

VINCENZO COTECCHIA*, UGO ZEZZA**

I PRODOTTI VULCANICI QUATERNARI DELLA « FOSSA » LATACUNGA-AMBATO NEL CORRIDOIO INTERANDINO DELL'ECUADOR

RIASSUNTO. — I depositi che colmano in parte il corridoio interandino nell'area della 4^a « fossa » ecuadoriana Latacunga-Ambato sono costituiti in prevalenza da prodotti derivati dall'attività vulcanica quaternaria, cui si intercalano sedimenti di facies fluvio-glaciale e glacio-lacustre (connessi al materiale eroso dalle sovrastanti cordigliere) e di facies eolica (cangagua).

Il vulcanismo quaternario si manifesta con una prima fase a carattere eminentemente esplosivo con produzione di agglomerati andesitici (Pleistocene inferiore), cui fa seguito la principale fase effusiva responsabile della messa in posto di potenti efflussi lavici andesitici e di subordinati livelli di piroclastiti (Pleistocene medio) e la terminale fase caratterizzata da accumuli relativamente potenti di piroclastiti dacitico-riodacitiche (Olocene). Sottili livelli di lapilli e di pomice riodacitiche ricorrono nelle interfasi prevalentemente sedimentogene del Pleistocene inferiore-medio e medio-superiore.

Il carattere seriale di tutti i prodotti vulcanici quaternari è tipicamente calc-alcalinio.

Pertanto, a livello dell'intero arco vulcanico di cordigliera che interessa il Nord Ecuador (Ande settentrionali), si rende manifesta la seguente successione petrogenetica ordinata in senso spaziale e temporale: tholeiiti di arco del Cretacico inferiore nella regione della Costa; andesiti basse in K_2O del Cretacico superiore-Eocene inferiore nella Cordigliera Occidentale; associazione calc-alcalina del Pleistocene-Olocene, differenziata in andesiti-daciti-riodaciti, nella depressione interandina.

ABSTRACT. — Quaternary volcanic rocks occupying the inter-Andean corridor of the Latacunga-Ambato « 4th trough » are predominantly agglomerates, lava flows and pyroclastic products, with intercalated fluvial-glacial and glacio-lacustrine deposits (derived from Andean cordillera erosion materials) and eolian products similar to loess (cangagua).

Quaternary vulcanism produced firstly (Lower Pleistocene) andesitic agglomerates, very thick andesitic lava flows with secondary quantities of pyroclastic deposits (Middle Pleistocene) and at last relatively thick levels of dacitic-rhyodacitic pyroclastic products (Holocene). Besides, thin lapilli layers and rhyodacitic pumices are present mostly in sedimentary interstages (Lower-Middle Pleistocene and Middle-Upper Pleistocene).

Quaternary volcanic rocks are andesites, dacites and rhyodacites of typical calc-alkaline series.

Therefore, volcanic arc activity in the Northern Andes of N. Ecuador reflect a spacial and temporal petrogenetic evolution: low-K tholeiites of the Lower Cretaceous in the Costa; low-K andesites of the Upper Cretaceous-Lower Eocene in the Western Cordillera; calc-alkaline differentiated associations (andesite-dacite-rhyodacite) of the Pleistocene-Holocene inter-Andean depression.

* Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica dell'Università di Bari. ** Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Pavia.

Introduzione

La struttura geomorfologica dell'Ecuador (fig. 1) è delineata da tre distinte regioni: la *Costa (el litoral)*, collinare-pianeggiante e di larghezza variabile tra 150 e 20 km circa; la *Catena andina (sierra)* che comprende due cordigliere (*Cordillera Occidental* e *Cordillera Real* o *Oriental*) separate da un'ampia depressione (*callejón*); l'*Oriente (el oriente)* che costituisce parte del bacino superiore del rio delle Amazzoni.

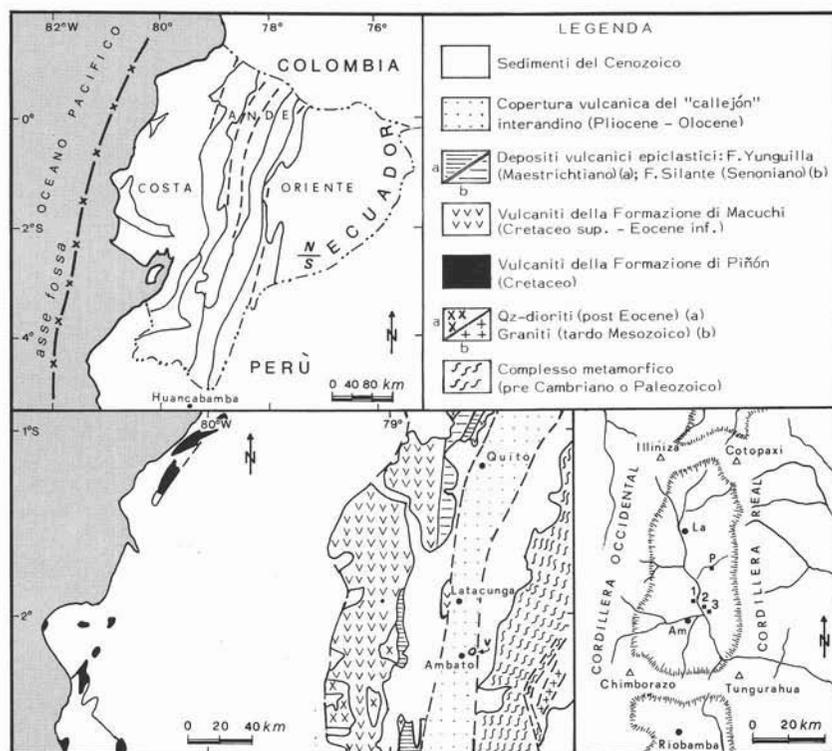


Fig. 1. — Schema geomorfologico dell'Ecuador, inquadramento strutturale del Nord Ecuador (da HENDERSON W.G., 1979) e ubicazione delle sezioni litostratigrafiche della « fossa » Latacunga-Ambato prese in esame: P - Pucará, 1 - sezione di Pillaro, 2 - sezione di Quillanpata-San Miguelito, 3 - sezione di Quillán.

Il cambiamento direzionale (da NNE a NE) della catena andina, all'altezza di $2^{\circ}10' \div 2^{\circ}30'$ di latitudine S (SILLITOE R.H., 1974; HENDERSON W.G., 1979), accompagnato dalla quasi scomparsa della depressione interandina e dalla considerevole riduzione dell'estensione della regione della Costa nella parte meridionale del territorio ecuadoriano, ne segna la distinzione geomorfologica più appariscente tra il Nord e il Sud Ecuador.

