



# IL “CHiodo D’ORO” DI BAGOLINO

## (Italia settentrionale, Provincia di Brescia)

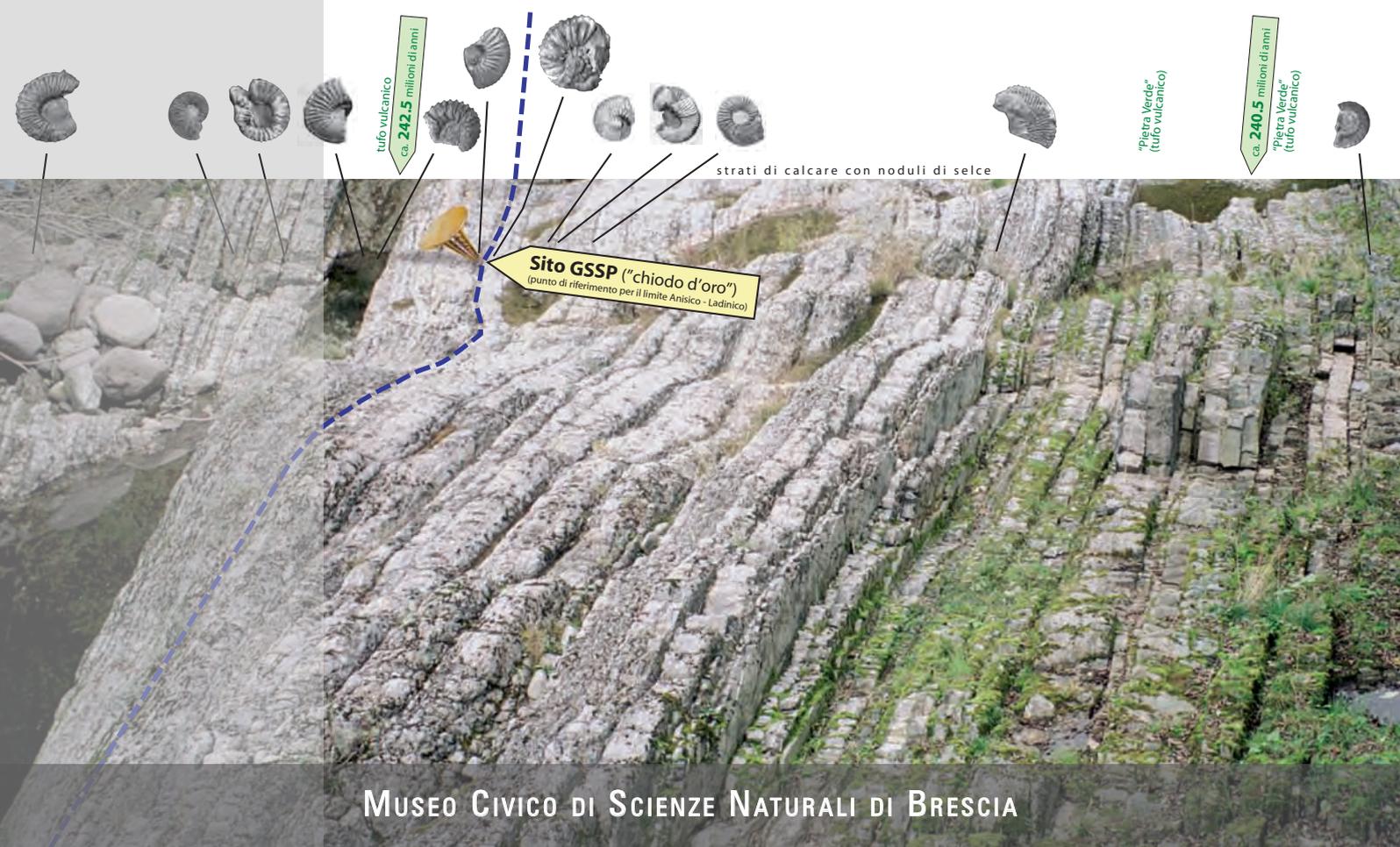
Concetti stratigrafici e inquadramento geologico del sito italiano di riferimento globale (GSSP, Global boundary Stratotype Section and Point) per la base del piano Ladinico

# THE “GOLDEN SPIKE” OF BAGOLINO

## (Northern Italy, Province of Brescia)

Stratigraphic concepts and geologic overview of the Italian Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Ladinian Stage.

PAOLO SCHIROLLI & PETER BRACK







## **IL “CHiodo D’ORO” DI BAGOLINO** (Italia settentrionale, Provincia di Brescia)

**Concetti stratigrafici e inquadramento geologico del sito italiano di riferimento globale  
(GSSP, Global boundary Stratotype Section and Point) per la base del piano Ladinico**

## **THE “GOLDEN SPIKE” OF BAGOLINO** (Northern Italy, Province of Brescia)

**Stratigraphic concepts and geologic overview of the Italian Global boundary Stratotype  
Section and Point (GSSP) for the base of the Ladinian Stage.**



IN COPERTINA | FRONT COVER:

*Ammonoidi e livelli vulcanici nei pressi del chiodo d'oro (GSSP)  
per il limite Anisico-Ladinico a Romanterra.*

*Ammonoids and volcanic layers near the golden spike (GSSP)  
of the Anisian-Ladinian boundary at Romanterra.*

# IL “CHiodo D’ORO” DI BAGOLINO

## (Italia settentrionale, Provincia di Brescia)

Concetti stratigrafici e inquadramento geologico del sito italiano di riferimento globale (GSSP, Global boundary Stratotype Section and Point) per la base del piano Ladinico

# THE “GOLDEN SPIKE” OF BAGOLINO

## (Northern Italy, Province of Brescia)

Stratigraphic concepts and geologic overview of the Italian Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Ladinian Stage.



PAOLO SCHIROLLI<sup>1</sup> & PETER BRACK<sup>2</sup>

MONOGRAFIE DI «NATURA BRESCIANA»  
N. 31 - 2011

<sup>1</sup> Museo Civico di Scienze Naturali, Via Ozanam 4, I-25128 Brescia, Italia, e-mail: pschirolli@comune.brescia.it

<sup>2</sup> Departement Erdwissenschaften, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich, Switzerland, e-mail: peter.brack@erdw.ethz.ch



COMUNE DI BRESCIA

**MONOGRAFIE DI «NATURA BRESCIANA»  
N. 31 - 2011**

**MUSEO CIVICO DI SCIENZE NATURALI DI BRESCIA**

VIA OZANAM 4 - 25128 BRESCIA (ITALIA)

**COMITATO SCIENTIFICO**

CARLO ANDREIS (MILANO) - ACHILLE CASALE (SASSARI) - GIUSEPPE CASSINIS (PAVIA)  
ALBERTO CASTELLARIN (BOLOGNA) - MAURO CREMASCHI (MILANO) - PAOLO FORTI (BOLOGNA)  
PAOLO MIETTO (PADOVA) - MARCELLO PIPERNO (ROMA)  
AUGUSTO PIROLA (PAVIA) - AUGUSTO VIGNA TAGLIANTI (ROMA)

**REDAZIONE**

STEFANO ARMIRAGLIO - PAOLO SCHIROLLI

«NATURA BRESCIANA»

