

**Reconstruction of subduction processes in the Mediterranean**  
**by laboratory and numerical experiments**

A dissertation submitted to the

***Swiss Federal Institute of Technology, Zürich***

for a degree of

***Doctor of Natural Science***

presented by

**FRANCESCA FUNICIELLO**

Diplom of Geology  
Università degli Studi di Roma "La Sapienza" (Italy)

born May 20, 1970  
citizen of Italy

accepted by the recommendations of

Prof. Dr. Domenico Giardini, examiner  
Prof. Dr. Harro Schmeling, co-examiner  
Prof. Dr. Claudio Faccenna, co-examiner  
Prof. Dr. Klaus Regenauer-Lieb, co-examiner

Zürich, 2002

## Abstract

The aim of this Thesis is to study the physics of subduction and to develop a dynamical model for back-arc extension in the Central Mediterranean. This is achieved combining 2-D numerical and 3-D laboratory models as well as geological and tomographic data of the Central Mediterranean. Concerning the physics of subduction two key problems have been addressed: the influence of rheology on slab dynamics and the feedback of slab-mantle deformation. The strategy of the approach is to formulate the simplest setup allowing the separation between the effects of slab rheology and the effects of slab mantle interaction.

In the 2-D numerical models (Chapter 3), forces external to the slab are replaced by simple analytical functions to isolate the role of rheology on trench dynamics. A systematic analysis of the slab dip, dynamics of interaction with the 660 km discontinuity, trench retreat, assessment of steady state conditions, forebulge uplift is comprehensively assessed on the grounds of the full rheological spectrum of slabs (elastic, viscous, and non-linear visco-elasto-plastic). It is found that only a very narrow rheological parameter space can satisfy the full range of observations from near surface-to deep deformation within a single model. Numerical solutions close to nature are obtained by models with significant elastic deformation (mapped by a local Deborah number  $De > 0.5$ ).

The complementary 3-D laboratory study (Chapters 4 and 6) focuses on the interaction of the slab with induced passive mantle flow by widely varying the slab-mantle feedback boundary conditions. It is found that mantle-lithosphere interactions play an important controlling dynamics of subduction. Slab dynamics can be strongly influenced by horizontal and vertical mantle stratification. Lateral component of mantle

outflow can also influence modeling results, restricting their possible application to natural systems (Chapter 6).

Plate tectonic history, geological timing, and modeling results are combined to reconstruct the evolution of the Central Mediterranean subduction over the last 80 Ma (Chapter 5). A fast, episodic retreat of the Central Mediterranean oceanic slab can be explained by purely gravity-driven subduction and interaction of the slab with the 660 km discontinuity.

## Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Physik von Subduktion zu studieren und ein dynamisches Modell für *Back-Arc* Extension im Zentralen Mittelmeer zu entwickeln. Dieses wird durch 2-D numerische und 3-D Labormodelle, unter Nutzung von geologischen und tomographischen Daten des Zentralen Mittelmeers kombinierend gewonnen. Hinsichtlich der Physik von Subduktion werden zwei Schlüsselprobleme genauer untersucht. Dies sind der Einfluß der Rheologie auf die Plattendynamik und die Rückkopplung der Platten/Manteldeformation. Es wird der einfachste Ansatz gewählt, der eine Trennung der Effekte der Plattenrheologie von den Effekten der Platten/Manteldeformations Rückkopplung erlaubt. In den 2-D numerischen Modellen (Kapitel 3), werden die externen Kräfte, die auf die Platte wirken, durch analytische Funktionen ersetzt, um die Rolle der Rheologie auf Subduktionsdynamik zu untersuchen. Eine systematische Analyse des Abtauchwinkels der Platte, der Dynamik der Abhängigkeit mit der 660 Kilometern Diskontinuität, des *Trench Retreat*, der Einschätzung der Lagezustände, des *Forebulge-Uplifts* wird umfassend auf Grund des vollen rheologischen Spektrums von visko-elasto-plastischen Platten durchgeführt. Es wird gefunden, daß nur ein sehr enger rheologischer Parameterraum das volle Spektrum an Beobachtungen von der nahen Oberfläche zur tiefen Deformation innerhalb eines einzelnen Modells erfüllen kann. Numerische Lösungen welche die Natur widerspiegeln werden durch Modelle mit bedeutender elastischer Deformation erreicht (beschrieben durch eine lokale Deborah Zahl  $De > 0,5$ ). Die ergänzende 3-D Laborstudie (Kapitel 4 und 6) untersucht genauer die Abhängigkeit der Platte mit dem durch Plattenbewegung verursachten passivem Mantelfluß, der durch die Modellrandbedingungen stark verändert werden kann Mantel-

Lithosphärenabhängigkeiten kann eine wichtige steuernde Rolle in der Dynamik von Subduktion spielen. Die Plattendynamik wird jedoch ebenfalls durch horizontale und vertikale Mantelschichtung, sowie seitwärtiges Mantelfliessen stark beeinflusst. Diese Faktoren können, wenn sie nicht richtig erkannt wurden eine mögliche Anwendung auf natürliche Systeme (Kapitel 6) einschränken. Die tektonische Geschichte, die geologische Entwicklung, und die Labor- und numerischen Resultate werden kombiniert, um die Entwicklung der zentralen Mittelmeersubduktion über die letzten 80 Ma (Kapitel 5) zu rekonstruieren. *Trench Retreat* des Zentralen Mittelmeerozeans kann die schnelle, episodische, geologische Entwicklung erklären, wenn Subduktion in Abhängigkeit mit der Interaktion der Platte und der 660 Kilometer-Diskontinuität berücksichtigt wird.