Questo importante lineamento E-W, che si raccorda verso W alla dorsale pacifica Carnegie e alle Galapagos e verso E nella frattura Amazzonica nonchè alla

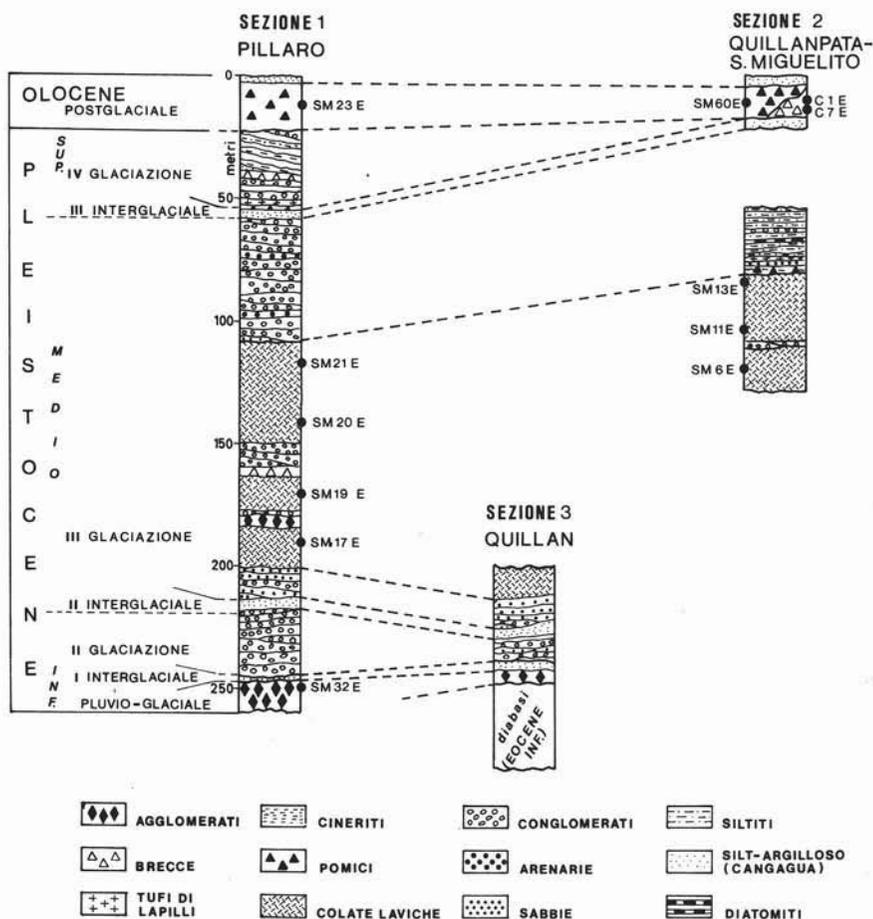


Fig. 2. — Correlazioni lito-stratigrafiche nel Quaternario della « fossa » Latacunga-Ambato (da ZEZZA F., 1974) e ubicazione dei campioni analizzati per via chimica delle sezioni di Pillaro e Quillanpata-San Miguelito.

Fossa Romanche che disloca la dorsale medio-atlantica, costituisce il limite tettonico tra le Ande settentrionali e le Ande centrali; GANSSER A. (1973) posiziona tale limite all'altezza della deviazione di Huancabamba nelle Ande del Perù settentrionale.

I prodotti dell'attività vulcanica del Nord-Ecuador costituiscono:

- la Formazione cretacea del Piñón, affiorante nella regione della Costa, composta da basalti tholeiitici per almeno 2000 m di spessore, agglomerati e rocce intrusive basiche e ultrabasiche, e interpretata (HENDERSON W. G., 1979) quale prima manifestazione subacquea dell'attività magmatica d'arco insulare;
- l'arco vulcanico, cretaceo-eocenico, della Cordigliera Occidentale, formato principalmente da vulcaniti tholeiitiche della Formazione di Macuchi e da subordinati depositi epiclastici (conglomerati, arenarie, silti) delle Formazioni di

- Silante e Yunguilla, derivati in toto o in parte dall'erosione della stessa Formazione di Macuchi (HENDERSON W.G., 1979) ⁽¹⁾;
- c) la copertura vulcanica post-eocenica (Pliocene-Olocene secondo HENDERSON W.G., 1979; Pleistocene-Olocene secondo COTECCHIA V. e ZEZZA F., 1975) del « callejón » interandino;
- d) il membro di Misahauli, lave e vulcanoclastiti del Giurassico superiore (TSCHOPP H.J., 1953), facente parte della Formazione di Chapiza, Cordillera Real. Questa Cordigliera è costituita sostanzialmente da un complesso metamorfico (pre-Cambriano o Paleozoico per TSCHOPP H.J., 1953 e SAUER W., 1965; fine Cretaceo-inizio Terziario secondo FEININGER T., 1975), cui si addossano, verso la regione Oriente, potenti formazioni giurassico-cretaciche di natura prevalentemente sedimentogena: Chapiza, Hollin, Napa e Tena, ospitanti corpi plutonici tardo-mesozoici.

La « fossa » Latacunga-Ambato si trova nella parte centrale dell'altopiano interandino ecuadoriano ed è separata dalle finitime « fosse » di Quito (a nord) e di Riobamba (a sud) da rilievi trasversali denominati, rispettivamente, « *nudo de Tiopullo* » e « *nudo del Igualata* ».

I depositi che in parte colmano la « fossa » sono in prevalenza costituiti da prodotti derivati dall'attività vulcanica quaternaria, intercalati sia a sedimenti di facies fluvio-glaciale (conglomerati, sabbie e arenarie, siltiti) e glacio-lacustri (tufiti, diatomiti) derivati da materiale vulcanico eroso dalle zone elevate della regione andina, sia a sedimenti eolici, tipo loëss, denominati cangagua.

Il loro spessore complessivo è pari a oltre 500 m nella parte centrale assiale della « fossa » e va riducendosi più o meno gradualmente verso i bordi della stessa fino a scomparire sui rilievi delle cordigliere.

Le principali fasi e i prodotti della « fossa » ad esse connessi sono (COTECCHIA V. e ZEZZA F., 1969 e 1975; ZEZZA F., 1974) i seguenti:

- a) *fase vulcanica esplosiva*, ascritta al Pleistocene inferiore, che ha accompagnato i primi movimenti epirogenetici quaternari della regione andina: agglomerati andesitici, compresi tra un orizzonte di cangagua con bolas ⁽²⁾ del I interglaciale e il substrato pre-Quaternario che affiora su aree molto ristrette; detto substrato è rappresentato nella valle del rio Culapachàn da un orizzonte di « vulcaniti di Quillán », diabasi e piroclastiti, dell'Eocene inferiore e, nell'alta valle del rio Yanayacu, da filladi ricollegabili al complesso metamorfico Paleozoico o pre-Paleozoico della Cordillera Real;

(1) I corpi plutonici qz-dioritici, intrusi nelle Formazioni di Macuchi e di Silante sono ritenuti di età oligo-miocenica.

