

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

Studio petrografico delle vulcaniti del  
Gruppo Vulcanico Atesino  
nell'area a Nord di Bolzano

Candidato:  
Sig. Pacenti Lorenzo

Relatore:  
Prof. Gasparotto Giorgio

---

Sessione Marzo 2017  
Anno Accademico 2015-2016

## INDICE

I.	Introduzione	Pagina 1
II.	Inquadramento geologico	Pagina 2
III.	Analisi stratigrafica	Pagina 4
IV.	Metodi di analisi	Pagina 9
V.	Studio Petrografico	Pagina 11
VI.	Analisi geochimiche	Pagina 22
VII.	Conclusioni	Pagina 25
VIII.	Bibliografia	Pagina 26

## INTRODUZIONE

Il lavoro di questa tesina consiste nello studio ottico-petrografico e geochimico di venti campioni di vulcaniti permiane appartenenti al Gruppo Vulcanico Atesino (GVA).

Diciotto di queste ricadono nella porzione nord orientale del Foglio 27 Bolzano e due nell'adiacente Foglio 14 Bressanone. I campioni sono stati raccolti durante le campagne di rilevamento effettuate per il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano dal Dott. Geol. Corrado Morelli e dal Dott. Gianluca Piccin.

Lo studio geologico svolto sul terreno ha consentito ai rilevatori di effettuare la ricostruzione dello schema della successione degli eventi vulcanici.

Il lavoro sperimentale è consistito nello studio petrografico in sezione sottile e geochimico per mezzo di analisi XRF (fluorescenza a raggi X) dei campioni, con lo scopo di ottenere un'analisi precisa e una classificazione dei litotipi. I campioni provengono dalla successione del Gruppo Vulcanico Atesino (GA), una successione vulcano-sedimentaria messa in posto in un ambiente fortemente controllato dalla tettonica. Essa costituisce il più importante sistema vulcanico delle Alpi meridionali che affiora da Trento a Bolzano, ed è delimitata a nordovest dal Lineamento Periadratico e a sudest dalla Linea della Valsugana per un'area di oltre 2'000 km<sup>2</sup>. L'area studiata è compresa tra la Val d'Isarco e la Val di Funes. In quest'area le sequenze affiorano in maniera discontinua e non sempre è visibile la base sul basamento metamorfico. Lo studio si focalizza sulla Formazione di Isarco (ISR) di Campodazzo (CDZ), e di Ora (ORA). ISR è una formazione ignimbratica che affiora solo nella parte più bassa della Val d'Isarco in una ristretta zona tra Campodazzo e Passo di Fiè, con uno spessore di circa 100 metri. CDZ sono lave da andesitiche fino a dacitiche presenti in Val d'Isarco, alla base della successione vulcanica. In alcune zone le lave andesitiche passano verso l'alto a facies ignimbratiche (CDZa). La Formazione di Fiè è un'unità ignimbratica riodacitica che chiude la sequenza iniziale nel settore nordorientale del GVA. Essa affiora nella zona centrale della Val d'Isarco tra la confluenza con il rio di Tisana a nord e Prato Isarco a sud e ricopre la Formazione di Campodazzo. Sono presenti anche campioni della Formazione del Gargazzone (IGG) e della Formazione di Ora (ORA) che chiude la successione vulcanica ma i cui campioni risultano mancanti nella collocazione sullo schema stratigrafico.

La sequenza vulcanica è compresa tra due discordanze di primo ordine: quella inferiore sul basamento metamorfico Varisico Sudalpino, mentre quella superiore con i depositi clastici continentali permiani caratterizzati dalla base erosiva delle facies conglomeratiche che costituiscono le Arenarie della Val Gardena (AVG).

Escludendo due campioni di arenaria, lo studio e la classificazione geochimica dei prodotti vulcanici hanno evidenziato che tutti i campioni presentano composizioni subalcaline di carattere dacitico, riolitico/ riodacitico. Un solo campione è risultato essere un'andesite.

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio presa in esame per le campagne di rilevamento effettuate dal Dott. Morelli per il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano è situata nelle Alpi Orientali, in Val d'Isarco e in Val di Funes, nell'omonima provincia (Fig. 1).

Da un punto di vista geologico la catena alpina è una catena a doppia vergenza in cui si riconoscono le Alpi in senso stretto, con falde propagatesi verso NW (vergenza europea) e composte da tre unità traslate l'una sull'altra: Austroalpino, Pennidico ed Elvetico. Le Alpi Meridionali invece costituiscono il dominio Sudalpino, le falde hanno direzione S e sono composte da un basamento metamorfico e da rocce prevalentemente carbonatiche. (Bosellini, 2005). Le Alpi s.s. e le Alpi Meridionali sono in contatto mediante il Lineamento Periadratico, un sistema di faglie regionali subverticali con direzione est-ovest. Rappresenta la linea di sutura tra la Placca Africana e quella Europea in subduzione e si è originato in seguito alla chiusura dell'Oceano Tetide che provocò la collisione delle due placche litosferiche.

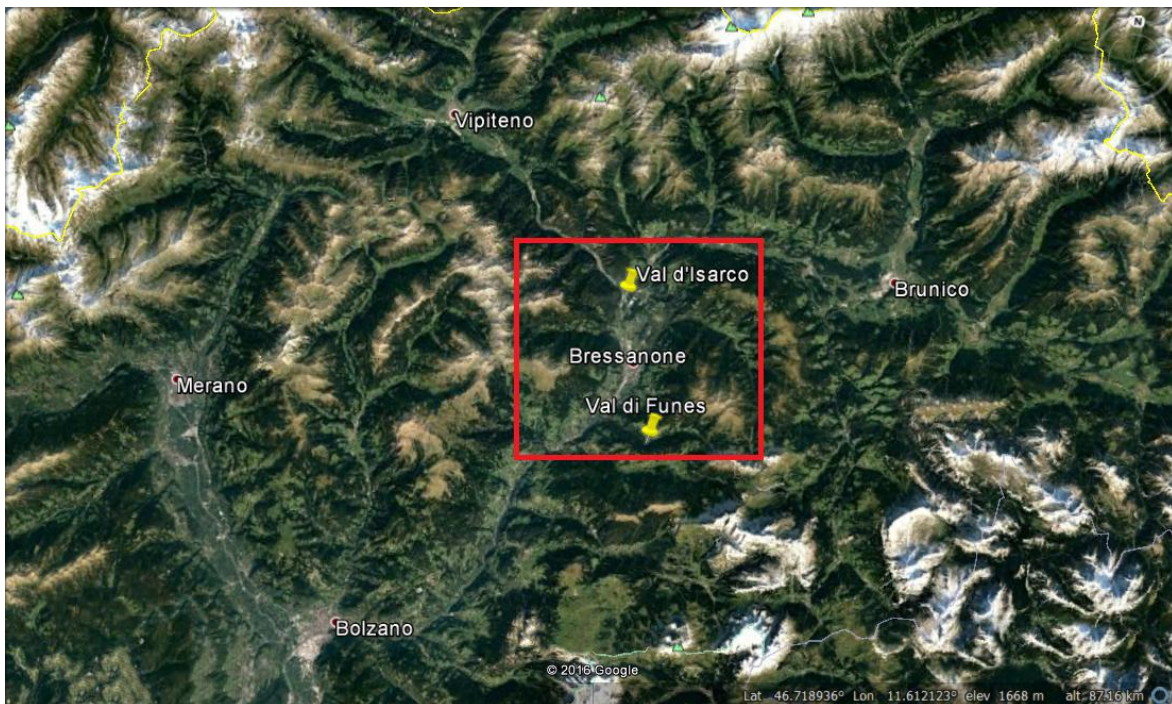


Fig. 1: L'area di studio, i campioni provengono dalle aree evidenziate in rosso.

I campioni appartengono al Gruppo Vulcanico Atesino (GVA), una potente successione di ignimbriti, lave e depositi piroclastici dovuti sia a vulcanesimo di tipo esplosivo che effusivo e depositata nel Permiano, in un intervallo di tempo compreso tra 290 e 274 milioni di anni. Il GVA costituisce il maggiore sistema vulcanico delle Alpi Meridionali e affiora da Trento a Bolzano occupando una superficie di più di 2000 km<sup>2</sup>. Secondo l'ipotesi più accreditata, l'attività magmatica si originò in un contesto tettonico transtensivo con lo sviluppo di bacini delimitati da faglie trascorrenti destre, che condizionò la risalita e messa in posto dei magmi durante le fasi successive ai principali eventi orogenici ercinici

(AA.VV, 2013; Avanzini et al., 2010; Bosellini, 2005). Questi magmi rappresentano il prodotto del magmatismo calc-alcantino permiano nelle Alpi Meridionali.

La sequenza vulcanica è compresa tra due discordanze di primo ordine: quella inferiore sul basamento Metamorfico Varisico Sudalpino e quella superiore con depositi clastici continentali permiani (Arenaria di Val Gardena). I rilevamenti dei fogli CARG “Appiano”, “Merano”, “Mezzolombardo”, “Trento” e “Bolzano” hanno permesso di riconoscere la presenza di collassi calderici progressivi, più recenti nelle zone centrali. Questi sprofondamenti successivi hanno fortemente condizionato la natura e la deposizione delle singole unità vulcaniche: attualmente nelle zone centrali (tra Bolzano e Val di Cembra) affiorano i depositi più recenti; nelle zone marginali quelli più antichi (Morelli et al., 2010). Lo spessore totale della successione supera i 6000 metri, ma a causa della particolare disposizione geometrica prima illustrata, su una stessa verticale lo spessore totale raramente supera i 2000 metri (Fig. 2).

In generale si riconosce una prima fase dominata da composizioni prevalentemente da andesitiche a riodacitiche: i prodotti sono costituiti da lave, flussi piroclastici (ignimbriti) e corpi subvulcanici. Successivamente si ha un'evoluzione verso composizioni più acide con presenza quasi esclusiva di termini riolitici: in questa fase predominano le ignimbriti. In tutta la successione sono frequenti i depositi sedimentari continentali: essi evidenziano stasi più o meno lunghe di attività eruttiva. Durante tali periodi prevalgono processi di smantellamento, trasporto e rideposizione dei prodotti vulcanici appena formati (epiclastiti). Nel complesso, nell'area settentrionale le sequenze iniziali sono presenti con spessori massimi complessivi di 350-400 m, notevolmente ridotti rispetto a quelli della zona nordoccidentale. Solo nel caso delle zone settentrionali, dove affiora il contatto con il basamento, trattasi di sequenze complete; negli altri casi il reale spessore delle sequenze pre-Gargazzone non è noto.

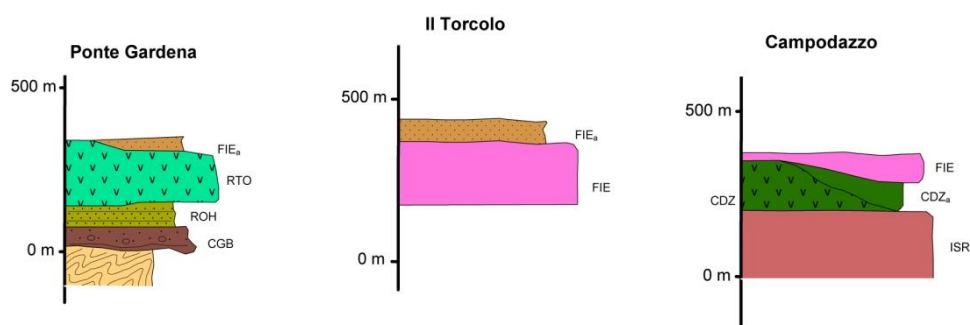


Fig 2: La successione vulcanica atesina nelle aree prese in esame (sezioni inedite, C. Morelli)

## ANALISI STRATIGRAFICA

La descrizione delle formazioni deriva dal lavoro svolto dai rilevatori del progetto CARG. La successione stratigrafica nell'area comprende le seguenti formazioni:

### **Il Conglomerato Basale (CDB)**

Affiora nella zona di Ponte Gardena con spessori massimi di 50 metri e presenta caratteristiche complessive identiche all'unità prima descritta. Le principali differenze sono date dalla mancanza delle intercalazioni ignimbriche riolitiche e dall'assenza di clasti vulcanici tra i componenti del conglomerato nella parte bassa della formazione. I clasti di vulcanite compaiono solo nella porzione superiore. Questo è il motivo per il quale gli autori precedenti distinguevano in questa zona un conglomerato "pre-vulcanico" (Conglomerato di Ponte Gardena).

