

PIERA SPADEA *

CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DEI METABASALTI OFIOLITICI DELLA CALABRIA SETTENTRIONALE E CENTRALE E DELL'APPENNINO LUCANO **

RIASSUNTO. — Le ofioliti di origine basaltica presenti in distinte unità tettoniche nella Calabria settentrionale e centrale (Catena Costiera Tirrenica, Valle del Crati, Sila Piccola) e nell'Appennino Lucano meridionale comprendono in prevalenza lave a pillow e subordinati termini subvulcanici, con giacitura per lo più in filoni. La loro età è riferita al Giurassico superiore-Cretaceo inferiore. I sedimenti stratigraficamente sovrapposti sono significativamente diversi per la litologia originaria. L'evoluzione metamorfica dei metabasalti, a carattere sovente polifasico, avvenne in condizioni differenti nei diversi complessi ofiolitici definite dalle facies a prehnite-pumpellyite, lawsonite-albite, di scisti a glaucofane e di scisti verdi; nonostante lo smembramento ed il trasporto tettonico una zoneografia del metamorfismo è ancora tracciabile (DE ROEVER, 1972). I caratteri petrografici primari ed il chimismo non differiscono significativamente per le rocce metabasaltiche differenti per posizione tettonica, metamorfismo e litologia dell'originaria copertura sedimentaria. Le variazioni di chimismo relative ad elementi minori ed in tracce stabili nei processi di alterazione e di metamorfismo (Ti, P, Zr, Y, Nb, Cr) definiscono sequenze analoghe prodotte per differenziazione magmatica con un trend simile a quello dei basalti tholeiitici di fondo oceanico. Nonostante che la maggior parte dei dati geochimici indichi un'affinità con basalti subalcalini (fino a transizionali in base al rapporto Y/Nb) oceanici, si rilevano alcune differenze rispetto alle tholeiiti abissali, in particolare contenuti più elevati in Ti e Zr, per le quali le indicazioni sull'ambiente geodinamico di origine risultano alquanto ambigue.

ABSTRACT. — The metabasalts of ophiolite slices from northern and central Calabria and the Lucanian Apennine (southern Italy) are ancient pillow-lavas and dike rocks of Upper Jurassic-Lower Cretaceous age. Remnants of the original sedimentary cover show marked differences in lithology. The metabasalts were affected by metamorphism chiefly in orogenic environment under different conditions both in time and space defined by the prehnite-pumpellyite metagraywacke facies, by the lawsonite-albite, glaucophane-schist and greenschist facies; in spite of dismemberment and tectonic transport processes a high-pressure facies series with roughly E-W striking zones can be recognized on a regional scale (DE ROEVER, 1972). Primary petrographical and chemical features of the metabasalts do not significantly differ for rocks belonging to different metamorphic facies and to sequences with different sedimentary cover. The contents of some elements selected to characterize the magmas (Ti, P, Zr, Y, Nb, Cr) point out an affinity with sub-alkaline to transitional basalts (Y/Nb ratios widely scattering, most values being greater than 2) and exhibit a differentiation trend similar to that of ocean-floor basalts. Though most of the geochemical data suggest an oceanic environment some differences with respect to present-day abyssal tholeiites are shown, chiefly higher Ti and Zr contents, by which somewhat ambiguous indications as to tectonic setting result.

* Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università della Calabria, Castiglione Scalo (Cosenza).

** Lavoro eseguito con il contributo del C.N.R..

Introduzione

I complessi ofiolitici dell'Appennino Calabro-Lucano e della Calabria settentrionale e centrale affiorano con notevole frammentarietà ed in sequenze ridotte e generalmente incomplete dalla valle del Sinni, in Lucania, a nord fino alla Sila Piccola, in Calabria, a sud. Nonostante l'esiguità degli affioramenti e le complesse situazioni strutturali in cui sono implicati si identificano quasi tutte le litologie sia primarie che derivate per metamorfismo e le relazioni litostratigrafiche e cronologiche conosciute per i maggiori complessi ofiolitici della regione alpina e dell'Appennino settentrionale. Serpentiniti derivate prevalentemente da ultramafiti lherzolitiche e metabasalti sono i litotipi più largamente rappresentati insieme ai terreni dell'originaria copertura sedimentaria delle vulcaniti costituiti dalla classica successione di diaspri, radiolariti e Calcari a Calpionelle di età titonico-neocomiana ed anche da sequenze atipiche di sedimenti terrigeni. Termini basici intrusivi (gabbri eufotidi e ferrogabbri) sono raramente presenti.

Le ofioliti di natura basaltica cui è dedicata la presente nota sono costituite in prevalenza da lave a pillow i tipi effusivi e da filoni, non frequenti ed intrusi per lo più nelle lave, quelli subvulcanici. Tutte queste rocce in origine basaltiche sono affette da metamorfismo inquadrabile nelle facies prehnite-pumpellyite, alla quale in particolare sono riferibili le principali trasformazioni delle spiliti, lawsonite-albite, di scisti a glaucofane e di scisti verdi del metamorfismo orogenico alpino (DE ROEVER, 1972), distribuite sia spazialmente, sia come successione nel tempo di eventi con carattere polifasico evidente nei litotipi più evoluti. Vi sono inoltre tracce di metamorfismo oceanico.

Uno degli aspetti di maggiore interesse delle ofioliti metabasaltiche della regione è la frequente conservazione di motivi mineralogici e strutturali relitti che documentano sia le condizioni originarie di giacitura e cristallizzazione, sia le fasi più antiche dell'evoluzione metamorfica, in particolare l'evento di alta pressione e bassa temperatura nelle facies lawsonite-albite e di scisti a glaucofane. Mentre l'evoluzione metamorfica è puntualmente conosciuta da studi di dettaglio in modo da essere delineata per tutta la regione la zoneografia del metamorfismo, non sono altrettanto studiati taluni aspetti primari, in particolare della petrologia magmatica. Questo tema viene in particolare investigato nel presente lavoro sulla base di dati chimici determinati per ofioliti metabasaltiche con differenti caratteristiche geopetrografiche di tutta la regione. Ciò consente di applicare alcune metodologie geochimiche che utilizzano elementi minori ed in tracce relativamente stabili nei processi di alterazione di metamorfismo (elementi cosiddetti immobili, quali P, Ti, Zr, Y, Nb, Cr, Ni) per definire il carattere seriale e risalire all'ambiente tettonico di formazione delle rocce di origine basaltica trasformate (PEARCE e CANN, 1973; PEARCE, 1975; FLOYD e WINCHESTER, 1975; WINCHESTER e FLOYD, 1976).

Per i metabasalti della regione in studio un riferimento all'origine riguarda metabasiti della Calabria definite affini ai basalti di fondo oceanico attuali in base al contenuto di Ti, Zr e Y da DE ROEVER (1972). I dati presentati consentono

di verificare ulteriormente questa ipotesi anche per i metabasalti della regione al confine calabro-lucano, poco conosciuti da questo punto di vista, e confrontare i risultati ottenuti con metodi geochimici con le ipotesi desunte da altri dati geologici e petrografici. Un confronto con le ofioliti basaltiche di altri settori del Mediterraneo occidentale (Appennino settentrionale e Corsica) viene infine prospettato.

Relazioni tettonico-stratigrafiche

A causa dello smembramento delle sequenze ofiolitiche e della distribuzione del metamorfismo secondo zone che si succedono con una certa regolarità su scala

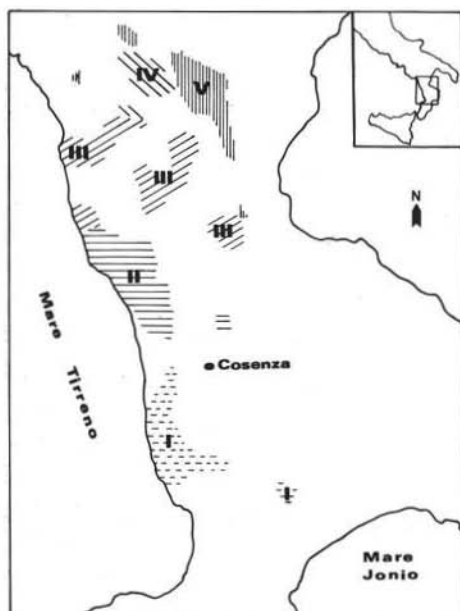


Fig. 1. — Schema delle zone metamorfiche nelle metabasiti della regione calabro-lucana secondo DE ROEVER (1972). — I: scisti verdi ad attinoto-epidoto-glaucofane; II: metabasiti a pumpellyite $\pm$ lawsonite; III: metabasiti a lawsonite-glaucofane; IV: metabasiti a lawsonite, Na pirosseni e anfiboli in scarsa quantità; V: metabasiti prive di lawsonite, Na pirosseni ed anfiboli.

regionale (DE ROEVER, 1972; PICCARRETA e ZIRPOLI, 1975), ma spesso irregolarmente accostate per bruschi salti di metamorfismo (DIETRICH e SCANDONE, 1972; LANZAFAME ed altri, in stampa) la posizione delle ofioliti fra le maggiori unità tettoniche della regione ed i rapporti con le successioni sedimentarie e metasedimentarie associate sono lungamente discussi nella letteratura con interpretazioni spesso contrastanti per quanto riguarda l'originaria successione stratigrafica, come pure l'età (OGNIBEN, 1969 e 1973 al quale si rimanda per la rassegna critica della letteratura meno recente; VEZZANI, 1968, 1970; DE ROEVER, 1972; DIETRICH e SCANDONE, 1972; COLONNA e ZANETTIN LORENZONI, 1972, 1973; BOUSQUET, 1973; PICAMODIO MORELLI ed altri, 1976; DUBOIS, 1976; LANZAFAME ed altri, in stampa).

Mentre può ritenersi definitivamente accarreta, 1973; BONARDI ed altri, 1974; rassic superiore-cretacea inferiore per le certata l'età mesozoica, in particolare giu- ofioliti basaltiche e la successiva evoluzio-

ne metamorfica alpina a partire dal Cretaceo medio, concretamente con quanto riconosciuto in tutta la catena alpino-appenninica (HACCARD ed altri, 1972; DAL PIAZ, 1974), non si dispone di una colonna stratigrafica generalizzata a livello di catena se non la controversa successione ligure di OGNIBEN (1969); in particolare le sequenze sedimentarie deposte sopra alle ofioliti non sono univocamente identificate.