(2) *Cangagua* = prodotto di alterazione a granulometria silt-argillosa, derivato da vulcaniti e disperso per azione eolica su tutto il corridoio interandino e costituire orizzonti potenti da 2 a 6 m; *bolas* = nidi fossili di scarabeo (*Croprinisphaera ecuadoriensis* SAUER) delle steppe andine dei periodi interglaciali, perforati e riempiti dal materiale polverulento anzidetto.

*a)**b)*

Fig. 3. — Pucará, valle del rio Yanayacu: agglomerato andesitico del Pleistocene inferiore sovrapposto in netta discordanza alle filladi del complesso metamorfico paleozoico (*a*); particolare della sua configurazione mesostrutturale, a blocchi subarrotondati (*b*).

- b) fase a sedimentazione grossolana* (Pleistocene inferiore-medio), in concomitanza a una intensa ripresa dell'attività tettonica e al manifestarsi della II e della III glaciazione: potenti depositi fluvio-glaciali interrotti da un consistente orizzonte di cangagua con bolas del II interglaciale e da rare sottili intercalazioni di piroclastiti;
- c) fase vulcanica effusiva* (Pleistocene medio) verificatasi durante la III glaciazione: potenti efflussi lavici, con subordinati livelli piroclastici, ricoprenti l'intera « fossa » interandina Latacunga-Ambato;
- d) fase a sedimentazione fine-grossolana, mista ad attività vulcanica esplosiva* (Pleistocene medio-superiore), in concomitanza dell'ultimo consistente sollevamento dell'arco andino: potenti depositi fluvio-glaciali e glacio-lacustri (III e IV glaciazione) interrotti da depositi eolici (cangagua del III interglaciale) e da livelli di piroclastiti;
- e) fase vulcanica esplosiva postglaciale* (Olocene): accumuli relativamente potenti:
- a)* pomice bianche che dal « nudo de Tiopullo » a nord e dalle falde del Cotopaxi si spingono sino ai dintorni di Ambato; *b)* breccie, diffuse soprattutto nella parte sud-orientale della « fossa » (tra Ambato e il « nudo del Igualata ») con subordinate lenti di pomice e di lapilli intercalati alla cangagua eolita postglaciale; *c)* ceneri nere, provenienti probabilmente dall'attività del Tungarahua e ricoprenti una vasta area che si estende dal bordo orientale della « fossa » alle valli dei rii Talatag e Pisayambo della regione andina.

La successione lito-stratigrafica quaternaria, rilevata (ZEZZA F., 1974) nel canyon del rio Culapachàn che incide longitudinalmente la « fossa », è illustrata in fig. 2 relativamente alla *sezione di Pillaro*, tra m 2580 ÷ 2560 e m 2435 ÷ 2370 di altitudine e alla *sezione di Quillanpata-San Miguelito* tra m 2660 e m 2530 di quota. Viene anche riportata la *sezione di Quillán* (2480 ÷ 2400 m di altitudine), in cui compare un lembo del substrato, della potenza di circa 35 m, riferito da COTECCHIA V. e ZEZZA F. (1969) a diabasi appartenenti al ciclo magmatico basico susseguente alla formazione della Cordillera Occidental e inquadrato da HENDERSON W.G. (1979) nella Formazione di Macuchi. L'età assoluta di questa massa basica, datata ⁽³⁾ con il metodo K-Ar, è risultata pari a $51,5 \pm 2,5$ M.A. (Eocene inferiore).

I prodotti vulcanici quaternari della « fossa » Latacunga-Ambato

I *prodotti piroclastici pleistocenici* sono rappresentati da agglomerati, breccie, tufi di lapilli e tufi cineritici con associate lenti di pomice.

L'*agglomerato* del Pleistocene inferiore è formato da frammenti di lava scoriacei e subarrotondati di alcuni dm di Ø massimo in una matrice piroclastica a granulometria relativamente fine. La sua potenza oscilla da poche decine di metri a

(3) Datazione eseguita presso i Westwood Laboratories - New Jersey (USA).



Fig. 4. — Valle del rio Culapachan: piroclastiti fini in livelli coerenti e semicoerenti.



Fig. 5. — Valle del rio Culapachan: particolare di colata andesitica compatta (parte mediana), con accentuata divisibilità secondo il piano di flusso.

circa 300 m, in dipendenza soprattutto dalla distanza dai centri di emissione e dalla morfologia del substrato. Più modesti livelli di alcuni metri di spessore compaiono intercalati alle colate laviche del Pleistocene medio.

Si tratta di un agglomerato a chimismo andesitico a basso tenore in silice, i cui frammenti sono in genere compatti o talora anche abbastanza porosi (3 ÷ 18 %) e a struttura distintamente porfirica con massa di fondo (45 ÷ 65 %) vetrosa,

ialopilitica, microlitica, plagioclasico-pirosenica. Le diverse paragenesi, notate a livello dei fenocristalli, sono: *a*) plagioclasti (⁴) An_{40-60} ($27 \div 30\%$) - olivine ($2,5 \div 4,5\%$) - pirosseni ($1 \div 5,5\%$); *b*) plagioclasti ($40 \div 44,5\%$) - pirosseni ($8 \div 11\%$); *c*) plagioclasti ($19,5 \div 23,5\%$) - anfibolo bruno ($13 \div 14,5\%$) - pirosseni ($3,0 \div 3,5\%$). Non è sempre chiara la sequenza di cristallizzazione tra anfibolo bruno clinopiroseno e ortopiroseno, anche se all'interno di qualche fenocristallo anfibolico con bordo opacitico si notano talora nuclei relitti di clinopiroseno.

Le *brecce* e i *tufi-brecce*, intercalati localmente alle colate andesitiche (ad esempio nel canyon del rio Culapachàn), si mostrano composti dal $40 \div 75\%$ di frammenti scheggiosi relativamente piccoli ($6,4 \div 25,6$ cm) e grossi (sin oltre il metro) in una matrice di lapilli e ceneri. I maggiori frammenti, attribuibili a lave andesitiche plagioclasico-piroseniche, hanno in genere una massa di fondo vetrosa o ialopilitica e, subordinatamente, pilotassitica.