Nel complesso riteniamo che tutti i depositi clastici localizzati tra le prime vulcaniti permiane ed il basamento metamorfico, qui definiti come Conglomerato Basale, possano essere ritenuti sostanzialmente contemporanei alle prime fasi dell'attività vulcanica del Gruppo Atesino. Infatti, pur presenti localmente litofacies senza clasti vulcanici, non sono mai presenti discordanze o evidenti iatus nella sedimentazione di questi conglomerati.

### **La Formazione di Rio dei Ronchi (ROH)**

Affiora anch'essa solo nella zona di Ponte Gardena ed in particolare lungo la strada che porta a Castelrotto. È formata da areniti e/o tuff alternati a conglomerati nella parte bassa e da piroclastiti nella parte alta. Rispetto alla formazione affiorante più ad occidente mancano le intercalazioni riodacitiche (tuff grossolani e lapilli-tuff) e la composizione risulta costantemente andesitica. Altra peculiarità è la presenza nei livelli di tuff di inclusi juvenili andesitici di dimensioni superiori a dieci centimetri.

### **La Formazione di Sarentino (RTO)**

Sono attribuite alla Formazione di Sarentino precedentemente descritta le lave andesitiche che affiorano con notevole continuità sul lato sinistro della Val d'Isarco tra Ponte Gardena ed il Rio di Tisana e nel basso versante sinistro della Val Gardena, oltre agli estesi affioramenti in Val di Funes. Queste lave presentano infatti litofacies e composizione identica a quella della formazione di cui sopra, stessa posizione stratigrafica e, pur con discontinuità, si seguono sul terreno fino alla Val Sarentino stessa. Anche in Val d'Isarco le lave andesitiche poggiano in discordanza sulle formazioni precedenti e molto spesso sono a diretto contatto con il basamento metamorfico. Il loro spessore non supera generalmente i 150-200 metri.

### **La Formazione d'Isarco (ISR)**

È una formazione ignimbratica che affiora solo nella parte più bassa della Val d'Isarco in una ristretta zona tra Campodazzo e Passo di Fiè. Essa è presente al di sotto delle lave andesitiche di Campodazzo ed è esposta per uno spessore massimo di 100-130 metri. La base non è esposta. Litologicamente è un'ignimbrite ricca di cristalli saldata di colore grigio, caratterizzata da numerose fiamme porfiriche scure. La componente cristallina ha dimensioni fino a 2-3 mm ed è costituita da quarzo, plagioclasti e femici alterati tra cui si riconosce biotite. L'aspetto di terreno, quando non obliterato dalla diffusa alterazione presente, è molto simile all'ignimbrite della Formazione di Gargazzone: questo è anche il motivo per cui sul foglio Bolzano 1:50.000 le due unità non sono state distinte pur essendo separate da lave andesitiche.

Di fatto questa unità ignimbratica rappresenta una delle manifestazioni vulcaniche più antiche di questo settore del GVA: di essa purtroppo si ignorano potenza complessiva ed estensione. Essa ha comunque le tipiche caratteristiche litologiche delle voluminose ignimbriti da collasso calderico che caratterizzeranno successivamente la storia evolutiva del GVA.

### **La Formazione di Campodazzo (CDZ)**

Lave andesitiche fino a dacitiche sono presenti in Val d'Isarco, alla base della successione vulcanica, anche più a sud nella zona di Campodazzo. Si tratta di lave scure da nere a verdi, massive e foliate, generalmente fortemente alterate e con presenza di solfuri. La roccia ha struttura porfirica con fenocristalli millimetrici di plagioclasti e femici molto alterati in una pasta di fondo cloritizzata ed ossidata, ricca di microcristalli prismatici isorientati. Rari i fenocristalli di quarzo. Localmente sono presenti diffusi cristalli di pirite. In alcune zone le lave andesitiche passano verso l'alto a facies ignimbratiche (CDZa). La roccia si presenta scura a grana molto fine con una marcata tessitura orientata data dalla diffusa presenza di fiamme sottili molto allungate che si evidenziano per la lieve sfumatura di colore più chiara rispetto al fondo. In sezione sottile la roccia ha tessitura orientata con presenza di fiamme afanitiche e porfiriche; i cristalli singoli hanno dimensioni fino al millimetro con plagioclasti e pirosseni sempre molto alterati e più raro quarzo.

Nel complesso la Formazione di Campodazzo presenta spessori massimi di 130 metri e rappresenta probabilmente un episodio particolare correlato e coevo all'emissione delle altre lave andesitiche che sono state raggruppate sotto la Formazione di Sarentino.

### **La Formazione di Fiè (FIE)**

Questa unità ignimbratica chiude la sequenza iniziale nel settore nordorientale del GA. La formazione affiora nella zona centrale della Val d'Isarco tra la confluenza con il rio di Tisana a nord e Prato Isarco a sud. Essa ricopre la Formazione di Campodazzo talora con interposizione di modeste lenti di conglomerati. È un'ignimbrite riodacitica ricca di cristalli, litici e fiamme porfiriche. Il colore prevalente è sul rosso con locali screziature di verde. I cristalli sono spesso frammentati: tra essi plagioclasti, quarzo e biotite. I litici hanno dimensione tra i 10 cm e pochi millimetri e presentano caratteristici bordi ossidati: tra essi inclusi metamorfici, frammenti di lava andesitica e di ignimbrite. La roccia ha tipicamente un aspetto grossolanamente stratificato in banchi di spessore di alcuni metri: in alcuni casi i singoli banchi sono separati da

livelli centimetrici di tuff laminati (surge). Nella porzione superiore della formazione sono presenti livelli epiclastici per uno spessore fino a qualche decina di metri (FIEa)

### **La Formazione di Gargazzone (IGG)**

La formazione affiora con spessori fino ad almeno 800 metri in tutto il settore a nord dell'Isarco. Essa rappresenta il prodotto di imponenti espandimenti ignimbrici che con più unità di flusso saldate ricoprono gran parte di questo settore del distretto vulcanico e riescono a colmare le depressioni create nelle fasi precedenti. Nel settore rilevato affiorano estesamente lungo l'incisione del Torrente Talvera a partire da Castel Roncolo; lungo l'incisione del Torrente Rivellone ed in particolare nella zona sotto Montespacco, e lungo tutto il versante meridionale dell'ampio dosso denominato Selva di Signato ed in continuità sul versante occidentale della Valle dell'Isarco fino al fondovalle. Si tratta di lapilli tuff riodacitici saldati di colore da rosso violaceo a viola grigiastro fino a grigio scuro. La roccia si presenta molto omogenea ed estremamente coerente. Nella porzione inferiore la roccia è in genere nettamente suddivisa da fratture subverticali in lastre molto regolari (1-30 cm); nelle porzioni superiori la roccia si presenta per lo più massiva con fratturazione meno regolare, il colore prevalente è da rosso violaceo a viola grigiastro. Al tetto prevalgono invece facies con più radi cristalli e colorazione rosso violacea cui si accompagna spesso una maggior presenza di fiamme diffuse, che conferiscono alla roccia un aspetto marcatamente foliato. Lungo le fessurazioni per progressiva ossidazione il colore può assumere toni sul rosso violaceo. Quest'ultima può talora essere pervasiva e sostituire completamente la colorazione originaria. Quando la roccia subisce alterazioni idrotermali ed autometasomatiche diviene biancastra e/o giallastra con perdita di coerenza. Questo avviene in particolar modo nei pressi del corpo intrusivo di Terlano.

### **La Formazione di Ora (ORA)**

La formazione di Ora rappresenta il deposito vulcanico più recente del Gruppo Vulcanico Atesino. È il prodotto della messa in posto di enormi volumi di flussi piroclastici che si depongono con spessori di oltre 1000 metri nelle zone centrali più depresse (Val d'Adige e Val di Cembra), dove sono sovrapposti a IGR. La formazione si estende inoltre con spessori ridotti (0-180m) e facies differenti (ORA1) su di un'area di almeno 1500 kmq, ricoprendo in discordanza diverse formazioni vulcaniche e clastiche più antiche. La messa in posto di questa unità ignimbrica è da mettere in relazione ad uno sprofondamento calderico che ha coinvolto un'area di circa 40 km di diametro compresa tra la città di Bolzano a nord (foglio Appiano) ed il limite nordoccidentale dell'Altopiano di Pinè a sud (foglio Trento).

La roccia si presenta estremamente monotona per spessori ed estensioni notevoli: è costituita da lapilli-tuff riolitici saldati molto coerenti ed estremamente omogenei, di colore variabile dal grigio rosato all'arancione rossastro. La roccia presenta una netta e regolare fessurazione subverticale secondo due sistemi principali di frattura tra loro circa ortogonali. Un terzo sistema meno evidente e più spazioso è disposto circa orizzontalmente. Per queste sue caratteristiche, durezza, omogeneità e fratturazione regolare, essa è stata ed è oggetto



tuttora di una forte attività estrattiva per la produzione del porfido sia in lastre che in cubetti. Solo occasionalmente si osserva un'originaria fratturazione colonnare da raffreddamento a pianta poligonale.

L'ossatura è costituita da abbondanti cristalli (2-4 mm) di sanidino, plagioclasti rosa e quarzo in una pasta di fondo felsitica fluidale che alla lente si presenta disomogenea per presenza di minuti frammenti cristallini. Le fiamme sono frequenti e costituite da porzioni juvenili sia afanitiche (scure) sia porfiriche a composizione identica a quella del resto della roccia. L'abbondante presenza di fenocristalli in questi juvenili testimonia dell'elevato grado di cristallizzazione raggiunto dal magma prima della frammentazione in fase eruttiva. Localmente sono presenti livelli ed orizzonti con evidente riduzione della dimensione media dei cristalli dell'ossatura. Occasionalmente sono presenti livelli cineritici centimetrici laminati (surge).

### **Membro di Predonico (ORA1)**

Questo membro già individuato nei fogli Appiano, Mezzolombardo e Merano è caratteristico delle zone di deposizione extracalderiche che si trovavano in posizione morfologica rialzata rispetto al settore centrale di collasso vulcano-tettonico.

Il membro di Predonico ha spessori di 50-150 m con locali massimi fino a 250 m; esso presenta nelle zone esterne alla caldera un contatto basale netto e discordante su IGG, COV, TGV e LAN mentre nelle zone interne il contatto è continuo e graduale con la formazione principale (ORA).

Litologicamente si tratta di lapilli-tuff e tuff riolitici saldati, di colore rosso, caratterizzati da piccoli cristalli di sanidino, plagioclasti bianchi, quarzo, rara biotite e da abbondanti inclusi juvenili afanitici rossi di piccole dimensioni. La roccia è molto coerente e presenta una fessurazione verticale meno marcata rispetto al resto della formazione. Molto di frequente si osserva una certa bimodalità nella taglia dei clasti cristallini presenti.

### **Filoni riolitici (fa)**

Sono presenti in modo abbastanza diffuso sul versante settentrionale ed orientale di Kohler -M. Pozza, fino in Val d'Ega. Presentano orientazione variabile: da NNW-SSE a NW-SE ed in qualche caso anche NE-SW. Lo spessore di questi filoni varia da pochi metri fino a 20 m. Essi sembrano avere anche una certa notevole continuità laterale. Generalmente questi filoni tagliano in modo netto la formazione di Ora causando delle reazioni di meta somatizzazione al contatto con formazione di mineralizzazioni a fluorite.

Litologicamente si tratta di una roccia porfirica con evidenti fenocristalli di feldspato (fino al centimetro) e quarzo in una massa di fondo irrisolvibile alla lente. I colori sono dal rosso mattone al rosa per cui non sempre sono immediatamente distinguibili dalla roccia ignimbratica incassante. Nella zona di Cardano sono presenti anche filoni con litologia diversa che tagliano con andamento circa NE-SW sempre la facies ORAa: qui però la situazione è abbastanza complessa per la presenza di un importante disturbo tettonico e poiché tutta la roccia presenta notevoli alterazioni idrotermali e fumolarizzazioni.

