



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PADOVA

SCUOLA DI SCIENZE
DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE
Direttore Prof.sa Cristina Stefani

TESI DI LAUREA TRIENNALE IN
SCIENZE GEOLOGICHE

**VULCANISMO
PERMIANO IN TRENTINO
ALTO ADIGE**

Relatore: Prof. Andrea Marzoli

Laureando: Ilaria De Faveri

ANNO ACCADEMICO 2012 / 2013

Abstract:

The Athesian Volcanic Group extends over more than 2000 km² and consist of 2 km thick suites of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rock. The magmatic rocks comprise of domes and lava flows, pyroclastic and surge deposits and ignimbrites. This work analyzes this volcanism in the South-East of Trento and Bolzano area and compare it with the sample from Orobic volcanic rocks. Geochemical analysis show the major and trace elements contents and we notice that a process of magmatic differentiation led to silica contents which are higher in Orobic sample. Through the trace element analysis we reconstruct which minerals crystallized and the consequence of it. The analysis suggest at least that we are in a volcanic arc geodynamic context in contrast with the more widespread idea of a stretching system. The explanation of this results can be found in a melting of Variscan crust or a high contamination of mantle melts, that could express geochemical value of trace similar to our analysis.

Il Gruppo Vulcanico Atesino si estende per 2000 km² con spessori anche maggiori di 2 km di rocce vulcaniche e sub-vulcaniche calc-alkaline. Le successioni magmatiche comprendono domi, colate di lava e prodotti piroclastici ed ignimbriti. Questo lavoro analizza il vulcanismo nell'area a Sud-Est di Trento e di Bolzano, confrontandolo con le rocce vulcaniche dell'area Orobica. Le analisi geochimiche hanno rivelato i contenuti in elementi maggiori e tracce si è ipotizzato un processo di differenziazione magmatica che si riflette in un contenuto maggiore in Silice nei campioni Orobici. L'analisi degli elementi in traccia ci ha permesso di ricostruire quali minerali hanno cristallizzato e le conseguenze di questo nei contenuti in tracce. Le analisi hanno suggerito un contesto geodinamico di arco vulcanico in disaccordo con l'idea più accreditata di un contesto di tipo distensivo. La spiegazione per questi risultati è stata da noi trovata nella possibilità di una fusione della crosta Varisica o una forte contaminazione dei magmi del mantello, che potrebbero esprimere un chimismo analogo a quello dei nostri campioni.

Indice:

1. Introduzione	4
1.1 Inquadramento geologico	5
1.2 Inquadramento strutturale	8
2. Analisi effettuate	10
2.1 Microscopia ottica	10
2.2 Fluorescenza a raggi X	14
2.3 Spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente	14
3. Discussione dei dati chimici	15
4. Conclusioni	21
5. Bibliografia	22

1-Introduzione.

In questo lavoro ci si è posti l'obiettivo di analizzare il vulcanismo Permiano nell'area del Trentino a S-E di Trento, dove affiorano le vulcaniti del Gruppo Vulcanico Atesino, confrontando questi campioni con altri provenienti da porzioni più a Nord, nella zona dell'Alto Adige, e campioni delle Prealpi Orobiche più ad Ovest sempre riconducibili allo stesso evento vulcanico e cronologicamente collocati entro lo stesso intervallo di tempo. Si sono effettuate analisi in microscopia ottica ed analisi geochimiche attraverso la tecnica della Fluorescenza a Raggi X (XRF) e quella della Spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS) che ci hanno permesso di riconoscere le fasi mineralogiche principali presenti, classificare le rocce e confrontarle da un punto di vista geochimico sia per il contenuto in elementi maggiori che in tracce per avere un'idea anche della variazione laterale di queste vulcaniti. I dati ottenuti ci hanno infine permesso di inserire il Gruppo Vulcanico Atesino entro un preciso contesto strutturale, considerando le ipotesi trovate in letteratura e i dati ottenuti dalle nostre analisi.



Figura 1: affioramento della Formazione di Pinè nei pressi di Baselga di Pinè.

1.1-Inquadramento geologico.

L'area rilevata si colloca entro il Gruppo Vulcanico Atesino (GA) espressione di un vulcanismo di età Permiana, che ha interessato il dominio Sudalpino e coinvolto un'area molto vasta: dalle Dolomiti Orientali al Lago Maggiore, in un intervallo di tempo che va da 291 Ma a 274 Ma.

La successione vulcanica Permiana è costituita da prodotti lavici e piroclastici emessi lungo sistemi di fratture come conseguenza di un'estesa attività tettonica sinvulcanica di tipo distensivo legata alla rottura del paleocontinente Pangea. Possiamo identificare diversi complessi vulcanici caratterizzati dall'emissione di grandi volumi di piroclastiti, da un'elevata estensione laterale e da elevati tassi di subsidenza, che interessano il settore Meridionale del complesso e si riflettono negli spessori che possono raggiungere i 200-300 m dei singoli eventi, per una potenza complessiva dell'intero Gruppo che supera i 2000 m. In questi complessi è stata riconosciuta una ciclicità che prevede una fase vulcanica iniziale, che può durare per tempi molto lunghi, con l'emissione di flussi lavici lungo le fratture, coni di cenere, duomi e neck di esplosione cui segue il collasso calderico accompagnato dalla deposizione di grandi quantità di ignimbriti di composizione che varia da dacitica a riolitica. Un esempio attuale di struttura simile a quella dell'area studiata può essere Yellowstone (USA).

Si possono individuare all'interno del GA almeno quattro cicli di attività:

1. La prima, precoce, attività vulcanica Permiana effusiva è rappresentata dai prodotti piroclastici ignimbritici, coevi rispetto alla deposizione del Conglomerato Basale. Si ha una componente clastica orientata con abbondanti ceneri cristalline e vetrose.