I *tufi di lapilli* e i *tufi cineritici*, al contrario dei prodotti piroclastici ora menzionati, sono arealmente molto più sviluppati ma sempre in straterelli gradati di pochi cm o dm di spessore, talora anche sul metro, in cui compaiono *lenti di pomice* bianca o grossi frammenti di brecce vulcaniche. Essi risultano compresi prevalentemente nei depositi sedimentari clastici del Pleistocene medio-superiore, che in genere si mostrano mal classati, poco cementati, con scheletro vulcanico.

I tufi sono di tipo litico a cristalli, vetroso-litico, vetroso. La componente litica ($45 \div 10\%$) è rappresentata da frammenti afirici ($\emptyset = 0,5 \div 1,5$ mm), microlitici o vetrosi (questi ultimi, talora, anche moderatamente soffiati); le schegge cristalline ($30 \div 5\%$), minute ($0,01 \div 1,5$ mm), appartengono prevalentemente a plagioclasti, quindi a pirosseni, mentre rara è l'olivina.

I livelli con lenti di pomice si mostrano con bolle piuttosto schiacciate e stirate verso la base, subarrotondate nella parte mediana e, in genere polilobate verso l'alto. Sono altamente vetrose, con un contenuto di schegge di cristalli (sanidino, plagioclasti oligoclasico-andesinici, pirosseni, rara biotite) variabile tra l'1% e il 5%.

Le *lave andesitiche del Pleistocene medio*, arealmente molto diffuse nel « callejón » interandino, quantunque celate per lunghi tratti dalla potente copertura terrigena e vulcanoclastica, hanno uno spessore complessivo massimo di 120 m circa. Sottili livelli di brecce piroclastiche o di prodotti vulcanoclastici rimaneggiati segnano spesso la sovrapposizione delle singole colate, aventi una potenza variabile da 7 a 30 m circa.

La lava è di solito compatta, manifestando una ridottissima percentuale di pori ($1 \div 3\%$) verso la parte terminale delle singole colate; si mostra invece marcatamente vacuolare, per pori anche di alcuni cm di diametro, nella parte superiore dell'ultima colata lavica: tanto nella sezione di Pillaro quanto in quella di Quil-lanpata-San Miguelito l'area dei pori di $\emptyset = 0,02 \div 2$ mm, conteggiata al T.I., è pari rispettivamente al $10 \div 24\%$ e al $18 \div 36\%$. I pori quasi mai occlusi sono schiacciati, tubolari, con asse maggiore disposto secondo la direzione della

(⁴) Valori normativi An_{50} e An_{51} rispettivamente per i campioni P 11E e SM 32E.

colata; pari isorientamento ha sia la frazione fanerocristallina, sia quella microlitica della massa di fondo.

Il rapporto tra massa di fondo e fenocristalli raggruppati in sialici e femici è illustrato in fig. 6, in cui si nota che il contenuto totale dei fenocristalli varia tra il 49,5% e l'1,5% e che il relativo rapporto sialiti-femici si modifica da 1:1 a 9:1 in relazione diretta con la sequenza verticale ascendente delle colate laviche.

La massa di fondo si evolve da olocristallina microlitica nella facies lavica africa o quasi, a ipodialina sino a vitrofrica nelle facies via via sempre più distintamente porfiriche. Le colate stratigraficamente più basse delle andesiti della serie

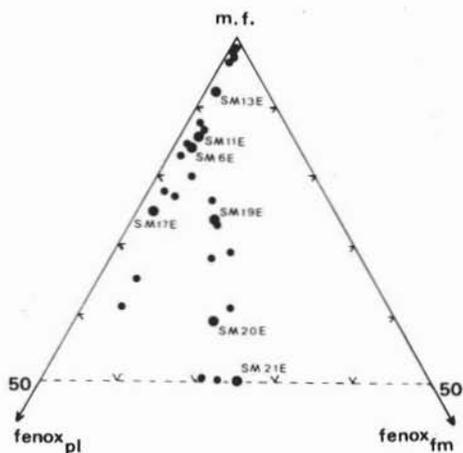


Fig. 6. — Indice di porfiricità e distribuzione % dei fenocristalli sialici e femici nelle andesiti delle serie di Pillaro e di Quillanpata-San Miguelito.

(An₃₈₋₄₈) e talvolta labradoritica (An₅₂₋₅₄); sono geminati di preferenza Albite-Carlsbad e mostrano anche zonature sfumate idiomorfe ritmiche.

Gli scarsi individui di olivina hanno caratteri morfologici di granuli relitti.

Per i fenocristalli pirossenici (iperstene, augite-titanaugite) il trend evolutivo normativo di fig. 10 ($hy = 12 \div 6,5\%$; $di = 3 \div 0\%$) si diversifica da quello modale, in quanto ricorrono talora campioni (ad esempio, SM 17E) con prevalenza dei termini monoclini su quelli rombici o altri campioni (SM 18-19E) con contenuti all'incirca uguali tra i due gruppi. Comunque l'iperstene sembra essere il termine pirossenico più rappresentativo per la sua costante presenza.

Le *piroclastiti oloceniche*, affioranti nella « fossa » e sui ripiani del corridoio interandino, sono rappresentate da pomici bianche, breccie e ceneri nere.

Le *pomici*, in facies prevalentemente bianca sfumante a rosata o talvolta anche grigia verso la parte sommitale degli affioramenti, costituiscono estesissimi orizzonti, potenti 20 ÷ 50 m (e oltre nella zona centrale assiale della « fossa »), mal stratificati e semicoerenti, solo localmente compatti (pietra pishilada).

Le masse di pomici saldate mostrano inoltre, in diversi affioramenti, qualche accenno ad una grossolana suddivisione in prismi verticali (fig. 7) e, microscopica-

di Pillaro (ad esempio, camp. SM 17-19E) hanno in genere una massa di fondo microlitica fluidale plagioclasico-pirossenico-anfibolitica; nei corpi lavici sovrastanti (camp. SM 20-21E) e in quelli della serie di Quillanpata-San Miguelito (camp. SM 6-SM 13E) scompare dalla pasta fondamentale l'anfibolo bruno.

I fenocristalli, medio-piccoli, mostrano deboli segni di corrosione magmatica periferica o anche interna, e di solito sono inalterati. Disegnano talvolta assetti glomeroporfirici per associazione ofitica o subofitica plagioclasico-pirossenica.

I fenocristalli plagioclasici hanno composizione prevalentemente andesinica

mente, caratteri strutturali di stadio pre-ignimbritico (BORDET P. et al., 1963): struttura da spugnosa, per bolle poco o punto deformate plurilobate o subsferiche (dell'ordine di $0,05 \div 3$ mm), sino a fibro-vetrosa per forte stiramento delle bolle mantenutesi in uno stato ancora plastico dopo la caduta. La componente cristallina



Fig. 7. — Valle del rio Culpachan: scarpata verticale di pomici bianche saldate, interessata da pseudostratificazione e da divisibilità grossolana a prismi verticali.

