

F. INNOCENTI*, S. ROCCHI*, R. TRIGILA**

LA CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE VULCANICHE E SUBVULCANICHE: SCHEMA OPERATIVO PER IL PROGETTO CARG

Riassunto - Viene proposto uno schema classificativo semplice valido per le rocce vulcaniche e subvulcaniche che possa essere di riferimento nell'ambito del nuovo Progetto di Cartografia Geologica d'Italia (CARG). Tale schema è basato sulla caratterizzazione petrografica e chimica (elementi maggiori) delle rocce. L'analisi chimica è comunque raccomandata anche se non sempre strettamente indispensabile. Lo schema classificativo proposto è stato applicato a complessi vulcanici e subvulcanici italiani in corso di rilevamento nell'ambito del Progetto CARG: Etna, Colli Albani, Vesuvio, Vulture, Isola d'Elba e M. Muffetto.

Parole chiave - Classificazione, Rocce vulcaniche, Rocce subvulcaniche.

Abstract - *The classification of volcanic and subvolcanic rocks: a practical grid for the National Mapping Program.* A simple classification scheme for volcanic and subvolcanic rocks is proposed. This procedure should be a reference frame for the Geological Mapping Project of Italy (CARG). This scheme is based on the petrographic features and chemical composition (major elements) of the rocks. The chemical analysis is recommended, even if not always requested. The classification method has been applied to case studies of Italian volcanic complexes currently involved in CARG mapping project, i.e. Mt. Etna, Alban Hills, Vesuvius, Mt. Vulture, Elba Island and Mt. Muffetto.

Key words - Classification, Volcanic rocks, Subvolcanic rocks.

1. INTRODUZIONE

Questa nota intende fornire uno strumento di facile applicazione ai rilevatori del nuovo progetto di cartografia geologica d'Italia 1:50.000 (CARG) ed è stata realizzata nell'ambito dell'Accordo di Programma per la Cartografia Prototipale. La nomenclatura proposta segue quanto più possibile le indicazioni suggerite dalla Sottocommissione per la Classificazione delle Rocce Ignee della IUGS (Le Maitre, 1989), le quali costituiscono linee guida ormai usate anche nella letteratura specialistica. Le rocce vulcaniche presentano tuttavia delle difficoltà classificative inerenti la loro natura. Infatti, quando risulta difficile o addirittura impossibile ottenere la composizione modale della massa fondamentale che generalmente rappresenta una parte preponderante della roccia, possono scaturire indicazioni nomenclaturali

insufficienti o addirittura contraddittorie. Da tutto ciò discende la necessità di uno schema classificativo unificante, che generi una nomenclatura scientificamente corretta e facilmente leggibile anche da non specialisti. La proposta presentata in questa nota ha appunto lo scopo di soddisfare questa esigenza.

In generale, la nomenclatura delle rocce vulcaniche prevede due principali livelli. Il *primo livello* è relativo ad una denominazione conseguente alle osservazioni macroscopiche di terreno e petrografiche (esame microscopico in sezione sottile). Si tratta quindi di una nomenclatura che prevede una griglia a maglie relativamente larghe, ma che consente comunque una prima corretta attribuzione nomenclaturale. Essa farà riferimento essenzialmente alla nomenclatura del doppio triangolo QAPF di Streckeisen (Le Maitre, 1989). Il *secondo livello* implica un'analisi chimica della roccia (elementi maggiori). Questo dato è considerato essenziale per una classificazione di base adeguata agli scopi cartografici. Si raccomanda quindi che ogni formazione vulcanica sia sempre corredata da dati petrografici e chimici sufficienti a definire in modo univoco il nome delle rocce vulcaniche che la costituiscono. L'analisi chimica degli elementi maggiori sarà sempre associata ad una norma-CIPW. Infine si dovrà tener conto della abbondante letteratura esistente su tutte -o quasi- le rocce italiane e della tradizione geologica che può fare riferimento ad una nomenclatura speciale, obsoleta rispetto alle moderne classificazioni ma tuttavia consolidata localmente. In molti casi può essere consigliabile mantenere anche la vecchia nomenclatura in associazione a quella derivata dalla moderna classificazione.

2. IL DIAGRAMMA ALCALI-SILICE (TAS)

In via prioritaria si propone di seguire le raccomandazioni della Sottocommissione per la Sistematica delle rocce ignee della IUGS (Le Maitre, 1989) e principalmente basate sul diagramma TAS (Total Alkali vs. Silica; Fig. 1). La sistematica delle rocce vulcaniche richiede quindi, oltre all'esame petrografico, l'analisi chimica del campione (elementi maggiori) e il calcolo della relativa norma CIPW.

La distinzione gerarchicamente più importante è quella tra *rocce alcaline* e *rocce subalcaline*. In letteratura esistono varie proposte di separazione dei due gruppi. La linea di separazione tra il campo alcalino e subalcalino del diagramma TAS (Le Bas *et al.*, 1986) di fatto si modella, nell'intervallo 52-70 wt% di SiO₂, sulla curva proposta da Kuno (1966). Tra le altre curve usate

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma, La Sapienza

in letteratura una delle più diffuse è quella di Irvine e Baragar (1971). È questa una curva localizzata a rapporti $(Na_2O+K_2O)/SiO_2$ generalmente maggiori di quelli corrispondenti alla linea TAS: da ciò deriva l'individuazione di un campo tra le due curve che può essere occupato da rocce classificabili come alcaline o subalcaline a seconda del sistema classificativo di riferimento. Tipicamente in tale campo cadono rocce descritte nella letteratura specialistica come *transizionali*. Riteniamo che, per fini cartografici, non sia opportuno in alcuna circostanza fare uso di una terminologia che includa il termine *transizionale*. Si osservi infine che tra le curve IB e TAS spesso cadono anche rocce *shoshonitiche* (vedi oltre), che qui vengono descritte nelle associazioni alcaline. Il presente schema adotta comunque fondamentalmente la proposta TAS (Fig. 1). Si deve notare che il diagramma TAS è scarsamente discriminante nei due campi estremi. In tali campi ricadono rispettivamente rocce basaltiche e riolitiche con caratteristiche petrografiche e geochemiche significativamente diverse e tipiche di ambienti tettonici diversi. Al fine di aumentare la sensibilità classificativa in queste due aree critiche, verrà presentata una espansione della nomenclatura TAS relativamente a questi campi.

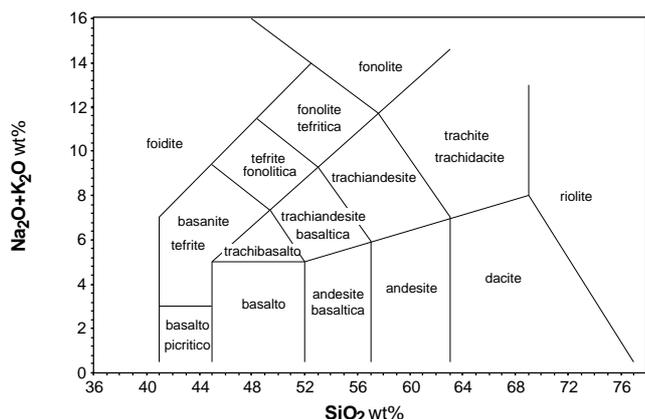


Fig. 1 – Diagramma TAS (Total Alkali vs. silice) da Le Bas *et al.* (1986) e Le Maitre (1989).

2.1. I Basalti

I basalti sono rocce basiche, cioè hanno SiO_2 compresa tra 45 e 52 wt%. La distinzione più importante all'interno del campo dei basalti riguarda il loro grado di saturazione in silice esprimibile attraverso i componenti normativi (v. tetraedro basaltico di Yoder e Tilley). Si distinguono quindi i *basalti alcalini*, contenenti nefelina normativa dai *basalti subalcalini*. Nel diagramma TAS alcuni autori effettuano questa distinzione prolungando la linea di separazione tra i campi alcalino e subalcalino all'interno del campo basaltico (Middlemost, 1991); noi riteniamo tuttavia più conveniente utilizzare per la distinzione basalti alcalini/subalcalini, la composizione normativa, come riportato in Tabella 1. All'interno del dominio dei basalti subalcalini si possono rinvenire rocce sovrasature, contenenti quarzo normativo. In questo caso si usa il termine (*quarzo*) *tholeiiti*. I basalti saturi sono caratterizzati da variabili rapporti iperstene/olivina normativi. Tipicamente le rocce dei fondi oceanici presentano $hy > ol$ e costituiscono associazioni con marcato arricchimento in Fe: esse sono denominate *olivine tholeiiti*. Esistono anche basalti con $ol > hy$ per i quali è riservato il nome di *olivine basalti*. Infine i basalti delle associazioni calcoalcaline possono mostrare contenuti in Al_2O_3 , particolarmente elevati, generalmente intorno a 17-18 wt%. Quando tali rocce sono afiriche o subafiriche o comunque non presentano evidenze petrografiche di accumulo di plagioclasio possono essere denominati *basalti alti in allumina* (vedi ad esempio: Donnelly-Nolan *et al.*, 1991; Kersting e Arculus, 1994).