2. Il secondo ciclo è marcato da un'estesa attività vulcanica Permiana effusiva con la messa in posto delle lave andesitiche della Formazione di Buss (LUB) che raggiungono i 300 m di spessore. Segue la messa in posto della Formazione del Castelliere (ICT), ignimbriti da riodacitiche a dacitico-andesitiche.
3. Questa fase ha inizio con l'emissione di prodotti lavici di composizione dacitica che costituiscono la Formazione di Pinè (LPE, IF5) a formare duomi affioranti nell'Altopiano di Pinè e in Val Fersina. A questi duomi si sovrappongono colate di notevole potenza a composizione andesitica che prendono il nome di Formazione di Cembra (LMB). Proprio in questa zona è stato riconosciuto un edificio vulcanico di grandi dimensioni a testimonianza del fatto che furono presenti anche apparati a condotto centrale. Localmente si sono riconosciuti livelli che testimoniano un'attività di tipo esplosivo contemporanea a quella lavica. Limitatamente alla Val di Cembra, a tetto delle lave andesitiche, sono stati riconosciuti duomi di composizione riodacitica che costituiscono la formazione di Gries (IGR). La chiusura del ciclo avviene con l'emissione di prodotti piroclastici che vanno a costituire la Formazione di Gargazzone (IGG, IF21), si tratta di ignimbriti riodacitiche.
4. L'ultimo ciclo di attività vulcanica inizia con la messa in posto di duomi lavici riodacitici della Formazione di Regnana (LRE) e riolitica, Formazione di Bosco (LBS, IF12). La chiusura del ciclo è data dallo sprofondamento calderico del Gruppo Vulcanico Atesino che interessa soprattutto la zona più settentrionale di Ora e Bolzano. In questa fase si ha di conseguenza l'emissione di imponenti colate di flusso piroclastico a composizione riolitica che costituiscono la Formazione di Lona (LNA) al letto e la Formazione di Ora (ORA, IF8 e IF21) al tetto (quest'ultima raggiunge gli 800m di spessore).

Non mancano all'interno del basamento pre-Permiano plutoni (per esempio il Granito di Cima d'Asta) e piccole intrusioni satellite di composizione mafica. Le intrusioni tuttavia potrebbero essere di entità molto maggiore e trovarsi al di sotto del GA (Schaltegger & Brack, 2007).

La zona di campionamento è quella trentina, nell'area che si trova a S-E di Trento fra la Valsugana e la Val di Cembra ed alcuni campioni sono stati raccolti anche a Sud di Bolzano (nei pressi del Lago di Caldaro); sono stati poi utilizzati come mezzo di confronto campioni di vulcaniti lombarde della zona a Nord di Bergamo sempre riconducibili alle vulcaniti del GA. Nella parte Occidentale gli affioramenti sono discontinui e di dimensioni ridotte.

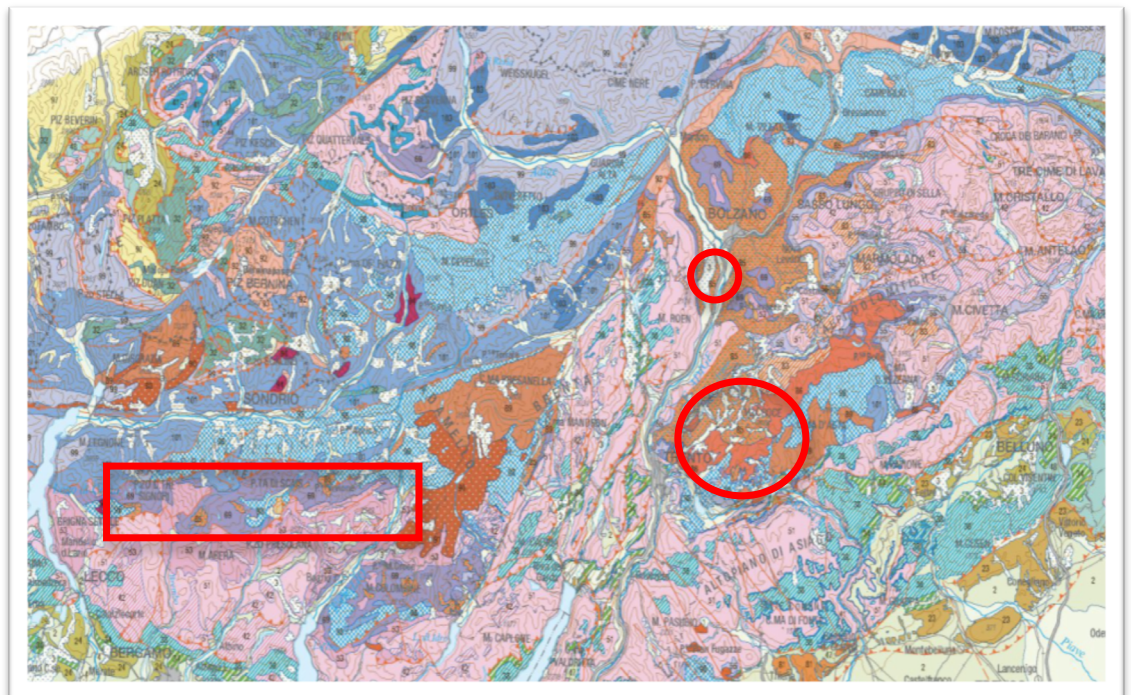


Figura 2: tratto dalla Carta Geologica d'Italia, scala 1:1.000.000. Sono evidenziate le aree da cui provengono i campioni oggetto di questo studio.

1.2-Inquadramento strutturale.

Il Gruppo Vulcanico Atesino è un grande bacino quadrangolare con un'area superiore a 2500 km² con spessori che raggiungono i 2000 m. I suoi margini sono chiaramente tettonici: a Sud troviamo la Paleolinea della Valsugana, oltre la quale le vulcaniti Permiane non sono presenti, ad Ovest troviamo il Lineamento Casilio-Trento-Cles, a Nord la Linea di Funes e ad Est il Lineamento del Cordevole (fig. 3).