## Schema stratigrafico del settore nord orientale del Foglio 27 BOLZANO

Esaminando la sequenza vulcanica dal basso verso l'alto, i venti campioni studiati e analizzati appartengono alle seguenti formazioni:

### ISR - Formazione di Isarco

27CM 265  
27CM 290  
27CM 294/1

### CDZ – Formazione di Campodazzo

27CM 291/1  
27CM 294/2  
27CM 275

### CDZa – Formazione di Campodazzo facies ignimbritica (ex FIEa)

27CM 239/1  
27CM 292  
27CM 293

### FIE – Formazione di Fiè

27CM 295

### IGG – Formazione di Gargazzone

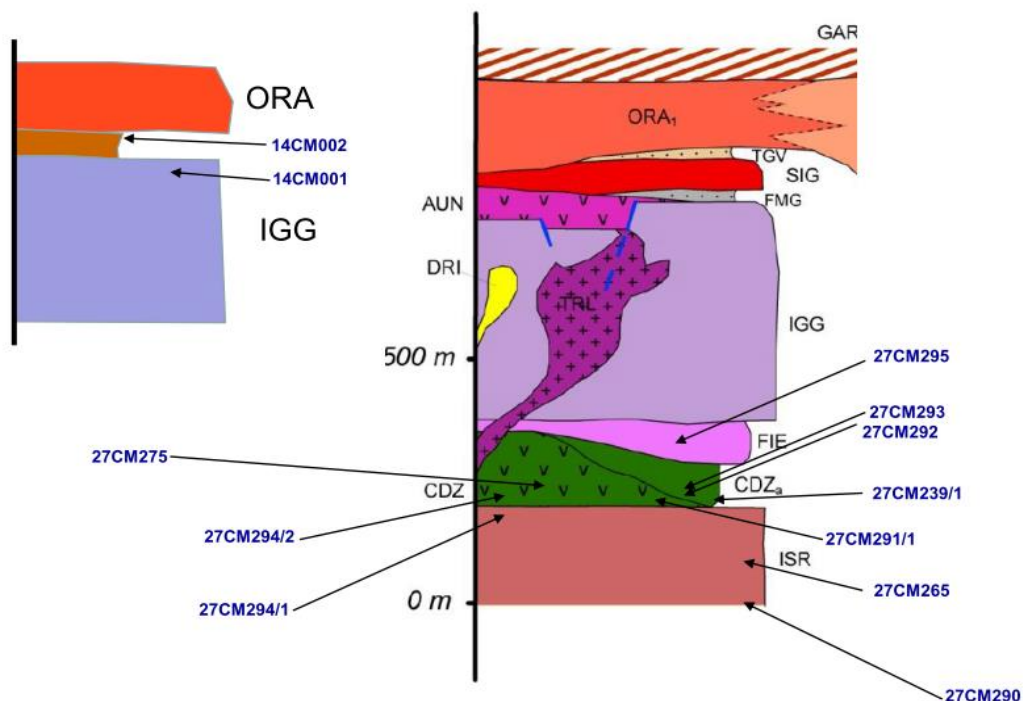
14CM 1

### Areniti intercalate fra IGG ed ORA

14CM 2

### ORA – Formazione di ORA

27DPG1  
27DPG 2  
27DPG 3  
27DPG 4  
27DPT 1  
27DPT 5 (filone)  
27DPT 11 (filone)  
27DPT 12 (filone)



Schema della successione degli eventi vulcanici permiani, e posizione stratigrafica di 12 campioni analizzati (disegno inedito di C. Morelli), 8 campioni di ORA non sono indicati.

## **METODI DI ANALISI**

In questo capitolo vengono descritti i vari metodi di studio utilizzati per analizzare i campioni oggetto di questo lavoro: dallo studio al microscopio ottico, passando per le analisi chimiche mediante la fluorescenza ai raggi X (XRF), fino alla quantificazione del contenuto di sostanze volatili nella roccia (LOI). Il lavoro di analisi chimica e quantificazione della LOI è stato preceduto da un'adeguata preparazione dei campioni.

### **PREPARAZIONE DEI CAMPIONI**

I campioni vengono prima puliti dalle incrostazioni e dalle patine di alterazione naturale, quindi vengono selezionati in base alla loro integrità per ottenere delle buone sezioni sottili. I campioni ritenuti idonei vengono quindi segati e successivamente le porzioni di roccia tagliate vengono incollate al vetrino da laboratorio mediante una resina specifica. Viene quindi asportata la parte superiore della roccia mediante molatura e portata ad uno spessore di circa 30  $\mu\text{m}$  ( $3 \times 10^{-5}$  m). Le altre parti dei campioni vengono invece macinate mediante una pressa a bilancere manuale che mediante l'azione di un volano su una vite determina la frantumazione della roccia posta in un mortaio. Viene quindi usato un setaccio con maglia a 2 mm (il limite superiore per le sabbie) per separare la parte fine da quella grossolana ancora da frantumare. Il granulato viene quindi quartato mediante apposito strumento e ne vengono conservati circa 30g per la successiva macinazione e per la determinazione della LOI. La macinazione si effettua con un mulino ad anelli di agata. La polvere viene quindi impiegata nella preparazione delle pasticche per l'analisi XRF e per la determinazione della LOI in forno a 950°C.

### **STUDIO PETROGRAFICO - MICROSCOPIA OTTICA IN LUCE POLARIZZATA**

Per lo studio petrografico delle formazioni si è effettuata l'osservazione al microscopio in luce trasmessa polarizzata delle sezioni sottili delle rocce. Questo strumento permette di determinare le caratteristiche ottiche e quindi il riconoscimento dei minerali e le caratteristiche strutturali e tessiturali delle rocce.

### **STUDIO GEOCHIMICO – FLUORESCENZA DEI RAGGI-X**

L'analisi per fluorescenza dei raggi-X è un processo che consente di analizzare gli elementi chimici costitutivi di un campione. I campioni da analizzare sono preparati sotto forma di pasticche composte da circa 3 g di polvere del campione posta su una base costituita da 8 g di acido bórico, ottenuta con una pressa idraulica.

Dopo aver sottoposto i campioni allo spettrometro a raggi-X si ottengono per ognuno di essi i valori di concentrazione degli elementi maggiori, espressi in percentuale in peso dell'ossido corrispondente ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e degli elementi in traccia (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Pb, Th) espressi in parti per milione (ppm).

## QUANTIFICAZIONE DELLA LOI

La perdita per calcinazione (Loss On Ignition) è la riduzione di peso causata dalla perdita delle componenti volatili presenti nei campioni di roccia. L'analisi si svolge prendendo un crogiuolo di platino contenente una quantità nota di polvere (0,5g) per ciascun campione e ponendolo in forno a temperatura di 950 °C per almeno 12 ore. Dopo questo tempo i crogiuoli vengono raffreddati per circa 30 minuti in un ambiente con umidità controllata e infine nuovamente pesati. La differenza in peso determina la quantità di composti volatili contenuti nella roccia ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $H_2S$ ,  $S$ ,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ).

La quantificazione della LOI è importante in queste rocce molto alterate.



Fig.3: a sinistra una fase della preparazione del granulato; a destra le pasticche pronte per l'analisi XRF

## STUDIO PETROGRAFICO

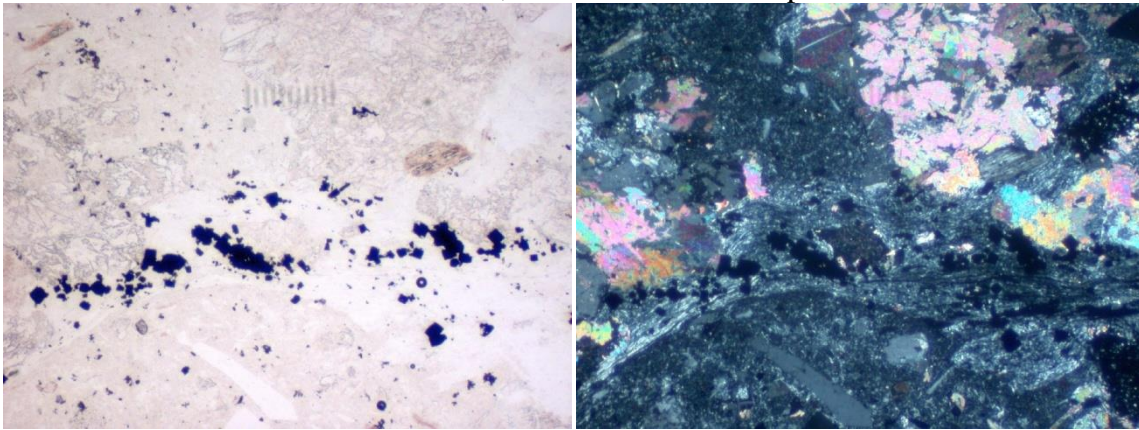
Le analisi petrografiche sono state effettuate in microscopia ottica a luce trasmessa polarizzata sulle venti sezioni sottili oggetto del lavoro di tesi. I campioni appartengono alla Formazione di Isarco, di Campodazzo, di Fiè, del Gargazzone, e di Ora.

La classificazione petrografica tiene conto del fabric, della composizione mineralogica e della classificazione geochimica desunta dal diagramma TAS. Per ognuno dei campioni viene riportata una sintetica descrizione petrografica e 2 (o più) foto al microscopio polarizzatore. Le foto sono sempre: sinistra, solo polarizzatore; destra, polarizzatori incrociati. La scala (righello in alto) è sempre di 400  $\mu\text{m}$ .

### ISR - Formazione di Isarco

#### Campione 27CM 265:

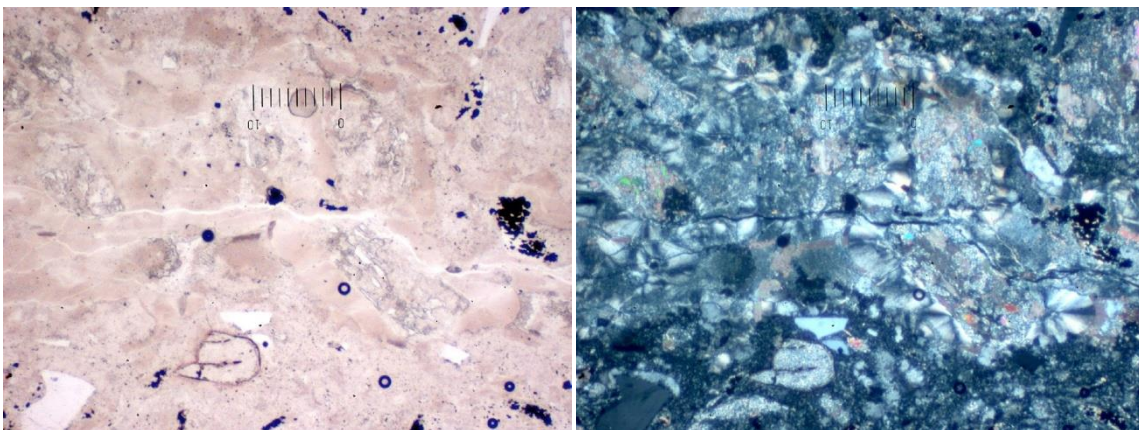
Ignimbrite-dacitica con litici lavici andesitico-dacitici, litici aplitici, fiamme a struttura eutattica. Nella massa di fondo quarzo, plagioclasti, biotite cloritizzata. Intensa metasomatizzazione con calcite diffusa, e cristallizzazione di pirite.



Campione 27CM265: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

#### Campione 27CM 290:

Ignimbrite andesitico/dacitica con fiamme ad intensa devettrificazione e ricristallizzazione di sferuliti quarzo-fenspatiche a struttura fibroso-raggiata. Cristalloclasti di quarzo, plagioclasti sericitizzati e calcitizzati, biotite sostituita da calcite, silice ed opachi. Molto diffusa pirite.