DIRETTORE RESPONSABILE: MASSIMO TEDESCHI

AUTORIZZAZIONE DEL TRIBUNALE DI BRESCIA N. 33 DEL 03/06/1998

ISSN 0390-6639

<b>PRESENTAZIONE</b>	7
<b>PAROLE CHIAVE - RIASSUNTO</b> KEY WORDS - ABSTRACT	9
<b>PARTE PRIMA</b> <b>Inquadramento geologico della Provincia di Brescia</b> PART ONE Geological Overview of the Province of Brescia	
<b>1.1. L'assetto geologico generale</b> 1.1. General Geological Setting	12
<b>1.2. L'assetto strutturale</b> 1.2. Structural Framework	14
<b>1.3. La successione stratigrafica</b> 1.3. The Stratigraphical Succession	15
<b>1.4. Il territorio bresciano nel quadro della dinamica globale</b> 1.4. The Geology of the Brescia Area in a Global Geodynamic Perspective	18
<b>1.5. Le zone geologico-strutturali</b> 1.5. Geological and Structural Zones	22
<b>PARTE SECONDA</b> <b>Unità stratigrafiche e stratotipi: concetti basilari della stratigrafia</b> PART TWO Stratigraphic Units and Stratotypes: the Basic Concepts of Stratigraphy	
<b>2.1. Cosa studia la stratigrafia</b> 2.1. What is Stratigraphy about?	28
<b>2.1.1. Finestra di approfondimento: Il fondatore della Stratigrafia e il Principio di sovrapposizione</b> 2.1.1. Box: The Founder of Stratigraphy and the Superposition Principle	28
<b>2.2. Le unità fondamentali della classificazione stratigrafica</b> 2.2. The basic Units of Stratigraphic Classification	29
<b>2.3. Le unità stratigrafiche di riferimento globale</b> 2.3. The Stratigraphic Units of Global Reference	30
<b>2.4. Formazioni e Biozone</b> 2.4. Formations and Biozones	30
<b>2.5. Il formalismo della stratigrafia</b> 2.5. The Formalism of Stratigraphy	32
<b>2.6. Stratotipi e località-tipo</b> 2.6. Stratotypes and Type-Localities	33

<b>2.7. Il processo di accreditamento di un GSSP</b>	34
2.7. Procedures for Ratification of GSSPs	
<b>2.8. I "chiodi d'oro" (GSSP ratificati fino al 2010)</b>	35
2.8. The "golden spikes" (GSSPs ratified until 2010)	
<b>2.9. Annotazioni storiche sul Piano Ladinico: pròdromi di uno stratotipo</b>	35
2.9. Historical remarks on the Ladinian Stage: selection of a GSSP	
<hr/>	
<b>PARTE TERZA</b>	
<b>Il geosito di Romanterra</b>	
PART THREE	
The Romanterra Geosite	
<b>3.1. La geologia di Bagolino</b>	43
3.1. Geology of Bagolino	
<b>3.1.1. Introduzione</b>	43
3.1.1. Introduction	
<b>3.1.2. L'età delle rocce e la successione stratigrafica</b>	46
3.1.2. Age of the rocks and the general stratigraphic succession	
<b>3.1.3. La deformazione alpina e le geometrie attuali degli strati</b>	49
3.1.3. Alpine deformation and the present attitude of the strata	
<b>3.2. Romanterra: sito di riferimento globale per la scala temporale geologica</b>	52
3.2. Romanterra: Global Reference Site for the Geological Time Scale	
<b>3.2.1. Introduzione</b>	52
3.2.1. Introduction	
<b>3.2.2. Le formazioni sedimentarie presso il limite Anisico-Ladinico</b>	54
3.2.2. Sedimentary Formations near the Anisian-Ladinian Boundary	
<b>3.2.3. Resti e tracce fossili</b>	56
3.2.3. Remains and traces of fossils	
<b>3.2.4. Tufi vulcanici: l'origine e l'età del materiale vulcanico</b>	60
3.2.4. Volcanic tuff layers: their origin and age	
<b>3.2.5. Il "chiodo d'oro" per il piano LADINICO</b>	63
3.2.5. The "golden spike" for the LADINIAN Stage	
<hr/>	
<b>RINGRAZIAMENTI</b>	68
ACKNOWLEDGEMENTS	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	69
REFERENCES	



La località di Bagolino, in Valle del Caffaro è molto nota per alcune particolarità storiche e gastronomiche, quali il carnevale in costume, che ogni anno attira alcune migliaia di spettatori, e il formaggio "Bagoss", presidio Slow Food. Il paese e la sua popolazione hanno quindi profonde radici storiche e culturali legate al territorio e testimoniate anche da una importante attività mineraria durata alcuni secoli e sviluppata in condizioni ambientali dure e difficili. A queste particolarità e tradizioni storico-culturali si aggiunge dal 2004 una caratteristica in più: presso il paese di Bagolino è stato istituito un sito internazionale (GSSP) di grande importanza geologica per la definizione di un intervallo preciso del calendario della storia della Terra, ovvero il piano Ladinico. Questo volume spiega e descrive i principali aspetti di questo Geosito, noi vogliamo in questa sede ripercorrere brevemente gli avvenimenti che hanno portato al suo riconoscimento internazionale.

Le montagne e le valli del territorio di Bagolino hanno attirato geologi sin dal 1800, quando l'area apparteneva all'Impero austroungarico. La caratteristica particolare della zona era la ricchezza di tipi di rocce presenti, legata alla posizione del territorio di Bagolino vicino al margine meridionale dell'intrusione del plutone dell'Adamello in cui sono esposti meravigliosamente i rapporti con le rocce sedimentarie incassanti. Ai primi del 1900 vennero segnalati i primi fossili raccolti nella successione sedimentaria della zona, in una località presso il ponte di Romanterra, appena a valle dell'abitato di Bagolino. Questa località venne riscoperta da Peter Brack all'inizio degli anni '80 e da allora è iniziato un lungo percorso scientifico fatto di studi molto avanzati di macro- e microfossili, degli orizzonti tufitici e del paleomagnetismo. Nel 1991 il sito di Romanterra è entrato ufficialmente nel ristretto elenco dei siti più significativi al mondo per il Ladinico, ed è diventato oggetto di studio da parte di una apposita commissione di specialisti di tutto il mondo, appartenenti alla "Subcommission on Triassic Stratigraphy". Questa commissione fa a sua volta parte della "International Commission on Stratigraphy", che è l'organo internazionale incaricato di stabilire gli standard mondiali di riferimento per la scala del tempo geologico. La località è stata ufficialmente candidata nel 2002, quindi dal 2002 al 2004 la candidatura è stata sottoposta a verifica ed a una complessa sequenza di votazioni che hanno portato alla decisione finale del 2004. La presentazione scientifica ufficiale è stata fatta nel 2005 e negli anni successivi è iniziato l'allestimento del Geosito con un grosso impegno finanziario sostenuto dal Comune di Bagolino, Museo Civico di Scienze Naturali di Brescia ed il contributo della Società Edison. Il coordinamento è stato svolto da Peter Brack (ETH di Zurigo) e Paolo Schirolli (MCSN Brescia) in stretta collaborazione con le autorità locali.

Il percorso allestito inizia presso il ponte di Romanterra, ed è stato realizzato con un avvicinamento, un ponte, diversi pannelli esplicativi chiari e scientificamente

molto corretti, un punto panoramico ed il posizionamento di grossi campioni delle rocce principali della zona e di alcuni modelli dei principali fossili presenti (Ammonoidi). Il percorso si distingue nettamente rispetto ad altri sentieri geologici in Italia per l'ottima coniugazione di chiarezza esplicativa, completezza scientifica e varietà di campioni geologici visibili, combinate con sicurezza di accesso e brevità, che consentono realmente un accesso alla portata di tutti.