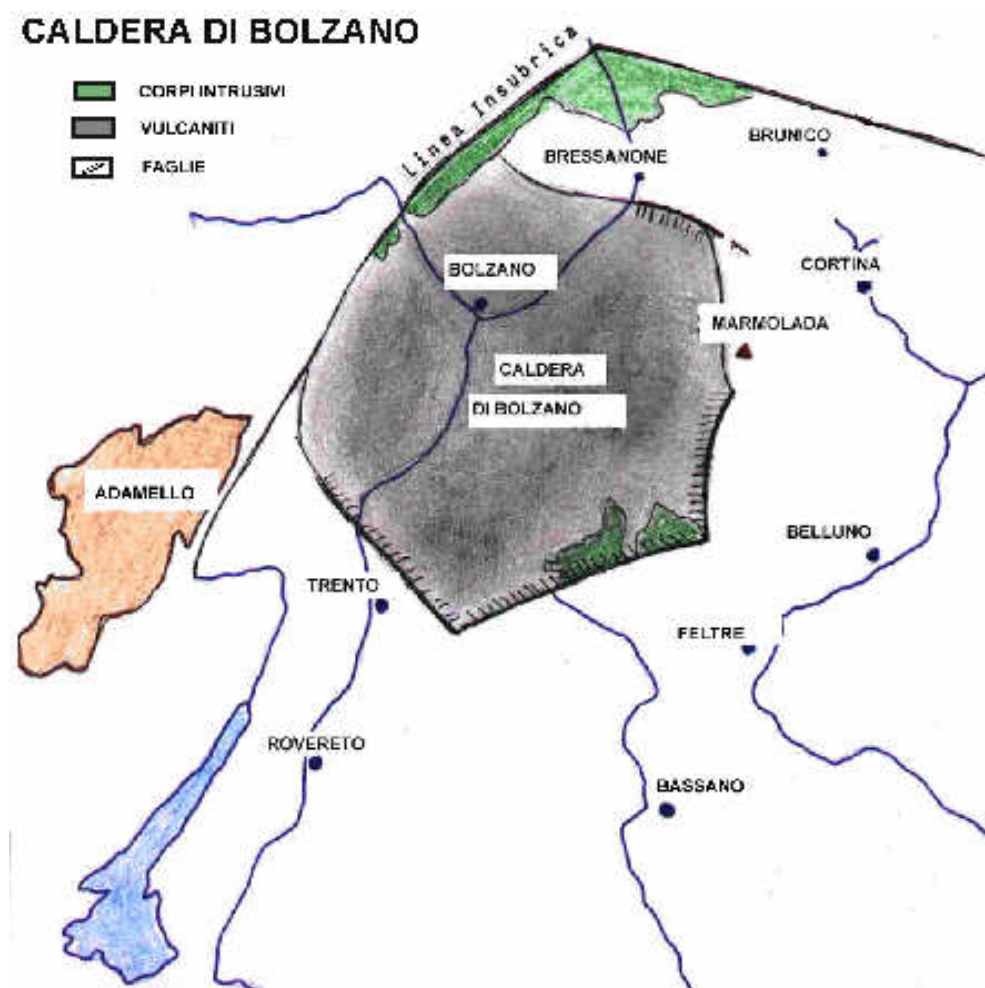


Figura 3: ricostruzione schematica del Bacino Vulcanico Atesino con i principali lineamenti tettonici che lo delimitano. Paleolinea del Calisio a S-W, la paleo-Linea della Valsugana a Sud, ad Est il Lineamento del Cordevole e a Nord la linea di Funes. (Tratto da http://www.ips.it/scuola/concorso_99/radon/geologia.html)

In letteratura generalmente l'assetto Permiano del settore Meridionale del Gruppo Vulcanico Atesino di cui fa parte l'area di studio è ricondotto ad un contesto geodinamico in cui il bacino vulcanico si forma in un settore crostale sottoposto ad uno sforzo distensivo lungo faglie principali con andamento ENE-WSW e WNW-ESE.

La tettonica distensiva avrebbe permesso la risalita dei magmi attraverso il Basamento, lungo le fratture, e il loro accumulo sarebbe avvenuto in quei bacini superficiali che si formano per sbloccamento crostale associato forse alla presenza di una faglia listrica con direzione SW-NE. Questo approfondimento delle porzioni più meridionali dell'area interessata dal vulcanismo sarebbe responsabile degli elevati spessori raggiunti (fig. 4).

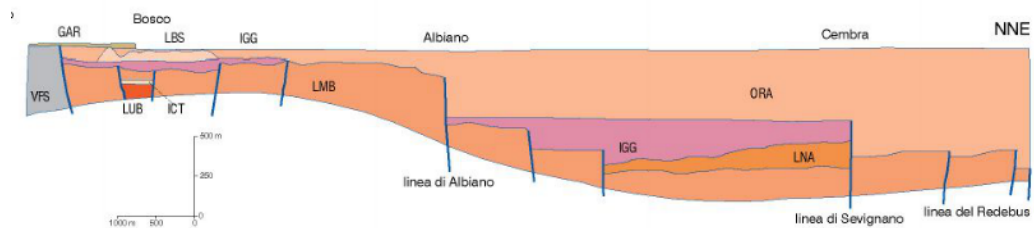


Figura 4: Sezione SW-NE (attuale) che mette in evidenza gli spessori raggiunti a causa della tettonica distensiva e il progressivo approfondimento dei bacini entro cui avevano luogo le colate. Tratto dalla Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.000, Foglio 060 – Trento.

2-Analisi effettuate.

In campagna si è deciso per quanto possibile di campionare in sequenza le unità appartenenti al Gruppo Vulcanico Atesino affioranti nell'area a Sud-Est di Trento ed altri campioni delle stesse formazioni sono stati raccolti nella zona più a Nord, nei pressi di Bolzano. In tabella sono riportate le diverse Formazioni e la sigla del campione.

FORMAZIONE	CAMPIONE
Formazione di Ora (ORA)	IF8; IF20 (Bolzano)
Formazione di Gries (IGR)	Non Campionato
Formazione di Regnana (LRE)	Non campionato
Formazione di Bosco (LBS)	IF12
Formazione di Gargazzone (IGG)	IF6; IF21 (Bolzano)
Formazione di Lona (LNA)	IF11
Formazione di Cembra (LMB)	Non campionato
Formazione di Pinè (LPE)	IF5
Formazione del Castelliere (ICT)	Non campionato
Formazione di Buss (LUB)	IF4
Conglomerato Basale (CGB)	-

Si tratta di Ignimbriti e lave di composizione riolitica/dacitica. A scala macroscopica hanno una struttura porfirica con fenocristalli di quarzo, feldspato e plagioclasio dominanti.

2.1-Analisi in microscopia ottica.

L'analisi in microscopia ottica è stato il passo preliminare nel nostro studio. Si è utilizzato un microscopio a luce trasmessa per identificare le fasi mineralogiche principali e valutare il grado di alterazione.