($1 \div 5$ %) è rappresentata da minute schegge ($0,01 \div 0,5$ mm) e da medi e piccoli fenocristalli integri di plagioclasio oligoclasico-andesinico, sanidino, biotite, iperstene e augite, tutti inalterati, oltre a granuli anche euedrali di magnetite.

Le *brecce piroclastiche* a grossi blocchi, sono localizzate al margine orientale della « fossa », in livelli che raggiungono una potenza massima di circa 20 m.

I grossi blocchi spigolosi, legati da una matrice prevalentemente cineritica grigiastra, sono piuttosto compatti, poco o punto porfirici, con massa di fondo da vetrofirica a microlitica fluidale, composta da plagioclasti-piroseni-minerali opachi. I fenocristalli plagioclastici An_{25-45} non superano il 10% ($3 \div 9,5\%$); quelli pirosenici (augite, iperstene) sono talora più abbondanti ($0,5 \div 14,5\%$).

TABELLA 1

Chimismo delle vulcaniti quaternarie nel « callejón » interandino dell'Ecuador

	A		SEZIONE 1 - PILLARO					SEZIONE 2 - QUILLANPATA - SAN MIGUELITO					
	PI1E	SM32E	SM17E	SM19E	SM20E	SM21E	SM23E	SM6E	SM11E	SM13E	SM60E	C7E	C1E
SiO ₂	54,17	55,35	55,98	56,84	56,11	54,81	70,37	58,25	58,47	60,58	69,66	61,74	63,18
Al ₂ O ₃	21,25	18,39	21,56	20,12	21,03	18,95	13,02	16,96	16,60	16,48	12,53	15,42	15,67
Fe ₂ O ₃	4,27	2,22	3,05	3,30	3,39	2,85	0,38	2,59	3,54	2,58	0,66	3,00	3,59
FeO	2,40	4,01	2,98	2,94	3,75	4,12	0,76	4,42	4,28	3,74	0,60	4,07	3,01
MnO	0,08	0,05	0,08	0,08	0,10	0,13	0,04	0,15	0,14	0,15	0,08	0,14	0,12
MgO	2,59	3,22	3,18	3,54	3,57	3,75	1,77	2,40	2,61	2,11	1,89	1,49	1,20
CaO	7,59	8,52	7,05	7,00	6,77	7,81	2,18	5,62	5,07	4,52	2,25	3,44	2,75
Na ₂ O	3,14	3,36	3,36	3,17	2,71	2,86	3,04	4,04	3,85	3,10	2,94	3,66	3,92
K ₂ O	2,08	1,96	1,35	1,33	1,28	1,31	4,14	2,26	2,25	2,76	3,58	3,34	3,30
TiO ₂	1,03	1,20	0,93	0,89	0,88	0,86	0,32	1,43	1,52	1,61	0,25	1,53	1,21
P ₂ O ₅	0,22	0,02	0,17	0,13	0,11	0,11	0,03	0,43	0,39	0,39	0,07	0,42	0,42
H ₂ O ⁺	0,63	1,71	0,16	0,47	0,09	1,94	3,51	1,45	1,28	1,98	5,27	1,73	1,63
	99,45	100,01	99,85	99,81	99,79	99,50	99,56	100,00	100,00	100,00	99,78	99,98	100,00
	NORMA C. I. P. W.												
Q	8,47	6,44	11,22	12,81	14,67	9,99	29,56	10,72	12,88	19,21	31,37	18,04	20,92
Or	12,29	11,58	7,97	7,86	7,56	7,74	24,46	13,35	13,29	16,31	21,15	19,73	19,49
Ab	26,55	28,41	28,41	26,81	22,92	24,18	25,71	34,16	32,56	26,21	24,86	30,95	33,15
An	36,21	29,32	33,86	33,87	32,86	35,01	9,66	21,48	21,38	19,87	10,43	14,32	10,90
wo ¹	-	5,35	-	-	-	1,26	0,40	1,50	0,51	-	0,11	-	-
Di	en ¹	-	3,44	-	-	0,82	0,31	0,87	0,33	-	0,09	-	-
fs ¹	-	1,56	-	-	-	0,35	0,04	0,56	0,14	-	0,01	-	-
Hy	en ¹¹	6,45	4,58	7,91	8,81	8,89	8,52	4,10	5,11	6,16	5,25	4,61	3,71
fs ¹¹	-	2,08	1,57	1,35	2,82	3,68	0,58	3,33	2,55	2,36	0,29	2,73	0,79
Mt	-	5,01	3,22	4,42	4,78	4,91	4,13	0,55	3,75	5,13	3,74	0,96	4,35
Il	-	1,95	2,28	1,77	1,69	1,67	1,63	0,61	2,72	2,89	3,06	0,47	2,91
Ap	-	0,51	0,05	0,39	0,30	0,25	0,25	0,07	1,00	0,90	0,90	0,16	0,97
He	-	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	-	0,57	-	2,17	1,06	3,15	-	-	-	-	1,11	-	0,54

Le ceneri nere ⁽⁵⁾, probabilmente connesse all'attività del Tungarahua, sono diffuse sino al margine orientale della « fossa » sovrapposta alle breccie.

Spesso è proprio la sovrapposizione di queste ceneri a rendere poco chiaro il rapporto stratigrafico breccie-pomici nella zona di Quillanpata-San Miguelito.

I dati petrochimici dei prodotti vulcanici pleistocenici (agglomerati, lave) e olocenici (pomici, breccie piroclastiche), riportati in tabella 1 ⁽⁶⁾, indicano che il vulcanismo interandino ecuadoriano recente è caratterizzato da litotipi sovrassaturi

⁽⁵⁾ Età = 5300 ± 113 anni, determinata col metodo C¹⁴ presso i Westwood Laboratories - New Jersey (USA) (COTECCHIA V. e ZEZZA F., 1975).

⁽⁶⁾ Le analisi delle vulcaniti della sezione di Pillaro e della sezione di Quillanpata-San Miguelito sono dovute rispettivamente al Prof. L. DELL'ANNA e al Dott. G. CRISCI, cui vanno i nostri ringraziamenti.

e subalcalini, specificatamente calc-alcinali e con indice di Peacock pari a 58.