Il percorso è stato inaugurato il 18 luglio 2009, alla presenza di autorità locali, scienziati, professionisti e decine di abitanti e turisti. Nonostante un violento temporale in prima mattinata, il sito venne visitato da più di un centinaio di persone che poi hanno partecipato al rinfresco offerto dal Comune in un locale ove era stata allestita la pregevole mostra "Una finestra sulla camera magmatica". Da allora le aspettative del Comune e di tutta la popolazione del paese non crediamo siano state disilluse, anzi, possiamo dire che il percorso ha avuto un notevole successo in quanto è visitato regolarmente da turisti e da numerose escursioni didattiche da parte di studenti di scuole di vari livelli, fino all'università.

Questa guida ottimamente strutturata e scritta da Paolo Schirolli e Peter Brack rappresenta quindi l'ultimo atto di un lungo percorso scientifico e la sua pubblicazione nelle Monografie di Natura Bresciana conclude e completa la presentazione al pubblico del Geosito di Romanterra con una divulgazione scientifica veramente di alto livello. In Italia esistono altri 8 Geositi GSSP per intervalli di tempo diversi dal Ladinico, ma con la pubblicazione di questo volume Bagolino diventa senz'altro quello meglio attrezzato e presentato al pubblico.

In ultimo vorremmo esprimere il nostro plauso per le iniziative del Museo Civico di Scienze Naturali di Brescia. In questo periodo in cui si dà così poco valore alla cultura, è molto importante, e fa piacere, vedere un Museo così impegnato a valorizzare i legami tra cultura, storia, scienza e territorio come esemplificato dagli ultimi numeri delle Monografie di Natura Bresciana (27/2003 dedicato al plutone dell'Adamello ed il 30/2010 dedicato a Giuseppe Ragazzoni) che spiccano anche per la pregevole qualità grafica e di stampa.

### **Marco Balini**

*Presidente della Commissione Italiana di Stratigrafia  
Presidente della Subcommittee on Triassic Stratigraphy-ICS*

### **Maria Bianca Cita**

*Past-President della Commissione Italiana di Stratigrafia  
Past-President della Subcommittee on Neogene Stratigraphy-ICS (1989-96) e della  
International Subcommittee on Stratigraphic Classification-ICS (2001-2008)*

# IL “CHiodo D’ORO” DI BAGOLINO

## (Italia settentrionale, Provincia di Brescia)

Concetti stratigrafici e inquadramento geologico del sito italiano di riferimento globale (GSSP, Global boundary Stratotype Section and Point) per la base del piano Ladinico

# THE “GOLDEN SPIKE” OF BAGOLINO

## (Northern Italy, Province of Brescia)

Stratigraphic concepts and geologic overview of the Italian Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Ladinian Stage.

PAOLO SCHIROLLI & PETER BRACK

### PAROLE CHIAVE

GSSP per il Ladinico, Bagolino, Provincia di Brescia, Italia settentrionale, inquadramento geologico, concetti di stratigrafia, geosito di Romanterra.

### RIASSUNTO

Nella moderna scala internazionale del tempo geologico ogni limite tra i diversi intervalli temporali deve essere definito con un singolo punto di riferimento mondiale. Tale punto viene denominato GSSP (*Global boundary Stratotype Section and Point*) oppure brevemente *golden spike* (chiodo d’oro) che simbolicamente indica il punto esatto del limite sull’affioramento. Il “chiodo d’oro” viene scelto in base a criteri scientifici da una commissione internazionale che valuta tutte le proposte formulate.

Nel 2005 il sito di Romanterra, presso Bagolino in Provincia di Brescia (Lombardia, Italia settentrionale), è stato scelto come punto di riferimento globale per la base del piano *Ladinico*, ovvero per il limite tra i piani *Anisico* e *Ladinico*, per la rappresentatività dell’affioramento, per i suoi fossili e per la concentrazione e precisione della datazione degli strati.

L’inquadramento geologico della Provincia di Brescia, e in particolare dell’area di Bagolino, ed i concetti basilari della Stratigrafia, indispensabili a comprendere il significato e l’importanza delle unità stratigrafiche, degli stratotipi e delle località-tipo, introducono nel presente lavoro i dati scientifici relativi a questo geosito italiano di riferimento globale.

La prima parte del volume illustra l’assetto strutturale, la successione stratigrafica e l’evoluzione del territorio bresciano nel quadro della dinamica globale. Per una migliore comprensione del suo assetto

### KEY WORDS

Ladinian GSSP, Bagolino, Province of Brescia, Northern Italy, geological setting, stratigraphic concepts, Romanterra Geosite.

### ABSTRACT

Modern geological time-scales have boundaries between subsequent time intervals, which are defined at a place that serves as a global reference. The location where a boundary is fixed in a succession of sedimentary layers is called a GSSP (*Global boundary Stratotype Section and Point*). Such points are also referred to as “golden spikes” and are established by an international geological commission after the evaluation of various scientific proposals.

On the basis of the fossils and age values available for the stratigraphic succession at Bagolino (Province of Brescia, Lombardy, Northern Italy), in 2005 the Romanterra site was chosen as the global reference point for the base of the *Ladinian Stage*, *i.e.* the boundary between the *Anisian* and the *Ladinian* stages.

This book aims at providing a geological overview of the Province of Brescia with the Bagolino area in particular, and giving an introduction to basic concepts of Stratigraphy, including the significance of Stratigraphic Units, stratotypes and type-localities along with a presentation of the scientific data relative to the new geosite of global reference.

The first part of the book highlights the structural framework and stratigraphical succession in a larger scale context of the geological evolution of the Brescia area. Considering its geological setting, the Province of Brescia is divided into eight geological/structural zones bound by regional tectonic lines and/or important

geologico generale, la provincia è stata suddivisa in otto zone geologico-strutturali, distinguibili sulla base della tipologia dei litotipi prevalenti, dell'età delle formazioni e del differente stile strutturale assunto dalla successione in conseguenza degli eventi compressivi alpini.

La seconda parte è dedicata al formalismo della Stratigrafia, quale caratteristica basilare di questa disciplina, che può considerarsi il pilastro portante delle Scienze della Terra. Si descrivono le unità stratigrafiche fondamentali, motivando quali di queste possono essere riconosciute a livello globale. Il significato degli stratotipi e delle località-tipo, il processo di accreditamento di un GSSP ed una panoramica sui "chiodi d'oro" piantati sinora nel mondo sono i temi che introducono al GSSP per la base del Ladinico, formalizzato presso Bagolino, alle annotazioni storiche su questo Piano e alle fasi del lungo lavoro scientifico che ha condotto al suo inserimento nella Scala Cronostratigrafica Globale Standard.

L'ultima parte del volume illustra le caratteristiche geologiche del geosito di Romanterra e i dati che hanno reso la sezione stratigrafica affiorante in questo punto sul letto del fiume Caffaro la migliore al mondo per rappresentare il limite Anisico-Ladinico. Si descrivono le litologie e il contenuto paleontologico delle locali formazioni sedimentarie del Triassico Medio, gli strumenti di datazione relativa e assoluta degli strati in questo intervallo, le geometrie assunte dagli strati in conseguenza della deformazione alpina. Il potenziale di correlazione su lunghe distanze basato sulla biostratigrafia ad ammonoidi e conodonti, nonché la sua localizzazione nel Sudalpino, che per ragioni storiche può essere considerato l'area-tipo per il piano Ladinico, sono tra i principali elementi che hanno fatto della sezione di Romanterra la più adeguata a divenire la sede del GSSP per la base del piano Ladinico.

stratigraphical boundaries. Each zone is characterized by its lithological patterns and the ages of the formations and structural styles imposed upon these rocks by the Alpine compression.