Dei campioni raccolti si sono analizzati in sezione sottile i seguenti: IF5, IF8, IF12, IF20, IF21.

Si tratta di rocce antiche e anche per questo il grado di alterazione è da elevato a molto elevato, tant'è che con alcuni campioni non si è potuto procedere nelle

analisi. Si tratta di campioni olocristallini in cui dominano quarzo, K-feldspato e plagioclasio; minerali secondari sono biotite e, talvolta, pirosseno e anfibolo. Proprio per l'elevata alterazione che le rocce hanno subito si è potuta riconoscere in sezione sottile l'alterazione del plagioclasio in sericite e del K-feldspato in caolinite. La biotite in più campioni si presenta opaca, spesso deformata e in alcuni casi sostituita da clorite. Le fasi mineralogiche principali nel dettaglio:

- Quarzo: per natura è la fase mineralogica che meglio resiste all'alterazione. I cristalli sono ben riconoscibili dalla caratteristica estinzione ondulata e il basso rilievo. Talvolta sono presenti anse di riassorbimento (*embayed quartz*) che attaccano il bordo del cristallo.
- Feldspato Alcalino: abbondante in tutti i campioni, grado di alterazione medio/elevato in caolino che presenta il tipico aspetto terroso. Geminazione secondo la legge Carlsbad (fig. 5) e abito riconoscibili quando presente come cristallo idiomorfo parzialmente preservato dall'alterazione, frequente la sua presenza anche nella matrice di fondo come microlite.

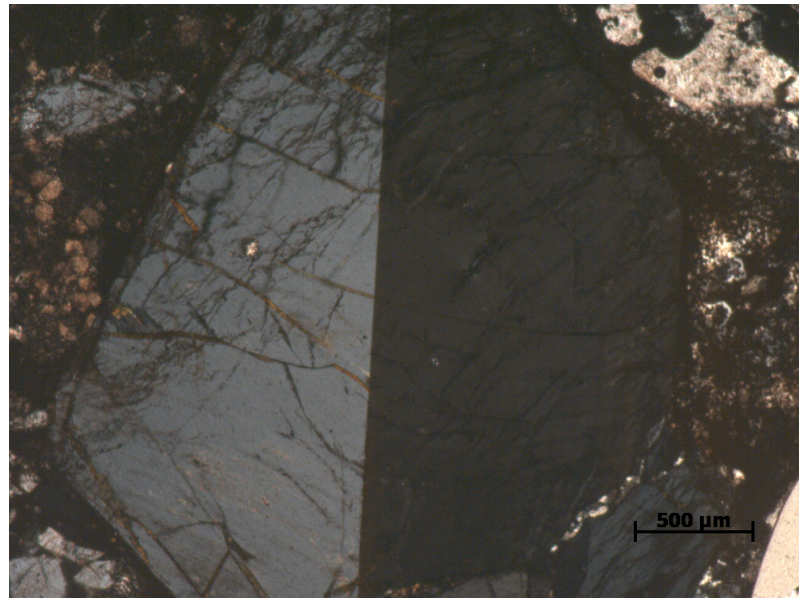


Figura 5: fenocristallo di K-feldspato NX, ingrandimento 2.5X; geminazione Carlsbad.

- Plagioclasio: abbondante in tutti i campioni, grado di alterazione medio/elevato e molto fratturato (fig. 6). Geminazione riconoscibile se presente come fenocristallo, spesso fratturato; presente anche come microlite costituente la matrice di fondo.

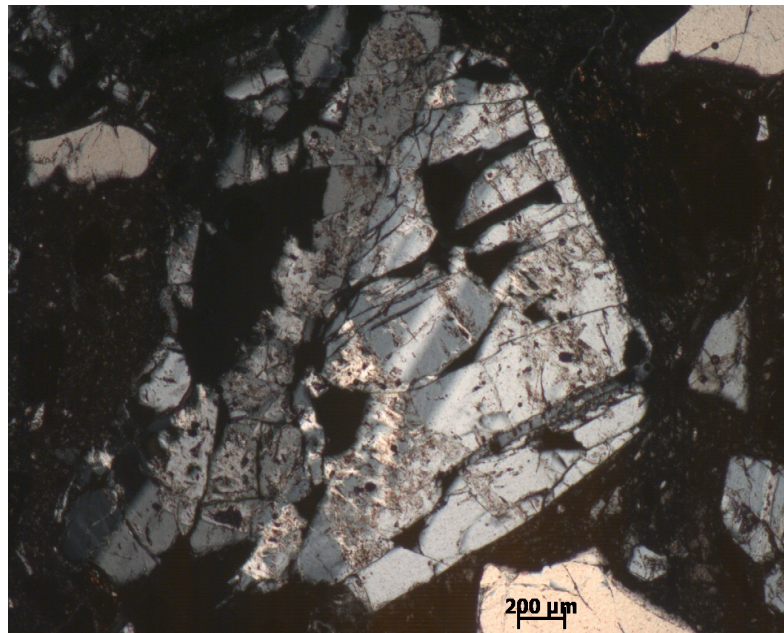


Figura 6: Plagioclasio NX, 5X. Fortemente fratturato.

- Biotite: tra i minerali secondari è sicuramente il più abbondante. E' presente in cristalli pleocroici idiomorfi ad abito tabulare con cristalli pseudo-esagonali, talvolta alterata in clorite, quando è preservata è di colore marrone intenso che ci fa supporre una composizione titanifera dominante. Spesso deformata (fig. 7).

