



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze

Direttore Prof.ssa Cristina Stefani

TESI DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE GEOLOGICHE

**GEOCHIMICA E MINERALOGIA DELLE TRACHITI E
FONOLITI DEL VULCANO SIROUA, MAROCCO**

Relatore: Prof. Andrea Marzoli

Laureanda: Gloria Olivotto

ANNO ACCADEMICO: 2012/2013

Indice

INTRODUZIONE	pag. 4
CAPITOLO 1: ANALISI AL MICROSCOPIO POLARIZZATORE	pag. 6
CAPITOLO 2: ANALISI IN FLUORESCENZA A RAGGI X	pag. 7
CAPITOLO 3: ANALISI IN MICROSONDA ELETTRONICA	pag. 9
CONCLUSIONI	pag. 20
BIBLIOGRAFIA	pag. 21

INTRODUZIONE

Il complesso vulcanico di Siroua copre un' area di 600 km^2 ed è situato nella porzione centrale del dominio dell' Anti Atlante.

Le manifestazioni vulcaniche alcaline che lo hanno sviluppato appartengono ai periodi del Neogene e del Quaternario, depositate durante movimenti attribuiti alla collisione e alla convergenza della Placca Africana con l' Europa.

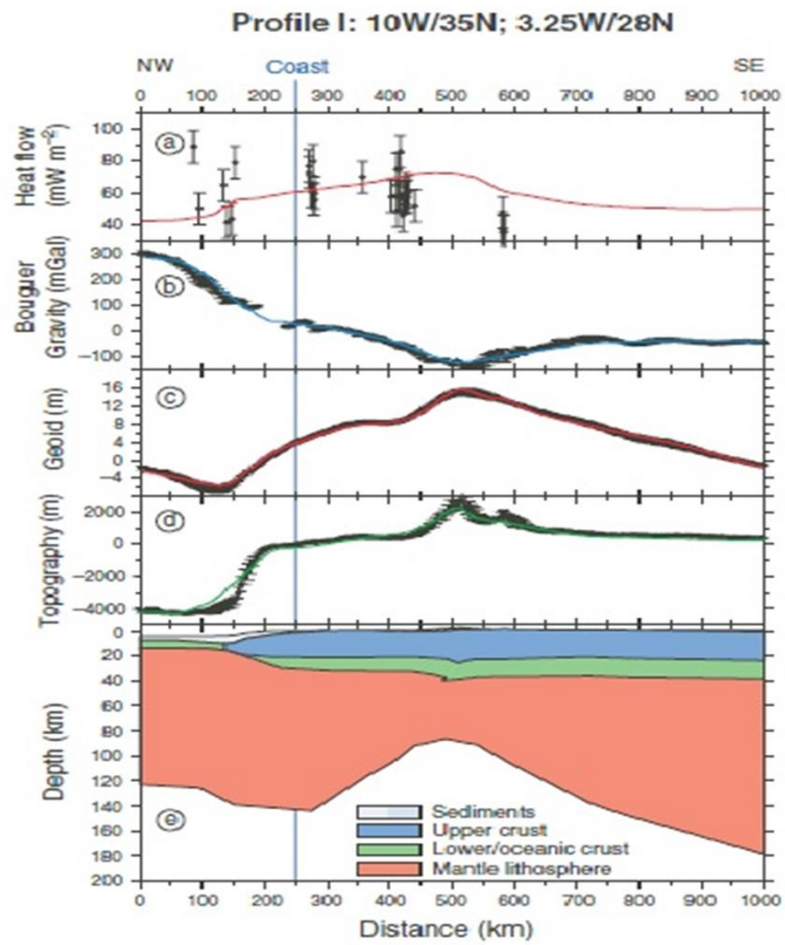
Il distretto è situato lungo un prolungamento di una zona di faglia durante l' apertura dell' Oceano Atlantico, una zona quindi estensiva causata dalla fratturazione della crosta continentale che ha permesso la risalita magmatica.

La composizione delle rocce che costituiscono l' apparato vulcanico è principalmente di natura trachitica e fonolitica a carattere alcalino fino a un carattere più basico nella fase terminale.

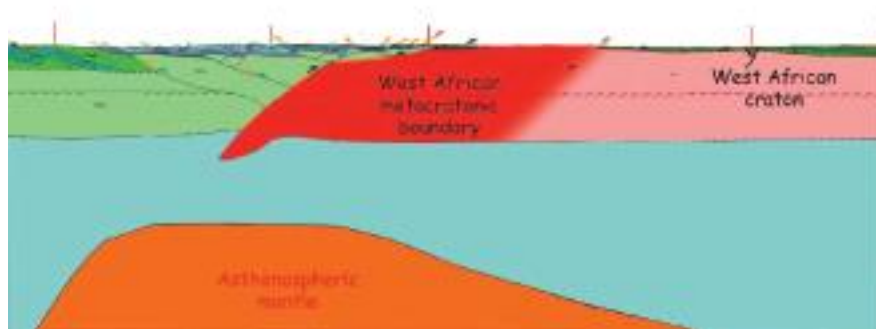
Gli studi hanno permesso di individuare tre grandi periodi di attività vulcanica: la prima è compresa tra 11-10 Ma ed è caratterizzata da tufi micacei e messa in posto di isolati duomi fonolitici. Dopo un lungo periodo di stasi riprende l' attività vulcanica con la seconda fase tra 8-6,5 Ma dove si impostano ignimbriti e trachiti nefelinifere.

Infine la terza e ultima fase riprende tra 6-3 Ma ed è caratterizzata da trachiti, trachiandesiti e fonoliti.