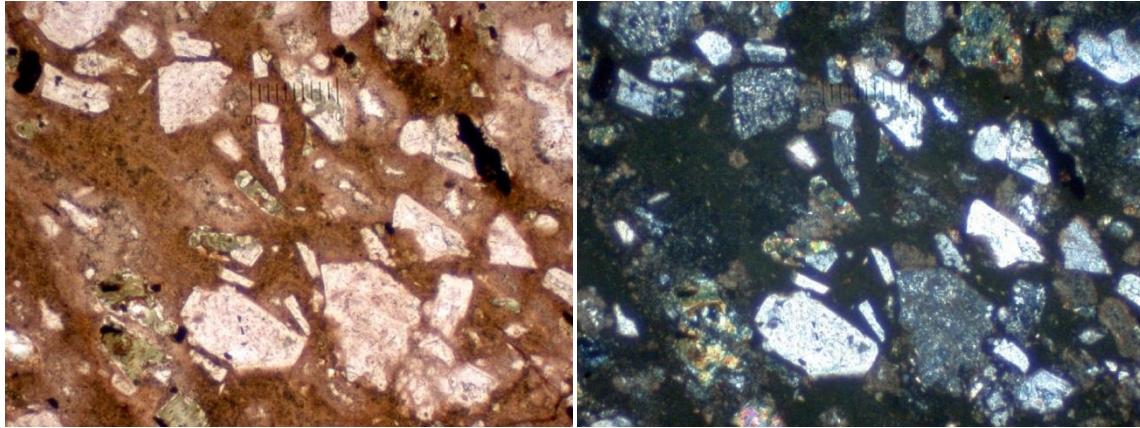


Campione 27CM290: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27CM 291/1:**

Lava andesitico/dacitica con caratteristica struttura porfirica con orientazione dei fenocristalli per scorrimento di flusso lavico. Presenta eterogeneità dimensionali dei fenocristalli ed inclusi comagmatici sia lavici porfirici sia gabbroidi. I fenocristalli sono costituiti da plagioclasti seriatati in parte sericitizzati, pirosseni idiomorfi completamente sostituiti da clorite ed epidoto, sono inoltre presenti minerali opachi. La pasta di fondo è microcristallina ed intensamente cloritizzata.

Nel diagramma TAS la ricchezza in alcali la sposta verso il campo delle trachiti.

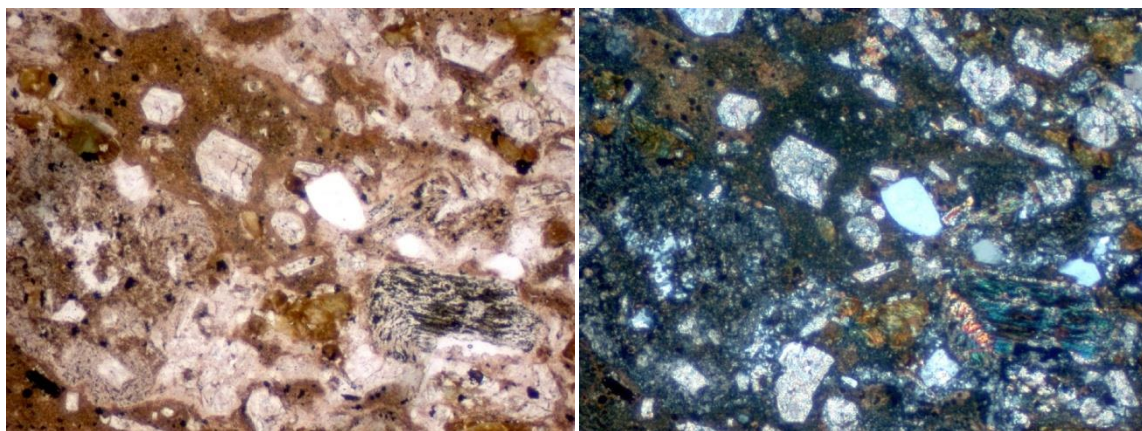


Campione 27CM291/1: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27CM 292:**

Ignimbrite andesitico/dacitica con fiamme porfiriche andesitiche a fenocristalli di plagioclasio sericitizzato e pirosseno cloritizzato. Le fiamme sono isorientate lungo il flusso piroclastico costituito da cristalloclasti di plagioclasio sericitizzato, pirosseno cloritizzato, quarzo e biotite sostituita da opachi. Fra gli accessori, allanite. La matrice è microcristallina con piccoli plagioclasti e clorite diffusa.

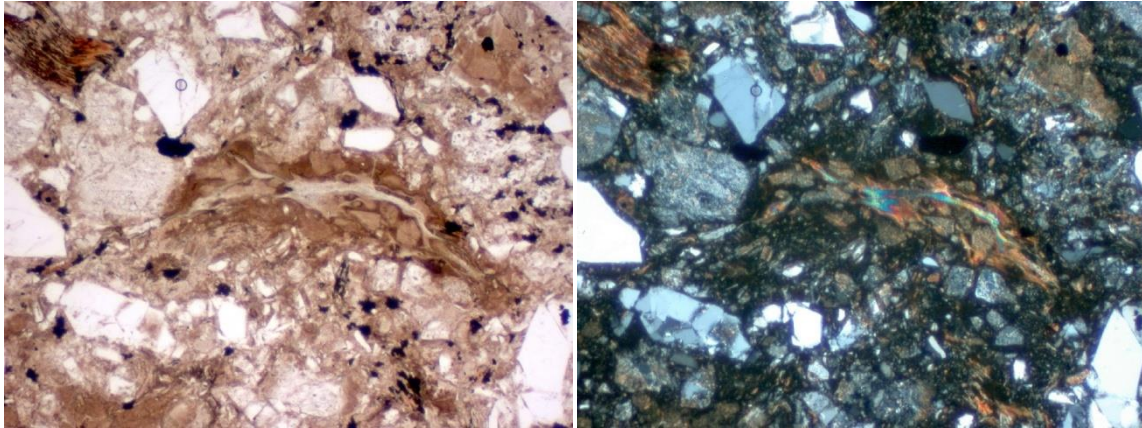
Nel diagramma TAS la ricchezza in alcali la sposta verso il campo delle trachiti.



Campione 27CM292: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27CM 294/1:**

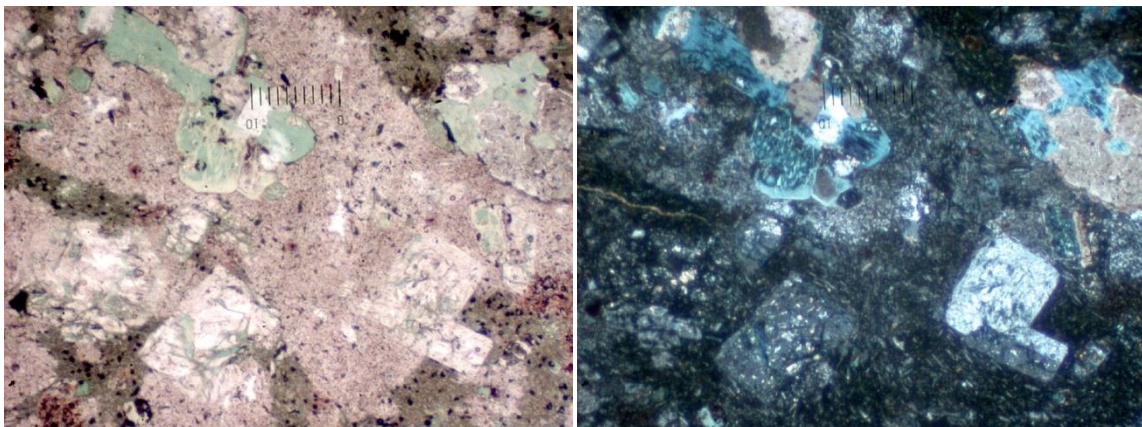
Ignimbrite dacitico/riodacitica a struttura clastica orientata con fiamme africche sericitizzate, ossidate e con cristallizzazione sferulitica. Presenza di alcuni litici andesitici. Cristalloclasti abbondanti di plagioclasio sericitizzato, quarzo frammentato, biotite con titanite leucoxenica e sericite, rari i pirosseni cloritizzati. Accessori, apatite ed allanite. Fondo ricco di sferuliti quarzo feldspatiche.



Campione 27CM294/1: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27CM 294/2:**

Lava andesitica a struttura porfirica con orientazione dei fenocristalli di plagioclasio sericitizzato e pirosseno cloritizzato e calcitizzato. Presenza di minerali opachi. La pasta di fondo microcristallina presenta piccoli cristalli idiomorfi ed isorientati di plagioclasio ed la caratteristica estinzione e fiocchi.

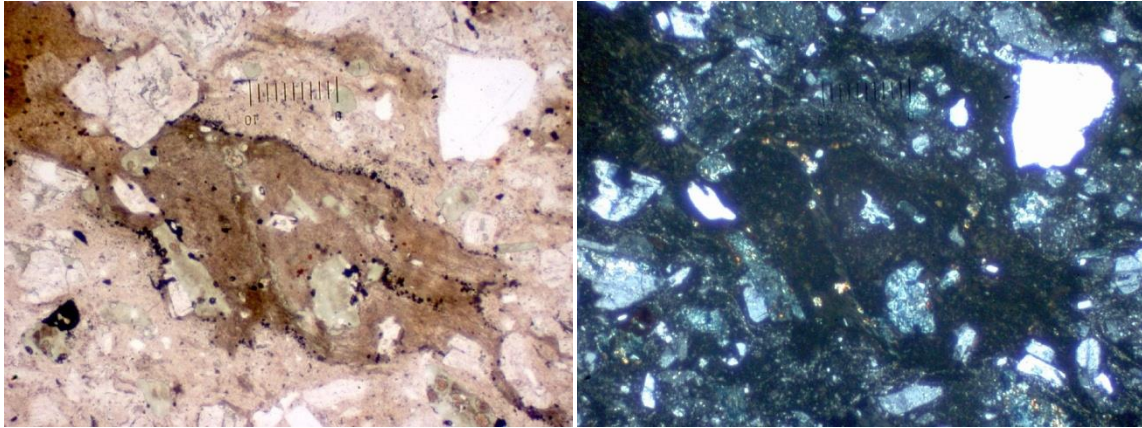


Campione 27CM294/2: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

## CDZ – Formazione di Campodazzo

### Campione 27CM 293:

(del tutto simile al 27CM 292) Ignimbrite andesitico/dacitica con fiamme porfiriche andesitiche a fenocristalli di plagioclasio sericitizzato e pirosseno cloritizzato. Le fiamme sono isorientate lungo il flusso piroclastico costituito da cristalloclasti di plagioclasio sericitizzato, pirosseno cloritizzato, quarzo e biotite sostituita da opachi. Fra gli accessori, allanite. La matrice è microcristallina con piccoli plagioclasio e clorite diffusa.

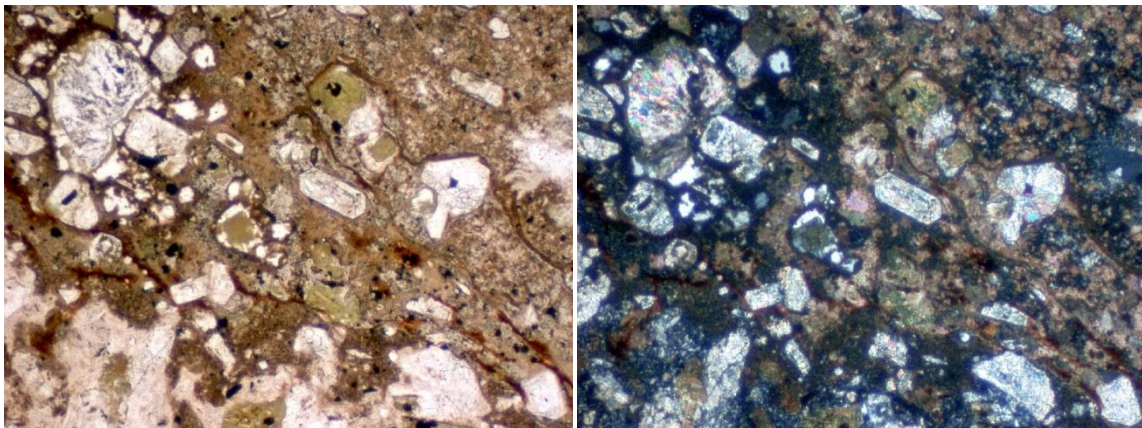


Campione 27CM293: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

## FIE – Formazione di Fiè

### 27CM 239/1:

Ignimbrite andesitico-dacitica molto eterogenea con litici lavici andesitico-dacitici e riolacitici e con fiamme porfiriche a mineralogia andesitico-dacitica. Nella massa di fondo quarzo frammentato, biotite deformata e plagioclasio. Roccia molto metasomatizzata con calcitizzazione diffusa e cristallizzazione di quarzo secondario.