Sulla base dei tenori di K_2O e del rapporto K_2O/Na_2O espressi in funzione del % di SiO_2 , emerge (fig. 8) una implicita correlazione tra il « trend » evolutivo dei prodotti vulcanici quaternari del Nord Ecuador (Ande settentrionali) e quello relativo alle vulcaniti miocenico-oloceniche del Cile e del Perù (Ande centrali) (ZEIL W. e PICHLER H., 1967; PICHLER H. e ZEIL W., 1969), accreditato come il più tipico esempio di magmatismo calc-alcinalo *d'arco vulcanico di cordigliera*

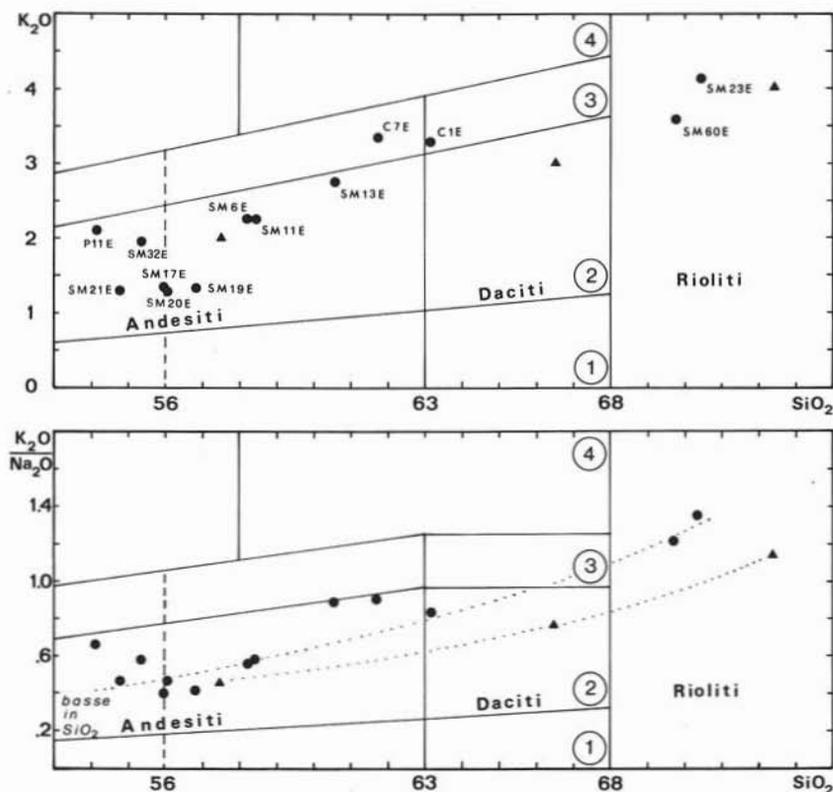


Fig. 8. — Rappresentazione delle vulcaniti quaternarie del corridoio interandino ecuadoriano (●) e dei valori medi di equivalenti vulcaniti miocenico-oloceniche delle Ande centrali (▲) nei diagrammi K_2O-SiO_2 e K_2O/Na_2O-SiO_2 relativi a vulcaniti degli archi insulari e dei margini continentali (1 - serie tholeiitica di arco, 2 - serie calc-alcinala, 3 - serie andesitica alta in K, 4 - serie shoshonitica; BARBERI F. et al., 1974).

(JAMES D. E., 1971; JAKES P. e WHITE A. J. R., 1972; MIYASHIRO A., 1974). La differenza più appariscente starebbe nel rapporto K_2O/Na_2O un poco più alto dei prodotti interandini ecuadoriani.

In particolare, le masse vulcaniche in esame a chimismo andesitico hanno un contenuto in silice, variabile dal 54 al 62 % circa, in evoluzione spaziale e temporale positiva, soprattutto nella serie di Quillanpata-San Miguelito. Per le andesiti del Pillaro, seguendo la specifica variazione della silice con la successione delle

colate, cui appartengono i campioni analizzati, sembrerebbe vero il contrario; ma, per esse, si deve notare che il tenore complessivo in silice ($\text{SiO}_2 = 55 \div 57\%$) è comunque più basso di quello riscontrato nelle colate laviche della serie di Quillanpata-San Miguelito ($\text{SiO}_2 = 58 + 60,5\%$) stratigraficamente sovrapposte, e più alto di quello del sottostante agglomerato ($\text{SiO}_2 = 54 + 55\%$).

Il tenore di Al_2O_3 nelle andesiti, compreso nell'intervallo $15,4 + 21,6\%$ ($\bar{x} = 18,7\%$) è piuttosto elevato rispetto a quello che si riscontra, ad esempio, nelle

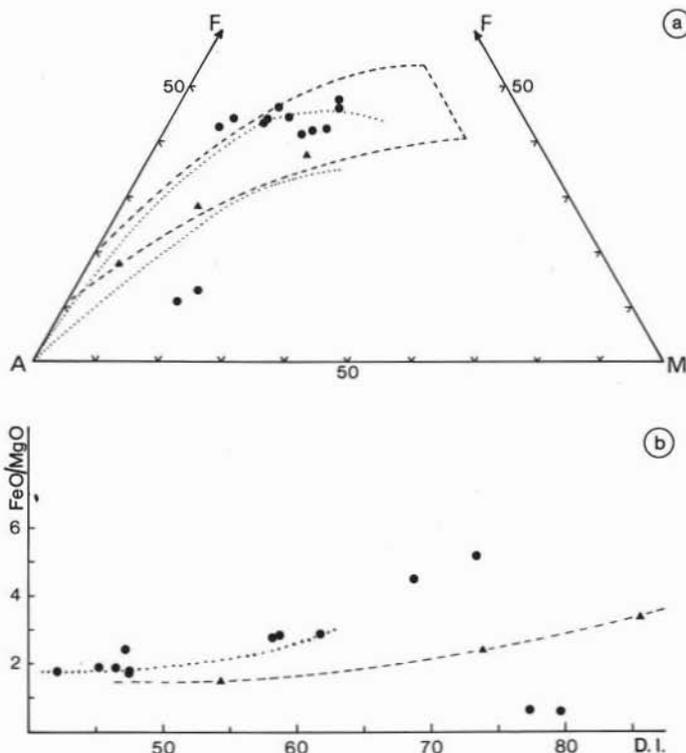


Fig. 9. — Correlazione tra $\text{FeO}_{\text{tot}}/\text{MgO}$ e Indice di Differenziazione (THORNTON C. P. e TUTTLE O. F., 1960) delle vulcaniti in esame (b) e loro distribuzione nel diagramma A-F-M (a), in cui sono segnati il campo delle serie calc-alcaline (RINGWOOD A. E., 1974), limiti a tratteggio, e il campo specifico delle vulcaniti delle Ande centrali, limiti a punto.

andesiti del Cile settentrionale: $15,4 + 18,7\%$ (PICHLER H. e ZEIL W., 1969), o in quelle del Perù meridionale: $12,8 + 17,9\%$ (LEFEVRE C., 1973). Questa fluttuazione nei valori di Al_2O_3 , che è ritenuta una delle caratteristiche delle serie calc-alcaline ricche in K e che contrasta con l'uniformità dei tenori in allumina tipica delle rocce della serie calc-alcalina a basso contenuto di K (JAKES P. e SMITH I. E., 1970), sembrerebbe doversi correlare ora con il tenore di K_2O relativamente più alto nei prodotti interandini ecuadoriani ed ora con una leggera mobilizzazione di alcali (probabilmente del Na) data la presenza di corindone normativo ($C = 0,57 \div 0,0$ e $3,15 \div 0,0$, rispettivamente, nell'agglomerato e nelle lave andesitiche).