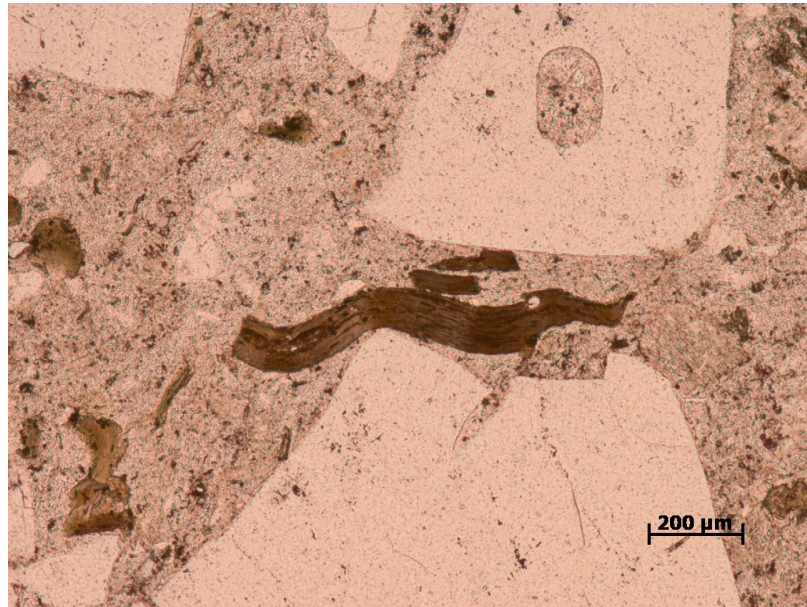


Figura 7: Biotite NP, 2.5X. Fortemente deformata.

- Minerali femici: quando presenti si tratta di pirosseno ed anfibolo, molto alterati.

Nel nostro studio si è tenuto conto anche di campioni provenienti dalle Prealpi Orobiche, in alta Val Brembana come termini di confronto in quanto rappresentano la porzione più occidentale del GA che qui prende il nome di Gruppo dei Laghi Gemelli e comprende la Formazione del Pizzo del Diavolo e le Vulcaniti del Monte Cabbianca. Anche in questo caso si tratta di ignimbriti riolitiche, espressione della Piattaforma Porfirica Atesina a 400 km di distanza da quello che è considerato il centro eruttivo. Minerali fondamentali anche in questo caso sono Quarzo, Feldspato Alcalino e Plagioclasio e le alterazioni sono frequenti e pervasive. Non sono presenti le fasi mafiche, le rocce sono povere in Ferro e Magnesio e arricchite in Silice rispetto a quelle Trentine.

2.2-Spettrometria per Fluorescenza di Raggi X (XRF).

L'analisi in Fluorescenza è sia di tipo qualitativo che quantitativo e può essere effettuata per una vasta gamma di elementi con numero atomico compreso tra 8 (Ossigeno) e 92 (Uranio). Attraverso questo metodo è possibile effettuare analisi di Bulk, ovvero su un volume di materiale sotto forma di polvere. Da un punto di vista qualitativo quello che si ottiene è la composizione chimica della roccia espressa in ossidi. In questo caso l'analisi ci permette di ottenere uno spettro di emissione e da questo le componenti presenti nel campione.

L'analisi di tipo quantitativo si basa, invece, sulla proporzionalità esistente fra intensità di un'emissione caratteristica e concentrazione dell'elemento emettente.

2.3-Spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS)

Questa tecnica permette di analizzare le concentrazioni degli elementi in traccia fino all'ordine dei ppm (parte per milione) o frazioni di ppm. Quello che si va a misurare è la concentrazione di singoli isotopi stabili dei vari elementi e la soglia di rilevabilità per questa tecnica è di circa 0,1 ppm per la maggior parte degli elementi in traccia con un errore analitico del 5-10% circa relativo. L'analisi consiste nello ionizzare un campione con plasma accoppiato induttivamente ed utilizzare uno spettrometro di massa per separare e quantificare questi ioni. Le analisi sono state effettuate dall'Università della Tasmania (Hobart, Australia).

3-Discussione dei dati chimici.

Le analisi effettuate ci hanno dato informazioni sui contenuti in elementi maggiori (fig. 8) e tracce delle rocce. Innanzitutto si nota un contenuto in Silice più alto nei campioni Orobici (77-78% in peso) rispetto a quelli Trentini (73-75% in peso). Questa differenza testimonia un processo di differenziazione magmatica e pertanto i campioni che provengono dalla Lombardia risultano arricchiti in SiO_2 . Il contenuto in Alluminio è elevato, così come quello in Potassio. Il contenuto in Titanio è basso e si nota un debole arricchimento in Ferro nei campioni Trentini rispetto a quelli Orobici.

	DE1	DE2	IF5	IF8	IF12	IF20	IF21
SiO₂	77,88	76,96	74,49	75,64	76,69	72,86	75,55
TiO₂	0,10	0,12	0,27	0,26	0,29	0,26	0,23
Al₂O₃	12,74	13,51	13,31	13,00	13,79	13,60	13,07
Fe₂O₃	0,89	0,97	2,06	2,14	1,01	2,74	1,41
MnO	0,01	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
MgO	0,27	0,31	0,60	0,48	0,15	0,19	0,28
CaO	0,02	0,04	0,94	0,28	0,15	0,79	0,20
Na₂O	1,21	1,32	3,37	3,18	0,34	2,91	2,39
K₂O	6,21	5,97	4,19	4,68	6,90	5,97	6,09
P₂O₅	0,01	0,03	0,07	0,06	0,07	0,08	0,05
Tot	99,34	99,25	99,34	99,77	99,42	99,44	99,31

Figura 8: in tabella sono riportati i risultati delle analisi XRF per gli elementi maggiori.

Le rocce campionate e analizzate in questo studio sono state classificate attraverso un diagramma TAS (Total Alkali Silica) come Rioliti (fig. 9) con elevato contenuto in silice ed alcali, in particolare Potassio, a riflettere un'appartenenza alla serie calcalcalina. Dalle analisi effettuate è emerso anche un elevato

contenuto in Alluminio, in linea con l'appartenenza alla serie magmatica, possiamo pertanto dire che si tratta di rocce peralluminose ($\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$).