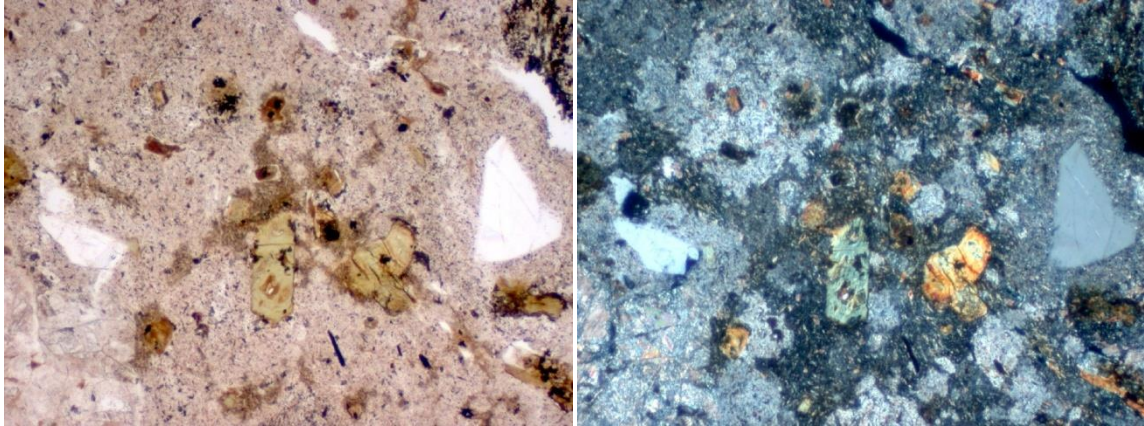


Campione 27CM239/1: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$



**Campione 27CM 275:**

Lava andesitico-dacitica a struttura porfirica. Fenocristalli di plagioclasti sostituiti da calcite e sericite, pirosseni cloritizzati, biotite cloritizzata. Pasta di fondo ricristallizzata a fiocchi (qz-feld) ma con ancora riconoscibili piccoli plagioclasti rettangolari isorientati.

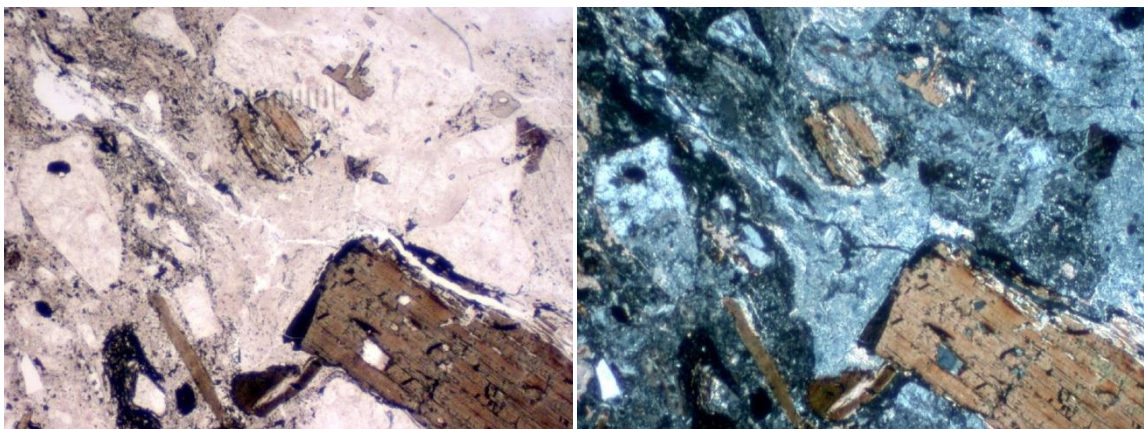


Campione 27CM275: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27CM 295:**

Ignimbrite rio-dacitica tipica con abbondanti fiamme porfiriche con fenocristalli di quarzo, plagioclasti sericitizzati e biotite fresca in fondo sericitizzato. La composizione mineralogica della pasta di fondo rispecchia quella delle fiamme con i cristalloclasti immersi in matrice costituita da sericite, carbonati ed opachi.

Nel diagramma TAS si proietta nel campo delle andesiti!

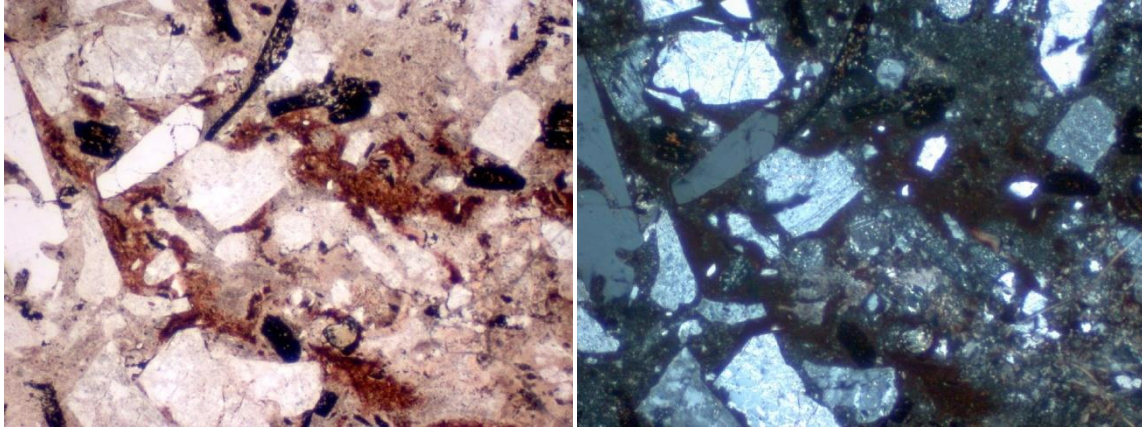


Campione 27CM295: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

## IGG – Formazione di Gargazzone

### 14CM 1:

Ignimbrite rio-dacitica con fiamme porfiriche ed abbondanti e diffuse ossidazioni. Cristalloclasti di plagioclasio sericitizzato, quarzo frammentato e ad anse, biotite completamente sostituita da opachi, presenza anche di sanidino in parte albitizzato e di sferuliti nel fondo.

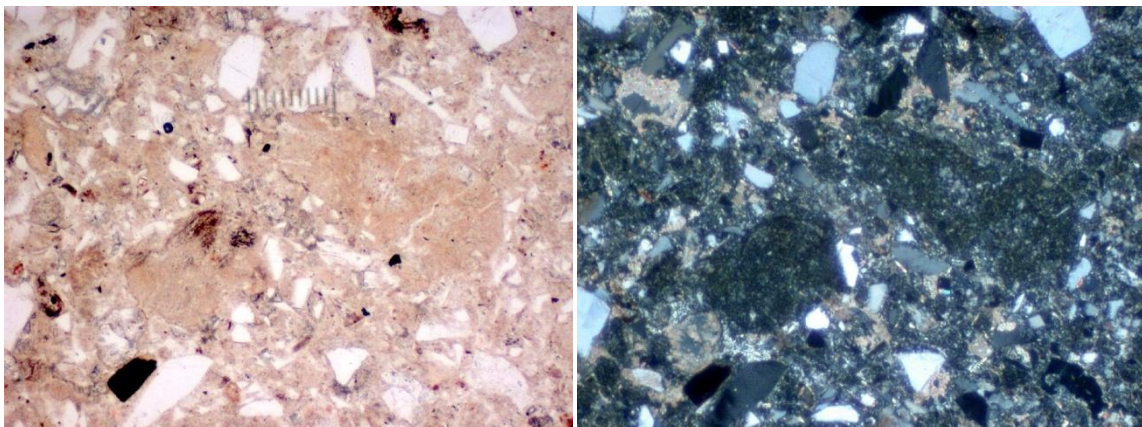


Campione 14CM1: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

## Areniti intercalate fra IGG ed ORA

### 14CM 2:

Arenite a struttura clastica granosostenuta costituita da clasti di quarzo, sanidino e frammenti litici vulcanici porfirici a matrice felsitica. Negli interstizi carbonati e sericite. Rispecchia una composizione riolitica molto ricca in silice.

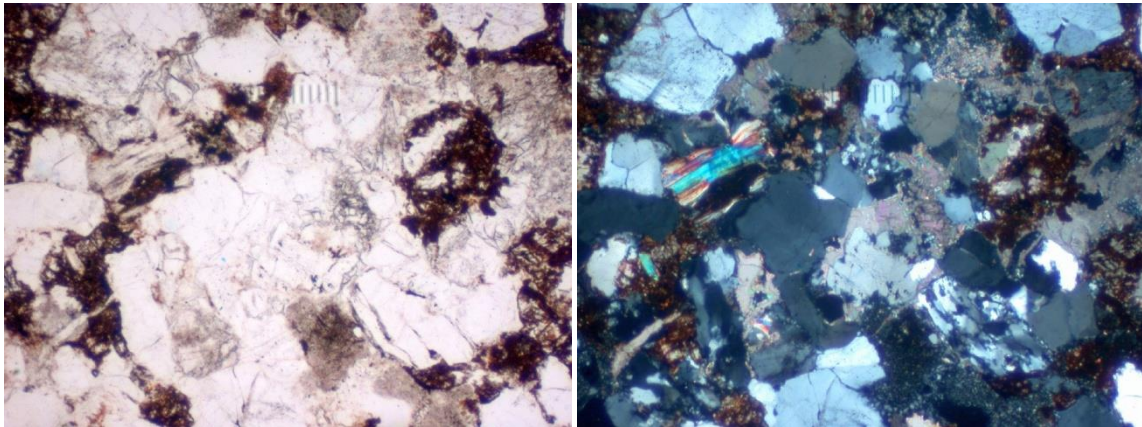


Campione 14CM2: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

## ORA – Formazione di ORA

### 27DPG1:

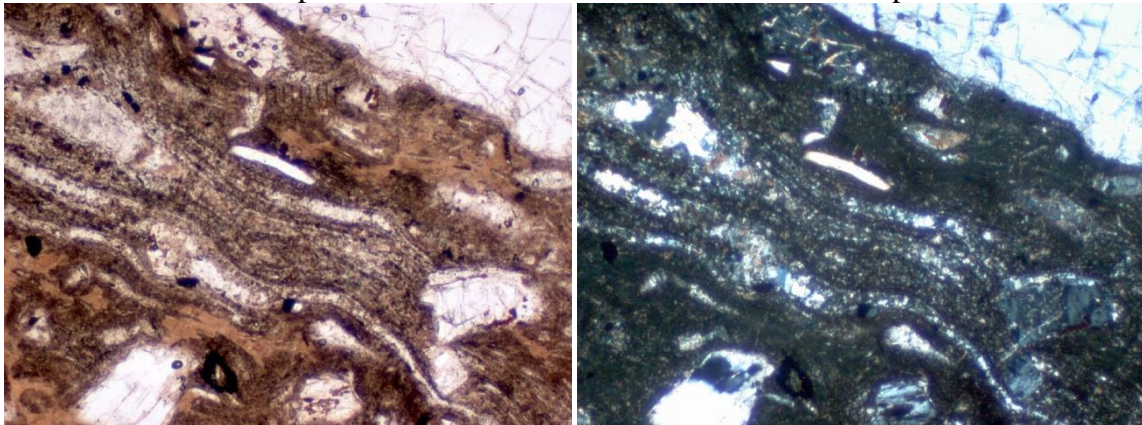
Arenite a struttura clastica granosostenuta ad apporto misto vulcanico e di basamento metamorfico. Costituita da clasti di quarzo metamorfico policristallino e da nidi di muscovite metamorfica. L'apporto vulcanico è costituito da quarzo monocristallino, plagioclasti e frammenti litici vulcanici con pasta di fondo felsitica. Sono anche presenti plaghe intensamente ossidate con carbonati e con calcite sparitica limpida. Rispecchia una composizione rio-dacitica molto povera in alcali.