Successioni tipiche di ofioliti a differente metamorfismo e con resti della coper- toniche, cui si farà cenno più oltre, vengono di seguito sommariamente passate in

tura sedimentaria originaria sono riportate da AMODIO MORELLI ed altri (1976) come indicative dell'assetto litostratigrafico e del metamorfismo delle unità ofiolitiche della Calabria settentrionale e centrale. Più a nord, nella regione del confine calabro-lucano l'assetto litostratigrafico delle ofioliti e dei terreni sedimentari di copertura risulta più problematico, soprattutto per i litotipi a maggior grado metamorfico. Prescindendo dalle relazioni geometriche e dalla interpretazione delle differenti unità tettoniche, cui si farà cenno più oltre, vengono di seguito sommariamente passate in rassegna le sequenze ofiolitiche maggiormente rappresentative seguendo la distribuzione dei complessi ofiolitici da nord a sud secondo la zoneografia del metamorfismo proposta da DE ROEVER (1972, si veda la fig. 1).

a) Sequenza di Timpa delle Murge-Timpa di Pietrasasso (zona V delle metabasiti in facies pumpellyite-prehnite secondo DE ROEVER, 1972). Descritta da BOUSQUET (1962) e da VEZZANI (1968) rappresenta una tipica sezione ofiolitica, la più completa nella regione. Alla T. Pietrasasso la successione comprende dal basso all'alto: serpentiniti brecciate con inclusi rodingitizzati di gabbri, diabasi e di rocce cristalline d'alto grado (in origine granofels ed anfiboliti); metagabbri e meta-leucogabbri eufotidi attraversati da filoni di metadiabase; brecce di pillow e lave a pillow costituite da metabasalto spilitico attraversate da rari filoni, brecciole monogeniche a detrito basaltico e metaialoclastiti; infine una sottile copertura di diaspri rossi e verdi. La più potente successione di T. delle Murge comprende, dal basso all'alto: serpentiniti brecciate con inclusi di diabasi rodingitizzati in lenti discontinue; gabbro eufotide attraversato da filoncelli di diabasi, entrambi con impronta dominante di un metamorfismo statico in facies di scisti verdi (associazione albite-attinotoclorite) probabilmente di ambiente oceanico; lave a pillow e brecce di pillow con filoni non frequenti potenti 0,5-2 m e rare intercalazioni di ialoclastiti e di brecciole, arenarie vulcaniche e diaspri, con tasche di marne rosse deposte negli interstizi tra i pillow. La copertura sedimentaria è costituita da diaspri con resti di radiolariti, argilliti, calcari marnosi (Diaspri e Calcari marnosi rossi di T. delle Murge: VEZZANI, 1968) passanti lateralmente e verso l'alto (BOUSQUET, 1962; LANZAFAME ed altri, in preparazione) ad una sequenza pelitico-quarzoarenitico-calcareo riferita da VEZZANI (1968) alla Formazione del Frido (VEZZANI, 1969), da BOUSQUET (1962) denominata come serie argilloso-arenacea di Timpa delle Murge e posta in continuità stratigrafica sui diaspri e calcari marnosi.

Sono da segnalare fra le rocce basaltiche a minimo metamorfismo di questa zona i reperti di basalti spilitici, presenti nei dintorni di S. Severino Lucano come elementi di brecce sedimentarie e in lave a pillow effuse sopra ai Calcari di Mezzana, datati al Giurassico superiore (BOUSQUET, 1962; SPADEA, 1968; VEZZANI, 1968). Secondo AMODIO MORELLI ed altri (1976) i Calcari di Mezzana potrebbero essere liassici e le lave associate potrebbero rappresentare il primo rifting della Tetide testimoniato nell'area calabro-peloritana.

b) Nell'alta Valle del Sinni, in Lucania, fra S. Severino Lucano e Castelluccio superiore dove DE ROEVER individua una zona a metabasiti con incipiente metamorfismo d'alta pressione in facies di transizione fra quella lawsonite-albite e di scisti a glaucofane (zona IV di DE ROEVER, 1972) non sono presenti sezioni ofiolitiche tipiche, ma i rapporti fra ofioliti ed altre formazioni con tracce di metamorfismo d'alta pressione consentono alcune deduzioni di ordine stratigrafico. Le ofioliti sono principalmente serpentiniti spesso ricche di inclusi rodingitici, metabasalti a pillow talora associati con metaradiolariti e metapeliti, metabasiti. Le altre formazioni affette da metamorfismo, confrontabile in base alle associazioni mineralogiche con quello delle metabasiti, sono costituite dalla Formazione del Frido (Neocomiano-Aptiano: VEZZANI, 1968) qui metamorfica e caratterizzata dalla presenza di aragonite, largamente diffusa nei litotipi metacalcarei (SPADEA, 1976) e da rocce cristalline originariamente a metamorfismo d'alto grado (granofels, anfiboliti, gneiss, pegmatoidi) appartenenti alla « formazione dioritico-kinzigitica Auct. » (OGNIBEN, 1969) in cui sono sviluppati pumpellyite, lawsonite, raramente anche anfiboli e pirosseni sodici (crossite, Mg-riebeckite, egirinaugite) ed aragonite (SPADEA, 1976) attribuibili al metamorfismo alpino. Si suppone l'esistenza di un contatto pre-metamorfico fra le ofioliti e la Formazione del Frido, probabilmente stratigrafico, analogamente a quanto supposto per la sezione di Terranova da Sibari illustrata più oltre, come pure l'esistenza di un contatto pre-metamorfico e pre-rodingitico fra ofioliti e rocce cristalline. Indizi sulla natura del contatto fra queste ultime potrebbero essere dati dalla presenza di filoni di metadiabasi con metamorfismo di basso grado analogo a quello alpino delle rocce che attraversano, entro ad anfiboliti (alla Timpa Rotalupo presso Episcopia) come pure entro a granofels inclusi nelle serpentiniti con bordi di reazione rodingitica (T. Pietrasasso; in loc. Armentano presso S. Severino Lucano). La possibile appartenenza di questi metadiabasi filoniani, che contengono talora augite relitta ed hanno un'associazione metamorfica di albite, cloriti, titanite, pumpellyite, lawsonite e aragonite, al complesso delle ofioliti può essere solo supposta e viene investigata nel presente lavoro sulla base di dati chimici preliminari. L'età dell'intrusione risulta essere certamente post-paleozoica in quanto posteriore al metamorfismo prealpino d'alto grado e verosimilmente anteriore al Cretaceo medio-superiore al quale viene riferito l'episodio metamorfico d'alta pressione.

c) Sequenza di Terranova da Sibari-Diamante (zona III delle metabasiti in facies di scisti a glaucofane secondo DE ROEVER, 1972). L'affioramento presso Diamante, descritto da HOFFMANN (1970) e da DIETRICH e SCANDONE (1972), consiste di metabasiti (probabili metabasalti porfirici e metadiabasi) e di sovrastanti calcescisti e filladi. A Terranova da Sibari una sequenza simile, ma molto più potente, descritta da DUBOIS (1967), DIETRICH e SCANDONE (1972) e LANZAFAME ed altri (in stampa) comprende metabasalti a pillow deformati, metabasiti massicce, presumibilmente di origine filoniana, e metaialoclastiti su cui poggiano con contatto immediato certamente pre-metamorfico e possibilmente stratigrafico, calcescisti, filladi e meta-quarziti riferibili alla Formazione del Frido della Lucania secondo LANZAFAME ed

altri (in stampa). Fra i litotipi appartenenti al complesso di metaofioliti in facies di scisti blu associate con calcescisti e filladi ricorrono anche rare serpentiniti, metagabbri e meta Fe-gabbri (HOFFMANN, 1970; LANZAFAME ed altri, in stampa).

d) Sequenza di Malvito (zona II delle metabasiti in facies lawsonite-albite secondo DE ROEVER, 1972). Essa comprende metabasalti con giacitura in pillow e brecce di pillow, metaialoclastiti, metadiabasi in filoni con una copertura sedimentaria del tipo Diaspri e Calcari a Calpionelle costituita da diaspri, radiolariti, argilliti, marne, calcari e microbrecce, datata al Cretaceo inferiore (AMODIO MORELLI ed altri, 1976).

Nella sequenza di Malvito le metabasiti mostrano una debole deformazione ed un metamorfismo poco accentuato che ha prodotto pumpellyite e lawsonite come minerali più significativi. In altre successioni di metabasiti con analoga copertura sedimentaria affioranti nella Catena Costiera Tirrenica e presso Tarsia la deformazione e la ricristallizzazione metamorfica sono di intensità molto variabili. Si segnalano in particolare i lembi di metabasalti a pillow con copertura di radiolariti e Calcari a Calpionelle affioranti presso Tarsia in cui i basalti mostrano solo tracce di un metamorfismo in facies prehnite-pumpellyite (LANZAFAME ed altri, in stampa) analogo a quello dei basalti spilitici di T. delle Murge-T. Pietrasasso.

e) Sequenza di Fuscaldo (II zona metamorfica secondo DE ROEVER, 1972). Ben conosciuta dall'elaborata descrizione di DE ROEVER (1972) consiste di metabasalti in pillow e pillow-brecce, metadiabasi, metaialoclastiti e di rari metagabbri, serpentiniti e cloritoscisti. La copertura sedimentaria è rappresentata da filladi blastopsammitiche con intercalazioni di metaconglomerati e da marmi scistosi; l'età presunta va dal Titonico al Valanginiano. Secondo LANZAFAME e ZUFFA (1976) la copertura metasedimentaria della sequenza di Fuscaldo è legata da rapporti di eteropia con le formazioni stratigraficamente sovrapposte alle metabasiti presenti più a nord nella Catena Costiera, in particolare con la sequenza a Calcari a Calpionelle della sezione di Malvito.

f) Sequenza di M. Reventino-Gimigliano (I zona metamorfica di metabasiti in facies di scisti verdi secondo DE ROEVER, 1972). La sezione di Gimigliano comprende dal basso all'alto serpentiniti, metabasiti scistose di origine vulcanica ricoperte stratigraficamente da metacalcari, metaconglomerati, metareniti e da filladi (COLONNA e ZANETTIN LORENZONI, 1972, 1973; PICCARRETA e ZIRPOLI, 1969; DUBOIS, 1976; AMODIO MORELLI ed altri, 1976). L'età dei metasedimenti è riferita al Giurassico sup.-Cretaceo inf. Al M. Reventino la successione è analoga. L'evoluzione metamorfica delle metabasiti che conservano tracce dell'evento iniziale d'alta pressione è dominata da trasformazione nella facies di scisti verdi.

Dalle esemplificazioni fatte si deduce un quadro sostanzialmente unitario, pur con situazioni variabili, dell'assetto litostratigrafico dei complessi ofiolitici della regione calabro-lucana. In particolare essi mostrano chiare affinità con i complessi di

tipo ligure. Da questo punto di vista la distinzione proposta da DIETRICH e SCANDONE (1972) e da DIETRICH ed altri (1976) di unità ad affinità piemontese e ligure non sembra motivata da caratteristiche sufficientemente discriminanti. Dal punto di vista dell'assetto geometrico e dell'evoluzione metamorfica l'attribuzione ad unità piemontesi dei complessi con metamorfismo dominante in facies di scisti a glaucofane (tipo sequenza di Terranova da Sibari-Diamante) o in facies di scisti verdi con relitti di una precedente evoluzione in facies scisti blu (tipo sequenza di M. Reventino-Gimigliano) e l'identificazione di unità liguridi nei complessi con debole metamorfismo e rielaborazione microstrutturale (tipo sequenza di Malvito) appare significativa solo localmente, in particolare per alcuni dei lembi ofiolitici tra Sanginetto e Terranova da Sibari (DIETRICH e SCANDONE, 1972; LANZAFAME ed altri, in stampa). A scala regionale questa distinzione appare tuttavia incerta o di difficile applicazione. Da una parte le indicazioni bariche date dalla presenza di lawsonite e l'evidenza di deformazione in metabasiti attribuite all'unità ligure, dall'altra la gradualità del metamorfismo nelle metabasiti della Catena Costiera Tirrenica e della Sila Piccola precisata con le indicazioni geobarometriche di fasi mineralogiche analizzate (DE ROEVER, 1972; DE ROEVER ed altri, 1974; PICCARRETA e ZIRPOLI, 1975; DE ROEVER ed altri, 1976) risultano in accordo con il modello di zone di metamorfismo progressivamente crescente in termini di pressione e temperatura verso sud ed ovest instaurate in un complesso unitario come proposto da DE ROEVER (1972). Questo modello appare più aderente ai dati che non una bipartizione che ha le implicazioni geodinamiche della distinzione in unità subdotte e obdotte delle ofioliti del bacino ligure-piemontese (DAL PIAZ, 1974) non ancora suffragata in Calabria da datazioni radiometriche.