Da studi tettonici e gravimetrici (Burkhard et al., 2006; Ayarza et al., 2005) si denota che la discontinuità (crosta-mantello) Moho si trova, nell' area dell' Anti-Atlante (Marocco) , a profondità di circa 30 Km, e che la catena dell'Atlante non si troverebbe in equilibrio isostatico con il mantello facendo così ipotizzare l'esistenza di una risalita astenosferica. La litosfera cratonica nord-africana di norma spessa 160-180 km, in quest' area si assottiglia fino a raggiungere spessori di 80 km.



(Seber et al., 1996)



(after Frizon de Lamotte et al., 2004)

1. ANALISI AL MICROSCOPIO POLARIZZATORE

Sono state analizzate in dettaglio al microscopio ottico alcune sezioni appartenenti alla serie vulcanica di Siroua.

LS2

La roccia presenta struttura porfirica; i fenocristalli sono costituiti prevalentemente da feldspati quali sanidino e anortoclasio e clinopirosseni e fenocristalli di pirosseni e anfiboli. Sono presenti biotiti piuttosto zonate con bordo molto evidente e geminati di feldspati, ossidi, titaniti e pirosseni sodici riconoscibili per la birifrangenza più alta ai bordi data dall'alto contenuto di ferro e per la frattura irregolare e l'alterazione lungo le fratture. La matrice è costituita prevalentemente da feldspati.

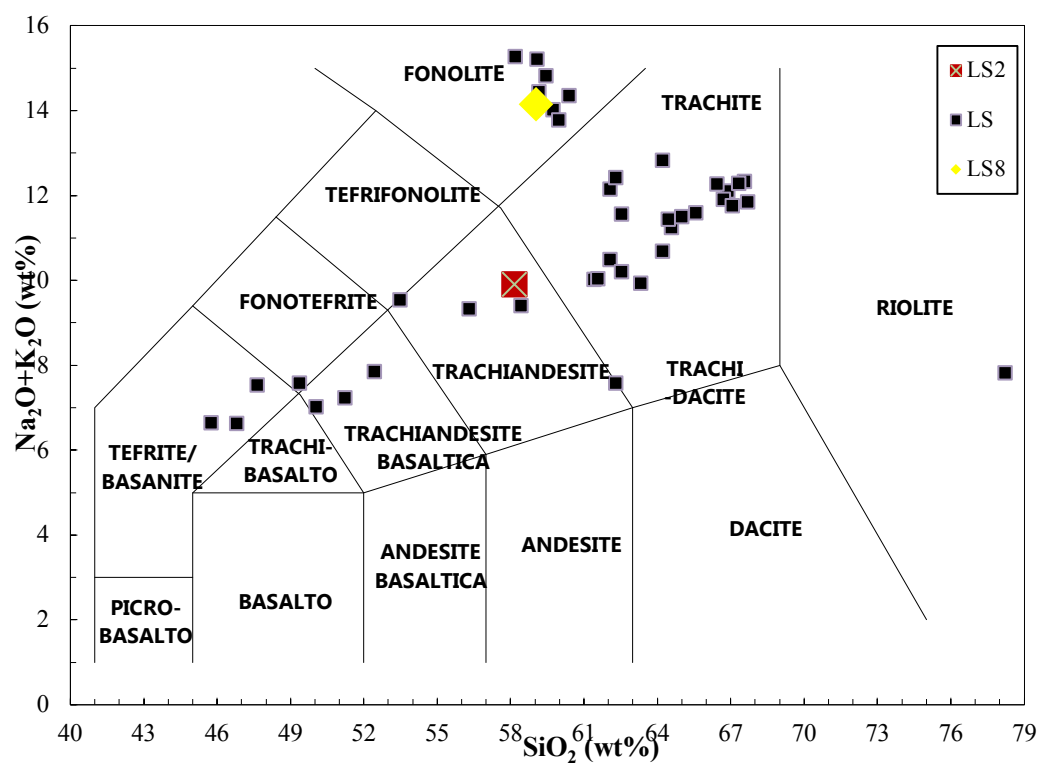
LS8

La roccia presenta struttura porfirica; come visto nella sezione precedente anche qui sono prevalenti i fenocristalli di sanidino e anortoclasio come per la pasta di fondo, al contrario della sezione precedente, qui, troviamo cristalli del feldspatoide noseana che si presentano con l'evidente bordo, sparsi in tutta la sezione a indicare una composizione più alcalina.

2. ANALISI IN FLUORESCENZA A RAGGI X

I campioni appartenenti alla successione vulcanica del Siroua sono stati analizzati tramite il metodo della fluorescenza a raggi X. La roccia da analizzare viene investita da una radiazione X e a sua volta diventa il centro di diffusione di una radiazione X di fluorescenza composta da tutte le lunghezze d'onda caratteristiche degli elementi costituenti i campioni stessi. Tramite questo metodo si analizzano volumi relativamente grandi di materia, si ottiene quindi un'analisi media dei campioni.

Sono state effettuate analisi spettrometriche sulle sezioni appartenenti alla serie vulcanica di Siroua. Il diagramma classificativo TAS mette in relazione il contenuto in percentuale in peso di SiO_2 con quello in elementi alcalini ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) in percentuale in peso, e rappresenta una classificazione complessiva delle rocce appartenenti alle diverse fasi di eruzione del vulcano. Si riscontra un arricchimento di alcali e silice durante le fasi di differenziazione magmatica e quindi in rocce più evolute.



Le sezioni LS2 e LS8 analizzate in dettaglio alla microsonda sono quindi risultate essere la prima una trachi-andesite, mentre la seconda una fonolite più ricca in alcali. Si presentano entrambe come rocce intermedie alcaline.

3. ANALISI IN MICROSONDA ELETTRONICA

La microsonda elettronica è uno strumento analitico che permette di determinare la composizione chimica dei minerali anche di piccole porzioni di materiale.

Il suo principio di funzionamento è basato sull'emissione di radiazioni caratteristiche da parte dei costituenti chimici, in seguito al bombardamento di elettroni ad alta energia sul campione da analizzare.

