parte RODRIQUE et alii (1972; a questa pubblicazione si rimanda anche per un aggiornamento della letteratura sull'argomento) con una serie di dettagliate ricerche hanno messo in evidenza l'importanza del processo di sottrazione di silice durante la caolinizzazione idrotermale di silico-alluminati amorfi. Dal punto di vista strutturale è risultato che lo stato di depolimerizzazione dell'Al nel gel silico-alluminico di partenza (quando questo è ricco in silice) è un importante fattore nel favorire la sintesi della caolinite, che si ottiene passando attraverso un progressivo arrangiamento di filamenti costituiti da catene O-Si-O-Al-OH, piuttosto che per silicizzazione di un supporto alluminico a basso grado di cristallinità. La formazione di questi filamenti sarebbe favorita quando il meccanismo che porta alla formazione di caolinite implica una sottrazione di silice. Gli stessi Autori hanno osservato al microscopio elettronico che i prodotti incipienti di tale trasformazione sono costituiti da forme globulari simili ad allofane, e che quando, in uno stadio successivo, assumono aspetto filamentoso danno già diffrattogrammi X di caolinite, anche se con grado di cristallinità non buono; in uno stadio più avanzato questi filamenti si aggregano fra di loro per costituire particelle appiattite di caolinite a maggior grado di cristallinità.

I risultati da noi ottenuti si possono inquadrare bene secondo lo schema di RODRIQUE e coll.. Il meccanismo di trasformazione del feldspato in caolinite implica inizialmente una lisciviazione degli alcali (K) ed una sottrazione di Si preferenziale rispetto ad Al (vedasi anche DELVIGNE & MARTIN, 1970) con produzione di un gel (orli di efflorescenza filamentosi a fiocchi) avente composizione analoga a quella della caolinite (rapporto Si : Al = 1 : 1); questo gel può evolvere a caolinite (particelle di forma lamellare irregolare) per passaggio ad un migliore grado di organizzazione cristallina. Oppure, per ulteriore più spinta desilicizzazione, lo stesso gel può dare luogo alla formazione di gibbsite; quest'ultima ipotesi può essere sostenuta solo sulla base delle osservazioni morfologiche (forme microglobulari e/o poliedriche richiamanti la morfologia di cristalli di gibbsite: LAHODNY-SARC et alii, 1972) e dei dati forniti dalle analisi diffrattometriche X e termodifferenziali (BOTTINO et alii, 1975), dai quali è risultato che la gibbsite è presente in quantità più abbondante nei livelli più bassi (più vicini alla roccia fresca) dei prodotti di alterazione, per diminuire poi gradualmente verso l'alto dei profili di alterazione. Infatti non si è riusciti, sulla

base dei dati analitici che si son potuti realizzare con la microsonda, ad evidenziare particelle con composizione esclusivamente alluminica; forse ciò è dovuto anche alle difficoltà connesse con i limiti della tecnica impiegata (metodi di preparazione dei campioni e natura irregolare delle superfici analizzate).

Un altro problema in discussione nella letteratura (MILLOT & BONIFAS, 1955; DELVIGNE & MARTIN, 1970) è se il processo di trasformazione dei feldspati in caolinite (e gibbsite) sia isovolumetrico; le nostre osservazioni morfologiche (vedasi in particolare Figure 9 e 13) sembrano indicare che almeno i prodotti dello stadio iniziale incipiente di alterazione presentino un certo « rigonfiamento », cioè siano materiali a densità minore rispetto al feldspato, verosimilmente per presenza di acqua di idratazione.

BIBLIOGRAFIA

- BOTTINO G., ROSA M. A., STAFFERI L. (1975) - *Studio dei materiali di alterazione di rocce metamorfiche della bassa Val Sesia (Piemonte)*. Atti Soc. Ital. Sci. Nat. Museo Civ. Stor. Nat., Milano, 116 (1-2), 81-114.
- DELVIGNE J. (1965) - *Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferralitique*. Mem. ORSTOM, n. 13, 117 p.
- DELVIGNE J., MARTIN H. (1970) - *Analyse à la microsonde électronique de l'altération d'un plagioclase en Kaolinite par l'intermédiaire d'une phase amorphe*. Cahiers ORSTOM, vol. II, 259-295.
- LAHODNY-SARC O., BOHOR B. F., STANEK J., HULÍNSKÝ V. (1972) - *Electron microprobe and scanning electron microscope study of bauxite*. Proc. Internat. Clay Conf. Madrid, 781-784.
- MILLOT G., BONIFAS M. (1955) - *Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de lateritisation et bauxitisation*. Bull. Ser. Carte Géol. Als. Lor., 12, 3-15.
- MILLOT G. (1964) - *Géologie des argiles*. Masson, Paris.
- OBERLIN A., COUTY R. (1970) - *Conditions of kaolinite formation during alteration of some silicates by water at 200° C*. Clays and Clay Miner., 18, 1161-1173.
- RODRIGUE L., PONCELET G., HERBILLON A. (1972) - *Importance of the silica subtraction process during the hydrothermal kaolinitization of amorphous silico-aluminas*. Proc. Intern. Clay Conf. Madrid, 187-206.
- TCHOUBAR C. (1965) - *Formation de la kaolinite à partir d'albite altérée par l'eau à 200° C. Etude en microscopie et diffraction électroniques*. Bull. Soc. Fr. Minér. Crist., 483-518.
- TRICHET J. (1969) - *Contribution à l'étude de l'altération expérimentale des verres volcaniques*. Tesi, Univ. Paris.
- VENIALE F. (1969) - *Discussione: SIEFFERMANN G. e MILLOT G., Equatorial and tropical weathering of recent basalts from Cameroon: allophanes, halloysite, kaolinite and gibbsite*. Proc. Internat. Clay Conf. Tokyo, vol. I, 417-430; vol. II, 106-108.