2.2. Le Rioliti

Le rocce vulcaniche più ricche in silice sono le *rioliti*, il cui campo TAS risulta molto vasto. Da un punto di vista petrografico (paragenesi mineralogica) e geochemico esistono vari tipi di rocce riolitiche. Il problema di una loro classificazione che in qualche modo ne rifletta la natura e non sia troppo generica, è reso ancor più delicato dal fatto che spesso queste rocce sono fortemente o totalmente vetrose (esp. ossidiane e perliti) ed inoltre costituiscono non raramente gruppi o associazioni relativamente omogenee, nei quali cioè mancano termini meno ricchi in silice che consentano una ricostruzione petrografica più affidabile della loro natura.

Tab. 1 - Schema classificativo delle rocce basaltiche su base modale e normativa

	mineralogia normativa	mineralogia modale
Tholeiiti	Q	Cpx, Opx o Pgt; Ol scarsa in reazione; Qtz o possibile Trd interstiziale
Olivine tholeiiti	$hy > ol$	Cpx, Opx o Pgt; Ol abbondante
Basalti calcoalcalini		
Olivine basalti	$ol > hy$	Ol e Cpx; raro Opx o Pgt
Basalti alti in Al_2O_3	ol, hy	Ol e Cpx; raro Opx o Pgt
Basalti alcalini	ne	Ol abb. anche in pasta di fondo, Cpx

Per una classificazione più esauriente di questo tipo di rocce occorre prendere in considerazione i seguenti parametri:

- Relazioni tra potassio e silice: nel diagramma K_2O vs. SiO_2 (wt%; Fig. 2) si possono distinguere rioliti e rioliti basse in K_2O . Queste ultime appartengono normalmente ad associazioni di tipo tholeiitico.
- Relazioni tra alcali (\pm calcio) e alluminio, esprimibili dall'Indice di Saturazione in Allumina $ASI = [Al_2O_3] / ([CaO] + [Na_2O] + [K_2O])$ e dall'Indice Agpaítico $IA = [Na_2O] + ([K_2O] / [Al_2O_3])$, entrambi espressi in moli. Le rioliti con $IA > 1$ sono dette rioliti peralcaline, e possono essere ulteriormente distinte in pantelleriti e comenditi a seconda dei relativi contenuti in FeO^* (Ferro totale = FeO wt% + Fe_2O_3 wt% * 0.8998) e Al_2O_3 wt%. Le pantelleriti hanno Al_2O_3 wt% < (1.33 $FeO^* + 4.4$), mentre le comenditi hanno contenuti in FeO^* più bassi (Le Maitre, 1989). Infine le rioliti con $ASI > 1$ sono definibili come peralluminose, anche se di norma si riserva la qualifica di peralluminoso alle rocce con $ASI > 1.1$ (Tab. 2).
- Relazioni tra alcali e silice. Il campo TAS delle rioliti può essere ulteriormente suddiviso in due domini a differente contenuto in alcali, essendo il valore ($Na_2O + K_2O$) 8 wt% (Yanev e Andreev, 2000) relativamente ben discriminante tra due popolazioni che vengono qui denominate rispettivamente rioliti e alcali-rioliti.

Tab. 2 - Nomenclatura delle rioliti

Rioliti	$Na_2O + K_2O < 8\%$
Alcali-rioliti	$Na_2O + K_2O > 8\%$
Rioliti peralluminose	$ASI > 1.1$
Rioliti peralcaline	$IA > 1$
	pantelleriti $Al_2O_3 < 1.33 Feo_{tot} + 4.4$
	comenditi $Al_2O_3 > 1.33 Feo_{tot} + 4.4$

3. LE ROCCE SUBALCALINE

Le rocce subalcaline sono suddivise in due domini a nomenclatura distinta: le rocce *calcoalcaline* (termine spesso equivalente a *orogeniche*) e le rocce *tholeiitiche*. Vari criteri distintivi sono stati proposti; tra di essi molto usati sono quelli basati sul grado di arricchimento in Ferro rispetto al grado di evoluzione. La discriminazione si effettua sul classico diagramma AFM ($Na_2O + K_2O - FeO^* - MgO$ wt%) con la linea di separazione proposta da Irvine e Baragar (1971), oppure sull'atrettanto noto diagramma FeO^*/MgO vs. SiO_2 wt% (Miyashiro, 1975). In questo schema la distinzione viene effettuata attraverso il rapporto K_2O/SiO_2 , che consente di distinguere tre campi ad alcalinità crescente (Fig. 2). La nomenclatura all'interno di ogni campo è effettuata sulla base del

contenuto in SiO_2 , seguendo le distinzioni generali del TAS. Il campo calcoalcalino può essere suddiviso in due campi secondari (calcoalcalino e calcoalcalino alto in K_2O) aventi la stessa nomenclatura, ma con l'aggiunta della qualifica *alto in K_2O* per le rocce relativamente più ricche in potassio. Si osservi che in molte associazioni orogeniche la popolazione delle vulcaniti mostra una distribuzione di K_2O e di SiO_2 , che cade a cavallo della linea di distinzione tra rocce calcoalcaline e calcoalcaline alte in K_2O , che pertanto assume un significato discriminante molto scarso, tanto da renderne sconsigliabile l'uso. Le rocce ancora più ricche in K_2O cadono nel campo delle associazioni shoshonitiche, che vengono classificate in base alla nomenclatura delle rocce alcaline.

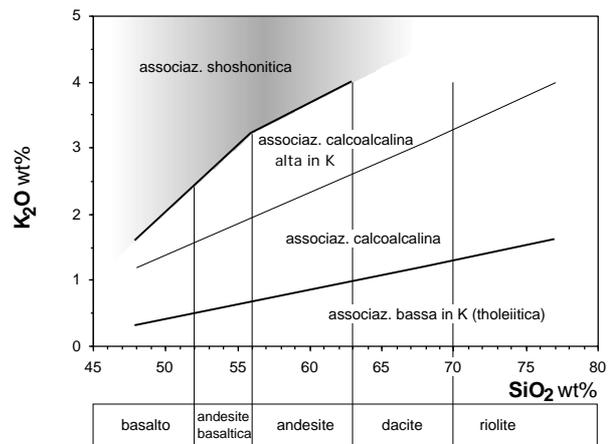


Fig. 2. Diagramma K_2O wt% vs. SiO_2 wt% discriminante i diversi tipi di rocce subalcaline. Le linee separanti le diverse associazioni sono tratte da Peccerillo e Taylor (1976), a parte la linea di separazione tra le associazioni calcoalcaline e calcoalcaline alte in K, che è tratta da Le Maitre (1989). Il campo shoshonitico è ombreggiato in quanto le rocce che vi cadono sono classificate in base alla nomenclatura delle rocce alcaline.

4. LE ROCCE ALCALINE

Nel diagramma TAS il campo alcalino risulta molto ampio, osservandosi forti differenze sia a livello di rocce relativamente primitive che di rocce evolute. La classificazione TAS consente di distinguere tre campi corrispondenti a: rocce debolmente alcaline, rocce fortemente alcaline e rocce foiditiche.

La nomenclatura delle rocce debolmente alcaline, generalmente scarsamente sottosature, può essere effettuata a livello generale utilizzando il diagramma TAS (Fig. 1), oppure entrando in una nomenclatura speciale legata al carattere sodico o potassico delle rocce. In questo caso viene usato il valore Na_2O wt% = K_2O wt% + 2 come limite tra i due campi (Fig. 3).

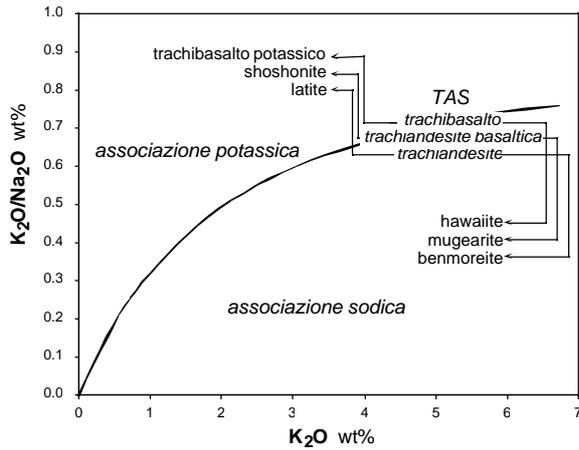


Fig. 3. Diagramma K_2O vs. K_2O/Na_2O (wt%) e nomenclatura delle rocce delle associazioni moderatamente alcaline; la distinzione dei vari termini viene effettuata sulla base del diagramma TAS (vedi Fig. 1).