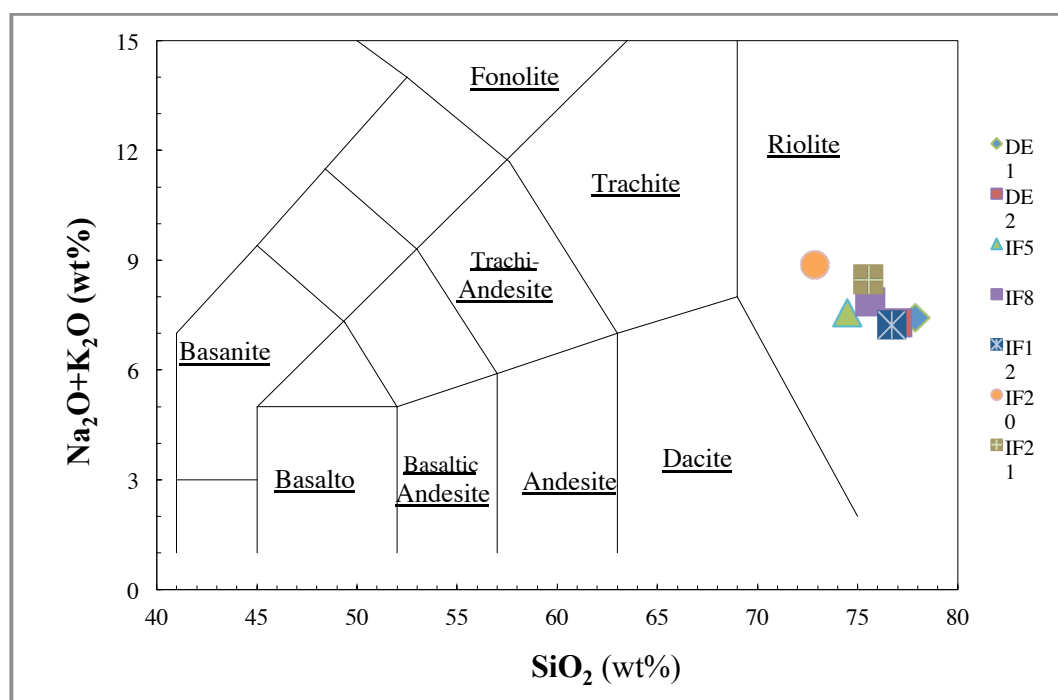


Figura 9: diagramma TAS per la classificazione delle rocce. I campioni oggetto delle nostre analisi rientrano nel campo delle rioliti.

Per quanto riguarda gli elementi in traccia i risultati ottenuti sono stati plottati su un diagramma (fig. 10) nel quale troviamo in ascissa gli elementi con grado di incompatibilità che diminuisce da sinistra verso destra, in ordinata la concentrazione degli elementi è stata normalizzata a quella del mantello primordiale.

Il Bario, elemento generalmente incompatibile, in magmi acidi può sostituire il K nel feldspato alcalino, diminuisce all'aumentare della Silice ad indicare il frazionamento di questo minerale. Inoltre si può notare che i campioni IF appartenenti alla porzione più prossimale al centro eruttivo hanno contenuti in Ba maggiori rispetto a quelli Orobici.

Si può vedere anche un impoverimento in Nb e Ta rispetto ai Lantanidi leggeri (LREE), La o Ce il che ci fa pensare a composizioni tipiche di fusi della crosta continentale. Lo Stronzio si comporta da elemento compatibile (nel senso che può sostituire il Ca, Na e K nel Plagioclasio oppure nel Feldspato Alcalino). In questo caso si ha un'anomalia negativa di Sr dovuta al frazionamento dei feldspati; lo stesso discorso vale per l'Europio. Il Piombo, pur essendo un elemento compatibile o poco incompatibile nel Plagioclasio mostra un'anomalia positiva a riflettere, probabilmente, la composizione della roccia sorgente (quella roccia la cui fusione ha portato alla formazione dei nostri magmi).

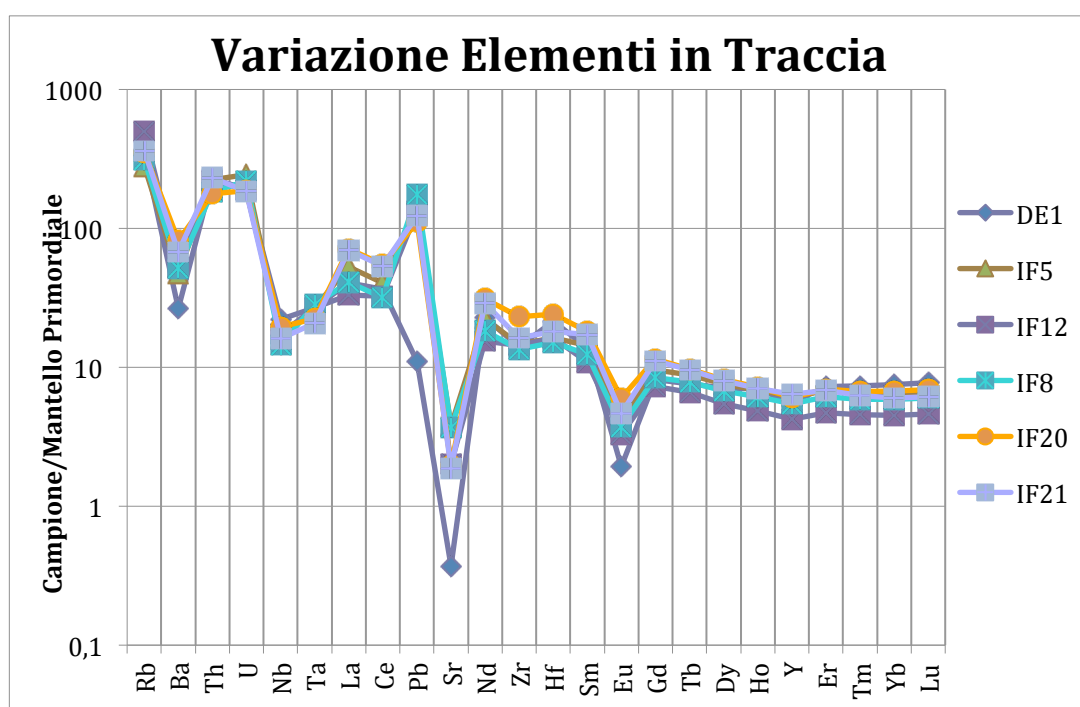


Figura 10: nel grafico è rappresentato l'andamento del contenuto in Elementi in Traccia con grado di incompatibilità che decresce da sinistra verso destra.

