



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

Direttore Prof. Fabrizio Nestola

Tesi di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica

**Metamorfismo di contatto dell'Argillite di Lozio in**

**Alta Val Caffaro**

**(plutone Re di Castello, Adamello meridionale)**

Relatore: *Prof. Bernardo Cesare*

Correlatore: *Prof. Omar Bartoli*

Laureanda: *Arianna Randazzo*

Anno Accademico 2021/2022



## Indice

Riassunto .....	V
Abstract .....	VII
Introduzione .....	1
<b>1 Inquadramento geografico e geologico .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Assetto geografico .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Assetto geologico .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Il batolite dell'Adamello .....	5
1.2.2 Area di studio: alta Valle del Caffaro.....	7
<b>1.3 Geologia dell'Alta Valle del Caffaro .....</b>	<b>9</b>
1.3.1 Il Plutone Re di Castello .....	13
1.3.2 Argillite di Lozio.....	14
<b>2. Attività di campionamento .....</b>	<b>19</b>
<b>3. Metodologie .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Introduzione .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Microscopio ottico .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 La tecnica .....	29
3.2.2 Le analisi effettuate .....	30
<b>3.3 Microsonda Elettronica (EMPA) .....</b>	<b>31</b>
3.3.1 La tecnica .....	31
3.3.2 Lo strumento.....	32
3.3.3 Le analisi effettuate .....	33
<b>3.4 Microscopio Elettronico a Scansione (SEM).....</b>	<b>34</b>
3.4.1 La tecnica .....	34
3.4.2 Lo strumento.....	36
3.4.3 Le analisi effettuate .....	37
<b>3.5 Fluorescenza a raggi X (XRF) e Analisi Total Organic Carbon .....</b>	<b>37</b>
<b>3.5.1 Fluorescenza a raggi X (XRF).....</b>	<b>37</b>
3.5.1.1 La tecnica.....	38
3.5.1.2 Lo strumento.....	39
3.5.1.3 Le analisi effettuate .....	39
<b>3.5.2 Analisi Total Organic Carbon.....</b>	<b>40</b>
<b>3.6 Microspettroscopia Laser Raman .....</b>	<b>41</b>

3.6.1	La tecnica .....	41
3.6.2	Lo strumento.....	42
3.7	<b>Diffrazione da polveri (XRPD)</b> .....	43
3.7.1	La tecnica .....	43
3.7.2	Lo strumento.....	44
3.7.3	Le analisi effettuate .....	44
4.	<b>Petrografia</b> .....	47
4.1	Introduzione .....	47
4.2	LOZ1 .....	47
4.3	LOZ5 .....	52
4.4	LOZ110 .....	55
4.5	LOZ117 .....	56
4.6	LOZ121 .....	59
4.7	GAV2.....	61
4.8	Vincoli petrografici alle condizioni metamorfiche.....	63
5.	<b>Composizione chimica e mineralogica delle rocce e dei minerali</b> .....	65
5.1	Composizione chimica delle rocce .....	65
5.2	Composizione chimica dei minerali.....	66
5.2.1	Cordierite .....	68
5.2.2	Miche .....	70
5.2.2.1	Biotite .....	70
5.2.2.2	Mica bianca.....	71
5.2.3	Feldspati .....	72
5.2.3.1	Feldspato potassico.....	72
5.2.3.2	Plagioclasio.....	72
5.4	Chemografia AFM.....	74
5.5	Composizione mineralogica dei campioni studiati .....	76
6.	<b>Termobarometria</b> .....	79
6.1	Termometria RSCM.....	79
6.1.1	Lo spettro Raman della Grafite .....	79
6.1.2	Il termometro RSCM .....	81
6.1.3	Risultati .....	84
6.2	Termometria Ti-in-Biotite.....	89
6.2.1	Il termometro Ti-in-Biotite.....	89



6.2.2 Risultati .....	91
6.3 Modellizzazione termodinamica .....	94
7. Discussione e conclusioni .....	103
Ringraziamenti .....	109
Bibliografia.....	111
Appendice.....	119



## Riassunto

Attorno ai diversi plutoni che costituiscono il complesso intrusivo dell'Adamello è presente la tipica aureola di contatto creatasi sulle litologie incassanti a causa del riscaldamento da parte dei magmi che costituivano il batolite.

In questo lavoro è stata studiata l'aureola di contatto del plutone Re di Castello in Alta Valle del Caffaro, a nord della località Gaver, con l'obiettivo di determinare le condizioni di temperatura e pressione alle quali è avvenuto il metamorfismo di contatto nelle rocce adiacenti al corpo intrusivo che in quest'area ha composizione da dioritico a gabbrica. Lo studio è stato effettuato sulla formazione triassica dell'Argillite di Lozio, metamorfosata per contatto nell'area di interesse. L'associazione mineralogica delle rocce in esame presenta cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, grafite, feldspato potassico e, in alcuni campioni più vicini all'intrusione, anche sillimanite.

Per lo studio di queste cornubianiti sono stati utilizzati il microscopio ottico, la microsonda elettronica, il microscopio elettronico a scansione, la fluorescenza a raggi X, l'analizzatore del carbonio organico totale e la microspettroscopia laser Raman.

Per ottenere informazioni riguardanti le condizioni di temperatura e pressione sono stati impiegati due geotermometri, il termometro RSCM basato sulla cristallinità della grafite, e il termometro Ti-in-Bt basato sul contenuto di titanio all'interno della biotite, e successivamente la modellizzazione termodinamica degli equilibri di fase. Da queste applicazioni si è ottenuto che le rocce all'immediato contatto con il plutone di Re di Castello sono state equilibrate a temperature di almeno 620°C e pressioni di almeno 3.4 kbar. Queste ultime indicano una profondità di messa in posto del plutone Re di Castello minima di 12.6 km.



## **Abstract**

Around the different plutons that make up the Adamello intrusive complex, the typical contact aureole is present. The development of the aureole on the adjacent country rocks is due the heat coming from the cooling batholith magma.

In this work we studied the contact aureole of the Re di Castello pluton. The study area is located in the Upper Caffaro Valley, to the north of Gaver locality; the aim of the work is to define the temperature and pressure (and then depth) conditions under which the contact metamorphism in the rocks near intrusive rocks occurred. In this area the magmatic body is composed by diorite and gabbro. The study has focused on the Argillite di Lozio Triassic formation, affected by contact metamorphism in the area of interest. The mineralogical association of the contact metamorphosed rocks includes cordierite, biotite, white mica, quartz, plagioclase, graphite, potassium feldspar and, in some samples very near to the intrusion, also sillimanite.

For the study of these cornubianites, optical microscope, electron microprobe, scanning electron microscope, X-ray fluorescence, elemental analyser and Raman laser microspectroscopy were used.

To obtain information regarding the temperature and pressure conditions at the time of the intrusion of Re di Castello pluton the thermodynamic modelling of phase equilibria and two geothermometers were used: the RSCM thermometer based on the crystallinity of graphite, and the Ti-in-Bt thermometer based on the titanium content in the biotite. The thermometers and the modelling provided a temperature and a pressure of the rocks in

immediate contact with the pluton of Re di Castello, of  $\geq 620^{\circ}\text{C}$  and  $\geq 3.4$  kbar, respectively. This pressure corresponds to a minimum depth of 12.6 km.







## **Introduzione**

Il seguente studio ha come area di lavoro il complesso plutonico dell'Adamello, il quale è formato da differenti plutoni con differenti età.

Di interesse, in particolare, è il metamorfismo di contatto generato dal Plutone Re di Castello, il più antico dei corpi intrusivi del complesso.

Lo studio si è svolto in alta valle del Caffaro, vicino alla località Gaver, con la finalità di capire le condizioni di temperatura e pressione alle quali è avvenuto il metamorfismo di contatto nelle rocce situate all'immediato contatto intrusivo del corpo magmatico. Per ottenere questi risultati è possibile seguire due vie: studiare l'intrusione, oppure l'aureola di contatto generata dall'intrusione stessa. Nel nostro studio abbiamo deciso di soffermarci su quest'ultima, in particolar modo si è studiata l'associazione mineralogica dell'Argillite di Lozio, copertura sedimentaria pelitica del Carnico Inferiore, metamorfosata dall'intrusione Re di Castello. Il Plutone Re di Castello nell'area di interesse è formato per lo più da corpi gabbrici e dioritici ma sono presenti anche corpi tonalitici.

I campioni sono stati in primo luogo studiati e caratterizzati dal punto di vista petrografico, geochimico, termobarometrico e spettroscopico.

In un secondo momento sono stati applicati due geotermometri sui dati ottenuti: il termometro RSCM e il termometro Ti-in-Bt.

Per finire abbiamo applicato ai dati una modellizzazione termodinamica, grazie alla quale è stato possibile ottenere dei vincoli termobarometrici sulle condizioni del metamorfismo di contatto (basati sulla caratterizzazione delle Argilliti di Lozio).



# **1 Inquadramento geografico e geologico**

## **1.1 Assetto geografico**

Il gruppo dell'Adamello è localizzato geograficamente tra le province di Trento e Brescia. È delimitato a nord dalla Val di Sole, a est dalla Val Rendena e dalla Valle del Chiese, a ovest dalla Val Camonica e a sud dalla Valle del Caffaro e dal Passo Crocedomini.

La vetta più alta dell'intero gruppo Adamello-Presanella raggiunge i 3558 metri s.l.m. (cima Presanella).

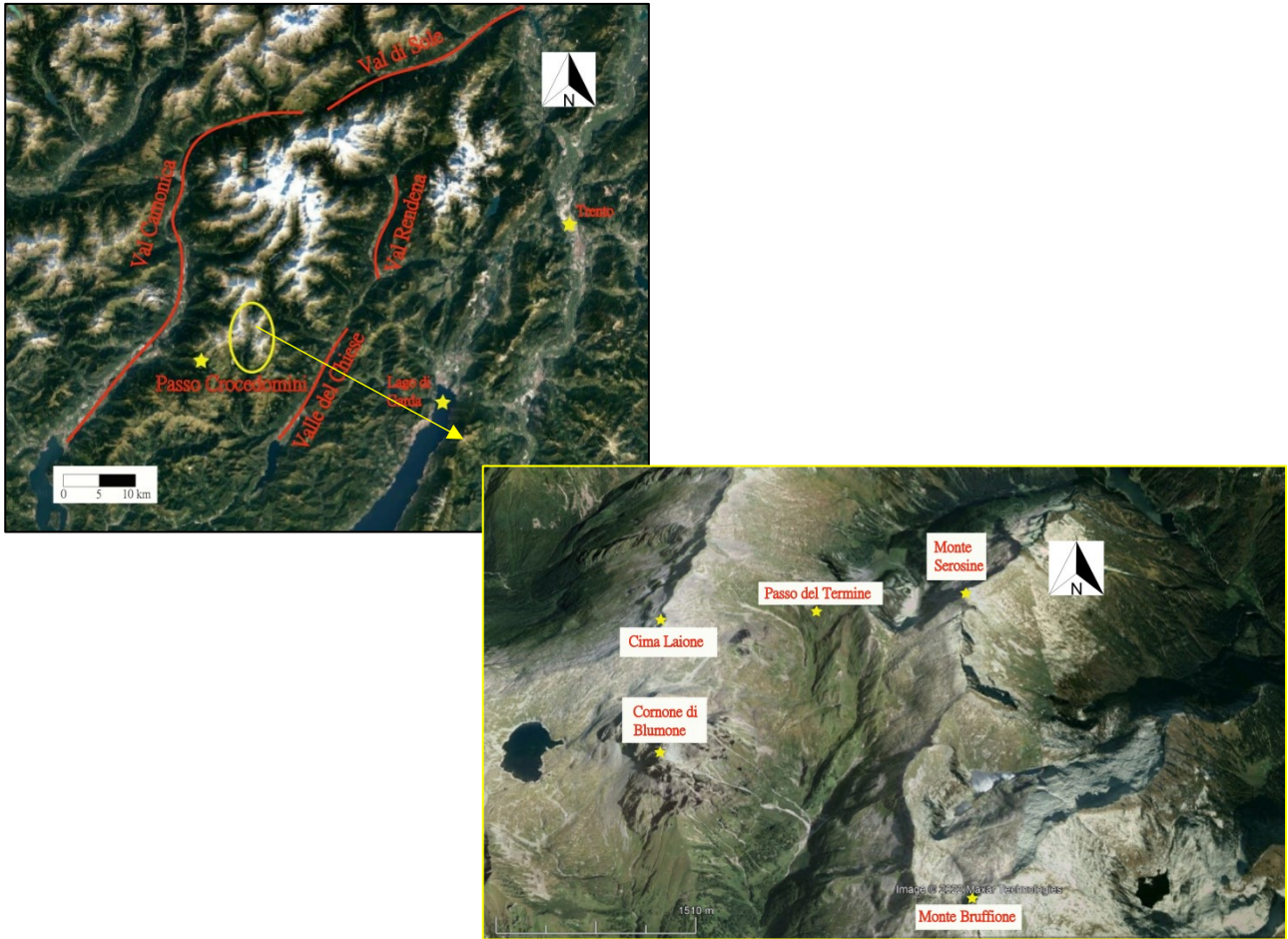
Il gruppo fa parte del Parco Naturale Adamello Brenta per quanto riguarda l'area trentina.

Il parco svolge un ruolo strategico nella pianificazione e gestione dello sviluppo locale sostenibile; le sue attività sono volte a tutelare, valorizzare e promuovere il territorio.

L'area lombarda del massiccio appartiene invece al Parco dell'Adamello, gestito dalla Comunità Montana di Valle Camonica.

L'area di interesse di questa tesi è situata nella parte meridionale del gruppo, nell'alta valle del Caffaro. Possiamo delimitare l'area a nord con il Passo del Termine, a sud con la Località Gaver, a ovest con le cime Cornone di Blumone e Scoglio di Laione ed a est con il Monte Bruffione e Monte Serosine (Figura 1.1).

Nell'area trentina, la Valle di Borzago, laterale destra della Val Rendena, rappresenta un'altra importante area di studio per quanto riguarda il metamorfismo di contatto.



**Figura 1.1:** Localizzazione dell'area di studio – immagini Google Satellite modificate

## **1.2 Assetto geologico**

### **1.2.1 Il batolite dell'Adamello**

L'Adamello è il più grande batolite alpino di età Terziaria, intruso nel basamento cristallino e nella copertura mesozoica delle Alpi Meridionali; con il termine Alpi Meridionali, o Dominio Sudalpino, si intende l'area collocata tra il Lineamento Insubrico e l'avanpaese padano.

Il termine batolite, invece, è utilizzato per indicare un grande corpo intrusivo di natura composita, formato da svariati plutoni di natura ed età in parte diverse (Brack et al., 2008).

Il basamento cristallino in cui si intrude il complesso dell'Adamello è costituito dagli Scisti di Rendena e gli Scisti di Edolo, unità pelitico-arenitiche con impronta metamorfica di medio-basso grado e scistosità regionale acquisite durante l'orogenesi Varisica. Tali unità sono state intruse da plutoni permiane e ricoperte dalle successioni permo-mesozoiche (Brack et al., 2008).

È possibile dividere il batolite dell'Adamello in quattro plutoni di età distinte (Figura 1.2): il plutone di Re di Castello e Corno Alto (40-43 Ma) che occupa l'area più meridionale e orientale del complesso; il plutone dell'Adamello (34-36 Ma) che si trova centralmente al gruppo; il plutone d'Avio (32-34 Ma) situato nell'area nord-ovest del complesso e il plutone della Presanella (29-33 Ma), il più giovane, situato a nord-est (Callegari et al., 1998).

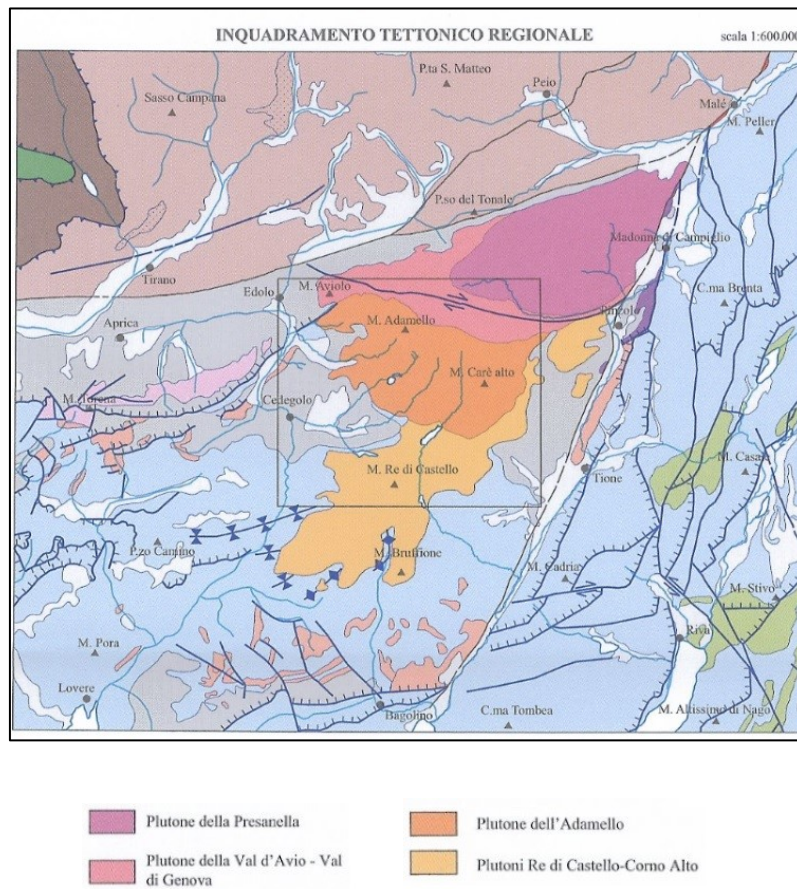
L'attività magmatica è stata sostenuta per oltre 10 Ma, con i maggiori pulsanti a 43-42, 36 e 34-33 Ma.

Il batolite dell'Adamello fa parte del Magmatismo Periadriatico, insieme di manifestazioni magmatiche avvenute lungo il lineamento omonimo (Laubscher, 1985).

I plutoni Re di Castello e Corno Alto non presentano però affinità con il lineamento sopra citato in quanto si sviluppano secondo un allineamento SW-NE, parallelo e coerente con il sistema di faglie delle Giudicarie meridionali.

La linea delle Giudicarie si divide infatti in due segmenti: la faglia delle Giudicarie settentrionali appartiene al Lineamento Insubrico, mentre la linea delle Giudicarie meridionali rappresenta una zona di faglia appartenente al Sudalpino (Prosser 1998). Quest'ultimo lineamento deriva da riattivazioni multiple di un sistema di faglie preesistenti (Cassinis et al., 1993); è infatti una struttura di età neogenica che riattiva e inverte in transpressione sinistra le faglie normali del rifting norico-liassico e discontinuità antecedenti (Castellarin et al., 1982).

Il batolite presenta due principali associazioni litologiche: una più felsica e una più mafica. All'interno della prima associazione, più abbondante, si trovano tonaliti, granodioriti e throndhjemiti; le rocce mafiche (gabbri e dioriti) si presentano invece sotto forma di dicchi e protuberanze posizionate attorno ai plutoni principali, eccezion fatta per la massa più cospicua di Monte Mattoni. Le plutoniti mafiche si trovano prevalentemente nell'area meridionale, nel plutone di Re di Castello, e la loro origine è per lo più mantellica, con un'importante contaminazione crostale confermata dallo studio degli zirconio presenti dell'unità in questione (Brack et al., 2008). Responsabili delle differenti associazioni mineralogiche presenti in questo contesto sono i processi di cristallizzazione frazionata, di differenziazione e di cumulo (Ulmer et al., 1983).



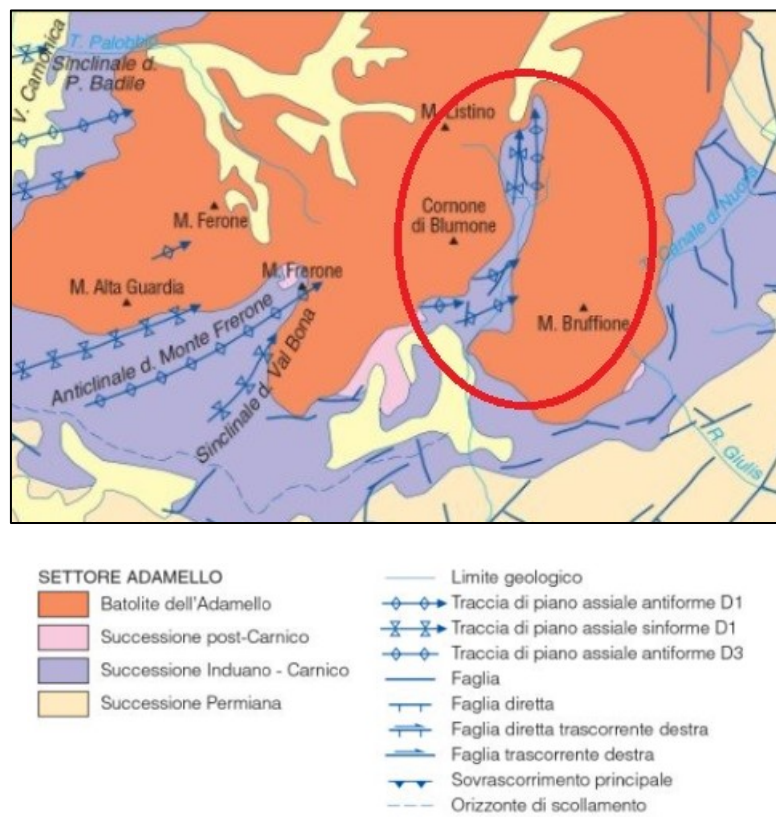
**Figura 1.2:** *Inquadramento tettonico regionale del gruppo dell'Adamello e divisione in quattro eventi magmatici (Brack et al., 2008)*

### 1.2.2 Area di studio: alta Valle del Caffaro

L'Alta Valle del Caffaro rientra all'interno di una zona a pieghe e sovrascorrimenti creatasi prima dell'intrusione dell'Adamello durante le fasi di convergenza, subduzione e collisione continentale Eurasia-Adria dal Cretacico al Paleocene (Bargossi et al., 2016). Questo sistema di pieghe e sovrascorrimenti è delimitato alla base da un orizzonte di

scollamento che si approfondisce dai circa 5 km al margine con la pianura Padana fino a circa 16 km in prossimità della Linea Insubrica (Del Moro et al., 1983).

L'intrusione del batolite dell'Adamello taglia le strutture tettoniche preesistenti (Figura 1.3), metamorfosando per contatto sia il basamento metamorfico Varisico che le coperture permo-triassiche (Carminati et al, 1997). Le pieghe preintrusive mostrano deformazioni attribuibili all'intrusione forzata del magma (Brack, 1985).



**Figura 1.3:** Schema tettonico delle Alpi Meridionali e dell'Alta Valle del Caffaro (area cerchiata in rosso) – immagine modificata da Bargossi et al. (2016)

Sul terreno è possibile osservare numerose pieghe a piccola scala che riflettono le deformazioni a scala maggiore. Queste pieghe sono registrate in alcuni casi dalle



coperture carbonatiche, in altri dalle cornubianiti di contatto, indicando due differenti fasi deformative, pre e sin/post intrusione (Figura 1.4).



**Figura 1.4:** *pieghe a piccola scala evidenti su livelli cornubianitici, in origine marnosi. I livelli calcarei, meno competenti, fluiscono attorno al materiale più competente, senza mostrare le evidenze della deformazione*

### **1.3 Geologia dell'Alta Valle del Caffaro**

La geologia dell'Alta Val di Caffaro è caratterizzata da una successione di coperture triassiche costituite, in ordine di età decrescente, da: Formazione di Servino, Carniola di Bovegno, Dolomia di Elto/Serla, Calcarea di Angolo, Calcarea del Dosso dei Morti, Calcarea di Prezzo, Formazione di Buchenstein, Formazione di Wengen, Calcarea di Esino, Calcarea di Pratotondo, Formazione di Breno, Formazione di Gorno, Argillite di Lozio, Formazione di San Giovanni Bianco, sedimenti carnici indifferenziati, Dolomia Principale.

La copertura più antica affiorante nell'area di studio è il Calcarea di Angolo, che insieme al Calcarea di Prezzo e alla Formazione di Buchenstein rappresentano le coperture del Triassico medio presenti in zona (Brack, 1984).

Il Calcarea di Angolo è rappresentato da due litofacies: la litofacies inferiore presenta calcari grigio scuri talvolta in strati pluridecimetrici con intercalazioni di livelli più sottili, calcari nodulari e bioturbati, marne giallastre stratificate e breccie caotiche a calcari e dolomie in una matrice marnosa con carniolate. La litofacies superiore è costituita da una successione di calcari grigio scuri in piccoli strati planari ben suddivisi da interstrati argilloso marnosi anche centimetrici.

Il Calcarea di Prezzo invece è costituito da calcari marnosi ben suddivisi da marne argillose che danno un aspetto nodulare all'unità.

La Formazione di Buchenstein rappresenta il tetto della formazione precedente: è formata da calcari nodulari grigi con noduli di selce e materiali argillitici posti ai giunti di stratificazione.

Le coperture del Triassico superiore affioranti sono il Calcarea di Pratotondo, l'Argillite di Lozio, i sedimenti carnici indifferenziati e la Dolomia Principale.

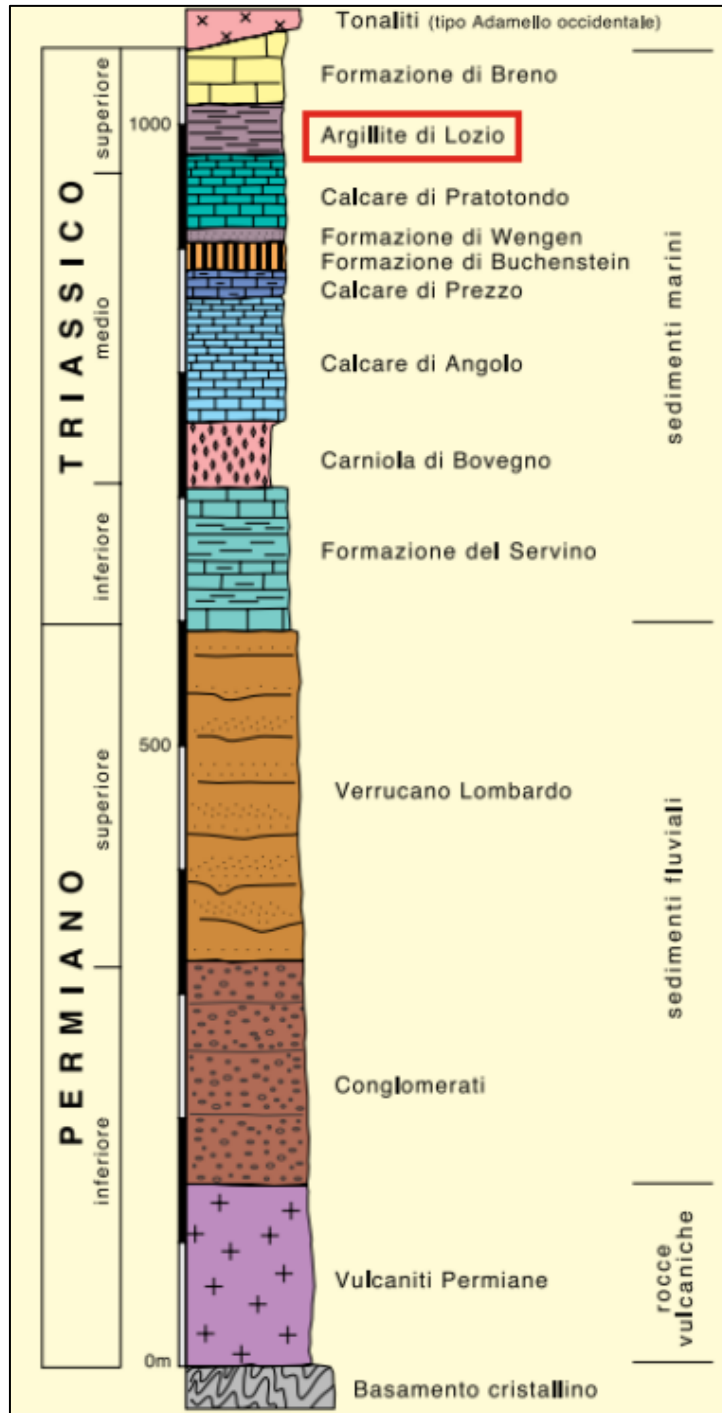
Il Calcarea di Pratotondo si trova nella facies metamorfica di contatto sotto forma di marmi lastroidi a grana grossa con sottili livelli di cornubianiti scure a spinello, flogopite e scapolite. Il protolite è rappresentato da micriti nere, calcari ben stratificati, laminati e lastroidi, con sottili intercalazioni argillose alla base della formazione.

L'Argillite di Lozio è rappresentata da siltiti nerastre, scheggie, spesso riccamente micacee, a stratificazione poco distinta, talora con noduli di pirite; vi è la prevalenza di marne e siltiti marnose nella parte superiore. Nell'area di studio si presenta nella facies metamorfica di contatto sotto forma di cornubianiti.

La Dolomia Principale si presenta variamente trasformata dall'intrusione dei corpi magmatici, le caratteristiche sedimentarie sono solo parzialmente conservate in aree adiacenti: sono riconoscibili breccie grossolane a elementi calcareo-dolomitici a stratificazione indistinta, dolomie scure laminate, dolomie fini, dolomie stromatolitiche, dolomie massicce e calcari dolomitici grigio-chiari a stratificazione indistinta o in grossi banchi. Si osservano anche dolomie organizzate in cicli coarsening e shallowing-upward. La stessa formazione si presenta metamorfosata, più abbondantemente in altre aree (es. Corna Bianca), sotto forma di marmi microcristallini e marmi saccaroidi candidi.

Infine, nell'area di interesse l'intrusione del Massiccio dell'Adamello è rappresentata dalle magmatiti del plutone di Re di Castello. È possibile suddividere il plutone in diverse unità: gabbri e dioriti del Complesso di Blumone, tonaliti indifferenziate e Granodiorite del Bruffione sono le unità affioranti nella zona di interesse.

In figura 1.4 viene mostrata una colonna stratigrafica con in evidenza l'Argillite di Lozio.



**Figura 1.5:** Colonna stratigrafica sintetica della successione permo-triassica esposta lungo la cresta Monte Ignaga - Forcel Rosso, area localizzate poco più a settentrione rispetto alla nostra area di interesse. L'intera serie ha uno spessore di circa un chilometro. In evidenza l'Argillite di Lozio - Brack et al. (2003)

### 1.3.1 Il Plutone Re di Castello

Il Plutone Re di Castello è caratterizzato da rocce eruttive ultrafemiche fino a gabbriche che accompagnano rocce tonalitico-granodioritiche e trondhjemitiche formando masse marginali ai bordi del plutone. Il complesso è attraversato inoltre da sciami di filoni lamprofirici (Ulmer et al., 1983). Tutti i litotipi presenti hanno origine comune e natura cogenetica, documentata dalle caratteristiche petrografiche, mineralogiche ed isotopiche, e dai rapporti osservati sul terreno.

Gabbri e dioriti ad anfibolo e pirosseno si presentano massicci, localmente con evidenza di *layering* per flusso magmatico, con grana da media a minuta. Sono anche presenti varietà a grana grossa con pirosseni e anfiboli centimetrici. Queste litologie, studiate nel dettaglio da Ulmer et al. (1983) nella vicina sequenza del Monte Mattoni, mostrano una prima fase di cristallizzazione anidra, seguita da segregazione di anfibolo.

Il Complesso del Blumone è caratterizzato dalla cristallizzazione anidra dei termini gabbrici, con frazionamento del plagioclasio (Ulmer et al., 1983).

La Granodiorite del Bruffione presenta una struttura olocristallina granulare con cristalli euedrali di feldspato potassico e biotite. È una granodiorite biotitico-anfibolica, con una percentuale di K-feldspato superiore al 30%.

L'origine del magma parentale dovrebbe possedere una composizione Mg-tholeiitica (simile a quella dei filoni lamprofirici presenti), caratterizzato da differenze di  $fH_2O$  che possono spiegare le differenze tessiturali, strutturali e composizionali riscontrate.

All'interno del Plutone Re di Castello è possibile differenziare le diverse unità anche a livello temporale: limitatamente all'Alta Valle del Caffaro, sulla destra orografica affiora il Complesso del Blumone con età di 40-42 Ma, mentre sulla sinistra orografica affiora la Granodiorite del Bruffione, più giovane, di età 38-40 Ma.

### 1.3.2 Argillite di Lozio

L'Argillite di Lozio (copertura sedimentaria del Carnico Inferiore - età incerta perché povera di resti fossili) è la litologia di principale interesse nella presente tesi (Figura 1.6). Lo spessore di queste argilliti e siltiti nerastre arriva fino a circa 200 metri (Gosso et al., 2012; Brack et al., 2008). L'unità si è deposta in un bacino intrapiattaforma con pendii a basso angolo (presenza di slumping), in un momento di limitata produzione di carbonati e con fondali scarsamente ossigenati (Gosso et al., 2012 Brack et al., 2008). La formazione affiora anche lontano dal contatto intrusivo, nel comune di Lozio (Valcamonica) dove è stata campionata per confrontarne le caratteristiche con quelle dei suoi prodotti metamorfici di contatto.

Con l'intrusione del plutone di Re di Castello, le argilliti di Lozio hanno subito un metamorfismo di contatto. Oggi la facies di contatto si presenta come cornubianiti omogenee o macchiettate di colore da violaceo a grigio-bluastro. Studi preliminari delle cornubianiti hanno mostrato che esse contengono quarzo, plagioclasio, biotite, muscovite e cordierite (Callegari et al., 1998 - Figura 1.7).

L'aureola di contatto dell'intero batolite presenta in pianta un'ampiezza di 1-2 km (in alcuni punti si arriva a 4 km con osservazioni al microscopio). Nell'area interna dell'aureola sono presenti cornubianiti facilmente riconoscibili; spostandosi verso l'esterno, invece, il riconoscimento macroscopico diviene complesso: è necessario ricorrere ad osservazioni microscopiche per individuare le trasformazioni avvenute (Brack et al., 2008). Ad oggi non esistono vincoli termobarometrici sulle condizioni del metamorfismo di contatto basati sulla caratterizzazione delle Argilliti di Lozio. Nella figura 1.8 viene riportato un estratto modificato della carta geologica disegnata da Peter Brack nel 1984. Si sono messi in evidenza con differenti colori, l'Argillite di Lozio e i

corpi intrusivi.



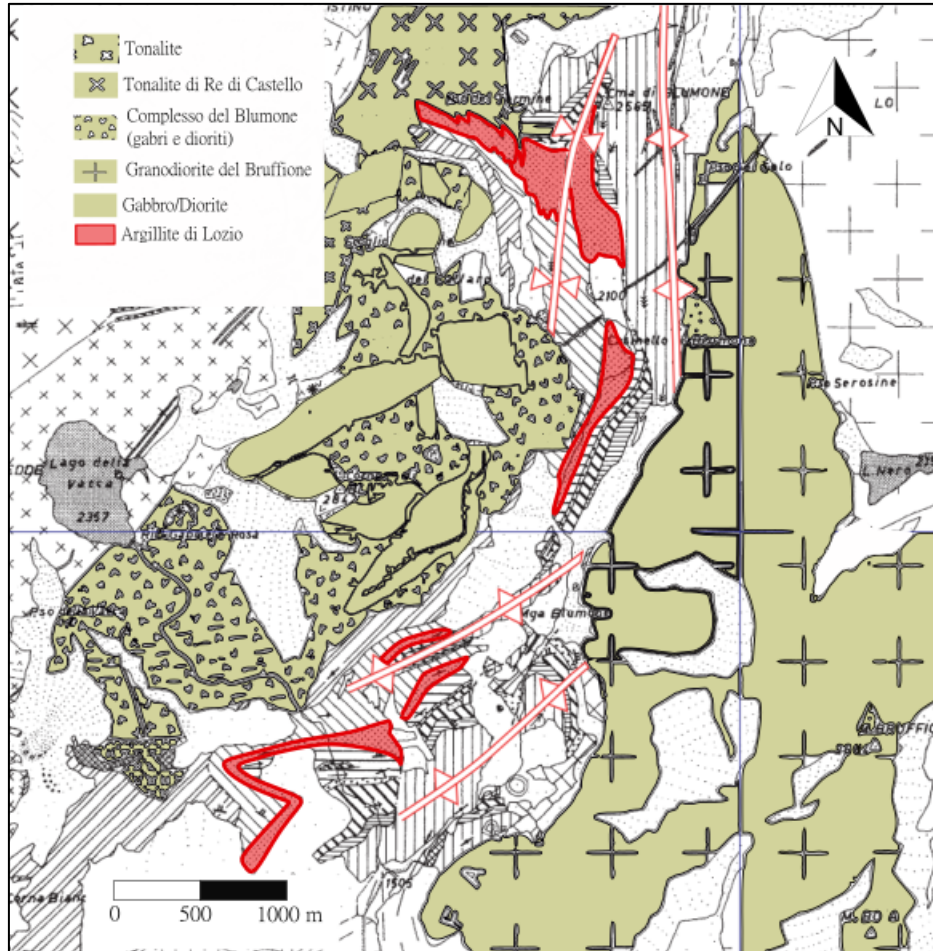
**Figura 1.6:** *Affioramento di Arallite di Lozio non metamorfosata*– Comune di Lozio





**Figura 1.7:** *Affioramento Argillite di Lozio metamorfosata per contatto – Alta Valle del Caffaro*





**Figura 1.8:** Localizzazione degli affioramenti di Argillite di Lozio e dei corpi intrusivi nell'area di interesse- Carta modificata da Brack (1984)



## **2. Attività di campionamento**

I campioni studiati nella tesi sono stati prelevati durante un'attività di campagna durata diversi giorni nell'estate del 2021.

L'attività sul terreno si è svolta in otto giornate, quattro delle quali nell'area su cui è focalizzata questa tesi; le altre giornate sono state svolte in differenti zone dell'aureola di contatto dell'Adamello. Sono stati raccolti campioni in tutte le giornate ed in seguito, durante un'analisi al microscopio ottico, è stata individuata la migliore area di studio.

L'attività di campionamento è iniziata in Val Siniciaga, una laterale della val di Genova (destra orografica) che corre verso il Passo dell'Altar (sentiero 215), valle situata nel settore orientale del gruppo dell'Adamello.

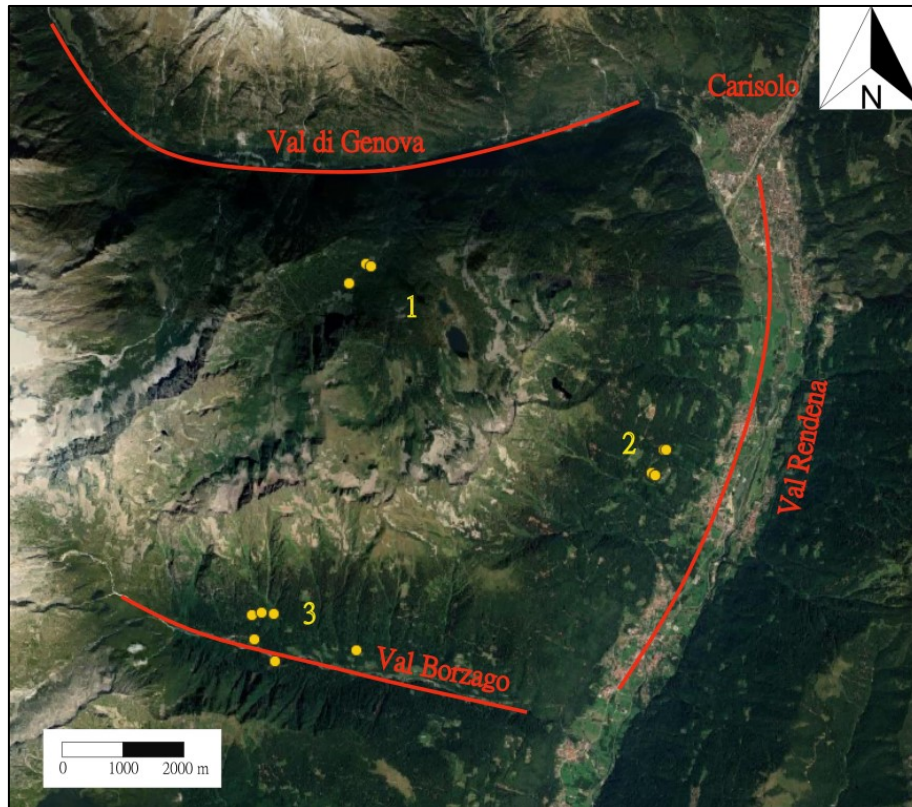
Congiuntamente è stata indagata l'area del Corno Alto, posizionata poco più a est, nei dintorni del Rifugio San Giuliano (area 1 in Figura 2.1). In queste zone sono stati raccolti alcuni campioni non in posto, ad una quota fra i 1500 e i 1560 metri s.l.m..

Altri campionamenti sono stati effettuati nella località di Strembo (Adamello orientale – area 2 in figura 2.1) e nella val Borzago (area 3 in figura 2.1), valle di origine glaciale che si stacca lateralmente alla Val Rendena sulla destra idrografica e si spinge verso occidente fino ai piedi della cima del Carè Alto (una delle maggiori vette del gruppo).