Il cristallo da esaminare che viene colpito da un fascio accelerato di elettroni, emette a sua volta un fascio policromatico di raggi composto dalle lunghezze d'onda caratteristiche degli elementi chimici che costituiscono la sostanza colpita. È possibile riconoscere gli elementi chimici presenti e la relativa % in peso scomponendo il fascio e analizzando le singole lunghezze d'onda.

Lo strumento permette un'analisi quantitativa che consiste nel distinguere gli elementi chimici presenti e ricavarne le abbondanze relative. Le analisi vengono ottenute tramite l'aiuto di uno standard a composizione nota per ogni elemento, affinché siano paragonabili tra loro le analisi effettuate con modalità differenti. Per ogni elemento si esegue l'analisi dello standard a composizione nota Cs e si misurano gli impulsi Is che giungono al contatore; allo stesso modo si esegue poi l'analisi del campione a composizione incognita Cc e si misurano i relativi impulsi Ic che arrivano al contatore. Dalla proporzione $I_s/I_c = C_s/C_c$ possiamo quindi trovare Cc. Le analisi a microsonda sono puntuali poiché le misurazioni comprendono un'area di pochi μ^2 , possiamo quindi evidenziare le variazioni di chimismo nei singoli cristalli e seguire l'eventuale andamento delle zonature all'interno.

I campioni da analizzare vengono predisposti in sezioni sottili in modo da essere osservabili anche in luce trasmessa e devono avere la superficie perfettamente piana e lucida affinché il fascio di elettroni colpendo la superficie, non subirà deviazioni o particolari assorbimenti causati dalla rugosità del piano che porterebbe a una cattiva analisi.

La tecnica usata per la preparazione dei campioni consiste nell'inglobare il campione di minerale in resina; una volta solidificato viene tagliato e lucidato fino al raggiungimento di $0,25 \mu$. Il campione viene poi ridotto a sezione sottile incollando la superficie già lucidata a un vetrino e consumando dalla parte opposta fino al raggiungimento dello spessore desiderato di circa 30μ .

I campioni LS2 e LS8 sono stati analizzati tramite la microsonda elettronica.

Per la sezione LS2 sono stati analizzati tre fenocristalli di clinopirosseno, due di anfibolo e due di plagioclasio, mentre per la sezione LS8 sono stati analizzati due fenocristalli di clinopirosseno, uno di anfibolo e due fenocristalli di feldspato.

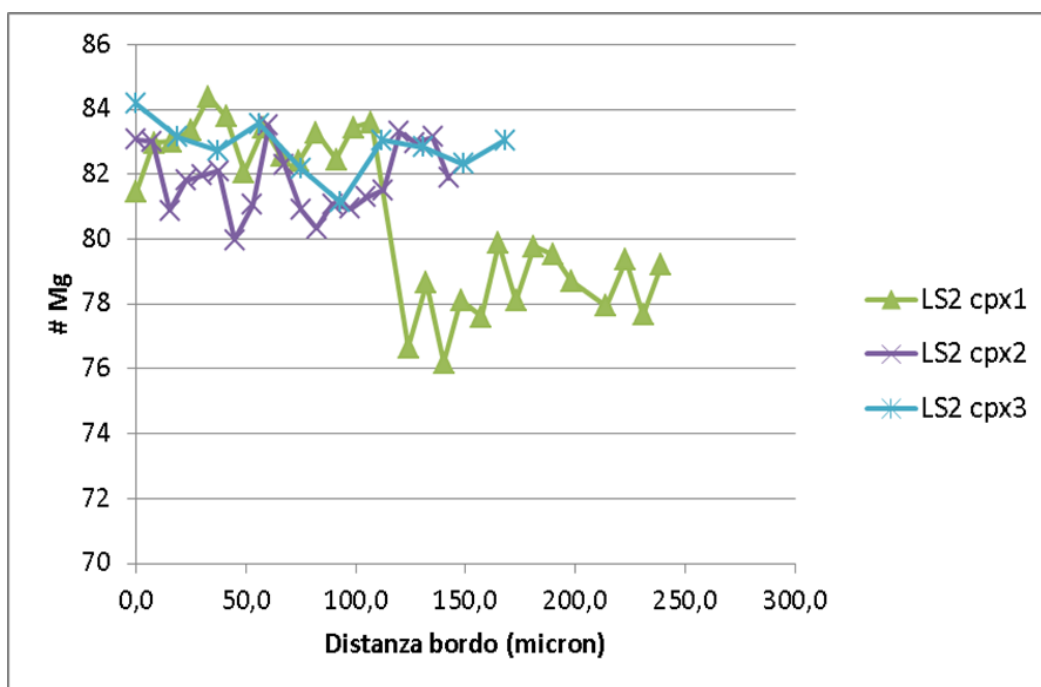


Figura 1

Il grafico in figura 1 mette in relazione il n° di Mg, ovvero il rapporto $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$ (in atomi), con le analisi eseguite ad una distanza dal bordo della sezione (in micrometri) via via crescente.

Nella sezione LS2 il primo pirosseno presenta una zonatura inversa; si nota infatti che il contenuto di Mg vicino al bordo è maggiore e verso il nucleo del cristallo diminuisce. Il contenuto di Mg nei fenocristalli è legato alla natura del magma; questo sta a significare che il magma da cui ha cristallizzato la parte esterna del minerale è più basico rispetto al magma da cui ha cristallizzato il nucleo.