Campione 27DPG1: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

### Campione 27DPG 2:

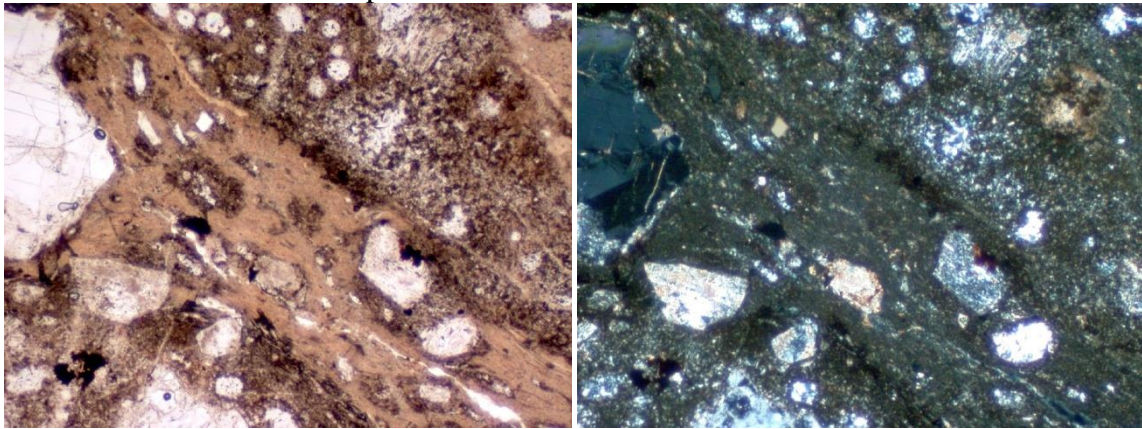
Ignimbrite riolitica a struttura clastica con fiamme orientate porfiriche con fondo eutaxitico. La composizione mineralogica comprende quarzo, sanidino con vene e plaghe di calcite e meno abbondanti plagioclasti calcitizzati e sericitizzati. Sono anche presenti pirosseni sostituiti da sericite ed opachi e meno abbontante biotite sostituita da opachi.



Campione 27DPG2: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27DPG 3:**

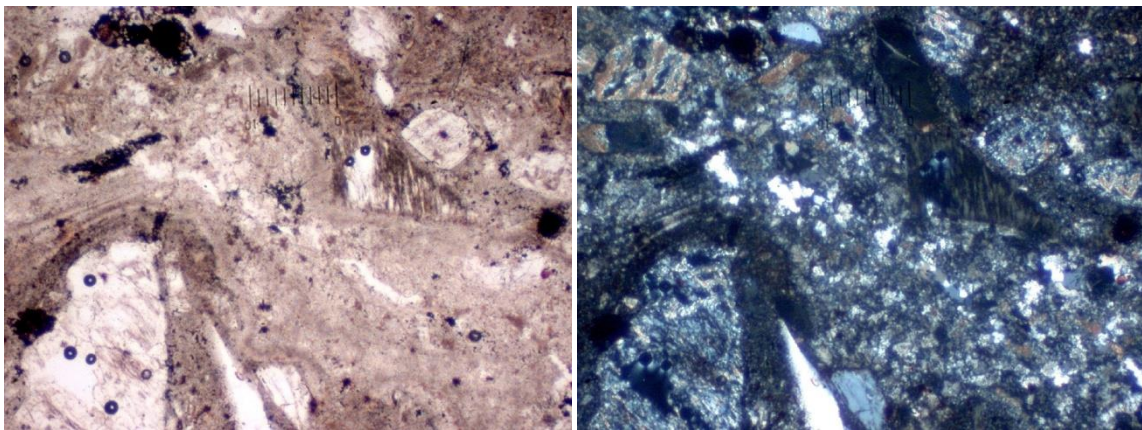
Ignimbrite riolitica del tutto simile alla precedente 27DPG 3, caratterizzata da una sensibile accentuazione dei fenomeni metasomatici con calcitizzazione, sericitizzazione e cristallizzazione di minerali opachi.



Campione 27DPG3: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27DPG 4:**

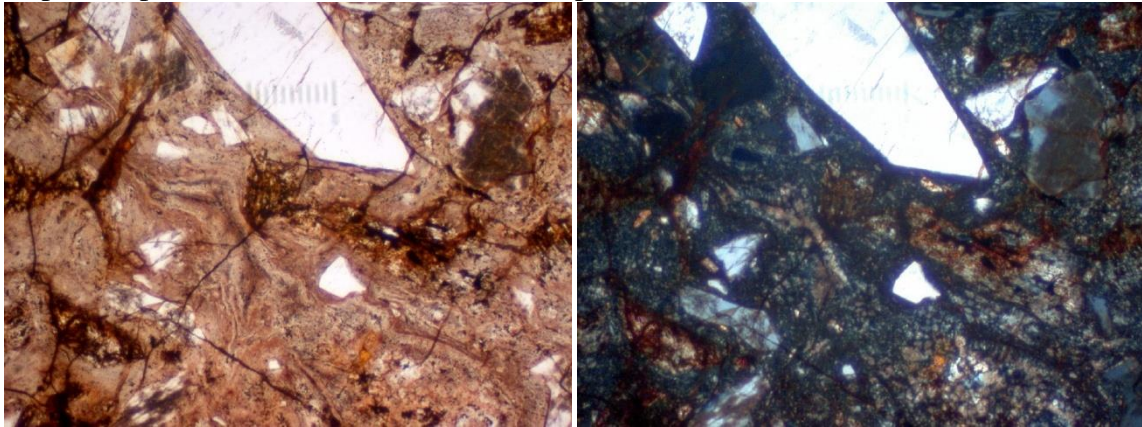
Ignimbrite riolitica a struttura clastica con fiamme orientate porfiriche con fondo eutaxitico ed a volte felsitico. La composizione mineralogica comprende quarzo, sanidino con velature di ossidazione e venuzze di calcite, plagioclasti in parte calcitizzati e sericitizzati. Sono anche presenti biotite in parte sostituita da opachi e pirosseni sostituiti da carbonati ed opachi.



Campione 27DPG4: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27DPT 1:**

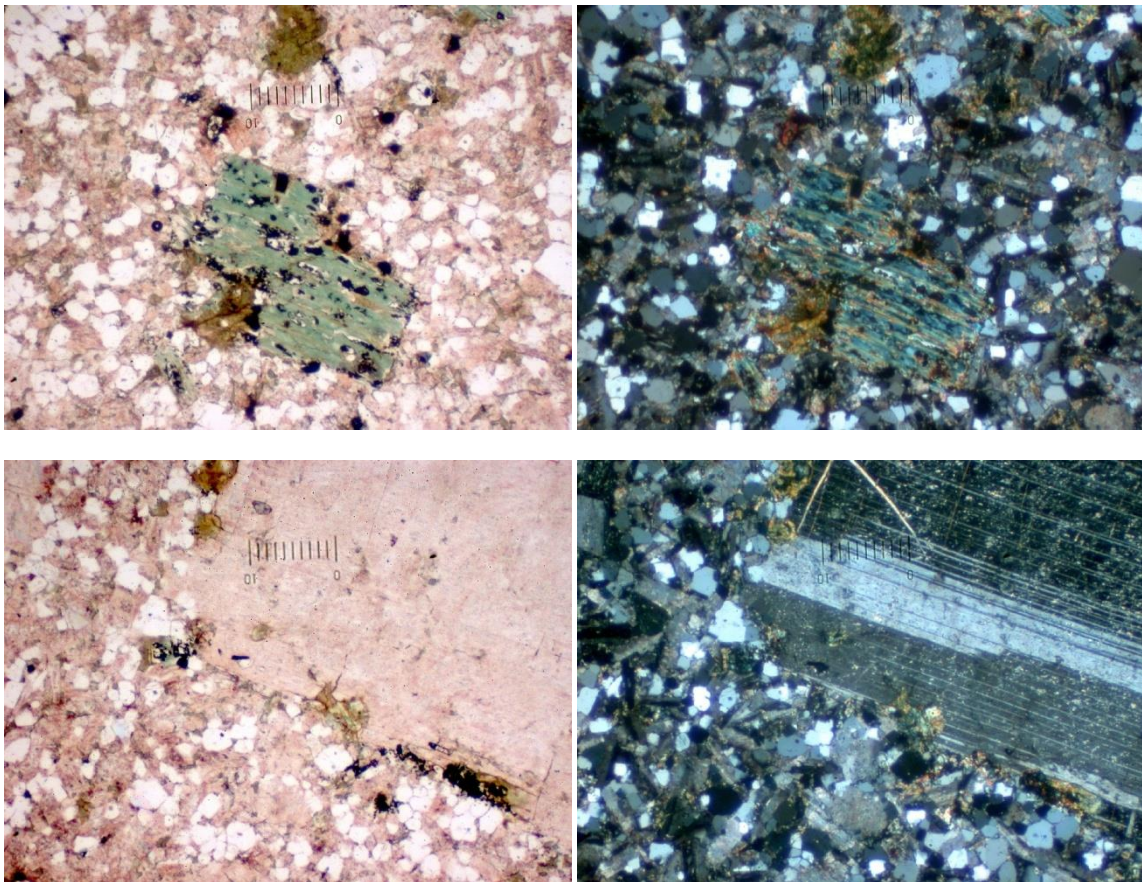
Ignimbrite riolitica a struttura elastica con fiamme orientate porfiriche con fondo eutattico e sferulitico. La composizione mineralogica comprende quarzo, sanidino con velature di ossidazione, plagioclasti sostituiti da carbonati sericite ed opachi, biotite in parte sostituita da opachi e pirosseni sostituiti da sericite ed opachi.



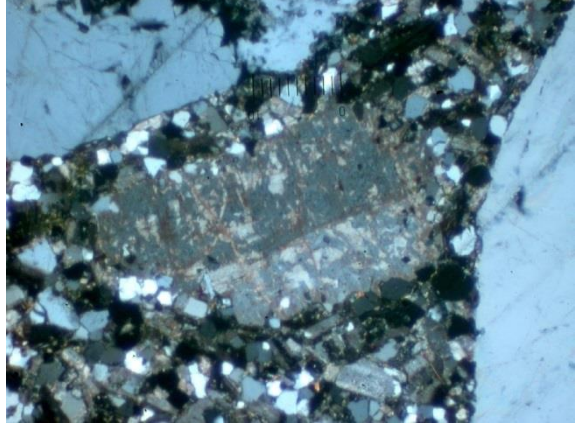
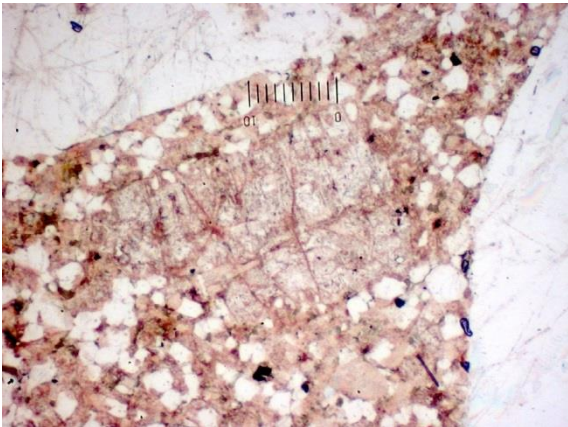
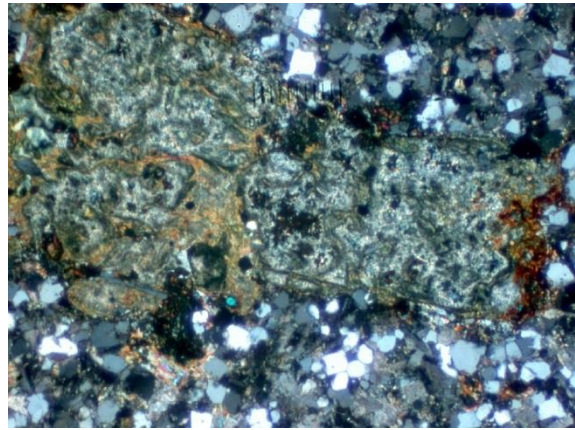
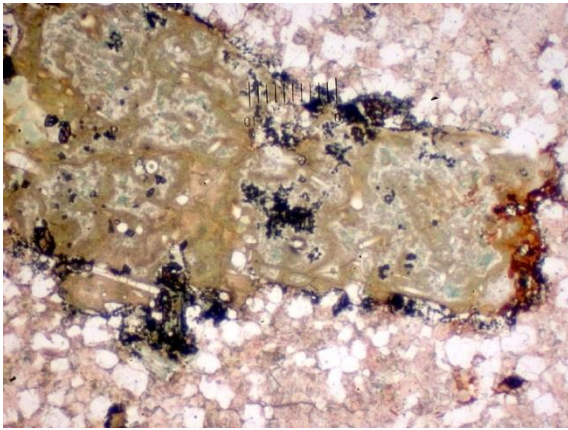
Campione 27DPT1: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu$ m

**Campione 27DPT 5:**

Filone riolitico porfirico a megacristalli di quarzo e di plagioclasio in parte calcitizzato e K-feldspato in parte albitizzato a volte in aggregati glomeroporfirici. Fenocristalli di minor dimensione di pirosseno e di biotite sostituiti da clorite ed opachi. La pasta di fondo è ben cristallizzata e rispecchia la composizione dei fenocristalli. Accessorio diffuso è lo zirconio.