Nella regione del confine calabro-lucano si hanno ancora indizi di una distribuzione zoneografica, dalla gradualità del metamorfismo e della deformazione, nell'insieme metamorfico costituito dalle ofioliti, dalla Formazione del Frido e dalle rocce cristalline d'alto grado, in particolare di un gradiente di temperatura e forse di pressione diretto verso sud-ovest. Le differenze rispetto ai complessi ofiolitici a debole metamorfismo (tipo sequenza di T. delle Murge-T. Pietrasasso) consistono principalmente nella differente deformazione e ristrutturazione da cui questi ultimi sono quasi esenti. Una bipartizione di unità appare significativa dal punto di vista dell'evoluzione alpina, ma non ancora aderente al modello delle ofioliti del bacino ligure-piemontese, in vista anche di alcune peculiarità, quali il debole metamorfismo dei litotipi con tracce di evoluzione a pressione relativamente alta ed il carattere della copertura sedimentaria delle ofioliti a minimo grado metamorfico.

Metodi di analisi

Le analisi chimiche sono state eseguite per fluorescenza X (elementi maggiori, escluso Mg, ed in tracce), per spettrometria di assorbimento atomico (Mg) e mediante titolazione (del ferro bivalente con $K_2Cr_2O_7$). La perdita per calcinazione è stata determinata per via gravimetrica ed è stato inoltre determinato il contenuto

in CaCO_3 per via gas-volumetrica. Le analisi per fluorescenza X sono state eseguite su pasticche di polvere correggendo gli effetti di matrice secondo le metodologie di FRANZINI ed altri (1972). La precisione delle analisi degli elementi in tracce è indicata dai dati ottenuti su standard internazionali riportati in tab. 1.

TABELLA 1

Concentrazioni in ppm di alcuni elementi in tracce in tre standard internazionali ottenute nel corso delle analisi eseguite nel presente lavoro (colonna 1) confrontate con i valori medi riportati da FLANAGAN (1973) (colonna 2) e da ABBEY (1977) (colonna 3)

	USGS-BCR1			CPRG-BR			USGS-AGV1		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Cr	18	18	16	375	420	380	11	12	12
Ni	15	16	13	268	270	260	19	18.5	17
La	27	26	26	88	85	80	38	35	45
Ce	48	54	54	142	-	140	68	63	63
Nb	11.5	13.5	14	109	90	100	14	15	15
Zr	177	190	185	273	240	250	238	255	220
Y	33	37	37	29	27	30	21	21	26
V	458	399	410	254	240	240	124	125	126

Chimismo

Le rocce metabasaltiche s.l. analizzate sono state campionate in vari affioramenti dell'Appennino Lucano meridionale, della Catena Costiera Tirrenica, della Valle del Crati e della Sila Piccola (fig. 2) comprendenti oltre alle sezioni ofiolitiche tipiche in precedenza descritte, altre successioni di rocce con giacitura originaria riconoscibile in cui la copertura sedimentaria delle vulcaniti è conservata. Fanno eccezione alcuni campioni di metabasiti in facies di scisti a glaucofane e di scisti verdi provenienti da corpi isolati e con giacitura non identificabile sul terreno, nelle quali tuttavia si rilevano microstrutture magmatiche relitte. I campioni scelti per le analisi chimiche comprendono metabasalti con giacitura effusiva, metadiabasi in filoni intrusi nelle vulcaniti e nei gabbri ed in corpi massicci verosimilmente subvulcanici, metabasiti con struttura relitta porfirica, o microlitica, od ofitica identificabili con litotipi delle due precedenti categorie. Sono stati inoltre inclusi nello studio chimico i metadiabasi dei filoni intrusi nelle anfiboliti di T. Rotalupo e le lave spilitiche a pillow sopra ai Calcarì di Mezzana.

I metabasalti comprendono litotipi differenti per le strutture magmatiche relitte: afirici, con strutture microlitiche molto varie, subofitiche ed ofitiche, oligofirici e porfirici. I fenocristalli sono rappresentati esclusivamente da forme relitte di plagioclasio, in tenori variabili fino al 30 % in volume, con dimensioni da alcuni millimetri fino ad 1 centimetro. Un altro indice di porfiricità si rileva in particolare nei

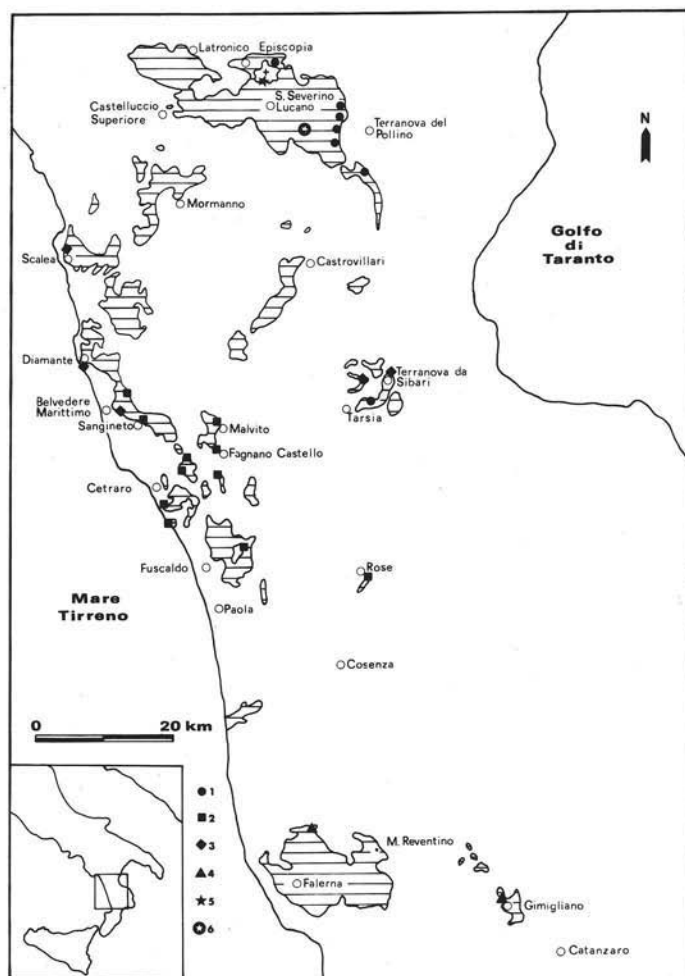


Fig. 2. — Localizzazione dei campioni scelti per le analisi chimiche. I simboli 1-4 si riferiscono alle zone metamorfiche della fig. 1 (1: zona V; 2: zona III; 3: zona II; 4: zona I); 5: basalti spilitici sopra ai Calcari di Mezzana; 6: metadiabasi in filoni nelle anfiboliti delle T. Rotalupo. Le aree tratteggiate indicano l'estensione delle unità ofiolitiche e della Formazione del Frido secondo la Carta Geologica dell'Arco Calabro-Peloritano (BONARDI ed altri, 1976). Il lembo di cristallino di T. Rotalupo è contrassegnato con una crocetta.

metabasalti in facies lawsonite-albite della Catena Costiera Tirrenica, noti per questo nella letteratura geologica come porfiriti, che possono contenere fino al 60 % in volume di plagioclasio porfirico le cui dimensioni arrivano fino ad alcuni centimetri. Nessun relitto del plagioclasio magmatico, se non la forma riconoscibile anche nelle rocce più deformate, figura nei campioni analizzati, nè è stato finora rinvenuto nei basalti meno trasformati della regione. Come fasi magmatiche relitte compaiono invece clinopirosseno (augite normale ed augite titanifera), con una certa frequenza, ed ossidi di Fe-Ti, generalmente in avanzato stato di trasformazione. Si rinviene

inoltre apatite nelle rocce con grana relativamente più grossa e cromite in minute inclusioni nei fenocristalli di plagioclasio delle rocce ad elevato indice di porfiricità. Un motivo petrografico di rilievo nei metabasalti con struttura magmatica meglio conservata è l'assenza di forme relitte di olivina, che si trovano peraltro raramente nei metabasalti spilitici dell'Appennino Lucano.

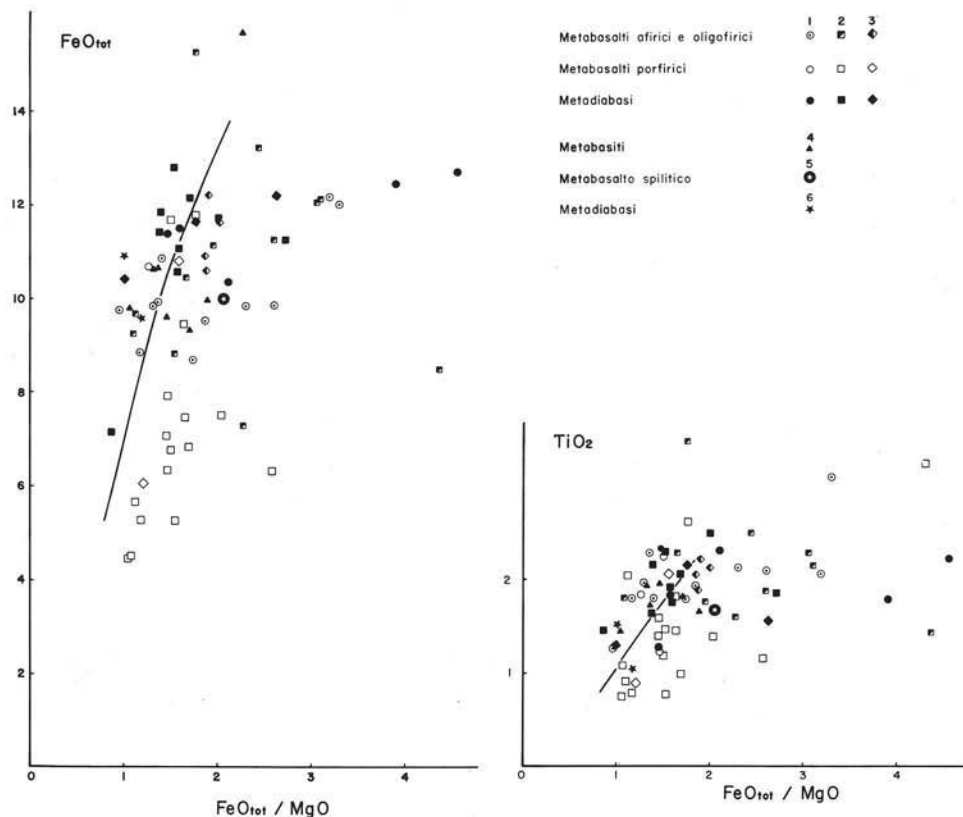


Fig. 3. — Diagramma $\text{FeO}_{\text{tot}}-\text{FeO}_{\text{tot}}/\text{MgO}$ e $\text{TiO}_2-\text{FeO}_{\text{tot}}/\text{MgO}$ (% in peso) per rocce metabasaltiche della regione calabro-lucana. La linea continua indica il trend delle tholeiiti abissali secondo MIYASHIRO (1973). — Simboli utilizzati - 1: facies pumpellyite-prehnite; 2: facies lawsonite-albite; 3: facies di scisti a glaucofane; 4: facies di scisti verdi. I simboli 5 e 6 si riferiscono rispettivamente al basalto spilitico sopra ai Calcari di Mezzana ed ai metadiabasi in filoni nelle anfiboliti di T. Rotalupo.