In quest'ultima valle sono stati raccolti dei campioni presentanti polimetamorfismo, impronta metamorfica di contatto sul basamento. Gli stop di campionamento sono localizzati soprattutto sulla sinistra idrografica della valle (solo due campioni provenienti dalla destra idrografica, area meno accessibile) ad una quota compresa fra i 1100 e i 1500

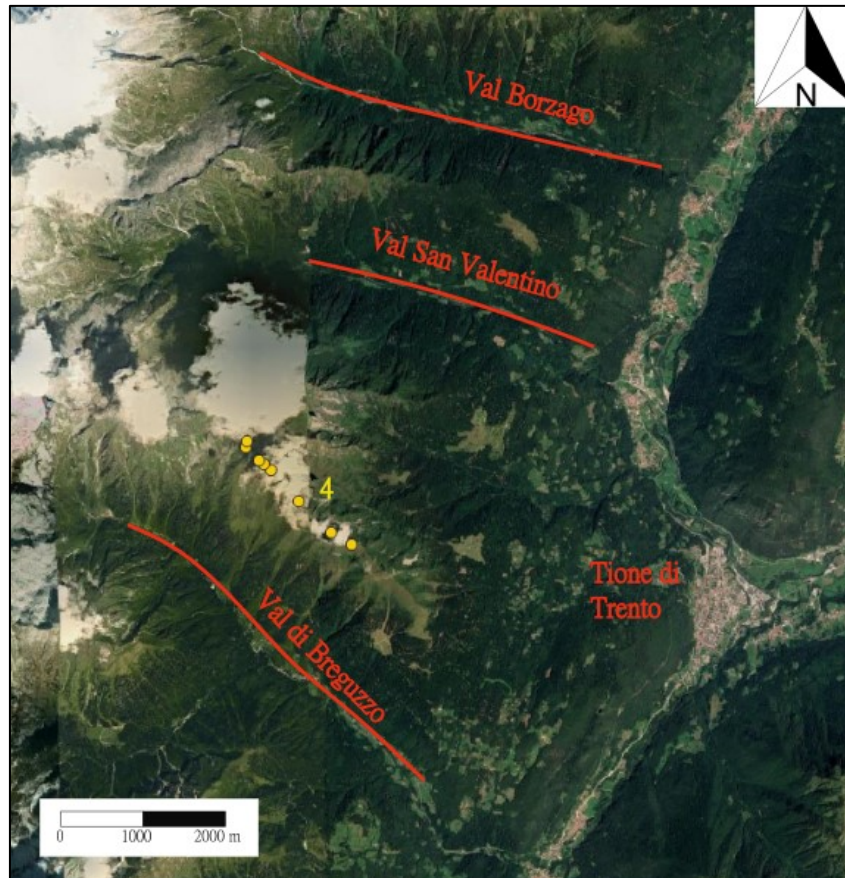
metri s.l.m. a diverse distanze dal corpo intrusivo.

A Strembo invece le quote di campionamento sono comprese tra i 1100 e i 1250 metri s.l.m..



**Figura 2.1:** Localizzazione aree indagate e punti di campionamento – immagine Google Satellite modificata

Una giornata di attività è stata dedicata alla cresta che congiunge la cima del Cengledino alla Bocchetta del Laghisol (area 4 in figura 2.2). La cresta (sentiero 235) è posizionata tra la valle di San Valentino e la val di Breguzzo, valli parallele alla val Borzago, situate più a meridione, lateralmente alla val Rendena e alla valle del Chiese.



**Figura 2.2:** Localizzazione aree indagate e punti di campionamento – immagine Google Satellite modificata

I campioni utilizzati in questo lavoro, sono delle cornubianiti prelevate in alta Val di Caffaro (detta anche “territorio di Bagolino”), sul versante meridionale del complesso intrusivo, situato tra la Valcamonica (una delle maggiori valli lombarde delle Alpi Centrali) e il confine Trentino-Lombardo.

Il campionamento è stato effettuato nel percorso che partendo dalla conca di Gaver arriva fino al Passo del Termine (sentiero 26 e sentiero della Condotta). In questo contesto si procede molto prossimi all'intrusione gabbro-dioritica ed è quindi stato possibile campionare materiale al contatto ed a diverse distanze da esso. La litologia di interesse è

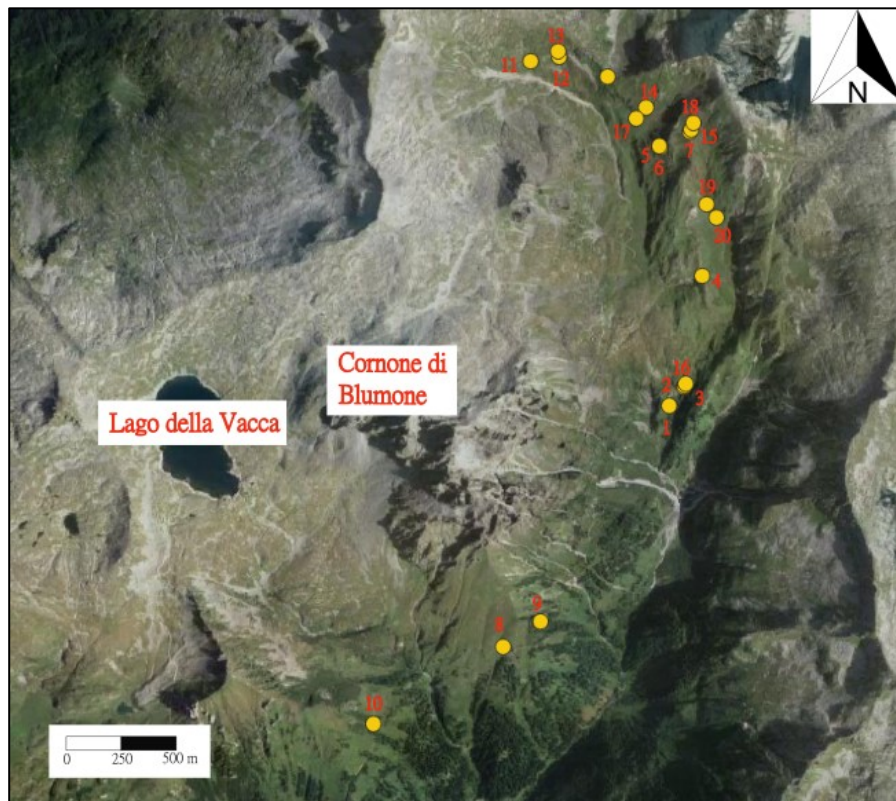


l'argillite di Lozio metamorfosata dal contatto con l'intrusione stessa.

In figura 2.3 vengono mostrati tutti gli stop di campionamento e in figura 2.4 i corrispondenti campioni raccolti.

Al centro della valle, lungo il sentiero 26, la litologia di interesse si trova a stretto contatto con l'intrusione. I primi campioni sono stati prelevati dall'affioramento in figura 2.5 (stop 3) e affioramenti limitrofi.

Nelle figure 2.6 e 2.7, vengono evidenziate alcune aree dove affiora l'Argillite di Lozio metamorfosata. Quest'ultima spicca da lontano con un colore bruno rispetto alle litologie più grigiastre che le stanno attorno.



**Figura 2.3** Stop di campionamento area in studio – immagine Google Satellite modificata

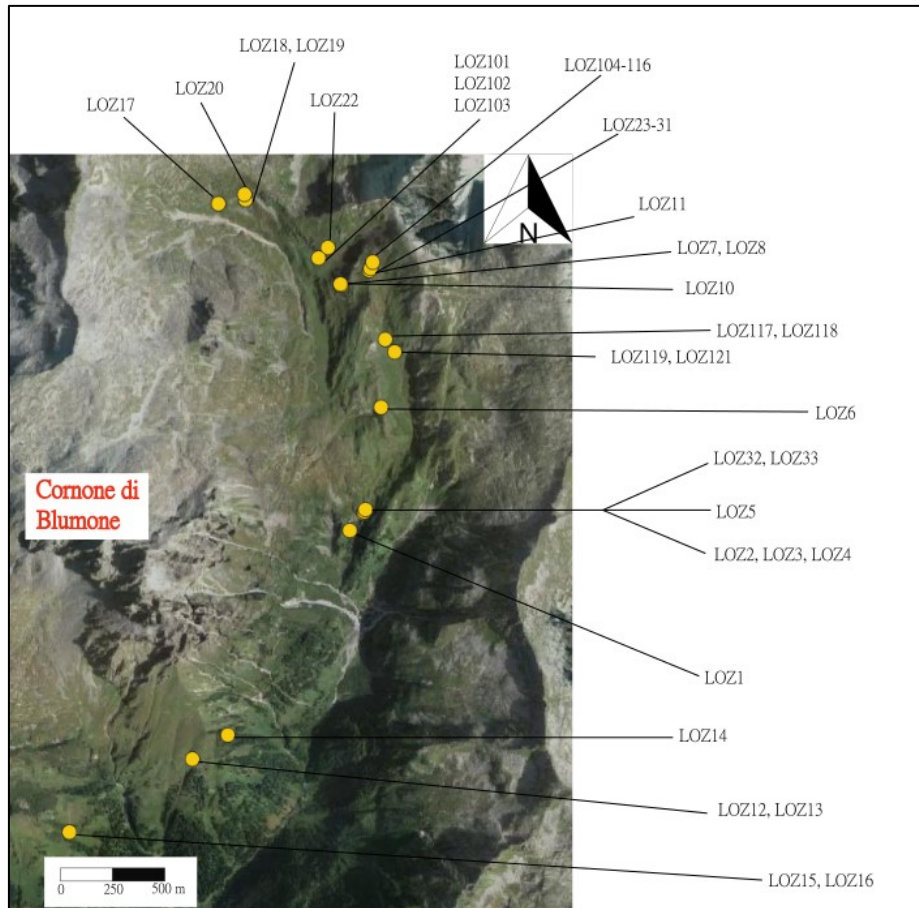
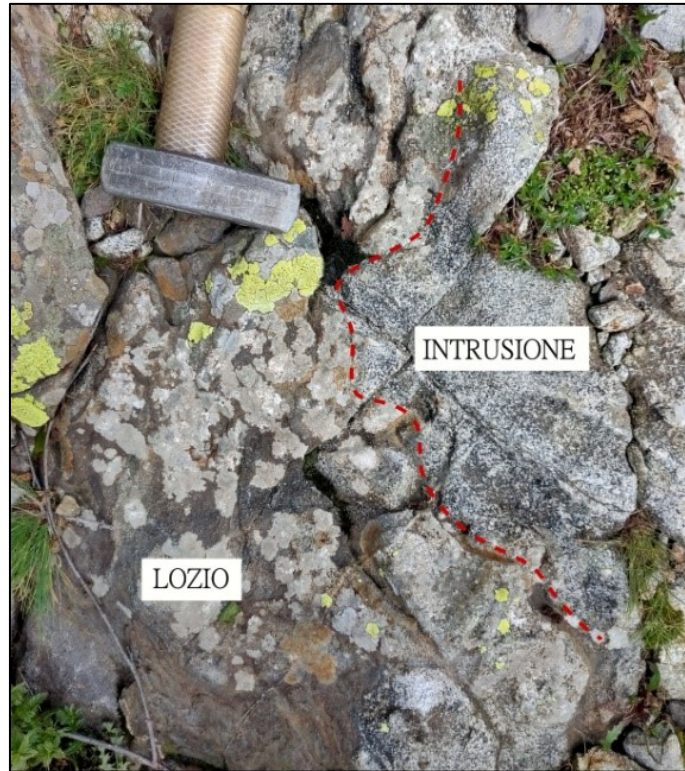


Figura 2.4 Campioni prelevati nell'area in studio – immagine Google Satellite modificata



**Figura 2.5** Affioramento LOZ5, contatto Argillite di Lozio con intrusione – Alta Valle del Caffaro



**Figura 2.6** Panorama con visibile l'Argillite di Lozio dello stop 11. L'argillite di Lozio, in questa foto, è collocata in mezzo a litologie carbonatiche – Alta Valle del Caffaro





**Figura 2.7** Panorama con visibile l'Argillite di Lozio.  
*Alla base di questo affioramento, gli stop 19 e 20 – Alta Valle del Caffaro*

Macroscopicamente i campioni non appaiono tutti uguali: alcuni hanno una grana molto fine e omogenea, altri presentano porfiroblasti centimetrici, altri piccoli porfiroblasti circolari. In alcuni campioni sono presenti le due classi di porfiroblasti insieme (Figura 2.8).

Anche la durezza è differente: i campioni più vicini all'intrusione si presentano difficili da rompere, molto duri come le classiche cornubianiti pelitiche; i campioni vicino a contatti carbonatici sono più teneri e, rompendoli, tendono a sfaldarsi in piani.

Per concludere il lavoro sul terreno, nel comune di Lozio, fra la frazione di Laveno e quella di Sucinva (Valcamonica), sono stati raccolti alcuni campioni di argillite di Lozio non metamorfosata. L'Argillite si presenta molto tenera; con minimo sforzo si disgrega sfaldandosi in piani.



**Figura 2.8** Campioni degli stop 1 (sopra) e stop 15 (sotto). Si può notare come nella foto in alto l'affioramento abbia un aspetto più omogeneo rispetto al campione in basso che presenta grossi porfiroblasti di cordierite– Alta Valle del Caffaro

Di seguito, in figura 2.9, sono presenti le coordinate di tutti gli stop di campionamento con le corrispondenti sigle dei vari campioni.

Stop	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Quota (m)	Campioni	Note
1	45.95606	10.47133	1957	LO1	
2	45.95693	10.47227	2040	LOZ2, LOZ3, LOZ4	contatto diretto con intrusione
3	45.95697	10.47242	2052	LOZ5	contatto diretto con intrusione
4	45.96219	10.47369	2116	LOZ6	contatto con carbonatico
5	45.96839	10.47100	2299	LOZ7, LOZ8	
6	45.96845	10.47094	2316	LOZ10	
7	45.96912	10.47304	2373	LOZ11	
8	45.94469	10.45958	2027	LOZ12, LOZ13	
9	45.94584	10.46217	2030	LOZ14	
10	45.94113	10.45073	1938	LOZ15, LOZ16	campioni non in posto
11	45.97260	10.46224	2364	LOZ17	contatto con carbonatico
12	45.97280	10.46418	2355	LOZ18, LOZ19	contatto diretto con intrusione
13	45.97305	10.46408	2367	LOZ20	contatto diretto con intrusione
14	45.97033	10.47008	2312	LOZ22	contatto con dicco intrusivo
15	45.96918	10.47311	2362	LOZ23, LOZ24, LOZ25, LOZ26, LOZ27, LOZ28, LOZ29, LOZ30, LOZ31	
16	45.95710	10.47241	2057	LOZ32, LOZ33	contatto diretto con intrusione
17	45.96981	10.46939	2129	LOZ101, LOZ102, LOZ103	
18	45.96950	10.47328	2283	LOZ104, LOZ105, LOZ106, LOZ107, LOZ108, LOZ109, LOZ110, LOZ111, LOZ112, LOZ113, LOZ114, LOZ115, LOZ116	
19	45.96564	10.47407	2160	LOZ117, LOZ118	
20	45.96499	10.47478	2142	LOZ119, LOZ121	
21	45.98356	10.26930	1028	LN1-A, LN1-B	

**Figura 2.9** Tabella riassuntiva con le coordinate degli stop di campionamento e i corrispondenti campioni. Latitudine e longitudine sono riferite al sistema di coordinate WGS84.



## **3. Metodologie**

### **3.1 Introduzione**

Dopo la fase di campionamento è stata svolta un'attività di collocazione dei punti Gps su carte geologiche e topografiche in modo da poter osservare la distanza dei campioni con il corpo intrusivo. Questo lavoro è stato svolto attraverso il software QGIS.

Nel Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova, le rocce campionate sono state tagliate e preparate adeguatamente attraverso apposite troncatrici per creare in un secondo momento delle sezioni sottili di spessore di 30  $\mu\text{m}$ , ideali per le osservazioni al microscopio ottico.

### **3.2 Microscopio ottico**

#### **3.2.1 La tecnica**

Il microscopio ottico permette di osservare campioni a diversi ingrandimenti in luce trasmessa o riflessa. L'osservazione in luce trasmessa può essere effettuata a nicol paralleli o nicol incrociati: in entrambi i casi sono presenti un filtro polarizzatore e uno analizzatore con la funzione di polarizzare la luce, ma, nel primo caso l'analizzatore è disinserito, mentre nel secondo caso i due filtri sono ruotati arrivando ad ottenere

condizioni di estinzione quando i piani di polarizzazione sono orientati ortogonalmente tra loro (annullamento del raggio incidente).

Le proprietà di assorbimento e propagazione della luce nei minerali dipendono dalla loro composizione, struttura ed orientamento rispetto alla sezione, e ne permettono il riconoscimento.

In luce riflessa è possibile studiare la morfologia e struttura dei minerali a livello superficiale, e riconoscere i minerali opachi su sezione lucida scoperta.

### **3.2.2 Le analisi effettuate**

Le numerose sezioni sottili eseguite sono state sottoposte ad un'accurata osservazione in luce trasmessa in modo da poter decidere su quali campioni concentrare lo studio.

Al termine di questo lavoro si è valutato di proseguire lo svolgimento della tesi nell'area meridionale, nell'alta Val Caffaro a nord della conca di Gaver.

Le sezioni scelte per analisi più approfondite sono state LOZ1, LOZ5, LOZ110, LOZ117 e LOZ121. A queste è stata aggiunta una sezione presente nel Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova, chiamata GAV2. Quest'ultima sezione è stata realizzata a partire da una roccia prelevata dal torrente Caffaro in prossimità della località Gaver (torrente che nasce dal Passo del Termine e percorre l'Alta val di Caffaro). Si presuppone quindi che la roccia provenga da aree limitrofe a quelle dei campionamenti eseguiti, ma non ne si conosce l'esatto affioramento né l'originaria distanza dal plutone.

Con l'aiuto della visualizzazione in luce riflessa si è svolto un lavoro di identificazione dei siti di maggiore interesse all'interno delle sezioni scelte, per una successiva analisi alla microsonda elettronica.

### 3.3 Microsonda Elettronica (EMPA)

#### 3.3.1 La tecnica

La Microsonda Elettronica è uno strumento utilizzato per effettuare studi chimici quantitativi su volumi ridotti di campione. Lo strumento analizza tutti gli elementi a partire dal carbonio ( $Z \geq 6$ ) attraverso analisi non distruttive.

Nella fase di analisi, un fascio di elettroni accelerati viene collimato sul punto di interesse del campione. Quest'ultimo emette fotoni, raggi X caratteristici di ogni elemento presente. Misurando l'intensità dei fotoni emessi, con le dovute correzioni, si può effettuare un'analisi semi-quantitativa degli elementi presenti in ogni fase mineralogica.

Si ricorda che l'interazione del fascio elettronico col campione, oltre ai raggi X caratteristici, dà origine a raggi X in spettro continuo, elettroni secondari (SE), elettroni Auger ed elettroni retrodiffusi (BSE).

La microsonda si concentra particolarmente sui raggi X caratteristici, ma viene comunque utilizzata la visualizzazione a schermo in BSE o SE per avere un'immagine accurata durante la fase di osservazione della superficie del campione da analizzare.

La nube elettronica viene prodotta per effetto termoionico da un filamento solitamente in Tungsteno (W) scaldato a circa 2700°C. Questo, assieme ad un cilindro di Wehnelt, funge da catodo. Si applica una differenza di potenziale ( $>10\text{kV}$ ) tra catodo e anodo (placca forata che attrae ma permette il passaggio degli elettroni), in modo tale da accelerare il fascio, il quale raggiunge una velocità pari alla velocità della luce. Il fascio focalizzato raggiunge il campione con un diametro variabile tra 1 e 50 micron. La corrente di analisi varia da 2 a 100 nA a seconda delle necessità analitiche.

Una volta prodotti i raggi X caratteristici da parte del campione ne viene misurata

l'intensità attraverso gli spettrometri, di cui esistono due tipologie: lo spettrometro a dispersione di lunghezza d'onda (WDS) e quello a dispersione di energia (EDS). Nel primo le radiazioni sono separate ed analizzate in funzione della loro lunghezza d'onda, nel secondo sulla base della loro energia.

La preparazione dei campioni riveste un ruolo fondamentale nell'analisi in microsonda. Il campione deve essere lucidato e accuratamente pulito, cioè reso perfettamente piano, in modo da poter analizzare superfici prive di asperità ed elementi inquinanti. Le analisi eseguite su aree non perfettamente lucidate comportano fenomeni anomali di assorbimento non relazionabili alle proprietà chimico-fisiche della materia.

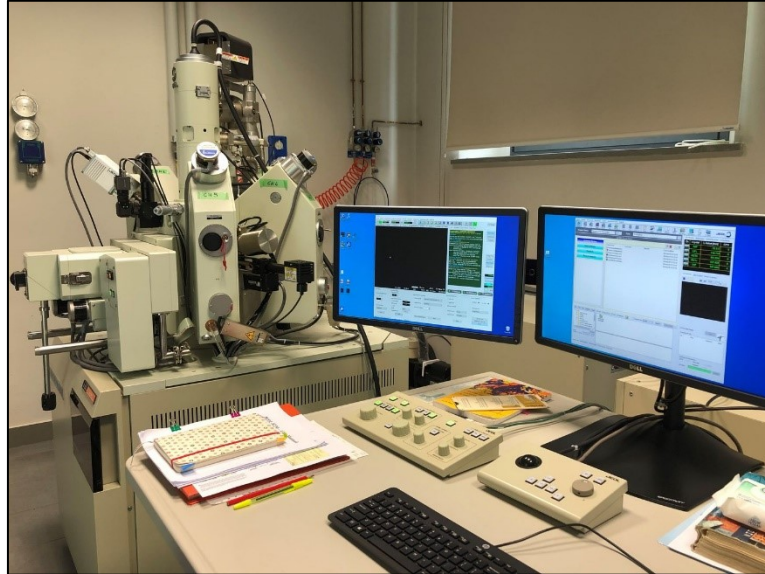
A causa dell'impatto fascio-campione l'energia cinetica degli elettroni si trasforma in calore e si può creare un danneggiamento del campione stesso. Per evitare quanto detto è necessario metallizzare le sezioni mediante la deposizione di un sottile strato di materiale conduttivo, nel caso specifico carbonio. In questo modo la superficie è resa conduttiva e gli elettroni in eccesso vengono scaricati "a terra".

### **3.3.2 Lo strumento**

Per le analisi svolte in questa tesi nel contesto EMPA, è stata utilizzata la microsonda Modello JEOL-JXA 8230 del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze. Lo strumento è dotato di 5 spettrometri WDS e un rivelatore EDS-SDD allo stato solido (Figura 3.1). Il fascio elettronico è stato accelerato a 15 kV e si sono utilizzati 5-10 nA di corrente per le miche e 20 nA per le altre fasi. Il diametro dello spot del fascio incidente utilizzato corrisponde a 5 micron per feldspati e miche, 3 micron per le cordieriti. Per la calibrazione dello strumento sono stati utilizzati gli standard naturali e



sintetici Alb AST, Plag AST, Augite MAC, Pyrope MAC, Biotite MAC.



**Figura 3.1:** Laboratorio Microanalisi UniFi: visibile la microsonda elettronica e i computer di comando e controllo

### 3.3.3 Le analisi effettuate

Per lavorare alla microsonda sono state fatte realizzare delle nuove sezioni lucide dei campioni scelti in precedenza. I campioni in studio sono stati poi metallizzati in grafite mediante il metallizzatore JEOL JEE-4X.

Sulle sei sezioni sono state identificate tutte le fasi di interesse e le esatte aree da analizzare con il fascio elettronico; le coordinate di questi punti sono state memorizzate dal software della microsonda. Dopo aver calibrato lo strumento questo ha effettuato una per una tutte le analisi.

Le fasi studiate sono cordierite, biotite, mica bianca, plagioclasio e feldspato potassico.

Per quanto riguarda le cordieriti i punti sono stati posizionati, ove possibile, al nucleo e

alla periferia delle stesse in modo tale da individuare eventuali differenze composizionali. Per le altre fasi si è cercato di analizzare tutte le tipologie microstrutturali osservate; prendendo in considerazione ad esempio la biotite, è stata analizzata sia quella piccola in matrice, sia quella di dimensioni maggiori, inclusa, al bordo ed esterna alle cordieriti.

Una volta ottenuti i dati, questi sono stati elaborati tramite fogli di calcolo Excel per il ricalcolo delle formule strutturali disponibili presso il sito web del Dipartimento di Geoscienze. Le analisi sono state divise per campioni e fasi, dopo aver applicato alcune correzioni necessarie.

### **3.4 Microscopio Elettronico a Scansione (SEM)**

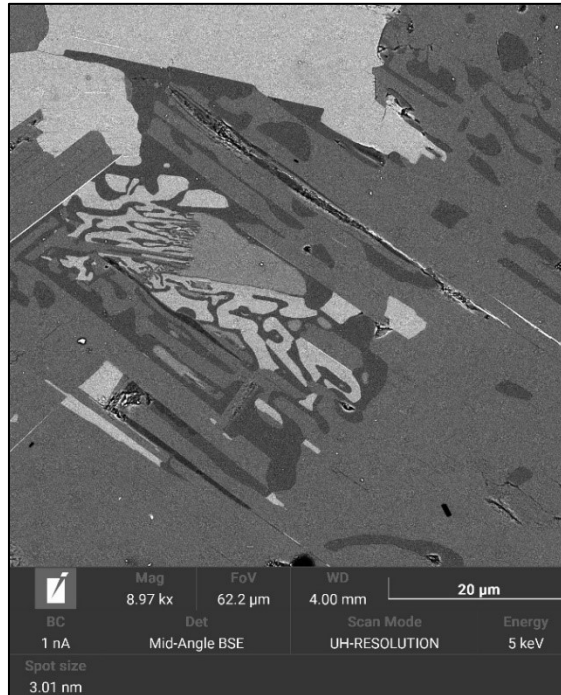
#### **3.4.1 La tecnica**

Il Microscopio Elettronico a Scansione viene utilizzato convenzionalmente per analisi d'immagine, analisi qualitative e semi-quantitative; si focalizza su elettroni retrodiffusi (BSE) ed elettroni secondari (SE) (Figura 3.2).

Gli elettroni SE hanno una bassa energia, ma permettono un'ottima risoluzione e sono fondamentali per lo studio della morfologia. I BSE sono elettroni di più alta energia e la loro intensità è legata principalmente al peso degli atomi presenti nel materiale colpito. Ci forniscono quindi informazioni sulla composizione del campione. A schermo si vedono immagini in scala di grigi in base al numero atomico delle diverse fasi mineralogiche. Gli strumenti più moderni presentano inoltre numerosi detector per ulteriori differenti analisi.

Tramite una sorgente di elettroni lo strumento emette quest'ultimi, i quali vengono accelerati da una differenza di potenziale; una serie di lenti e aperture permettono poi di focalizzare gli elettroni accelerati sul campione (Miraglia 2012): la risoluzione dell'immagine che si ottiene è determinata dal diametro del fascio e proporzionale alla sua energia. Con l'interazione fascio-campione vengono prodotti elettroni retrodiffusi, elettroni secondari, elettroni Auger, raggi X caratteristici e in spettro continuo.

Gli elettroni retrodiffusi possono essere anche analizzati attraverso il detector EBSD (Electron Backscatter Diffraction): questo fornisce informazioni sull'orientazione cristallografica del granulo in analisi all'interno del campione. Attraverso lo spettro di emissione si visualizzano i diversi elementi, e le relative proporzioni, che compongono una fase.



**Figura 3.2:** Immagine in BSE, visualizzazione in scala di grigi in base al numero atomico delle fasi: fasi più pesanti, colori più chiari.  
In basso tutte le caratteristiche di acquisizione dell'immagine.

### 3.4.2 Lo strumento

Lo strumento utilizzato per questo lavoro è un TESCAN SOLARIS, un dual beam FIB-FE-SEM utilizzabile per la caratterizzazione 2D e 3D di campioni geologici e materiali industriali; appartiene al Dipartimento di Geoscienze – Università degli Studi di Padova. La sua geometria consente di combinare molteplici tecniche in un singolo strumento. Presenta una doppia sorgente di elettroni e di ioni focalizzati e una serie di spettrometri e rivelatori ad alta risoluzione. Grazie a questo strumento è possibile ottenere immagini ad ultra-alta risoluzione con elettroni secondari e retrodiffusi, immagini in catodoluminescenza, analisi chimiche EDS e WDS puntuali, areali e mappe elementari, analisi EBSD, sezionamento FIB e produzione di lamelle per TEM-STEM, immagini e

microanalisi STEM, tomografie 3D FIB-SEM.

Lo strumento utilizza una sorgente ad Emissione di Campo (FEG): questa, rispetto ad un filamento in tungsteno, emette elettroni da una porzione minore della sorgente; ne risulta quindi una migliore risoluzione finale.

### **3.4.3 Le analisi effettuate**

Al SEM sono stati studiati i campioni LOZ1 e LOZ121. Le sezioni utilizzate sono le stesse usate per la microsonda, 30 micron di spessore, lucidate e metallizzate.

L'obiettivo dello studio è stata la ricerca della sillimanite. Ci si è concentrati su questi due campioni perché, con osservazioni al microscopio ottico e in microsonda erano stati individuati alcuni punti dove potesse essere potenzialmente presente tale minerale.

Quest'ultima è stata trovata solo nella sezione LOZ1 (grazie ad immagini ed analisi qualitative in EDS) in piccole quantità sottoforma di aghi allungati di dimensione inferiore al micron di spessore. Sono poi state analizzate altre aree per avere la conferma delle fasi presenti. Il diametro del fascio incidente utilizzato è stato di 2-3 nanometri, molto inferiore a quello usato in microsonda di 3-5 micron, necessario per riuscire a studiare fasi molto piccole. Il fascio elettronico è stato accelerato a 5 kV.

## **3.5 Fluorescenza a raggi X (XRF) e Analisi Total Organic Carbon**

### **3.5.1 Fluorescenza a raggi X (XRF)**

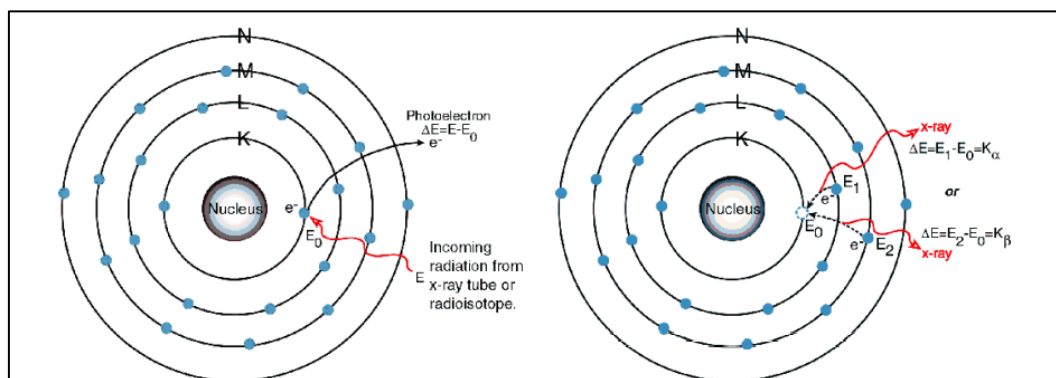
### 3.5.1.1 La tecnica

La XRF (X-Ray Fluorescence) è una tecnica di spettroscopia in emissione di raggi X che permette l'identificazione degli elementi chimici che compongono il campione in esame (Gigante et al., 2015). La tecnica permette un'analisi quantitativa.

Sul campione viene focalizzata una radiazione X incidente di energia ed intensità appropriate in modo da generare l'espulsione di un elettrone dal guscio più interno (K), producendo una vacanza (effetto fotoelettrico). Questo vuoto viene riempito da un elettrone proveniente da un guscio più esterno. Per effettuare il salto di orbitale l'elettrone produce un fotone (o elettrone Auger), di energia pari alla differenza tra le energie dell'elettrone nelle due posizioni iniziale e finale. Si ottiene quindi una ri-emissione di radiazioni X con lunghezza d'onda maggiore di quella incidente (Figura 3.3). L'energia del fotone è caratteristica dell'elemento chimico. Dalla vacanza di un elettrone nel guscio più interno vengono prodotti fotoni di due energie diverse ( $K\alpha$  se la vacanza è rimpiazzata da un elettrone del guscio L;  $K\beta$  se l'elettrone proviene dall'orbitale M). Conseguenzialmente alla penetrazione di un fascio di raggi X in un materiale, vengono prodotti diversi fotoni con energie caratteristiche di ogni elemento; tutti insieme forniscono uno spettro.

Lo spettro è costituito dai picchi relativi alle emissioni caratteristiche degli elementi costituenti il campione (oltre che dai segni degli eventi di diffusione elastica e anelastica dei fotoni nel materiale stesso). Il numero di fotoni presenti in un determinato picco è proporzionale alla frazione in peso dell'elemento corrispondente nel campione in analisi: misurando l'area sottesa del picco si risale quindi alla concentrazione dell'elemento. Il limite principale della tecnica è che non vengono rilevati elementi chimici aventi numero atomico minore del fosforo ( $Z < 15$ ); inoltre la tecnica individua gli elementi e non i

composti cui essi appartengono (De Francesco et al., 2008). La radiazione incidente è generata da sorgenti radioattive o generatori di raggi X (tubo radiogenico).



**Figura 3.3:** Nell'immagine a sinistra viene mostrata la radiazione incidente che colpisce un elettrone del guscio K; nell'immagine a destra si vede come la vacanza generata possa essere riempita da un elettrone dell'orbitale L o M. Sono mostrati inoltre i raggi X caratteristici prodotti e le relative energie (Sommartino et al., 2009)

### 3.5.1.2 Lo strumento

Lo strumento utilizzato per questo lavoro è uno spettrometro sequenziale WDS Panalytical Zetium, del Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli studi di Padova, operante in condizioni di vuoto ed equipaggiato con tubo al Rodio da 2.4 kW, 5 cristalli analizzatori, 3 contatori, 2 collimatori (150  $\mu\text{m}$  e 550  $\mu\text{m}$ ), 4 filtri e sample changer con 16 porta campioni.

### 3.5.1.3 Le analisi effettuate

L'XRF è stata utilizzata per ottenere dati di chimica della roccia totale. L'analisi è stata effettuata su quattro campioni: LOZ1, LOZ117 e due campioni di Argillite di Lozio che

non hanno subito metamorfismo di contatto (LNM1A, LNM1B).

I campioni sono stati macinati fino a raggiungere una granulometria minore di 50 micron attraverso l'utilizzo di un mulino frantumatore a mascelle BB50-Retsch, di un Mulino a dischi RS100-Retsch e di un Mulino in agata RM0. I campioni sono stati poi sottoposti a calcinazione per determinarne la perdita al fuoco (L.O.I., Loss On Ignition), ponendoli in una muffola a 860°C per circa 20 minuti, e successivamente a 980°C per circa 2 ore. Sono stati poi preparati in perla di vetro utilizzando come fondente il tetraborato di litio ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) con una diluizione di 1:10. La fusione è stata effettuata utilizzando una perlatrice Claisse Eagon 2 (temperatura massima 1150°C).

Gli elementi determinati sono Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K e P (espressi in percentuale in ossidi): la precisione strumentale (definita da ripetute analisi su uno stesso campione) per elementi maggiori è  $\leq 0.6\%$  relativo. Gli standards utilizzati per effettuare le tarature strumentali sono circa 70, provenienti da differenti agenzie (Laboratorio Spettrometria XRF UniPd).

### **3.5.2 Analisi Total Organic Carbon**

L'analisi TOC (Total Organic Carbon) è la misura della quantità di carbonio legato in un composto organico. Il campione viene preparato in polvere (minimo 2 mg), pesato con una microbilancia e trattato ripetutamente con HCl su una piastra calda, per rimuovere il carbonato e i minerali solubili in acido. Infine, viene misurato il contenuto in C. La tecnica permette di determinare le percentuali di carbonio organico allo stato solido e liquido (non volatile). Lo strumento utilizzato è un Analizzatore Organico Elementare Thermo Scientific Flash 2000 dell'Università degli Studi di Padova. Il carbonio organico totale è stato misurato per i campioni LOZ1, LOZ117, LNM1A, LNM1B in modo da



implementare i dati di analisi di roccia totale forniti dall'XRF. I campioni di partenza sono gli stessi utilizzati per l'analisi XRF.

## **3.6 Microspettroscopia Laser Raman**

### **3.6.1 La tecnica**

La spettroscopia Raman è una tecnica che studia i fotoni del fascio incidente prodotto che subiscono diffusione anelastica (effetto Raman) dopo aver colpito il campione.

La maggior parte della luce incidente solitamente attraversa il campione o viene assorbita da esso; una piccola parte di luce viene diffusa elasticamente (l'energia dell'onda diffusa è uguale a quella dell'onda incidente) e una porzione ancora minore subisce l'effetto Raman cioè una diffusione con variazione di energia dell'onda. La differenza in energie si è dimostrato essere legata alla struttura chimica della molecola responsabile dell'effetto.

La spettroscopia Raman viene utilizzata per lo studio di diversi materiali, per ottenere informazioni sulla loro struttura e sulle loro caratteristiche; è una tecnica non distruttiva che può utilizzare come sorgente luminosa differenti laser a differenti lunghezze d'onda a seconda dello studio che si vuole effettuare. Quando il fotone incidente raggiunge una molecola del campione può eccitarla ad un livello energetico virtualmente superiore; se la molecola poi ricade ad un livello energetico differente da quello iniziale produce un fotone con diversa energia. La differenza di energie fra il fotone incidente e quello diffuso (differenza tra il numero di oscillazioni dell'onda incidente e quello dell'onda emessa) è

denominata “Raman shift”. La radiazione diffusa è raccolta da un efficiente sistema ottico ed analizzata da uno specifico spettrometro. La microspettroscopia Raman permette di focalizzare il laser su volumi di campione micrometrici ed ottenere informazioni di maggior dettaglio su di un minor volume.

In uscita lo strumento fornisce uno spettro Raman delle fasi analizzate cioè un grafico con in ascissa i “Raman shift” (in  $\text{cm}^{-1}$ ) e in ordinata le intensità emesse.

### **3.6.2 Lo strumento**

Per le analisi della corrente tesi è stato utilizzato lo strumento Raman Witec Alpha 300 R del Dipartimento di Geoscienze dell’Università degli Studi di Padova, con associato un microscopio Zeiss. Lo strumento usa laser a lunghezza d’onda di 532 (quello utilizzato per le nostre analisi) e 785 nanometri. Il fascio è collimato e sono presenti due spettrometri: UHTS 600 (VIS) e UHTS 400 (NIR). A controllo dello strumento è presente un PC Windows con due software: Control Five (funzionamento del sistema) + Project Five (trattamento dei dati). Per le analisi è stata utilizzata una corrente di 0.7 mW e un sistema accumulazioni di 15/30 acquisizioni da 1 secondo ciascuna. Gli spettri sono stati elaborati col software PeakFit.

### **3.6.3 Le analisi effettuate**

In questo lavoro sono stati acquisiti spettri Raman sulla grafite nei campioni LOZ1, LOZ5, LOZ117 e GAV2 con l’obiettivo di osservare il grado di cristallinità (che è funzione della temperatura raggiunta (Beysac et al., 2002) al variare della distanza con il plutone. I campioni utilizzati sono stati preparati come sezioni lucide spesse 30 e 100

micron; la preparazione e la lucidatura superficiale del campione possono però introdurre deformazioni meccaniche che influenzano la misura della cristallinità e introducono degli errori, delle anomalie e degli spostamenti dei picchi della grafite (Beysac et al., 2003). Per ovviare a questo problema, grazie al laser collimato, sono state analizzate grafite incluse in altre fasi trasparenti e poste al di sotto della superficie del campione. Lo spettro di interesse è stato acquisito dai 1000 ai 2000  $\text{cm}^{-1}$  di Raman shift. Gli spettri acquisiti sono stati poi elaborati attraverso il software PeakFit ed Excel. Sono stati inoltre acquisiti alcuni spettri sulla sillimanite del campione LOZ1.

### **3.7 Diffrazione da polveri (XRPD)**

#### **3.7.1 La tecnica**

La XRPD (X-Ray Powder Diffraction) è una tecnica basata sull'interazione tra i raggi X con un campione policristallino adeguatamente preparato in polveri. La tecnica viene utilizzata per l'identificazione e la quantificazione delle fasi presenti nel campione, per l'analisi della struttura cristallina e per lo studio delle microstrutture dei minerali. Essendo il campione preparato in polveri, i raggi X incidenti riescono a colpire tantissimi piccoli cristalli e molte famiglie diverse di piani atomici vanno in diffrazione. Con una sola misura è possibile ottenere molteplici raggi diffratti. L'output che si ottiene è un pattern di diffrazione (o diffrattogramma) dove è possibile riconoscere le diverse fasi presenti: ogni fase ha infatti dei picchi diagnostici a particolari posizioni angolari  $2\theta$ . I diffrattogrammi vanno poi fittati con appositi software.