Fundamental formalisms of Stratigraphy – one of the widest fields of the Earth Sciences, and sometimes called the heart of geology – are introduced in the second part of the book. Definitions are given for the basic units of stratigraphic classification and units of global reference as well as for the significance of stratotypes and type-localities. Along with the list of ratified "golden spikes", the procedures for ratification of a GSSP are exemplified with the case of the Ladinian GSSP at Bagolino. Historical remarks and almost two decades of multidisciplinary geological studies allowed this Italian site to enter the Standard Global Chronostratigraphic (Geochronologic) Scale.

The last part of the book emphasizes geological peculiarities of the geosite at Romanterra (Bagolino), where the bed and banks of the River Caffaro exhibit an excellent stratigraphical section of Middle Triassic sediments. Lithologies and fossils of the local formations, the relative and absolute ages of the sedimentary rocks and the present attitude of strata as a result of Alpine deformation are briefly described. Because of its potential for long-distance correlations based on ammonoid and conodont biostratigraphy, and because the GSSP-location lies within an extended stratigraphic record the Romanterra site was considered suitable as a global reference for the base of the Ladinian Stage. Geologically this site belongs to the Southern Alps, which had been considered by many as a sort of type-area for the Ladinian Stage since the onset of Triassic stratigraphic research.



**INQUADRAMENTO GEOLOGICO  
DELLA PROVINCIA DI BRESCIA**

GEOLOGICAL OVERVIEW  
OF THE PROVINCE OF BRESCIA



### 1.1. L'ASSETTO GEOLOGICO GENERALE

L'assetto geologico attuale del territorio bresciano è il risultato dell'azione che gli sforzi compressivi connessi all'orogenesi alpina hanno esercitato sulle rocce del substrato, seguiti dal sollevamento e dall'erosione della catena. Tale assetto è comune a tutta la fascia meridionale dell'arco alpino, detta Sudalpino, la quale si estende per oltre 400 km da Ivrea, in Piemonte, alle montagne della Carnia nel Friuli. Nel Bresciano, il Sudalpino comprende i rilievi compresi tra la pianura presso Brescia e la Linea del Tonale (parte della Linea Insubrica che corre dal M. Padrio al Passo del Tonale).

Procedendo in senso meridiano dal limite con la pianura padana verso il centro stesso dell'edificio alpino si incontrano formazioni rocciose di età progressivamente più antica. Lungo l'asse della Val Camonica si passa dalle alluvioni quaternarie della pianura alle coperture terziarie e principalmente mesozoiche del pedemonte, fino alle rocce clastiche permiane e quelle metamorfiche del "basamento cristallino" paleozoico (Pre-Carbonifero superiore), estesamente affiorante a nord. Uno sguardo alla carta geologica semplificata della Provincia di Brescia (fig. 1) permette di constatare questa caratteristica. Ad est del Lago d'Iseo e della Val Camonica la struttura delle Prealpi bresciane è un po' differente. Difatti una porzione di basamento, conosciuto con il nome di "Massiccio delle Tre Valli Bresciane", emerge isolatamente dalla copertura sedimentaria permiana e triassico inferiore in un'area che permette di osservare, a scala regionale, la culminazione più meridionale del basamento cristallino sudalpino. Bagolino e lo stratotipo del limite tra i piani Anisico e Ladinico si collocano immediatamente a sud del suddetto massiccio metamorfico.

Forse è opportuno spiegare quale significato si attribuisce in geologia ai termini *copertura* e *basamento*. Per *copertura* (sottintendendo *copertura sedimentaria*) si intende la successione di formazioni rocciose sedimentarie, potente parecchi chilometri, che ricopre il *basamento* (detto più estesamente *basamento cristallino*), a comportamento decisamente più rigido. Quest'ultimo è costituito da rocce metamorfiche, quali scisti e gneiss, derivanti dall'azione su antiche rocce preesistenti del metamorfismo regionale, connesso alla formazione di un corrugamento precedente a quello alpino (catena ercinica, 340 milioni di anni fa), successivamente smantellato e spianato dall'erosione.

La continuità del basamento sudalpino e delle rocce sedimentarie permo-triassiche affioranti nella parte settentrionale della provincia è interrotta ad oriente della media e alta Val Camonica dalla presenza del batolite dell'Adamello. È il maggiore corpo magmatico intrusivo delle Alpi, costituito da rocce di natura tonalitica messi in posto in più fasi successive durante il Terziario (da 42 a 33 Ma; DEL MORO *et al.*, 1986) ad una profondità, a quel tempo, di circa 10 km dalla superficie terrestre.