I metabasalti sono stati distinti in base alle microstrutture relitte in due gruppi principali, comprendenti rispettivamente quelli afirici ed oligofirici (questi ultimi con meno del 5 % in volume di plagioclasio porfirico) ed i litotipi a struttura porfirica (questi ultimi con indice di porfiricità superiore al 15 %). I due gruppi sono rappresentati fra i metabasalti appartenenti alle principali facies metamorfiche distinte.

I metadiabasi hanno strutture relitte simili nei filoni intrusi sia nelle lave a pillow che nei gabbri eufotidi di tipo ofitico o subofitico, ed intersertale. Raramente mostrano strutture porfiriche: i fenocristalli, analogamente alle lave sono rappre-

TABELLA 2

*Analisi chimiche di metabasalti ofiolitici dell'Appennino Lucano e della Calabria*Facies prehnite-pumpellyite (1-18)
Metabasalti (1-13)

Campione	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	46.85	51.94	52.89	52.05	46.89	48.80
TiO ₂	2.23	2.05	2.05	1.86	1.28	1.81
Al ₂ O ₃	16.82	17.66	17.34	16.13	18.28	14.75
Fe ₂ O ₃	5.16	6.58	7.21	5.01	5.16	3.70
FeO	6.98	3.76	3.63	6.23	5.17	7.58
MnO	0.20	0.19	0.14	0.20	0.20	0.17
MgO	7.79	3.71	3.18	8.50	8.01	7.72
CaO	4.96	3.26	2.89	4.46	6.53	6.37
Na ₂ O	3.87	5.65	6.23	4.62	0.22	3.82
K ₂ O	0.37	1.42	1.19	0.06	4.14	1.31
P ₂ O ₅	0.34	0.26	0.24	0.14	0.19	0.15
P.C.	4.44	3.52	3.01	0.74	3.93	3.82
Totale	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
CaCO ₃	1.0	2.0	1.0	--	--	--
FeO _{tot}	11.74	9.88	10.22	10.74	9.81	10.91
FeO _{tot} /MgO	1.49	2.61	3.18	1.26	1.22	1.41
Ti	13504	12541	12414	11151	7674	10851
Cr	472	362	345	374	269	344
Ni	244	108	66	107	11	111
V	248	286	313	461	nd	351
Ba	68	91	78	48	nd	58
Sr	302	212	208	106	28	137
Rb	2	36	29	<1	71	20
La	12	3	5	6	3	9
Ce	47	34	40	28	32	33
Zr	205	137	136	110	112	113
Y	33	31	39	33	34	32
Nb	9	3	5	3	14	13
Y/Nb	3.5	10.1	8.2	11.0	2.4	2.5
st.r. ^o	pf	af	of	pf px ^{oo}	af px	af px

(continua)

(1) Metabasalto sopra ai Calcari di Mezzana (an. 72). (2) Metadiabasi in filoni nelle anfiboliti di T. Rotalupo, S. Severino (an. 73, 74). °: Strutture magmatiche relitte: *af* = afriche; *of* = oligofriche; *pf* = porfiriche. °°: *px* = relitti di pirosseno magmatico. — Ubicazione dei campioni analizzati - 1: Timpa del Castello, presso Episcopia; 2, 3, 4, 14: M. Tumbarino presso Terranova del Pollino; 5, 6, 18: Timpa Pietrasasso presso Terranova del Pollino; 9, 10: Piano della Mandria presso S. Lorenzo Belizzi; 11, 12, 13: Vallone della Fornace presso Tarsia; 17: Masseria Rusciano presso Terranova del Pollino; 19, 20, 21, 22: M. Milioso presso Laise; 23, 47: Vallone delle Pompe presso Sanginetto; 24: Sanginetto; 25: Loc. Bromolo presso Sanginetto; 26, 27, 28, 29, 48: Malvito; 30, 31, 32, 33: Fagnano Castello; 34, 35, 36, 49: T. Giovannella presso Cetraro; 37, 50: T. Aron presso Cetraro; 38: V. Pietre Corte presso Fagnano Castello; 29, 51, 52, 53: Cetraro; 40, 41, 54, 55: Intavolata presso Cetraro; 42, 43, 44: Loc. Cinquemiglia presso Fuscaldo; 45, 46: Rose; 56, 57: Scalea; 58, 62: Diamante; 59, 60: F. Pip-pana presso Tarsia; 61, 64: Terranova da Sibari; 63: Loc. S. Andrea presso Belvedere Marittimo; 65, 66: Loc. Destre presso Martirano Lombardo; 67: M. Reventino; 68, 69, 70, 71: Gimigliano; 72: Grottaglioli presso S. Severino Lucano; 73, 74: Timpa Rotalupo presso Episcopia.

segue Tab. 2

Metadiabasi (14-18)

7	8	9	10	11	12	13	14	15
48.05	45.59	48.56	50.65	48.26	50.06	49.68	51.26	46.56
1.80	2.80	2.13	1.87	2.30	1.98	1.81	1.23	2.31
15.56	15.91	14.92	15.01	16.11	15.78	16.77	17.57	14.70
5.50	8.09	5.97	5.08	4.11	5.12	3.51	6.32	5.58
3.77	3.59	4.50	4.81	6.27	5.23	5.72	5.40	5.27
0.15	0.44	0.12	0.20	0.18	0.22	0.20	0.21	0.20
5.02	3.29	4.31	5.01	7.38	7.61	7.60	7.60	4.86
10.81	6.92	8.61	7.63	6.63	6.15	5.84	0.73	13.31
3.54	5.19	5.31	4.16	4.12	3.92	4.43	4.05	1.57
0.10	0.66	0.05	1.34	0.72	0.40	0.87	0.41	0.02
0.16	0.21	0.24	0.16	0.26	0.31	0.22	0.25	0.21
5.53	7.30	5.27	4.10	3.67	3.22	3.35	4.97	5.42
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
--	9.9	--	2.0	--	--	--	--	1.0
8.72	12.06	9.87	9.57	9.97	9.84	8.87	11.09	10.39
1.74	3.30	2.29	1.87	1.35	1.29	1.17	1.46	2.12
10791	18630	12769	11440	13788	11870	10851	7374	13988
402	330	317	300	272	337	366	264	329
126	79	89	106	57	60	72	130	115
309	351	370	338	371	356	312	281	376
40	69	33	51	52	32	53	35	29
71	92	103	120	245	266	309	107	39
5	15	<1	7	6	1	16	4	<1
<1	69	98	2	6	11	8	3	1
32	45	39	37	36	43	36	27	36
98	172	136	117	157	152	136	94	126
28	42	39	35	36	35	33	28	34
4	5	5	3	6	7	17	3	<1
7.0	8.4	7.8	11.7	6.0	5.0	1.9	9.3	>34
of	of px	af px	af px	of	of px	of px	af px	af px

(continua)

sentati da solo plagioclasio, trasformato completamente, in rari individui di piccole dimensioni, che non superano alcuni millimetri.

I minerali magmatici relitti sono ancora rappresentati da augite, da augite titanifera, da ossidi di Fe-Ti e da apatite. Nei metadiabasi in generale si ha una migliore conservazione delle strutture e dei minerali magmatici, rispetto alle lave con cui sono associati; in particolare il pirosseno può sopravvivere anche ai più alti gradi di metamorfismo della facies di scisti blu. Analogamente in alcune metabasiti della facies di scisti verdi con tracce di struttura ofitica risulta ben conservato il pirosseno titanaugitico primario.

Dei metadiabasi intrusi nelle anfiboliti della T. Rotalupo sono stati analizzati due campioni, rispettivamente con struttura intersertale oligofirica molto deformata, e con struttura subofitica e pirosseno augitico conservato.

segue Tab. 2

Facies lawsonite-albite (19-55)
Metabasalti (19-49)

16	17	18	19	20	21	22	23	24
45.65	48.73	46.29	47.09	48.45	46.96	45.68	51.13	44.56
2.22	1.80	1.78	1.82	2.18	0.78	1.47	1.60	2.06
16.13	16.00	15.72	15.86	16.18	23.99	19.40	19.57	16.31
8.03	9.55	4.93	5.33	6.82	2.81	4.41	3.22	5.54
5.53	3.90	6.77	4.51	6.03	2.27	4.89	4.42	4.46
0.18	0.20	0.19	0.11	0.15	0.11	0.06	0.18	0.15
2.80	3.20	7.09	8.58	3.92	4.52	5.80	3.22	5.69
11.07	7.44	8.51	6.85	6.67	6.96	9.23	6.95	8.29
3.18	4.17	3.18	3.39	3.11	4.52	2.83	4.56	4.55
0.08	0.02	0.84	1.01	0.60	0.94	0.71	0.19	0.87
0.24	0.22	0.16	0.27	0.31	0.08	0.27	0.19	0.22
4.88	4.77	4.54	5.18	5.57	6.05	5.25	4.77	7.29
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
--	--	3.0	--	--	--	--	--	9.9
12.75	12.49	11.56	9.31	12.17	5.34	8.86	7.32	10.49
4.55	3.90	1.58	1.09	3.10	1.18	1.53	2.27	1.66
13309	10791	11001	10911	13069	4676	8813	8693	13707
296	331	334	nd	nd	nd	nd	nd	497
125	263	118	nd	nd	nd	nd	nd	110
387	320	nd	nd	nd	nd	nd	nd	342
51	36	nd	nd	nd	nd	nd	nd	69
237	93	104	71	85	334	<1	185	126
<1	1	1	12	3	7	1	<1	16
3	1	4	nd	nd	nd	nd	nd	5
40	40	36	nd	nd	nd	nd	nd	39
136	118	105	131	124	131	122	101	170
36	34	36	28	26	28	23	21	35
3	12	2	6	6	6	3	3	4
12.0	2.8	18.0	4.7	4.3	4.7	7.7	7.0	8.8
af px	af	of px	af px	af px	pf	pf px	of	af

(continua)