La tecnica non riesce a vedere fasi presenti in percentuali minori all'1%.

Per effettuare le analisi si utilizzano dei diffrattometri che possono avere geometria in riflessione (Bragg Brentano – i raggi X non passano attraverso il campione) o in trasmissione (Debye-Scherrer – parte dei raggi incidenti passano attraverso il campione).

### **3.7.2 Lo strumento**

Lo strumento utilizzato per le analisi di questa tesi è un Diffrattometro PANalytical X'Pert PRO, geometria Bragg Brentano e rilevatore X'Celerator con sorgente al cobalto del Dipartimento di Geoscienze – Università degli Studi di Padova. Le analisi sono state effettuate con intervallo di scansione angolare di  $3^{\circ}$ -  $85^{\circ}$   $2\theta$  per un tempo di 100 secondi.

### **3.7.3 Le analisi effettuate**

L'analisi XRPD è stata effettuata sui campioni LOZ1, LOZ117, LNM1A, LNM1B, stessi campioni su cui è stata effettuata l'analisi di roccia totale. I campioni sono stati macinati a mano in mortaio d'agata e posizionati su di un apposito portacampioni circolare.





## **4. Petrografia**

### **4.1 Introduzione**

Come detto nel capitolo precedente, su tutti i campioni raccolti è stata eseguita una prima analisi petrografica al microscopio ottico. In questo modo è stato possibile effettuare una selezione, decidendo su quali sezioni più promettenti soffermarsi a lavorare.

Il principale criterio di scelta è stato il grado di alterazione delle rocce, combinato con la distanza dal contatto intrusivo. Si è infatti riscontrato che moltissimi campioni mostrano una pervasiva alterazione della cordierite in pinite. Questi campioni sono stati scartati.

In questo modo, dalle 52 sezioni caratterizzate in modo preliminare ho selezionato 6 campioni: LOZ1, LOZ5, LOZ110, LOZ117, LOZ121 e GAV2.

Di seguito le principali caratteristiche petrografiche e microstrutturali di tali campioni.

### **4.2 LOZ1**

La sezione presenta una struttura porfiroblastica priva di layering e orientazioni preferenziali. La grana è fine nella matrice (fino ai 50  $\mu\text{m}$ ), ed i porfiroblasti raggiungono dimensioni massime di 0.6 mm.

L'associazione mineralogica è costituita da cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, grafite, feldspato potassico e sillimanite (in ordine di abbondanza). Sono presenti anche delle fasi opache al microscopio ottico, successivamente diagnosticate come solfuri alla microsonda. Come minerale accessorio è presente la tormalina.

Le cordieriti, con il loro abito prismatico pseudoesagonale, rappresentano i porfiroblasti presenti nella sezione. Sono cristalli molto abbondanti, di forma da subedrale ad anedrale, e pecilitici a causa delle abbondanti inclusioni di biotite, muscovite, quarzo, plagioclasio e grafite. I porfiroblasti possono esibire la geminazione a sei settori caratteristica di questo minerale (più apprezzabile però in altre sezioni, Figura 4.7B).

La matrice circostante i porfiroblasti di cordierite si presenta di grana molto fine ( $\approx 50 \mu\text{m}$ ) ed è costituita principalmente da biotite, quarzo e muscovite. Plagioclasio e K-feldspato, pur presenti, sono difficilmente riconoscibili al microscopio ottico, e sono stati individuati più facilmente alla microsonda elettronica.

La biotite non presenta orientazione preferenziale ed è anedrale. Ha dimensioni medie, nella direzione di allungamento intorno ai  $100 \mu\text{m}$ . Non ci sono differenze ottiche e dimensionali tra la biotite inclusa in cordierite e la biotite di matrice.

La mica bianca è presente in quantità non molto elevate; si trova spesso inclusa nelle cordieriti o al bordo di esse in cristalli per lo più tabulari di dimensioni  $\approx 200 \times 20 \mu\text{m}$ , dimensioni maggiori a quelle del resto delle fasi in matrice. Spesso si presenta in uno stato anedrale e riassorbito, con bordi frastagliati, che suggeriscono che questo minerale sia in via di decomposizione.

Seppur in quantità modeste, la sillimanite è presente in questo campione. I piccoli aggregati ipotizzati al microscopio ottico sono stati osservati al SEM: la sillimanite è presente sotto forma di aghi di  $5-10 \mu\text{m}$  di lunghezza per qualche decimo di micron di

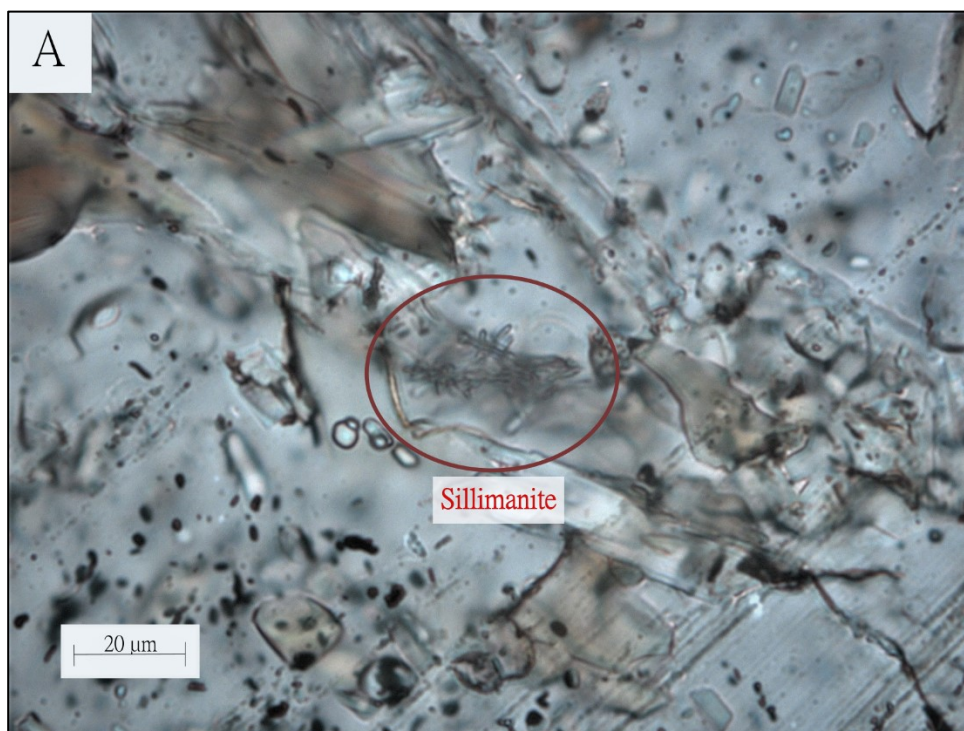


larghezza. Grazie alla spettroscopia Raman è stata confermata la presenza di questa fase acquisendone lo spettro. In figura 4.1 viene mostrata la sillimanite vista al microscopio ottico, al SEM e il suo spettro Raman.

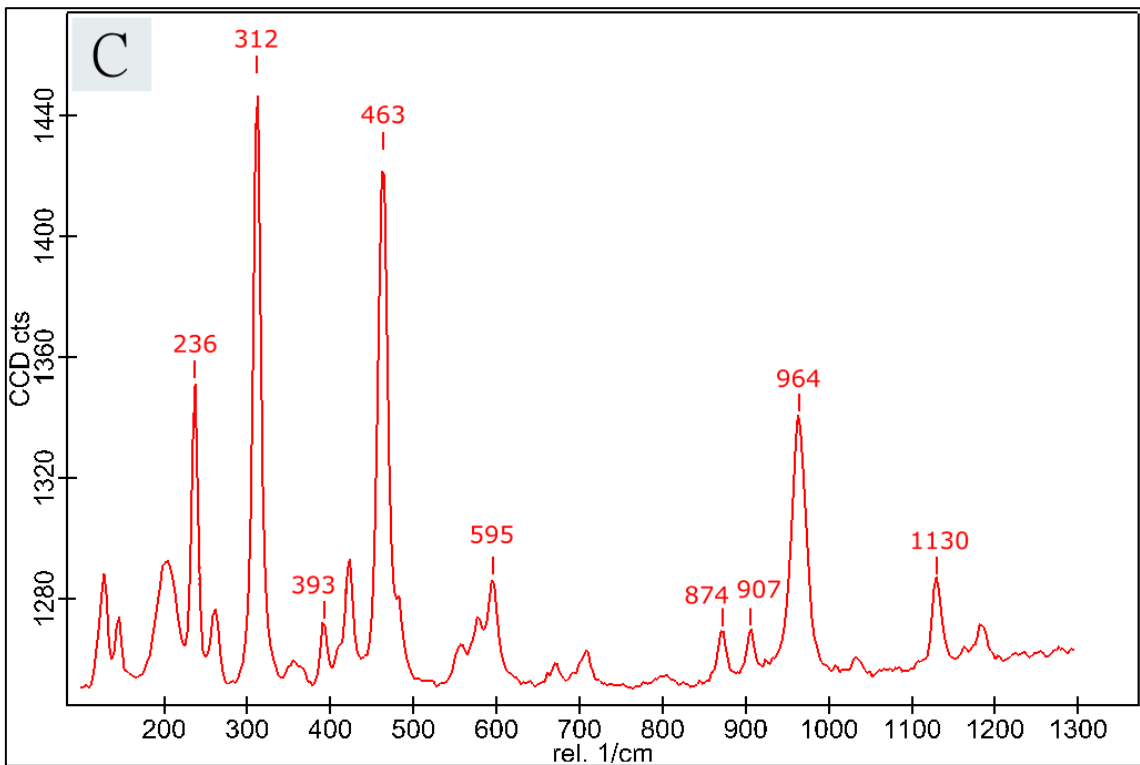
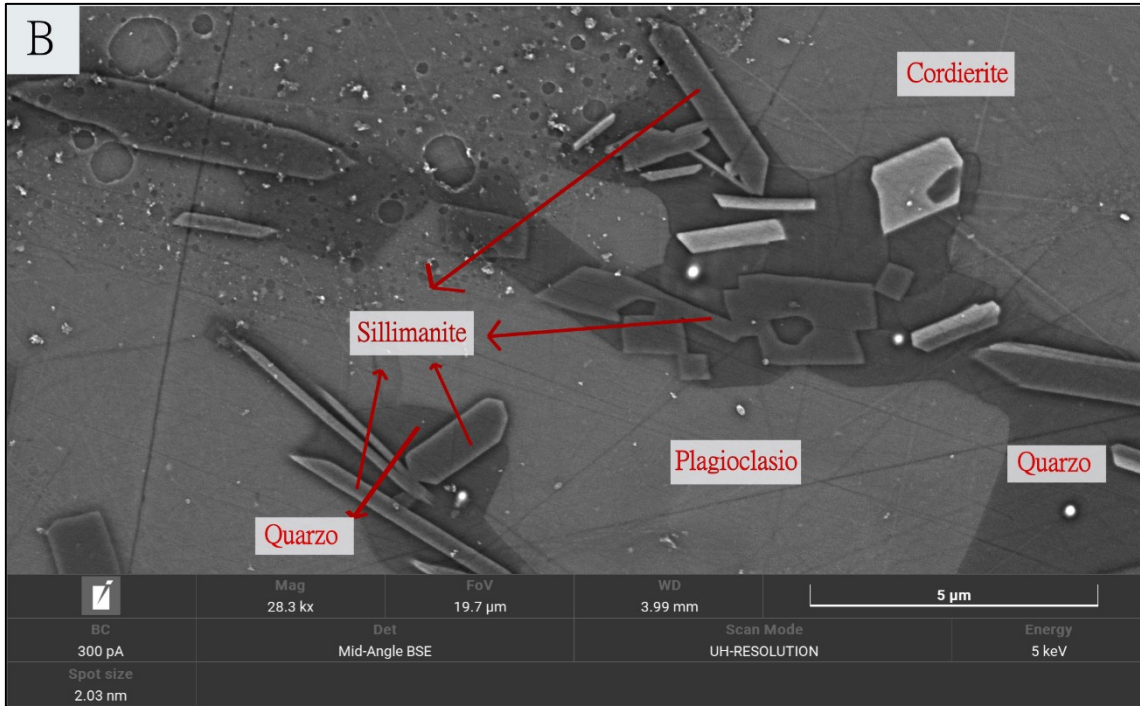
Il quarzo è presente in matrice insieme a piccoli cristalli di plagioclasio e K-feldspato anedrali e anche in piccole vene monomineraliche o con biotite.

In alcune aree sono presenti concrescimenti di biotite, mica bianca, quarzo e K-feldspato.

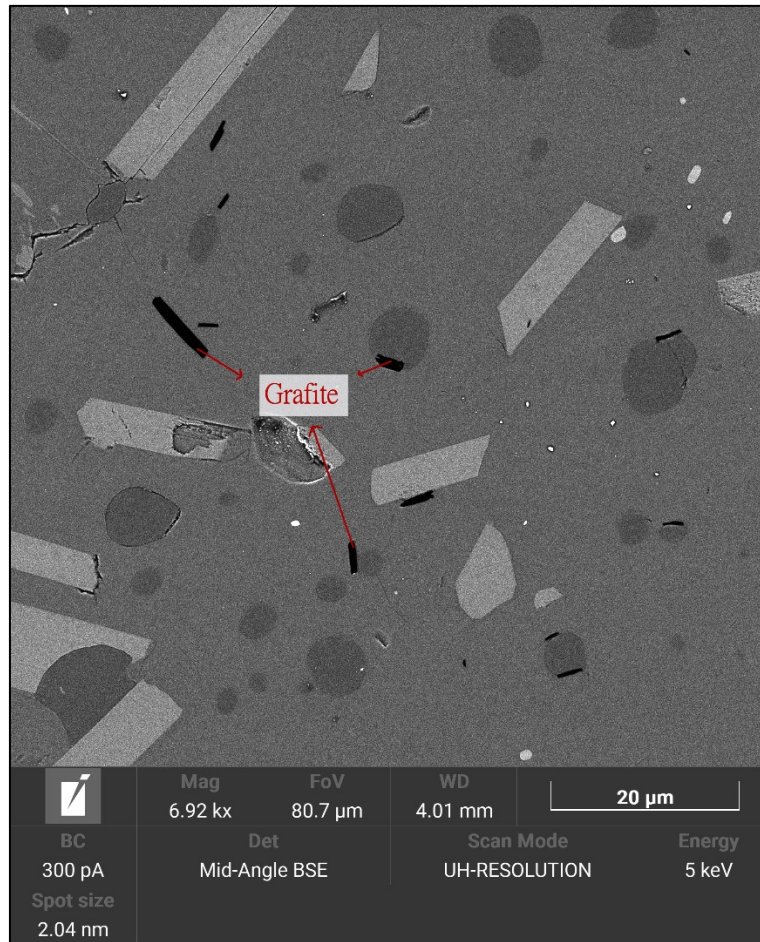
La grafite la si trova sotto forma di piccolissimi cristalli di grandezza dell'ordine di qualche micron; è inclusa nelle cordieriti, nelle biotiti, ma la si trova anche in tutte le fasi della matrice o ai limiti intergranulari (Figura 4.1A) In figura 4.2 si possono apprezzare le dimensioni piccolissime di questa fase.



**Figura 4.1:** didascalia a pagina seguente



**Figura 4.1:** A: sillimanite vista al microscopio ottico, in modalità nicol paralleli. Si osserva anche la microstruttura generale della roccia, costituita da quarzo e miche, e l'abbondanza di grafite in piccole lamelle di pochi micron; B: sillimanite fotografata al SEM in modalità backscattered; C: spettro della sillimanite acquisito alla Raman

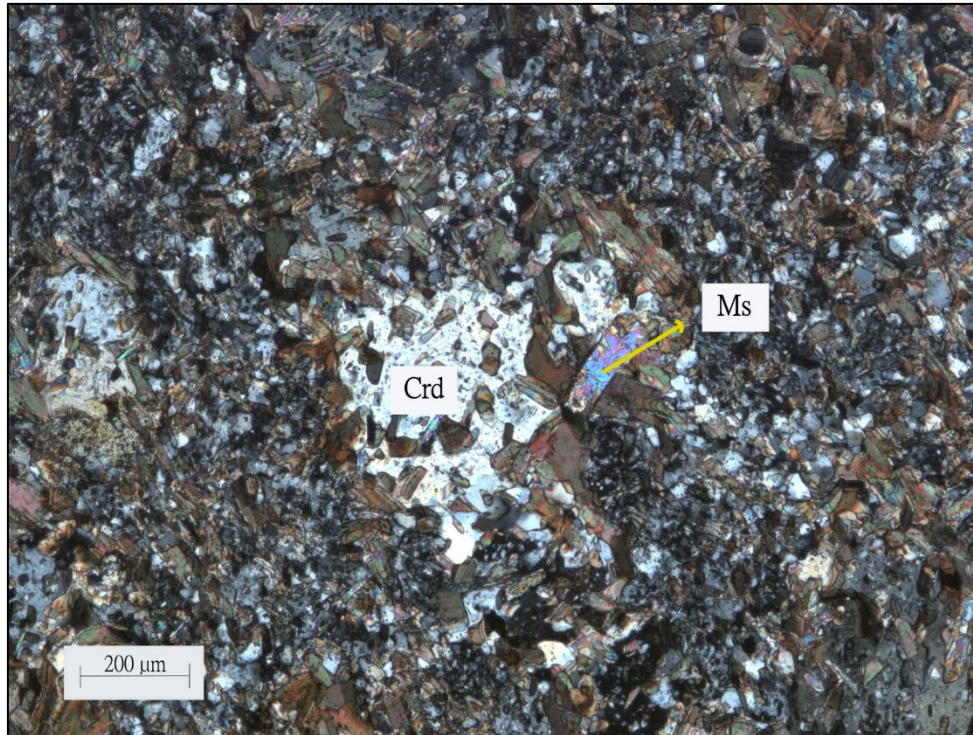


**Figura 4.2:** Immagine al SEM di un porfiroblasto di cordierite con inclusioni di quarzo, biotite e grafite: in evidenza i cristalli di grafite, di colore nero.

Nel campione sono presenti anche porfiroblasti di tormalina con bordi frastagliati.

In figura 4.3 una foto al microscopio ottico rappresentante la struttura tipo del campione LOZ1.





**Figura 4.3:** *Aspetto generale del campione LOZ1: è visibile la cordierite ricca di inclusioni immersa in una matrice più fine, con una mica bianca a contatto.*

### 4.3 LOZ5

Il campione presenta una struttura scistosa e porfiroblastica apprezzabile già ad occhio nudo.

L'associazione mineralogica del campione è costituita da cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, grafite, solfuri e, come fase accessoria, tormalina.

I porfiroblasti sono rappresentati da cordieriti relitte che raggiungono dimensioni di 7 mm; in alcune di esse si intravede la caratteristica esageminazione. Le cordieriti sono per la maggior parte sovrainposte da aggregati di miche euedrali di dimensioni di 100  $\mu\text{m}$

circa, biotite, quarzo, plagioclasio e grafite; rimangono preservate solo delle piccole aree circoscritte.

La matrice, con dimensioni medie di poche decine di micron, è costituita prevalentemente da biotite e quarzo e in minor quantità da muscovite, plagioclasio e K-feldspato.

La mica bianca è presente come prodotto di trasformazione delle cordieriti e è possibile trovarla anche ai bordi di esse, con dimensioni maggiori alla matrice (200  $\mu\text{m}$  ca).

La biotite si presenta in parte lamellare e in matrice presenta orientazione preferenziale parallela alla scistosità. L'orientazione preferenziale presente in alcuni campioni è indice di un metamorfismo non completamente statico.

Il quarzo è presente in aggregati di cristalli concentrati soprattutto ai bordi delle cordieriti pseudomorfose oppure in piccole vene, con dimensioni che raggiungono i 300  $\mu\text{m}$ .

La grafite è presente in tutto il campione in dimensioni di pochi micron.

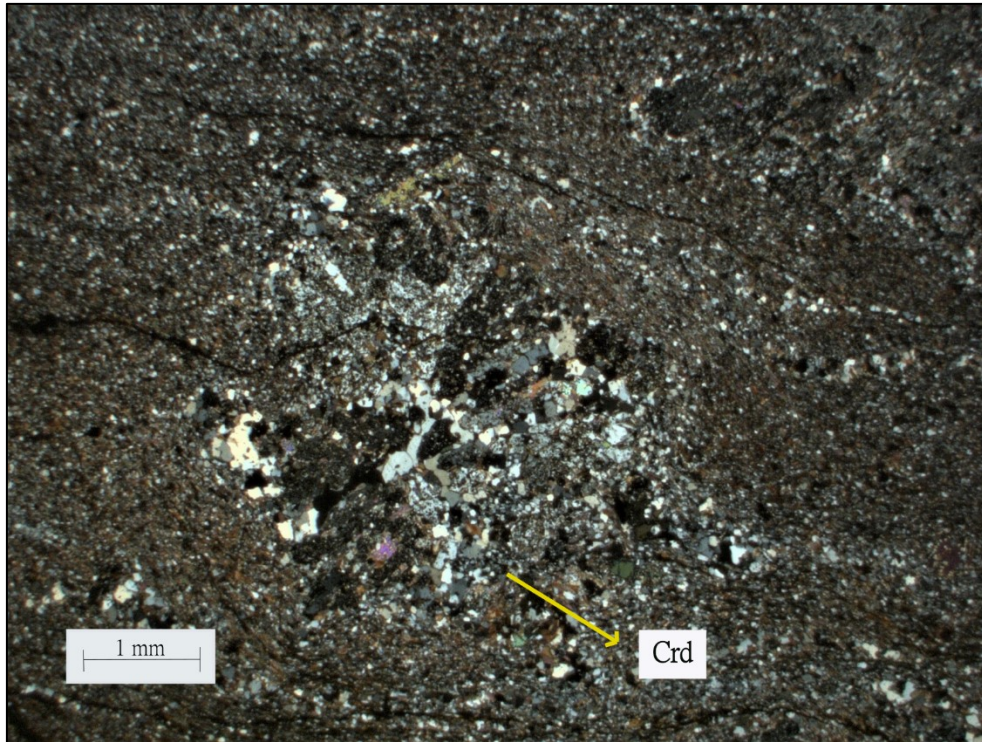
Sono presenti anche alcune piccole fratture riempite da ossidi ed idrossidi di ferro.

Oltre alla foliazione pervasiva, è possibile osservare anche una leggera anastomizzazione della foliazione stessa attorno ai porfiroblasti. In queste microstrutture si osserva anche che le fasi di alterazione della cordierite non seguono la foliazione della matrice e non presentano orientazione preferenziale. Queste evidenze suggeriscono che l'alterazione della cordierite sia avvenuta in modo statico successivamente allo sviluppo della foliazione della roccia

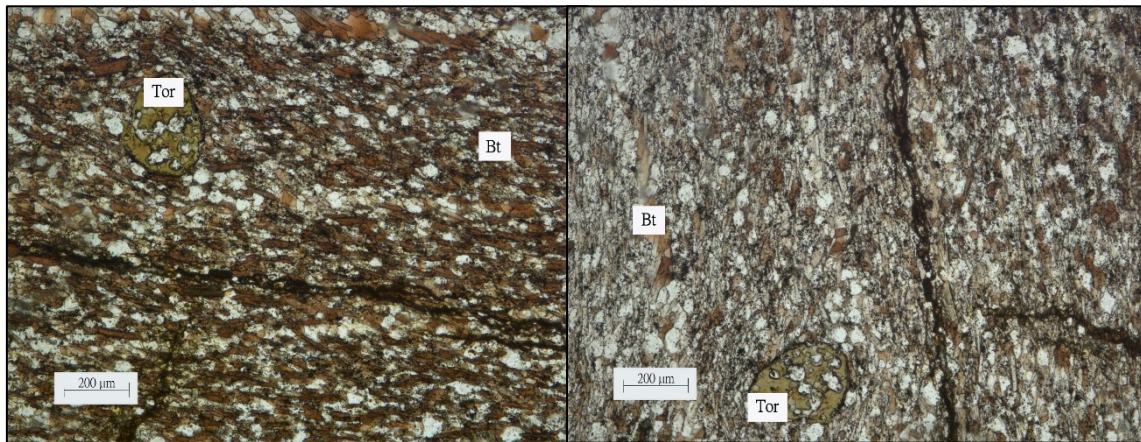
Sono inoltre presenti solfuri e tormaline fino ai 200  $\mu\text{m}$  di dimensioni.

Le figure 4.4 e 4.5 mostrano la tipica struttura della sezione LOZ5.





**Figura 4.4:** Microfoto di una cordierite relitta circondata dalla matrice più fine nella sezione sottile LOZ5: ancora in parte visibile la leggera esageminazione.



**Figura 4.5:** Microfoto della sezione sottile LOZ5. Le due foto, scattate a nicoli paralleli, mostrano la stessa area, ma sono ruotate fra loro a 90°; si può apprezzare come la maggior parte dei cristalli di biotite mostrino simili proprietà ottiche: nella foto a sinistra i cristalli di biotite si presentano infatti con colori vivaci, mentre nella foto a destra sono generalmente incolori o hanno colori più spenti. Le proprietà ottiche molto simili di molti cristalli di biotite indica una orientazione preferenziale di questa fase.

Visibile inoltre una tormalina.

#### 4.4 LOZ110

La struttura della sezione è debolmente foliata e porfiroblastica, costituita porfiroblasti di differenti dimensioni.

L'associazione mineralogica presenta cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, grafite, solfuri e in minor quantità K-feldspato.

I porfiroblasti presenti sono cordieriti relitte, pecilitiche, di due differenti dimensioni: quelle più grandi hanno un aspetto molto allungato e superano il centimetro nella direzione di allungamento. Si tratta dei porfiroblasti dendritici osservabili anche in affioramento (Figura 2.8). Le cordieriti più piccole hanno un abito più tozzo, pseudoesagonale e raggiungono i 0.4 mm. Le cordieriti sono sostituite da muscovite, quarzo, plagioclasio e grafite. Sono presenti anche alcuni porfiroblasti di mica bianca con orientazione casuale, di dimensioni di circa 200  $\mu\text{m}$ , dimensioni maggiori rispetto alla stessa fase in matrice.

La matrice è costituita da biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio e K-feldspato in minori quantità. Le dimensioni di queste fasi vanno dai 50 ai 100  $\mu\text{m}$ ; sono presenti anche minerali opachi di circa 150  $\mu\text{m}$  di dimensioni.

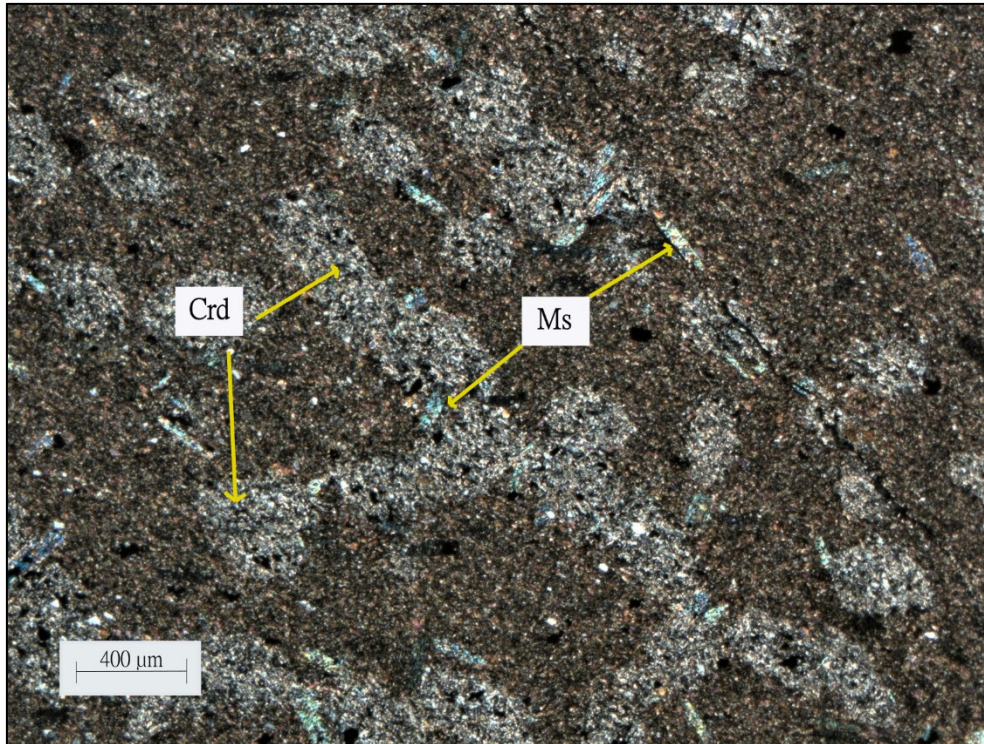
La biotite in matrice presenta orientazione preferenziale, mentre le fasi che sostituiscono le cordieriti non presentano orientazione preferenziale.

La grafite è presente in tutta la sezione in piccoli cristalli sparsi di dimensione dell'ordine del micron.

Sono presenti sottili vene a biotite, quarzo e muscovite.

In figura 4.6 è visibile la tipica struttura della sezione LOZ110.





**Figura 4.6:** *Aspetto generale del campione LOZ110: è visibili le cordieriti relitte sostituite da altre fasi e le miche bianche di dimensione minore rispetto alle cordieriti ma maggiore rispetto alla matrice.*

## 4.5 LOZ117

Il campione è una cornubianite con una struttura porfiroblastica e leggera anisotropia a grana fine.

L'associazione mineralogica è composta da cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, grafite e solfuri.

I porfiroblasti sono rappresentati da cordieriti con abito prismatico pseudoesagonale di circa mezzo mm di dimensione, alcune delle quali con evidente la tipica esageminazione.

Al nucleo presentano molte inclusioni di piccole dimensioni (massimo 20  $\mu\text{m}$ ) di biotite,



quarzo e plagioclasio, mentre in periferia ne sono prive. Al contatto con le cordieriti sono presenti miche bianche tabulari di notevoli dimensioni ( $\approx 250 \mu\text{m}$ ) e biotite.

La matrice è costituita da cristalli di biotite, quarzo, plagioclasio, grafite e, in minori quantità mica bianca dalle dimensioni di  $40\text{-}50 \mu\text{m}$  (biotite), fino alle dimensioni del singolo micron (grafite). La matrice spesso si avvolge attorno alle cordieriti.

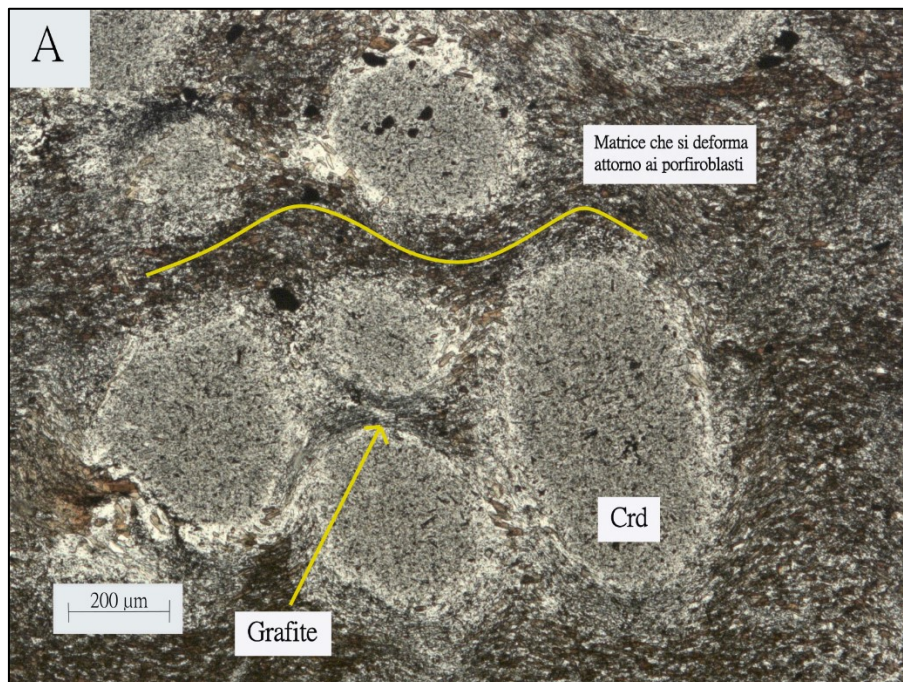
La biotite in matrice presenta orientazione preferenziale. Le fasi incluse nei porfiroblasti non presentano invece orientazione preferenziale.

La grafite la si trova sia dentro alle cordieriti e biotiti sia in matrice. Spesso è posizionata tra due cordieriti adiacenti, seguendo la deformazione generale.

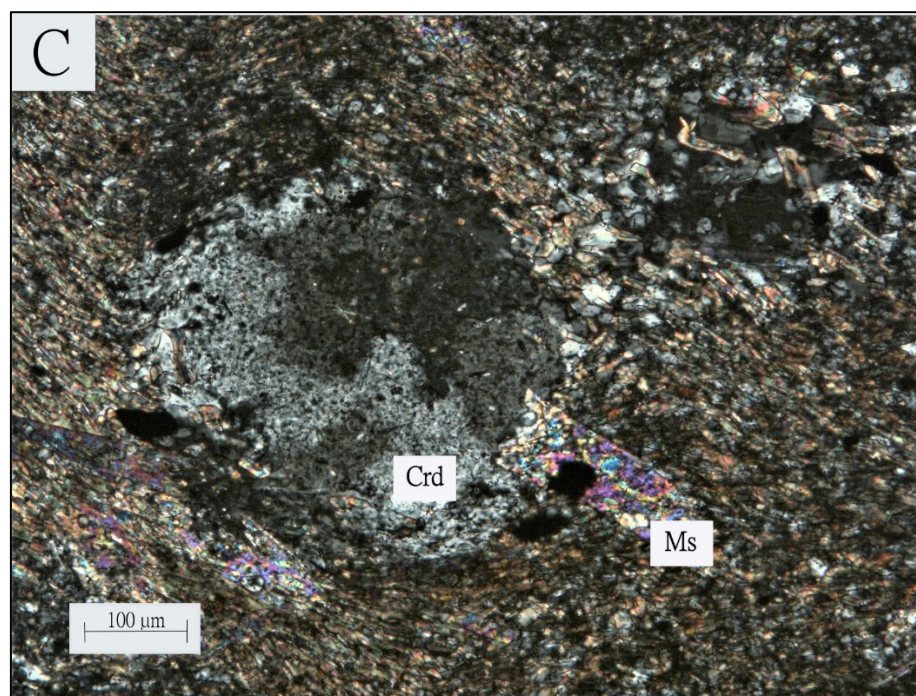
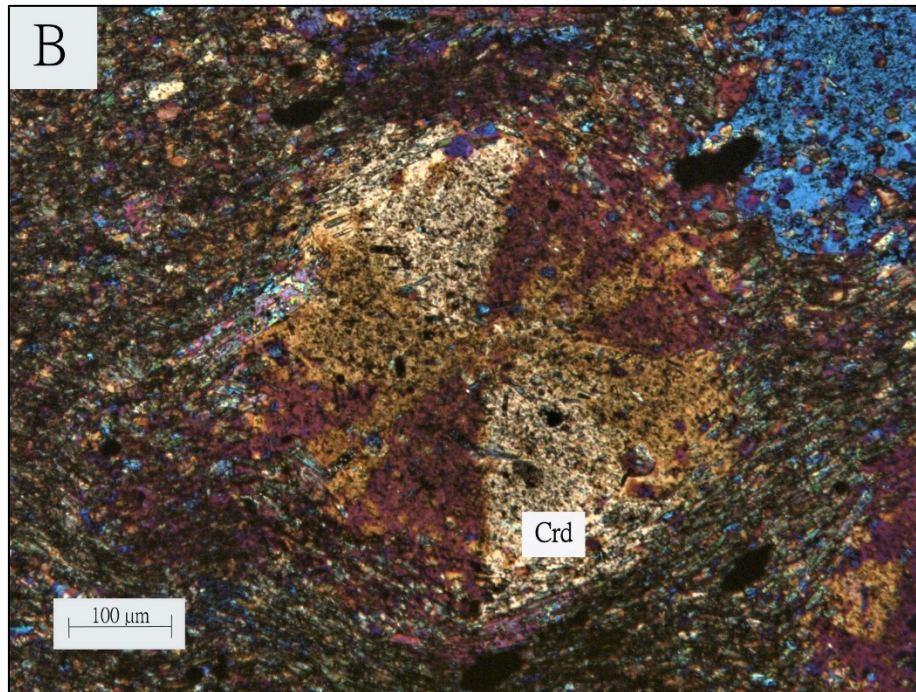
Le altre fasi opache presenti (solfuri) arrivano al millimetro di dimensione.

Sono anche presenti venette a quarzo.

In figura 4.7 vengono mostrate le strutture tipiche del campione LOZ117.



**Figura 4.7:** Didascalia a pagina seguente



**Figura 4.7:** Microfoto del campione LOZ117. A: insieme di cordieriti attorno le quali si avviluppa la matrice; in mezzo ad esse si osserva un accumulo di piccoli cristalli di grafite; B: cordierite esageminata; C: muscovite a contatto con cordierite, entrambe immerse in una matrice più fine.



## 4.6 LOZ121

La sezione presenta una struttura porfiroblastica, leggermente anisotropa.

L'associazione mineralogica comprende cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, K-feldspato, grafite e solfuri.

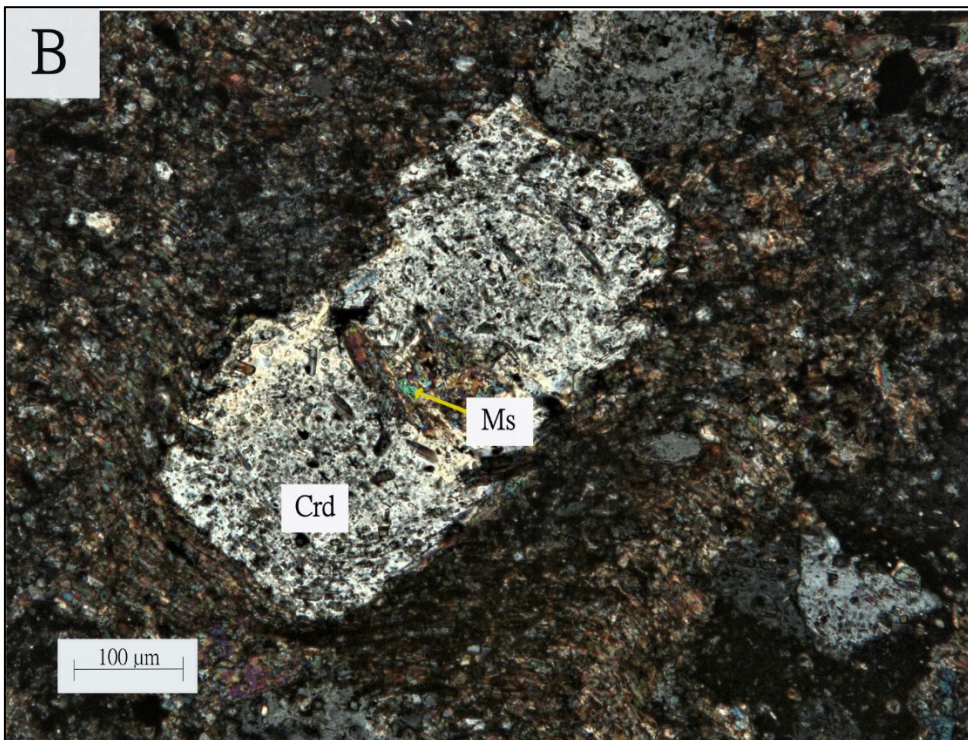
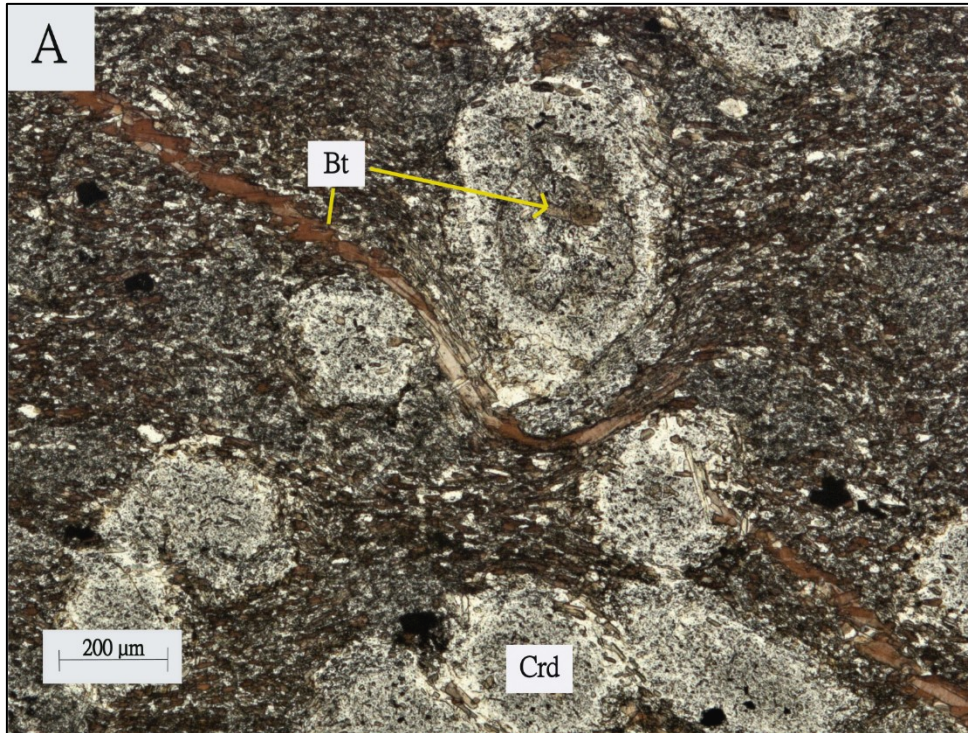
I porfiroblasti sono costituiti da cordierite per la maggior parte pseudoesagonale, di dimensioni di circa mezzo millimetro. Su alcune di esse si può apprezzare la caratteristica geminazione a sei settori. Altre cordieriti mostrano una sezione rettangolare non geminata. Al nucleo delle cordieriti si trovano incluse biotiti, miche bianche e fasi opache, dalle dimensioni variabili da poche decine di  $\mu\text{m}$  a  $\approx 100 \mu\text{m}$ .