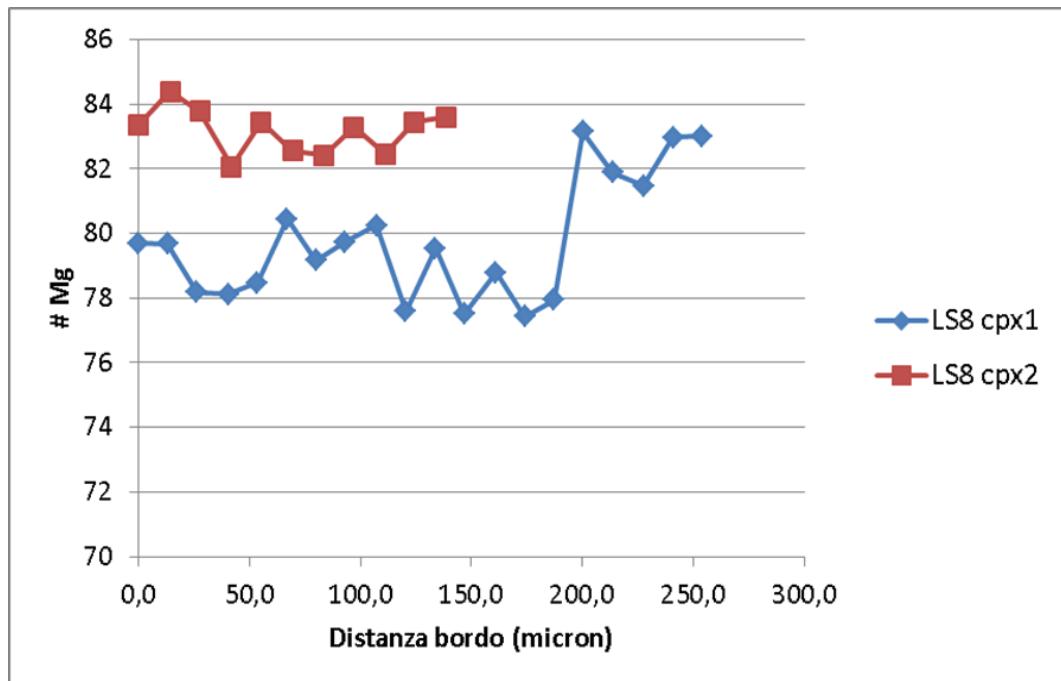


Figura 2

Nella sezione LS8 i due pirosseni mostrano un andamento piuttosto uniforme del contenuto di Mg; ad eccezione di una piccola zonatura nel primo cristallo dove la concentrazione di Mg aumenta verso il nucleo.

Per i due campioni sono state calcolate le Temperature (°C) e le Pressioni (kbar) di cristallizzazione dei clinopirosseni.

Per la trachi-andesite LS2 è stata rilevata una T media tra i 1100 – 1200 °C e una P media che si aggira intorno ai 5 – 6,5 kbar. Questo indica che la roccia ha cristallizzato all' interno di una camera magmatica ad una profondità di circa 15 Km.

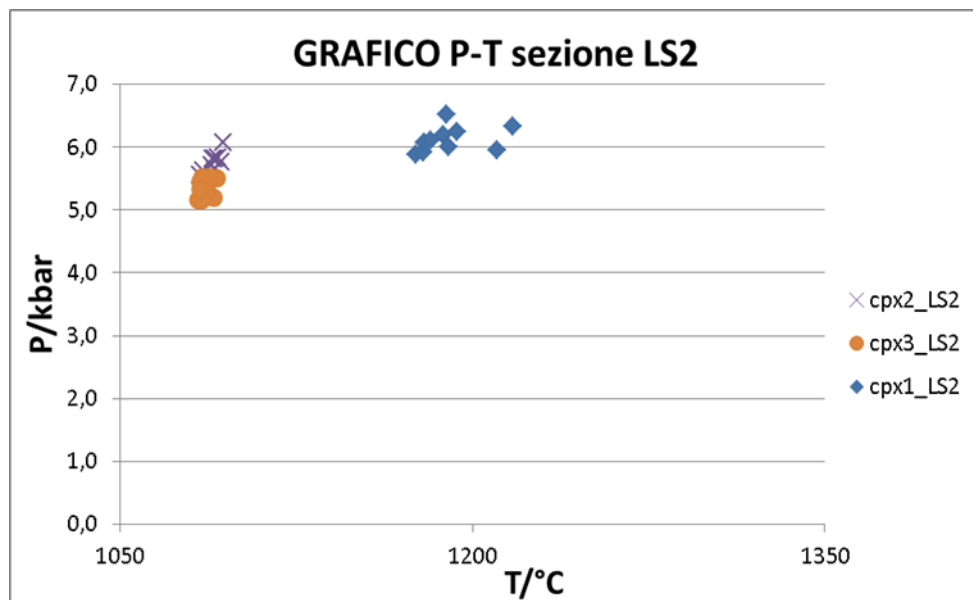


Figura 3

Per la sezione LS8 i due clinopirosseni mostrano temperature e pressioni di cristallizzazione differenti.