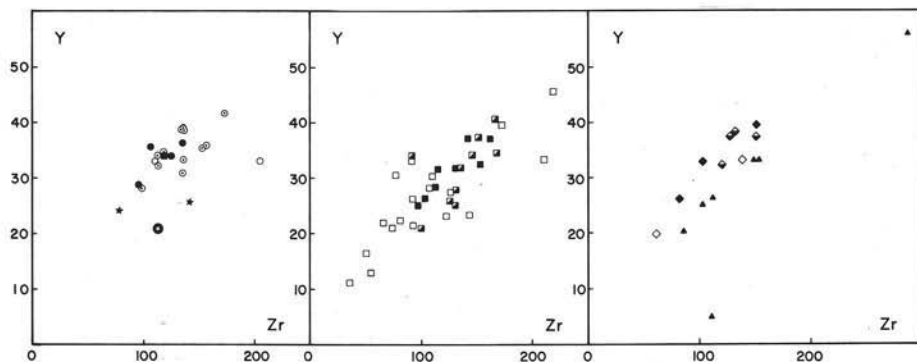


Fig. 4. — Diagramma Y-Zr (ppm) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. Simboli come in fig. 3.

segue Tab. 2

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
41.06	55.75	49.67	43.83	43.31	48.44	44.23	45.48	47.73	47.64
2.06	1.44	1.38	1.36	1.26	1.76	1.72	1.20	1.09	2.51
15.33	17.23	20.61	19.82	19.69	17.38	16.42	24.09	23.21	14.50
10.00	7.98	5.56	5.77	6.11	8.59	8.02	5.07	2.02	7.30
1.88	1.35	1.94	1.81	1.31	3.44	3.08	2.25	2.72	6.73
0.21	0.12	0.15	0.16	0.11	0.19	0.20	0.13	0.14	0.21
3.57	1.95	4.80	4.28	3.35	5.79	3.95	4.56	4.26	5.47
14.59	4.12	5.07	11.14	12.72	4.23	9.07	6.26	8.02	8.09
3.74	7.88	4.38	3.03	3.00	5.42	4.43	3.53	4.03	3.65
0.04	0.07	1.55	1.08	1.57	0.55	1.16	1.80	0.83	0.10
0.23	0.18	0.16	0.15	0.16	0.22	0.19	0.12	0.12	0.28
7.29	1.93	4.73	7.57	7.41	3.99	7.53	5.50	5.84	3.53
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
9.9	- -	2.0	6.9	10.0	1.0	8.9	- -	- -	- -
12.08	8.53	7.09	7.52	7.56	11.28	11.31	6.81	4.54	13.30
3.05	4.37	1.45	1.64	2.03	1.93	2.61	1.49	1.07	2.43
13707	8633	8442	8757	8384	10658	11318	7194	6535	15047
286	382	300	395	390	406	421	249	247	342
69	96	43	71	76	68	75	58	74	110
436	148		226	170	361	324	161	170	454
43	39	92	68	84	33	50	119	71	28
273	266	230	328	214	79	125	311	133	88
<1	<1	29	12	21	6	24	26	7	<1
4	9	5	<1	1	1	1	2	5	7
43	31	37	30	56	39	75	29	32	46
152	93	110	93	92	135	145	90	76	167
37	34	30	26	33	32	34	22	31	40
6	1	5	1	3	4	11	4	2	7
6.2	34.0	6.0	26.0	11.0	8.0	3.1	5.5	15.5	5.7
af	of	pf	pf	pf	af	af	pf	pf	af

(continua)

I dati chimici ottenuti per i diversi gruppi di rocce distinti in base all'associazione di minerali metamorfici ed ulteriormente alla giacitura ed ai caratteri strutturali relitti sono presentati nella tab. 2. Le analisi dei costituenti principali mostrano ampie variazioni nell'ambito di ciascun gruppo, che dal confronto con le indicazioni petrografiche sono in massima parte imputabili alle trasformazioni secondarie. Le differenze più marcate e significative in questo senso riguardano i tenori in CaO e K₂O. Anche le analisi dei costituenti principali ritenuti relativamente meno mobili, quali Ti, Al, Fe totale e Mg, mettono in evidenza forti variazioni visualizzate nei diagrammi di fig. 3, che danno indizi, in via qualitativa in assenza di un bilancio geochimico delle trasformazioni, di frazionamento magmatico; gli elevati contenuti in Fe e Ti di alcuni campioni indicano una tendenza a termini ferrobasaltici. Dagli stessi diagrammi si rileva un'ampia sovrapposizione dei campi in cui si proiettano

segue Tab. 2

35	36	37	38	39	40	41	42	43
45.73	44.29	47.28	46.19	47.89	46.77	46.79	48.55	47.32
3.08	2.57	0.98	1.17	0.92	0.78	0.75	1.82	1.22
14.63	15.88	20.54	23.71	22.12	22.38	24.20	17.13	21.29
8.16	7.25	1.90	4.63	3.27	2.21	1.87	5.92	3.62
7.55	5.09	4.95	2.18	2.74	3.31	2.81	4.18	2.98
0.21	0.22	0.11	0.11	0.10	0.11	0.07	0.28	0.10
3.65	6.59	3.97	2.47	5.10	3.47	4.30	5.84	4.26
7.51	10.40	10.10	8.71	8.12	9.97	10.39	8.06	11.83
3.50	2.16	4.63	3.54	3.47	4.27	3.38	3.12	3.45
0.12	0.03	0.28	1.33	1.68	0.32	0.48	1.31	0.12
0.32	0.25	0.08	0.10	0.10	0.08	0.08	0.19	0.16
6.29	5.27	5.17	5.86	4.48	6.32	4.89	3.60	3.66
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
4.9	2.0	3.0	--	--	--	--	--	2.0
17.98	11.85	6.87	6.35	5.68	5.30	4.49	9.50	6.37
4.30	1.76	1.68	2.57	1.11	1.53	1.04	1.63	1.46
19416	15721	6057	7014	5515	4676	4496	10911	7463
343	250	333	279	nd	276	283	286	422
127	112	109	143	nd	72	73	85	113
458	401	145	151	nd	139	117	203	180
10	28	24	78	nd	33	54	38	44
116	96	154	258	303	160	208	327	243
<1	<1	2	16	15	33	3	4	<1
2	1	7	6	nd	2	9	14	6
2	49	58	35	nd	44	22	30	26
219	174	66	81	37	145	52	127	74
46	40	22	22	11	23	17	27	21
10	12	7	2	<1	14	3	12	5
4.6	3.3	3.1	11.0	>11	1.6	5.7	2.3	4.2
pf	pf	pf	pf	pf	pf	pf	pf	pf

(continua)

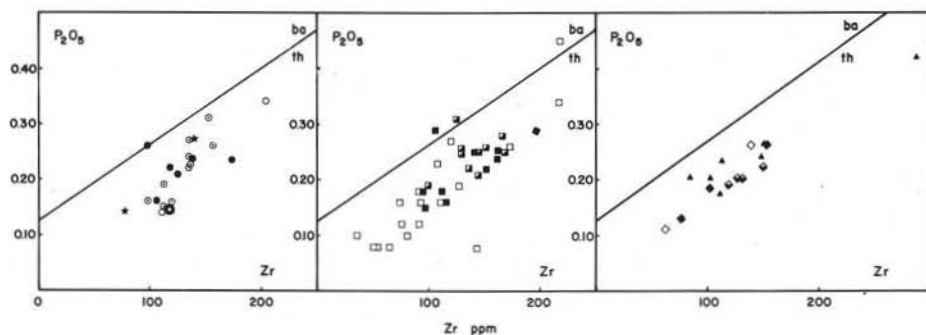


Fig. 5. — Diagramma P_2O_5 -Zr (ppm) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. La linea continua separa i campi dei basalti alcalini (ba) e tholeiitici (th) secondo WINCHESTER e FLOYD (1976). Simboli come in fig. 3.

segue Tab. 2

Metadiabasi (50-55)

44	45	46	47	48	49	50	51	52
47.77	45.66	43.76	46.12	48.82	44.84	44.46	48.57	48.31
1.59	2.05	3.49	1.64	1.47	2.04	1.67	1.92	2.50
19.81	19.07	15.20	14.97	18.59	15.77	15.94	15.52	14.69
6.20	6.83	7.97	5.53	3.29	5.35	5.82	4.47	5.80
2.39	3.55	8.07	6.49	4.22	7.36	5.31	6.59	6.53
0.13	0.15	0.17	0.18	0.30	0.21	0.17	0.16	0.16
5.50	8.65	8.73	8.39	8.26	7.11	6.69	6.74	5.81
9.85	5.28	3.40	9.33	5.87	10.14	11.93	8.26	12.24
3.60	3.34	2.04	2.78	2.62	2.36	1.49	2.09	0.00
0.12	0.30	0.03	0.09	0.49	0.02	0.02	0.02	0.01
0.23	0.25	0.45	0.29	0.15	0.25	0.15	0.25	0.25
2.81	4.86	6.69	4.19	5.92	4.56	6.34	5.41	3.69
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
--	--	--	--	--	--	5.0	--	--
7.97	9.70	15.24	11.47	7.18	12.18	11.09	10.61	11.75
1.45	1.12	1.75	1.37	0.86	1.71	1.58	1.57	2.02
9532	12752	21709	9832	8813	12230	10539	11511	14987
371	nd	nd	nd	419	344	438	367	233
74	nd	nd	nd	138	68	136	92	62
326	nd	nd	nd	284	377	339	337	399
77	nd	nd	nd	49	35	13	12	17
144	173	85	110	96	116	280	420	273
27	<1	<1	46	1	3	1	<1	<1
5	nd	nd	nd	4	2	2	6	4
35	nd	nd	nd	28	40	41	40	46
108	131	213	77	97	143	116	144	163
27	25	33	26	25	37	32	32	37
12	9	14	2	4	21	5	5	9
2.3	2.8	2.4	13.0	6.3	1.8	6.4	6.4	4.1
pf	af	pf	af px	af	af px	of	af px	af

(continua)

le rocce delle diverse facies metamorfiche, mentre risultano discriminate (fig. 3) le rocce con struttura porfirica rispetto a quelle prive o povere di fenocristalli. I valori medi relativi agli stessi costituenti principali (tab. 3) mostrano a conferma differenze non rilevanti tra i gruppi di metaderivati.

I dati relativi ai costituenti minori ed in tracce ripropongono le notevoli variazioni di chimismo nell'ambito di ciascun gruppo di metabasiti come pure una sostanziale analogia tra i gruppi messa in evidenza per gli elementi più stabili dai valori medi di tab. 3 e dalle proiezioni nei diagrammi di seguito proposti.