Il comportamento delle REE è stato analizzato separatamente e quello che è emerso è rappresentato nel grafico sotto riportato (fig. 11). Le composizioni delle rocce sono state normalizzate alle Condriti per osservare l'andamento delle REE. Normalmente si decide di normalizzare la composizione della roccia alle condriti

per eliminare l'effetto Oddo-Harkins, ovvero la tendenza degli elementi a numero atomico pari ad essere più abbondanti rispetto a quelli con numero atomico dispari. La curva nella parte iniziale (dal La al Dy) ha un andamento che può essere spiegato con il frazionamento (arricchimento in incompatibili) e via via diventa più piatta, con valori costanti da Ho a Lu. Il pattern è speculare a quello delle concentrazioni REE dell'anfibolo e si può pensare che proprio questo minerale possa aver influenzato la composizione delle nostre rocce.

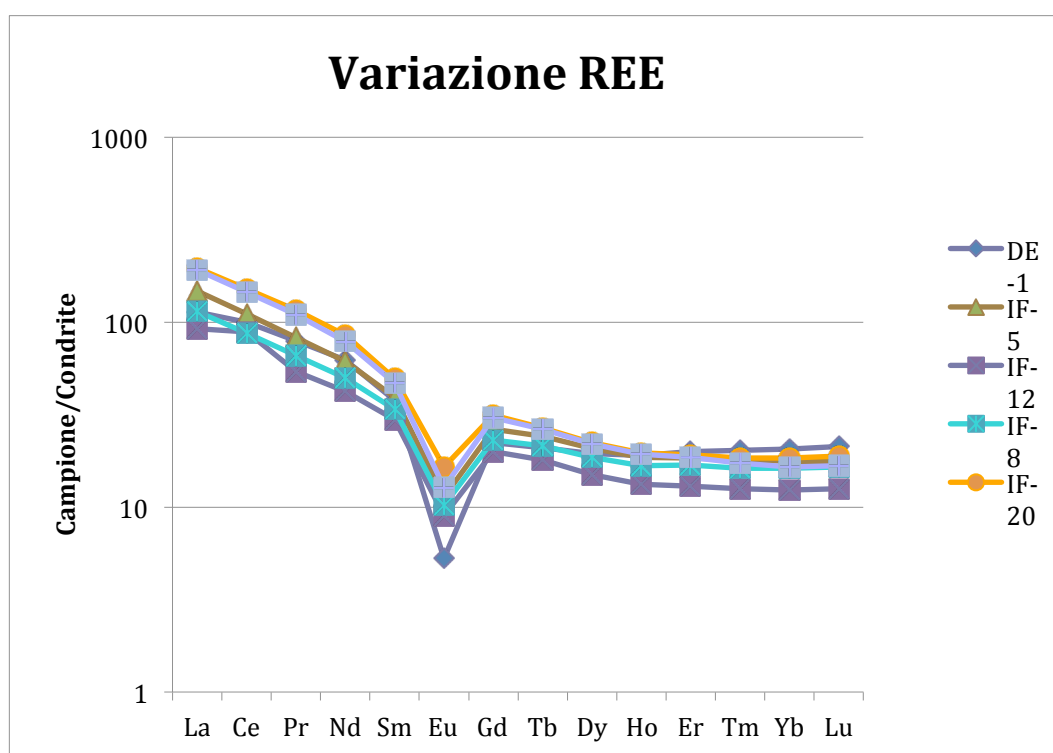


Figura 11: il grafico mostra l'andamento del contenuto in REE per i campioni analizzati.

Dall'analisi degli elementi in traccia si può, infine, utilizzando il diagramma di Pearce et al. (1984, Journal of Petrology, 25, 956-983) (Fig. 12 e fig. 13) ricostruire l'ambiente geodinamico. Il diagramma presenta tre campi per tre differenti ambienti geodinamici: intraplacca o hot spot (WPG), dorsale oceanica (ORG) ed arco vulcanico (VAG).

Attraverso questo tipo di diagramma si nota come i campioni si collochino nel campo VAG. L'ambiente geodinamico nel quale si sarebbero formate le rocce campionate sarebbe dunque quello di arco vulcanico in ambiente collisionale. In letteratura, tuttavia, troviamo evidenze del fatto che il magmatismo Permiano sia attribuibile ad una fase estensionale. Come spiegare quindi le due ipotesi contrastanti?

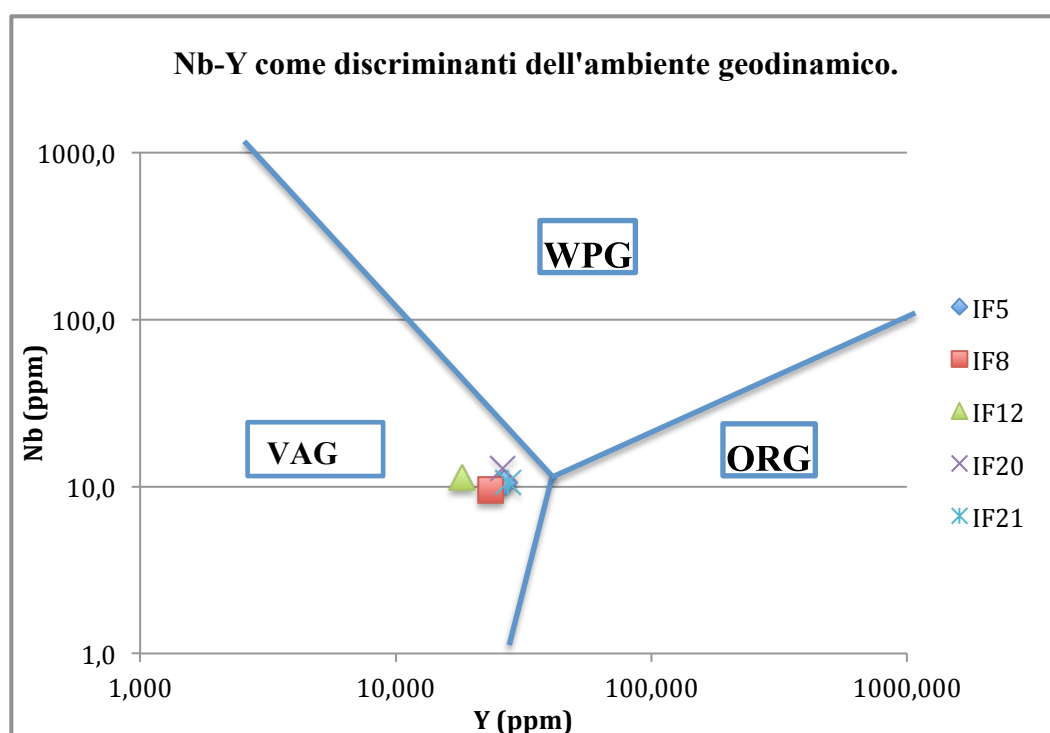


Figura 12: Diagramma di Pearce et al. (1984). Attraverso il contenuto in Nb(ppm) e Y(ppm) permette di individuare l'ambiente geodinamico.