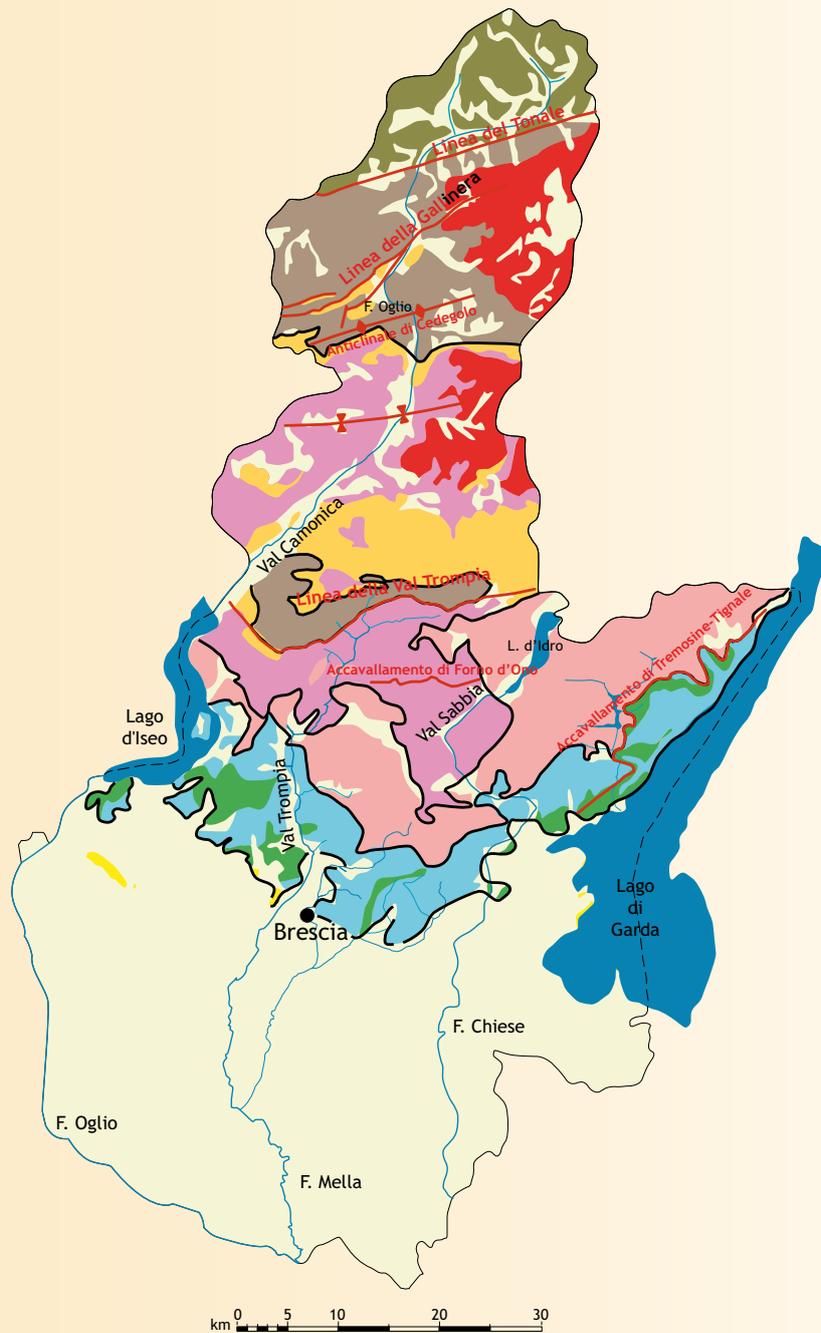
### 1.1. GENERAL GEOLOGICAL SETTING

The present geological setting of the Province of Brescia was achieved during the Alpine orogeny through compression of the rock substrate followed by uplift and erosion. The Alps between the Po-Plain around Brescia and the Tonale (Insubric) Line running from Monte Padrio to the Tonale Pass belong to what geologists call the "Southern Alps". This portion of the Alps extends over more than 400 kilometres from the town of Ivrea in Piedmont to the mountains of Carnia in the Friuli region. In the Brescia sector, progressively older formations are exposed along a South-to-North transect following Val Camonica. A wide belt of predominantly Mesozoic (Triassic-Cretaceous) sedimentary rocks follows north of the quaternary clastic deposits of the Po-Plain and is then replaced by Permian clastic rocks and pre-Permian metamorphic rocks of the South Alpine basement. The simplified geological map of the Province of Brescia (fig. 1) highlights the main geological features of this area.

East of Val Camonica the structure of the Brescian Alps is different. In the area northeast of Lago d'Iseo rocks of the South Alpine basement and their sedimentary cover are exposed in the isolated so-called Val Trompia culmination (also known as the massif of the three Brescian valleys/Massiccio delle Tre Valli Bresciane). This is one of the southernmost outcrops in which South Alpine basement rocks are directly visible. Bagolino and the reference site of the Anisian-Ladinian boundary are located immediately south of this culmination.

What is the significance of terms such as *cover* and *basement*? *Cover* rocks refer to successions of sedimentary rocks, which may be many kilometres thick and lie on a crystalline *basement*, *i.e.* much older metamorphic rocks. In the Brescian Prealps the basement consists mainly of schists and gneisses whose parent rocks were deformed and metamorphosed during a phase of mountain building around 340 million years ago. Subsequent erosion removed these old mountains, and from the late Permian onwards an initially rugged and later smooth surface was covered by clastic rocks deposited on a continent. These are in turn overlain by marine sediments.

East of the middle Val Camonica, between Breno and Edolo, the Mesozoic sediments and the basement rocks are cut and replaced by magmatic rocks of the Adamello batholith. Between 42-33 million years ago (DEL MORO *et al.*, 1986) this huge body of igneous rocks formed from crystallizing batches of magmas, which were injected into rocks that were at a depth of *ca.* 10 km below the surface at that time. The magmas had their origin in the Earth's mantle but often underwent substantial modification of their composition during their ascent.



**Fig. 1** *Carta geologica semplificata della Provincia di Brescia.*  
Simplified geological map of the Province of Brescia.

## 1.2. L'ASSETTO STRUTTURALE

Due sono le principali direttrici tettoniche di età alpina che caratterizzano l'assetto strutturale delle Alpi e Prealpi bresciane. La prima, variabile da E-W a ENE-WSW, è detta *direzione orobica* o *triumplina* ed ha generato un trasporto tettonico da nord a sud. La seconda, probabilmente più giovane, all'incirca NNE-SSW, è la *direzione giudicariense*, a cui va collegato un trasporto tettonico verso il quadrante sud-orientale. Nel Bresciano dunque la vergenza delle strutture, data dal rovesciamento delle pieghe o dall'embricazione delle scaglie tettoniche in cui è scomposta la pellicola superficiale della crosta, indica una compressione e una direzione del trasporto tettonico degli strati rocciosi deformati che varia da meridionale a sud-orientale.

Queste due direttrici hanno dato origine ad un ampio arco strutturale che interessa il territorio sia a livello del substrato affiorante che di quello presente al di sotto dei depositi quaternari nel sottosuolo padano, come confermano i dati provenienti dall'esplorazione petrolifera (CASTELLARIN e SARTORI, 1983; CASTELLARIN e VAI, 1986; CASTELLARIN *et al.*, 1987; PICOTTI *et al.*, 1995).

Mentre alle strutture a direzione triumphina si attribuisce concordemente un significato compressivo, che spiega le superfici di sovrascorrimento sud-vergenti, per le strutture a direzione giudicariense l'entità della trascorrenza associata alla compressione è ancora motivo di dibattito (TREVISAN, 1938; LAUBSCHER, 1990; CASTELLARIN e SARTORI, 1983; CASTELLARIN *et al.*, 1987; DOGLIONI e BOSELLINI, 1987).

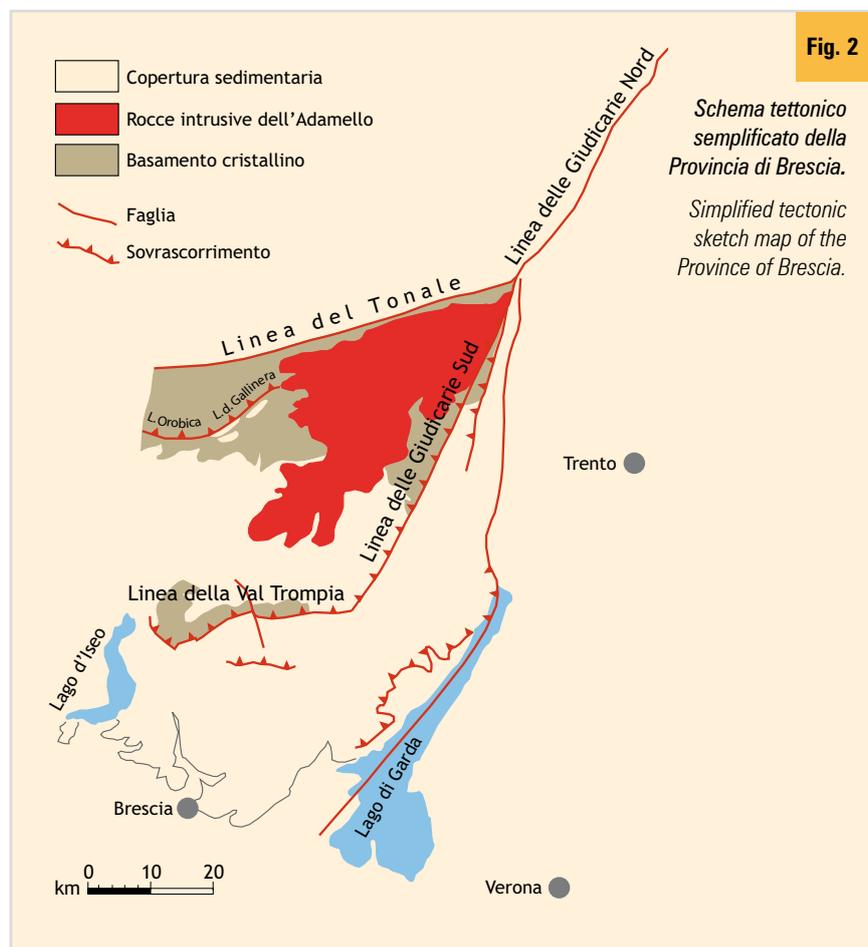
Nella presenza di una serie di superfici tettoniche immergenti a nord e a nord-ovest, che permettono alle rocce più antiche di risalire e sovrascorrere verso il quadrante meridionale e sud-orientale su masse rocciose più recenti, va ricercata la causa dell'assetto geologico generale del territorio bresciano, in cui, come anticipato nell'introduzione, le formazioni rocciose risultano progressivamente più antiche procedendo da sud a nord.