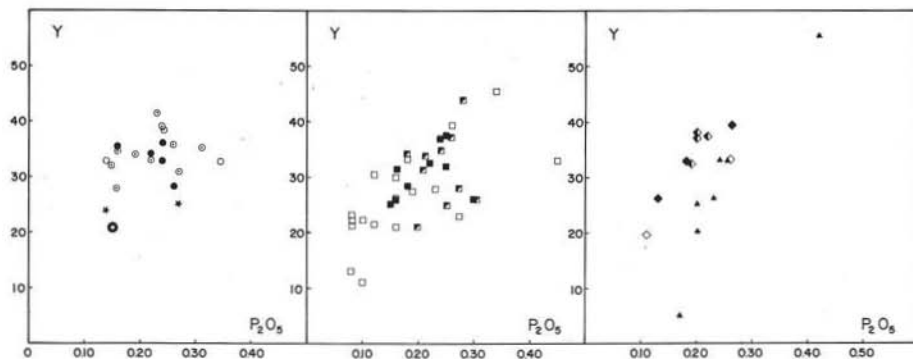
Nei diagrammi binari delle figg. 4, 5 e 6 sono messi a confronto i contenuti di alcuni elementi ritenuti più stabili e dotati di elevata coerenza geochimica (Zr, P, Y) il cui comportamento residuale, in particolare di Zr, può dare indicazione riguardo al frazionamento magmatico. Il diagramma Y-Zr (fig. 4) mostra la più

segue Tab. 2

Facies di scisti a glaucofane (56-64)
Metabasalti (56-61)

53	54	55	56	57	58	59	60	61
47.74	46.12	44.34	44.98	42.64	48.96	47.47	45.51	45.11
1.86	2.14	2.20	0.90	2.09	2.08	1.91	2.13	2.23
15.59	15.20	15.45	20.26	17.31	13.84	15.34	17.27	16.56
8.06	4.29	6.37	4.90	7.02	6.72	5.00	7.28	4.92
4.08	7.92	6.60	1.71	4.84	4.89	6.14	5.11	7.82
0.17	0.22	0.21	0.11	0.19	0.15	0.19	0.22	0.19
4.17	8.45	8.12	5.05	7.11	5.93	5.69	5.80	6.45
11.35	6.96	9.11	12.61	12.24	10.14	8.39	7.41	9.05
1.18	1.57	1.33	3.04	2.43	3.07	3.68	1.77	2.37
0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.11	0.36	2.01	0.79
0.18	0.22	0.23	0.11	0.26	0.20	0.19	0.20	0.22
5.60	6.89	6.02	6.30	3.85	3.91	5.64	5.30	4.30
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
--	1.0	4.0	--	--	--	--	--	--
11.33	11.90	12.84	6.12	11.16	10.94	10.64	11.66	12.25
2.72	1.39	1.52	1.21	1.57	1.84	1.87	2.01	1.90
11151	12959	13739	5395	12530	12470	11450	12769	13369
448	436	426	275	205	76	392	511	415
151	69	68	95	106	106	87	96	136
297	402	413	153	319	366	349	402	394
<1	<1	12	18	34	15	33	130	65
214	313	664	350	168	175	133	374	94
<1	<1	<1	<1	<1	<1	9	37	18
4	5	27	6	10	2	1	3	16
71	78	42	60	42	38	36	42	40
112	153	162	61	137	128	119	132	151
28	33	37	20	33	37	32	38	37
12	5	6	13	12	2	18	1	4
2.3	6.6	6.2	1.5	2.8	18.5	1.8	38.0	8.5
of	af	af	pf	pf	af	of	of	af

(continua)

Fig. 6. — Diagramma Y-P₂O₅ (ppm) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. Simboli come in fig. 3.

segue Tab. 2

Metadiabasi (62-64)			Facies scisti verdi (65-71) Metabasiti					
62	63	64	65	66	67	68	69	70
46.31	41.56	42.21	44.52	45.07	47.15	45.64	49.17	45.47
2.18	1.30	1.58	1.66	1.82	1.72	3.60	1.97	1.94
15.24	19.15	15.97	19.17	19.35	15.62	14.08	15.50	17.66
5.46	6.60	7.62	6.28	6.44	5.69	8.08	5.12	4.29
6.74	4.50	2.59	4.39	3.58	5.60	8.45	5.06	6.80
0.19	0.23	0.15	0.17	0.15	0.17	0.27	0.15	0.17
6.72	10.45	3.90	5.31	5.54	7.77	7.39	6.67	8.09
9.25	5.67	14.32	9.53	9.18	7.87	4.35	9.09	7.27
2.52	0.54	2.13	2.45	1.51	4.04	2.56	2.65	2.66
0.55	2.40	1.37	2.04	3.38	0.10	0.03	0.44	0.70
0.26	0.13	0.18	0.26	0.24	0.17	0.42	0.23	0.20
4.58	7.47	8.44	4.22	3.74	4.10	5.13	3.95	4.74
100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
--	--	8.0	--	--	--	--	--	--
11.66	10.44	9.45	10.04	9.38	10.72	15.72	9.67	10.66
1.74	1.00	2.63	1.89	1.69	1.38	2.13	1.45	1.32
13069	7793	9449	9952	10911	10311	21709	12254	12067
347	nd	355	194	185	436	nd	nd	nd
226	nd	64	65	60	187	nd	nd	nd
423	nd	301	277	289	273	nd	nd	nd
48	nd	164	390	621	<1	nd	nd	nd
96	110	381	404	393	219	85	189	119
7	46	20	43	82	2	<1	<1	<1
5	nd	10	1	8	<1	nd	nd	nd
43	nd	33	72	46	70	nd	nd	nd
154	77	103	152	149	111	288	112	102
39	26	33	33	33	5	55	26	25
5	2	1	7	20	7	7	2	2
7.8	13.0	>33	4.7	1.7	0.7	7.9	13.0	12.5
af?	af	af	af?	af?	af	af px	af px	af px

(continua)

significativa correlazione dei valori ed un sensibile incremento di Y all'aumentare di Zr. Si considerano particolarmente indicativi di un'origine di fusi formati per frazionamento magmatico i contenuti di questi elementi nelle rocce filoniane, mentre l'ampio intervallo di valori presentati dalle lave porfiriche non è unicamente da attribuire a frazionamento, bensì, ed in molti casi in misura maggiore, a processi di accumulo del plagioclasio porfirico con conseguente diluizione di elementi residuali. Anche i diagrammi P_2O_5 -Zr (fig. 5) e Y- P_2O_5 (fig. 6) mettono in evidenza, nonostante la dispersione di valori più marcata che nel precedente, un sensibile arricchimento progressivo degli elementi posti a confronto, con le limitazioni sulla rappresentatività dei dati cui si è accennato in precedenza.

Dal diagramma Zr-P₂O₅ si rileva la natura subalcalina delle metabasiti secondo la distinzione di WINCHESTER e FLOYD (1976). Questa affinità è messa ulteriormente
segue Tab. 2

Metab.(1) Metadiabasi (2)

71	72	73	74
49.56	47.84	47.00	45.64
1.44	1.64	1.05	1.46
13.25	19.97	17.08	14.62
4.27	7.84	3.84	4.45
5.98	2.72	6.13	6.52
0.16	0.19	0.15	0.17
9.48	4.76	8.20	10.27
10.00	2.86	9.02	8.71
0.48	4.12	3.85	2.59
0.03	0.64	0.17	0.07
0.20	0.15	0.14	0.26
5.15	7.26	3.37	5.24
100.00	100.00	100.00	100.00
- -	3.0	- -	4.0
9.82	10.07	9.59	10.96
1.04	2.05	1.17	1.02
8957	10136	6295	9118
nd	292	346	565
nd	116	130	297
nd	186	183	187
nd	58	46	60
91	206	42	127
1	13	1	1
nd	<1	2	10
nd	64	31	41
85	110	77	141
20	21	24	25
1	7	1	11
>20	3.0	24.0	2.3
af px	af	af px	of

in evidenza dalle distribuzioni di valori relativi anche ad altri elementi nei diagrammi discriminanti proposti da FLOYD e WINCHESTER (1975) applicabili secondo gli stessi autori (WINCHESTER e FLOYD, 1976) a rocce basiche trasformate, che sono presentati nelle figg. 7, 8 e 9. A commento delle indicazioni sull'origine delle metabasiti da basalti di serie tholeiitica, con carattere da spiccatamente tholeiitico fino a transizionale in base ai valori del rapporto Y/Nb (PEARCE e CANN, 1973), si rileva come il contenuto mediamente elevato in TiO₂ presentato dalle rocce nel loro complesso ed i valori massimi riscontrati non corrispondono ai valori più frequenti nelle serie tholeiitiche, segnatamente inferiori. Ciò si riflette nelle indicazioni alquanto ambigue sul significato paleotettonistico valutabile in base alle distinzioni schematiche proposte da PEARCE e CANN (1973) e da PEARCE (1975). Nel diagramma Ti-Zr-Y (fig. 10) si rileva infatti che molte delle rocce cadono in prossimità del limite fra i basalti di margine continentale e quelli «entro-placca», che la maggior parte si si proietta tra i basalti di margine continentale, ma anche che un numero consistente di rocce sembrerebbe avere un'origine «entro-placca».

Queste indicazioni contrastanti non sembrano consistenti con gli indizi ottenuti con altri dati geochimici sul frazionamento magmatico, che mostrano andamenti non chia-

ramente distinguibili e simili a quelli dei basalti tholeiitici oceanici, pur con alcune differenze difficilmente spiegabili con i dati geochimici di cui si dispone. Se si ammette un'origine unitaria da un vulcanismo di margine continentale l'affinità con i basalti oceanici può essere confermata dalla distribuzione dei valori nei diagrammi Ti-Zr e Ti-Cr (figg. 11 e 12) secondo PEARCE e CANN (1973) e PEARCE (1975). I pochi dati relativi alle rocce non sicuramente attribuibili al complesso dei metabasalti ofiolitici (campioni 72, 73, 74) non mostrano un chimismo significativamente differente rispetto a questi, come si poteva supporre in particolare per i metadiabasi in contatto magmatico con rocce cristalline d'alto grado. Ulteriori indagini su queste rocce potranno non solo chiarirne il significato, ma forse dare anche un contributo all'interpretazione delle ofioliti basaltiche.

TABELLA 3

Valori medi di alcuni elementi (% in peso di ossidi dei costituenti principali, ppm di elementi in tracce) in metabasalti ofiolitici di diversa facies metamorfica della Lucania e della Calabria (colonne 1, 2, 3, 4) ed in metabasalti ofiolitici dell'Appennino settentrionale e della Corsica

	1	2	3	4	5	6	7	8
TiO ₂	1,90	1,76	2,00	2,04	1,78	1,53	1,85	1,81
Al ₂ O ₃	16,2	18,3	16,8	16,4	16,5	15,9	15,2	17,1
FeO _{tot}	10,6	9,6	10,6	11,0	7,9	8,7	8,9	7,4
MgO	6,7	5,6	6,4	7,2	7,5	6,5	6,9	6,4
P ₂ O ₅	0,22	0,21	0,19	0,27	0,23	0,24	0,19	0,26
Ni	116	91°	114°°	-	98	117	104	85
Cr	336	356°	354°°	-	256	259	216	195
V	319	277°	387°°	-	237	231	245	187
Zr	131	124	119	143	163	154	150	183
Y	34	30	33	28	54	41	52	43
Nb	6.3	6.6	6.4	6.5	6	3.4	7	6.6

1: metabasalti in facies prehnite-pumpellyite (tab. 2: an. 1-18); 2: metabasalti in facies lawsonite-albite (tab. 2: an. 19-55), °: 28 analisi; 3: metabasalti in facies di scisti a glaucofane (tab. 2: an. 56-64), °°: 8 analisi; 4: metabasiti in facies di scisti verdi (tab. 2: an. 65-71); 5: metabasalti dell'Appennino Settentrionale (BECCALUVA ed altri, 1975); 6: metabasalti dell'Appennino Settentrionale (FERRARA ed altri, 1976); 7: metabasalti della Corsica (Inzecca) (BECCALUVA ed altri, 1977); 8: metabasalti della Corsica (Balagne) (G.L.O.M., 1977).