La matrice (cristalli di dimensioni 30-50  $\mu\text{m}$ ) è costituita in prevalenza da lamelle di biotite con orientazione preferenziale; sono presenti anche quarzo, plagioclasio e mica bianca. Spesso la matrice è anastomizzata attorno ad alcuni porfiroblasti, evidenziando un metamorfismo non perfettamente statico.

La mica bianca si presenta di dimensioni apprezzabili (100  $\mu\text{m}$ ) all'interno della cordierite e al contatto con essa; in matrice essa è presente in minor quantità e di dimensioni ridotte (qualche decina di micron).

La biotite in matrice si sviluppa con dimensioni di circa 50 micron. La fase citata, all'interno dei porfiroblasti, non presenta orientazione preferenziale. La biotite forma, inoltre, delle piccole vene talvolta dislocate dai porfiroblasti.

La grafite, di dimensioni dell'ordine del micron è presente inclusa nella cordierite, ma anche attorno ad essa ed inclusa nella biotite.



**Figura 4.8:** Microfoto della sezione sottile LOZ121. A: foto a nicol paralleli che mostra una vena di biotite interrotta da porfiroblasti di cordierite. Al nucleo della cordierite è possibile osservare dei cristalli di biotite; B: foto a nicol incrociati che mostra una cordierite tabulare (parallela all'asse C) con cristalli di muscovite al nucleo.

## 4.7 GAV2

Questo campione non è stato prelevato in posto e non se ne conosce la distanza dall'intrusione. Tuttavia, è quello che meglio preserva i cristalli di grandi dimensioni di cordierite.

La sezione presenta struttura a porfiroblasti centimetrici immersi in una matrice fine ed è visibile un leggero layering.

L'associazione mineralogica comprende cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, grafite, solfuri e tormalina come fase accessoria.

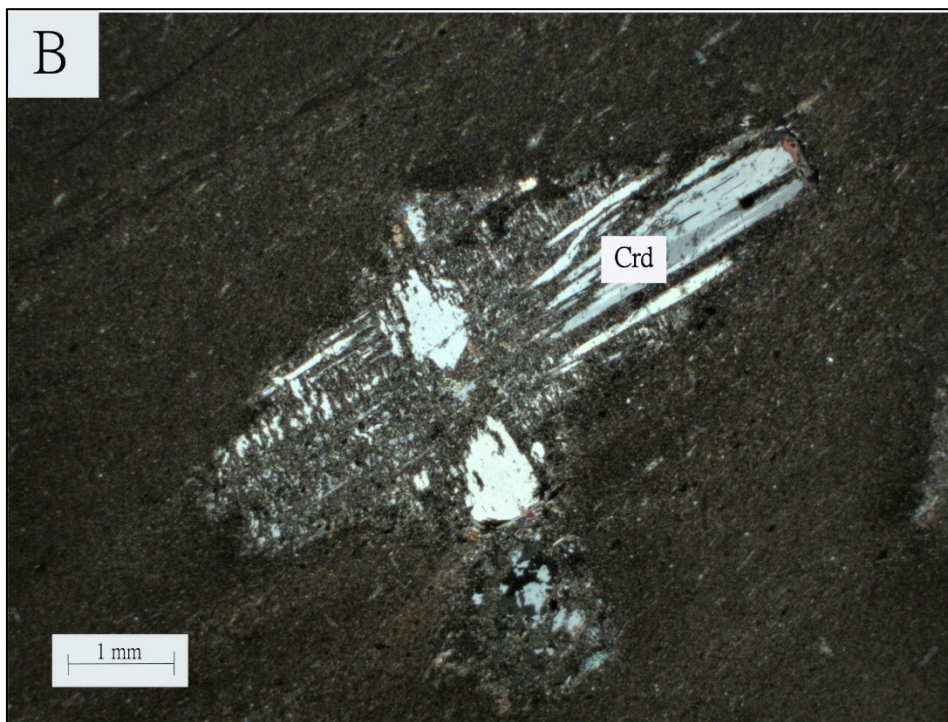
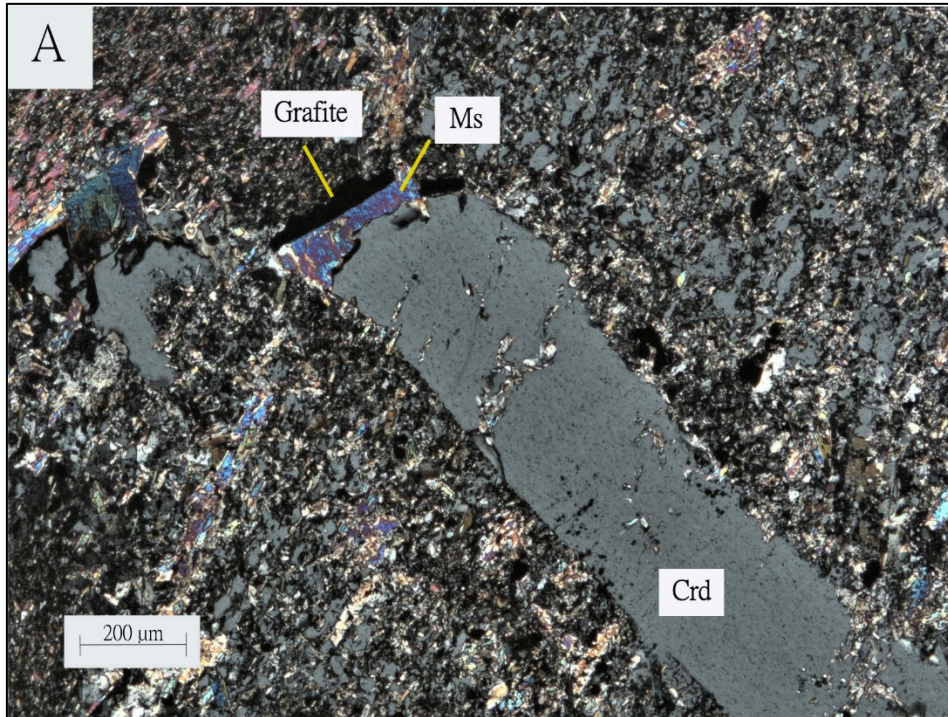
I porfiroblasti sono costituiti da cordierite a cristalli dendritici, ad aspetto chiastolitico, con dimensioni centimetriche; in alcuni casi è possibile osservarne l'esageminazione tipica. Adiacenti ad alcuni margini di cordierite sono presenti degli accumuli di cristalli di grafite.

La matrice contiene abbondante biotite con debole ma visibile orientazione preferenziale, muscovite, quarzo, solfuri e grafite di dimensioni di pochi micron. La mica bianca si presenta di dimensioni maggiori rispetto al resto della matrice (200  $\mu\text{m}$ ).

Sono presenti alcune vene a biotite e quarzo.

In figura 4.9 vengono mostrate le caratteristiche peculiari del campione GAV2.





**Figura 4.9:** Microfoto del campione GAV2. A: accumulo di grafite adiacente a cristallo di muscovite e di crodierite; B: porfiroblasto ad aspetto dendritico di cordierite immerso nella matrice fine.

#### **4.8 Vincoli petrografici alle condizioni metamorfiche**

Grazie alle osservazioni petrografiche dei sei campioni studiati possiamo concludere che le metapeliti si sono equilibrate bene in un'associazione mineralogica costituita da cordierite, biotite, mica bianca, quarzo, plagioclasio, K-feldspato, grafite e solfuri. In alcuni campioni si è osservata, seppur in quantità ridotta, la presenza di sillimanite.





## **5. Composizione chimica e mineralogica delle rocce e dei minerali**

Lo studio composizionale dei campioni e l'analisi chimica delle fasi presenti sono stati effettuati attraverso analisi XRF, analisi TOC ed EMPA.

Dalla fluorescenza a raggi X è stata ottenuta la composizione chimica totale delle rocce espressa in ossidi; a questi valori sono stati aggiunti i risultati della quantità di carbonio organico totale ottenuti attraverso le analisi di spettrometria di massa; l'EMPA ha invece fornito le percentuali in ossidi degli elementi presenti nelle fasi analizzate.

Infine, la composizione mineralogica dei campioni, espressa come percentuale delle diverse fasi mineralogiche presenti, è stata invece ottenuta dall'analisi XRPD.

### **5.1 Composizione chimica delle rocce**

L'analisi di roccia totale è stata effettuata sui campioni LOZ1, LOZ117, LNM1A e LNM1B. In Tabella 5.1 vengono riportate le composizioni chimiche dei quattro campioni.

Uno dei dati che salta più all'occhio è il valore della perdita al fuoco (L.O.I.), nettamente minore nei campioni LOZ1 e LOZ117, indice di de-volatilizzazione progressiva durante il metamorfismo.

Anche il ferro trivalente risulta essere inferiore nei campioni metamorfosati.

Gli altri elementi sono presenti in percentuali abbastanza simili, indice di un simile protolite di partenza.

I dati ricavati dalle analisi XRF sono stati integrati dai valori del contenuto in carbonio organico totale (TOC) ottenuto da apposite analisi. Il TOC risulta essere di circa 0.5 wt.% in tre campioni, 0.2% in LOZ1.

%Ox	LNM1A	LNM1B	LOZ1	LOZ117
<b>SiO<sub>2</sub></b>	61.50	61.95	59.61	62.54
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.87	0.90	0.83	0.85
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19.20	20.04	19.18	17.98
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>tot</b>	7.89	7.58	6.91	7.43
<b>MnO</b>	0.13	0.07	0.16	0.19
<b>MgO</b>	3.60	3.10	4.54	3.42
<b>CaO</b>	1.47	0.71	2.13	1.80
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.64	1.52	1.45	1.79
<b>K<sub>2</sub>O</b>	3.27	3.53	4.62	3.59
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.16	0.15	0.16	0.17
<b>TOC</b>	0.4	0.5	0.2	0.5
<b>Tot</b>	100.13	100.05	99.79	100.26
<b>L.O.I.</b>	6.62	5.96	1.55	1.61
<b>FeO</b>	6.59	5.58	6.12	6.53
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.57	1.38	0.11	0.18

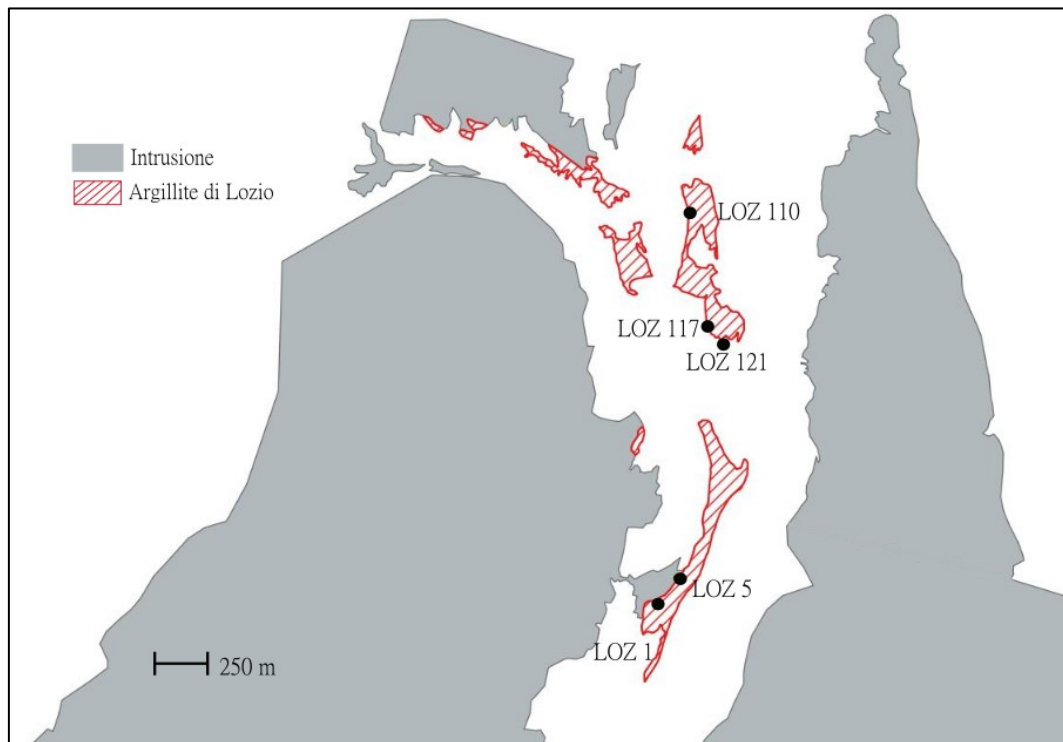
Tabella 5.1: risultati analisi di roccia totale e carbonio organico totale

## 5.2 Composizione chimica dei minerali

Alla microsonda elettronica sono stati analizzati i campioni LOZ1, LOZ5, LOZ110, LOZ117, LOZ121 e GAV2. I risultati vengono descritti anche in base alla diversa localizzazione dei campioni rispetto al contatto intrusivo: LOZ1 e LOZ5 provengono

dall'immediato contatto con le dioriti e gabbri del Complesso del Blumone; LOZ110, LOZ117 e LOZ121 affiorano a circa 500 metri (LOZ110) e 350 metri (LOZ117, LOZ121) in linea d'aria dal contatto. Come detto in precedenza, la localizzazione del campione GAV2 non è nota; per questo motivo in alcuni dei grafici di seguito mostrati non sono compresi i dati di questo campione.

In figura 5.2 un'immagine schematica dell'ubicazione dei campioni analizzati rispetto ai corpi intrusivi e agli affioramenti di Argillite di Lozio.



**Figura 5.2:** immagine schematica del posizionamento dei campioni rispetto all'intrusione e l'Argillite di Lozio (Dati geologici presi da carte CARG)

Il primo lavoro effettuato sui dati ottenuti dalla microsonda è stato il ricalcolo delle percentuali in cationi in modo da ottenere la formula cristallografica delle diverse fasi

analizzate ed eventualmente identificare analisi poco corrette.

Il ricalcolo della formula della cordierite è stato effettuato su 18 ossigeni; per le miche sono stati utilizzati 22 ossigeni e 8 per i feldspati.

Successivamente lo studio si è particolarmente concentrato sul calcolo dei parametri chimici di rilievo per i minerali analizzati: il rapporto ferro-magnesio ( $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ) di biotite e cordierite, il contenuto di titanio nella biotite, la percentuale di paragonite presente nella mica bianca ( $\%Par = (Na/(Na+K)) * 100$ ) e le percentuali di albite e anortite nel plagioclasio ( $\%Ab = (Ab/(Na+Ca+K)) * 100$ ), ( $\%An = (Ca/(Na+Ca+K)) * 100$ ).

In alcune sezioni è stato analizzato del feldspato potassico, in cristalli piccoli e di impossibile determinazione con il solo microscopio ottico.

Il quarzo, i solfuri e la tormalina presenti nei campioni non sono stati analizzati.

### 5.2.1 Cordierite

In totale, nelle sei sezioni in studio sono state analizzate 70 cordieriti: queste si presentano come soluzione solida ferro-magnesio  $((Fe,Mg)_2Al_4Si_5O_{18}) \cdot n(H_2O, CO_2)$ ; il rapporto  $X_{Mg}$  nei campioni LOZ1, LOZ5 e LOZ110 mostra valori simili tra le diverse sezioni e omogeneità composizionale all'interno del singolo campione (0.69-0.72).

Le cordieriti in esame sono quindi per lo più magnesifere.

LOZ117 e LOZ121 hanno valori  $X_{Mg}$  minori (0.63-0.66) ma pur sempre omogenei all'interno di uno stesso campione.

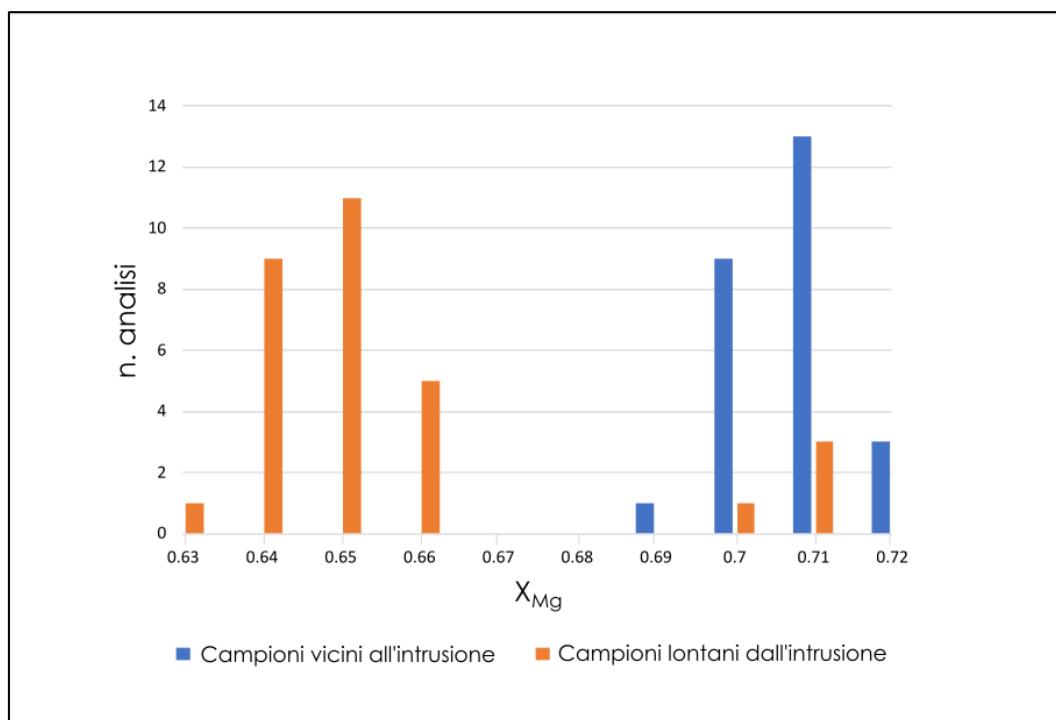
GAV2 presenta una variabilità leggermente maggiore (0.64-0.70), ma in linea con i risultati dei precedenti campioni.

Non sono state osservate variazioni composizionali tra il nucleo e la periferia delle

cordieriti.

Il contenuto in sodio è basso, fra 0.17 e 0.27 atomi per unità di formula (apfu).

In figura 5.3 sono rappresentati i valori  $X_{Mg}$  delle cordieriti analizzate divise in due serie: le analisi effettuate in campioni posizionati vicino al contatto intrusivo (LOZ1 e LOZ5) e le analisi in campioni lontani dall'intrusione (LOZ110, LOZ117 e LOZ121).



**Figura 5.3:** istogramma dei valori  $X_{Mg}$  delle cordieriti analizzate, ad esclusione del campione GAV2, di localizzazione ignota.

Sono state divise le analisi nei campioni che si trovavano vicino al contatto intrusivo (LOZ1, LOZ5) da quelle nei campioni lontani dall'intrusione (LOZ110, LOZ117, LOZ121).

## 5.2.2 Miche

### 5.2.2.1 Biotite

Nei sei campioni sono state analizzate in totale 65 biotiti

La biotite,  $(K_2(Mg,Fe)_6(Si_6Al_2O_{20})(OH)_4)$ , generalmente esibisce come parametri chimici variabili e di interesse il contenuto in titanio e il rapporto  $X_{Mg}$ ; nei campioni LOZ1, LOZ5 e LOZ110, quest'ultimo parametro è abbastanza simile, variando nell'intervallo 0.55-0.62 e le miche risultano anche essere composizionalmente omogenee all'interno del singolo campione.

Il campione GAV2 riporta invece un intervallo composizionale più ampio (0.52-0.62), rimanendo però su valori simili ai precedenti.

I campioni LOZ117 e LOZ121 presentano valori  $X_{Mg}$  leggermente inferiori rispetto alle sezioni sopra citate (0.48-0.54).

Per quanto riguarda il titanio, nei campioni LOZ1 e LOZ110 i valori sono abbastanza omogenei in tutte le biotiti analizzate (0.20 – 0.29); negli altri campioni la variabilità risulta essere maggiore (0.00 – 0.34), con valori particolarmente bassi per la sezione GAV2.

In figura 5.4 vengono plottate le analisi divise per campione in un grafico  $X_{Mg}$  vs. Ti (apfu). Si osservano alcune analisi che si discostano dal comportamento generale di ciascun campione. Esse sono state probabilmente effettuate su cristalli debolmente alterati. Se tali punti analisi non vengono considerate, i dati definiscono due gruppi composizionali caratterizzati rispettivamente da maggiore  $X_{Mg}$  e minor Ti, e viceversa. I campioni LOZ1 e LOZ5 (adiacenti all'intrusione) presentano più alti valori  $X_{Mg}$  e contenuto in titanio (apfu) leggermente minore rispetto ai campioni LOZ117 e LOZ121



I campioni LOZ5 e LOZ110 mostrano un rapporto Na/(Na+K) maggiore, con contenuti di paragonite tra il 6 e l'8%.

Il campione GAV2 riporta invece un'ampia variabilità composizionale (3-13%).

### 5.2.3 Feldspati

#### 5.2.3.1 Feldspato potassico

Nei due campioni sono stati analizzati 11 cristalli di feldspato potassico (Kfs). Esso risulta essere una soluzione solida con modeste quantità di albite ((K,Na)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

Nel campione LOZ1 e LOZ110 le percentuali di Kfs sono rispettivamente del 88-89% e del 92 % nella seconda.

I diversi contenuti di Na del feldspato alcalino sono in linea con le variazioni di contenuto di paragonite della mica bianca evidenziate sopra: LOZ1 ha soluzioni solide leggermente più sodiche di LOZ110.

#### 5.2.3.2 Plagioclasio

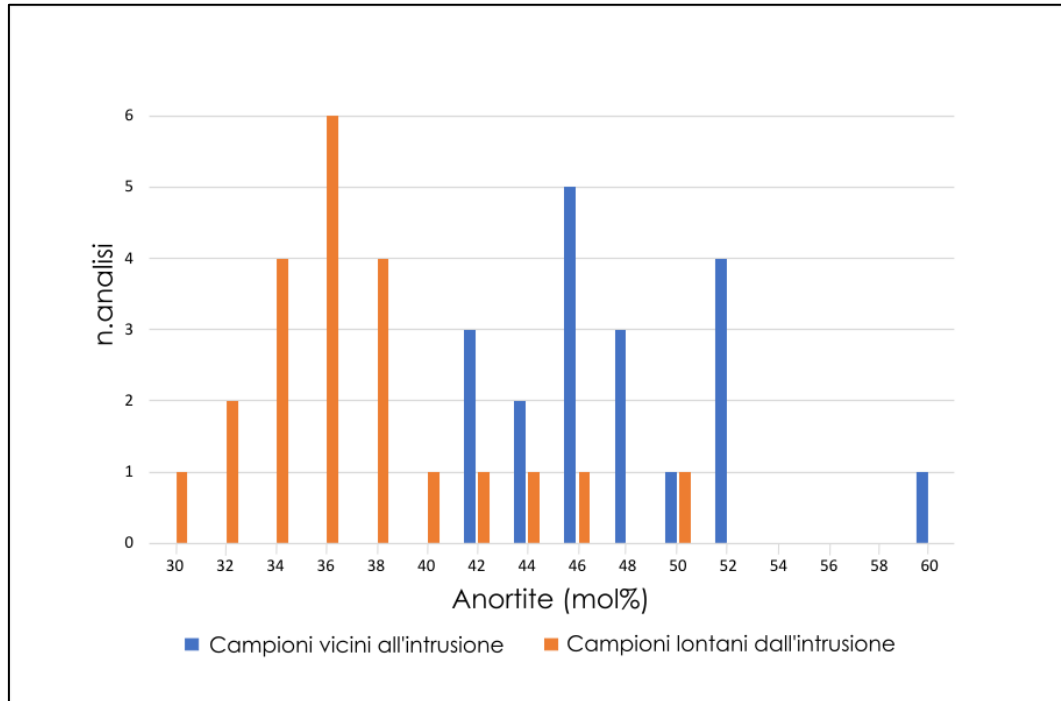
In totale sono state effettuate 41 analisi di plagioclasio, soluzione solida albite-anortite ((Na<sub>x</sub>Ca<sub>1-x</sub>)(Si<sub>2+x</sub>Al<sub>2-x</sub>)O<sub>8</sub>).

Nel plagioclasio, la variabile composizionale di interesse è il contenuto di anortite definito dalle quantità sodio e calcio. La percentuale anortitica risulta essere fra il 41 e 51% nei campioni LOZ1 e LOZ110. Anche il campione LOZ5 presenta simili valori con l'aggiunta di alcuni "outliers" verso valori del 59%, mentre le sezioni LOZ117 e LOZ121 mostrano percentuali minori (dal 30 al 39%).

In figura 5.5 sono mostrati i plagioclasii analizzati suddivisi in campioni vicini e lontani



dal corpo intrusivo.



**Figura 5.5:** istogramma del contenuto di anortite dei plagioclasti analizzati divisi in base alla distanza dal contatto intrusivo. Nel grafico non sono presenti le analisi effettuate nel campione GAV2 del quale non è nota l'esatta provenienza.

In tabella 5.6 sono riportati in modo riassuntivo i principali dati chimici delle fasi prese in esame, divisi per campione.

	CARATTERISTICHE CHIMICHE FASI ANALIZZATE					
	X <sub>mg</sub> Bt	Ti in Bt	X <sub>mg</sub> Crd	Ms: %Par	Pl: %An	Kfs: %Or
<b>LOZ 1</b>	0.55 - 0.59	0.22 - 0.29	0.70 - 0.72	4.5 - 6.0	41 - 51	88 - 89
<b>LOZ 5</b>	0.56 - 0.62	0.10 - 0.28	0.69 - 0.72	6.6 - 7.9	42 - 59	n.a.
<b>LOZ 110</b>	0.56 - 0.58	0.20 - 0.24	0.70 - 0.71	6.4 - 7.4	41 - 50	92
<b>LOZ 117</b>	0.49 - 0.51	0.12 - 0.34	0.64 - 0.66	4.0 - 5.9	30 - 35	n.a.
<b>LOZ 121</b>	0.48 - 0.54	0.08 - 0.34	0.64 - 0.66	4.6 - 6.1	36 - 39	n.a.
<b>GAV 2</b>	0.52 - 0.62	0.00 - 0.24	0.64 - 0.70	3.5 - 13	n.a.	n.a.

**Tabella 5.6:** Tabella riassuntiva delle caratteristiche chimiche salienti delle fasi analizzate.  
n.a.: non analizzata

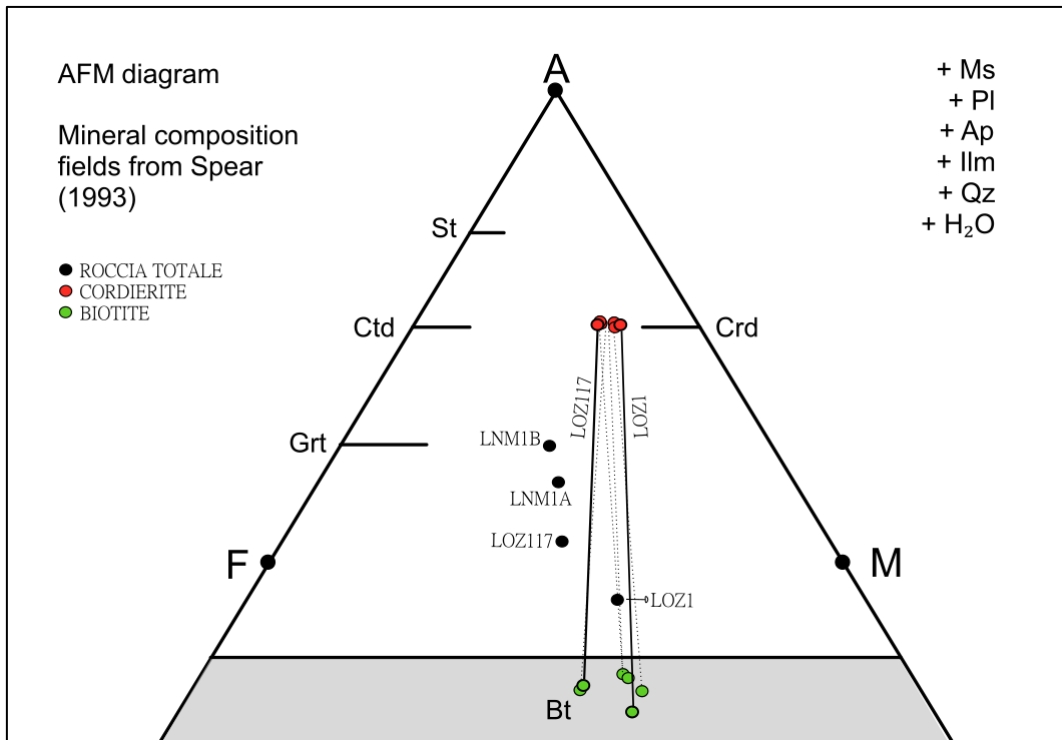
## 5.4 Chemografia AFM

In figura 5.7 viene mostrato un diagramma AFM che riporta i dati di composizione di roccia totale e i dati composizionali medi della cordierite e della biotite nei campioni analizzati. Sono state inoltre disegnate delle *tie lines* ad unione delle composizioni di cordierite e biotite coesistenti all'interno dello stesso campione.

La collocazione delle composizioni è basata sul contenuto in FeO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O. All'interno del diagramma la variazione orizzontale delle composizioni riflette il rapporto X<sub>Mg</sub>, mentre lo spostamento verticale è proporzionale al contenuto in alluminio e potassio ( $A = (Al_2O_3 - 3 * K_2O) / (Al_2O_3 - 3 * K_2O + FeO + MgO)$ ; F= FeO; M= MgO). Si nota come il campione LOZ1 presenti una composizione più magnesifera sia nella biotite che nella cordierite rispetto al campione LOZ117, dato coerente con la composizione di roccia totale degli stessi campioni e con i valori X<sub>Mg</sub> citati in precedenza.

I campioni che non hanno subito metamorfismo (LNM1A, LNM1B) riportano valori maggiormente ferriferi e simili a LOZ117, se paragonati all'analisi di roccia totale del

campione LOZ1. Il campione LOZ1 ha una composizione che lo porta a plottarsi al di sotto della congiungente FM. Questo giustifica l'assenza quasi completa di polimorfi  $Al_2SiO_5$ .



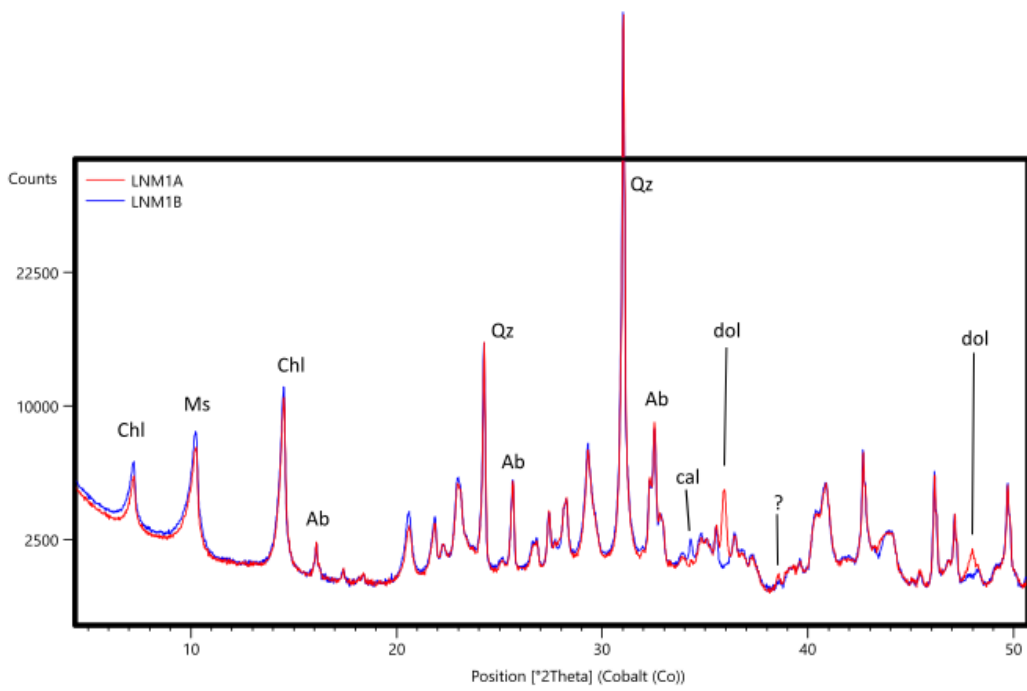
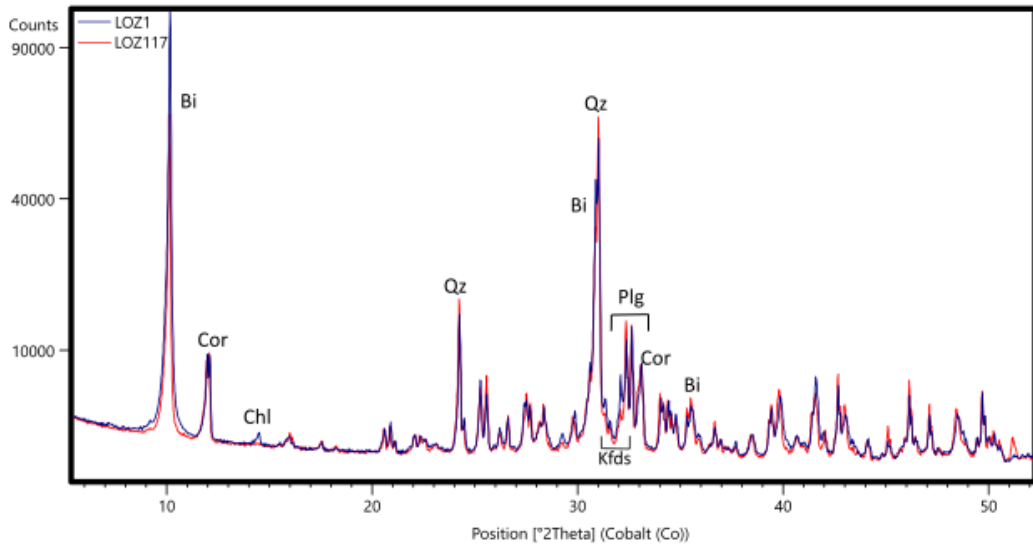
**Figura 5.7:** diagramma AFM con riportate le composizioni di roccia totale dei campioni analizzati in XRF e le composizioni medie di cordierite e biotite nei campioni analizzati in microsonda. Plottate le tie lines ad unione delle composizioni della cordierite e della biotite nei campioni LOZ1 e LOZ117.

## 5.5 Composizione mineralogica dei campioni studiati

Attraverso l'analisi XRPD è stata ottenuta l'analisi mineralogica dei campioni LOZ1, LOZ117, LNM1A, LNM1B. In figura 5.8 si possono osservare i diffrattogrammi dei campioni analizzati, con le relative fasi identificate. I campioni LOZ1 e LOZ117, messi a confronto risultano essere simili tra loro. Anche i campioni LNM1A e LNM1B sono simili tra loro, con la presenza di piccole quantità di carbonati (calcite e dolomite) non rinvenute nelle controparti metamorfosate.

Nelle tabelle 5.9 è invece possibile osservare in modo schematico le diverse fasi presenti in ogni campione analizzato e le relative percentuali calcolate attraverso il raffinamento Rietveld, metodo di raffinamento strutturale con il quale si cerca di fittare al meglio il pattern in output sulla base di modelli strutturali conosciuti.

Nei campioni metamorfosati la percentuale di K-feldspato (Orthoclase) risulta essere abbastanza importante sia in LOZ1 (posizionato vicino al contatto), che in LOZ117 (campionato più lontano dal contatto). La sillimanite e la grafite non vengono segnalate perché la tecnica non riesce a vedere fasi in percentuali molto basse (<1%). Nei campioni non metamorfosati si nota inoltre la presenza di carbonati in basse percentuali, clorite e pirite.



**Figura 5.8:** *diffattogrammi dei campioni LOZ1, LOZ117 (figura in alto), LNM1A, LNM1B (figura in basso)*

<b>LOZ1</b>			<b>LOZ117</b>		
<b>Phase Name</b>	<b>Wt% Rietveld</b>	<b>err</b>	<b>Phase Name</b>	<b>Wt% Rietveld</b>	<b>err</b>
Quartz	26	0.2	Quartz	31.9	0.2
Cordierite	12.6	0.2	Cordierite	12.7	0.1
Orthoclase	9.4	0.2	Orthoclase	6.1	0.2
Biotite	24.8	0.2	Biotite	21.6	0.2
Plagioclase	22.3	0.2	Plagioclase	25	0.2
Muscovite	3.1	0.2	Muscovite	2.8	0.2
Chlorite	2	0.2			

<b>LNMI1A</b>			<b>LNMI1B</b>		
<b>Phase Name</b>	<b>Wt% Rietveld</b>	<b>err</b>	<b>Phase Name</b>	<b>Wt% Rietveld</b>	<b>err</b>
Albite	12.9	0.2	Albite	12.1	0.2
Quartz	28.7	0.3	Quartz	28.6	0.3
Dolomite	4	0.1	Dolomite	0	0
Calcite	0	0	Calcite	0.5	0.1
Chlorite	20.2	0.3	Chlorite	21.5	0.3
Muscovite	34	0.8	Muscovite	37.2	0.8
Pyrite	0.3	0.1	Pyrite	0.2	0.1

**Figura 5.9:** Tabelle contenenti le fasi presenti per ogni campione analizzato all'XRPD e percentuale di ogni fase calcolata col metodo Rietveld

## 6. Termobarometria

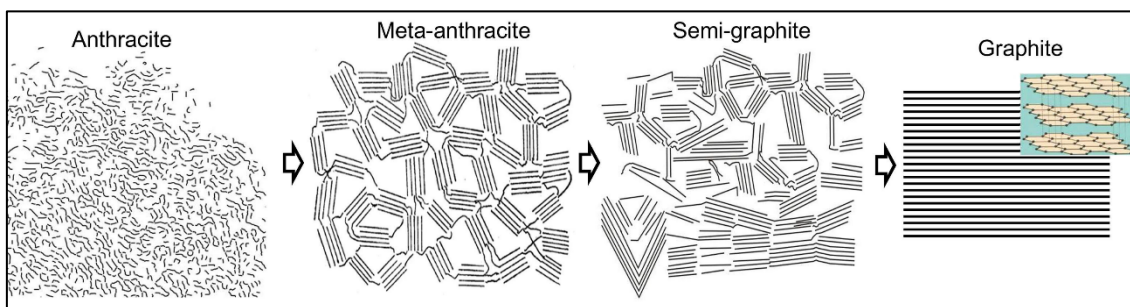
### 6.1 Termometria RSCM

#### 6.1.1 Lo spettro Raman della Grafite

La termometria RSCM (Raman Spectroscopy of Carbonaceous Materials) nasce si basa sullo studio dello spettro Raman della grafite, il quale presenta specificità uniche che possono essere utilizzate per ricavare informazioni di rilevanza geologica.

La sostanza carboniosa è infatti un importante tracciante delle condizioni metamorfiche in quanto subisce trasformazioni progressive ed irreversibili durante il processo di *grafitizzazione*. La formazione della grafite nelle rocce terrestri avviene grazie a due processi principali: la saturazione di un fluido rispetto ad una fase solida C e la trasformazione della materia organica (attraverso temperatura, ma anche pressione), in un solido a dominanza di carbonio. Per *grafitizzazione* si intende la conversione chimica di materiale organico (solido, liquido o gassoso) e la trasformazione strutturale di materia carbonacea disordinata in carbonio ben ordinato e puro. La *grafitizzazione* avviene sia all'interno degli strati di C (formazione di fogli) sia perpendicolarmente ad essi. Il grado di cristallinità viene quindi valutato in termini di dimensioni dei cristalliti in piano ( $L_a$ ) e di altezza di impilamento ( $L_b$ ). Durante la *grafitizzazione*, mentre la distanza interplanare diminuisce, i valori  $L_a$  ed  $L_b$  aumentano. La grafite ben cristallizzata è definita da una distanza interplanare di 3.35 Å (Wopenka et al., 1993). Il processo è irreversibile, per questo dallo studio della grafite è possibile ottenere le condizioni di temperatura massime raggiunte dalla roccia ospite. In figura 6.1 viene mostrato schematicamente il processo di

grafitizzazione per trasformazione della materia organica. Il disegno mostra un'evoluzione da antracite (carbone fossile) fino a grafite ben ordinata.