4.1. Le Rocce Trachitiche

Come si è già visto, nel TAS tutte le rocce che esprimono gradi estremi di frazionamento occupano campi molto estesi, di modo che la loro nomenclatura non rispecchia le possibili ampie differenze petrografiche e chimiche. Le rocce saturate a più alto contenuto in SiO_2 costituiscono il gruppo delle *trachiti*, formate essenzialmente da feldspato alcalino. Il loro grado di evoluzione, esprimibile da rapporti percentuali feldspato alcalino/plagioclasio, è sempre alto e variabile da 1 a 0.65. Una nomenclatura basata sulla moda consente un'espansione del campo TAS risultando più aderente alla variabilità naturale. Nella Tab. 3 è riportata la nomenclatura proposta in base all'associazione mineralogica presente. Qualora la roccia sia fortemente vetrosa e quindi non sia possibile una denominazione modale sarà necessario ricorrere alla composizione normativa. Sulla base dei parametri normativi utilizzati da vari autori soprattutto sulle rocce trachitiche della Campania (esp.: Armienti *et al.*, 1983; D'Antonio *et al.*, 1999), proponiamo il diagramma di Fig. 4, che permette la suddivisione dei vari gruppi di trachiti in funzione dell'indice di differenziazione normativo di Thornton e Tuttle (1960) ($DI=Q+ab+or+ne+lc+kp$) e del livello di saturazione, espresso dai contenuti di nefelina o quarzo normativi.

Si segnala infine che nel campo TAS delle trachiti cadono particolari rocce relativamente ricche in alcali e fortemente sovrassature con Q normativo > 20%, per le quali viene suggerito l'uso del termine *trachidacite*.

4.2. Le rocce fortemente sottosature

Le rocce fortemente alcaline basiche ed ultrabasiche ($SiO_2 < 45$ wt%) comprendono i due tipi *basaniti* e *tefriti*, che possono essere utilmente distinti sulla base del contenuto in olivina normativa, qualora la grana o la

presenza di vetro non permetta una precisa determinazione del contenuto in olivina modale (Fig. 5). Aumentando il grado di sottosaturazione le rocce divengono sempre più ricche in feldspatoide con un incremento del rapporto foide/plagioclasio e passano al campo foiditico. Se il feldspatoide dominante è la nefelina divengono *nefeliniti* o *melanefeliniti* a seconda delle relazioni tra *ab* e *ne* normativa (Fig. 5).

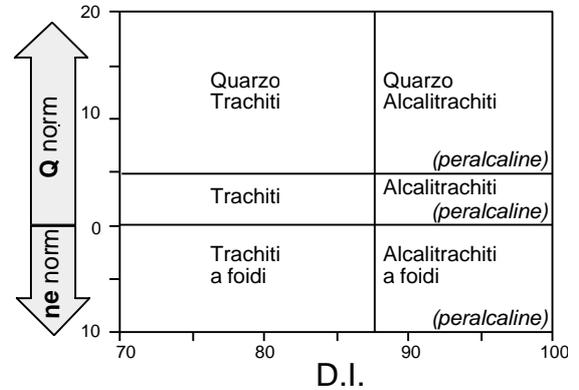


Fig. 4. Nomenclatura delle trachiti su base normativa. L'aggettivazione relativa alla peralcalinità si usa in caso di presenza di uno o più minerali normativi peralcalini: *ac*, *ns*, *ks*.

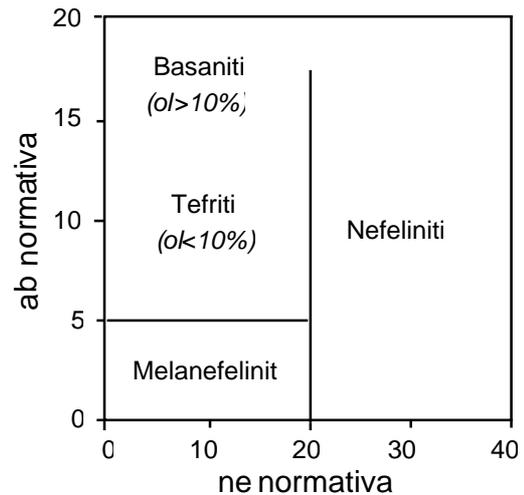


Fig. 5. Nomenclatura delle rocce nefelinitiche (Le Bas, 1989).

Le rocce che invece contengono leucite come feldspatoide dominante meritano un commento particolare, data la loro grande diffusione nel vulcanismo quaternario dell'Italia centro-meridionale. Le rocce fortemente alcaline ricche in leucite (o in altro feldspatoide) non sono facilmente rappresentabili nel diagramma TAS, in quanto in tale piano i campi di variabilità dei diversi litotipi risultano fortemente compressi con l'aggiunta di larghe sovrapposizioni. Così ad esempio Woolley *et al.* (1996) notano che la maggior parte delle rocce leucitiche descritte in letteratura cade sul limite dei campi basanite/tefrite fonolitica del TAS, e non nel campo delle Foiditi. La classificazione modale consente una maggiore

Tab. 3 - Nomenclatura delle trachiti su base modale

	Sa	Pl	Qtz	Lct	Cpx e/o e/o Fe-Ol	Bt e/o Anf	Na-Cpx e/o Na-Anf e/o Aen
Trachite	abb	pres				var	
Quarzo-trachite	abb	pres	pres			var	
Trachite a leucite	abb	pres		pres		var	
Alcali-trachite	abb	tr				var	
Quarzo Alcali-trachite	peralcalina abb	tr	pres			var	pres
Alcali-trachite a leucite	peralcalina abb	tr	pres	pres		var	pres
	peralcalina abb			pres		var	pres

abbreviazioni per i minerali: Sa: sanidino; Pl: plagioclasio; Qtz: quarzo; Lct: leucite; Na -Cpx: clinopirosseno sodico, egirina o egirin-augite; Anf: anfibolo, Na-Anf: anfibolo sodico, arfvedsonite-eckermannite-riebeckite; Aen: enigmatite.
 abb: presente in quantità abbondante; pres: necessariamente presente, ma in quantità ridotta; tr: possibilmente presente in quantità ridottissima; var: possibilmente presente in quantità variabile, sempre minore di qualche unità percentuale.

espansione dei campi di variabilità compositiva e una migliore discriminazione: essa pertanto viene consigliata per una corretta nomenclatura delle rocce fortemente sottosature (Fig. 6). Qualora non sia possibile raggiungere una valutazione modale accurata, si adopererà una stima semiquantitativa delle fasi seguendo la Tabella 4 (Wolley *et al.*, 1996); nel caso in cui il feldspatoide più importante non sia la leucite, si useranno i corrispondenti termini basati sul nome del feldspatoide dominante (vedi discussione sulle rocce del M. Vulture).

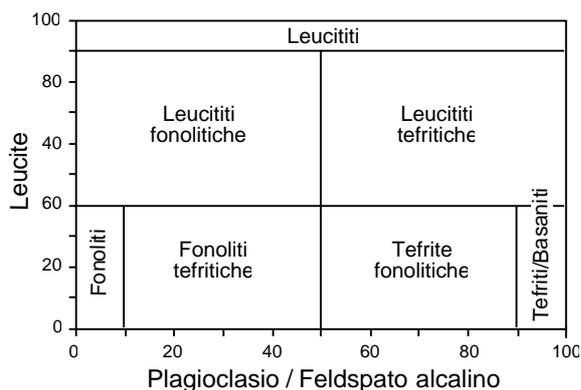


Fig. 6. Nomenclatura modale delle rocce sottosature a leucite.

Tab. 4 - Nomenclatura delle principali rocce leucitiche su base mineralogica

	Lct	Sa	Pl	Cpx	Ol
Leucitite	abb	tr	tr	abb	var
Leucitite fonolitica	abb	pres>	pres	abb	tr
Leucitite tefritica	abb	pres<	pres	abb	tr
Tefrite a leucite	pres	pres	abb	pres	tr
Basanite a leucite	pres	pres	abb	pres<	pres
Fonolite a leucite	var	abb	tr	pres	-

abbreviazioni: Sa: sanidino; Pl: plagioclasio; Qtz: quarzo; Lct: leucite; Ol: olivina. abb: presente in quantità abbondante; pres: necessariamente presente, ma in quantità ridotta; tr: possibilmente presente in quantità ridottissima; var: possibilmente presente in quantità variabile, sempre minore di qualche unità percentuale.