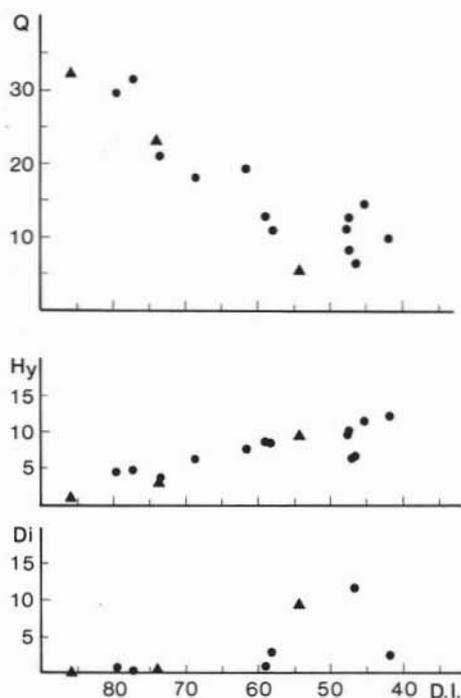


Fig. 10. — Relazione tra Indice di Differenziazione e valori normativi Q , Hy e Di (simboli come nelle precedenti figure).

Normali per rocce calc-alcaline di tipo andesitico sembrano inoltre essere i relativi rapporti A ($Na_2O + K_2O$)- F ($FeO_{tot.}$)- M (MgO), fig. 9 a. Invece, per le vulcaniti oloceniche a chimismo dacitico e riolitico, proprio a livello dei rapporti A - F - M e della correlazione tra $FeO_{tot.}/MgO$ e indice di differenziazione (fig. 9 b), si nota un impoverimento accentuato di $FeO_{tot.}$ nei prodotti riolitici, controbilanciato da un equivalente suo arricchimento nelle rocce dacitiche. Ciò potrebbe indicare uno spinto frazionamento, già insito nella diversa natura dei principali prodotti olocenici: pomice e breccie.

L'indice di basicità secondo CHURCH B.N. (1975), % in peso di $Fe_2O_3 + FeO + 1/2 (MgO + CaO)$, si evolve da $12,85 \div 9,54$ delle andesiti, a $8,58$ nelle daciti, a $3,33 \div 3,12$ per le rioliti, risultando in buon accordo con quello delle vulcaniti delle Ande centrali.

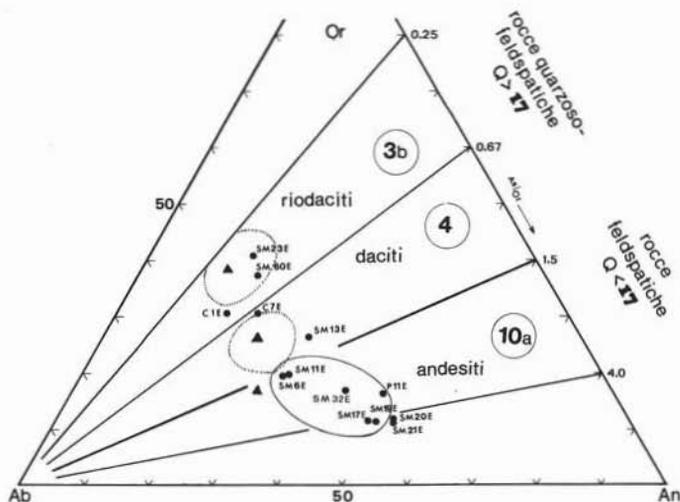


Fig. 11. — Definizione dei litotipi nei diagrammi classificativi di STRECKEISEN A. (1976).

La composizione normativa delle vulcaniti quaternarie del Nord Ecuador non si differenzia sostanzialmente da quella delle altre masse cenozoiche andine, cilene-peruviane, prese a riferimento.

Passando dall'agglomerato andesitico alle pomici, ad un incremento costante e regolare di Q (dal 6% al 31% circa), illustrato in fig. 10 in funzione dei relativi valori dell'indice di differenziazione (THORNTON C.P. e TUTTLE O.F., 1960), si contrappone una lineare diminuzione di Hy (dal 12% al 4% circa) e del Di (10 ÷ 0%) non sempre presente nelle lave andesitiche, ma riscontrabile nelle pomici pur se in bassissime percentuali (0,21 ÷ 0,75%).

Termini normativi olivini non compaiono, invece, nemmeno nelle andesiti a basso tenore in silice.

I valori di Or , Ab , An e i loro rapporti percentuali interpretati nei diagrammi classificativi di STRECKEISEN A. (1976), fig. 11, fanno inoltre notare, da un lato, il carattere relativamente più basico delle andesiti della serie di Pillaro e, dall'altro, l'evoluzione in senso acido delle sovrapposte andesiti di Quillanpata-San Miguelito, nonché la caratterizzazione dacitica e riodacitica, rispettivamente, delle breccie piroclastiche e delle pomici oloceniche.

Considerazioni conclusive

Le considerazioni ora esposte portano ad escludere la presenza, precedentemente ammessa, di livelli basaltici tra i prodotti pleistocenici della « fossa » Latacunga-Ambato e a notare che il vulcanismo quaternario interandino ha carat-

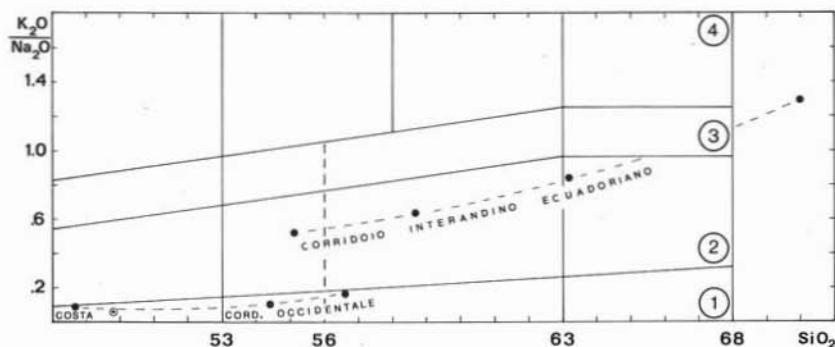


Fig. 12. — Rappresentazione delle vulcaniti dell'arco vulcanico di cordigliera nel territorio del Nord Ecuador (●) provenienti dalla regione della Costa, dalla Cordigliera Occidentale e dalla « fossa » Latacunga-Ambato. Il simbolo ○ è relativo alle tholeiiti della Cordigliera Occidentale nel territorio della Colombia, analizzate da PICHLER et al., 1974.

tere tipicamente calcalkalino, con un contenuto in K addirittura relativamente poco più alto di quello riscontrato (PICHLER H. e ZEIL W., 1969; ZEIL W. e PICHLER H., 1967) nelle vulcaniti miocenico-oloceniche delle Ande centrali.

