



## Doctoral Thesis

# **A new descriptive methodology and study of polymineralic fault rocks from reactivated shear zones of the Ivrea Zone, Northern Italy**

**Author(s):**

Semeniuk, Trudi Ann

**Publication Date:**

2003

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004713986> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Doctoral Thesis ETH No. 15247

**A new descriptive methodology and study of polyminerale fault rocks from  
reactivated shear zones of the Ivrea Zone, Northern Italy.**

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Science

presented by

**Trudi Ann Semeniuk**

BSc (Hons), University of Western Australia

born 29.03.1971

citizen of Australia

accepted on the recommendations of:

Prof. Dr. A. B. Thompson

PD Dr. R. Schmid

Prof. Dr. B. Grob ty

Assoc. Prof. Dr. G. A. Pennacchioni

examiner

co-examiner

co-examiner

external examiner

**2003**

## Abstract

The Ivrea Zone, a high-grade metamorphic terrane located in Northern Italy within the tectonic context of the Southern Alps, provides a geological setting to investigate the evolution of microstructures and petrology within multiply reactivated shear zones, and given the complexity of the fault rocks therein, to develop a new methodology to describe and classify such fault rocks. The shear zones documented within this study occur within the granulite facies terrane of the Val Grande, Val d'Ossola and Val Strona, within Stronalite, Orthopyroxene-rich mafic granulite and Amphibolite host rocks. The shear zones are discrete zones between 10 cm to 10 m thick, mainly localised along lithologic contacts, and comprise bands of ultramylonite, cataclasite, resheared pseudotachylyte and pseudotachylyte fault veins. At least three distinct phases of overprint with clear crosscutting relationships are recognised: pseudotachylyte-filled Riedel fault set, albite or chlorite Riedel fault set, chlorite-filled dip-slip fault set, and undeformed pseudotachylyte faults. Later overprints are correlated with west-side up 'back-thrusting' of the Sesia Zone against the Ivrea Zone and dextral strike-slip and west-side down dip-slip faulting during the Alpine Orogeny. On the basis of the style of deformation, overprint history, stable parageneses within the shear zone, and Ar-Ar dating of one sample, these shear zones are assigned to the regionally defined Alpine phase of deformation. As such, they indicate the Ivrea Zone has been more heavily overprinted by the Alpine orogeny than previously thought. In a regional context, the shear zones likely constitute a new terrane boundary within the Ivrea Zone, subdividing the granulite and amphibolite facies along a tectonic contact. Microstructures within the shear zone are consistent with the shear deformation and the structural overprints observed in the field at meso- to regional scale. At the thin-section scale the ductile shear deformation and three brittle overprints are expressed as: ultramylonite zones, chlorite-rich cataclastic bands and biotite-rich shear bands, low-angle microfaults, chlorite-filled high-angle microfaults, and pseudotachylyte veins. There is a predominance of ductile microstructures within the shear zone.

Samples analysed in detail were collected along strain gradients across shear zones at four sites within the Northern part of the Ivrea Zone, viz., Anzola, Otr, Forno and Piane di Forno. Fabrics of these fault rocks are typically complex, comprising mainly planar polymineralic fabric elements formed by cataclastic deformation of lithologically distinct host rocks and mineralogically distinct laminae within these host rocks. Less complex fabrics comprising mainly monomineralic fabric elements are formed by plastic or cataclastic deformation of monomineralic host fabric elements and mineral grains. Monomineralic fabric elements result from strain partitioning at the grain scale, however strain partitioning mainly occurs at the fabric scale within polyolithic shear zones.

The textures of the various fabric elements within the shear zone depend on mineralogy. Polymineralic fabric elements are characterised by cataclastic textures, whereas monomineralic fabric elements are characterised by subgrain structures. Textures of the polymineralic cryptocrystalline bands (viz., fine grain size, no preferred orientation in quartz, possible cavitation pits in quartz, alignment of biotite, and increasing intracrystalline deformation of plagioclase with decreasing grain size) suggest these zones were reactivated and may represent resheared pseudotachylyte.

All minerals within quartz-rich and biotite-rich cryptocrystalline laminae of the shear zones show grain size reduction, grain shape changes, and an increased number of intragranular defect structures in plagioclase and garnet related to deformation. Limited microplasticity in plagioclase (twins and tangled dislocations) and garnet (free dislocations and subgrains) suggest shearing occurred under lower amphibolite facies conditions. A number of intragranular defects are related to later greenschist facies overprint, including fluid inclusion trails, microfractures and microfaults. At the grain scale, defects overprint each other consistent with patterns observed at the micro- to regional scale, e.g., brittle microfractures overprint fluid inclusion trails, which in turn crosscut dislocation structures in plastically deformed regions in garnet. Microtextural evidence for late fluid infiltration along fractures within the shear zones includes etch-pits on recrystallised quartz grains, fluid inclusion trails in garnet clasts, and chlorite interlayers within biotite grains.

