



APAT

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

Servizio Geologico d'Italia

DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO

Organo Cartografico dello Stato (legge n°68 del 2.2.1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXXXII



**STRUCTURAL STYLES
&
DOLOMITES FIELD TRIP**

Carlo Doglioni & Eugenio Carminati





A P A T

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
Servizio Geologico d'Italia
DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2.2.1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXXXII

STRUCTURAL STYLES

&

DOLOMITES FIELD TRIP

Stili strutturali ed escursione nelle Dolomiti

di

CARLO DOGLIONI & EUGENIO CARMINATI
Dipartimento di Scienze della Terra - Università La Sapienza, Roma

2008



This book is conceived more as an atlas rather than a text-book. It provides few introductory concepts in structural styles and the main topics of a field trip in the Dolomites (Southern Alps, northeast Italy). The main issues will be related to brittle deformation examples, and to the tectonics-sedimentation interplay.

Direttore responsabile : Leonello SERVA

REDAZIONE a cura del Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei

Dirigente: Norman ACCARDI

Capo Settore: Domenico TACCHIA

Coordinatore Editoriale: Marina COSCI, Maria Luisa VATOVEC

Allestimento digitale Cartografico ed Editoriale: Silvana FALCETTI

Introduction

Search and use of fossil energy sources, underground storage of natural gas during summer for the re-use during the cold season or whenever needed. They are only two out of several hot topics which brittle structural geology can provide a basic contribution to. However, many others might be listed. For all of them, knowledge of rock geometry, tectonics and interrelation between stress and strain, are crucial. The ways these information can be accessed are discussed in this volume which, in the first part, describes the state-of-the-art of the knowledge on rock mechanics and traditional tectonic structures. That knowledge is then applied to tectonic and geodynamic contexts in which these structures were formed. A large part of the volume shows examples of buried and outcropping structures, from the meter to the kilometric scales, in the Dolomites and in the Prealpi Bellunesi areas.

These examples are thematically and geographically grouped in order to create also a guide for the understanding of the central-eastern Southern Alps geology.

Therefore, the volume proposes different reading and use levels. It can either be considered a way to go further in depth in the basic knowledge on structural geology acquired during their studies by geologists, engineers or naturalists. Or it can be used as a didactic tool for university courses.

Introduzione

Ricerca e utilizzo di risorse energetiche fossili, stoccaggio di gas naturale nel sottosuolo in estate per un futuro riutilizzo nei mesi più freddi o in caso di crisi di rifornimento. Questi sono solamente due temi scottanti ai quali la geologia strutturale del fragile può contribuire in modo fondamentale. Ma molti altri potrebbero esserne elencati. Per tutti questi argomenti è cruciale la conoscenza della geometria dei corpi rocciosi nel sottosuolo, della tettonica e delle relazioni tra sforzo e deformazione. Le modalità con cui queste informazioni possono essere raggiunte sono trattate in questo volume, che nella prima parte presenta lo stato dell'arte sulla meccanica delle rocce e le strutture tettoniche classiche. Queste conoscenze sono poi inserite nei possibili contesti tettonici e geodinamici in cui si formano. Buona parte del volume illustra esempi di sottosuolo e di affioramenti, dalla scala metrica a quella chilometrica provenienti dalle Dolomiti e dalle Prealpi Bellunesi. Questi esempi sono raggruppati tematicamente e geograficamente in modo da costituire anche una guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale. Il volume propone pertanto diversi piani di lettura e di utilizzo. Può essere un approfondimento delle conoscenze elementari di geologia strutturale acquisite durante gli studi per geologi, ingegneri e naturalisti. Oppure può essere utilizzato come uno strumento didattico per corsi universitari.

Il Direttore del
Servizio Geologico d'Italia
Dr. LEONELLO SERVA

Preface

Eni, in collaboration with the Italian Geological Survey, is pleased to present this volume on structural styles. This volume is the result of a long and stimulating scientific collaboration with Professor Carlo Doglioni and Professor Eugenio Carminati from the Dipartimento Scienze della Terra (Earth Sciences Department) – Università La Sapienza, Rome and is based on the extensive notes compiled during various editions of a course that Professor Doglioni has been presenting for Eni geoscientists for more than a decade.