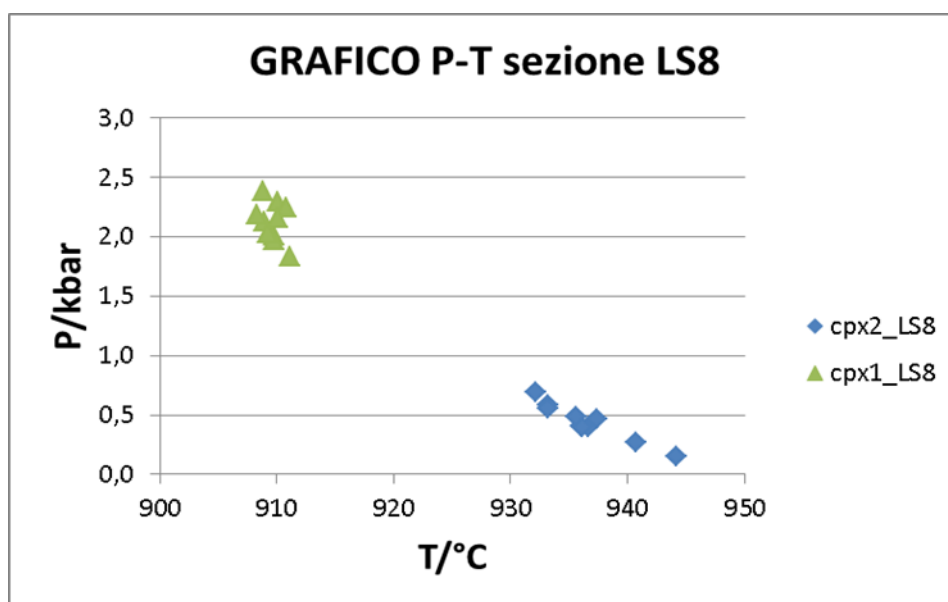


Figura 4

Il primo cristallo ha una temperatura di circa 910 °C e una pressione tra i 2 – 2,5 kbar, il cpx 2 invece ha una t tra i 930-940 °C e una pressione minore di 0,5 kbar. Sono stati ritenuti più credibili i valori del cpx1 visto che il cpx2 presenta una zonatura quindi i valori non sono attendibili.

Si osserva quindi che la temperatura di cristallizzazione per la trachi-andesite LS2 è in media tra i 1100 – 1200 °C e ha una pressione tra i 4,5 – 7 kbar, valori nettamente maggiori rispetto alla fonolite LS8 che ha cristallizzato ha temperature attorno ai 900 °C e a pressioni tra 0- 2,5 kbar.

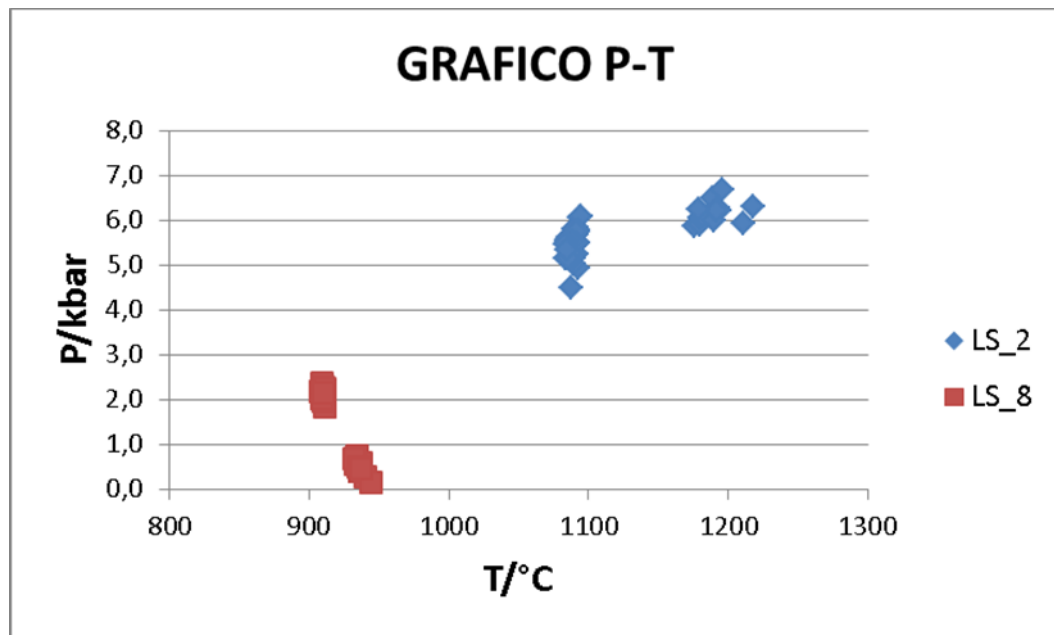


Figura 5

Nel complesso la trachi-andesite LS2 ha cristallizzato più in profondità rispetto alla fonolite LS8, ma sempre a profondità decisamente sotto i 30 Km e quindi al di sopra del limite tra la crosta e il mantello (MOHO).

Si osserva che i clinopirosseni nella trachi-andesite LS2 presentano verso il bordo un contenuto di Mg più elevato rispetto il nucleo, quindi il magma da cui ha cristallizzato la parte esterna è più basico e via via più acido spostandosi nella parte centrale. La spiegazione è data da una possibile risalita di un magma più basico.

Nella fonolite LS8 il magma da cui ha cristallizzato la parte centrale è più basico rispetto il magma da cui ha cristallizzato la parte esterna.

Il contenuto di Mg in entrambe le sezioni non è elevato, questo indica che le rocce in questione analizzate sono poco evolute e che le camere magmatiche dove hanno cristallizzato sono localizzate nella crosta intermedia-superiore. La zonatura dei cristalli indica che fosse un sistema magmatico attivo, caratterizzato quindi dalla risalita di magma a composizione differente.

Sono stati effettuati sui clinopirosseni delle due sezioni, grafici di equilibrio minerale/roccia. Più i valori si avvicinano alla linea di equilibrio e più il minerale è in equilibrio. Si è riscontrato che i cpx1 di entrambe le sezioni danno valori di temperatura e pressione anomali rispetto agli altri clinopirosseni. Questo può indicare che si sono formati durante un'alterazione dell'ambiente magmatico, dovuto probabilmente alla risalita di un magma di diversa composizione che ha alterato l'equilibrio dei minerali.