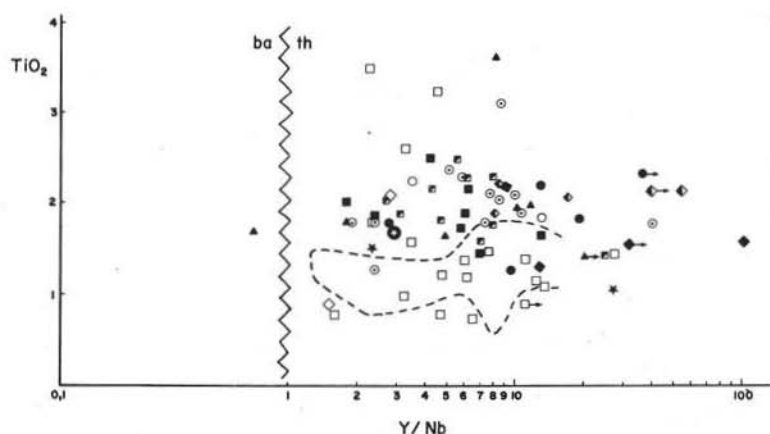


Fig. 7.

Confronti

I dati petrografici e chimici presentati consentono un primo generale inquadramento dei metabasalti ofiolitici della Calabria e della Lucania tra i complessi ofiolitici con analogo assetto litostratigrafico della Corsica e dell'Appennino, nei quali

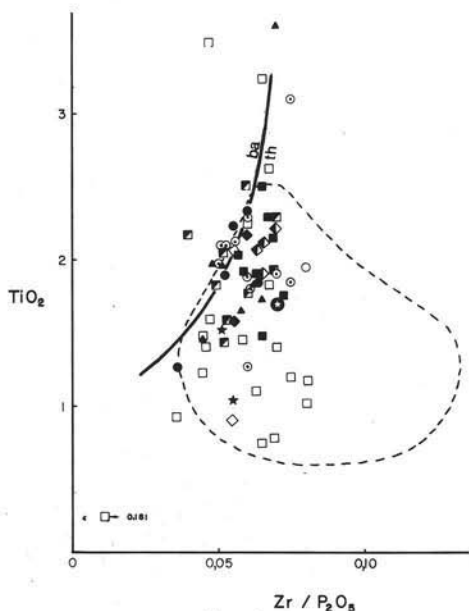


Fig. 8.

Fig. 7, 8, 9. — Diagrammi TiO_2 (% in peso) - Y/Nb (fig. 7), TiO_2 (% in peso) - $\text{Zr/P}_2\text{O}_5$ (fig. 8) e $\text{Nb/Y-Zr/P}_2\text{O}_5$ (fig. 9) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. La separazione tra basalti alcalini e tholeiitici ed il campo dei basalti tholeiitici oceanici (delimitato con linea tratteggiata) sono quelli proposti da FLOYD e WINCHESTER (1975) e WINCHESTER e FLOYD (1976).

le rocce basaltiche mostrano caratteristiche petrografiche e composizionali riconosciute come strettamente analoghe (BECCALUVA ed altri, 1977; G.L.O.M., 1977) e verificate sulla base di dati geochimici significativi per definire il carattere seriale di rocce trasformate. L'applicazione di metodologie geochimiche ha permesso di riconoscere la prevalente natura tholeiitica delle vulcaniti presenti in

diverse aree dell'Appennino Settentrionale (BECCALUVA ed altri, 1975, 1976; FERRARA ed altri, 1976) e della Corsica (BECCALUVA ed altri, 1977; G.L.O.M., 1977) delle quali sono riportati a confronto i valori medi di alcuni elementi (tab. 3) e di mettere in luce gli aspetti più significativi della differenziazione magmatica e caratteri evolutivi affini nelle rocce basaltiche delle diverse aree (BECCALUVA ed altri, 1977; G.L.O.M., 1977). Viene supposto anche un analogo significato paleoambientale sulla base delle affinità geochimiche con i basalti tholeiitici di tipo oceanico. Emergono tuttavia alcune differenze che per alcuni metabasalti corsi (THORPE ed altri, 1977; VENTU-

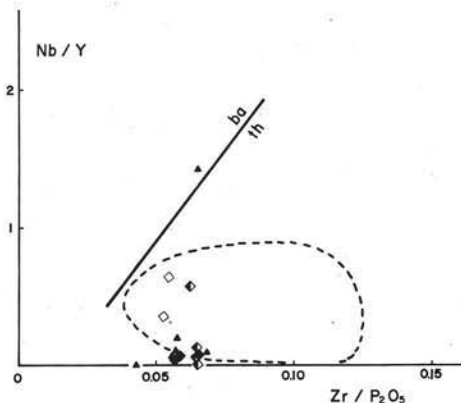
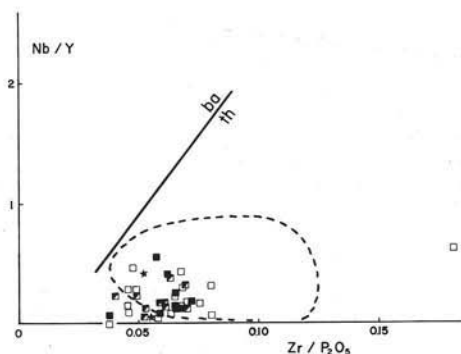
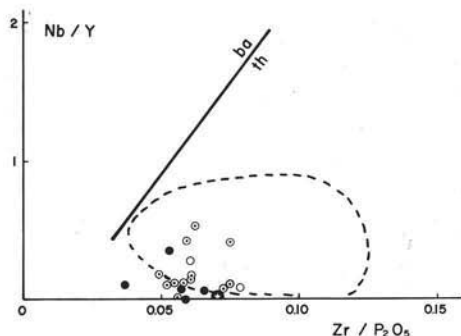


Fig. 9.

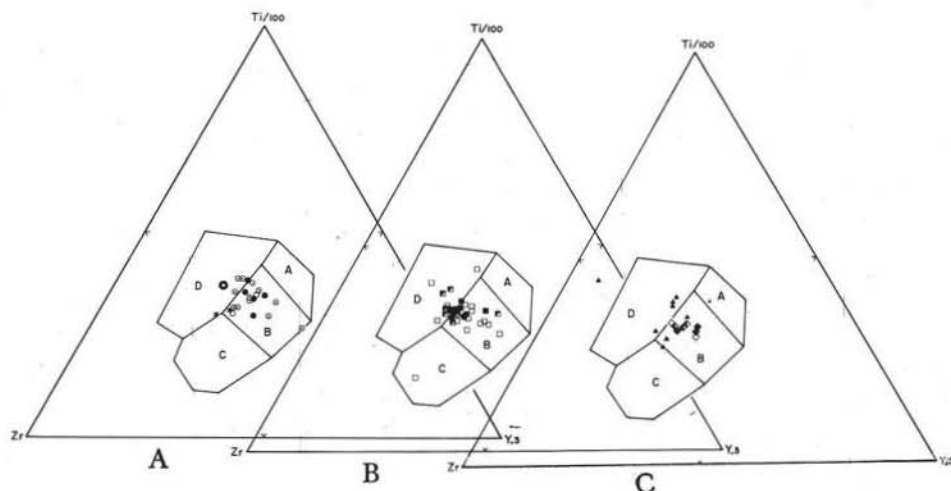


Fig. 10. — Diagramma Ti/100-Y₃-Zr (PEARCE e CANN, 1973) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. A, B: basalti tholeiitici con basso contenuto in potassio; B: basalti di fondo oceanico; C, B: basalti calcoalcalini; D: basalti interni alle placche. Simboli come in fig. 3.

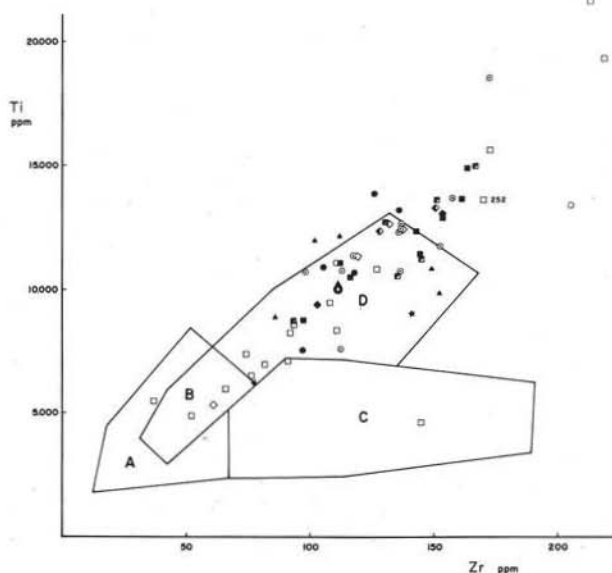


Fig. 11. — Diagramma Ti-Zr (ppm) (PEARCE e CANN, 1973) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. A, B: basalti tholeiitici a basso contenuto in potassio; B, D: basalti di fondo oceanico; B, C: basalti calco-alcalini. Simboli come in fig. 3.

RELLI, com. pers.) fanno escludere un'origine comune ad altri basalti ofiolitici e danno indicazioni di un ambiente di formazione diverso da quello delle dorsali oceaniche finora supposto come il più probabile per i complessi ofiolitici di tipo ligure. Il problema del significato paleoambientale delle ofioliti basaltiche con assetto litostratigrafico di tipo ligure si può considerare pertanto ancora aperto. L'ipotesi genetica prospettata per i metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana richiede indagini più approfondite ed ulteriori verifiche.

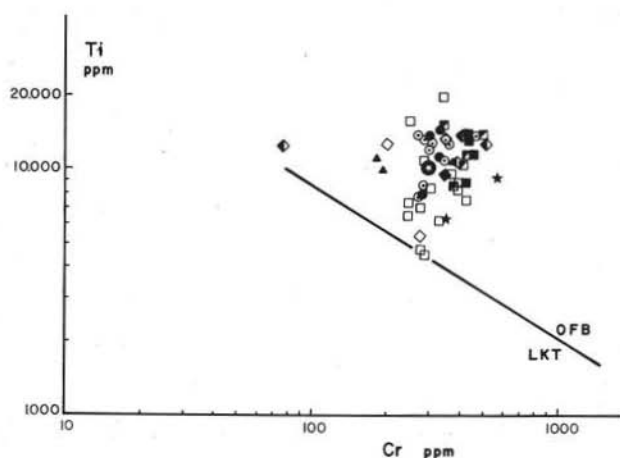


Fig. 12. — Diagramma Ti-Cr (ppm) per metabasalti ofiolitici della regione calabro-lucana. La linea continua separa il campo dei basalti di fondo oceanico (OFB) da quello dei basalti tholeiitici con basso contenuto di potassio (LKT) secondo PEARCE (1975).