I prodotti più diffusi dell'associazione litologica orogenetica, andesiti-daciti-

riodaciti, sono rappresentati dalle andesiti, geneticamente ricollegabili (JAKES P. e WHITE J.R., 1972) a un magma più o meno altamente idrato, vista la frequenza di anfiboli ora tra i fenocristalli ora nella pasta fondamentale di queste rocce.

Più in generale, per i prodotti dell'intero arco vulcanico di cordigliera che interessa il Nord Ecuador (Ande settentrionali), procedendo in senso W-E dalla regione della Costa alla depressione interandina, si rende manifesta (fig. 12) una successione petrogenetica ordinata in senso spaziale e temporale: dalle tholeiiti di arco della Formazione di Piñón del Cretacico inferiore nella regione della Costa (GOSSENS P.J. e ROSE W.I., 1973), si passa alle andesiti di serie tholeiitica (basse in K_2O) delle diverse formazioni laviche e vulcanoclastiche, cretacico-eoceniche, della Cordigliera Occidentale (PICHLER H. et al., 1974) e, quindi, ai prodotti calc-alcinali andesiti-daciti-riodaciti del Pleistocene-Olocene, presenti nel corridoio interandino.

BIBLIOGRAFIA

- BARBERI F., INNOCENTI F., MARINELLI G. e MAZZUOLI R. (1974) - *Vulcanismo e tettonica a placche: esempi nell'area mediterranea*. Mem. Soc. Geol. It., 13/2 (1974), pp. 327-358, Pisa 1977.
- BORDET P., MARINELLI G., MITTEMPERGER M., TAZIEFF H. (1963) - *Contribution à l'étude volcanologique du Katmai et de la Vallée des Dix mille Fumées (Alaska)*. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol., mém. 8, pp. 1-114 (22 pl.).
- CHURCH B.N. (1975) - *Quantitative classification and chemical comparison of common volcanic rocks*. Bull. Geol. Soc. America, 86, pp. 257-263.
- COTECCHIA V., ZEZZA F. (1969) - *The Eocene Basement of the Interandine Corridor in the Latacunga-Ambato trough*. Geol. Appl. e Idrogeol., 4, pp. 43-46.
- COTECCHIA V., ZEZZA F. (1975) - *Geology and geo-technical properties of the sedimentary and volcanic formation of the Tungurahua and Cotopaxi provinces (Ecuadorian Andes) referring to engineering works for water and powder supply of the region*. Sem. Inter. Valut. Terre aride e semiaride dell'America Latina, Roma 1974, pp. 531-623.
- FEININGER T. (1975) - *Origin of petroleum in the Oriente of Ecuador*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 59, pp. 1166-1175.
- GANSSEER A. (1973) - *Facts and theories on the Andes*. J. Geol. Soc., London, 129, pp. 93-131.
- GOSSENS P.J., ROSE W.I. (1973) - *Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the Basic Igneous Complex, Ecuador*. Bull. Geol. Soc. America, 84, pp. 1043-1052.
- HENDERSON W.G. (1979) - *Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador*. J. Geol. Soc., London, 136, pp. 367-378.
- JAKES P., SMITH I.E. (1970) - *High potassium calc-alkaline rocks from Cape Nelson, eastern Papua*. Contr. Mineral. and Petrol., 28, pp. 259-271.
- JAKES P. e WHITE A.J.R. (1972) - *Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas*. Bull. Geol. Soc. America, 83, pp. 29-40.
- JAKES P., WHITE A.J.R. (1972) - *Hornblendes from calc-alkaline volcanic rocks of island arcs and continental margins*. Amer. Miner., 57, pp. 887-902.
- JAMES D.E. (1971) - *Plate tectonic model for the evolution of the Central Andes*. Bull. Geol. Soc. America, 82, pp. 3325-3346.
- JUNG D., SCHULZ H. (1965) - *Beschreibung von Algol-Programmen zur Berechnung der NIGGLI-werte und der CIPW-Norm*. N. Jb. Miner. Abh., 103, pp. 256-272.
- LEFEVRE C. (1973) - *Les caractères magmatiques du volcanisme plio-quaternaire des Andes dans le Sud du Pérou*. Contr. Mineral. and Petrol., 41, pp. 259-272.
- MIYASHIRO A. (1974) - *Volcanic rock series in island arcs and active continental margins*. Amer. Journ. Sci., 274, pp. 321-355.

- PICHLER H., STIBANE F.R. e WEIL R. (1974) - *Basischer Magmatismus und Krustenbau im südlichen Mittelamerika, Kolumbien und Ecuador*. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., H. 2, pp. 102-126.
- PICHLER H., ZEIL W. (1969) - *Die quartäre «Andesit»-Formation in der hochkordillere Nord-Chiles*. Geol. Rundschau, 58, pp. 866-903.
- RINGWOOD A.E. (1974) - *The petrological evolution of island arc systems*. J. Geol. Soc., London, 130, pp. 183-204.
- SAUER W. (1965) - *Geologia del Ecuador*. Ed. Ministerio de Educación, Quito, 383 p.
- SILLITOE R.H. (1974) - *Tectonic segmentation of the Andes: implications for magmatism and metallogeny*. Nature, London, 250, pp. 542-545.
- STRECKEISEN A. (1976) - *Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition*. N. Jb. Miner. Mh., pp. 1-15.
- THORNTON C.P., TUTTLE O.F. (1960) - *Chemistry of igneous rocks. I. Differentiation Index*. Amer. Journ. Sci., 258, pp. 664-684.
- TSCHOPP H.J. (1953) - *Oil explorations in the Oriente of Ecuador*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 37, pp. 2303-2347.
- ZEIL W. e PICHLER H. (1967) - *Die känozoische Rhyolith-Formation im mittleren Abschnitt der Anden*. Geol. Rundschau, 57, pp. 48-81.
- ZEZZA F. (1974) - *Il quaternario del corridoio interandino nell'Ecuador (Fossa di Latacunga-Ambato)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 24, pp. 120-130.