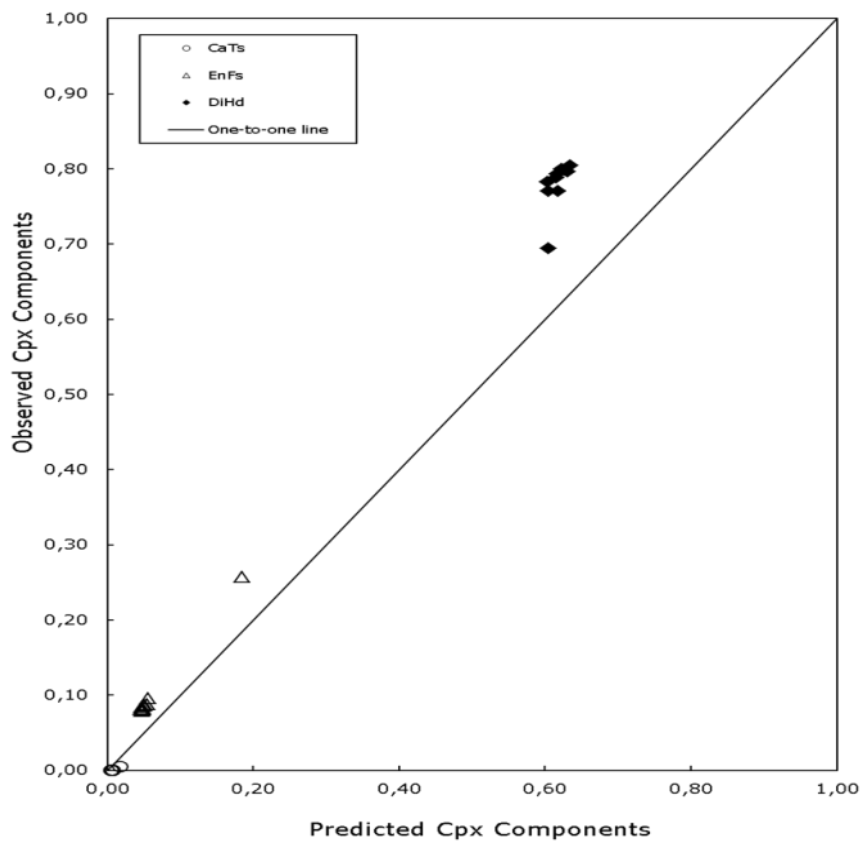


Figura 6 cpx1_LS2

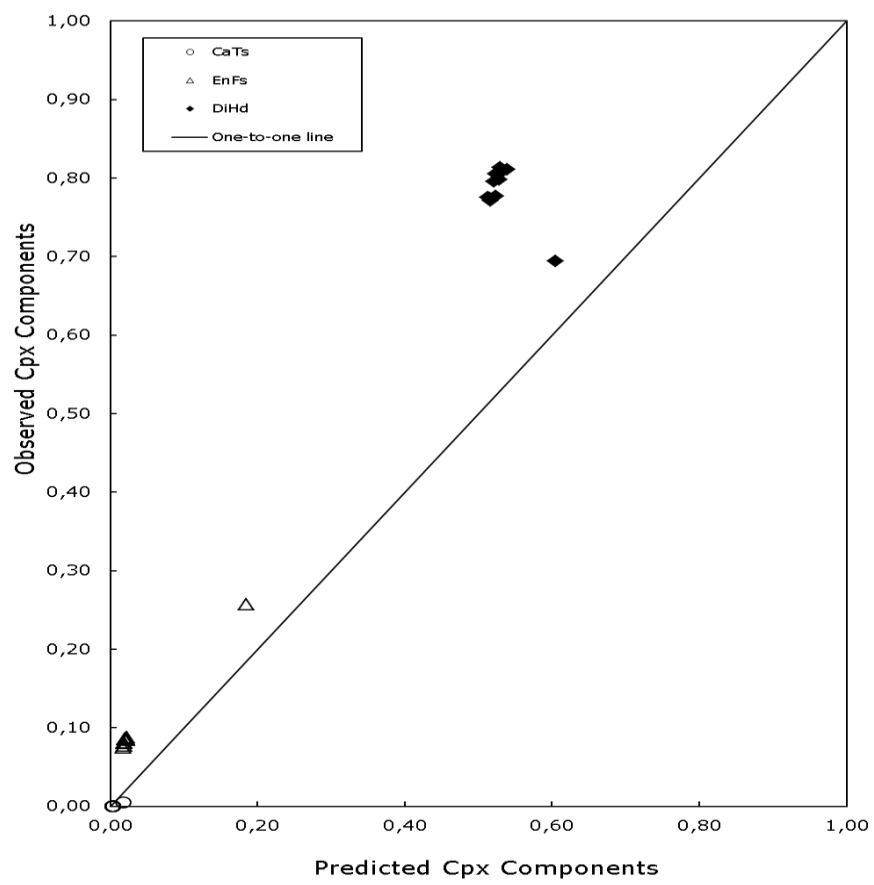


Figura 7 cpx1_LS8

Per entrambe le sezioni sono stati analizzati cristalli di anfibolo. Questi anfiboli sono stati classificati come hastingsiti (LS8) e kaersutiti (LS2).