**Figura 6.1:** Processo di grafitizzazione: da antracite a grafite bene ordinata.

Lo spettro Raman dei materiali carboniosi (CM) è composto da due regioni principali: la regione di primo ordine ( $1100-1800\text{ cm}^{-1}$ ) e la regione di secondo ordine ( $2500-3100\text{ cm}^{-1}$ ) (Tuinstra et al., 1970; Nemanich et al., 1979). Nella regione di primo ordine (Figura 6.2) il picco principale si trova a  $1580\text{ cm}^{-1}$  (banda G); a  $1350\text{ cm}^{-1}$  è presente il picco chiamato D1 e a  $1620\text{ cm}^{-1}$  la banda D2. I picchi D sono attribuibili a difetti nella struttura della grafite e ad una piccola taglia dei cristalliti (ordine del micron o minore).

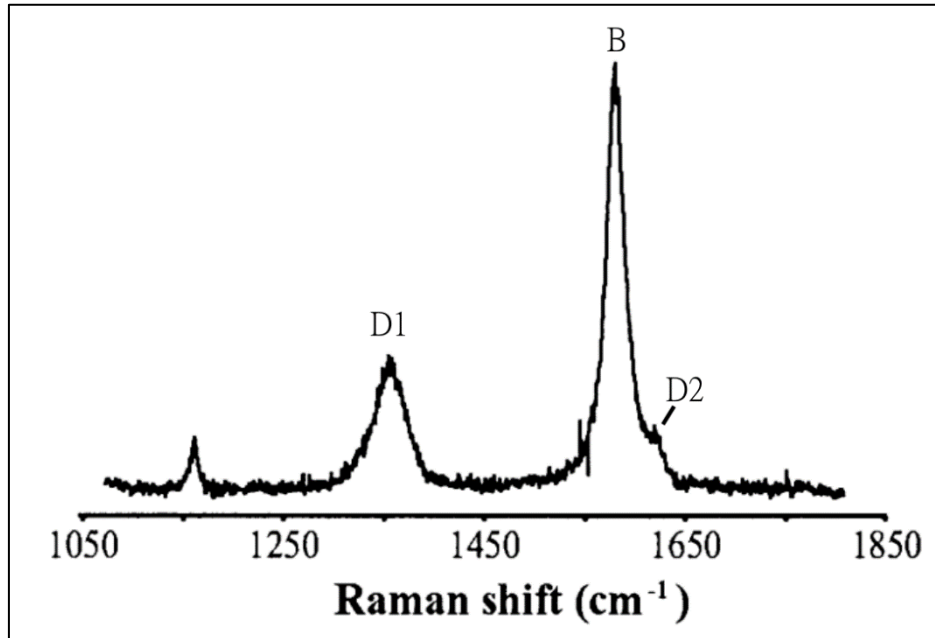
La banda D1 risulta essere maggiormente ampia ed intensa in grafiti poco ordinate. La banda D2 appare come una spalla della banda G; in grafiti poco ordinate è molto difficile separare i due picchi.

Esiste anche una banda D3 posizionata attorno ai  $1500\text{ cm}^{-1}$ , presente in grafite poco ordinata come una banda molto ampia. Questo picco però tende a scomparire durante le prime fasi di grafitizzazione (Beysac et al., 2002a).

In figura 6.2 vengono mostrati i picchi Raman della regione di primo ordine della grafite,



regione di nostro interesse.



**Figura 6.2:** Spettro Raman della grafite fra i 1000 e i 1850  $\text{cm}^{-1}$  di Raman Shift (Beysac 2003)

Nella regione di secondo ordine sono presenti altre bande (Nemanich et al., 1979; Wopenka et al., 1993), il cui significato però non è ancora del tutto chiaro. Lespade et al. (1984) mostrano che la banda chiamata S1 ( $2700 \text{ cm}^{-1}$ ), durante lo stadio finale di grafitizzazione si divide in due componenti, come risultato di una transizione da una struttura bidimensionale ad una struttura tridimensionale.

### 6.1.2 Il termometro RSCM

Wopenka e Pasteris (1993) e successivamente Beysac et al. (2002) hanno studiato l'evoluzione dello spettro Raman della grafite su diversi campioni a grado metamorfico crescente. Gli ultimi autori sono poi giunti a quantificare le evoluzioni dello spettro

formulando un geotermometro.

Nella regione di primo ordine i campioni di più basso grado mostrano una banda D1 predominante, una banda G con una larga spalla D2 e un'ampia banda D3. Con l'incremento delle condizioni di pressione e temperatura i picchi D1 e D2 decrescono rispetto al picco G che si assottiglia e aumenta in intensità. La banda D3 va a sparire in campioni che sono stati sottoposti a temperature maggiori di 400 °C. Nella regione di secondo ordine i campioni di basso grado metamorfico presentano due ampie bande a 2700 cm<sup>-1</sup> (S1) e 2900 cm<sup>-1</sup> (S2); aumentando le condizioni di P e T l'intensità relativa del picco S2 diminuisce, mentre il picco S1 diviene sempre più stretto e asimmetrico in campioni con temperatura oltre i 500 °C.

In figura 6.3 viene riportata un'immagine dello studio di Beyssac et al. (2002), dove vengono mostrati una serie di spettri Raman a grado metamorfico crescente

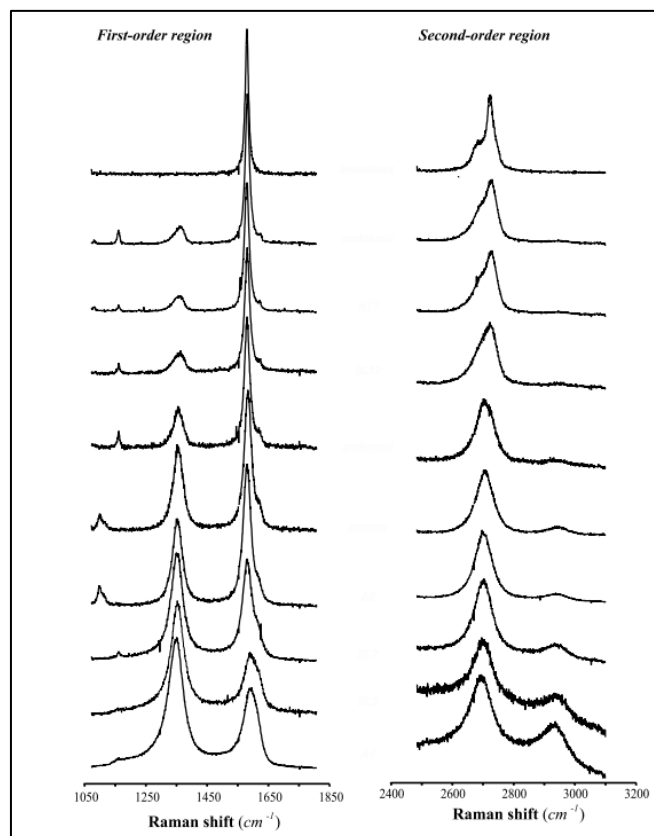
Lo studio di Beyssac e collaboratori giunge quindi alla conclusione che il grado di organizzazione dei CM è sensibile alla variazione del grado metamorfico.

Il parametro Raman  $R2 = [D1/(G+D1+D2)]$ , che correla le aree sottese ai tre picchi principali, presenta una buona correlazione con il picco di temperatura raggiunto dai CM; la correlazione R2-T è descritta dalla funzione lineare

$$T (°C) = -445 * R2 + 641$$

con un coefficiente di correlazione R<sup>2</sup> di 0.96.

Non emerge invece una chiara correlazione tra il rapporto R2 e la pressione.



**Figura 6.3:** Serie di spettri Raman dei campioni studiati da Beyssac et al. (2002) a grado metamorfico crescente verso l'alto. Si nota l'evoluzione delle bande sia nella regione di primo ordine che in quella di secondo ordine.

Gli autori hanno poi notato che la correlazione lineare tra il parametro R2 e la temperatura vale nell'intervallo fra i 330 e i 640 °C. A temperature inferiori il valore R2 rimane costante attorno ai 0.7-0.8, mentre a temperature maggiori di 640°C il valore risulta essere nullo perché il picco D1 è assente. Nel range 330-640°C la correlazione può quindi essere utilizzata come geotermometro per sedimenti metamorfosati o più in generale per rocce metamorfiche contenenti CM. L'errore sulla temperatura stimata è di  $\pm 50^\circ\text{C}$ . Il fattore limitante della precisione del geotermometro risulta essere l'eterogeneità interna al singolo campione, che richiede un approccio statistico e un numero elevato di misure (almeno 25/30 per campione).

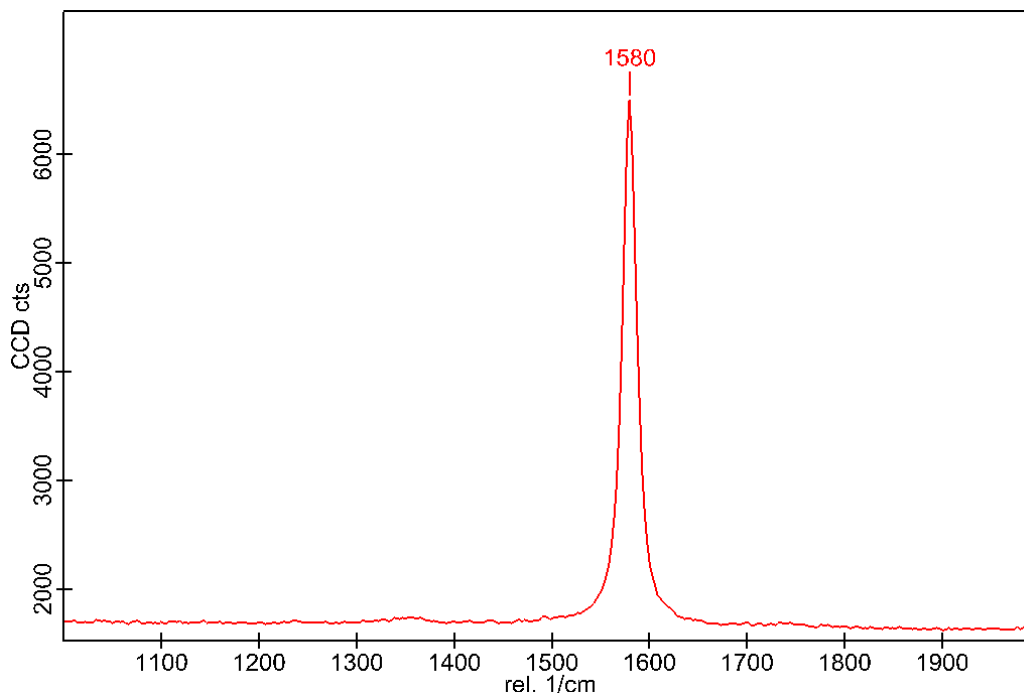
La temperatura media determinata rappresenta il picco di temperatura raggiunto da un campione, in quanto il processo di grafittizzazione non è reversibile (Beysac et al., 2002a).

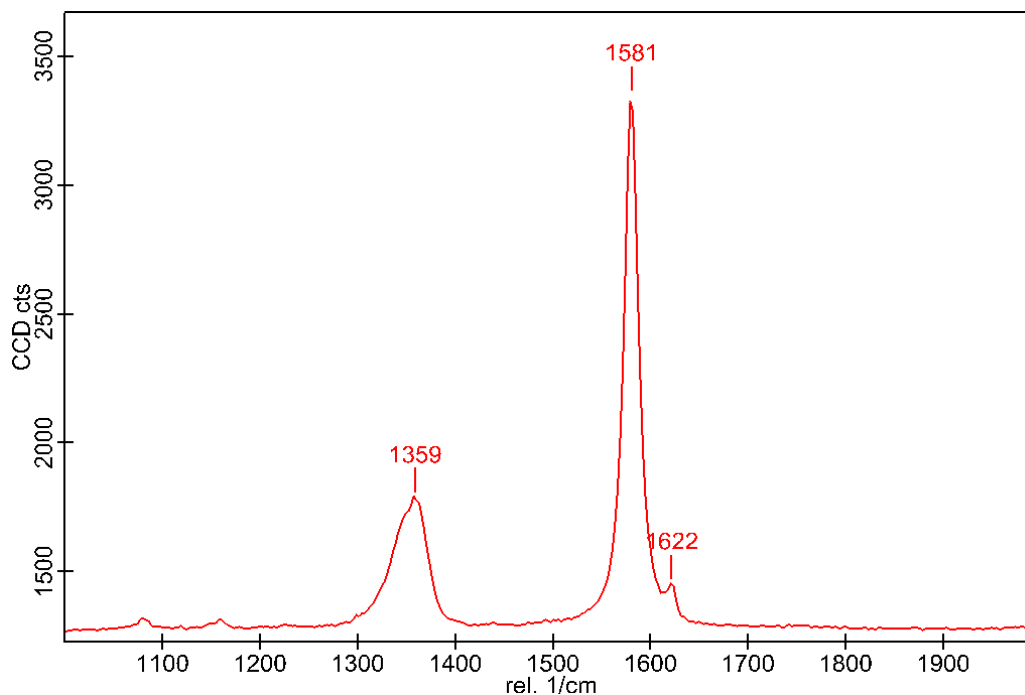
### 6.1.3 Risultati

Il termometro RSCM è stato applicato in questa tesi all'Argillite di Lozio metamorfosata per contatto dal plutone Re di Castello (Adamello).

Le analisi sono state effettuate sui campioni LOZ1 e LOZ5 (campioni posizionati vicino al contatto intrusivo), LOZ117 (campione posizionato lontano dal contatto intrusivo) e GAV2. Nel campione LOZ1 sono state effettuate 42 analisi, in LOZ5 35, in LOZ117 20 e in GAV2 16.

Di seguito, in figura 6.4, vengono mostrati due differenti spettri entrambi appartenenti a cristalli di grafite del campione LOZ5. Si nota come la grafite possa presentare cristallinità variabile anche all'interno di uno stesso campione.





**Figura 6.4:** Spettri di cristalli di grafite del campione LOZ5. Il primo spettro in alto (loz5\_033) fornisce una temperatura di  $633 (\pm 50)$  °C. Il secondo invece (loz5\_039) fornisce una temperatura di  $494 (\pm 50)$  °C.

In tabella 6.5 sono mostrati i dati riassuntivi per i campioni LOZ1, LOZ5 e LOZ117. Il campione GAV2 non è qui commentato perché non ne si conosce la posizione di provenienza rispetto al plutone (è possibile comunque consultare i risultati in appendice). I dati sono mediati sulle numerose analisi effettuate per ogni campione. Si ricorda anche che l'errore sulle stime di temperatura è di  $\pm 50^\circ\text{C}$ .

I campioni LOZ1 e LOZ5 (situati vicini al corpo intrusivo), mostrano un valore del rapporto R2 nettamente inferiore all'R2 del campione LOZ117, dato che si riflette il nelle temperature calcolate, dove i primi due campioni mostrano valori medi di quasi  $600^\circ\text{C}$ , mentre LOZ117 mostra una temperatura media di  $557^\circ\text{C}$ . Guardando i risultati delle analisi grafite per grafite per ogni campione (appendice), si nota che molte di esse mostrano un valore definito come  $>640^\circ\text{C}$ . Questo perché, come detto in precedenza il

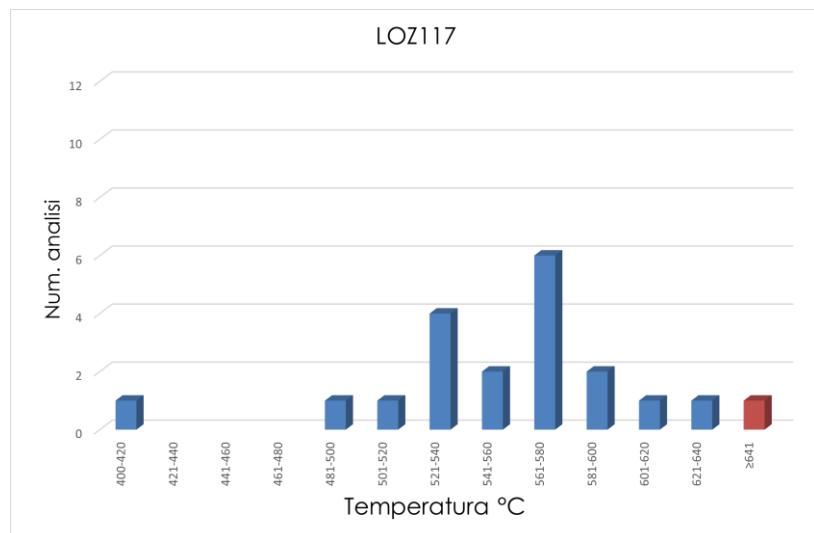
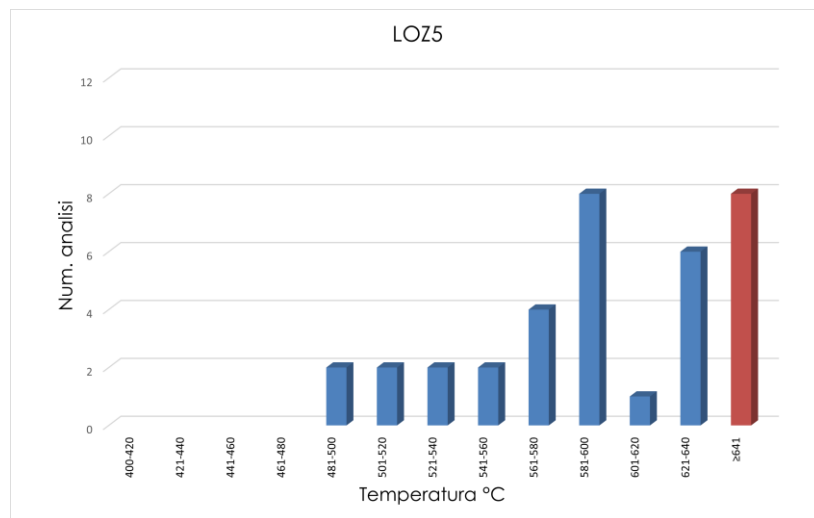
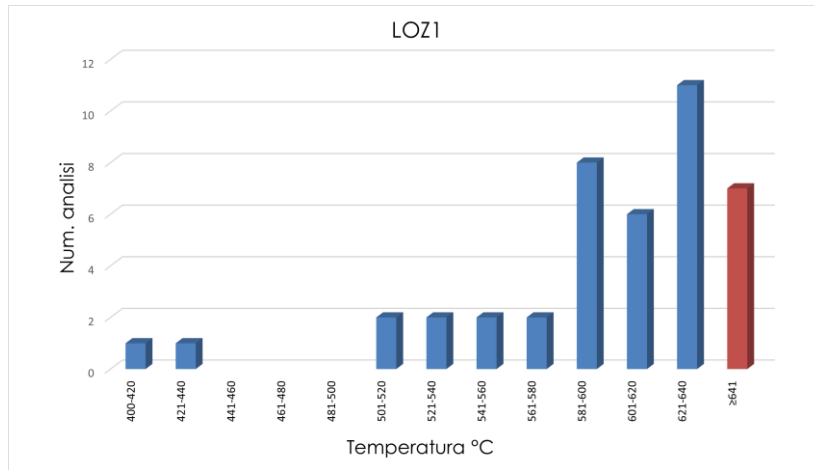
geotermometro è applicabile solo fino a questa temperatura. A temperature maggiori, infatti, lo spettro risulta essere sempre il medesimo e caratterizzato dall'assenza del picco D1. Quando la temperatura reale raggiunta dalle grafiti è  $>640^{\circ}\text{C}$ , il termometro non sarebbe in grado di fornirci il dato. Ne consegue che per i campioni LOZ1 e LOZ5 il valore di temperatura ottenuto come media delle diverse analisi è quindi un valore minimo. Più significativi per interpretare le stime termometriche sono forse gli istogrammi in Figura 6.5 che ci mostrano la distribuzione delle temperature: gli istogrammi dei campioni LOZ1 e LOZ5 sembrano essere “troncati” verso destra; se il termometro potesse determinare anche valori di temperatura  $>640^{\circ}\text{C}$  probabilmente gli istogrammi avrebbero una distribuzione normale, con alcune analisi di più alta temperatura.

L'errore standard [ $\text{dev.st. Temp.} / \text{num. Analisi}^2$ ] ci fornisce un indice di omogeneità dei risultati all'interno di uno stesso campione; con un errore standard  $<8$  i risultati delle diverse analisi sono abbastanza omogenei tra loro. Nei campioni LOZ1 e LOZ5 l'errore standard è a cavallo di questo valore, mentre in LOZ117 lo supera ampiamente, indice di eterogeneità del grado di cristallinità delle differenti grafiti. Eliminando però dal conteggio l'outlier  $<420^{\circ}\text{C}$  (istogramma LOZ117 in figura 6.6), l'errore standard risulta essere di 8.2.

CAMPIONE	dev.st. $r^2$	R2 medio	dev.st R2	Temp. media	dev.st Temp.	num. Analisi	errore st.
LOZ1	0.0104	0.1229	0.1245	595	54.51	42	8.41
LOZ5	0.0109	0.1411	0.0981	591	46.49	35	7.86
LOZ117	0.0225	0.1978	0.1070	557	50.34	20	11.26

**Figura 6.5:** tabella riassuntiva con i dati principali per ogni campione. Dati completi in appendice.

In figura 6.6 vengono mostrati gli istogrammi di distribuzione delle temperature nei campioni LOZ1, LOZ5 e LOZ117. Si nota come per i primi due campioni la maggior parte dei risultati si concentri a temperature maggiori di 580°C e vi siano numerosi dati >640°C, mentre per LOZ117 sono presenti più analisi nell'intervallo di temperature 520-570°C.



**Figura 6.6:** istogramma dei valori di temperatura dei campioni LOZ1, LOZ5 e LOZ117: si nota la differenza nella distribuzione dei dati che risulta essere “troncata” in LOZ1 e LOZ5, mentre per il campione LOZ117 viene mostrata una distribuzione normale.



## 6.2 Termometria Ti-in-Biotite

### 6.2.1 Il termometro Ti-in-Biotite

La concentrazione di titanio in biotite in rocce metamorfiche è stata per molto tempo considerata funzione dei cambiamenti di temperatura a cui le rocce sono state sottoposte (Engel et al., 1960, Kwak 1968). I fattori che influenzano il contenuto in Ti nella biotite sono però molteplici: cambiamenti di temperatura (fattore principale), di pressione, chimica della biotite stessa e associazione mineralogica coesistente (Guidotti et al., 1977,1988).

Da diversi studi è emerso che tendenzialmente il contenuto di Ti in biotite in metapeliti aumenta con l'aumentare del contenuto in Fe. Per un dato valore di temperatura, la concentrazione di Ti diminuisce quindi all'aumentare del rapporto  $X_{Mg}$ .

Per un dato valore  $X_{Mg}$  invece, la concentrazione di Ti aumenta in funzione della temperatura. Grazie a queste osservazioni è nata l'idea di un geotermometro basato sul contenuto in Ti nelle biotiti.

Nello studio di Henry et al. (2005) si è cercato di correlare al meglio Ti e rapporto  $X_{Mg}$  della biotite in metapeliti di bassa pressione (5 kbar). Basandosi sulla compilazione di una estesa banca di dati di contesti naturali, gli Autori sono giunti a proporre la seguente equazione

$$\ln Ti \text{ (apfu)} = a + bT(^{\circ}C)^3 + cX_{Mg}^3$$

e quantificare le tre costanti  $a$ ,  $b$  e  $c$ .

Come in molti altri termometri che si basano sul contenuto di un elemento chimico in una fase, per ottenere temperature di equilibrio deve essere presente una fase saturante

nell'elemento, nel caso specifico una fase saturante in titanio, come l'ilmenite: in questo modo la biotite può acquisire tutto il Ti che le compete in funzione della temperatura.

L'espressione grafica del termometro di Henry et al (2005) è un diagramma Ti (apfu) –  $X_{Mg}$  (Figura 6.7) dove sono state plottate le isoterme di temperatura ( $^{\circ}C$ ) calcolate sulla base dell'equazione precedentemente citata.

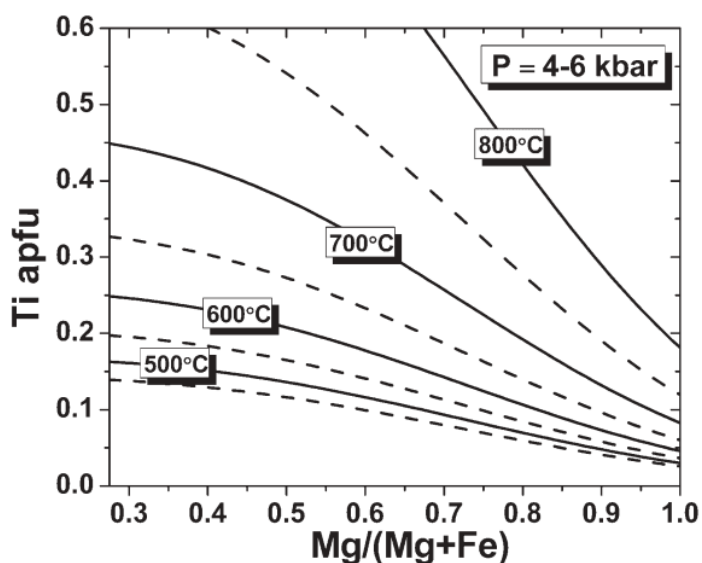


Figura 6.7: Diagramma Ti –  $X_{Mg}$  con le isoterme del geotermometro Ti-in-Bt (Henry et al., 2005)

La precisione di questo geotermometro è stimata essere di  $\pm 24^{\circ}C$  a temperature  $< 600^{\circ}C$  e  $\pm 12^{\circ}C$  a temperature  $> 700^{\circ}C$  (con fase saturante in titanio). Altri vincoli all'applicabilità quantitativa di questo termometro sono la presenza di grafite e di un allumosilicato nella metapelite.

## 6.2.2 Risultati

In figura 6.8 e 6.9 vengono mostrati i risultati del lavoro di questa tesi nell'applicazione del geotermometro Ti – in – Biotite. In figura 6.7 sono plottati, sul precedente diagramma Ti –  $X_{Mg}$ , i valori composizionali delle biotiti analizzate nei campioni LOZ1, LOZ5, LOZ110, LOZ117, LOZ121, GAV2. I dati delle biotiti provengono dalle analisi in microsonda elettronica dove sono state studiate 15 biotiti nel campione LOZ1, 9 biotiti nel campione LOZ5, 6 in LOZ110, 13 in LOZ117, 12 in LOZ121 e 9 in GAV2.

In figura 6.9 vengono mostrati gli stessi risultati dividendo i campioni in due categorie: le biotiti appartenenti ai campioni situati nelle vicinanze del contatto intrusivo (LOZ1, LOZ5) e le biotiti appartenenti a campioni situati lontani dal contatto intrusivo (LOZ110, LOZ117, LOZ121).

Osservando i due diagrammi non si notano differenze significative di temperatura tra i campioni vicini e quelli lontani alla massa intrusiva.

Ci viene però fornita una temperatura tra i 600 e i 700°C, con alcuni valori al di sotto di 500°C che sono evidentemente dovuti alla locale alterazione dei cristalli analizzati

Ricordiamo che nel sistema non è presente alcuna fase saturante in titanio: ciò significa che per un dato valore  $X_{Mg}$  la biotite potenzialmente potrebbe incorporare altro Ti se fosse presente nel sistema e fornirci quindi temperature maggiori. Assumiamo questi valori quindi come temperature minime. Tuttavia, tutti i campioni (tranne LOZ1) sono privi di un polimorfo  $Al_2SiO_5$ , il che rende i campioni studiati non completamente aderenti ai vincoli di associazione mineralogica per l'applicazione quantitativa del termometro, i cui risultati sono quindi da considerare come indicazioni qualitative.

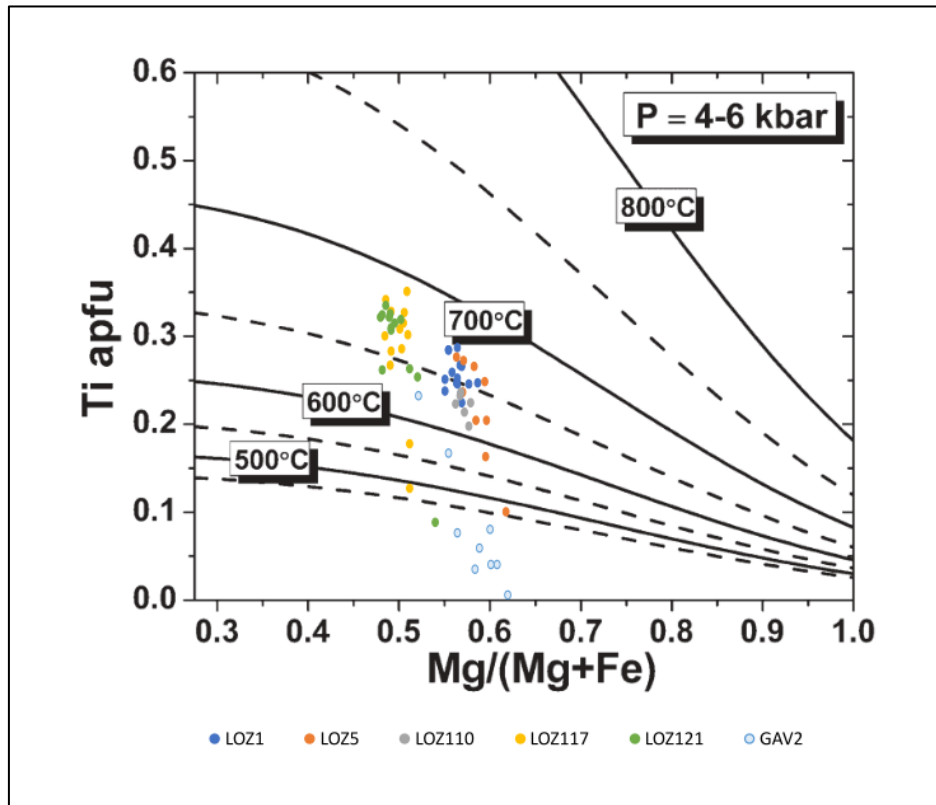


Figura 6.8: Diagramma  $Ti - X_{Mg}$  con isoterme (Henry et al., 2005) e i dati composizionali delle biotiti analizzate nei diversi campioni

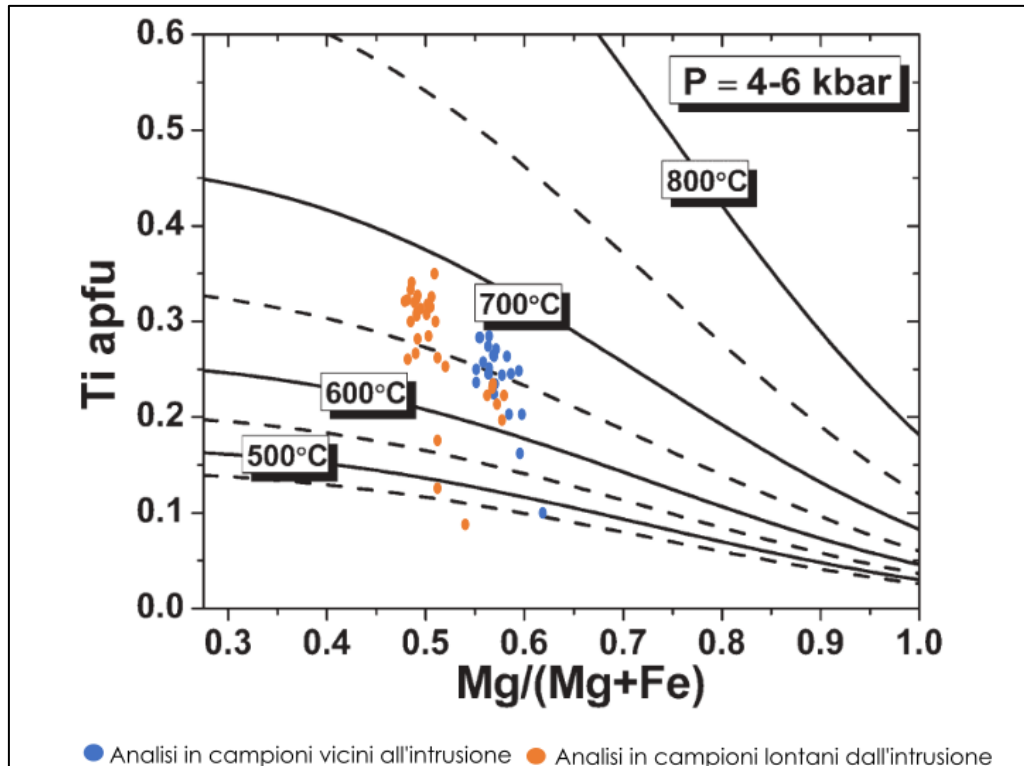


Figura 6.9: Termometro Ti-in-Bt (Henry et al., 2005). Sono riportati i dati composizionali delle biotiti analizzate nei diversi campioni divisi in campioni vicini e lontani dall'intrusione.

### 6.3 Modellizzazione termodinamica

La modellizzazione termodinamica è un metodo che consente calcolare le condizioni di equilibrio in un sistema chimico in funzione di pressione e temperatura, e conseguentemente di predire (tra le varie applicazioni) qual è l'associazione mineralogica stabile al variare di P e T a partire da una composizione di roccia conosciuta. In questa applicazione si ottengono dei diagrammi di fase isochimici (chiamati anche pseudosezioni) contenenti diversi campi P-T, ognuno dei quali ci dice quali sono le associazioni stabili in tali condizioni.

La modellizzazione termodinamica si realizza tramite appositi software e database termodinamici.

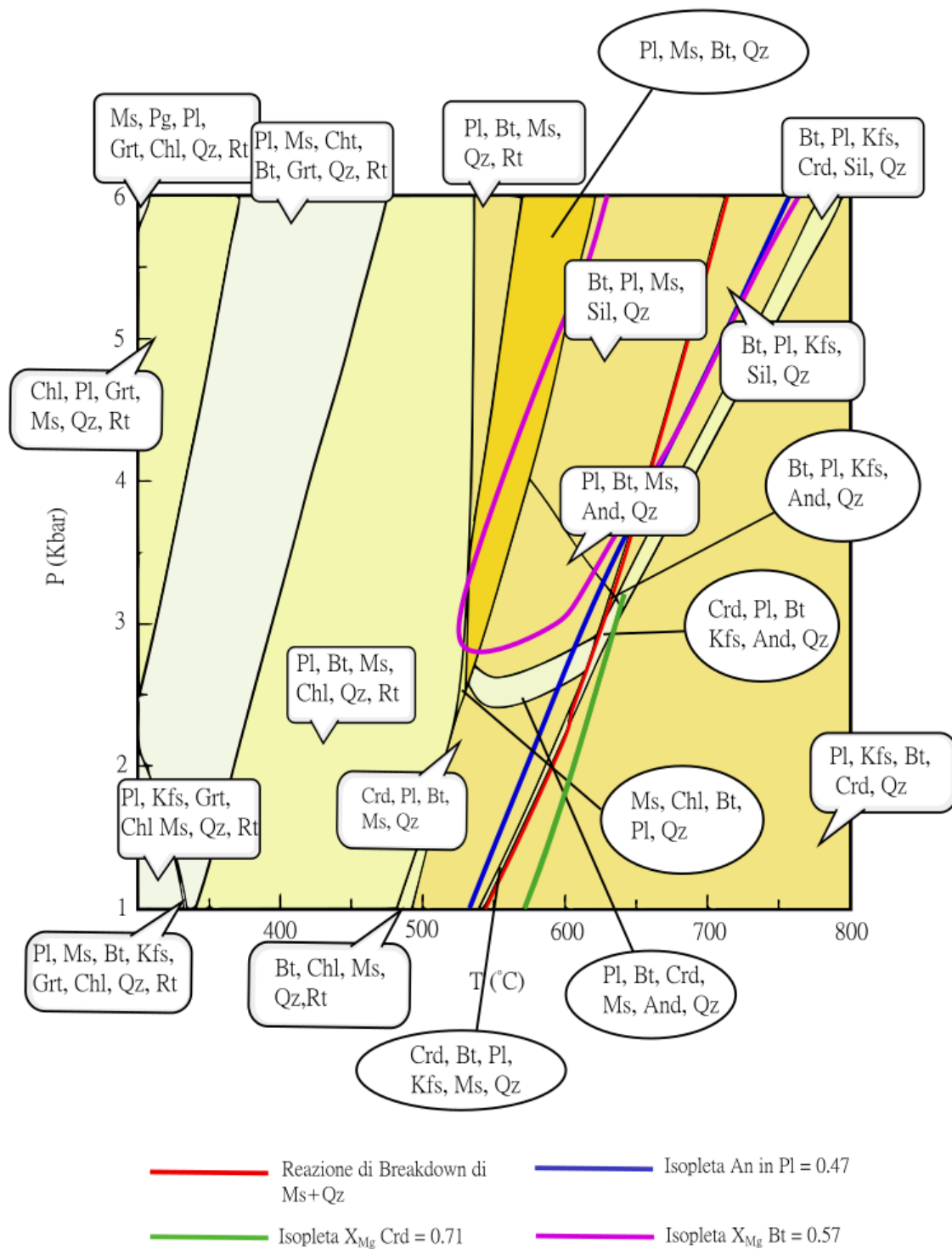
La modellizzazione degli equilibri di fase presente di seguito è stata effettuata usando il software *Perple\_X* (Connolly, 2009), con il database termodinamico di Holland and Powell (1998 e versione aggiornata del 2003). I modelli di soluzione solida utilizzati sono: Holland & Powell (2001) per il granato, Tajcmanova et al. (2009) per la biotite, Coggon & Holland (2002) per la muscovite, Newton et al. (1980) per il plagioclasio, Thompson & Hovis (1979) per il K-feldspato. Un modello ideale è stato considerato per l'ilmenite e cordierite. La composizione utilizzata è quella ottenuta dall'analisi XRF della roccia LOZ1; i calcoli sono stati effettuati nel sistema chimico  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{TiO}_2$  (NCKFMASHT) senza considerare  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , la cui concentrazione è risultata essere molto bassa. È stata inoltre considerata la presenza di grafite nella roccia, che implica la presenza di un fluido C-O-H e non di  $\text{H}_2\text{O}$  pura. Per questo punto si è utilizzata l'apposita routine di *Perple\_X* e si è fatta la scelta di considerare il minimo spostamento degli equilibri di devolatilizzazione, che si ha

massimizzando il valore di  $a_{H_2O}$  in sistemi grafitici. Questo corrisponde a utilizzare un parametro  $X_O$  (Connolly e Cesare, 1993) pari a 1/3.

In figura 6.10 viene mostrata la pseudosezione ottenuta; in figura 6.11 è mostrato un ingrandimento del diagramma di fase nell'intervallo P-T di interesse; in tabella 6.12 viene richiamata invece la composizione di roccia totale sulla quale si basa il modello.

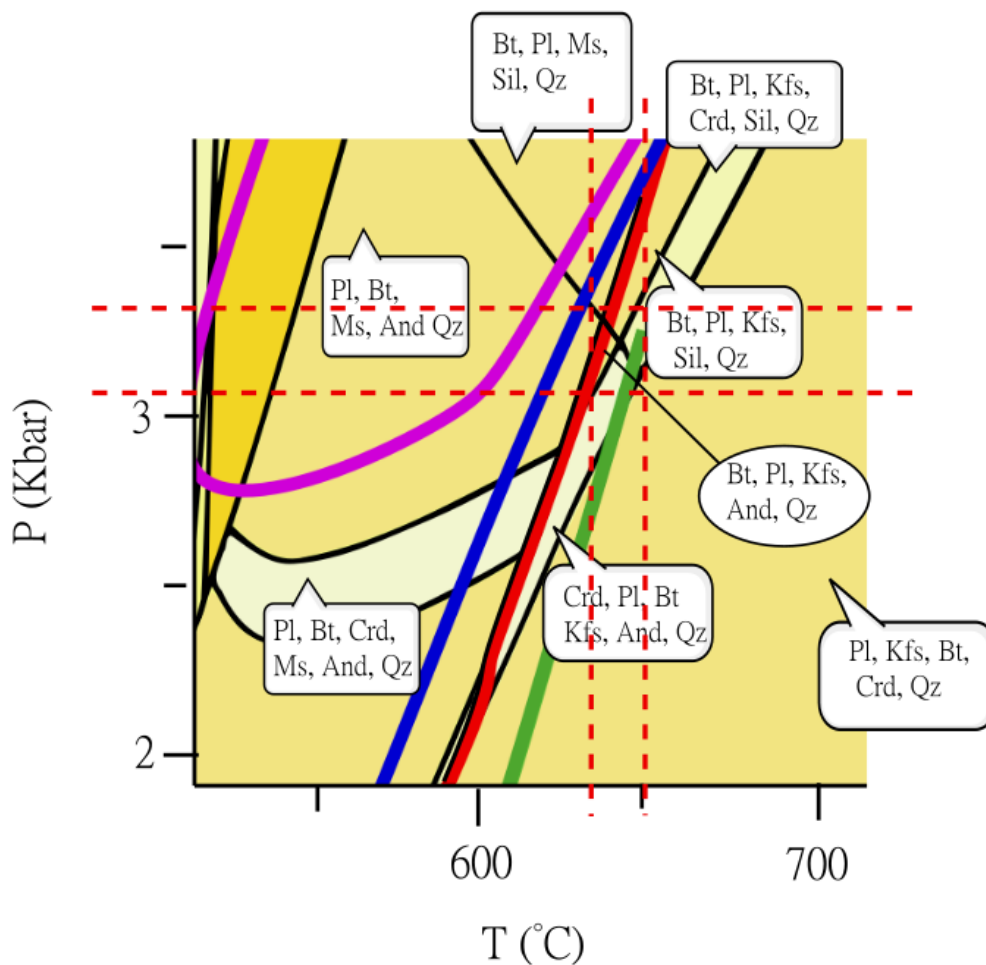
Considerando la composizione chimica di partenza (Tabella 6.12), il modello non prevede alcuna area dove possano coesistere tutte le fasi presenti nel campione LOZ1 al picco metamorfico: quarzo, plagioclasio, K-feldspato, mica bianca, biotite, cordierite, sillimanite e grafite; Risulta dunque difficile vincolare dei valori di pressione e temperatura. Le linee azzurro, verde e viola in figura 6.12 rappresentano rispettivamente le isoplete della percentuale media di anortite nel plagioclasio, del valore medio  $X_{Mg}$  della cordierite, e del valore medio  $X_{Mg}$  della biotite analizzate nel campione LOZ1. Queste linee indicano a quali pressioni e temperature è possibile trovare le fasi citate con la composizione ottenuta dalle analisi in microsonda. Particolare attenzione va fatta sul valore medio del contenuto anortitico nel plagioclasio, perché esiste un'ampia variabilità dei dati; si passa da 41% ad 52% in anortite.