The experience acquired from this course, together with the continuous field research of the authors in the Dolomites over the last 25 years, has provided a natural opportunity to present an updated vision of the Geology of the Dolomites and an excellent example of the true benefits of the integration of the core geoscience disciplines of Field Geology, Structural Interpretation and Predictive Geological Modelling. The models described in this volume will find a practical application in geological interpretation and reservoir modelling of many carbonate complexes and successions worldwide. It will also provide inspiration for geoscientists and engineers with a wide range of scientific experiences and technicalities.

This contribution witnesses the importance that Petroleum Industry in general, and Eni Exploration & Production Division in particular, attribute to high quality geological field work. Indeed, we consider that is still possible – perhaps even mandatory – for geoscientists and engineers to learn key lessons from the direct observation of rocks and outcrop geometries in the field, particularly in an industry characterised by intense and aggressive development of workstation-based interpretation technology.

Eni welcomes this opportunity to collaborate once again with the Italian Geological Survey, which continues to generate major progress in the comprehension of the complex, marvellous, Italian geological environment.

Eni

Abstract

During the last 30 years, structural geology had relevant advances thanks to a wealth of data provided by geological and geophysical investigations. In this volume we propose a sort of handbook for basic tectonic features. We review the fundamental mechanics, and the most common features associated to brittle deformation. The main geometries and kinematics of compressional, transpressive, strike-slip, transtensive and extensional tectonic environments are presented. Moreover the migration of rupture along faults and the elementary evolution of diapirs are discussed. Few instances on how tectonics influences sedimentation, compaction, and the sedimentary architecture controls tectonics are highlighted. The structural features are then inserted in a wider geodynamic scenario in which the basic element is the basal decollement, with its depth, temperature, pressure and strain rate. The regional subsidence or uplift is combined with the growth rate of single tectonic features, which may locally increase or decrease the regional motions. This points to the computation for example of the fold total uplift, e.g., the uplift of an anticline minus the regional subsidence rate of the foredeep, that can even exceed the vertical growth rate of the fold. The combination with variable sedimentation rates may further differentiate the growth structures. The geodynamics of subduction zones and rift zones is discussed in the frame of the westward drift of the lithosphere, generating a worldwide asymmetry, which can be recognized as well as between the subduction zones in the Mediterranean realm. Unlike the Apennines, the Alps do not have a coaxial rifting in the hangingwall of the subduction, i.e., a backarc basin as the Tyrrhenian Sea. In this context, the Southern Alps and the Dolomites in particular, are rather the compressive retro-belt of the Alpine orogen, which is associated to the right-lateral transpressive subduction along the E-W trending segment of the belt. The Dolomites were undergoing rifting episodes during the Permo-Mesozoic. Fast subsidence rates during the Ladinian would support a backarc origin in the hangingwall of a W-directed subduction zone, possibly located in the present Pannonian Basin. The Dolomites are located half on the N-trending Trento Horst to the west, and the other half on the Belluno Graben to the east, both extensional features of Permo-Mesozoic age. The Trento Horst determined an undulation in the Alpine thrusting, being located in a recess since the early phases of shortening, generating left-lateral transpression along the western border (Giudicarie system), and right-lateral transpression on its eastern margin (Paleogene WSW-verging thrusts of the central-eastern Dolomites). The adjacent Lombard Graben (and basin) to the west, and the Belluno Basin to the east have rather been the seat of salients. The description of a five days field trip illustrates well exposed examples of tectonic features generated by the Mesozoic rifting and the later Cenozoic Alpine inversion that generated a classic thrust belt with imbricate fan geometry.