Tra i maggiori lineamenti tettonici che intersecano il territorio bresciano si ricordano la *Linea del Tonale*, la *Linea delle Giudicarie*, la *Linea della Gallinera* e la *Linea della Val Trompia* (figg. 1, 2).

## 1.2. STRUCTURAL FRAMEWORK

Two important groups of tectonic lineaments characterize the Brescian (Pre-)Alps: a set of E-W to ENE-WSW trending structures (also called *Orobic* or *Trompia* direction) represents south-verging thrusts and folds of Alpine age. A second set of probably younger NNE-SSW trending structures (called *Giudicarie* direction) represents structures with a southeastern vergence. The overall vergence of the tectonic structures (*i.e.* the inclinations of fold and thrust planes) document south to south-east directed compression and tectonic transport of the deformed rocks relative to the underlying strata. In the external (*i.e.* south-eastern) portions of the Brescian Alps the two groups of lineaments merge and form a structural arc. Results from oil exploration show that this arc continues for some distance beneath the Quaternary alluvial deposits of the northern Po-Plain (CASTELLARIN & SARTORI, 1983; CASTELLARIN & VAI, 1986; CASTELLARIN *et al.*, 1987; PICOTTI *et al.*, 1995).

While the tectonic structures with an Orobic trend were generated through NW-SE directed compression, the structures of the Giudicarie trend possibly display a significant transcurrent component of deformation (TREVISAN, 1938; LAUBSCHER, 1990; CASTELLARIN & SARTORI, 1983; CASTELLARIN *et al.*, 1987; DOGLIONI & BOSELLINI,



La *Linea del Tonale* è quella parte della *Linea Insubrica* che attraversa la porzione settentrionale della provincia dall'omonimo passo, ad est, al M. Padrio, ad ovest, sullo spartiacque tra Val Camonica e Valtellina. Essa separa il basamento del dominio paleogeografico-strutturale Austroalpino, posto a nord, da quello simile del dominio Sudalpino, affiorante a sud. La *Linea della Gallinera* rappresenta la terminazione orientale di quel sistema di faglie che costituisce la *Linea Orobica*. Essa porta la fascia settentrionale di rocce metamorfiche appartenenti al basamento Sudalpino a sovrascorrere verso meridione sulle unità della copertura permo-triassica del fianco settentrionale dell'*Anticlinale di Cedegolo*, struttura anch'essa ad orientamento orobico. La più meridionale *Linea della Val Trompia*, passante poco a nord di Bagolino, rappresenta un complesso sistema di faglie ad andamento circa E-W, lungo il quale si ha l'innalzamento e l'accavallamento del basamento (Massiccio delle Tre Valli Bresciane) verso sud sui terreni di età permo-triassica. A nord di Ponte Caffaro, la Linea della Val Trompia costituisce un arco (CASSINIS, 1982; CASTELLARIN e SARTORI, 1983; CASTELLARIN *et al.*, 1987; PICOTTI *et al.*, 1995) con la più orientale *Linea delle Giudicarie Sud* (tratto a sud dell'intersezione con la Linea del Tonale), ad andamento NNE-SSW, costituita da un sistema di faglie subverticali che, al margine orientale del massiccio dell'Adamello, ha notevolmente rialzato il comparto bresciano rispetto a quello veronese e trentino (CASTELLARIN e SARTORI, 1983; CASSINIS *et al.*, 1982).

### 1.3. LA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Già si è fatto cenno al fatto che una potente pila di formazioni rocciose di origine sedimentaria sovrasta un basamento fatto di antiche rocce metamorfiche di età precedente al Permiano (fig. 3). Filladi, micascisti e gneiss sono i litotipi prevalenti che contraddistinguono il basamento cristallino. Se ben poco però si può dire sulla natura e sull'età delle rocce preesistenti ai processi metamorfici avvenuti nel tardo Paleozoico, più facile è risalire al paleoambiente deposizionale per le formazioni sedimentarie che ricoprono il basamento.

E' un'ambiente continentale di tipo semidesertico quello in cui durante il Permiano inferiore ("ciclo inferiore" Permiano) si generano le prime rocce di natura sedimentaria, quali conglomerati, arenarie e argilliti (*Conglomerato basale*, *Formazione di Collio*, *Conglomerato del Dosso dei Galli*). Sono depositi alluvionali e talora lacustri, a cui si intercalano frequentemente unità rappresentate da rocce di origine vulcanica (*Vulcaniti eo-permiane*, *Vulcaniti di Auccia*). Dopo un periodo di non deposizione in cui cessa l'attività vulcanica, il successivo ciclo sedimentario del Permiano superiore vede persistere, ed anzi incrementare, la deposizione di conglomerati, arenarie e siltiti rosse fluviali che daranno origine al *Verrucano Lombardo*.

1987). Because the northern sectors generally moved south- and upwards relative to the rocks underneath the N to NW-dipping thrust planes, and because erosion has removed the originally overlying rocks, this pattern of deformation explains the outcrops of progressively older rocks moving northwards.

The most important tectonic structures of the Brescian Pre-Alps and Alps are the *Tonale Line*, the *Giudicarie Line*, the *Gallinera Line* and the *Val Trompia Line*. (figs. 1, 2). The *Tonale Line* crosses the northern part of the Province of Brescia from Tonale Pass (East) to the Monte Padrio (West), separating metamorphic basement areas of the Austroalpine domain to the north from similar basement rocks of the Southern Alps. The *Tonale Line* is a segment of a long array of a major tectonic divide: the *Insubric Line*. The *Gallinera Line* is the easternmost segment of an important system of north-dipping thrust-faults named the *Orobic Line*. Along this line the metamorphic rocks of the South Alpine basement are juxtaposed onto Permo-Triassic sedimentary cover rocks. These sediments form the northern flank of the southerly adjacent *Cedegolo Anticline* whose orientation is similar to the E-W-trending Orobic Line. The *Val Trompia Line* passes immediately north of Bagolino and is a complex E-W trending system of faults along which the Massiccio delle Tre Valli Bresciane abuts against Permian to Triassic cover rocks. North of Ponte Caffaro the Val Trompia Line apparently merges with the NNE-SSW oriented *South Giudicarie Line*. West of the steep faults of Giudicarie Line, the eastern border area of the Adamello Massif is uplifted by several kilometres compared with the easterly adjacent Veneto-Trentino Alps (CASTELLARIN & SARTORI, 1983; CASSINIS *et al.*, 1982).