La linea rossa rappresenta invece il breakdown di muscovite e quarzo, reazione che porta alla formazione di un alluminosilicato (il feldspato potassico è già presente a temperature inferiori in questa roccia). Questa linea è posizionata qualche decada di gradi prima della sua posizione più classica a causa della presenza della grafite che implica un fluido non puro  $H_2O$ .



**Figura 6.10:** Modellizzazione degli equilibri di fase a partire dalla composizione di roccia totale del campione LOZ1. In ogni area è possibile leggere la composizione mineralogica stabile per le corrispondenti pressioni e temperature. Le linee colorate sono curve di equal valore (isoplete) dei principali parametri chimici delle fasi soluzione solida. In rosso la localizzazione della reazione "second sillimanite".





**Figura 6.11:** Ingrandimento della figura 6.9 nell'area di interesse. Le linee rosse tratteggiate rappresentano una interpretazione del possibile campo P-T di stabilità del dell'associazione mineralogica riscontrata in LOZ1 (Qz-Pl-Kfs-Bt-Crd-Ms-Sil)

Questo fattore anticipa la reazione a temperature minori. Inoltre, nel sistema è presente del sodio; questo elemento implica la formazione di una reazione continua di decomposizione di Ms+Qz anziché una reazione discontinua (la reazione diventa divariante). Questo non è previsto però dal modello ottenuto, probabilmente a causa di una peculiare composizione chimica della roccia.

%Ox	LOZ1
SiO <sub>2</sub>	59.61
TiO <sub>2</sub>	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot	6.91
MnO	0.16
MgO	4.54
CaO	2.13
Na <sub>2</sub> O	1.45
K <sub>2</sub> O	4.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
TOC	0.2
Tot	99.79
L.O.I.	1.55
FeO	6.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11

**Tabella 6.12:** *Composizione del campione LOZ1 utilizzata per il calcolo della pseudosezione.*

L'associazione mineralogica del campione LOZ1 prevede cordierite, biotite, plagioclasio, K-feldspato, mica bianca, sillimanite e grafite al picco metamorfico. Come si vede dalla figura 6.10 dalla modellizzazione non compare alcuna area comprendente tutte le fasi presenti. Secondo il modello, avendo della sillimanite dovremo posizionare la nostra composizione a pressioni superiori ai 3 Kbar. Fra 630 e 650 °C vediamo la comparsa delle altre fasi coesistenti con la sillimanite, ma mai tutte insieme. Spostandoci a pressioni minori di 3 kbar la sillimanite non risulta essere presente mentre la cordierite (abbondante in tutte le rocce dell'aureola) è stabile a pressioni inferiori a circa 2.5 kbar. A pressioni attorno ai 2.5 kbar secondo la modellizzazione, dovrebbe essere presente andalusite, fase non rinvenuta in alcuno dei campioni analizzati.

Come mostrato dalle linee rosse tratteggiate in figura 6.11, per ottenere tutte le fasi necessarie, potremo vincolare le condizioni di stabilità della nostra composizione mineralogica a pressioni fra i 3.1 e 3.4 kbar e temperature fra i 630 e 650 °C, ricordando

che il modello non prevede però in nessun campo la coesistenza stabile di tutte le fasi citate.

Non è infrequente che la modellizzazione termodinamica non riesca a riprodurre adeguatamente le associazioni metamorfiche di equilibrio in una determinata roccia. Le cause di tale discrepanza possono essere molteplici: la roccia non ha raggiunto l'equilibrio; sono presenti fasi metastabili; la composizione utilizzata non è esattamente quella relativa alla sezione sottile analizzata; il database termodinamico contiene dati problematici.

Nel caso di LOZ1 è difficile ipotizzare problemi in relazione all'equilibrio raggiunto dalla roccia e dalla sua associazione mineralogica. È invece più probabile che le incongruenze riscontrate siano legate alla scarsa qualità dei parametri termodinamici di una fase importante in questo calcolo, la cordierite. Questo minerale tipico di basse pressioni ha una composizione ancora poco nota in relazione al suo contenuto variabile di fluido nella struttura. Questa incertezza si riflette nelle proprietà termodinamiche ancora non adeguatamente quantificate, che possono determinare importanti incongruenze nel calcolo delle pseudosezioni.

Un approccio complementare alla modellizzazione termodinamica sopra esposta consiste nell'analizzare un sottosistema chimico pertinente alla roccia in esame, ed in una interpretazione del diagramma di fase secondo l'idea delle "batograde" (Carmichael, 1978) come utilizzate nel metamorfismo di contatto da Pattison e Tracy (1991).

In figura 6.13 viene mostrato un diagramma di fase P-T che considera gli equilibri tra mica bianca, feldspato alcalino, quarzo,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  e fase fluida nel sistema NKASH. È stata anche considerata la presenza di grafite modellizzando un fluido C-O-H con  $X_{\text{O}} = 1/3$  e

un sistema contenente sodio. Le linee rosse continue evidenziano la reazione di  $Ms+Qz = Sil+Kfs+H_2O$ , che, grazie alla presenza del sodio diventa divariante, creando così una reazione continua di coesistenza delle 5 fasi. Nel campione LOZ1 sono presenti tutte le quattro fasi solide della reazione, e sia K-feldspato che mica bianca hanno una modesta quantità di albite e paragonite rispettivamente, in accordo con la predizione teorica.

Considerando che: 1) a distanza maggiore dal contatto le rocce non contengono alcun allumosilicato ma costantemente K-feldspato; 2) il campione LOZ1 ha ancora modeste quantità di mica bianca che mostra microstrutture di decomposizione; 3) durante il metamorfismo di contatto la roccia ha effettuato un percorso di riscaldamento isobaro nel diagramma P-T, si possono trarre alcune conclusioni: a) l'associazione mineralogica di LOZ1 si è equilibrata all'interno della sottile fascia che descrive la reazione continua, nella quale è prevista la presenza di sillimanite; b) la roccia che a temperature inferiori non ha mai contenuto andalusite, ha formato la poca sillimanite che contiene all'ingresso del campo divariante che definisce la reazione continua, senza uscirne a temperature superiori, dato che la mica bianca è ancora presente.

Perché questi vincoli possano essere rispettati in un processo di riscaldamento isobaro la pressione deve essere stata superiore a quella del punto invariante evidenziato in figura 6.13. Con le linee tratteggiate rosse si evidenziano quindi la pressione e temperatura minima di stabilità della composizione mineralogica considerata, secondo questo diagramma di fase. La pressione risulta essere di almeno 3.4 kbar e la temperatura di almeno 620°C. Questi vincoli sono più rigorosi di quelli non molto dissimili ottenuti dalla pseudosezione calcolata con la roccia totale. Le temperature >620 °C sono anche in accordo con la termometria RSCM nei campioni vicino al contatto intrusivo.

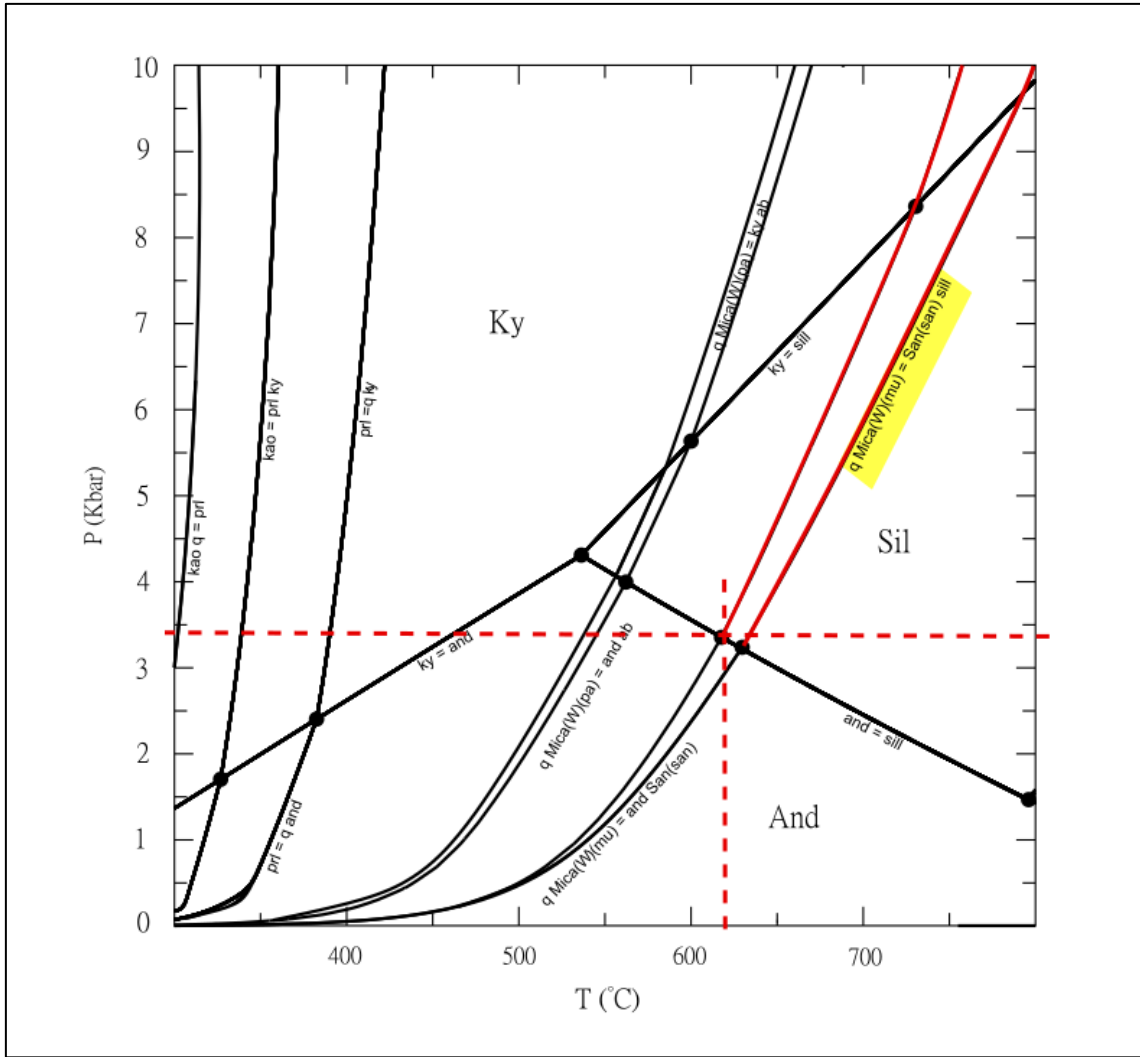


Figura 6.13: Diagramma di fase per la reazione di decomposizione di Ms+Qz in un sistema contenente sodio



## 7. Discussione e conclusioni

In questo lavoro di tesi si è studiata l'aureola di contatto del Plutone Re di Castello sulle metapeliti dell'Argillite di Lozio. L'impronta metamorfica su tale formazione in questo contesto non è stata precedentemente studiata ed è possibile fornire nuove indicazioni riguardanti le condizioni di temperatura e pressione registrate dalle rocce adiacenti al plutone al momento dell'intrusione.

Per ottenere questi risultati le rocce campionate sono state analizzate con molteplici tecniche; una volta raccolti i dati necessari, sono stati applicati dei geotermometri e modellizzazioni termodinamiche con l'obiettivo di individuare i valori di pressione e temperatura del picco metamorfico legato al contatto.

L'analisi di roccia totale di alcuni campioni rappresentativi ha potuto identificarli come delle metapeliti grafitiche povere in alluminio, caratterizzate da una mineralogia del protolite data da muscovite, clorite, quarzo, albite, calcite, dolomite e pirite (analisi XRPD).

L'analisi alla microsonda elettronica ha consentito la caratterizzazione microchimica delle fasi presenti. La composizione delle fasi soluzione solida (biotite, cordierite, feldspati e mica bianca) è stata successivamente utilizzata per vincolare le condizioni metamorfiche al contatto.

La diffrattometria XRPD dei campioni metamorfosati ha confermato le associazioni mineralogiche osservate al microscopio e caratterizzate alla microsonda elettronica, e messo in evidenza la presenza sistematica di K-feldspato in tutti i campioni analizzati, sia vicino che lontano al contatto intrusivo.

Con la termometria RSCM basata sulla cristallinità della grafite e sul processo irreversibile di grafitizzazione, è stata ottenuta una temperatura minima attorno i 620°C nei campioni più prossimi al contatto. Si parla di temperatura minima perché il geotermometro in questione non è in grado di calcolare temperature superiori i 641°C. Molte delle analisi Raman effettuate sui cristalli di grafite mostrano valori > 641 °C; per questo motivo risulta non corretto fornire il valore medio di temperatura risultante dalle analisi effettuate sui campioni vicini al contatto intrusivo. Si nota invece che i campioni più distanti dal contatto mostrano una distribuzione dei valori maggiormente a campana (Figura 6.6), e forniscono una temperatura media (in questo caso più significativa) attorno i 550°C. Si ricorda l'errore del termometro di  $\pm 50^\circ\text{C}$ . Si nota in ogni caso, soprattutto dalla distribuzione dei valori negli istogrammi in figura 6.6, una chiara variazione di temperatura con la distanza dal plutone.

Grazie alla termometria Ti-in-Bt sono stati ricavati altri valori di temperatura, leggermente più alti dei precedenti, raggiungendo temperature superiori a 650°C. L'incertezza del termometro è fra i 12 e i 24°C. Queste analisi, a differenza delle precedenti, non mostrano una differenza sistematica tra i campioni posizionati vicino al contatto intrusivo e quelli più distanti. Si ricorda che il termometro è stato calibrato per rocce contenenti con una fase saturante in titanio (e. g. ilmenite), non presente nelle cornubianiti in esame, e la presenza di un alluminosilicato, che è stato osservato però solo nel campione LOZ1.

Infine, con la modellizzazione degli equilibri di fase del campione LOZ1 effettuata attraverso il software *Perple\_X*, si è cercato di vincolare un campo di pressione e temperatura di stabilità dell'associazione mineralogica presente nelle rocce campionate al contatto con l'intrusione. Con la modellizzazione si sono riscontrati alcuni problemi: il



modello non riesce infatti ad individuare un'area dove possano coesistere tutte le fasi. Data la presenza indiscutibile della sillimanite nel campione LOZ1, cercando di creare un fittizio campo di stabilità comprendente tutte le fasi coesistenti, si ottengono temperature tra i 630 e 650°C e pressioni fra i 3.1 e 3.4 kbar. Le motivazioni per cui il modello non preveda un campo di stabilità comprendente tutte le fasi che si trovano nel campione LOZ1 possono essere svariate: è nostra opinione che il problema sia principalmente correlato con l'abbondante presenza di cordierite nei campioni, il cui comportamento termodinamico non è ancora così del tutto noto.

Si sono poi vincolati i valori di pressione e temperatura tramite un diagramma di fase P-T che considera gli equilibri tra mica bianca, feldspato alcalino, quarzo,  $Al_2SiO_5$  e fase fluida nel sistema NKASH. Da questo diagramma di fase la pressione risulta essere di almeno 3.4 kbar e la temperatura di almeno 620°C.

Confrontando i dati delle diverse analisi, i valori ottenuti risultano essere abbastanza simili tra loro.

Le cornubianiti studiate, derivanti dall'Argillite di Lozio, a contatto diretto con l'intrusione del Plutone Re di Castello in Alta Valle del Caffaro mostrano quindi un'associazione mineralogica che registra una temperatura di almeno 620°C ed una pressione di almeno 3.4 kbar. Il regime di pressione indica una profondità minima di 12.6 km (considerando una densità media delle rocce di 2.7 g/cm<sup>3</sup>).

In precedenza, sono stati effettuati studi su altre litologie incassanti, in differenti zone del complesso plutonico. Brack e Schirolli (2003), che studiando calcari e dolomie a contatto con la granodiorite del Monte Bruffione hanno stimato una temperatura del magma di 850°C e hanno ricavato temperature dell'aureola di poco superiori ai 600°C (Brack et al. 2003). Gli stessi autori definiscono l'intrusione dei magmi (in modo generico, dell'intero

gruppo dell'Adamello) ad una profondità di 7-10 km.

Magnani et al., hanno studiato gli strati pelitici nella parte superiore del Verrucano Lombardo, nella zona fra la Val di Fumo e la val Adamè (plutone dell'Adamello). Questi mostrano metamorfismo di contatto e segni di fusione parziale. Le condizioni di picco P-T registrate da queste rocce forniscono temperature fra i 690 e 700 °C e pressioni di 3 kbar.

Studi recenti, basati sulla formazione del periclasio su affioramenti dolomitici adiacenti ad intrusioni mafiche su Cima Uzza (Müller et al., 2009), riportano temperature del picco metamorfico di 650°C, mentre studi precedenti nella stessa area mostravano temperature maggiori di 600°C (Bucher-Nurminen, 1982).

Le temperature ottenute dallo studio delle Argilliti di Lozio metamorfosate per contatto del Plutone Re di Castello, sono quindi in linea con le temperature ottenute degli studi precedenti. I valori di pressione ottenuti sono leggermente maggiori.

I dati ricavati dalle analisi in questa tesi possono essere utilizzati come nuovi vincoli termobarometrici: la pressione, e quindi profondità, leggermente maggiore potrebbe essere un'indicazione locale, circoscritta al Plutone Re di Castello, oppure un'informazione da estendere agli altri corpi intrusivi, dopo successivi ed adeguati studi.





## **Ringraziamenti**

Ringrazio in primo luogo i professori Bernardo Cesare e Omar Bartoli per la disponibilità e l'interesse verso questo lavoro di tesi.

Ringrazio inoltre Leonardo Tauro, Lisa Santello e Daria Pasqual, Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova, per l'aiuto durante la preparazione e analisi dei campioni; Andrea Orlando e Braschi Eleonora, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, per le analisi in microsonda elettronica.

Un ringraziamento finale e caloroso ai miei genitori che mi hanno sempre sostenuta durante il percorso universitario e mi sostengono tutti i giorni nella quotidianità.



## **Bibliografia**

Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D. & Wallis, S. (2010) Extending the applicability of the Raman carbonaceous material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 28, 895–914.

Armigliato, A., & Valdrè, U. (1981). *Microscopia elettronica a scansione e microanalisi*. Università degli Studi Bologna: Facoltà di Scienze: Istituto di fisica: Laboratorio di microscopia elettronica,

Bargossi, G.M., Berra, F., Borsato, A., Brack, P., Corbari, D., Gasparotto, G., Marcato, E., Marocchi, M., Siletto, G.B., Trombetta, G. L., Berra, F. et al. (2016): Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 079, Bagolino. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000.

Beyssac, O., Goffé, B., Chopin, C. & Rouzaud, J. N. (2002) Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer. *Journal of Metamorphic Geology*, 20, 859–871.

Beyssac, O., Goffé, B., Petitet, J. P., Froigneux, E., Moreau, M., & Rouzaud, J. N. (2003). On the characterization of disordered and heterogeneous carbonaceous materials by Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 59(10), 2267-2276.

Beysac, O., Bollinger, L., Avouac, J.-P. & Goffe', B. (2004) Thermal metamorphism in the lesser Himalaya of Nepal determined from Raman spectroscopy of carbonaceous material. *Earth and Planetary Science Letters*, 225, 233–241.

Beysac, O., & Lazzeri, M. (2012) Application of Raman spectroscopy to the study of graphitic carbons in the Earth Sciences. *European Mineralogical Union Notes in Mineralogy*, 12(12), 415-454.

Bianchi, A., Dal Piaz, Gb. (1937b) Il settore meridionale del Massiccio dell'Adamello. Relazione sul rilevamento e studi preliminari della zona compresa fra la Val di Stabio e l'alta Valle del Caffaro. *Boll. Uff. Geol. It.*, Vol. 62, pp. 1-87.

Bonissoni, G. (1977). *Introduzione alla spettrometria dei Raggi X di fluorescenza*. ETAS libri.

Brack, P. (1984). *Geologie der Intrusiva und Rahmengesteine des Südwest-Adamello (Nord-Italien)* (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

Brack, P. (1985) Multiple intrusions; examples from the Adamello Batholith (Italy) and their significance on the mechanisms of intrusion. *Mem. Soc. Geol. It.* 26: 145-157, Roma.

Brack P., Schirolli P. (2003) *Una finestra sulla camera magmatica*. Monografie di "Natura Bresciana" Vol. 27

Brack, P., Dal Piaz, G. V., Baroni, C., Carton, A., Nardin, M., Pellegrini, G. B., & Pennacchioni, G. (2008). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 058, Monte Adamello. *Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*.



Bucher-Nurminen, K. (1982). On the mechanism of contact aureole formation in dolomitic country-rock by the Adamello intrusion (northern Italy). *American Mineralogist* 67, 1101-1117.

Callegari, E., Dal Piaz, Gb., Gatto, G.O. (1998) Carta Geologica del Gruppo Adamello-Presanella - Consigli Nazionale delle Ricerche

Carmichael, D. M. (1978). Metamorphic bathozones and bathograds; a measure of the depth of post-metamorphic uplift and erosion on the regional scale. *American Journal of Science*, 278(6), 769-797.

Carminati E., Siletto G.B. & Battaglia D. (1997) Thrust kinematics and internal deformation in basement involved fold and thrust belts: the eastern Orobic Alps case (Central Southern Alps, Northern Italy). *Tectonics*, 16, 259-271.

Cassinis, G.; Perotti, C.R. (1993) Interazione strutturale permiana tra la Linea delle Giudicarie e i bacini di Collio, Tione e Tregiovo. *Boll. Soc. Geol.*, 112, 1021–1036.

Castellarin A., Sartori R. (1982) Geologia della Linea delle Giudicarie Sud (tra Pieve di Bono e Tione). In: A. Castellarin & G.B. Vai «Guida alla geologia del Sudalpino centroorientale», pp. 103-114 - Bologna.

Coggon, R. & Holland, T.J.B., 2002. Mixing properties of phengitic micas and revised garnet–phengite thermobarometers. *Journal of Metamorphic Geology*, 20, 683–696.

Connolly, J.A.D., 2009. The geodynamic equation of state: what and how. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q10014

De Francesco, A. M., Crisci, G. M., & Bocci, M. (2008). Non-destructive analytic method using XRF for determination of provenance of archaeological obsidians from the

Mediterranean area: A comparison with traditional XRF methods. *Archaeometry*, 50(2), 337-350.

Del Moro A., Ferrara G., Tonarini S., Callegari E. (1983) Rb-Sr systematics on rocks the Adamello Batholith (Southern Alps). *Mem. Soc. Geol. It.*, Vol. 26, pp. 261-284 - Roma.

Engel, A.E.J. and Engel, C.G. (1960) Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northwest Adirondack Mountains, New York, Part 2. *Mineralogy. Bulletin of the Geological Society of America*, 71, 1-58.

Gaetani, M. (1983) Il Triassico dell'Adamello meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, Vol. 26, pp. 105-118 - Roma.

Gosso, G., Spalla, M. I., Siletto, G. B., Berra, F., Bini, A., & Forcella, F. (2012). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 057, Malonno. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000.

Guidotti, C.V., Cheney, J.T., and Guggenheim, S. (1977) Distribution of titanium between coexisting muscovite and biotite in pelitic schists from northwestern Maine. *American Mineralogist*, 62, 438-448.

Guidotti, C.V., Cheney, J.T., and Henry, D.J. (1988) Compositional variation of biotite as a function of metamorphic reactions and mineral assemblage in the pelitic schists of western Maine: *American Journal of Science - Wones Memorial Volume*, 288A, 270-292.

Henry, D. J., Guidotti, C. V., & Thomson, J. A. (2005). The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. *American Mineralogist*, 90(2-3), 316-328.

Holland, T.J.B. & Powell, R., 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 309–343.

Holland, T.J.B. & Powell, R., 2001. Calculation of phase relations involving haplogranitic melts using an internally consistent thermodynamic data set. *Journal of Petrology*, 42, 673–683

Jansen, W., & Slaughter, M. (1982). Elemental mapping of minerals by electron microprobe. *American Mineralogist*, 67(5-6), 521-533.

Kwak, T.A.P. (1968) Ti in biotite and muscovite as an indication of metamorphic grade in almandine amphibolite facies rocks from Sudbury, Ontario. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 32, 1222–1229.

Laubscher H.P. (1985). The late Alpine (Periadriatic) intrusions and the Insubric Line. *Mem. Soc.Geol. It.*, 26, 21-30.

Lespade, P., Marchand, A., Couzi, M. & Cruege, F., 1984. Caractérisation de matériaux carbonés par microspectroscopie Raman. *Carbon*, 22, 375–385.

Loudon, R. (1964). The Raman effect in crystals. *Advances in Physics*, 13(52), 423-482.

Maurice, F., Meny, L., & Tixier, R. (Eds.) (1979). *Microanalyse et microscopie électronique à balayage*. Editions de Physique

Magnani, L., Farina, F., Pezzotta, F., Dini, A., Mayne, M. J., & Bartoli, O. Role of Aqueous Fluids During Low Pressure Partial Melting of Pelites in the Adamello Pluton Contact Aureole (Italy) - <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4071761>

- Miraglia, L. (2012). Caratteristiche del sistema analitico SEM-EDS: valutazione dell'accuratezza e della precisione delle analisi eseguite su standards internazionali di minerali e vetri. *Rapp. Tec. INGV*, 233, pp. 5-17.
- Müller, T., Baumgartner, L. P., Foster Jr, C. T., & Bowman, J. R. (2009). Crystal size distribution of periclase in contact metamorphic dolomite marbles from the southern Adamello Massif, Italy. *Journal of Petrology*, 50(3), 451-465.
- Nemanich, R. J. & Solin, S. A., 1979. First- and second-order Raman scattering from finite-size crystals of graphite. *Physical Review B*, 20, 392–401.
- Newton, R.C., Charlu, T.V. & Kleppa, O.J., 1980. Thermochemistry of high structural state plagioclases. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 933–941.
- Pattison, D. R., & Tracy, R. J. (1991). Phase equilibria and thermobarometry of metapelites. In *Contact metamorphism*, Mineralogical Society of America, 26, 105-206.
- Prosser, G. (1998) Strike-slip movements and thrusting along a transpressive fault zone: The North Giudicane line (Insubric Line, Northern Italy). *Tectonics*, 17, 921–937
- Relvini, A., Martin, S., Carvalho, B. B., Prosser, G., Toffolo, L., Macera, P., & Bartoli, O. (2021). Genesis of the Eastern Adamello Plutons (Northern Italy): Inferences for the Alpine Geodynamics. *Geosciences*, 12(1), 13.
- Scopigno, T., & Pucci, F. (2018) Effetti della temperatura sul grafene e sul suo spettro Raman – Tesi di Laurea Triennale – Università degli Studi di Roma “La Sapienza”
- Signorini R. (2012). Studio geochimico-petrografico delle tonaliti dell'Adamello e loro relazioni con le altre unità intrusive del batolite – Tesi di Laurea Magistrale – Università degli Studi di Pisa

Tacchetto, T. (2017). Studio di inclusioni policristalline in granati di granuliti dell'Athabasca Granulite Terrane (Canada) – Tesi di Laurea Magistrale – Università degli Studi di Padova

Tajcmanova, L., Conolly, J.A.D. & Cesare, B., 2009. A thermodynamic model for titanium and ferric iron solution in biotite. *Journal of Metamorphic Geology*, 27, 153–165.

Thompson, J.B. & Hovis, G.L., 1979. Entropy of mixing in sanidine. *American Mineralogist*, 64, 57–65.

Tuinstra, F. & Koenig, J. L., 1970. Raman spectrum of graphite. *Journal of Chemical Physics*, 53, 1126–1130

Ulmer, P., Callegari, E., & Sonderegger, U. C. (1983). Genesis of the mafic and ultramafic rocks and their genetical relations to the tonalitic-trondhjemitic granitoids of the southern part of the Adamello batholith (Northern Italy). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 26(1), 171-222.

Wittry, D. B. (1958). Resolution of electron probe microanalyzers. *Journal of Applied Physics*, 29(11), 1543-1548.

Wopenka, B. & Pasteris, J. D., 1993. Structural characterization of kerogens to granulite-facies graphite: Applicability of Raman microprobe spectroscopy. *American Mineralogist*, 78, 533–557.



## Appendice

### Appendice A: dati acquisiti alla microsonda elettronica e relativi calcoli

Analisi sulla cordierite:	Pag
LOZ1	122
LOZ5	124
LOZ110	125
LOZ117	125
LOZ121	127
GAV2	129
Analisi sul feldspato potassico:	
LOZ1 LOZ110	131
Analisi sul plagioclasio:	
LOZ1	133
LOZ5	135
LOZ110	136
LOZ117	137
LOZ121	139
Analisi sulla biotite:	
LOZ1	140
LOZ5	142
LOZ110	144
LOZ117	145

LOZ121	147
--------	-----

GAV2	149
------	-----

Analisi sulla muscovite:

LOZ1	151
------	-----

LOZ5	152
------	-----

LOZ110	153
--------	-----

LOZ117	154
--------	-----

LOZ121	156
--------	-----

GAV2	157
------	-----

Appendice B: dati analisi Raman e relativi calcoli

LOZ1	158
------	-----

LOZ5	159
------	-----

LOZ117	160
--------	-----

GAV5	161
------	-----











Anioni	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Cationi	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Analisi	LOZ110_1_CRD1	LOZ110_1_CRD2	LOZ110_1_CRD3	LOZ110_1_CRD4	LOZ117_1_CRD1	LOZ117_1_CRD2	LOZ117_2_CRD1	LOZ117_2_CRD2	LOZ117_2_CRD3	LOZ117_2_CRD4	LOZ117_2_CRD5	LOZ117_2_CRD6	LOZ117_2_CRD7
Na <sub>2</sub> O	0.39	0.39	0.35	0.41	0.19	0.17	0.22	0.20	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20
MgO	8.80	8.78	8.74	8.73	8.40	8.30	8.38	8.34	8.38	8.34	8.34	8.34	8.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.02	33.13	33.18	32.85	32.94	33.02	33.30	33.23	33.30	33.23	33.23	33.23	33.23
SiO <sub>2</sub>	47.98	48.12	48.18	48.07	48.14	48.22	48.05	47.98	48.05	47.98	47.98	47.98	47.98
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO	0.07	0.05	0.05	0.06	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.91	0.97	0.94	0.98	0.79	0.78	0.77	0.83	0.77	0.83	0.77	0.83	0.83
FeO	6.41	6.56	6.42	6.48	7.70	7.78	8.07	7.74	8.07	7.74	8.07	7.74	7.74
Totale	97.62	98.03	97.86	97.61	98.20	98.33	98.85	98.40	98.85	98.40	98.85	98.40	98.40
O = F.C.I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totale	97.62	98.03	97.86	97.61	98.20	98.33	98.85	98.40	98.85	98.40	98.85	98.40	98.40
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALE	97.62	98.03	97.86	97.61	98.20	98.33	98.85	98.40	98.85	98.40	98.85	98.40	98.40
Si	4.96	4.96	4.97	4.97	4.97	4.97	4.94	4.95	4.94	4.95	4.94	4.95	4.95
Na	0.08	0.08	0.07	0.08	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.36	1.35	1.34	1.35	1.29	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Al	4.02	4.02	4.03	4.01	4.01	4.01	4.03	4.04	4.03	4.04	4.03	4.04	4.04
Min <sup>2+</sup>	0.08	0.08	0.08	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	0.55	0.57	0.55	0.56	0.67	0.67	0.69	0.67	0.69	0.67	0.69	0.67	0.67
Totale	11.06	11.07	11.05	11.06	11.04	11.04	11.07	11.05	11.07	11.05	11.07	11.05	11.05
Elettroni	155.50	155.74	155.39	155.67	156.67	156.70	157.30	156.88	157.30	156.88	157.30	156.88	156.88
Cariche	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
O	46.35	46.51	46.49	46.32	46.43	46.49	46.64	46.49	46.64	46.49	46.64	46.49	46.49
X <sub>neg</sub>	0.71	0.70	0.71	0.71	0.66	0.66	0.65	0.66	0.65	0.66	0.65	0.66	0.66

Antoni	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Cationi	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Analisi	LOZ117_2_CRD3	LOZ117_3_CRD1	LOZ117_3_CRD2	LOZ117_3_CRD3	LOZ117_3_CRD4	LOZ117_5_CRD1	LOZ117_5_CRD2	LOZ117_5_CRD3	LOZ117_5_CRD4	LOZ117_5_CRD5	LOZ117_5_CRD6	LOZ117_5_CRD7	LOZ117_5_CRD8
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.20	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.18	0.19	0.20	0.20	0.17	0.17
MgO	8.27	8.23	8.25	8.33	8.27	8.17	8.27	8.33	8.27	8.17	8.27	8.22	8.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.38	33.23	32.82	33.12	33.28	32.97	33.28	33.12	33.28	32.97	32.97	33.13	33.13
SiO <sub>2</sub>	48.23	48.15	48.00	48.00	48.43	48.07	48.43	48.00	48.43	48.07	48.07	48.13	48.13
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
MnO	0.81	0.77	0.77	0.79	0.74	0.73	0.74	0.79	0.74	0.73	0.73	0.78	0.78
FeO	7.52	8.24	7.91	8.24	7.82	7.99	7.82	8.24	7.82	7.99	7.99	8.02	8.02
Totale	98.43	98.89	98.00	98.72	98.80	98.29	98.80	98.72	98.80	98.29	98.29	98.53	98.53
O = F, C I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totale	98.43	98.89	98.00	98.72	98.80	98.29	98.80	98.72	98.80	98.29	98.29	98.53	98.53
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALE	98.43	98.89	98.00	98.72	98.80	98.29	98.80	98.72	98.80	98.29	98.29	98.53	98.53
Si	4.96	4.95	4.97	4.94	4.97	4.97	4.97	4.94	4.97	4.97	4.97	4.96	4.96
Na	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Mg	1.27	1.26	1.27	1.28	1.27	1.26	1.27	1.28	1.27	1.26	1.26	1.26	1.26
Al	4.05	4.03	4.00	4.02	4.02	4.01	4.02	4.02	4.02	4.01	4.01	4.02	4.02
Mn <sup>2+</sup>	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	0.65	0.71	0.69	0.71	0.67	0.69	0.67	0.71	0.67	0.69	0.69	0.69	0.69
Totale	11.03	11.06	11.04	11.06	11.04	11.05	11.04	11.06	11.04	11.05	11.05	11.04	11.04
Elettroni	156.33	157.40	156.95	157.50	156.64	157.11	156.64	157.50	156.64	157.11	157.11	157.04	157.04
Cariche	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
O	46.60	46.63	46.29	46.54	46.72	46.40	46.72	46.54	46.72	46.40	46.40	46.52	46.52
X <sub>Mg</sub>	0.66	0.64	0.65	0.64	0.65	0.65	0.65	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65

Anioni	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Cationi	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Analisi	LOZ121_1_CRD1	LOZ121_1_CRD2	LOZ121_1_CRD3	LOZ121_1_CRD4	LOZ121_1_CRD5	LOZ121_2_CRD1	LOZ121_2_CRD2	LOZ121_2_CRD1	LOZ121_2_CRD2	LOZ121_3_CRD1	LOZ121_3_CRD2	LOZ121_3_CRD1	LOZ121_3_CRD2
Na <sub>2</sub> O	0.38	0.22	0.20	0.18	0.17	0.19	0.20	0.19	0.20	0.18	0.20	0.18	0.18
MgO	8.07	7.98	8.16	8.37	8.11	8.19	8.16	8.19	8.16	8.16	8.16	8.16	8.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.40	32.55	32.54	32.80	32.65	32.82	32.96	32.82	32.96	32.82	32.96	32.82	32.95
SiO <sub>2</sub>	47.26	49.00	47.65	47.99	47.88	47.73	47.99	47.73	47.99	47.73	47.99	47.73	47.90
K <sub>2</sub> O	0.06	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
CaO	0.03	0.02	0.06	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.06	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
MnO	0.63	0.61	0.62	0.64	0.60	0.66	0.60	0.66	0.60	0.66	0.60	0.66	0.63
FeO	8.16	7.75	7.89	7.83	8.09	8.07	8.16	8.07	8.16	8.07	8.16	8.07	7.90
Totale	97.02	98.20	97.18	97.90	97.58	97.73	98.14	97.73	98.14	97.73	98.14	97.73	98.04
O = F,C,I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totale	97.02	98.20	97.18	97.90	97.58	97.73	98.14	97.73	98.14	97.73	98.14	97.73	98.04
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALE	97.02	98.20	97.18	97.90	97.58	97.73	98.14	97.73	98.14	97.73	98.14	97.73	98.04
Si	4.96	5.05	4.97	4.97	4.98	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96	4.96
Na	0.08	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
K	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	1.26	1.22	1.27	1.29	1.26	1.27	1.26	1.27	1.26	1.27	1.26	1.27	1.29
Al	4.00	3.95	4.00	4.00	4.00	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
Mn <sup>2+</sup>	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06
Ca	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	0.72	0.67	0.69	0.68	0.70	0.70	0.71	0.70	0.71	0.70	0.71	0.70	0.68
Totale	11.08	11.00	11.04	11.04	11.04	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05
Elettroni	157.67	156.06	156.89	156.71	156.95	157.11	157.07	157.11	157.07	157.11	157.07	157.11	156.88
Cariche	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
O	45.71	46.54	45.92	46.29	46.09	46.13	46.34	46.13	46.34	46.13	46.34	46.13	46.33
X <sub>Mg</sub>	0.64	0.65	0.65	0.66	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65

Anioni	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Cationi	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Analisi	LOZ121_3_CRD2	LOZ121_3_CRD3	LOZ121_3_CRD4	LOZ121_4_CRD1	LOZ121_4_CRD2	LOZ121_4_CRD3	LOZ121_4_CRD4			
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.20	0.17	0.22	0.21	0.18	0.23			
MgO	8.26	8.29	8.00	8.29	8.22	8.16	8.17			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.96	32.83	33.16	32.84	33.01	32.69	33.06			
SiO <sub>2</sub>	47.68	47.91	48.16	47.68	47.87	48.04	47.78			
K <sub>2</sub> O	0.01	0.03	0.00	0.01	0.05	0.00	0.01			
CaO	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02			
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.06	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00			
MnO	0.63	0.62	0.60	0.58	0.59	0.60	0.63			
FeO	8.39	8.05	8.25	7.82	8.08	7.92	8.06			
Totale	98.15	98.02	98.40	97.52	98.08	97.63	97.99			
O = F,Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Totale	98.15	98.02	98.40	97.52	98.08	97.63	97.99			
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
TOTALE	98.15	98.02	98.40	97.52	98.08	97.63	97.99			
Si	4.94	4.96	4.97	4.96	4.95	4.99	4.95			
Na	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05			
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00			
Mg	1.28	1.28	1.23	1.28	1.27	1.26	1.26			
Al	4.03	4.01	4.03	4.02	4.03	4.00	4.04			
Mn <sup>2+</sup>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05			
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Fe <sup>2+</sup>	0.73	0.70	0.71	0.68	0.70	0.69	0.70			
Totale	11.06	11.05	11.03	11.05	11.05	11.03	11.05			
Elettroni	157.56	157.08	157.00	156.74	157.11	156.65	157.07			
Cariche	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00			
O	46.26	46.28	46.47	46.10	46.31	46.17	46.27			
X <sub>Mg</sub>	0.64	0.65	0.63	0.65	0.64	0.65	0.64			