5. ROCCE SPECIALI

5.1 Le Rocce ricche in MgO

Esistono in natura rocce con contenuti in MgO elevati rispetto ai normali tenori osservati nelle più comuni associazioni discusse in precedenza. Tra di esse si ricordano le andesiti ricche in MgO o *boniniti* caratterizzate da bassi tenori di TiO₂, scarso o assente plagioclasio modale, e contenenti olivina e un pirosseno ricco in Mg (clinoenstatite). Nel campo delle rocce basiche e ultrabasiche si incontrano le *picriti* e le *komatiiti*; queste ultime hanno contenuto in alcali e in TiO₂ < 1 wt%. La classificazione di queste rocce segue la proposta IUGS riportata in Fig. 7.

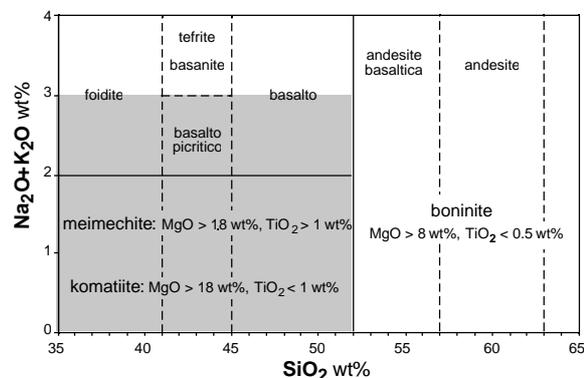


Fig. 7 - Nomenclatura delle rocce ricche in Mg (Le Bas, 2000). Le rocce che cadono nel campo grigio e hanno MgO >12 wt% sono dette picriti. In corsivo i nomi attribuiti dal diagramma TAS alle rocce con contenuti di Mg normali.

5.2. Le rocce melilitiche

Le rocce vulcaniche che contengono abbondante melilita (>10%) richiedono una speciale classificazione. Esse sono raggruppate nella famiglia delle *melilititi*. La loro nomenclatura tiene conto della natura e del rapporto degli altri minerali femici, come indicato nel diagramma di Fig. 8 (Le Maitre, 1989). Nel diagramma TAS queste rocce codono nel campo delle foiditi. Qualora non sia possibile determinarne la moda, si utilizzerà la Tab. 5 (Woolley *et al.*, 1996).

Tab. 5 - Nomenclatura chimico-normativa delle rocce melilitiche

	% cs norm	alcali (wt %)
melilitite / olivin melilitite	>10	$K_2O > Na_2O$
melilitite potassica / olivin melilitite potassica	>10	$K_2O > 2 > Na_2O$
nefelinite / leucite melilitica	<10	

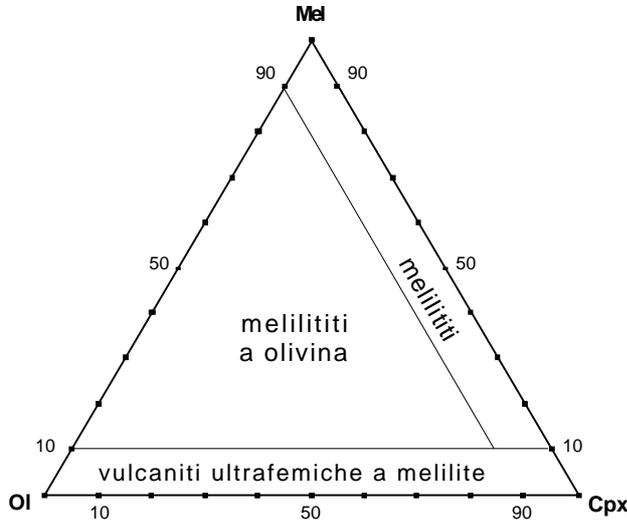


Fig. 8. Nomenclatura delle rocce melilitiche (Le Maitre, 1989). Mel: melilitite. Ol: olivina, Cpx: cliopirosseno.

5.3. Le kamafugiti

Le rocce kamafugitiche costituiscono un'associazione di rocce vulcaniche ultrapotassiche ad alto grado di sottosaturazione, nelle quali la melilitite e la leucite sono spesso minerali essenziali. Seguendo Foley *et al.* (1987), si considerano rocce ultrapotassiche quelle con $MgO > 3$ wt%, $K_2O > 3$ wt% e rapporto $K_2O/Na_2O > 2$. Chimicamente le kamafugiti sono caratterizzate da contenuti relativamente elevati di CaO con alti rapporti CaO/Al_2O_3 (Fig. 9). Da un punto di vista classificativo esse possono essere incluse nel gruppo delle melilititi o delle leucititi. Tuttavia dal momento che tra i minerali essenziali si rinviene costantemente la kalsilite come espressione dell'alto grado di sottosaturazione, si può usare una nomenclatura speciale (Woolley *et al.*, 1996), riportata in Tab. 6.

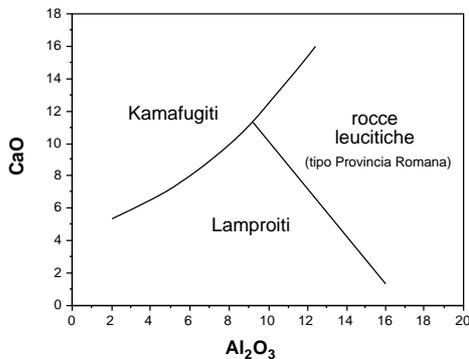


Fig. 9. Diagramma CaO vs. Al_2O_3 per le rocce ultrapotassiche delle associazioni kamafugitiche, lamproitiche e della Provincia Romana (da Foley *et al.*, 1987, modificato)

Tab. 6 - Nomenclatura delle rocce kamafugitiche

	Associazione mineralogica
Venanzite	kalsilite, flogopite, olivina, leucite, melilitite
Coppaelite	kalsilite, flogopite, melilitite
Katungite	kalsilite, leucite, olivina, melilitite
Mafurite	kalsilite, olivina, pirosseno

5.4. Le lamproiti e le kimberliti

Le lamproiti sono rocce ultrapotassiche ad alto contenuto in MgO e caratterizzate da contenuti di CaO e Al_2O_3 relativamente bassi (Fig. 9). Come conseguenza di ciò il plagioclasio è del tutto assente; altri minerali tipicamente assenti sono la nefelina, i feldspatoidi del gruppo della sodalite, la melilitite, la kalsilite, la melanite e la monticellite; può essere presente la leucite. I minerali presenti sono dominati dalla flogopite, che può trovarsi in fenocristalli o in forma pecilitica pervasiva. Altre fasi presenti, ma non necessariamente coesistenti, sono il sanidino, la leucite, la richterite, il diopside e l'olivina; tra gli accessori possono essere presenti oltre all'apatite, minerali ricchi in Ba, Zr, Ti, K (priderite, wadeite, perovskite, cromite, magnetite e, meno comunemente, armalcolite, jeppeite, shcherbakovite e ilmenite). Per la nomenclatura di queste rocce si segue la proposta di Mitchell e Bergman (1991) che suggeriscono nomi composti derivanti dall'associazione del termine lamproite con i nomi delle fasi prevalenti (esp.: lamproite a flogopite, diopside e sanidino). Le lamproiti con flogopite pecilitica si possono definire anche come *madupitiche* (esp. lamproite madupitica a diopside e sanidino).

Le kimberliti sono rocce potassiche o ultrapotassiche e ultrabasiche, in qualche modo vicine alle lamproiti. Si tratta di rocce complesse tipicamente disequigranulari; contengono spesso xenocristalli derivati dalla disgregazione di peridotiti mantelliche e megacristalli (diametro > 1 cm) e fenocristalli di olivina, flogopite, ilmenite, piropo, clinopirosseno, enstatite e cromite variamente presenti, immersi in una massa fondamentale a grana fine ricca in flogopite. Si distinguono due gruppi: le *kimberliti gruppo-I*, tipicamente con megacristalli e con associazione di olivina, flogopite, monticellite, calcite e serpentino e le *kimberliti gruppo-II*, ultrapotassiche, nelle quali domina la flogopite sia in fenocristalli che nella massa di fondo, associata a clinopirosseno; quest'ultimo gruppo di kimberliti micacee può anche essere denominati *orangeiti* (Mitchell, 1995), in considerazione del fatto che sono state fino ad oggi ritrovate solo in Africa meridionale.