All shear zones exhibit chemical changes associated with partial re-equilibration to lower amphibolite facies conditions during shearing. The main chemical changes for garnet-biotite rich rocks are associated with formation and recrystallisation of pseudotachylyte, with changes to both garnet and biotite compositions (decrease in Mg content). The main chemical changes for hornblende-rich rocks are associated with retrogressive reactions, with changes to both hornblende (decrease in Mg content) and plagioclase (decrease in Ca content) compositions. All shear zones show some low grade alteration.

There are some site-specific variations to the general patterns of fabric, texture and mineralogy described above for the Ivrea Zone fault rocks. Specifically, fault rocks from Anzola have simpler fabrics (with a predominance of monomineralic fabric elements) compared with other sites, and the equigranular textures only observed at this site indicate that recrystallisation linked to water-rich fluids has altered original deformation textures. The extent of late greenschist facies alteration within different shear zones also varies between sites. The most intense low grade overprint and retrogression is observed at the Otr.

In conclusion, the shear zones investigated within this work illustrate the microstructural, fabric and textural complexity of fault rocks generated within polymineralic systems. An additional level of complexity in microstructure, fabric, texture and mineralogy is introduced by the polymetamorphic history of these shear zones, which contributed to the formation of pseudotachylyte. The complexity of the fault rocks described in this study at the fabric scale, highlighted problems with the current classification and nomenclature systems for fault rocks. Hence, this thesis uses the Ivrea Zone fault rocks as a case study to develop a new terminology and descriptive methodology for classifying complex fault rocks. The new scheme is developed within a historical and philosophical framework.

## Zusammenfassung

Die hochgradig metamorphen Gesteine der Ivrea Zone, Teil der in Norditalien gelegenen südalpiner Unterkruste, weisen mehrphasig überlagerte Deformationsstrukturen auf, die es erlauben, die Entwicklung von Deformation und Petrogenese innerhalb der reaktivierten Scherzonen zu untersuchen und eine neue Methodik zur Beschreibung und Klassifikation von solchen Gesteinen zu entwickeln. Die im Val Grande, Val d'Ossola und Val Strona untersuchten Scherzonen treten in Stronaliten, orthopyroxenreichen mafischen Granuliten und Amphiboliten der granulitfaziellen Ivrea Zone auf. Die 10 cm bis 10 m mächtigen Scherzonen treten meist an lithologischen Kontakten auf und weisen ein breites Spektrum von Deformationsgefügen auf, das Ultramylonite, Kataklastite und gescherte und undeformierte Pseudotachylyte umfasst. Mindestens drei unterschiedliche Phasen der Überprägung können aufgrund der Relativbeziehungen unterschieden werden: Pseudotachylyt-führende Riedel-Scherzonen, Albit- oder Chlorit-gefüllte Riedelbrüche, Chlorit-gefüllte Abscherbrüche und undeformierte Pseudotachylyte. Spätere Überprägungen können mit der ostgerichteten Rücküberschiebung der Sesia Zone relativ zur südalpiner Ivrea Zone und dem nachfolgenden dextralen Aufschieben der Ivrea Zone während der alpinen Deformation Phase korreliert werden. Aufgrund des Deformationsstiles, der Relativbeziehungen, der Mineralparagenese innerhalb der Scherzone und basierend auf einer Ar-Ar-Datierung von Biotiten eines Ultramyloniten werden die Scherzonen der regional definierten alpinen Deformation zugeordnet. Daraus folgt, dass die typisch präalpine Ivrea Zone stärker von der alpinen Deformation überprägt wurde als ursprünglich angenommen wurde. Regional betrachtet markieren die untersuchten Scherzonen eine neu erkannte tektonische Grenze, die Bereiche mit granulitfazieller von solchen mit amphibolitfazieller Überprägung trennt. Geothermobarometrische Daten und jüngste Zirkon Spaltspurenalter anderer Autoren unterstützen diese Interpretation einer regional wichtigen Diskontinuität. Mikrot Texturen innerhalb der Scherzone stimmen mit den meso- bis regional beobachteten strukturellen Überprägung überein. Die untersuchten Reaktivierungen weisen mehrheitlich Deformationen unter kristallplastischen Deformationsbedingungen auf. Mikroskopisch können die vorgefundenen Ultramylonitzonen, Chlorit-reichen Kataklastitbänder und Biotit-reichen Scherbänder, die flach einfallenden Mikrobrüche, Chlorit-gefüllten grosswinklig zur Hauptstruktur stehenden Mikrobrüche und die Pseudotachylyt-Adern einer duktilen und drei spröden Deformationen zugeordnet werden.

Die hier im Detail untersuchten Proben wurden entlang Verformungsgradienten von Scherzonen von vier ausgewählten Lokalitäten der nördlichen Ivrea Zone (Anzola, Otrà, Forno und Piane di Forno) gesammelt. Das oft komplizierte Gefüge der Scherzonengesteine weist mehrheitlich planare, monomineralische Gefügeelemente auf, die durch Kataklastose von lithologisch und mineralogisch unterschiedlichen Wirtgesteinen oder Zonen davon entstanden sind. Weniger komplexe, mehrheitlich monomineralische Gefüge wurden durch kristallplastische oder kataklastische Deformation von Gefügeelementen und Mineralkörnern von monomineralischen Wirtgesteinen geformt. Monomineralische Gefügeelemente sind das Resultat von Verformungsteilung im Korngrößenmassstab; dennoch tritt Verformungsteilung innerhalb polyolithologischen Scherzonen mehrheitlich im Gefügemassstab auf.