### 1.3. THE STRATIGRAPHICAL SUCCESSION

As mentioned earlier, the pre-Permian metamorphic rocks of the South Alpine basement consist mainly of phyllites, mica-schists and gneisses (fig. 3) overlain by thick Permian to Mesozoic (and originally also Tertiary) sediment successions. In the basement rocks metamorphism has obliterated most information of the age and origin of their parent rocks. However, the non-metamorphosed sedimentary successions of the cover rocks still yield detailed information about their depositional environments.

During the Early Permian, the conglomerates, sandstones and shales (*Basal Conglomerate*, *Collio Formation*, *Dosso dei Galli Conglomerate*) of a first depositional cycle accumulated in graben-like valleys under a continental semi-desertic environment. These alluvial to lacustrine sediments are interbedded with layers of volcanic origin (*Basal Volcanics*, *Auccia Volcanics*). Following a time of non-deposition during which volcanic activity ceased completely, the red flu-

L'inizio dell'era mesozoica segna per il territorio bresciano il passaggio dall'ambiente continentale a quello marino. Le rocce carbonatico-terrigene della formazione del *Servino* e le dolomie cariate giallastre della *Carniola di Bovegno* riconducono all'ambiente costiero e di mare poco profondo del Triassico inferiore (Scitico).

Il mare si estende durante il Triassico medio (Anisico e Ladinico) ricoprendo con pochi metri d'acqua la superficie delle piattaforme carbonatiche del *Calcarea di Esino*, tra le quali si insinuavano bracci di mare relativamente più profondo in cui si deponevano i fini sedimenti calcareo-marnosi del *Calcarea di Angolo* e del *Calcarea di Prezzo*, e i calcari silicei della *Formazione di Buchenstein*, caratterizzati da bassi tassi di sedimentazione e ricchi di orizzonti vulcanoclastici. Più tardi, la crescente componente terrigena della *Formazione di Wengen* colma i preesistenti bacini.

Durante il Carnico, l'erosione degli apparati vulcanici situati a sud dell'attuale Sudalpino riattiva sul territorio la sedimentazione terrigena grossolana con l'*Arenaria di Val Sabbia*, successivamente ricoperta dai depositi carbonatici di acque basse della *Formazione di S. Giovanni Bianco*. Con il Triassico superiore l'ambiente tropicale dell'estesa piattaforma carbonatica della *Dolomia Principale* domina sulla provincia e su gran parte del Sudalpino. Ma tra i bassi fondali indicati dalle dolomie, già dal Norico si sviluppano aree di mare più profondo in cui si depositano i calcari e le argilliti, spesso bituminosi, del *Calcarea di Zorzino* e di altre facies bacinali eteropiche alla Dolomia Principale. L'arrivo dell'*Argillite di Riva di Solto* segna il riempimento dei bacini ed il definitivo annegamento della piattaforma della Dolomia Principale. Ma la sedimentazione calcarea di mare basso riprende ancora, tra la fine del Triassico e l'inizio del Giurassico, con il *Calcarea di Zu* e le più recenti formazioni della *Corna* (da cui si estrae il calcarea di Botticino) e della *Dolomia a Conchodon*.

La successione giurassica soprastante la Corna indica condizioni di graduale approfondimento delle acque. Ai calcari marnosi, ben stratificati, del *Gruppo del Medolo* (*Calcarea di Gardone Val Trompia* e *Calcarea di Domaro*) e del *Gruppo di Concesio*, seguono i più profondi depositi silicei del *Selcifero Lombardo* (*Radiolariti* e *Rosso ad Aptici*), ricoperti dai calcari pelagici della *Maiolica*, sedimentatisi anche per parte del Cretaceo. I depositi marini di natura marnosa della *Scaglia Lombarda* e altri sedimenti torbiditici contribuiscono, durante il periodo cretaceo e parte del Cenozoico, a colmare le preesistenti aree bacinali, in concomitanza al primo processo di formazione della catena alpina.

Ad eccezione della Scaglia, sporadici sono gli affioramenti di altre rocce terziarie sul territorio bresciano. Essi emergono dalla pianura immediatamente prospiciente il pedemonte presso Brescia, con i depositi continentali miocenici del *Conglomerato di Monte Or-*

vial conglomerates and sandstones of the *Verrucano Lombardo* characterize a second (Late Permian) sedimentary cycle.

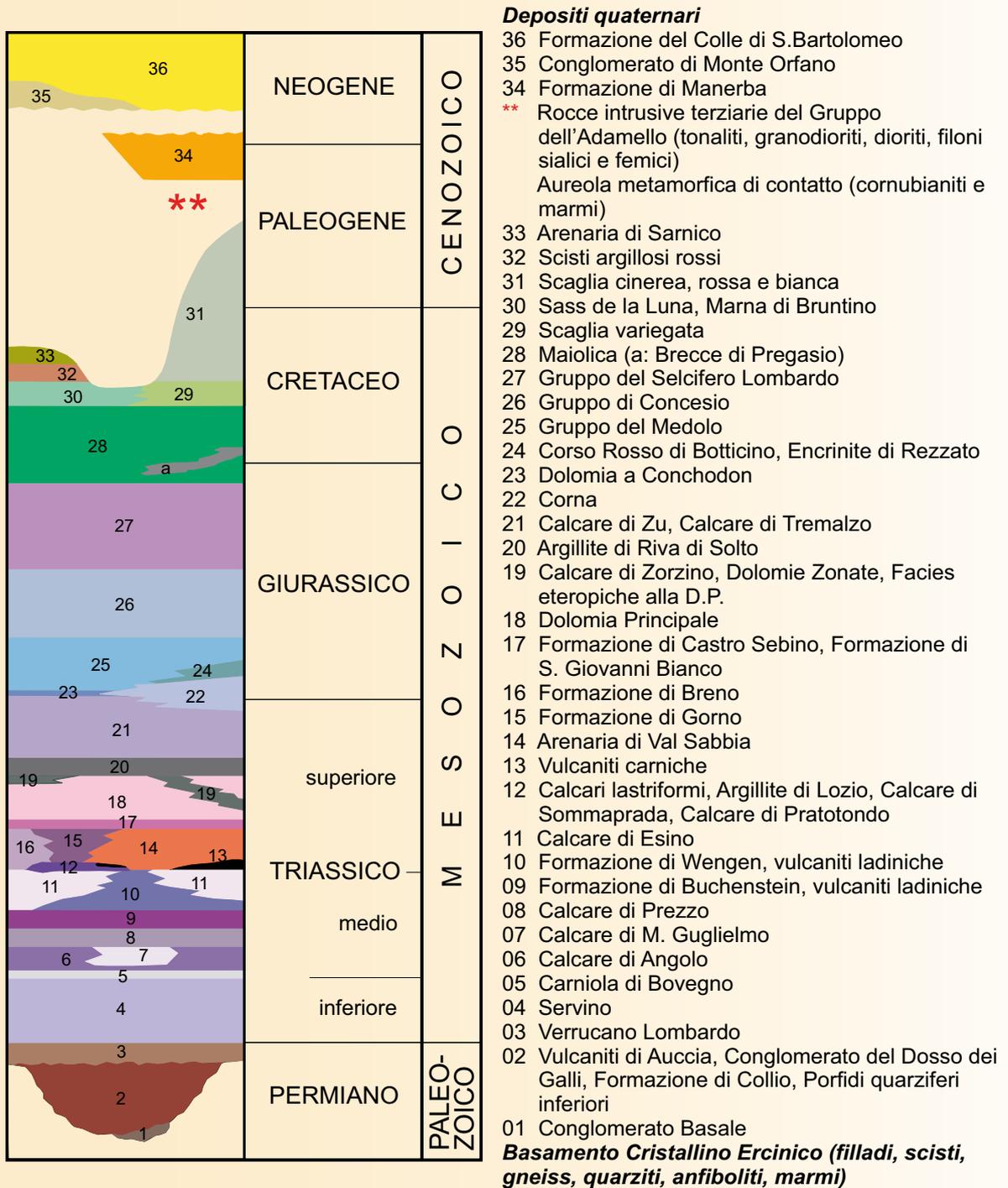
In the Brescia area the beginning of the Mesozoic coincides with the transition from a continental to a marine sedimentary environment. A succession of shallow water carbonate and siliciclastic deposits constitutes the Lower Triassic *Servino* Formation, which accumulated in a shallow but open marine shelf area. The *Servino* is overlain by porous yellowish dolomites with gypsum and anhydrite of the *Carniola di Bovegno*, which again represent a very shallow coastal environment.