5.5. Le Carbonatiti

Le rocce vulcaniche ricche di carbonati sono rare e, tranne rare eccezioni, sono limitate a prodotti piroclastici. Esse sono denominate *carbonatiti* solo se i carbonati sono modalmente superiori a 50%. Per la loro definizione si usa il diagramma chimico riportato in Fig. 10 (Woolley e Kempe, 1989). Se è possibile valutare la

composizione del carbonato dominante si usano i termini; *calcio-carbonatite*, *magnesio-carbonatite*, *ferro-carbonatite* (presenza di un carbonato ankeritico) e *natrocarbonatite* (presenza di carbonati di Na, K e Ca). Se in una roccia si riscontra la presenza di carbonato(i) primari in misura <50% e >10% si aggiunge l'aggettivazione *calcitica* (o dolomitica o ankeritica) al nome della roccia. Se la quantità del carbonato è del tutto secondaria (<10%), si preferisce aggiungere al nome della roccia la specifica *contenente calcite* (o altro carbonato identificato).

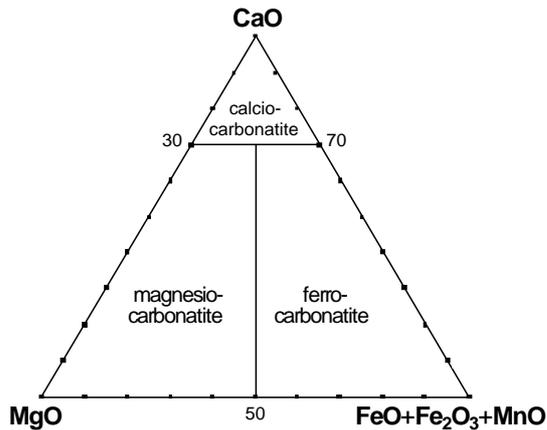


Fig. 10. Nomenclatura delle rocce carbonatiche (Le Maitre, 1989).

6. LE ROCCE SUBVULCANICHE

6.1. Principi classificativi

Le rocce subvulcaniche o ipoabissali sono considerate essersi messe in posto a debole profondità nella crosta terrestre; non esiste un valore limite di profondità universalmente accettato che consenta di distinguere le rocce intrusive da quelle ipoabissali, che tuttavia sono caratterizzate da grana variabile da media a fine, fino talora addirittura vitrofiriche. Di norma quindi la tessitura delle rocce subvulcaniche è più vicina a quella delle rocce effusive che a quella delle rocce intrusive per cui esse vengono comunemente classificate seguendo gli schemi vulcanici.

In passato tuttavia, ed in particolare nella letteratura italiana (Artini, 1941) esse erano sistematicamente aggregate alle rocce intrusive con le quali erano considerate geneticamente correlate (filoni aschisti o non differenziati e diaschisti o differenziati); questo approccio può essere considerato corretto dal momento che molte rocce ipoabissali sono faneritiche anche se hanno tessitura caratterizzata da grana medio-fine. In questo caso potrebbero essere considerate plutoniche, dal momento che il termine "plutonico" è generalmente riservato alle rocce faneritiche che "si presume essersi formate a considerevole profondità" (Le Maitre, 1989). Nel caso in cui la tessitura sia afanitica (relativamente fine, nella

quale la maggior parte dei cristalli non è riconoscibile a occhio nudo) esse dovrebbero essere classificate secondo la nomenclatura vulcanica. In sostanza, questo modo di vedere le rocce ipoabissali pone l'accento non sul processo di messa in posto bensì su un parametro petrografico, cioè la tessitura.

In conclusione quindi si consiglia di usare per le rocce ipoabissali la sistematica intrusiva quando esistano chiare relazioni spazio-temporali tra dicchi e masse plutoniche, mentre si seguirà la nomenclatura delle rocce vulcaniche e la corrispondente procedura classificativa negli altri casi.

Qualora si segua la nomenclatura intrusiva si è comunque di fronte ad una importante limitazione derivante dalle caratteristiche tessiturali delle rocce ipoabissali che spesso ne impediscono una corretta analisi modale. In tali casi è consigliabile seguire la nomenclatura intrusiva, raggiunta attraverso la composizione chimica e l'analisi normativa che consente l'utilizzo del diagramma di Streckeisen e Le Maitre (1979), considerato equivalente alla classificazione modale basata sul diagramma QAPF (Fig. 11).

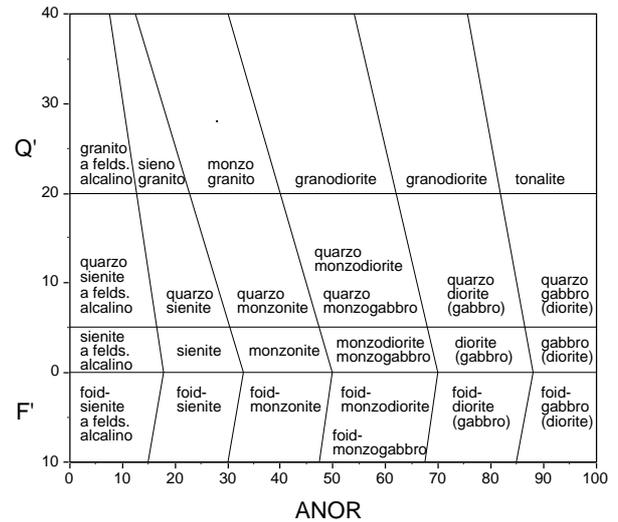


Fig. 11. Diagramma classificativo Q'-ANOR (Streckeisen e Le Maitre, 1979). $Q' = Q / (Q + or + ab + an) * 100$; $ANOR = an / (or + an) * 100$; $F' = (ne + lc + kp) / (ne + lc + kp + or + ab + an) * 100$

6.2. I Lamprofiri

I lamprofiri sono rocce ipoabissali a vario grado di alcalinità con fenocristalli di minerali femici, tra i quali la mica scura e/o l'orneblenda sono sempre presenti, e prive di fenocristalli di minerali sialici. Si classificano su base mineralogica secondo la proposta riportata in Tab. 8 (Streckeisen, 1978), essenzialmente basata sui rapporti tra i minerali sialici (feldspato potassico vs. plagioclasio, feldspati vs. feldspatoidi) e sulla paragenesi dei minerali femici.

Tab.7 - Nomenclatura delle rocce lamprofiriche

costituenti leucocrati		minerali femici dominanti			
proporzioni feldspati	proporzioni felds / foide	biotite augite diopsica (± olivina)	orneblenda augite diopsica (± olivina)	anfibolo alcalino titanaugite olivina, biotite	mellilite biotite ± titanaugite ± olivina ± calcite
or > pl	-	minette	vogesite	-	-
pl > or	-	kersantite	spessartite	-	-
or > pl	felds > foide	-	-	sannaite	-
pl > or	felds > foide	-	-	camptonite	-
-	vetro o foide	-	-	monchiquite	polzenite
-	-	-	-	-	alnöite

7. ALCUNI ESEMPI

7.1. Le vulcaniti della Valle del Bove (M. Etna)

Nella valle del Bove settentrionale affiora una potente sequenza vulcanica, eruttata da una serie di centri eruttivi pleistocenici più o meno sovrapposti (Rocca Capra, Trifoglietto, Ellittico e Mongibello; Coltelli *et al.*, 1994); la parte superiore è coperta dalle lave storiche connesse con i crateri sommitali. Complessivamente i prodotti lavici presentano una composizione tipicamente alcalino-sodica; è stato pertanto adottata la nomenclatura corrispondente che include hawaiiiti, mugeariti, benmoreiti e trachiti (D'Orazio *et al.*, 1997). Le hawaiiiti, caratterizzate dall'associazione di fenocristalli di plagioclasio intermedio-basico, clinopirosseno, timagnetite e olivina, rappresentano le rocce più comuni dell'intero sistema vulcanico etneo e la loro denominazione corrisponde al termine più frequentemente usato in letteratura. Lo studio dei prodotti storici e la loro comparazione geochimica e petrografica con quelli più antichi del vulcano ha messo in evidenza uno speciale arricchimento in alcuni elementi alcalini, particolarmente Rb e K (Joron e Treuil, 1984) in un contesto petrografico

sostanzialmente simile (rocce a composizione variabile da basalti alcalini a mugeariti, con dominanti le hawaiiiti). In particolare l'arricchimento in K₂O genera un problema nomenclaturale in quanto determina la transizione di alcune rocce dal campo alcalino sodico a quello alcalino potassico (Fig. 12), con una conseguente variazione terminologico-nomenclaturale. Tuttavia si deve notare che: (i) l'arricchimento in K₂O è continuo e gran parte dei prodotti ricade a cavallo della linea di separazione tra rocce alcalino-sodiche e alcalino-potassiche; (ii) l'incremento in K (e Rb) tende ad aumentare nel tempo, ma con un andamento tutt'altro che regolare avendosi in eruzioni temporalmente vicine o addirittura in una stessa eruzione, prodotti sia sodici che potassici. In questo quadro l'orientamento suggerito è quello di non usare la nomenclatura potassica (trachibasalto potassico-shoshonite-latite) anche quando le rocce cadono univocamente nel campo corrispondente e di fare quindi uso, per le rocce più evolute dei basalti alcalini, del termine generale trachibasalto, di rango superiore rispetto alle hawaiiiti e ai trachibasalti potassici.