KEY WORDS: *Structural Geology, Tectonics-Sedimentation interplay, Geodynamics, Dolomites.*

Riassunto

Negli ultimi 30 anni, la geologia strutturale ha avuto un profondo avanzamento grazie ad una gran mole di nuovi dati geologici e geofisici. Questo volume è concepito come un piccolo manuale per le strutture tettoniche elementari. Dopo una breve descrizione di elementi di meccanica delle rocce, vengono descritte le strutture più comuni degli ambienti fragili, dagli ambienti compressivi a quelli transpressivi, trascorrenti, transtensivi e estensionali. Inoltre sono discusse le migrazioni della rottura lungo le faglie, e gli elementi di base dell'evoluzione dei diapiri. Vengono illustrati alcuni esempi di come la tettonica controlli la sedimentazione, la compattazione, e di come l'architettura stratigrafica influenzi la tettonica. Gli elementi strutturali sono poi inseriti in un contesto geodinamico più ampio, dove l'elemento di base è il piano di scollamento basale, con la propria temperatura, pressione e tasso di deformazione. La subsidenza o il sollevamento regionali sono combinati con la crescita di singole strutture tettoniche, che possono localmen-

te aumentare o diminuire il trend regionale. Questo porta ad esempio al concetto di sollevamento totale di un'anticlinale, dato dal tasso di sollevamento della piega, meno la subsidenza regionale dell'avanfossa, che può addirittura superare quella del sollevamento della piega. L'ulteriore combinazione col tasso di sedimentazione differenzia ulteriormente vari casi di anticlinali di crescita.

La geodinamica delle zone di subduzione e di rift viene sommariamente analizzata nell'ambito della rotazione verso ovest della litosfera rispetto al mantello sottostante, rotazione che genera un'asimmetria globale che può essere riconosciuta anche comparando le subduzioni del Mediterraneo. Al contrario degli Appennini, le Alpi non hanno un rift coassiale a tetto della subduzione, cioè un bacino di retroarco come il Tirreno. Il Sudalpino e le Dolomiti in particolare sono invece la retrocatena in compressione dell'orogene alpino, generato dalla subduzione transpressiva destra lungo il tratto E-W della catena. Le Dolomiti sono state oggetto di tettonica estensionale durante il Permo-Mesozoico. Una fase di rifting con tassi di subsidenza molto rapida durante il Ladinico indicherebbe un'origine di bacino di retroarco a tetto di una subduzione diretta ad ovest, subduzione che in quest'ipotesi si sarebbe dovuta trovare nell'area attualmente occupata dal Bacino Pannonico. Le Dolomiti si trovano a cavallo tra l'Horst di Trento e il Graben di Belluno, strutture estensionali orientate N-S. L'Horst di Trento ha determinato un'ondulazione assiale nei sovrascorrimenti, generando un recesso fin dalle prime fasi del raccorciamento alpino, con transpressione sinistra sul lato occidentale (sistema Giudicariense), e transpressione destra sul lato orientale (strutture paleogeniche OSO-vergenti delle Dolomiti centro-orientali). I graben adiacenti Lombardo e Bellunese (coincidenti con facies bacinali) sono stati invece sedi di salienti. La descrizione di un'escursione di cinque giorni illustra esemplari affioramenti di strutture tettoniche generate dal rifting Mesozoico e dalla successiva inversione Alpina Cenozoica che ha prodotto un classico esempio di catena di sovrascorrimenti con geometria a ventaglio embricato.

PAROLE CHIAVE: Geologia Strutturale, Rapporto Tettonica-Sedimentazione, Geodinamica, Dolomiti.

INDEX

1. Elements of rheology	pag.	9
2. Fault mechanics: some basic aspects	“	15
3. Thrusts, folds and orogens	“	23
4. Normal faults and rift zones	“	63
5. Strike-slip faults - Opposite migration of seismicity	“	81
6. Salt tectonics	“	91
7. Geodynamic framework of subduction zones	“	99
8. Tectonics and Sedimentation	“	109
9. Mediterranean Geodynamics	“	137
10. Stratigraphy of the Dolomites	“	147
11. Tectonics of the Dolomites	“	163
Dolomites field trip - 1 st day excursion	“	197
2 nd day excursion	“	209
3 rd day excursion	“	225
4 th day excursion	“	243
5 th day excursion	“	261
<i>References</i>	“	283