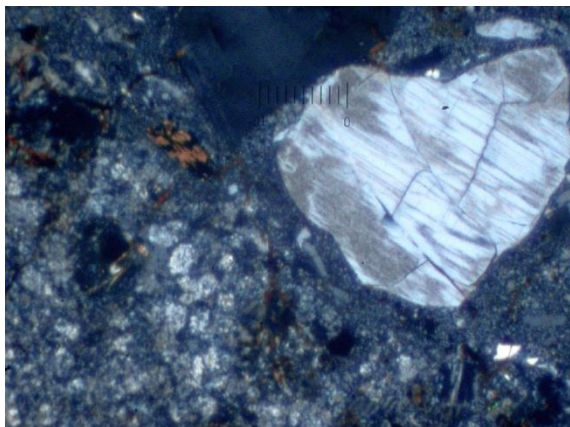
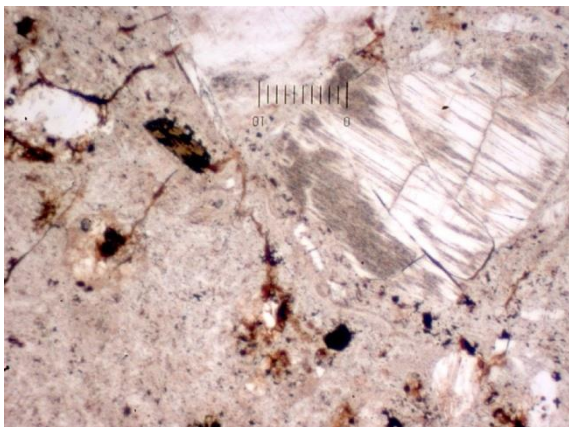
Campione 27DPT5: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu$ m



Campione 27DPT5: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

### Campione 27DPT 11:

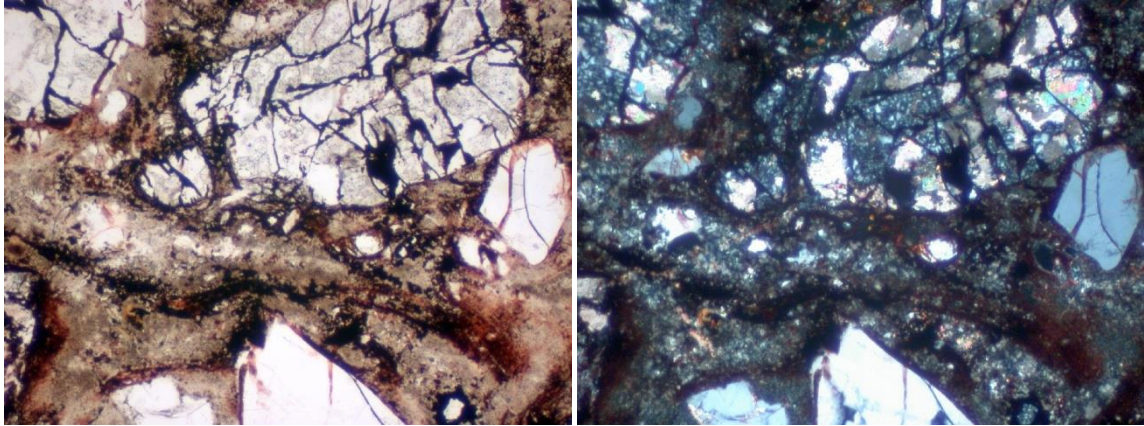
Ignimbrite riolitica a struttura clastica con fiamme orientate porfiriche con fondo microgranulare. I cristalloclasti sono quarzo, sanidino, plagioclasti, biotite e pirosseni immersi in una pasta di fondo felsitica. I fenomeni di alterazione già descritti nelle altre ignimbriti si ripetono anche in questa.



Campione 27DPT11: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

**Campione 27DPT 12:**

Ignimbrite riolitica a struttura clastica con fiamme orientate porfiriche ed eutaxitiche. I cristalloclasti sono quarzo, sanidino, plagioclasti, biotite e pirosseni immersi in una pasta di fondo felsitica. I fenomeni di alterazione già descritti nelle altre ignimbriti si ripetono anche in questa.



Campione 27DPT12: La scala della microfotografia (righello) è di 400  $\mu\text{m}$

## ANALISI GEOCHIMICHE

Lo studio geochimico è stato eseguito su 20 campioni. Lo scopo è quello di definire il carattere seriale e l'affinità delle rocce e di classificarle in base alla loro composizione chimica. Vengono riportate le tabelle recanti gli elementi maggiori quelli in traccia.

Sample	Formazione	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Totale
14CM2	IGG/ORA	79,99	0,16	10,85	0,96	0,06	0,82	2,29	3,93	0,91	0,02	5,1	99,99
27CM294-2	CDZ	62,06	0,73	16,73	6,44	0,2	4,05	3,83	2,97	2,86	0,13	3,52	100
27CM275	CDZ	60,34	0,6	20,16	6,55	0,15	3,23	4,45	3,7	0,7	0,11	5,94	99,99
27CM291-1	CDZ	64,1	0,69	17,21	5,84	0,13	2,66	1,7	3,37	4,12	0,18	2,6	100
27CM293	CDZa	61,83	0,7	17,25	6,65	0,17	2,9	4,85	3,13	2,32	0,19	1,12	99,99
27CM239-1	CDZa	59,73	0,71	19,44	6,44	0,12	2,01	5,44	3,59	2,37	0,14	5,64	99,99
27CM292	CDZa	65,73	0,75	16,76	4,9	0,09	2,42	1,64	3,55	3,98	0,17	2,46	99,99
27CM295	FIE	62,22	0,61	20,04	5,19	0,08	2,7	3,22	3,56	2,25	0,13	5,32	100
14CM1	IGG	68,45	0,56	16,43	4,56	0,04	0,85	1,07	4,28	3,63	0,13	1,69	100
27CM265	ISR	65,35	0,48	18,43	3,19	0,09	2,51	5,7	2,83	1,3	0,12	6,84	100
27CM294-1	ISR	64,07	0,54	19,71	4,11	0,09	2,46	2,36	4,12	2,41	0,14	2,32	100,01
27CM290	ISR	59,78	0,5	22,1	3,26	0,08	1,81	7,11	4,15	1,11	0,11	5,71	100,01
27DPG2	ORA	71,28	0,17	16,32	2,33	0,04	0,35	1,22	5,62	2,6	0,06	2,31	99,99
27DPT11	ORA	73,88	0,28	15,33	1,73	0,05	0,15	0,42	6,19	1,9	0,07	2,03	100
27DPT12	ORA	70,64	0,29	15,38	3,65	0,05	0,5	2,88	5,88	0,68	0,04	4,12	99,99
27DPT1	ORA	75,32	0,24	13,39	1,92	0,03	0,19	0,32	5,97	2,57	0,05	1,15	100
27DPT5	filone	71,35	0,28	15,32	2,16	0,03	0,42	1,03	6,14	3,21	0,07	1,34	100,01
27DPG3	ORA	72,07	0,26	16,08	2,6	0,04	0,36	0,8	5,45	2,26	0,07	2,49	99,99
27DPG4	ORA	73,99	0,23	16,2	2,08	0,01	0,33	0,25	6,16	0,69	0,06	2,07	100
27DPG1	ORA	73,95	0,09	9,46	2,19	0,09	0,28	11,76	2,08	0,05	0,04	7,8	99,99

Tabella 1: elementi maggiori espressi in percentuale in peso

Campione	As	Ba	Ce	Co	Cr	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	S	Sc	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr
14CM2	3	204	43	1	12	20	14	31	6	20	190	nd	6	34	12	10	33	18	165
27CM294-2	2	523	48	15	59	23	14	45	10	14	109	nd	22	246	14	99	34	78	177
27CM275	7	237	45	13	79	23	14	19	10	7	145	130	21	64	13	91	38	73	181
27CM291-1	9	569	75	12	21	29	16	42	8	13	129	380	20	252	15	60	34	89	211
27CM293	4	463	64	13	25	31	15	31	7	20	126	170	22	261	13	83	35	78	198
27CM239-1	4	343	58	11	21	26	16	26	6	23	135	nd	22	179	14	85	33	71	193
27CM292	6	706	74	9	23	30	16	45	7	22	129	1160	12	297	14	58	34	67	199
27CM295	6	566	58	9	20	24	15	38	7	14	111	1360	15	97	15	50	29	70	182
14CM1	16	705	71	8	19	38	16	34	5	26	177	nd	11	126	23	47	28	20	199
27CM265	7	364	51	5	27	26	14	18	5	20	111	5180	21	99	11	57	30	70	183
27CM294-1	3	532	57	7	23	25	15	33	6	20	158	940	12	253	15	47	33	67	187
27CM290	7	457	60	6	31	22	14	17	6	20	157	8790	19	150	14	54	32	68	171
27DPG2	10	508	122	3	8	59	15	50	5	22	186	nd	6	50	22	14	34	29	226
27DPT11	9	625	91	3	9	53	14	36	5	41	218	nd	6	135	22	17	29	17	197
27DPT12	20	765	69	5	9	33	14	24	4	29	218	60	9	98	19	26	36	49	168
27DPT1	8	542	75	3	10	43	14	25	6	40	241	nd	4	52	20	14	36	64	167
27DPT5	3	653	89	3	7	45	13	26	5	12	180	nd	7	41	20	19	27	40	180
27DPG3	7	656	130	4	6	70	15	41	4	19	164	nd	7	53	18	19	34	34	267
27DPG4	12	450	85	3	9	35	13	23	6	32	237	nd	4	126	15	13	30	15	158
27DPG1	202	251	26	13	16	9	7	5	30	2706	64	180	22	81	40	21	nd	494	66