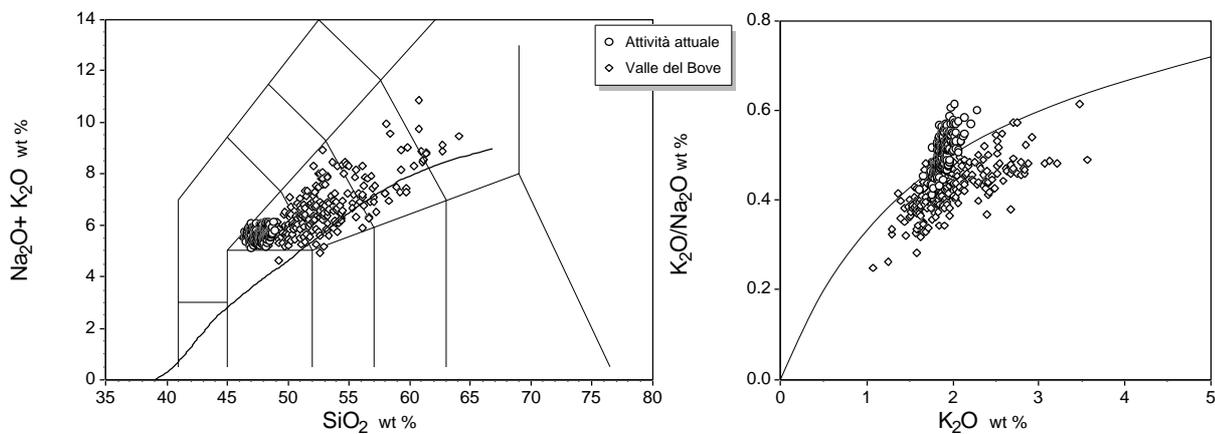


Fig. 12. Diagramma TAS e K₂O-Na₂O per le vulcaniti della Valle del Bove e le lave storiche dell'Etna.

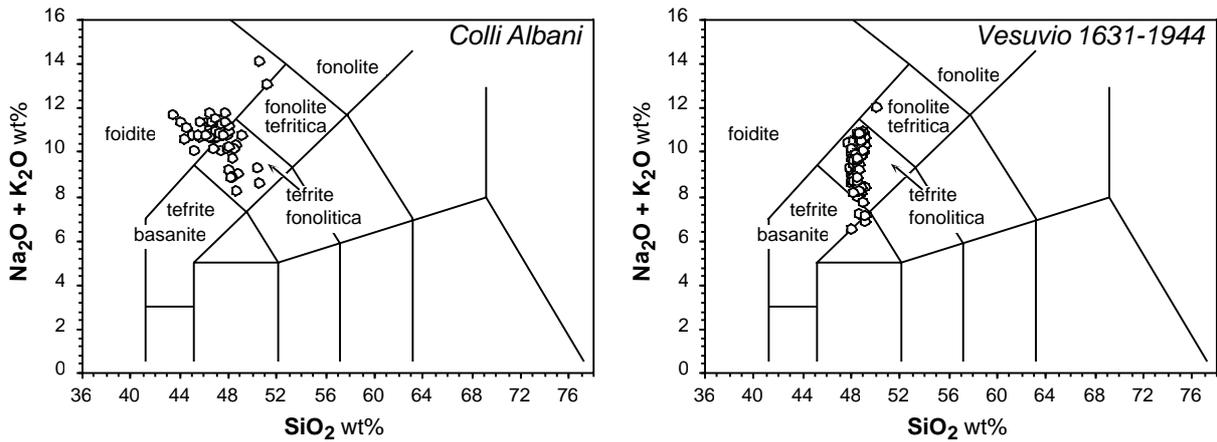


Fig. 13. Diagramma classificativo TAS per le vulcaniti dei Colli Albani e per le lave del Vesuvio (periodo 1631-1944).

7.2. Le vulcaniti dei Colli Albani e del Vesuvio

I Colli Albani sono costituiti da un vulcano centrale composto, caratterizzato da una cinta calderica (caldera "Tuscolano-Artemisia", Auctt.) di una ventina di km di diametro, e da un tipo d'attività prevalentemente esplosiva per le eruzioni precaldेरiche ed effusiva od esplosiva debole per quelle post-caldेरiche. Questa attività copre un intervallo di tempo che va da 700 ka fino a 20 ka, con un lungo periodo di riposo da 280 ka anni fino a 40 ka, quando inizia la fase idromagmatica con la formazione dei laghi di Albano e di Nemi (Trigila *et al.*, 1995).

Il sistema vulcanico Somma-Vesuvio è costituito da un vecchio vulcano strato (Monte Somma) caratterizzato da una cinta calderica polifasata nel cui interno è cresciuto il più recente cono del Vesuvio. I prodotti affioranti sono riferibili a tre periodi principali di attività. Il primo periodo è caratterizzato dall'emissione di lave e piroclastiti leggermente sottosture nell'intervallo di tempo tra 25000 e 11500 BP. Nel secondo periodo (7900 BP-AD 79) si sono verificate varie eruzioni pliniane i cui prodotti hanno composizione da tefrite fonolitica a fonolite; successivamente, l'attività del vulcano è caratterizzata da eventi esplosivi ed effusivi; dal 1631 al 1944 si è verificata un'attività stromboliana semi-persistente interrotta da eruzioni miste esplosive-effusive. Le composizioni dei prodotti del terzo periodo complessivamente variano da tefriti a fonoliti tefritiche (Santacroce *et al.*, 1993).

Le vulcaniti dei Colli Albani presentano una paragenesi data da leucite e clinopirosseno, spesso presenti come fenocristalli ed abbondanti nella pasta di fondo, dove si trovano anche titanomagnetite e nefelina, unitamente a quantità variabili di melilite e flogopite. Nei prodotti delle unità eruttive affioranti alla base del vulcano ed in quelle recenti costituenti l'attività eccentrica di tipo idromagmatico compare anche il sanidino.

I prodotti storici del Vesuvio eruttati tra il 1631 e il 1944 sono caratterizzati dalla dominante presenza di leucite e clinopirosseno, con minore e saltuaria presenza di olivina e biotite. Nella pasta di fondo, diversamente dai colli Albani, è significativamente presente il plagioclasio (Santacroce *et al.*, 1993).

Nel diagramma TAS (Fig. 13) i prodotti storici del Vesuvio cadono nel campo delle tefriti fonolitiche, in accordo con la paragenesi mineralogica. Per i Colli Albani invece la classificazione TAS (Fig. 13) evidenzia i problemi riportati da Woolley *et al.* (1996). Infatti, mentre le rocce dell'attività precaldेरica vengono correttamente classificate come foiditi, quelle post-caldेरica e dell'attività eccentrica cadono ampiamente nel campo delle tefriti fonolitiche malgrado l'assenza del plagioclasio (Trigila *et al.*, 1995). Un motivo di questo comportamento anomalo può essere attribuito alla composizione del clinopirosseno, che ospita rilevanti quantità di molecola di Tschermak ($CaAl_2SiO_6$) chimicamente molto simile all'anortite. Infatti il piano di proiezione di lc-an nel sistema a sei componenti clinopirosseno-leucite-plagioclasio (Favale e Trigila, 1983) mostra come le rocce dei Colli Albani e del Vesuvio siano chiaramente distinguibili (Fig. 14) in base alle relazioni di fase previste dal sistema sperimentale a 1197°C.