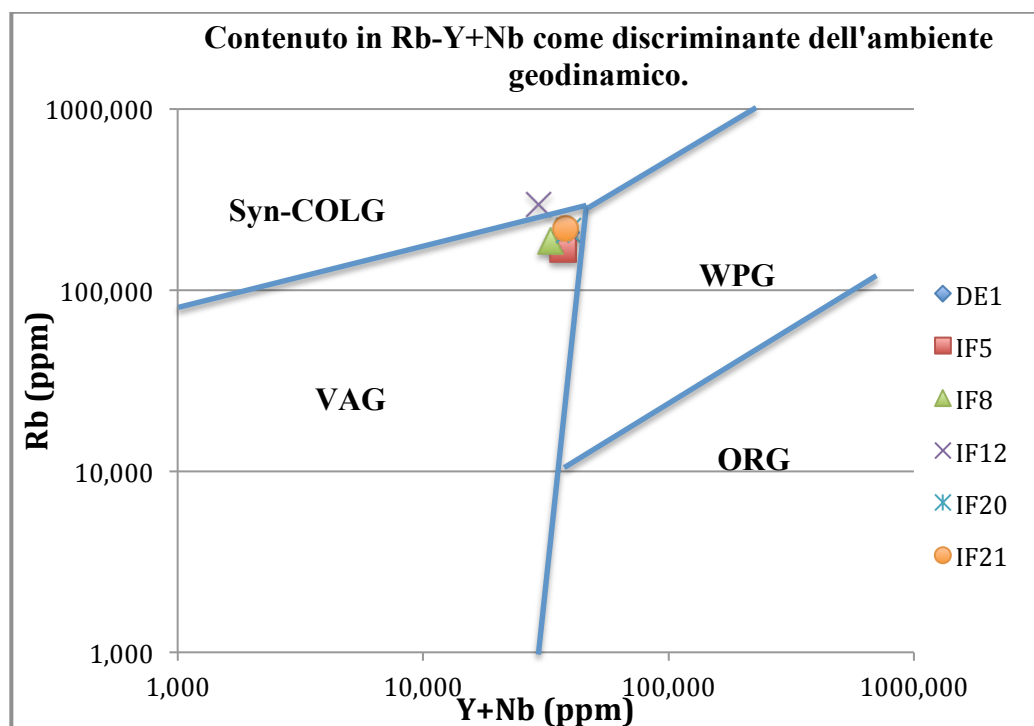


Figura 13: Diagramma di Pearce et al. (1984). In questo grafico l'ambiente geodinamico è discriminato dai rapporti Y+Nb vs. Rb.

In regime estensionale, secondo Schaltegger e Brack (2007), possiamo avere fusione di crosta continentale che nel nostro caso è rappresentata dalla crosta Ercinica, che può avere contenuto in tracce tipico di un ambiente collisionale e per questo nel diagramma di Pierce i nostri campioni si collocano nel campo di arco vulcanico. Si tratta dunque di fusione (o di elevati livelli di contaminazione) crostale che produce valori in Rubidio, Ittrio e Niobio tipici di rocce acide collisionali.

4-Conclusioni.

Dalle analisi effettuate in questo studio possiamo ipotizzare che il maggior contenuto in Silice delle rocce Orobiche sia dovuto a gradi di fusione più bassi rispetto a quelli delle rocce Trentine che si trovano in prossimità del centro eruttivo.

Il pattern delle REE suggerisce che la roccia sorgente delle rioliti Permiane fosse ricca in anfibolo, in quanto la presenza di questo minerale residuo durante la fusione può indurre concentrazioni e rapporti di Terre Rare simili a quelli osservati per i nostri campioni. Litologie ricche in anfibolo nella crosta medio-profonda rappresentano una sorgente ottimale per fusi e fluidi e la presenza di questo minerale aumenta il potenziale esplosivo del magma durante la differenziazione. I fluidi residui che si generano sono inoltre in grado di trasportare metalli che possono dare luogo a mineralizzazioni (Davidson et al. 2007).

L'impronta geochemica delle rocce del Gruppo Vulcanico Atesino, che suggerisce un contesto geodinamico di tipo Arco Vulcanico, riteniamo possa essere attribuita alla fusione della Crosta Ercinica. In particolare sono due i processi che possono portare a questo: 1) fusione diretta della crosta Ercinica; 2) fusione della crosta per intrusione di magma basico di origine profonda e conseguente contaminazione che ha determinato i valori di contenuti in Tracce che abbiamo ottenuto.

Questa seconda ipotesi è la più accreditata, vista anche la presenza nella Zona di Ivrea di intrusioni mafiche che interessano la crosta profonda Sud-Alpina del Piemonte: troviamo gabbri di età di circa 270 Ma che si sono intrusi al di sopra della Moho.

Durante il Permiano era attiva una fase estensionale che ha determinato la formazione di fratture attraverso cui il magma è fuoriuscito dando luogo alle colate del GA.

5-Bibliografia.

- Best Myron G., “Igneous and metamorphic petrology”, second edition, 2003, chapters 5-6, pages 87-147.
- Pierce et al., diagrams in *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956-983.
- Quick J.E., Singoi S., Peressini G., Demarchi G., Wooden J.L., Sbisà A., “Magmatic plumbing of a large Permian caldera exposed to a depth of 25km”, *Geology*, 2009, 37: 603-606.
- Schaltegger U., Brack P., “Crustal-scale magmatic systems during intercontinental strike-slip tectonics: U, Pb and Hf isotopic constraints from Permian magmatic rocks of the southern Alps”, *Journal of Earth Science*”, 2007, 96: 1131-1151.
- Davidson J., Turner S., Handley H., Macpherson C., Dosseto A., “Amphibole “sponge” in arc crust?”, *Geology* , 2007, 35: 787-790.
- Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 060 TRENTO, 2010.
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:1.000.000, 5° Edizione, 2011.