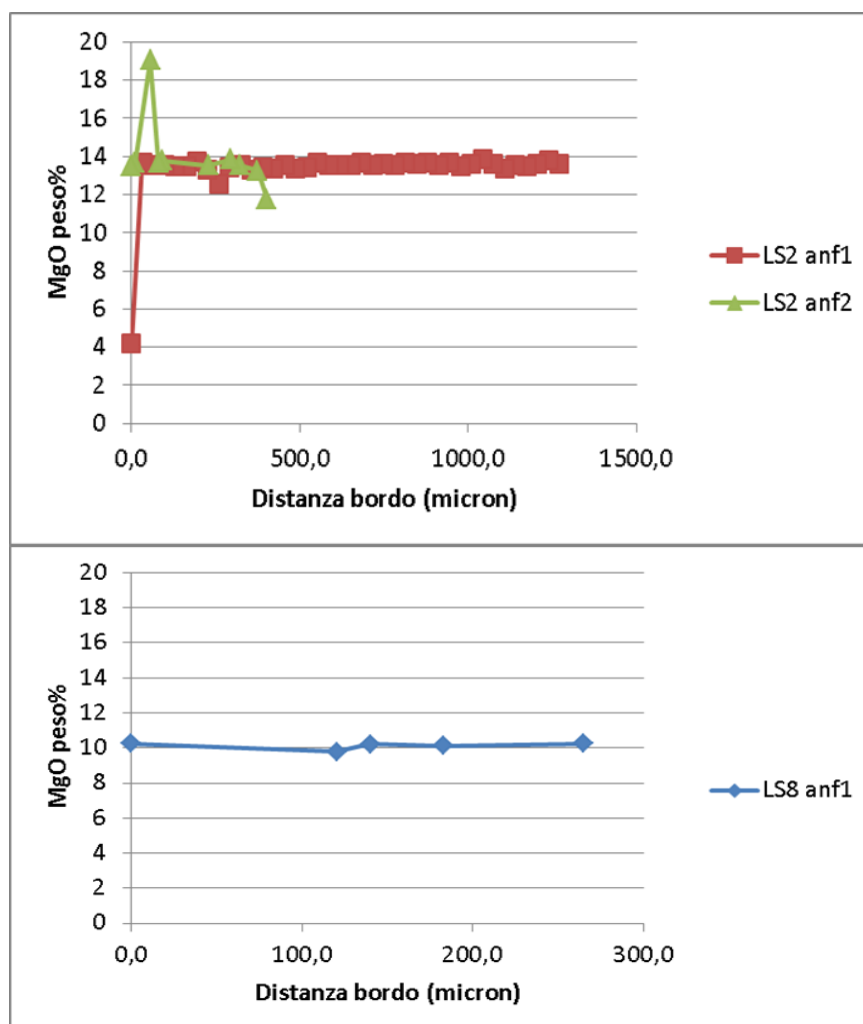


Figura 8

Nella trachi-andesite LS2 la percentuale in peso di Mg aumenta quasi subito per poi stabilizzarsi; nel secondo cristallo la percentuale in peso di Mg, già maggiore rispetto al primo cristallo, ha anch'esso un picco vicino al bordo per poi ritornare alla percentuale iniziale. Nella fonolite LS8 è stato analizzato un solo anfibolo che presenta una diminuzione della percentuale in peso per poi ritornare ai valori iniziali.

Nonostante il valore iniziale del primo cristallo nella LS2, i valori di percentuale in peso di Mg negli anfiboli della trachi-andesite appaiono leggermente maggiori

rispetto alla fonolite LS8; i cristalli nella sezione LS2 quindi risultano più basici rispetto a quelli in LS8, ciò vuol dire che hanno cristallizzato più in profondità.

Sono state calcolate le pressioni di cristallizzazione degli anfiboli. Considerando il geobarometro di Schmidt per esempio sono state calcolate pressioni di cristallizzazione che variano fra ca. 5 e 6 kbar per entrambi i campioni, LS2 e LS8.

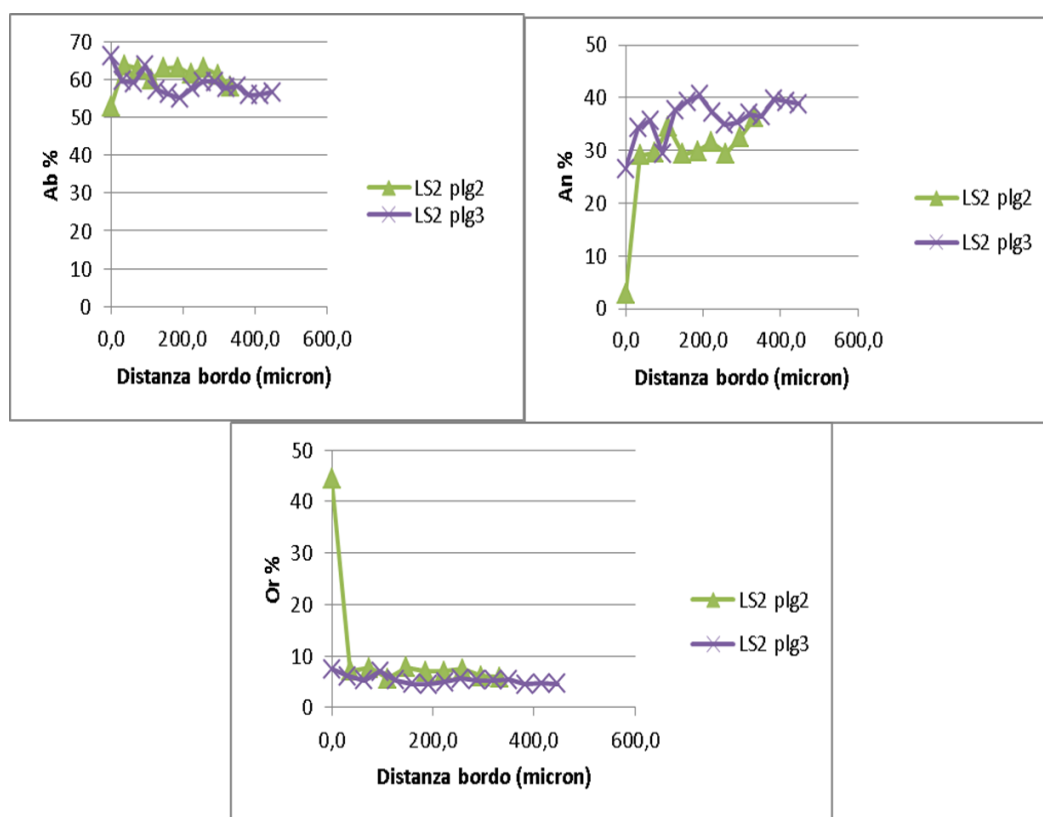


Figura 9

Per la trachite LS2 sono stati analizzati due fenocristalli di plagioclasio. I grafici in Fig. 7 mostrano le percentuali in peso di Albite, Anortite e Ortosoclasio.