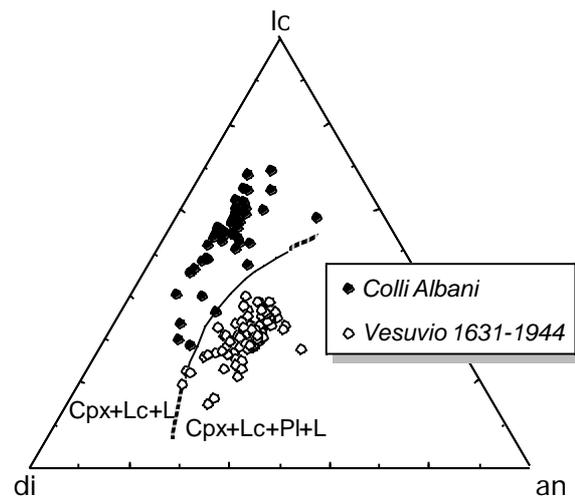


Fig. 14. Relazioni di fase a 1197°C nel sistema clinopirosseno-leucite-plagioclasio proiettate sul piano diopside - leucite - anortite (Favale e Trigila, 1983).

7.3. Le vulcaniti del Monte Vulture

Il Vulture è un vulcano composto di età quaternaria, localizzato da un punto di vista strutturale nell'avampaese adriatico. I prodotti eruttati hanno composizione variabile e sono generalmente fortemente sottosaturi con contenuti relativamente elevati in componenti volatili quali S e Cl. Essi sono stati classificati, essenzialmente su base madale, come fonoliti, trachiti fonolitiche, foiditi e tefriti (De Fino *et al.*, 1986). Nella Tab. 7 si confrontano la nomenclatura base tratta dal TAS, quella usata dagli Autori e la corrispondente nomenclatura derivata dalla procedura proposta per un gruppo selezionato di rocce, rappresentative delle varie fasi eruttive. Le informazioni modali sono state tratte da De Fino *et al.* (1986).

Tra le rocce del Vulture esiste una roccia foiditica molto particolare, dominata dalla presenza di haüyna che è nota nella letteratura geologica come *haüynofiro* (Bombicci, 1885; Johannsen, 1931; Zindler e Hart, 1986). Si tratta di una foidite per la quale è conveniente specificare la particolarità dovuta alla presenza dell'haüyna: essa quindi può essere denominata haüynite, in accordo anche con le indicazioni IUGS (Le Maitre, 1989) e con l'estensione della nomenclatura proposta nella Tab. 3 alle rocce con felspatioide diverso dalla leucite. E' tuttavia consigliabile mantenere anche il tradizionale nome di haüynofiro come termine aggiuntivo, data la sua notorietà nella letteratura geologica come litotipo esclusivo delle rocce del Vulture.

7.4. I laccoliti dell'Elba centrale e di M. Muffetto (Val Camonica-Val Trompia)

Si riportano di seguito due esempi tratti dal Progetto carte prototipali e relative alle masse subvulcaniche dell'Isola d'Elba e del M. Campione (sudalpino centrale).

L'isola d'Elba è caratterizzata nelle zone centrali da una serie di laccoliti multi-strato, intrusi a debole profondità (tra 2.8 e 0.8 km) nel Miocene superiore (circa 7-8 Ma). Queste masse subvulcaniche sono considerate in relazioni genetiche con il plutone del Monte Capanne (Elba occidentale) messo in posto nella parte più profonda della sequenza laccolitica, prima dell'ultima fase filoniana che

ha generato uno sciame di filoni relativamente basici a circa 6.8-7 Ma (sciame dei filoni di Orano; Dini, 1997). Le tessiture delle rocce ipoabissali sono piuttosto variabili. Si tratta generalmente di rocce porfiriche o macroporfiriche con masse fondamentali a grana variabile, da olocristallina fine a petroselciosa. In quest'ultimo caso l'aspetto microscopico della roccia è tipicamente vulcanico, mentre per le rocce a grana medio-fine risulta di tipo plutonico. Dal momento che nel loro insieme le rocce ignee elbane costituiscono un complesso plutonico-ipoabissale nel quale appare evidente la correlazione tra le masse plutoniche, il corteo filoniano ad essa direttamente legato e le masse subvulcaniche, si è deciso di utilizzare la nomenclatura plutonica che, tra l'altro, rispetta la tradizione della letteratura geologica regionale (Marinelli, 1955; Marinelli, 1959). La nomenclatura usata quindi è stata ricavata dall'applicazione del diagramma Q'-ANOR riportato in Fig. 15.

Nella zona di Monte Muffetto, tra la Val Camonica e la Val Trompia, esiste un sistema di laccoliti di età triassica, intrusi a bassa o bassissima profondità nelle unità del Verrucano e del Servino (Branciolini, 1996). Le tessiture sono sempre porfiriche con masse fondamentali a grana fine o molto fine di tipo vulcanico. Si tratta di rocce a diverso grado di evoluzione, generalmente con gradi di alterazione sensibili. Le paragenesi sono dominate dal plagioclasio, spesso saussuritizzato, anfibolo e biotite, variamente trasformati in clorite; frequente il quarzo con evidenti segni di riassorbimento. Le masse fondamentali sono quarzoso-feldspatiche, con sparsi ossidi e idrossidi di ferro. Tutti i campioni analizzati cadono nel campo alcalino del TAS (Fig. 16) e indicano un'associazione debolmente alcalina, in accordo anche con la mineralogia osservata che vede la diffusione sia di biotite che di anfibolo. Dal momento che l'intera associazione appare caratterizzata da un'evidente alterazione, come del resto sottolinea anche la presenza di piccole quantità di corindone normativo, sembra preferibile riferirsi alla classificazione delle rocce vulcaniche moderatamente alcaline, usando però la nomenclatura pertinente al grado gerarchico più elevato

Tab. 8 - Confronto tra le varie nomenclature per alcune rocce rappresentative del Monte Vulture

<i>campione</i>	<i>TAS</i>	<i>De Fino et al. (1986)</i>	<i>Questo lavoro</i>
621	foidite	melafoidite	foidite a haüyna (haüynofiro)
1513	tefrite	foidite	foidite a haüyna (haüynofiro)
1514	tefrite	foidite	foidite a haüyna (haüynofiro)
1523	foidite	haüynofiro	foidite a haüyna (haüynofiro)
1457	tefrite	foidite tefritica	tefrite fonolitica a haüyna
1447	tefrite fonolitica	foidite tefritica	tefrite fonolitica a haüyna
1507	tefrite fonolitica	foidite tefritica	tefrite fonolitica a haüyna e leucite
1520	tefrite fonolitica	tefrite	tefrite fonolitica a haüyna
1521	fonolite	fonolite	trachite a haüyna e leucite
1522	fonolite	trachite fonolitica	fonolite a haüyna
1602	fonolite	trachite fonolitica	trachite a haüyna

(trachibasalto-trachiandesite basaltica- trachiandesite - trachite) , senza cioè specificare l'eventuale originario carattere sodico o potassico, che probabilmente è stato modificato dai successivi processi secondari. In questo caso, qualora un approfondito studio geochimico che faccia uso soprattutto degli elementi immobili, permetta di rivelare in modo univoco il carattere primario si potrà passare ad una nomenclatura più precisa.

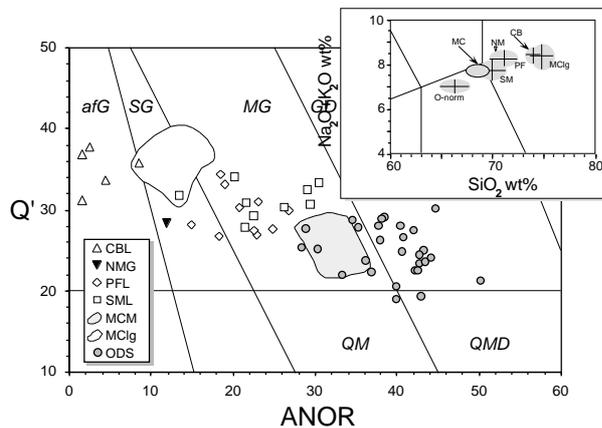


Fig. 15 - Diagramma classificativo Q-ANOR per le rocce subvulcaniche dell'Elba centrale (da Westerman *et al.*, 2000). Nel riquadro è riportato il TAS con le composizioni medie delle varie unità distinte. Come si vede la griglia classificativa del TAS non consente la distinzione più dettagliata effettuata attraverso Q'-ANOR.

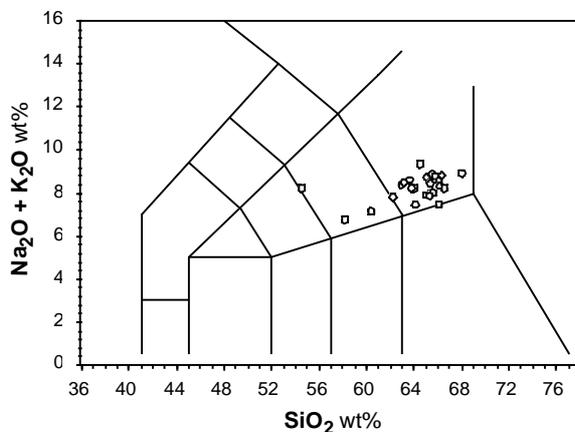


Fig. 16. Diagramma TAS per le rocce subvulcaniche di Monte Muffetto (da Cassinis e Zezza, 1982) e P. Armienti, dati non pubbl.