In Abhängigkeit der Mineralogie bilden sich unterschiedliche Strukturen der Gefügeelemente aus. Polyminalische Gefügeelemente sind durch kataklastische Strukturen charakterisiert, während monomineralische Elemente durch Subkornbildung definiert sind. Das Gefüge von polyminalischen, kryptokristallinen Bändern, die durch eine kleine Korngrösse, keine bevorzugte Kristallorientierung im Quarz, mögliche Ätzstruktur in Quarz, Einregelung der Biotite, und mit Abnahme der Korngrösse zunehmende intrakristalline Deformation von Plagioklas charakterisiert werden, wird als reaktivierte Struktur interpretiert, die möglicherweise aus der Verscherung eines Pseudotachylyten hervorging.

Alle Minerale aus quarz- und biotitreichen kryptokristallinen Laminationen von Scherzonen zeigen Korngrößenverminderung, Kornformveränderung und in den Kristallgittern von Plagioklas und Granat eine erhöhte Anzahl von deformationsbedingten, intragranularen Defekten. Die endliche Mikroplastizität von Plagioklas (Zwillingsbildung und tangled Dislokationen) und Granat (freie Dislokationen und Subkörner) lassen auf Scherung unter Bedingungen der unteren Amphibolitfazies schliessen. Einige intragranulare Defekte wie Flüssigkeitseinschluss Spuren, Mikrorisse und -brüche weisen auf die nachfolgende grünschieferfazielle Überprägung hin. Die makroskopischen Deformationsüberlagerungen stimmen mit den mikroskopischen und regionalen beobachteten Relativbeziehungen überein, so schneiden z.B. spröde Mikrostrukturen, die Spuren von Flüssigkeitseinschlüssen überprägen, wiederum selbst Dislokationsstrukturen aus kristallplastisch deformierten Bereichen durch. Ätzstrukturen auf

rekristallisierten Quarzkörnern, Spuren von Flüssigkeitseinschlüssen in Granat und Chlorit-Zwischenlagen in Biotitkörnern beweisen eine späte Fluidinfiltration in die Scherzonen entlang diskreter Brüche.

Alle Scherzonen weisen chemische Veränderungen auf, die mit der partiellen Reequilibrierung während der Scherung unter tiefer amphibolitfaziellen Bedingungen einhergehen. Die wichtigsten chemischen Veränderungen in Granat-Biotit-reichen Gesteinen stehen in Zusammenhang mit der Bildung und Rekristallisation von Pseudotachylyten und zeigen eine Abnahme des Mg-Gehaltes im Biotit und Granat. In den Hornblende-führenden Gesteinen werden retrograde Reaktionen für die Abnahme des Mg in der Hornblende und der Abnahme des Ca-Gehaltes im Plagioklas verantwortlich gemacht. Alle Scherzonen weisen zudem eine tiefgradige Alteration auf.

Abgesehen von diesen generellen Veränderungen können lokalitätsspezifisch Variationen in der Ausbildung des Gefüges, Struktur und Mineralogie beschrieben werden. Insbesondere die Scherzonengesteine von Anzola, wo mehrheitlich monomineralische Gefügeelemente beobachtet wurden, haben ein einfacheres Gefüge als die anderen Lokalitäten. Die nur hier beobachteten gleichkörnigen Texturen weisen daraufhin, dass die Rekristallisation auf die Interaktivität mit Fluiden zurückzuführen ist und diese die ursprüngliche Deformationsstrukturen verändert hat. Das Ausmass der späten grünschieferfaziellen Alteration unterscheidet sich zudem in den untersuchten Lokalitäten, wobei diese in Otravara am stärksten ist.

Die in dieser Arbeit untersuchten Scherzonen illustrieren die mikrostrukturelle und textuelle Komplexität von Scherzonengesteinen, die aus polymineralischen Gesteinen hervorgingen. Mikrostrukturen, Gefüge, Textur und Mineralogie werden zusätzlich durch die mehrphasige metamorphe Überprägung der Scherzonen kompliziert, was schliesslich zur Bildung von Pseudotachylyten führte. Daraus wird klar, dass die klassische Nomenklatur für Scherzonengesteine für die makroskopische Beschreibung nur bedingt anwendbar ist. Aus diesem Grund diente die vorliegende Untersuchung an Deformationsgesteinen aus der Ivrea Zone als Fallstudie für die Ausarbeitung einer neuen Terminologie und beschreibenden Methodik für die Klassifikation von Bruchgesteinen. Das neue Klassifikationsschema wurde in einen historischen und philosophischen Rahmen gestellt.