Antioni	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Cationi	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Analisi													
	GAV2_1_CRD2	GAV2_1_CRD3	GAV2_1_CRD4	GAV2_2_CRD1	GAV2_2_CRD2	GAV2_2_CRD3	GAV2_2_CRD4						
Na <sub>2</sub> O	0.26	0.28	0.31	0.28	0.28	0.26	0.25						
MgO	8.20	8.05	7.96	7.84	8.07	8.01	8.08						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.10	32.87	32.86	33.23	33.35	32.90	33.24						
SiO <sub>2</sub>	47.96	47.54	47.63	47.66	47.38	47.88	47.88						
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01						
CaO	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.04	0.10						
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03						
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
MnO	1.05	1.04	1.28	1.08	1.05	1.05	1.00						
FeO	7.50	7.97	7.64	7.89	7.81	7.77	7.89						
Totale	98.18	97.87	97.79	98.10	98.08	97.97	98.46						
O = F,C,I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
Totale	98.18	97.87	97.79	98.10	98.08	97.97	98.46						
H <sub>2</sub> O <sub>calc</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
TOTALE	98.18	97.87	97.79	98.10	98.08	97.97	98.46						
Si	4.96	4.94	4.95	4.94	4.91	4.96	4.94						
Na	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05						
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
Mg	1.26	1.25	1.23	1.21	1.25	1.24	1.24						
Al	4.03	4.03	4.03	4.06	4.08	4.02	4.04						
Mn <sup>2+</sup>	0.09	0.09	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09						
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01						
Fe <sup>2+</sup>	0.65	0.69	0.66	0.68	0.68	0.67	0.68						
Totale	11.05	11.07	11.06	11.06	11.08	11.05	11.06						
Elettroni	156.89	157.70	157.49	157.46	157.56	157.20	157.38						
Cariche	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00						
O	46.38	46.11	46.10	46.25	46.23	46.23	46.44						
X <sub>veg</sub>	0.66	0.64	0.65	0.64	0.65	0.65	0.65						

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ1_3_KFS1	LOZ1_3_KFS2	LOZ1_3_KFS3	LOZ1_3_KFS4	LOZ1_3_KFS1new	LOZ1_3_KFS1new
Na <sub>2</sub> O	1.36	1.25	1.19	1.36	1.31	1.31
MgO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.38	19.29	19.11	19.15	18.98	18.98
SiO <sub>2</sub>	63.97	64.50	63.78	64.17	63.89	63.89
K <sub>2</sub> O	15.53	15.77	15.72	15.69	15.53	15.53
CaO	0.05	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
Mno	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
FeO	0.13	0.14	0.12	0.09	0.13	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.15	0.16	0.13	0.10	0.15	0.15
SrO	0.00	0.11	0.04	0.10	0.07	0.07
BaO	0.60	0.50	0.55	0.56	0.60	0.60
Totale	<b>101.10</b>	<b>101.64</b>	<b>100.60</b>	<b>101.22</b>	<b>100.64</b>	<b>100.64</b>
Si	2.94	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.12	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12
K	0.91	0.92	0.93	0.92	0.92	0.92
Ba	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	5.05	5.04	5.04	5.05	5.04	5.04
Sito Z	4.00	4.00	4.00	3.99	3.99	3.99
Sito A	1.05	1.04	1.05	1.06	1.05	1.05
Ab % (Na)	<b>11.75</b>	<b>10.73</b>	<b>10.26</b>	<b>11.63</b>	<b>11.29</b>	<b>11.29</b>
An % (Ca)	<b>0.25</b>	<b>0.14</b>	<b>0.22</b>	<b>0.17</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>
Or % (K)	<b>88.00</b>	<b>89.12</b>	<b>89.52</b>	<b>88.20</b>	<b>88.46</b>	<b>88.46</b>
e <sup>-</sup>	74.32	74.34	74.41	74.44	74.38	74.38
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
O stoch.	46.33	46.57	46.07	46.34	46.09	46.09

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ1_3_KFS2 new	LOZ1_3_KFS3 new	LOZ1_3_KFS4 new	LOZ1_3_KFS1new2	LOZ1_2_KFS1	LOZ110_1_KFS1			
Na <sub>2</sub> O	1.20	1.13	1.30	1.30	1.20	0.58			
MgO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.73			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.88	18.71	18.75	19.24	19.19	37.05			
SiO <sub>2</sub>	64.42	63.69	64.08	64.86	63.72	45.93			
K <sub>2</sub> O	15.78	15.72	15.70	14.69	15.53	10.92			
CaO	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.00			
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.10			
MnO	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02			
FeO	0.14	0.12	0.09	0.17	0.11	0.71			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.16	0.13	0.10	0.19	0.12	0.79			
SrO	0.11	0.04	0.10	0.05	0.13	0.03			
BaO	0.50	0.55	0.56	0.60	0.80	0.25			
<b>Totale</b>	<b>101.11</b>	<b>100.07</b>	<b>100.68</b>	<b>100.99</b>	<b>100.76</b>	<b>96.39</b>			
Si	2.96	2.96	2.96	2.97	2.95	2.20			
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Al	1.02	1.02	1.02	1.04	1.05	2.09			
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03			
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Na	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	0.05			
K	0.93	0.93	0.93	0.86	0.92	0.67			
Ba	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00			
<b>Totale</b>	<b>5.04</b>	<b>5.04</b>	<b>5.05</b>	<b>5.00</b>	<b>5.04</b>	<b>5.10</b>			
Sito Z	3.99	3.99	3.99	4.01	4.00	4.37			
Sito A	1.05	1.05	1.06	0.99	1.04	0.73			
Ab % (Na)	<b>10.32</b>	<b>9.85</b>	<b>11.18</b>	<b>11.80</b>	<b>10.49</b>	<b>7.41</b>			
An % (Ca)	<b>0.14</b>	<b>0.23</b>	<b>0.18</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.03</b>			
Or % (K)	<b>89.54</b>	<b>89.93</b>	<b>88.65</b>	<b>88.07</b>	<b>89.38</b>	<b>92.56</b>			
e <sup>-</sup>	74.36	74.43	74.45	73.44	74.53	72.95			
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00			
O stoch.	46.32	45.82	46.09	46.58	46.08	44.51			

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ1_3_PL1	LOZ1_3_PL2	LOZ1_3_PL1new	LOZ1_3_PL2new	LOZ1_2_PL1	LOZ1_2_PL2	
Na <sub>2</sub> O	5.72	6.33	5.48	6.06	6.54	5.86	
MgO	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.07	28.30	28.44	27.69	27.41	28.13	
SiO <sub>2</sub>	54.78	56.02	54.68	55.92	56.58	55.41	
K <sub>2</sub> O	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.17	
CaO	10.58	9.63	10.58	9.63	8.80	10.15	
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
MnO	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	
FeO	0.10	0.15	0.10	0.15	0.15	0.14	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.11	0.16	0.11	0.16	0.16	0.15	
SrO	0.06	0.09	0.06	0.09	0.11	0.07	
BaO	0.04	0.06	0.04	0.06	0.08	0.04	
<b>Totale</b>	<b>100.57</b>	<b>100.82</b>	<b>99.60</b>	<b>99.84</b>	<b>99.89</b>	<b>100.03</b>	
Si	2.46	2.50	2.48	2.52	2.55	2.50	
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al	1.54	1.49	1.52	1.47	1.45	1.49	
Fe <sup>3+</sup>	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	
Ca	0.51	0.46	0.51	0.47	0.42	0.49	
Na	0.50	0.55	0.48	0.53	0.57	0.51	
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Totale</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	
Sito Z	4.00	4.00	4.00	4.00	4.01	4.00	
Sito A	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	
<b>Ab % (Na)</b>	<b>49.00</b>	<b>53.84</b>	<b>47.91</b>	<b>52.75</b>	<b>56.86</b>	<b>50.59</b>	
<b>An % (Ca)</b>	<b>50.07</b>	<b>45.28</b>	<b>51.15</b>	<b>46.35</b>	<b>42.31</b>	<b>48.45</b>	
<b>Or % (K)</b>	<b>0.92</b>	<b>0.88</b>	<b>0.94</b>	<b>0.91</b>	<b>0.84</b>	<b>0.95</b>	
e <sup>-</sup>	70.49	70.21	70.38	70.08	69.82	70.28	
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	
O stoch.	47.45	47.66	47.04	47.25	47.36	47.27	

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ1_2_PL3	LOZ1_4_PL1	LOZ1_4_PL1	LOZ1_4_PL1	LOZ1_5_PL1	LOZ1_5_PL1	LOZ1_5_PL1	LOZ1_5_PL2	LOZ1_5_PL2	LOZ1_6_PL1
Na <sub>2</sub> O	6.64	6.30	6.08	6.26	6.26	6.26	6.26	5.44	5.44	6.13
MgO	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.72	27.53	27.74	27.91	27.91	27.91	27.91	29.13	29.13	28.37
SiO <sub>2</sub>	56.75	56.21	56.06	56.19	56.19	56.19	56.19	54.03	54.03	55.57
K <sub>2</sub> O	0.19	0.23	0.19	0.22	0.22	0.22	0.22	0.16	0.16	0.15
CaO	8.65	9.43	9.61	9.45	9.45	9.45	9.45	10.93	10.93	9.93
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Mno	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01
FeO	0.12	0.26	0.09	0.33	0.33	0.33	0.33	0.24	0.24	0.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.13	0.29	0.10	0.37	0.37	0.37	0.37	0.27	0.27	0.17
SrO	0.11	0.09	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.07	0.07	0.06
BaO	0.05	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.05
<b>Totale</b>	<b>99.28</b>	<b>100.18</b>	<b>99.98</b>	<b>100.62</b>	<b>100.62</b>	<b>100.62</b>	<b>100.62</b>	<b>100.13</b>	<b>100.13</b>	<b>100.48</b>
Si	2.57	2.53	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.44	2.44	2.49
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.42	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.55	1.55	1.50
Fe <sup>3+</sup>	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.42	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.53	0.53	0.48
Na	0.58	0.55	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.48	0.48	0.53
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totale</b>	<b>5.01</b>	<b>5.02</b>	<b>5.01</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>	<b>5.02</b>
Sito Z	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Sito A	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02
Ab % (Na)	<b>57.52</b>	<b>54.04</b>	<b>52.78</b>	<b>53.83</b>	<b>53.83</b>	<b>53.83</b>	<b>53.83</b>	<b>46.98</b>	<b>46.98</b>	<b>52.32</b>
An % (Ca)	<b>41.39</b>	<b>44.69</b>	<b>46.15</b>	<b>44.93</b>	<b>44.93</b>	<b>44.93</b>	<b>44.93</b>	<b>52.13</b>	<b>52.13</b>	<b>46.84</b>
Or % (K)	<b>1.09</b>	<b>1.27</b>	<b>1.07</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>0.89</b>	<b>0.89</b>	<b>0.84</b>
e	69.76	70.17	70.06	70.19	70.19	70.19	70.19	70.72	70.72	70.28
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
O stoch.	47.09	47.37	47.32	47.57	47.57	47.57	47.57	47.16	47.16	47.48

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ5_1_PL1	LOZ5_1_PL2	LOZ5_2_PL1	LOZ5_2_PL2	LOZ5_3_PL1	LOZ5_3_PL2	LOZ5_3_PL1	LOZ5_3_PL2	LOZ5_3_PL1	LOZ5_3_PL2	LOZ5_3_PL1	LOZ5_3_PL2
Na <sub>2</sub> O	6.61	5.47	5.52	5.86	5.85	6.10	5.85	6.10	5.85	6.10	5.85	6.10
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.10	28.83	28.75	27.77	28.42	27.57	28.42	27.57	28.42	27.57	28.42	27.57
SiO <sub>2</sub>	57.35	54.76	54.92	55.81	55.28	56.23	55.28	56.23	55.28	56.23	55.28	56.23
K <sub>2</sub> O	0.14	0.10	0.09	0.10	0.10	0.17	0.10	0.17	0.10	0.17	0.10	0.17
CaO	8.72	10.56	10.51	9.79	10.16	9.37	10.16	9.37	10.16	9.37	10.16	9.37
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
MnO	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
FeO	0.11	0.11	0.14	0.12	0.12	0.32	0.12	0.32	0.12	0.32	0.12	0.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.12	0.13	0.16	0.14	0.13	0.36	0.13	0.36	0.13	0.36	0.13	0.36
SrO	0.06	0.09	0.08	0.05	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.09
BaO	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.06	0.09	0.06	0.09	0.06	0.09	0.06
<b>Totale</b>	<b>100.20</b>	<b>100.07</b>	<b>100.17</b>	<b>99.61</b>	<b>100.17</b>	<b>99.99</b>	<b>100.17</b>	<b>99.99</b>	<b>100.17</b>	<b>99.99</b>	<b>100.17</b>	<b>100.13</b>
Si	2.57	2.47	2.47	2.52	2.49	2.53	2.49	2.53	2.49	2.53	2.49	2.40
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.43	1.53	1.53	1.48	1.51	1.46	1.51	1.46	1.51	1.46	1.51	1.59
Fe <sup>3+</sup>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Ca	0.42	0.51	0.51	0.47	0.49	0.45	0.49	0.45	0.49	0.45	0.59	0.59
Na	0.57	0.48	0.48	0.51	0.51	0.53	0.51	0.53	0.51	0.53	0.51	0.40
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totale</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>
Sito Z	4.00	4.01	4.01	4.00	4.00	4.01	4.00	4.01	4.00	4.01	4.00	4.00
Sito A	1.00	1.00	1.00	0.99	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	0.99	1.00
Ab % (Na)	<b>57.37</b>	<b>48.12</b>	<b>48.48</b>	<b>51.67</b>	<b>50.73</b>	<b>53.58</b>	<b>50.73</b>	<b>53.58</b>	<b>50.73</b>	<b>53.58</b>	<b>40.41</b>	<b>40.41</b>
An % (Ca)	<b>41.81</b>	<b>51.30</b>	<b>51.00</b>	<b>47.73</b>	<b>48.68</b>	<b>45.45</b>	<b>48.68</b>	<b>45.45</b>	<b>48.68</b>	<b>45.45</b>	<b>59.24</b>	<b>59.24</b>
Or % (K)	<b>0.82</b>	<b>0.58</b>	<b>0.51</b>	<b>0.60</b>	<b>0.59</b>	<b>0.97</b>	<b>0.59</b>	<b>0.97</b>	<b>0.59</b>	<b>0.97</b>	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>
e <sup>-</sup>	69.61	70.36	70.34	69.98	70.30	69.99	70.30	69.99	70.30	69.99	70.89	70.89
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
O stech.	47.59	47.26	47.32	47.18	47.32	47.35	47.32	47.35	47.32	47.35	47.11	47.11

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ110_2_PL1	LOZ110_2_PL2	LOZ110_2_PL3	LOZ110_3_PL1	LOZ110_3_PL2	LOZ110_3_PL3
Na <sub>2</sub> O	5.50	6.61	6.35	5.73	5.73	5.73
MgO	0.01	0.00	0.01	0.87	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.72	26.90	26.90	27.23	26.22	26.22
SiO <sub>2</sub>	55.37	56.37	56.89	53.51	58.32	58.32
K <sub>2</sub> O	0.08	0.11	0.15	0.73	0.06	0.06
CaO	9.89	8.27	8.50	8.56	9.03	9.03
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.05	0.05	0.18	0.04	0.04
MnO	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
FeO	0.22	0.17	0.18	1.33	0.20	0.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.24	0.18	0.20	1.48	0.22	0.22
SrO	0.10	0.09	0.10	0.07	0.10	0.10
BaO	0.05	0.07	0.07	0.06	0.04	0.04
<b>Totale</b>	<b>99.00</b>	<b>98.67</b>	<b>99.23</b>	<b>98.44</b>	<b>99.77</b>	<b>99.77</b>
Si	2.51	2.56	2.57	2.46	2.61	2.61
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Al	1.48	1.44	1.43	1.48	1.38	1.38
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01
Ca	0.48	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43
Na	0.48	0.58	0.56	0.51	0.50	0.50
K	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totale</b>	<b>4.98</b>	<b>5.01</b>	<b>4.99</b>	<b>5.04</b>	<b>4.94</b>	<b>4.94</b>
Sito Z	4.01	4.01	4.01	4.06	4.00	4.00
Sito A	0.97	1.00	0.98	0.98	0.94	0.94
<b>Ab % (Na)</b>	<b>49.91</b>	<b>58.74</b>	<b>56.94</b>	<b>52.39</b>	<b>53.25</b>	<b>53.25</b>
<b>An % (Ca)</b>	<b>49.62</b>	<b>40.61</b>	<b>42.15</b>	<b>43.24</b>	<b>46.41</b>	<b>46.41</b>
<b>Or % (K)</b>	<b>0.48</b>	<b>0.65</b>	<b>0.91</b>	<b>4.38</b>	<b>0.34</b>	<b>0.34</b>
e <sup>-</sup>	69.94	69.56	69.50	70.96	69.12	69.12
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
O stech.	46.90	46.87	47.16	46.24	47.57	47.57



Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ117_1_PL1	LOZ117_1_PL2	LOZ117_1_PL3	LOZ117_2_PL1	LOZ117_3_PL1
Na <sub>2</sub> O	7.58	7.42	7.38	8.05	7.23
MgO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.75	26.05	25.63	25.20	26.24
SiO <sub>2</sub>	59.19	58.94	59.78	59.98	58.45
K <sub>2</sub> O	0.10	0.13	0.18	0.18	0.16
CaO	7.22	7.39	6.97	6.25	7.45
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.04	0.04	0.05	0.03
Mno	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
FeO	0.20	0.16	0.14	0.25	0.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.22	0.18	0.16	0.28	0.24
SrO	0.12	0.16	0.10	0.08	0.11
BaO	0.07	0.05	0.07	0.08	0.04
<b>Totale</b>	<b>100.28</b>	<b>100.36</b>	<b>100.33</b>	<b>100.16</b>	<b>99.95</b>
Si	2.64	2.63	2.66	2.67	2.62
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.35	1.37	1.34	1.32	1.38
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.34	0.35	0.33	0.30	0.36
Na	0.66	0.64	0.64	0.70	0.63
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totale</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>4.99</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>
Sito Z	4.00	4.00	4.01	4.01	4.01
Sito A	1.01	1.01	0.98	1.01	1.00
<b>Ab % (Na)</b>	<b>65.15</b>	<b>64.04</b>	<b>65.03</b>	<b>69.24</b>	<b>63.11</b>
<b>An % (Ca)</b>	<b>34.27</b>	<b>35.22</b>	<b>33.96</b>	<b>29.73</b>	<b>35.95</b>
<b>Or % (K)</b>	<b>0.58</b>	<b>0.74</b>	<b>1.01</b>	<b>1.03</b>	<b>0.94</b>
e <sup>-</sup>	69.15	69.20	68.84	68.86	69.20
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
O stech.	47.78	47.80	47.92	47.82	47.61

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ117_3_PL2	LOZ117_3_PL3	LOZ117_5_PL1	LOZ117_5_PL2
Na <sub>2</sub> O	7.51	7.52	7.43	7.68
MgO	0.01	0.01	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.65	25.78	25.95	25.10
SiO <sub>2</sub>	59.12	59.55	58.92	59.33
K <sub>2</sub> O	0.15	0.17	0.14	0.18
CaO	7.12	6.76	7.28	6.37
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.04	0.03	0.04
MnO	0.01	0.01	0.03	0.01
FeO	0.30	0.24	0.20	0.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.33	0.26	0.22	0.22
SrO	0.06	0.12	0.13	0.12
BaO	0.03	0.06	0.06	0.06
<b>Totale</b>	<b>100.03</b>	<b>100.29</b>	<b>100.17</b>	<b>99.10</b>
Si	2.64	2.65	2.63	2.67
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.35	1.35	1.37	1.33
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.34	0.32	0.35	0.31
Na	0.65	0.65	0.64	0.67
K	0.01	0.01	0.01	0.01
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totale</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>	<b>5.01</b>	<b>5.00</b>
Sito Z	4.00	4.01	4.00	4.01
Sito A	1.00	0.98	1.00	0.99
<b>Ab % (Na)</b>	<b>65.10</b>	<b>66.16</b>	<b>64.37</b>	<b>67.84</b>
<b>An % (Ca)</b>	<b>34.07</b>	<b>32.88</b>	<b>34.85</b>	<b>31.09</b>
<b>Or % (K)</b>	<b>0.83</b>	<b>0.96</b>	<b>0.79</b>	<b>1.06</b>
e <sup>-</sup>	69.08	68.89	69.17	68.78
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00
O stoch.	47.69	47.88	47.72	47.35

Anioni	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cationi	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Elemento	LOZ121_1_PL1	LOZ121_1_PL2	LOZ121_2_PL1	LOZ121_2_PL2	LOZ121_3_PL1	LOZ121_3_PL2	LOZ121_3_PL2	LOZ121_3_PL1	LOZ121_3_PL2	LOZ121_3_PL3	LOZ121_3_PL3	LOZ121_3_PL4
Na <sub>2</sub> O	7.13	6.93	7.09	7.26	7.21	6.89	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.07
MgO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.94	25.96	26.07	25.94	25.86	26.23	26.38	26.38	26.23	26.38	26.38	26.24
SiO <sub>2</sub>	58.23	58.11	57.94	58.11	58.61	58.04	58.11	58.11	58.04	58.11	58.11	58.36
K <sub>2</sub> O	0.17	0.17	0.20	0.11	0.17	0.18	0.14	0.14	0.18	0.14	0.14	0.14
CaO	7.42	7.63	7.44	7.46	7.30	8.02	7.71	7.71	8.02	7.71	7.71	7.72
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.03
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
FeO	0.21	0.17	0.18	0.21	0.30	0.29	0.33	0.33	0.29	0.33	0.33	0.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> calc.	0.24	0.19	0.20	0.24	0.33	0.32	0.37	0.37	0.32	0.37	0.37	0.34
SrO	0.08	0.11	0.05	0.07	0.05	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.10	0.04
BaO	0.05	0.06	0.05	0.09	0.06	0.07	0.04	0.04	0.07	0.04	0.04	0.05
Totale	<b>99.32</b>	<b>99.21</b>	<b>99.10</b>	<b>99.32</b>	<b>99.64</b>	<b>99.84</b>	<b>99.84</b>	<b>100.02</b>	<b>99.84</b>	<b>100.02</b>	<b>100.02</b>	<b>100.01</b>
Si	2.62	2.62	2.61	2.62	2.63	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.61
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.38	1.38	1.39	1.38	1.37	1.39	1.39	1.39	1.37	1.39	1.39	1.38
Fe <sup>3+</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.36	0.37	0.36	0.36	0.35	0.39	0.37	0.37	0.39	0.37	0.37	0.37
Na	0.62	0.61	0.62	0.63	0.63	0.60	0.62	0.62	0.60	0.62	0.62	0.61
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totale	5.00	4.99	5.00	5.01	5.00	5.00	5.01	5.01	5.00	5.01	5.01	5.00
Sito Z	4.01	4.01	4.01	4.00	4.01	4.00	4.00	4.01	4.00	4.01	4.01	4.01
Sito A	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99
Ab % (Na)	<b>62.89</b>	<b>61.55</b>	<b>62.55</b>	<b>63.35</b>	<b>63.50</b>	<b>60.24</b>	<b>62.02</b>	<b>62.02</b>	<b>60.24</b>	<b>62.02</b>	<b>62.02</b>	<b>61.85</b>
An % (Ca)	<b>36.12</b>	<b>37.43</b>	<b>36.28</b>	<b>36.00</b>	<b>35.53</b>	<b>38.74</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>38.74</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.33</b>
Or % (K)	<b>0.98</b>	<b>1.02</b>	<b>1.17</b>	<b>0.65</b>	<b>0.96</b>	<b>1.02</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>1.02</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>0.82</b>
e <sup>-</sup>	69.17	69.19	69.18	69.25	69.11	69.41	69.36	69.36	69.41	69.36	69.36	69.26
cariche	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
O stech.	47.32	47.26	47.21	47.29	47.50	47.48	47.58	47.58	47.48	47.58	47.58	47.62

	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ1_3_BT1	LOZ1_3_BT2	LOZ1_3_BT3	LOZ1_3_BT4	LOZ1_3_BT4	LOZ1_3_BT4	LOZ1_3_BT4	LOZ1_2_BT1	LOZ1_2_BT2	LOZ1_2_BT2	LOZ1_2_BT3	
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.05	0.03	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.17	0.13	0.12	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12	0.16	0.16	0.18	0.18
MgO	10.63	10.73	10.25	10.71	10.71	10.71	10.71	10.96	10.92	10.92	10.57	10.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.58	20.04	20.39	19.76	19.76	19.76	20.11	20.90	20.58	20.58	20.80	20.80
SiO <sub>2</sub>	35.43	36.02	35.72	35.94	35.94	35.94	35.97	36.70	36.31	36.31	36.35	36.35
K <sub>2</sub> O	9.74	9.57	9.63	9.72	9.72	9.72	9.72	9.51	9.44	9.44	9.68	9.68
TiO <sub>2</sub>	2.17	2.53	2.20	2.52	2.52	2.52	2.52	2.20	2.10	2.10	2.13	2.13
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.00	0.01	0.11	0.11	0.11	0.11	0.00	0.05	0.05	0.03	0.03
Mno	0.19	0.33	0.13	0.30	0.30	0.30	0.29	0.27	0.20	0.20	0.28	0.28
FeO	14.62	14.71	14.83	15.25	15.25	15.25	15.27	14.26	14.75	14.75	15.29	15.29
SrO	0.02	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00
BaO	0.03	0.03	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
Totale	93.73	94.18	93.45	94.58	94.58	94.58	94.97	95.02	94.66	94.66	95.40	95.40
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	<b>93.72</b>	<b>94.17</b>	<b>93.44</b>	<b>94.57</b>	<b>94.57</b>	<b>94.57</b>	<b>94.96</b>	<b>95.01</b>	<b>94.65</b>	<b>94.65</b>	<b>95.39</b>	<b>95.39</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.96	3.98	3.95	3.98	3.98	3.98	4.00	4.04	4.01	4.01	4.03	4.03
Totale	<b>97.67</b>	<b>98.15</b>	<b>97.39</b>	<b>98.55</b>	<b>98.55</b>	<b>98.55</b>	<b>98.96</b>	<b>99.06</b>	<b>98.67</b>	<b>98.67</b>	<b>99.42</b>	<b>99.42</b>
O stoch.	42.21	42.45	42.11	42.45	42.45	42.45	42.64	43.11	42.78	42.78	42.95	42.95
Si	5.37	5.42	5.42	5.41	5.41	5.41	5.39	5.44	5.43	5.43	5.41	5.41
Ti	0.25	0.29	0.25	0.29	0.29	0.29	0.28	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24
Al	3.67	3.56	3.65	3.51	3.51	3.51	3.55	3.65	3.62	3.62	3.65	3.65
Cr	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	1.85	1.85	1.88	1.92	1.92	1.92	1.91	1.77	1.84	1.84	1.90	1.90
Mn	0.02	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Mg	2.40	2.41	2.32	2.40	2.40	2.40	2.39	2.42	2.43	2.43	2.34	2.34
Na	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
K	1.88	1.84	1.86	1.87	1.87	1.87	1.86	1.80	1.80	1.80	1.84	1.84
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	15.52	15.46	15.47	15.51	15.51	15.51	15.51	15.41	15.46	15.46	15.48	15.48
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.51	15.45	15.45	15.50	15.50	15.50	15.49	15.40	15.45	15.45	15.47	15.47
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
AlIV	2.63	2.58	2.58	2.59	2.59	2.59	2.61	2.56	2.57	2.57	2.59	2.59
AlV	1.04	0.98	1.07	0.92	0.92	0.92	0.94	1.10	1.05	1.05	1.06	1.06
oct	5.58	5.57	5.55	5.58	5.58	5.58	5.59	5.57	5.60	5.60	5.58	5.58
Sito A	1.93	1.88	1.90	1.91	1.91	1.91	1.91	1.84	1.85	1.85	1.89	1.89
X <sub>Mg</sub>	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	<b>0.55</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>0.58</b>	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>	<b>0.55</b>	<b>0.55</b>



Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Elemento	LOZ5_1_BT1		LOZ5_1_BT2		LOZ5_1_BT3		LOZ5_2_BT1		LOZ5_2_BT2	
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.27	0.27
MgO	12.82	11.64	11.51	11.51	11.51	10.96	10.96	10.96	11.94	11.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.89	21.02	19.76	19.76	19.76	19.69	19.69	19.69	20.38	20.38
SiO <sub>2</sub>	36.10	36.54	36.07	36.07	36.07	35.55	35.55	35.55	36.01	36.01
K <sub>2</sub> O	8.73	9.25	9.48	9.48	9.48	9.21	9.21	9.21	9.04	9.04
TiO <sub>2</sub>	0.90	1.84	2.20	2.20	2.20	2.31	2.31	2.31	1.45	1.45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.08	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.15	0.15
MnO	0.31	0.37	0.27	0.27	0.27	0.38	0.38	0.38	0.22	0.22
FeO	14.04	14.67	13.94	13.94	13.94	13.94	13.94	13.94	14.38	14.38
SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08
BaO	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Totale	94.07	95.61	93.60	93.60	93.60	92.33	92.33	92.33	94.00	94.00
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	<b>94.06</b>	<b>95.60</b>	<b>93.59</b>	<b>93.59</b>	<b>93.59</b>	<b>92.32</b>	<b>92.32</b>	<b>92.32</b>	<b>93.99</b>	<b>93.99</b>
H <sub>2</sub> O calc.	4.02	4.06	3.97	3.97	3.97	3.92	3.92	3.92	3.99	3.99
Totale	<b>98.08</b>	<b>99.66</b>	<b>97.56</b>	<b>97.56</b>	<b>97.56</b>	<b>96.24</b>	<b>96.24</b>	<b>96.24</b>	<b>97.98</b>	<b>97.98</b>
O stoch.	42.82	43.31	42.36	42.36	42.36	41.79	41.79	41.79	42.57	42.57
Si	5.39	5.39	5.44	5.44	5.44	5.44	5.44	5.44	5.41	5.41
Ti	0.10	0.20	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.27	0.16	0.16
Al	3.68	3.66	3.51	3.51	3.51	3.55	3.55	3.55	3.61	3.61
Cr	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
Fe <sup>2+</sup>	1.75	1.81	1.76	1.76	1.76	1.78	1.78	1.78	1.81	1.81
Mn	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03
Mg	2.85	2.56	2.59	2.59	2.59	2.50	2.50	2.50	2.67	2.67
Na	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
K	1.66	1.74	1.83	1.83	1.83	1.80	1.80	1.80	1.73	1.73
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	15.55	15.49	15.50	15.50	15.50	15.46	15.46	15.46	15.53	15.53
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.53	15.47	15.49	15.49	15.49	15.45	15.45	15.45	15.52	15.52
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
AlIV	2.61	2.61	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.59	2.59
AlY	1.06	1.05	0.96	0.96	0.96	0.99	0.99	0.99	1.01	1.01
oct	5.81	5.67	5.60	5.60	5.60	5.59	5.59	5.59	5.71	5.71
Sito A	1.72	1.80	1.88	1.88	1.88	1.86	1.86	1.86	1.81	1.81
X <sub>Mg</sub>	<b>0.62</b>	<b>0.59</b>	<b>0.60</b>	<b>0.60</b>	<b>0.60</b>	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	<b>0.58</b>	<b>0.60</b>	<b>0.60</b>

Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ5_3_BT1	LOZ5_3_BT2	LOZ5_4_BT1	LOZ5_4_BT2
F	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.04	0.04	0.04	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.16	0.21	0.11
MgO	10.84	11.16	11.52	11.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.75	19.96	19.93	20.03
SiO <sub>2</sub>	35.66	35.47	35.49	35.92
K <sub>2</sub> O	9.45	9.37	9.06	9.39
TiO <sub>2</sub>	2.42	2.40	1.78	2.09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.07	0.09	0.07
MnO	0.35	0.31	0.21	0.35
FeO	14.92	14.88	13.81	15.02
SrO	0.00	0.03	0.03	0.05
BaO	0.08	0.08	0.05	0.07
Totale	93.75	93.94	92.21	94.40
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	<b>93.74</b>	<b>93.93</b>	<b>92.20</b>	<b>94.39</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.96	3.96	3.92	3.99
Totale	<b>97.69</b>	<b>97.90</b>	<b>96.12</b>	<b>98.37</b>
O stoch.	42.16	42.26	41.81	42.49
Si	5.41	5.36	5.42	5.40
Ti	0.28	0.27	0.20	0.24
Al	3.53	3.56	3.59	3.55
Cr	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe <sup>2+</sup>	1.89	1.88	1.77	1.89
Mn	0.04	0.04	0.03	0.04
Mg	2.45	2.52	2.63	2.52
Na	0.06	0.05	0.06	0.03
K	1.83	1.81	1.77	1.80
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	15.50	15.52	15.49	15.51
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.49	15.51	15.48	15.50
OH	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.01	4.01	4.01	4.01
AlIV	2.59	2.64	2.58	2.60
AlY	0.94	0.92	1.02	0.96
oct	5.60	5.65	5.65	5.66
Sito A	1.89	1.86	1.83	1.84
X <sub>mg</sub>	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	<b>0.60</b>	<b>0.57</b>

Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ110_1_BT1	LOZ110_1_BT2	LOZ110_2_BT1	LOZ110_2_BT2	LOZ110_3_BT1	LOZ110_3_BT2	LOZ110_3_BT1	LOZ110_3_BT2	LOZ110_3_BT2
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.16	0.18	0.23	0.16	0.23	0.16	0.13	0.13
MgO	11.93	11.50	11.86	12.04	11.86	12.04	12.01	11.65	11.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.98	19.98	20.01	19.63	20.01	19.63	19.71	19.93	19.93
SiO <sub>2</sub>	35.30	35.33	35.05	35.61	35.05	35.61	34.94	35.36	35.36
K <sub>2</sub> O	8.98	8.95	9.17	9.16	8.79	9.16	8.79	9.28	9.28
TiO <sub>2</sub>	1.90	1.73	1.98	1.99	2.08	1.99	2.08	2.05	2.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
MnO	0.44	0.37	0.40	0.44	0.40	0.44	0.40	0.41	0.41
FeO	15.85	14.94	16.39	15.51	16.20	15.51	16.20	15.76	15.76
SrO	0.00	0.03	0.04	0.03	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00
BaO	0.05	0.02	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
Totale	94.74	93.11	95.18	94.77	94.42	94.77	94.42	94.65	94.65
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	<b>94.73</b>	<b>93.10</b>	<b>95.17</b>	<b>94.76</b>	<b>94.41</b>	<b>94.76</b>	<b>94.41</b>	<b>94.65</b>	<b>94.65</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.99	3.94	3.99	3.99	3.96	3.99	3.96	3.98	3.98
Totale	<b>98.71</b>	<b>97.04</b>	<b>99.16</b>	<b>98.75</b>	<b>98.37</b>	<b>98.75</b>	<b>98.37</b>	<b>98.63</b>	<b>98.63</b>
O stoch.	42.48	41.98	42.49	42.52	42.26	42.52	42.26	42.42	42.42
Si	5.31	5.38	5.27	5.35	5.28	5.35	5.28	5.33	5.33
Ti	0.21	0.20	0.22	0.22	0.24	0.22	0.24	0.23	0.23
Al	3.54	3.58	3.55	3.48	3.51	3.48	3.51	3.54	3.54
Cr	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2+	1.99	1.90	2.06	1.95	2.05	1.95	2.05	1.99	1.99
Mn	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
Mg	2.68	2.61	2.66	2.70	2.71	2.70	2.71	2.62	2.62
Na	0.06	0.05	0.05	0.07	0.05	0.07	0.05	0.04	0.04
K	1.72	1.74	1.76	1.76	1.70	1.76	1.70	1.78	1.78
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	15.60	15.53	15.65	15.60	15.60	15.60	15.60	15.59	15.59
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.59	15.52	15.64	15.59	15.59	15.59	15.59	15.58	15.58
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
AlIV	2.69	2.62	2.73	2.65	2.72	2.65	2.72	2.67	2.67
AlY	0.85	0.96	0.82	0.83	0.80	0.83	0.80	0.87	0.87
oct	5.80	5.73	5.82	5.77	5.85	5.77	5.85	5.76	5.76
Sito A	1.79	1.79	1.82	1.83	1.75	1.83	1.75	1.82	1.82
X <sub>Mg</sub>	<b>0.57</b>	<b>0.58</b>	<b>0.56</b>	<b>0.58</b>	<b>0.57</b>	<b>0.58</b>	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>



Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ117_1_BT1	LOZ117_1_BT2	LOZ117_1_BT3	LOZ117_2_BT1	LOZ117_2_BT2	LOZ117_2_BT3	LOZ117_2_BT4						
F	0.00	0.03	0.01	0.04	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.14	0.09	0.12	0.12	0.15	0.08	0.12	0.15	0.15	0.08	0.08	0.08
MgO	9.49	9.09	9.04	9.26	9.41	9.53	9.73	9.26	9.53	9.53	9.73	9.73	9.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.97	20.86	19.85	19.79	19.81	20.69	21.45	19.79	20.69	20.69	21.45	21.45	21.45
SiO <sub>2</sub>	35.56	34.97	35.36	34.74	34.72	35.66	34.98	34.74	35.66	35.66	34.98	34.98	34.98
K <sub>2</sub> O	9.04	9.02	9.06	8.97	8.97	9.06	8.76	8.97	9.06	9.06	8.76	8.76	8.76
TiO <sub>2</sub>	2.63	2.47	2.99	2.82	2.72	2.53	1.10	2.82	2.53	2.53	1.10	1.10	1.10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.07	0.10	0.09	0.03	0.00	0.00	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.17	0.26	0.30	0.19	0.30	0.30	0.31	0.19	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31
FeO	16.21	16.71	16.98	16.08	16.38	16.75	16.46	16.08	16.38	16.75	16.46	16.46	16.46
SrO	0.07	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
BaO	0.02	0.05	0.07	0.07	0.02	0.04	0.03	0.07	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
Totale	93.30	93.72	93.86	92.18	92.52	94.78	92.93	92.18	92.52	94.78	92.93	92.93	92.93
O=F,Cl	0.00	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00
Totale	93.30	93.70	93.85	92.16	92.50	94.75	92.92	92.16	92.50	94.75	92.92	92.92	92.92
H <sub>2</sub> O calc.	3.93	3.93	3.93	3.87	3.88	3.98	3.92	3.87	3.88	3.98	3.92	3.92	3.92
Totale	97.23	97.63	97.78	96.03	96.39	98.73	96.84	96.03	96.39	98.73	96.84	96.84	96.84
O stoch.	41.89	41.89	41.89	41.25	41.35	42.42	41.76	41.25	41.35	42.42	41.76	41.76	41.76
Si	5.43	5.33	5.39	5.38	5.36	5.37	5.35	5.38	5.36	5.37	5.35	5.35	5.35
Ti	0.30	0.28	0.34	0.33	0.32	0.29	0.13	0.33	0.32	0.29	0.13	0.13	0.13
Al	3.59	3.75	3.57	3.61	3.61	3.67	3.87	3.61	3.61	3.67	3.87	3.87	3.87
Cr	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	2.07	2.13	2.17	2.08	2.12	2.11	2.11	2.08	2.12	2.11	2.11	2.11	2.11
Mn	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Mg	2.16	2.07	2.05	2.14	2.17	2.14	2.22	2.14	2.17	2.14	2.22	2.22	2.22
Na	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
K	1.76	1.76	1.76	1.77	1.77	1.74	1.71	1.77	1.77	1.74	1.71	1.71	1.71
Cl	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Totale	15.37	15.43	15.38	15.41	15.44	15.43	15.46	15.41	15.44	15.43	15.46	15.46	15.46
O=F,Cl	0.00	-0.02	-0.01	-0.03	-0.02	-0.03	-0.01	-0.03	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.37	15.40	15.37	15.38	15.42	15.40	15.45	15.38	15.42	15.40	15.45	15.45	15.45
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.00	4.02	4.01	4.02	4.02	4.03	4.00	4.02	4.02	4.03	4.00	4.00	4.00
AlIV	2.57	2.67	2.61	2.62	2.64	2.63	2.65	2.62	2.64	2.63	2.65	2.65	2.65
AlV	1.02	1.08	0.96	0.99	0.97	1.04	1.22	0.99	0.97	1.04	1.22	1.22	1.22
oct	5.58	5.60	5.58	5.57	5.61	5.61	5.72	5.57	5.61	5.61	5.72	5.72	5.72
Sito A	1.79	1.80	1.79	1.81	1.81	1.79	1.74	1.81	1.81	1.79	1.74	1.74	1.74
X <sub>neg</sub>	0.51	0.49	0.49	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51

Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	<b>LOZ117_2_BT5</b>	<b>LOZ117_3_BT1</b>	<b>LOZ117_3_BT2</b>	<b>LOZ117_3_BT3</b>	<b>LOZ117_5_BT1</b>	<b>LOZ117_5_BT2</b>	<b>LOZ117_5_BT3</b>	<b>LOZ117_5_BT4</b>	<b>LOZ117_5_BT5</b>
F	0.07	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04
Cl	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.13	0.09	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10	0.13
MgO	9.74	9.43	9.60	9.55	9.31	9.31	9.55	9.31	9.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.34	20.92	20.52	20.19	20.61	21.06	20.19	20.61	21.06
SiO <sub>2</sub>	35.41	34.34	34.94	35.09	35.27	35.20	35.09	35.27	35.20
K <sub>2</sub> O	8.83	9.25	9.38	9.44	9.33	9.34	9.44	9.33	9.34
TiO <sub>2</sub>	1.56	2.64	2.71	3.08	2.91	2.37	3.08	2.91	2.37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.02	0.10	0.06	0.07	0.10	0.06	0.07
MnO	0.31	0.24	0.28	0.30	0.39	0.29	0.30	0.39	0.29
FeO	16.48	17.80	16.95	16.37	17.08	17.65	16.37	17.08	17.65
SrO	0.00	0.01	0.04	0.06	0.06	0.04	0.06	0.06	0.04
BaO	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.01	0.04	0.03	0.01
Totale	93.95	94.89	94.60	94.35	95.15	95.77	94.35	95.15	95.77
O=F,Cl	-0.04	-0.03	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.01	0.00	-0.02
Totale	<b>93.91</b>	<b>94.86</b>	<b>94.59</b>	<b>94.34</b>	<b>95.15</b>	<b>95.76</b>	<b>94.34</b>	<b>95.15</b>	<b>95.76</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.96	3.95	3.95	3.95	3.98	4.00	3.95	3.98	4.00
Totale	<b>97.87</b>	<b>98.81</b>	<b>98.55</b>	<b>98.29</b>	<b>99.13</b>	<b>99.75</b>	<b>98.29</b>	<b>99.13</b>	<b>99.75</b>
O stechl.	42.15	42.05	42.15	42.09	42.40	42.58	42.09	42.40	42.58
Si	5.36	5.22	5.30	5.33	5.32	5.28	5.33	5.32	5.28
Ti	0.18	0.30	0.31	0.35	0.33	0.27	0.35	0.33	0.27
Al	3.81	3.74	3.67	3.61	3.66	3.72	3.61	3.66	3.72
Cr	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe2+	2.09	2.26	2.15	2.08	2.15	2.21	2.08	2.15	2.21
Mn	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04
Mg	2.20	2.14	2.17	2.16	2.09	2.14	2.16	2.09	2.14
Na	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04
K	1.71	1.79	1.81	1.83	1.79	1.79	1.83	1.79	1.79
Cl	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Totale	15.47	15.55	15.48	15.46	15.44	15.52	15.46	15.44	15.52
O=F,Cl	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02
Totale	15.43	15.52	15.48	15.44	15.43	15.50	15.44	15.43	15.50
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.04	4.03	4.00	4.01	4.01	4.02	4.01	4.01	4.02
AlIV	2.64	2.70	2.70	2.67	2.68	2.72	2.67	2.68	2.72
AlV	1.17	0.96	0.96	0.94	0.98	1.00	0.94	0.98	1.00
oct	5.68	5.69	5.64	5.58	5.61	5.67	5.58	5.61	5.67
Sito A	1.75	1.83	1.84	1.86	1.83	1.83	1.86	1.83	1.83
X <sub>Mg</sub>	<b>0.51</b>	<b>0.49</b>	<b>0.50</b>	<b>0.51</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>



	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ121_3_BT1	LOZ121_3_BT2	LOZ121_3_BT3	LOZ121_4_BT1	LOZ121_4_BT2	LOZ121_4_BT3	LOZ121_4_BT1	LOZ121_4_BT2	LOZ121_4_BT3	LOZ121_4_BT3
F	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.14	0.12	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.11	0.11
MgO	10.99	9.50	9.33	9.04	9.28	10.03	9.04	9.28	10.03	10.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.41	20.38	20.28	20.28	20.34	19.88	20.28	20.34	19.88	19.88
SiO <sub>2</sub>	35.22	34.96	34.89	35.12	35.00	35.22	35.12	35.00	35.22	35.22
K <sub>2</sub> O	9.21	9.21	9.30	9.39	9.31	8.91	9.39	9.31	8.91	8.91
TiO <sub>2</sub>	0.78	2.76	2.85	2.83	2.69	2.29	2.83	2.69	2.29	2.29
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.04	0.01	0.06	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03
MnO	0.22	0.24	0.28	0.27	0.25	0.21	0.27	0.25	0.21	0.21
FeO	16.61	17.19	17.19	17.44	17.07	16.99	17.44	17.07	16.99	16.99
SiO	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00
BaO	0.05	0.02	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
Totale	94.66	94.49	94.32	94.62	94.16	93.76	94.62	94.16	93.76	93.76
O=F,Cl	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01
Totale	<b>94.66</b>	<b>94.47</b>	<b>94.32</b>	<b>94.61</b>	<b>94.16</b>	<b>93.75</b>	<b>94.61</b>	<b>94.16</b>	<b>93.75</b>	<b>93.75</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.98	3.95	3.94	3.95	3.94	3.93	3.95	3.94	3.93	3.93
Totale	<b>98.63</b>	<b>98.42</b>	<b>98.26</b>	<b>98.56</b>	<b>98.10</b>	<b>97.68</b>	<b>98.56</b>	<b>98.10</b>	<b>97.68</b>	<b>97.68</b>
O stoch.	42.40	42.07	41.99	42.07	41.96	41.90	42.07	41.96	41.90	41.90
Si	5.31	5.31	5.31	5.34	5.33	5.37	5.34	5.33	5.37	5.37
Ti	0.09	0.32	0.32	0.32	0.31	0.26	0.32	0.31	0.26	0.26
Al	3.80	3.65	3.64	3.63	3.65	3.57	3.63	3.65	3.57	3.57
Cr	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe2+	2.09	2.18	2.19	2.22	2.17	2.17	2.22	2.17	2.17	2.17
Mn	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
Mg	2.47	2.15	2.12	2.05	2.11	2.28	2.05	2.11	2.28	2.28
Na	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
K	1.77	1.78	1.81	1.82	1.81	1.73	1.82	1.81	1.73	1.73
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Totale	15.61	15.49	15.46	15.45	15.45	15.46	15.45	15.45	15.46	15.46
O=F,Cl	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01
Totale	15.61	15.46	15.46	15.45	15.45	15.46	15.45	15.45	15.46	15.46
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+FrCl	4.00	4.02	4.00	4.00	4.00	4.01	4.00	4.00	4.01	4.01
AlIV	2.69	2.69	2.69	2.66	2.67	2.63	2.66	2.67	2.63	2.63
AlY	1.11	0.95	0.95	0.97	0.98	0.95	0.97	0.98	0.95	0.95
oct	5.79	5.64	5.62	5.60	5.61	5.69	5.60	5.61	5.69	5.69
Sito A	1.82	1.82	1.84	1.85	1.84	1.77	1.85	1.84	1.77	1.77
X <sub>neg</sub>	<b>0.54</b>	<b>0.50</b>	<b>0.49</b>	<b>0.48</b>	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.48</b>	<b>0.49</b>	<b>0.51</b>	<b>0.51</b>

	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	<b>GAV2_3_BT1</b>	<b>GAV2_3_BT2</b>	<b>GAV2_1_BT1</b>	<b>GAV2_1_BT2</b>	<b>GAV2_2_BT1</b>	<b>GAV2_2_BT2</b>
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.04	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	0.08
MgO	12.64	12.68	11.90	11.62	11.62	10.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.10	22.18	21.15	21.09	21.09	20.40
SiO <sub>2</sub>	35.63	35.39	35.89	35.13	35.13	35.36
K <sub>2</sub> O	9.36	9.50	9.34	9.57	9.57	9.50
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.05	0.31	0.67	0.67	2.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.08	0.10	0.10	0.11
MnO	0.56	0.46	0.46	0.56	0.56	0.53
FeO	14.42	13.81	15.04	15.89	15.89	17.08
SrO	0.06	0.00	0.05	0.06	0.06	0.00
BaO	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.06
Totale	94.25	94.20	94.33	94.80	94.80	95.69
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	<b>94.24</b>	<b>94.19</b>	<b>94.32</b>	<b>94.79</b>	<b>94.79</b>	<b>95.68</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.99	4.01	3.99	3.98	3.98	3.99
Totale	<b>98.24</b>	<b>98.20</b>	<b>98.31</b>	<b>98.77</b>	<b>98.77</b>	<b>99.67</b>
O storch.	42.58	42.73	42.56	42.41	42.41	42.57
Si	5.35	5.29	5.39	5.29	5.31	5.31
Ti	0.04	0.01	0.04	0.08	0.23	0.23
Al	3.73	3.91	3.74	3.75	3.61	3.61
Cr	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe2+	1.81	1.73	1.89	2.00	2.14	2.14
Mn	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
Mg	2.83	2.83	2.66	2.61	2.34	2.34
Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K	1.79	1.81	1.79	1.84	1.82	1.82
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	15.66	15.67	15.61	15.69	15.58	15.58
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.65	15.66	15.60	15.68	15.57	15.57
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
Al IV	2.65	2.71	2.61	2.71	2.69	2.69
Al Y	1.08	1.21	1.13	1.04	0.92	0.92
oct	5.84	5.83	5.79	5.82	5.72	5.72
Sito A	1.81	1.84	1.81	1.86	1.84	1.84
X <sub>Mg</sub>	<b>0.61</b>	<b>0.62</b>	<b>0.59</b>	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>	<b>0.52</b>

Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	GAV2_2_BT2		GAV2_4_BT1		GAV2_4_BT2	
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.05	0.05	0.09	0.09	0.10
MgO	10.93	12.13	12.13	12.12	12.12	12.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.79	21.21	21.21	21.08	21.08	21.08
SiO <sub>2</sub>	35.53	34.83	34.83	35.73	35.73	35.86
K <sub>2</sub> O	9.33	9.49	9.49	9.48	9.48	9.59
TiO <sub>2</sub>	1.47	1.47	1.47	0.71	0.71	0.35
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.00	0.00	0.07	0.07	0.01
MnO	0.60	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52
FeO	15.57	15.04	15.04	14.32	14.32	14.59
SrO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.07
BaO	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Totale	94.47	93.86	93.86	94.21	94.21	94.66
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	<b>94.46</b>	<b>93.85</b>	<b>93.85</b>	<b>94.20</b>	<b>94.20</b>	<b>94.65</b>
H <sub>2</sub> O calc.	3.98	3.96	3.96	3.99	3.99	4.01
Totale	<b>98.44</b>	<b>97.81</b>	<b>97.81</b>	<b>98.19</b>	<b>98.19</b>	<b>98.65</b>
O stech.	42.43	42.18	42.18	42.57	42.57	42.70
Si	5.35	5.28	5.28	5.36	5.36	5.37
Ti	0.17	0.06	0.06	0.08	0.08	0.04
Al	3.69	3.79	3.79	3.73	3.73	3.72
Cr	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Fe2+	1.96	1.91	1.91	1.80	1.80	1.83
Mn	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Mg	2.45	2.74	2.74	2.71	2.71	2.77
Na	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
K	1.79	1.84	1.84	1.82	1.82	1.83
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale	15.54	15.71	15.71	15.62	15.62	15.67
O=F,Cl	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Totale	15.53	15.69	15.69	15.61	15.61	15.66
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH+F+Cl	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
AlIV	2.65	2.72	2.72	2.64	2.64	2.63
AlV	1.05	1.07	1.07	1.09	1.09	1.09
oct	5.72	5.84	5.84	5.76	5.76	5.80
Sito A	1.81	1.85	1.85	1.84	1.84	1.86
X <sub>Mg</sub>	<b>0.56</b>	<b>0.59</b>	<b>0.59</b>	<b>0.60</b>	<b>0.60</b>	<b>0.60</b>

Elemento	LOZ1_3_MS1	LOZ1_3_MS2	LOZ1_3_MS2	LOZ1_3_MS2	LOZ1_4_MS1	LOZ1_4_MS1	LOZ1_6_MS1	LOZ1_6_MS2	LOZ1_6_MS3
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ1_3_MS1	LOZ1_3_MS2	LOZ1_3_MS2	LOZ1_3_MS2	LOZ1_4_MS1	LOZ1_4_MS1	LOZ1_6_MS1	LOZ1_6_MS2	LOZ1_6_MS3
F	0.06	0.07	0.07	0.07	0.14	0.08	0.01	0.09	0.15
Cl	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.35	0.35	0.35	0.38	0.37	0.34	0.45	0.35
MgO	0.81	0.61	0.61	0.61	0.65	0.64	0.81	0.83	0.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.38	34.88	35.50	35.50	36.33	36.12	34.96	35.86	35.65
SiO <sub>2</sub>	44.99	45.40	45.47	45.47	45.18	45.92	46.03	45.81	45.73
K <sub>2</sub> O	10.78	10.75	10.75	10.75	10.83	10.70	10.95	10.77	10.88
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.61	1.19	1.19	1.19	0.72	0.40	1.28	0.39	0.88
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.12	0.12	0.12	0.06	0.00	0.02	0.01	0.03
MnO	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.03
FeO	0.92	0.62	0.62	0.62	0.67	0.74	0.62	0.84	0.72
StO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.01
BaO	0.07	0.09	0.09	0.09	0.12	0.15	0.07	0.10	0.10
Totale	95.05	94.08	94.78	94.78	95.08	95.16	95.16	95.15	95.28
O=F,Cl	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.06	-0.04	0.00	-0.04	-0.06
Totale	95.02	94.05	94.75	94.75	95.02	95.13	95.16	95.11	95.22
H <sub>2</sub> O calc.	4.48	4.44	4.48	4.48	4.49	4.50	4.50	4.49	4.50
Totale	99.51	98.50	99.23	99.23	99.63	99.63	99.66	99.61	99.72
O stoch.	47.76	47.33	47.69	47.69	47.75	47.94	47.91	47.86	47.85
Si	6.02	6.13	6.09	6.09	6.04	6.12	6.14	6.11	6.10
Ti	0.06	0.12	0.12	0.12	0.07	0.04	0.13	0.04	0.09
Al	5.73	5.55	5.60	5.60	5.72	5.67	5.50	5.64	5.60
Fe <sup>2+</sup>	0.10	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.08
Mg	0.16	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.16	0.17	0.15
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.11	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.12	0.09
K	1.84	1.85	1.84	1.84	1.85	1.82	1.86	1.83	1.85
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
F	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.03	0.00	0.04	0.06
Totale	14.05	13.98	13.98	13.98	14.06	14.00	13.96	14.04	14.04
O=F,Cl	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.06	-0.04	0.00	-0.04	-0.06
Totale	14.03	13.94	13.95	13.95	14.00	13.96	13.96	14.00	13.98
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	3.99
OH+F+Cl	4.02	4.03	4.03	4.03	4.06	4.03	4.00	4.04	4.06
AlIV	1.98	1.87	1.91	1.91	1.96	1.88	1.86	1.89	1.90
AlY	3.75	3.67	3.69	3.69	3.79	3.79	3.64	3.75	3.71
oct	4.08	4.00	4.02	4.02	4.05	4.04	4.00	4.05	4.03
Sito A	1.95	1.95	1.93	1.93	1.95	1.92	1.95	1.96	1.95
paragonite % (Na)	5.44	4.74	4.73	4.73	5.01	4.98	4.44	5.99	4.61

	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Anioni	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Cationi	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
OH	LOZ5_1_MS1												
Elemento	LOZ5_1_MS2												
	LOZ5_2_MS1												
	LOZ5_2_MS2												
	LOZ5_2_MS3												
	LOZ5_4_MS1												
	LOZ5_4_MS2												
F	0.10	0.14	0.00	0.14	0.10	0.14	0.16	0.13	0.13	0.13	0.13	0.17	0.17
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.50	0.48	0.48	0.53	0.56	0.48	0.49	0.55	0.55	0.55	0.55	0.59	0.59
MgO	0.85	0.85	1.11	0.85	1.11	0.81	0.81	0.90	0.90	0.90	0.90	0.71	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.51	35.90	36.35	36.55	36.35	36.04	36.04	35.75	35.75	35.75	35.75	35.93	35.93
SiO <sub>2</sub>	46.01	45.48	45.58	43.90	45.58	44.83	44.83	44.59	44.59	44.59	44.59	46.24	46.24
K <sub>2</sub> O	10.60	10.54	10.51	10.42	10.51	10.61	10.61	10.38	10.38	10.38	10.38	10.40	10.40
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.30	0.24	0.20	0.24	0.27	0.27	0.10	0.10	0.10	0.10	0.07	0.07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
FeO	1.11	0.93	1.00	0.82	1.00	0.89	0.89	0.65	0.65	0.65	0.65	0.89	0.89
SrO	0.00	0.03	0.06	0.00	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03
BaO	0.28	0.21	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.16	0.16
Totale	96.29	94.86	95.45	93.87	95.45	94.37	94.37	93.24	93.24	93.24	93.24	95.17	95.17
O=F,Cl	-0.04	-0.06	-0.04	-0.06	-0.04	-0.07	-0.07	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.07	-0.07
Totale	<b>96.25</b>	<b>94.80</b>	<b>95.40</b>	<b>93.81</b>	<b>95.40</b>	<b>94.31</b>	<b>94.31</b>	<b>93.18</b>	<b>93.18</b>	<b>93.18</b>	<b>93.18</b>	<b>95.10</b>	<b>95.10</b>
H <sub>2</sub> O calc.	4.54	4.48	4.51	4.42	4.51	4.45	4.45	4.41	4.41	4.41	4.41	4.50	4.50
Totale	<b>100.79</b>	<b>99.28</b>	<b>99.91</b>	<b>98.23</b>	<b>99.91</b>	<b>98.75</b>	<b>98.75</b>	<b>97.59</b>	<b>97.59</b>	<b>97.59</b>	<b>97.59</b>	<b>99.61</b>	<b>99.61</b>
O stetch.	48.35	47.64	47.97	47.08	47.97	47.32	47.32	46.91	46.91	46.91	46.91	47.91	47.91
Si	6.08	6.09	6.07	5.95	6.07	6.05	6.05	6.07	6.07	6.07	6.07	6.16	6.16
Ti	0.02	0.03	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	5.68	5.67	5.70	5.84	5.70	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.64	5.64
Fe2+	0.12	0.10	0.11	0.09	0.10	0.10	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	0.10
Mg	0.17	0.17	0.22	0.21	0.22	0.16	0.16	0.18	0.18	0.18	0.18	0.14	0.14
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
K	1.79	1.80	1.78	1.80	1.78	1.83	1.83	1.80	1.80	1.80	1.80	1.77	1.77
Ba	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
F	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
Totale	14.05	14.06	14.09	14.14	14.09	14.11	14.11	14.08	14.08	14.08	14.08	14.04	14.04
O=F,Cl	-0.04	-0.06	-0.04	-0.06	-0.04	-0.07	-0.07	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.07	-0.07
Totale	14.01	14.01	14.01	14.08	14.01	14.04	14.04	14.03	14.03	14.03	14.03	13.97	13.97
OH	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	3.99	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99	3.99
OH+F+Cl	4.04	4.05	4.04	4.06	4.04	4.06	4.06	4.05	4.05	4.05	4.05	4.06	4.06
Al IV	1.92	1.91	1.93	2.05	1.93	1.95	1.95	1.93	1.93	1.93	1.93	1.84	1.84
Al Y	3.76	3.76	3.77	3.79	3.76	3.78	3.78	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
oct	4.08	4.07	4.11	4.13	4.11	4.07	4.07	4.13	4.13	4.13	4.13	4.05	4.05
Sito A	1.93	1.94	1.94	1.95	1.94	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95	1.93	1.93
paragonite % (Na)	<b>6.64</b>	<b>6.50</b>	<b>7.48</b>	<b>7.21</b>	<b>7.48</b>	<b>6.52</b>	<b>6.52</b>	<b>7.49</b>	<b>7.49</b>	<b>7.49</b>	<b>7.49</b>	<b>7.88</b>	<b>7.88</b>



Elemento	LOZ110_1_MS1	LOZ110_2_MS1	LOZ110_2_MS2	LOZ110_2_MS3	LOZ110_3_MS1	LOZ110_3_MS2
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
F	0.11	0.08	0.15	0.12	0.13	0.15
Cl	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.55	0.49	0.56	0.51	0.48	0.55
MgO	0.81	0.72	0.67	0.74	0.81	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.69	37.02	36.51	35.51	36.58	35.54
SiO <sub>2</sub>	45.81	45.41	45.45	44.72	44.89	45.32
K <sub>2</sub> O	10.48	10.58	10.61	10.59	10.66	10.52
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.12	0.63	0.75	0.82	1.33
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.02	0.01	0.04	0.01	0.10
MnO	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
FeO	0.84	0.78	0.80	0.87	0.89	0.87
SrO	0.08	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00
BaO	0.21	0.06	0.04	0.06	0.08	0.06
Totale	95.69	95.29	95.50	93.96	95.35	95.15
O=F,Cl	-0.05	-0.03	-0.06	-0.05	-0.05	-0.06
Totale	<b>95.64</b>	<b>95.26</b>	<b>95.43</b>	<b>93.91</b>	<b>95.29</b>	<b>95.09</b>
H <sub>2</sub> O calc.	4.52	4.51	4.51	4.43	4.50	4.49
Totale	<b>100.16</b>	<b>99.77</b>	<b>99.94</b>	<b>98.34</b>	<b>99.79</b>	<b>99.57</b>
O stoch.	48.14	48.03	47.99	47.16	47.86	47.77
Si	6.08	6.04	6.04	6.05	5.99	6.06
Ti	0.01	0.01	0.06	0.08	0.08	0.13
Al	5.73	5.80	5.72	5.66	5.75	5.60
Fe2+	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
Mg	0.16	0.14	0.13	0.15	0.16	0.14
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.14	0.13	0.14	0.13	0.12	0.14
K	1.77	1.80	1.80	1.83	1.81	1.79
Ba	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.05	0.03	0.06	0.05	0.05	0.06
Totale	14.05	14.04	14.07	14.07	14.08	14.04
O=F,Cl	-0.05	-0.03	-0.06	-0.05	-0.05	-0.06
Totale	14.00	14.01	14.00	14.02	14.02	13.97
OH	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	3.99
OH+F+Cl	4.04	4.03	4.06	4.05	4.05	4.06
Al IV	1.92	1.96	1.96	1.95	2.01	1.94
Al Y	3.81	3.84	3.77	3.72	3.74	3.65
oct	4.08	4.08	4.06	4.05	4.08	4.04
Sito A	1.93	1.93	1.95	1.97	1.94	1.94
paragonite % (Na)	<b>7.36</b>	<b>6.61</b>	<b>7.40</b>	<b>6.83</b>	<b>6.42</b>	<b>7.36</b>

	LOZ117_1_MS1	LOZ117_1_MS2	LOZ117_1_MS3	LOZ117_1_MS4	LOZ117_2_MS71
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento					
F	0.21	0.13	0.14	0.20	0.10
Cl	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.29	0.43	0.40	0.29	0.39
MgO	0.70	0.68	0.64	0.63	0.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.97	35.74	35.67	35.67	35.58
SiO <sub>2</sub>	45.17	44.75	46.29	45.05	45.38
K <sub>2</sub> O	10.45	10.48	10.49	10.27	10.38
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	1.27	1.21	1.08	0.80	1.58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.04	0.02	0.00	0.01
MnO	0.01	0.10	0.01	0.00	0.04
FeO	0.70	1.11	0.70	0.82	1.05
SrO	0.00	0.02	0.04	0.03	0.02
BaO	0.05	0.13	0.07	0.22	0.05
Totale	94.88	94.82	95.55	93.97	95.24
O=F,Cl	-0.09	-0.06	-0.06	-0.09	-0.04
Totale	94.79	94.76	95.49	93.88	95.19
H <sub>2</sub> O calc.	4.48	4.46	4.52	4.44	4.50
Totale	99.28	99.23	100.01	98.33	99.69
O stoch.	47.70	47.51	48.15	47.24	47.88
Si	6.04	6.01	6.14	6.08	6.05
Ti	0.13	0.12	0.11	0.08	0.16
Al	5.67	5.66	5.57	5.68	5.59
Fe2+	0.08	0.12	0.08	0.09	0.12
Mg	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.07	0.11	0.10	0.08	0.10
K	1.78	1.80	1.77	1.77	1.77
Ba	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
F	0.09	0.06	0.06	0.09	0.04
Totale	14.01	14.04	13.97	14.01	13.97
O=F,Cl	-0.09	-0.06	-0.06	-0.09	-0.04
Totale	13.92	13.99	13.91	13.92	13.93
OH	3.99	4.00	4.00	3.99	4.00
OH+F+Cl	4.08	4.08	4.05	4.08	4.04
Al IV	1.96	1.99	1.86	1.92	1.95
Al V	3.71	3.67	3.71	3.76	3.64
oct	4.06	4.07	4.03	4.06	4.06
Sito A	1.86	1.92	1.88	1.86	1.87
paragonite % (Na)	4.03	5.89	5.45	4.10	5.40

	LOZ117_3_MS1	LOZ117_3_MS2	LOZ117_5_MS1	LOZ117_5_MS2
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	14.00	14.00	14.00	14.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ117_3_MS1	LOZ117_3_MS2	LOZ117_5_MS1	LOZ117_5_MS2
F	0.17	0.13	0.20	0.13
Cl	0.00	0.00	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.35	0.39	0.40	0.46
MgO	0.66	0.59	0.67	0.68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.48	36.99	36.91	37.15
SiO <sub>2</sub>	43.85	45.43	45.43	44.88
K <sub>2</sub> O	10.73	10.66	10.73	10.82
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	1.36	1.32	0.91	0.60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.04	0.04	0.09
MnO	0.03	0.03	0.00	0.05
FeO	0.82	0.88	0.92	0.73
SrO	0.03	0.04	0.04	0.08
BaO	0.08	0.07	0.05	0.07
Totale	94.60	96.57	96.30	95.73
O=F,Cl	-0.07	-0.06	-0.06	-0.06
Totale	<b>94.53</b>	<b>96.51</b>	<b>96.22</b>	<b>95.67</b>
H <sub>2</sub> O calc.	4.45	4.56	4.54	4.51
Totale	<b>98.97</b>	<b>101.07</b>	<b>100.76</b>	<b>100.18</b>
O stretch.	47.34	48.50	48.30	48.02
Si	5.91	5.98	6.00	5.97
Ti	0.14	0.13	0.09	0.06
Al	5.80	5.74	5.75	5.82
Fe2+	0.09	0.10	0.10	0.08
Mg	0.13	0.12	0.13	0.13
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.09	0.10	0.10	0.12
K	1.85	1.79	1.81	1.84
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.07	0.06	0.08	0.06
Totale	14.09	14.02	14.07	14.09
O=F,Cl	-0.07	-0.06	-0.08	-0.06
Totale	14.02	13.96	13.99	14.04
OH	3.99	4.00	3.99	4.00
OH+F+Cl	4.07	4.05	4.08	4.05
AlIV	2.09	2.02	2.00	2.03
AlY	3.71	3.72	3.75	3.79
oct	4.08	4.07	4.08	4.08
Sito A	1.94	1.89	1.91	1.96
paragonite % (Na)	<b>4.72</b>	<b>5.24</b>	<b>5.35</b>	<b>6.09</b>

	LOZ121_1_MS1	LOZ121_2_MS1	LOZ121_2_MS2	LOZ121_3_MS1	LOZ121_3_MS2	LOZ121_4_MS1	LOZ121_4_MS2
Anioni	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Cationi	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Elemento	LOZ121_1_MS1	LOZ121_2_MS1	LOZ121_2_MS2	LOZ121_3_MS1	LOZ121_3_MS2	LOZ121_4_MS1	LOZ121_4_MS2
F	0.20	0.15	0.19	0.12	0.19	0.19	0.19
Cl	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.35	0.39	0.39	0.42	0.46	0.39
MgO	0.67	0.62	0.72	0.75	0.77	0.78	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.17	36.56	33.94	35.92	36.82	36.41	36.70
SiO <sub>2</sub>	45.17	45.83	49.94	45.40	44.49	45.72	45.80
K <sub>2</sub> O	10.80	10.76	10.40	10.73	10.80	10.83	10.73
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.34	0.61	0.31	0.27	0.25	0.44
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.04	0.02	0.00	0.06	0.02	0.00
MnO	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.05	0.02
FeO	0.81	0.76	0.93	0.95	0.87	1.11	0.97
SiO	0.01	0.00	0.05	0.02	0.08	0.02	0.01
BaO	0.06	0.07	0.04	0.06	0.06	0.04	0.06
Totale	94.96	95.48	97.27	94.67	94.83	95.88	96.15
O=F:Cl	-0.09	-0.06	-0.08	-0.05	-0.08	-0.08	-0.08
Totale	<b>94.87</b>	<b>95.42</b>	<b>97.19</b>	<b>94.61</b>	<b>94.75</b>	<b>95.80</b>	<b>96.06</b>
H <sub>2</sub> O calc.	4.48	4.51	4.63	4.47	4.46	4.52	4.54
Totale	<b>99.35</b>	<b>99.93</b>	<b>101.81</b>	<b>99.08</b>	<b>99.21</b>	<b>100.32</b>	<b>100.60</b>
O stoch.	47.62	48.05	49.24	47.57	47.50	48.06	48.27
Si	6.05	6.09	6.47	6.09	5.98	6.07	6.05
Ti	0.06	0.03	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04
Al	5.71	5.72	5.18	5.68	5.83	5.70	5.72
Fe <sup>2+</sup>	0.09	0.08	0.10	0.11	0.10	0.12	0.11
Mg	0.13	0.12	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.11	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.10
K	1.85	1.82	1.72	1.84	1.85	1.83	1.81
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.09	0.06	0.08	0.05	0.08	0.08	0.08
Totale	14.09	14.03	13.86	14.06	14.14	14.11	14.08
O=F:Cl	-0.09	-0.06	-0.08	-0.05	-0.08	-0.08	-0.08
Totale	14.01	13.97	13.78	14.00	14.06	14.03	14.00
OH	3.99	3.99	3.99	4.00	3.99	3.99	3.99
OH+F:Cl	4.08	4.06	4.07	4.05	4.07	4.07	4.07
AlIV	1.95	1.91	1.53	1.91	2.02	1.93	1.95
AlV	3.76	3.81	3.66	3.77	3.80	3.77	3.77
oct	4.05	4.06	3.96	4.06	4.10	4.08	4.09
Sito A	1.96	1.92	1.82	1.94	1.96	1.96	1.91
paragonite % (Na)	<b>5.43</b>	<b>4.66</b>	<b>5.43</b>	<b>5.27</b>	<b>5.62</b>	<b>6.06</b>	<b>5.24</b>



# Appendice B

CAMPIONE	r <sup>2</sup>	dev.st r <sup>2</sup>	Area analitica D1	Area analitica B	Area analitica D2	R2	media R2	dev.st R2	Temperatura	media T	dev.st T	num. Analisi	errore st	commento
lor1_30	0.98601155		140.95783	1320.21731	16.3494102	0.095401345			599					
lor1_33 *								≥	641					
lor1_38	0.9902098		2.1166683	1487.88409	1.62806611	0.001419032			640					
lor1_43	0.99133248		4.0641299	1909.92882	6.8872668	0.002115764			640					
lor1_49	0.99480729		294.84149	2516.91879	40.2483606	0.103380293			595					
lor1_57	0.99714053		121.241125	3669.30647	14.1025933	0.031866563			627					
lor1_61	0.99523988		422.947624	2736.05368	330.862954	0.121193145			587					
lor1_64	0.99197662		1044.75397	2475.56633	79.117626	0.290254754			512					
lor1_67	0.99046351		7.99483906	3644.02013	10.1861583	0.002183069			640					
lor1_70	0.99310347		160.006068	3759.22211	13.6544857	0.04068417			623					
lor1_75	0.9728526		467.724952	1650.27372	2129.60654	0.110114877			592					
lor1_78	0.98541274		148.355926	1739.32642	0.00997935	0.078591158			606					
lor1_81	0.99079675		68.4316905	4039.03107	35.3392537	0.016518214			634					
lor1_87	0.98197755		2383.52478	2013.73806	80.1360783	0.532345861			404					
lor1_89	0.97927289		512.714849	1269.59003	25.5372135	0.283605991			515					
lor1_95	0.9795115		55.2168119	1145.70301	0.67446379	0.045952958			621					
lor1_99	0.96349611		236.248788	1200.71462	6.21331291	0.163700526			568					numero di fondo
lor1_105	0.9898212		392.870001	1731.27604	19.9388078	0.183234353			559					
lor1_114	0.98000538		180.445273	1894.68018	10.7531959	0.08650804			603					
lor1_122	0.99212346		194.269782	1376.66195	21.6849738	0.121981505			587					
lor1_125	0.99542777		126.141243	4008.51046	18.3670579	0.030373386			627					
lor1_133	0.99531944		15.5131382	3374.67748	23.3109332	0.004544641			639					
lor1_138	0.99326915		473.037375	4196.26952	8.59974719	0.101121594			596					
lor1_142 *								≥	641					
lor1_144 *								≥	641					

CAMPIONE	r <sup>2</sup>	dev.st.r <sup>2</sup>	Area analitica D1	Area analitica B	Area analitica D2	R2	media R2	dev.st.R2	Temperatura	media T	dev.st T	num. Analisi	errorest	commento
lor1_148	0.99025729		618.640085	1942.22462	23.7396388	0.239355817			534					
lor1_152	0.99509021		736.765263	2773.27787	203.96079	0.198374929			553					
lor1_005	0.99055744		7196.32413	46886.9951	1081.08664	0.130452309			583					
lor1_010	0.98312863		40111.3566	1.08E+05	1464.3657	0.26897678			521					
lor1_013								≥	641					
lor1_014	0.99672665		8819.66378	1.37E+05	542.634724	0.060320943			614					
lor1_015									641					
lor1_016	0.99793925		6333.82853	1.57E+05	393.136426	0.038628687			624					
lor1_018	0.96279324		30983.0894	35421.2584	758.147398	0.461315341			436					
lor1_019 *								≥	641					
lor1_20 *								≥	641					
lor1_21	0.99142804		219.380626	4271.86935	76.1879803	0.048031441			620					
lor1_22	0.9830958		16939.9493	83036.6389	290.155676	0.168948832			566					
lor1_23	0.99056114		1272.58447	1.88E+05	778.908754	0.006686499			638					
lor1_24	0.98096008		3541.24023	87000.9472	28.4808522	0.039099195			624					
lor1_28	0.95291495		3197.07982	36532.7949	237.275876	0.079992688			605					
lor1_29	0.99062983	0.01038823	2800.23399	20880.3573	479.999423	0.115900891	0.122947877	0.12449479	589	595	54.5074433	42	8.4106811	
lor5_4	0.98664985		392.379586	2547.16474	12.0764689	0.132936991			582					
lor5_8	0.99483999		624.801455	3322.17065	37.4031934	0.156812902			571					
lor5_12	0.99307323		73.4485926	5389.60178	78.0523882	0.01325523			635					
lor5_15	0.98614592		403.017608	1748.68988	20.1725158	0.185561637			558					
lor5_18 *									641					
lor5_26	0.98770558		1222.78662	2532.34235	21.9291409	0.323740484			497					
lor5_31	0.97531602		387.425833	1245.9529	35.8123871	0.232103938			538					
lor5_35	0.97840126		221.800211	2204.56955	17.6915411	0.090750674			601					
lor5_40	0.98529371		25.3265603	990.435191	0.06911147	0.024931867			630					
lor5_42	0.97198443		153.960156	1482.02266	5.30393619	0.093804544			599					
lor5_49	0.99157544		372.50371	3245.33046	26.5483502	0.102213121			596					
lor5_53	0.98307265		426.689177	1502.96877	15.8337354	0.219322026			543					

CAMPIONE	r <sup>2</sup>	dev.st.r <sup>2</sup>	Area analitica D1	Area analitica B	Area analitica D2	R2	media R2	dev.st.R2	Temperatura	media T	dev.st T	num. Analisi	errore st	commento
lor5_55	0.98876868		0.27486726	4128.21396	49.6996069	6.57862E-05			641					
lor5_58 *								≥		641				
lor5_60	0.99629685		626.556885	3714.91928	155.122588	0.139340181			579					
lor5_64	0.98001185		314.248643	2008.76429	10.1013182	0.134690636			581					
lor5_67	0.9943734		430.904109	2891.04552	22.5719661	0.128838788			584					
lor5_74 *								≥		641				
lor5_78	0.95568673		29.7705094	820.841696	1.63766301	0.034875046			625					
lor5_81	0.99145611		654.521665	3677.76901	18.4846768	0.150437936			574					
lor5_032	0.99383784		5825.92315	52070.2557	390.191547	0.099953439			597					
lor5_033	0.99890262		2119.98579	1.20E+05	147.661158	0.017385818			633					
lor5_036	0.98526683		8044.39187	55753.0478	488.918131	0.125133732			585					
lor5_037	0.98814212		6449.27859	15792.7766	2115.92411	0.264770674			523					
lor5_039	0.99311546		26926.63	51333.7289	3705.60642	0.328509887			495					
lor5_040 *									641					
lor5_041 *									641					
lor5_042	0.9561744		15562.8919	35878.7373	1050.95733	0.296477902			509					
lor5_044	0.99617702		24930.7967	1.51E+05	404.225006	0.138633011			579					
lor5_045 *								≥		641				
lor5_046 *								≥		641				
lor5_048	0.99553895		70147.7061	1.54E+05	1848.66802	0.310448007			503					
lor5_049	0.99104331		50.5672855	1475.66959	29.3206568	0.032507499			627					
lor5_050	0.99393022		13363.3202	88270.2713	2183.69036	0.128719612			584					
lor5_051	0.99230969	0.01087469	3855.12546	79360.9006	5368.66938	0.043519091	0.141062159	0.09805377	622	<b>591</b>	46.485959	35	<b>7.8575612</b>	
lor117_87 *									≥	641				
lor117_93	0.96851062		163.622342	530.411721	18.7517961	0.229553294			539					
lor117_98	0.96096876		117.08283	682.206196	9.5806876	0.144748688			577					
lor117_101	0.97213135		131.967089	1379.21677	13.9959109	0.086525596			602					
lor117_104	0.96730411		137.215473	1299.78937	10.6894598	0.094782077			599					
lor117_106	0.94541321		24.4167908	1675.32777	0.25908443	0.014362787			635					



CAMPIONE	r <sup>2</sup>	dev.st.r <sup>2</sup>	Area analitica D1	Area analitica B	Area analitica D2	R2	media R2	dev.st.R2	Temperatura	media T	dev.st.T	num. Analisi	errore st	commento
lor117_112	0.97016892		138.232526	749.664554	7.75915812	0.154336586			572					
lor117_115	0.95394449		1515.12556	3155.74799	245.809689	0.308160092			504					rumore di fondo
lor117_122	0.97980631		464.057833	780.563035	57.9138934	0.356272897			482					
lor117_128	0.89971034		59.9032158	59.9032158	0.03884305	0.499837945			419					rumore di fondo
lor117_134	0.99446548		565.142723	2497.30086	84.4399888	0.179588062			561					
lor117_140	0.98542657		166.456938	987.356629	8.47570183	0.143214725			577					
lor117_142	0.99375982		437.052652	1417.50028	27.6334956	0.232204762			538					
lor117_148	0.95662636		299.522106	1445.12628	169.973408	0.156439307			571					
lor117_150	0.98421626		630.437812	2755.14075	27.7075124	0.184701135			559					
lor117_155	0.98656145		233.204393	1469.43351	36.0820203	0.134124185			581					
lor117_164	0.99481613		710.177507	2458.08725	27.1416222	0.222249512			542					
lor117_169	0.97905536		289.083071	943.401769	12.6646874	0.232167354			538					
lor117_178	0.98863795		345.975713	1848.76645	43.5997495	0.154567857			572					
lor117_188	0.96851062	0.02245653	163.622342	530.411721	18.7517961	0.229553294	0.197757377	0.10696925	539	557	50.3373228	20	11.2557676	
gav2_4	0.95780438		328.396464	543.041707	26.5879216	0.365686996			478					
gav2_9	0.91644275		105.595622	378.078213	4.9905995	0.216090254			545					
gav2_18	0.98680331		331.526794	1190.29219	4.71744314	0.217175816			544					
gav2_24	0.96237069		521.075148	986.74893	29.8513265	0.338872005			490					
gav2_26	0.99572034		534.197363	2470.18502	30.4885006	0.176019799			563					
gav2_29	0.99514703		980.327446	3793.39002	183.959839	0.197739261			553					
gav2_34	0.97923628		312.475585	1256.85828	23.4700011	0.196179575			554					
gav2_39	0.95915714		171.036799	582.363868	43.9503158	0.214506287			546					rumore di fondo
gav2_43	0.94105367		191.349499	744.056039	24.0801575	0.199429236			552					rumore di fondo
gav2_47	0.98091333		227.56092	803.073292	21.6389657	0.216256505			545					
gav2_49	0.99599224		754.501507	2473.05457	48.5081475	0.2303073			539					
gav2_55	0.99629893		1138.63277	3075.7427	104.721619	0.263627501			524					
gav2_59	0.93588038		386.916363	609.911051	36.9201458	0.374285152			474					rumore di fondo
gav2_62	0.99631825		587.057994	3490.9781	31.7996208	0.142842205			577					
gav2_66	0.99039841		145.222558	2795.74725	268.029392	0.045254782			621					
gav2_72	0.99017222	0.02534517	449.400168	2383.07958	5.31657079	0.158362376	0.222039691	0.083617556	571	542	37.2098123	16	2.32561327	

\* l'analisi presenta il solo picco G, per cui la temperatura risulta essere  $\geq 641^{\circ}\text{C}$ .