8. RIASSUNTO E CONCLUSIONI

Viene proposto uno schema classificativo per le rocce vulcaniche e subvulcaniche semplice e facilmente applicabile, che può essere utilmente usato nell'ambito del nuovo Progetto di Cartografia Geologica d'Italia. Tale schema è basato sulla caratterizzazione petrografica e chimica (elementi maggiori) delle rocce. L'analisi chimica è comunque raccomandata anche se non sempre strettamente indispensabile. Gli schemi classificativi

proposti sono riassunti nella Fig. 17. Essi sono stati applicati ad alcuni casi di associazioni vulcaniche e subvulcaniche, rilevanti per il progetto cartografico in corso.

RINGRAZIAMENTI

I suggerimenti di P. Comin Chiamonti, L. La Volpe, P. Manetti, R. Mazzuoli e G. Serri e la revisione critica di P. Armienti hanno permesso il miglioramento del manoscritto originale. Lavoro effettuato con contributo Programma carte Prototipali e MURST (40%).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Armienti, P., Barberi, F., Bizouard, H., Clocchiatti, R., Innocenti, F., Metrich, N., Rosi, M. e Sbrana, A., 1983. The Phlegraean Fields: magma evolution within a shallow chamber. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17: 289-311.
- Artini, E., 1941. *Le rocce*. Hoepli, Milano, 767 pp.
- Bombicci, L., 1885. *Corso di litologia*. Zanichelli, Bologna, 638 pp.
- Branciolini, L., 1996. Le geometrie dei corpi subvulcanici del Triassico medio nel Sudalpino centrale (Val Camonica-Val Trompia). *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Serie A*, 103: 173-179.
- Cassinis, G. e Zezza, U., 1982. dati geologici e petrografici sui prodotti del magmatismo triassico nelle Prealpi Bresciane. In: Castellarin, A. e Vai, G.B. (Ed.), *Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale*, 157-171.
- Coltelli, M., Garduño, V.H., Neri, M., G., P. e Pompilio, M., 1994. *Geology of northern Valle del Bove, Mt Etna (Sicily)*. *Acta Vulcanol.*, 5: 55-68.
- D'Antonio, M., Civetta, L., Orsi, G., Pappalardo, L., Piochi, M., Carandante, A., De Vita, S., Di Vito, M.A. e Isaia, R., 1999. The present state of the magmatic system of the campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behaviour in the oast 12 ka. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91: 247-268.
- Donnelly-Nolan, J.M., Champion, D.E., Grove, T.L., Baker, M.B., Taggart, J.E.Jr. e Bruggman, P.E., 1991. The Giant Crater lava field: geology and geochemistry of a compositionally zoned, high-alumina basalt to basaltic andesite eruption a Medicine Lake Volcano, California. *J. Geophys. Res.*, 96 (B13): 21843-21863.
- D'Orazio, M., Tonarini, S., Innocenti, F. e Pompilio, M., 1997. Northern Valle del Bove volcanic succession (Mt. Etna, Sicily): petrography, geochemistry and Sr-Nd isotope data. *Acta Vulcanol.*, 9: 73-86.
- De Fino, M., La Volpe, L., Peccerillo, A., Piccarreta, G. e Poli, G., 1986. Petrogenesis of Monte Vulture volcano (Italy): inferences from mineral chemistry, major and trace element data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92: 135-145.
- Dini, A., 1997. The Porphyritic Rocks ("Rocce Porfiriche") of the Island of Elba: *Geology*,

- Geochronology and Geochemistry. *Plinius*, 17: 130-136
- Favale, T. e Trigila, R., 1983. Risultati sperimentali nel sistema diopside-leucite-albite-anortite. *Rend. Soc. It. Mineral. Petrol.*, 38: 1413-1421.
- Foley, S.F., Venturelli, G., Green, D.H. e Toscani, L., 1987. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth Sci. Rev.*, 24: 81-134.
- Irvine, T.N. e Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523-548.
- Johannsen, A., 1931. A descriptive petrography of igneous rocks. University of Chicago Press, Chicago, 638 pp.
- Joron, J.L. e Treuil, M., 1984. Etude géochimique et pétrogénèse des laves de l'Etna, Sicile (Italie). *Bull. Volcanol.*, 47: 1125-1144.
- Kersting, A.B. e Arculus, R.J., 1994. Klyuchevskoy Volcano, Kamchatka: the role of high-flux recharged, tapped, and fractionated magma chamber(s) in the genesis of high-Al₂O₃ from high-MgO basalt. *J. Petrol.*, 35: 1-41.
- Kuno, H., 1966. Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs. *Bull. Volcanol.*, 29: 195-222.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. e Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali - silica diagram. *J. Petrol.*, 27: 745-750
- Le Bas, M.J., 1989. Nephelinitic and basanitic rocks. *J. Petrol.*, 30: 1299-1312.
- Le Bas, M.J., 2000. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *J. Petrol.*, 41 :1467-1470.
- Le Maitre, R.W., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms, 193 pp.
- Marinelli, G., 1955. Le rocce porfiriche dell'Isola d'Elba. *Atti Soc. Toscana Sc. Nat.*, LXII: 269-418.
- Marinelli, G., 1959. Le intrusioni terziarie dell'isola d'Elba. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. (Sere A)*, LXVI: 50-253.
- Middlemost, E.A.K., 1991. Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas. *Earth Sci. Rev.*, 31: 73-87.
- Mitchell, R.H. e Bergman, S.C., 1991. *Petrology of lamproites*. Plenum Press, New York, 447 pp.
- Mitchell, R.H., 1995. *Kimberlites, orangeites and related rocks*. Plenum Press, New York, 423 pp.
- Miyashiro, A., 1975. Volcanic rock series and tectonic setting. In: F. A. Donath, F.G.S., G. W. Wetherill (Ed.), *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Palo Alto, 251-269.
- Peccerillo, A. e Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of the Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81.
- Santacroce, R., Bertagnini, A., Civetta, L., Landi, P. e Sbrana, A., 1993. Eruptive Dynamics and Petrogenetic Processes in a Shallow magma Reservoir: the 1906 Eruption of Vesuvius. *J. Petrol.*, 34: 383-425.
- Streckeisen, A., 1978. IUGS Subcommittee on Systematics of Igneous Rocks. Classification and nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. Recommendations and suggestion. *N. Jb. Miner. Abh.*, 143: 1-14
- Streckeisen, A. e Le Maitre, R.W., 1979. A chemical approximation to the modal QAPF classification of igneous rocks. *N. Jb. Miner. Abh.*, 136: 169-206.
- Thornton, C.P. e Tuttle, O.F., 1960. Chemistry of igneous rocks: 1. Differentiation Index. *Amer. J. Sci.*, 258: 664-684.
- Trigila, R., Agosta, E., Currado, C., De Benedetti, A.A., Freda, C., Gaeta, M., Palladino, D.M. e Rosa, C., 1995. The Volcano of the Alban Hills - IV - Petrology. *The Volcano of the Alban Hills*, 95-165.
- Westerman, D.S., Dini, A., Innocenti, F. e Rocchi, S., 2000. Christmas trees in the shallow crust: the nested laccolith complex from Elba Island, Italy. *Geoscience2000*, Manchester (UK): 11.
- Woolley, A.R. e Kempe, D.R.C., 1989. Carbonatites: nomenclature, average chemical composition, and element distribution. In: Fitton, J.G. e Upton, B.G.J. (Ed.), *Carbonatites: genesis and evolution*, Unwin Hyman, London, 1-14.
- Woolley, A.R., Bergman, S.C., Edgar, A.D., Le Bas, M.J., Mitchell, R.H., Rock, N.M.S. e Scott Smith, B.H., 1996. Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites and the kalsilitic, melilitic, and leucititic rocks. *Can. Mineral.*, 34: 175-186.
- Yanev, Y. e Andreev, A.A., 2000. A proposal for classification of the acid volcanics based on the Total Alkali-Silica (TAS) diagram. *Comptes Rendues de l'Académie Bulgarene des Sciences*, 53: 59-62.
- Zindler, A. e Hart, S., 1986. Chemical geodynamics. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 14: 493-571.