Il plg2 della sezione LS2 mostra un valore molto basso nel contenuto di anortite nel bordo per poi aumentare progressivamente verso il nucleo fino a una concentrazione di anortite pari a 40%; questo indica la presenza di una andesina che con una progressiva diminuzione nella concentrazione di anortite e quindi di calcio ha portato la formazione al bordo di un feldspato alcalino.

Il plg3 ha valori di concentrazione di anortite e albite tipica di un'andesina.

La diminuzione di calcio verso il bordo che si nota per il cristallo plg2 indica un aumento della acidità, quindi il magma da cui ha cristallizzato il nucleo è più basico rispetto al magma da cui ha cristallizzato il bordo.

Nel plg3 notiamo dal nucleo una progressiva diminuzione nella concentrazione di anortite interrotta da un picco dove la percentuale di anortite aumenta ma di molto poco.

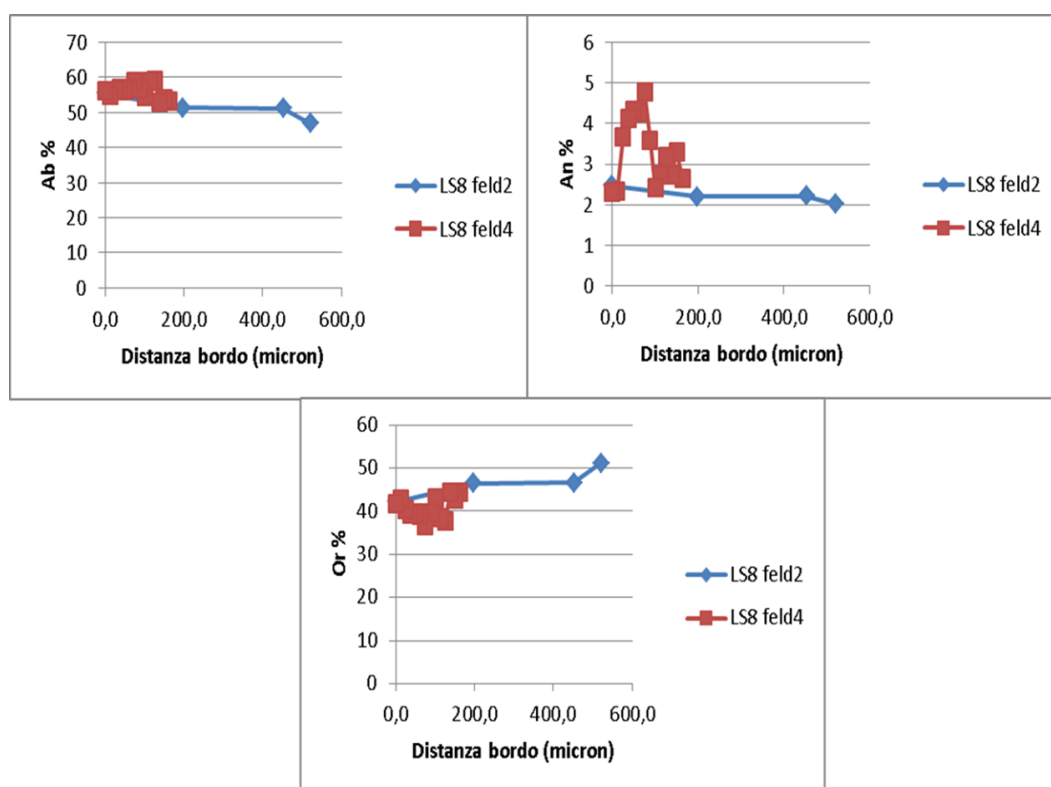


Figura 10

Per la fonolite LS8 sono stati analizzati due fenocristalli di feldspato. Entrambi i cristalli risultano omogenei (sanidini).

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato analizzato il chimismo di rocce appartenenti al distretto vulcanico Siroua nel Marocco meridionale.

I campioni studiati che compongono la serie magmatica derivano da un magma alcalino, prodotto per bassi gradi di fusione.

Attraverso l'analisi dei minerali costituenti le sezioni, si è potuto rilevare la presenza di zonature inverse e un aumento di basicità del bordo dei cristalli rispetto al nucleo, fattori che presuppongono la risalita di un magma più basico all'interno della camera magmatica con conseguente mescolamento di magmi di diversa composizione.

Calcolando le temperature e le pressioni di cristallizzazione dei clinopirosseni si è osservato come i minerali abbiano cristallizzato a profondità di massimo 15 km e quindi all'interno della crosta intermedia superiore.

Basandoci sulla teoria della risalita di un magma più basico, possiamo quindi ipotizzare che le sezioni analizzate siano parte della terza e ultima fase eruttiva del Siroua risultante a carattere più basico.

BIBLIOGRAFIA

Royaume du Maroc, Ministère de l' énergie et des mines Direction de la Géologie, Carte Géologique du Maroc au 1/50000, Mémoire explicatif de la feuille Sirwa, Editions du service géologique du Maroc Rabat, 2000

Martin Burkhard, Séverine Caritg, Urs Helg, Charles Robert-charrue, Abderrahmane Soulaïmani, Tectonics of the Anti-Atlas of Morocco, 2006

Antonio Teixell, Puy Ayarza, Hermann Zeyen, Manel Fernandez and Maria-Luisa Arboleya, Effects of mantle upwelling in a compressional setting: the Atlas Mountains of Morocco, 2005

Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Frizon de Lamotte D. (Eds.), Continental Evolution: the Geology of Morocco (Structure, Stratigraphy and Tectonics of Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction)

Klein, Mineralogia, Zanichelli

White W.M., Geochemistry

*Alla mia famiglia e a Davide,
per essermi sempre stati vicino e
per avermi incoraggiata
Ai miei nonni,
che avrebbero voluto essere presenti
Ai miei amici tutti che mi sono stati affianco
Al mio relatore Andrea Marzoli,
per essere sempre stato disponibile e paziente,*

Grazie