Conclusioni

I metabasalti ofiolitici dell'Appennino Lucano e della Calabria settentrionale e centrale si distinguono principalmente per il diverso metamorfismo alpino in particolare per le trasformazioni dovute alla fase di alta pressione, che si manifestano con una certa gradualità su scala regionale definendo zone di metamorfismo progressivamente crescente in termini di pressione e temperatura in differenti unità tettoniche.

Le relazioni litostratigrafiche danno indizi dell'appartenenza ad un complesso unitario in cui le vulcaniti presentano coperture sedimentarie probabilmente coeve (datate al Giurassico superiore-Cretaceo inferiore) e di differente litologia. Le lave a pillow sono nettamente prevalenti rispetto ai filoni e non si trovano complessi filoniani. L'assetto litostratigrafico è analogo a quello delle ofioliti basaltiche di tipo ligure.

I caratteri petrografici primari, la natura dei minerali relitti ed il chimismo mostrano notevoli analogie fra i metabasalti appartenenti a differenti facies metamorfiche; non si rilevano neppure differenze significative tra i metabasalti che presentano coperture sedimentarie diverse. Le analogie di chimismo riguardano in particolare i costituenti minori ed in tracce ritenuti relativamente stabili nei processi di alterazione di metamorfismo, sulla base dei quali i diversi tipi di meta-derivati sono stati confrontati dal punto di vista dell'affinità petrogenetica e dei caratteri evolutivi connessi con la differenziazione magmatica. Si hanno indizi preliminari che i metabasalti a differente evoluzione metamorfica derivino da termini basaltici subalcalini analoghi per composizione e per l'andamento della differenziazione, che risultano largamente coincidenti. Il carattere tholeiitico degli originari

basalti risulta provato dai dati presentati. L'ambiente geodinamico di formazione delle vulcaniti risulta invece non definibile con certezza. La maggior parte dei dati geochimici sembrerebbero indicare un'affinità con le tholeiiti oceaniche, già supposta come la più probabile per le metabasiti della Calabria e di altri complessi ofiolitici di tipo ligure dell'Appennino settentrionale e della Corsica. Si rileva in particolare che il contenuto in Ti risulta mediamente più elevato che nelle tipiche tholeiiti abissali. La possibilità di un'origine dei metabasalti in un ambiente diverso da quello di dorsale oceanica che caratterizza le tholeiiti abissali non è accertabile con le metodologie geochimiche utilizzate in questo studio. Alcuni indizi geologici, in particolare la presenza di magmatismo basaltico verosimilmente connesso con il magmatismo ofiolitico in rocce cristalline soggette a metamorfismo alpino e riferibili ad originari materiali di crosta continentale profonda, suggeriscono l'opportunità di ulteriori e più dettagliate indagini con un approccio non solo geochimico.

Ringraziamenti. — Si ringrazia il Dr. GINO CRISCI per le analisi chimiche mediante fluorescenza X.

BIBLIOGRAFIA

- AMODIO MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARRETA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN LORENZONI N., ZUPPETTA A. (1976) - *L'arco Calabro Peloritano nell'orogene Appenninico-Magbregide*. 68° Congr. Soc. Geol. It., bozza di stampa.
- BECCALUVA L., MACCIOTTA G., VENTURELLI G. (1976) - *Differenziazione e caratteri geochimici delle vulcaniti basaltiche oceaniche dell'Appennino Ligure-Emiliano*. Ofioliti, 1, 33-65.
- BECCALUVA L., VENTURELLI G., ZANZUCCHI L. (1975) - *Dati geologici e geochimici sui basalti di associazione ofiolitica dell'Appennino ligure-emiliano*. L'Ateneo Parmense, 11, 789-802.
- BECCALUVA L., OHNSTETTER D., OHNSTETTER M., VENTURELLI G. (1977) - *The trace element geochemistry of Corsican ophiolites*. Contrib. Mineral. Petrol., 64, 11-31.
- BONARDI G., PERRONE V., ZUPPETTA A. (1974) - *I rapporti tra « metabasiti », « filladi » e « scisti micacei » nell'area tra Paola e Rosa (Calabria)*. Boll. Soc. Geol. It., 93, 245-276.
- BOUSQUET J.C. (1962) - *Age de la serie des diabases-porphyrates (roches vertes du flysch calabro-lucanien; Italie méridionale)*. Bull. Soc. Géol. France, s. 7, 4, 712-718.
- BOUSQUET J.C. (1973) - *Le tectonique récente de l'Appennin calabro-lucanien dans son cadre géologique et géophysique*. Geol. Romana, 12, 1-104.
- COLONNA V., ZANETTIN LORENZONI N. (1972) - *Gli scisti cristallini della Sila Piccola. 2°: Rapporti tra la formazione delle filladi e la formazione delle pietre verdi della zona di Gimigliano*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 261-292.
- COLONNA V., ZANETTIN LORENZONI N. (1973) - *Sulla presenza di un complesso equiparabile alla « Formazione del Frido » nella zona di Gimigliano (Catanzaro)*. Atti Acc. Pontaniana, Napoli, 22, 1-11.
- DAL PIAZ G.V. (1974) - *Le métamorphisme de haute pression et basse température dans l'évolution structurale du bassin ophiolitique alpine-appenninique*. Bull. Suisse Min. Petr., 54, 399-424.

- DE ROEVER E. W. F. (1972) - *Lawsonite-albite facies metamorphism near Fuscaldo, Calabria (Southern Italy), its geological significance and petrological aspects*. G.U.A. Pap. Geol., 3, 171 pp..
- DE ROEVER E. W. F., BEUNK F. F., KIEFT C. (1976) - *Blue amphibole-albite-chlorite assemblages from Fuscaldo (S. Italy) and the role of glaucophane in metamorphism*. Contrib. Mineral. Petrol., 58, 221-234.
- DE ROEVER E. W. F., PICCARRETA G., BEUNK F. F., KIEFT C. (1974) - *Blue amphiboles from north-western and central Calabria*. Per. Miner., 43, 5-37.
- DIETRICH D., DI PIERRO M., LORENZONI S., SCANDONE P., ZANETTIN LORENZONI N. (1976) - *Contribution to the knowledge of the tectonic units of Calabria. Relationships between composition of K-white micas and metamorphic evolution*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 1-25.
- DIETRICH D., SCANDONE P. (1972) - *The position of the basic and ultrabasic rocks in the tectonic units of the southern Apennines*. Atti Acc. Pontaniana, 21, 61-75.
- DUBOIS R. (1967) - *Les glaucophanites à lawsonite de Terranova da Sibari (Calabria)*. C.R. Acad. Sc. Paris, 265, 188-191.
- DUBOIS R. (1976) - *La suture calabro-apenninique cretace-eocene et l'ouverture tyrrhenienne neogene: étude pétrographique et structurale de la Calabre centrale*. These de doctorat d'état, 567 pp..
- FERRARA G., INNOCENTI F., RICCI C. A., SERRI G. (1976) - *Ocean-floor affinity of basalts from north Apennine ophiolites: geochemical evidence*. Chem. Geol., 17, 101-111.
- FLANAGAN F. J. (1973) - *1972 values for international geochemical standards*. Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 1189-1200.
- FLOYD P. A., WINCHESTER J. A. (1975) - *Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements*. Earth Plan. Sci. Lett., 27, 211-218.
- FRANZINI M., LEONI L., SAITTA M. (1972) - *A simple method to evaluate the matrix effects in X-ray fluorescence analysis*. X-ray Spectrom., 1, 151-154.
- G.L.O.M. (1977) - *I complessi ofiolitici e le unità cristalline della Corsica alpina*. Ofioliti, 2, 265-324.
- HACCARD D., LORENZ C., GRANDJACQUET C. (1972) - *Essai sur l'évolution tectogénétique de la liaison Alpes-Apennins (de la Ligurie à la Calabre)*. Mem. Soc. Geol. It., 11, 309-342.
- HOFFMANN C. (1970) - *Die Glaucophangesteine, ihre stofflichen Äquivalente und Umwaldungsprodukte in Nord Calabrien (Südtalien)*. Contr. Miner. Petr., 27, 283-320.
- LANZAFAME G., SPADEA P., TORTORICI L. - *Serie ofiolitifere nell'area fra Tarsia e Spezzano Albanese (Calabria): stratigrafia, petrografia, rapporti strutturali*. Mem. 68° Congresso Soc. Geol. Ital. (in stampa).
- LANZAFAME G., ZUFFA G. G. (1976) - *Geologia e petrografia del foglio di Bisignano (Valle del Crati, Calabria): con carta geologica alla scala 1:50.000*. Geol. Romana, 15, 223-270.
- MIYASHIRO A. (1973) - *The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc*. Earth Planet. Sci. Lett., 19, 218-224.
- OGNIBEN L. (1969) - *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. Mem. Soc. Geol. It., 8, 453-763.
- OGNIBEN L. (1973) - *Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni*. Geol. Romana, 12, 243-585.
- PEARCE J. A. (1975) - *Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus*. Tectonophysics, 25, 41-67.
- PEARCE J. A., CANN J. R. (1973) - *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis*. Earth Planet. Sci. Lett., 19, 290-300.
- PICCARRETA G. (1973) - *Rapporti tra le metamorfiti affioranti nella zona compresa tra Castiglione, Nicastro e la bassa Valle del Fiume Savuto (Calabria)*. Boll. Soc. Geol. It., 92, 423-433.
- PICCARRETA G., ZIRPOLI G. (1969) - *Le rocce verdi del Monte Reventino (Calabria)*. Boll. Soc. Geol. It., 88, 469-488.
- PICCARRETA G., ZIRPOLI G. (1975) - *The meta-ophiolites outcropping south of the low Savuto Valley within the context of Alpine metamorphism in Central and Northern Calabria (Southern Italy)*. N. J. Miner. Mh., 4, 145-162.

- SPADEA P. (1968) - *Pillow-lavas nei terreni alloctoni dell'Appennino Lucano*. Atti Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania, s. 6, 20, 105-142.
- SPADEA P. (1976) - *I carbonati nelle rocce metacalcaree della Formazione del Frido della Lucania*. Ofioliti, 1, 431-456.
- VEZZANI L. (1968) - *Rapporti tra ofioliti e formazioni sedimentarie nell'area compresa tra Viggianello, Francavilla sul Sinni, Terranova del Pollino e S. Lorenzo Bellizzi*. Atti Acc. Gioenia Sc. Nat., 19, 109-144.
- VEZZANI L. (1969) - *La Formazione del Frido (Neocomiano-Aptiano) tra il Pollino ed il Sinni (Lucania)*. Geol. Romana, 8, 129-176.
- VEZZANI L. (1970) - *Le ofioliti della zona fra Castelluccio Inferiore e S. Severino Lucano (Potenza)*. Atti Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania, s. 7, 2, 1-49.
- THORPE R. S., POTTS P. J., VENTURELLI G., CAPEDE S. (1977) - *Rare Earth and other element distribution in some ophiolitic meta-basalts of Corsica, Western Mediterranean*. Ofioliti, 2, 385-386.
- WINCHESTER J. A., FLOYD P. A. (1976) - *Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks*. Earth Planet. Sci. Lett., 28, 459-469.