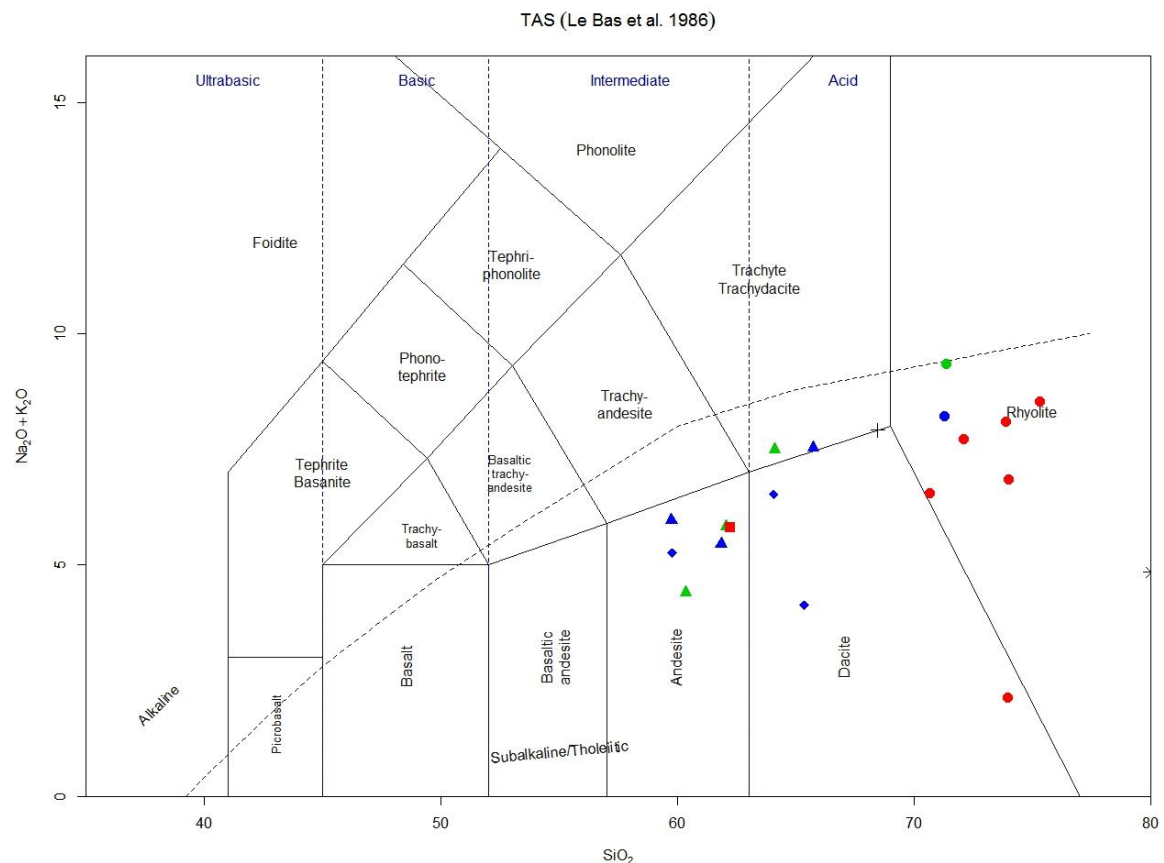
Tabella 2: elementi in traccia più significativi espressi in ppm



I dati ottenuti dalle analisi chimiche sono stati utilizzati per determinare il carattere seriale e per effettuare la classificazione dei 20 campioni .

A tale scopo nei diagrammi petrografici, al fine di rendere omogenei i valori, i dati chimici degli elementi maggiori sono stati proiettati ricalcolando l'analisi a 100 dopo aver sottratto la LOI. Il diagramma classificativo TAS (total alkali-silica; Le Bas et al., 1986), in figura, evidenzia che il carattere seriale delle rocce vulcaniche esaminate rientra nel campo subalcalino poiché tutti i simboli che rappresentano i campioni si distribuiscono al di sotto della linea divisoria proposta da Irvine e Baragar (1971) che separa la serie subalcalina da quella alcalina (linea tratteggiata).

I campioni analizzati presentano un contenuto in SiO<sub>2</sub> (su base anidra) compresa tra il 60-75% (escluso un campione) e la sommatoria degli alcali (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) è tra 3 e il 9%.



### Legenda:

- \* → 14CM2
- + → 14CM1
- ▲ → 27CM294-2, 27CM275, 27CM291-1
- ▲ → 27CM292, 27CM293, 27CM239/1
- → 27CM295
- → 27DPT1, 27DPT11, 27DPT12, 27DPG1, 27DPG3, 27DPG4
- → 27DPG2
- → 27DPT5
- ◆ → 27CM265, 27CM290, 27CM294/1

Come risulta evidente dallo studio petrografico, queste vulcaniti permiane sono ampiamente affette da processi di tipo metasomatico che ne modificano la composizione chimica originaria. In particolare si possono produrre ampie mobilizzazioni di alcali ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ ) ma anche di silice. Pur normalizzando le analisi a 100 (eliminando la LOI), queste variazioni della composizione chimica possono portare ad una classificazione errata.

Si preferisce quindi utilizzare anche un diagramma classificativo basato su rapporti fra elementi in traccia poco sensibili a variazioni indotte da metasomatismo.

Il diagramma di Winchester & Floyd con il rapporto  $\text{Zr}/\text{TiO}_2 - \text{Nb}/\text{Y}$ , evidenzia che le problematiche di classificazione del TAS sono legate al metasomatismo.

Escludendo le due arenarie, i campioni DPG e DPT sono rioliti/riodaciti, tutti gli altri campioni caratterizzati dalla sigla "CM-" sono delle daciti e solo 27CM294/2 risulta essere andesite. Per la legenda consultare la pagina precedente.

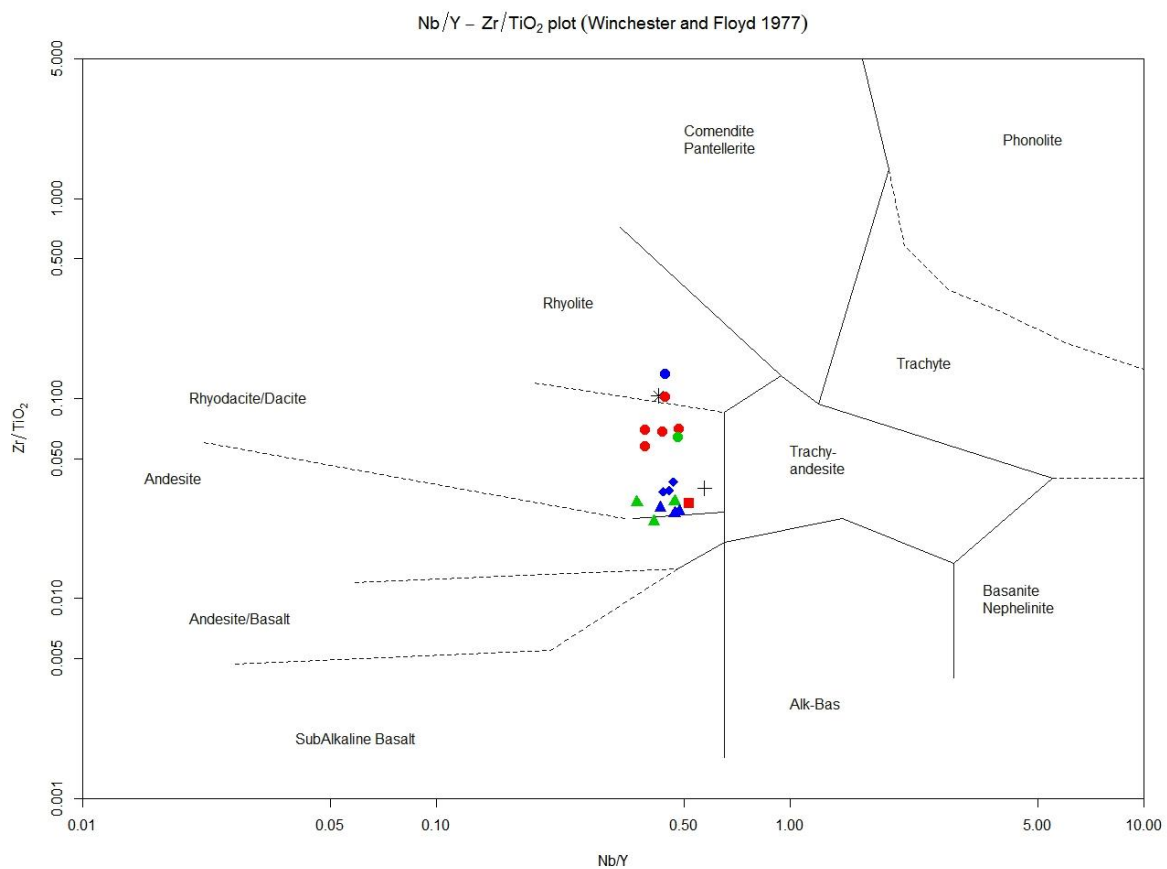


Diagramma Nb/Y – Zr/TiO<sub>2</sub> (Winchester and Floyd, 1977)

## CONCLUSIONI

Il lavoro di rilevamento geologico effettuato sulle vulcaniti permiane del settore orientale del Foglio 027 Bolzano ha la necessità di avvalersi di un accurato studio mineralogico petrografico e geochimico dei campioni, mirato alla loro classificazione.

Come evidenziato dal rapporto  $Zr/TiO_2$  del diagramma di Winchester & Floyd, i fenomeni metasomatici che hanno interessato quest'area hanno modificato la composizione mineralogica ed il fabric di queste rocce e solo lo studio petrografico è in grado di consentirne la classificazione e la correlazione con le vulcaniti permiane meno affette da questi fenomeni.

Ciò ha permesso di ricostruire la successione degli eventi vulcanici che vengono schematizzati nella figura allegata alla tesina.

Mancando in affioramento in questo settore il basamento metamorfico delle Alpi Meridionali, la successione inizia con gli affioramenti delle ignimbriti andesitico/dacitiche della Formazione di Isarco (ISR) a cui seguono i potenti espandimenti lavici delle andesiti/daciti di Campodazzo (CDZ) che passano a flussi piroclastici ignimbrici a tetto della formazione (CDZa). Si verifica poi una progressiva evoluzione dell'attività vulcanica verso termini via via più evoluti con la messa in posto delle ignimbriti riodacitiche della formazione di Fiè (FIE) e della formazione di Gargazzone (IGG). Si passa infine alla formazione di Ora (ORA) costituita da potenti espandimenti di ignimbriti riolitiche tagliate da filoni porfirici di composizione riolitica (fa) con intercalazioni di livelli di tufi ed areniti. Terminata l'attività vulcanica permiana la successione viene ricoperta dalle areniti della formazione delle Arenarie di Val Gardena (GAR).

## BIBLIOGRAFIA

AA. VV., 2013 – Foglio 026 Appiano – *Guida ai percorsi geologici. Ufficio Geologia e prove materiali*, Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige.

AVANZINI et al. “Note illustrative della carta geologica d’Italia, foglio 60 TRENTO” (2010).

BOSELLINI A., 2005 – “*Storia geologica d’Italia - Gli ultimi 200 milioni di anni.*” Zanichelli, 183 pp.

BRONDI A. et al. – Foglio 27 Bolzano – “*Note esplicative della carta geologica d’Italia*” Nuova Tecnica Grafica 1974.

LE BAS M.J., LE MAITRE R.W., STREKEISEN A. & ZANETTIN B., 1986 – “*A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram*” *Journal of Petrology* 27: 745-750.

MORELLI C., BARGOSSO G.M., MAROCCHI M., PICCIN G., MORETTI A., MAIR V., 2010 “*The Athesian volcanics: a spectacular example of caldera complex*”. 85° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana, Pisa.

WINCHESTER J.A. and FLOYD P.A., 1977 – “*Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements.*” *Chemical Geology*, 20: 325-345

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio me stesso per non aver mollato nei momenti più duri e per avere imparato anche in modo crudele dagli errori commessi.

Ringrazio i miei genitori per i valori trasmessi e per un rinnovato rapporto di affetto.

Ringrazio mia sorella Adriana per dimostrarmi ogni volta, con la sua sola esistenza, che anche dal dolore può nascere una gioia inaspettata.

Ringrazio Arianna per la sua costante presenza e il suo pieno sostegno nei giorni di gioia così come in quelli di tristezza. La sua presenza è stata fondamentale in questi anni.

Un ringraziamento anche a Marina per aver messo a disposizione un porto di pace nel momento del bisogno.

Un sentito ringraziamento ai professori Gasparotto e Bargossi per l'indispensabile contributo; e un ringraziamento al professor Berti per la sua comprensione e il suo aiuto.

Grazie anche al Dott. Morelli per il materiale fornitomi necessario per questo lavoro di tesi.

Last but not least un ringraziamento speciale va al Dottor Fioresi, per aver acceso una torcia nell'oscurità e avermi mostrato la via.