During the Middle Triassic (Anisian and Ladinian) the shallow basinal carbonates of the *Angolo Limestone* formed in proximity to narrow carbonate platforms. In the late Anisian, however, fully marine environments are documented by the basinal limestones and marls of the *Prezzo Limestone* and the siliceous limestones of the *Buchenstein Formation*. In particular, the *Buchenstein* succession accumulated at low rates of sedimentation in a period when thin ash layers also formed from volcanic products of distant eruptions. Later, the relatively deep basins were filled with terrigenous sediments of the *Wengen Formation*. The basin margins acted as nuclei of a new set of tropical carbonate platforms, preserved as the *Esino Limestone*.

In the Carnian, the erosion of volcanic centres located to the south of the present Southern Alps provided debris from which the coarse-grained reddish *Val Sabbia Sandstone* originated. Finally, the topography was again smoothed and shallow water carbonates of the *S. Giovanni Bianco Formation* formed.

During much of the Late Triassic a vast platform comprised mainly of dolomitized carbonates (the *Dolomia Principale*) covered much of the Southern Alps. Well-bedded, often bituminous limestones and shales of the *Zorzino Limestone* and/or other basinal deposits formed in small basins inside this platform, but the entire area essentially remained flat. Only in the latest Triassic was the *Dolomia Principale* platform temporarily submerged and covered by fine-grained marine shales of the *Argillite di Riva di Solto*. Thereafter, shallow water sedimentation resumed during the deposition of the *Zu Limestone* and the bright Lower Jurassic carbonates of the *Corna* (with the quarries of the Botticino limestone) and *Conchodon Dolomite*.

The Jurassic succession overlying the Corna Formation indicates deepening water conditions: the well-bedded marly limestones of the *Medolo Group* (*Gardone Val Trompia Limestone* and *Domaro Limestone*) and the *Concesio Group* are covered by the deeper water siliceous deposits of the *Selcifero Lombardo* (*Radiolariti* and *Rosso ad Aptici*). These are followed by the pelagic Lower Cretaceous calcareous



**Fig. 3** Schema stratigrafico della Provincia di Brescia.  
Stratigraphic pattern of the Province of Brescia.

fano, o affiorano lungo la sponda occidentale del Lago di Garda, con le calcareniti marine della *Formazione di Manerba* (Oligocene-Miocene) e i depositi conglomeratico-argillosi della *Formazione del Colle di San Bartolomeo* (Miocene-Pliocene) presso Salò.

In questo quadro stratigrafico si inseriscono durante il Terziario le rocce magmatiche del batolite dell'Adamello. Il complesso intrusivo appare delimitato in modo netto ad est dal prolungamento meridionale della Linea delle Giudicarie, mentre ad occidente si apre un varco sia nel basamento cristallino sudalpino, immediatamente a sud della Linea del Tonale, che nella copertura sedimentaria permiana e triassica, affiorante ancora più a sud. Nei dintorni dell'intrusione appare evidente l'effetto del metamorfismo di contatto sulle rocce inglobanti. L'innalzamento della temperatura, causato dalla messa in posto in più fasi del corpo magmatico, ha trasformato i circostanti litotipi sedimentari in rocce metamorfiche (*marmi e cornubianiti*), cambiandone la struttura e la tessitura con intensità crescente procedendo verso il massiccio.

Un ultimo cenno è rivolto ai depositi morenici che ricoprono il substrato roccioso allo sbocco del Lago d'Iseo e del Lago di Garda verso la pianura, dove originano suggestivi anfiteatri collinari. La forma delle valli oggi occupate dai laghi e la presenza di tali depositi testimoniano l'attività dei ghiacciai all'incirca negli ultimi 800.000 anni, durante il Quaternario.

#### 1.4. IL TERRITORIO BRESCIANO NEL QUADRO DELLA DINAMICA GLOBALE

Cambiamo ora scala di osservazione e vediamo il territorio bresciano, con la sua caratterizzazione geologica, nell'ambito dell'intero edificio alpino. I dati strutturali e stratigrafici rilevati nelle successioni rocciose consentono di ricostruire l'evoluzione nei milioni di anni di una regione, collocandola in un quadro geodinamico globale. Sappiamo infatti che nel corso della storia geologica della Terra la crosta terrestre ha subito continui cambiamenti nella disposizione e nella quantità delle masse continentali rispetto agli oceani: dalla collisione tra il paleocontinente africano e quello europeo si sarebbe originata nella crosta terrestre quella rilevata cicatrice che costituisce l'odierno edificio alpino.

Le Alpi rappresentano infatti una complessa e articolata catena montuosa nella quale i geologi hanno potuto riconoscere più comparti, contraddistinti da particolari successioni rocciose (fig. 4). Tali zone, definite con il termine di *domini paleogeografico-strutturali*, si identificano con i tasselli di un originario paesaggio preesistente all'edificazione della catena e scomparso a seguito del processo orogenetico alpino. Gran parte della Provincia di Brescia rientra nel dominio Sudalpino, appartenente al continente paleo-africano, così definito

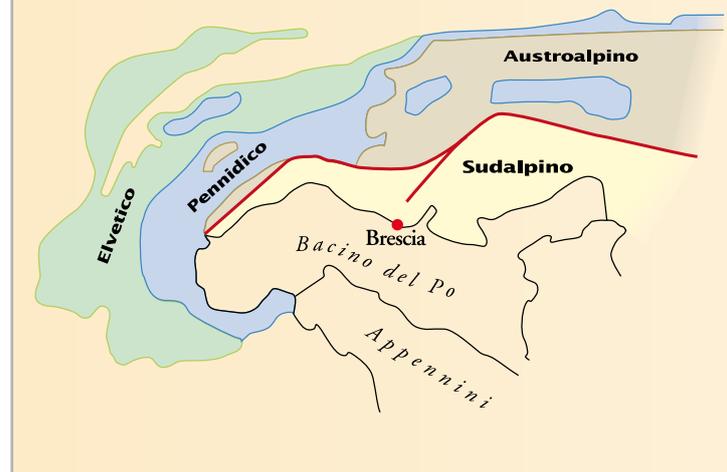
*Maiolica*. During much of the Cretaceous and part of the Cenozoic, and concomitant with the early stages of formation of the Alpine chain, marine marls of the *Scaglia Lombarda* and turbiditic sediments started to fill the pre-existing basinal areas.

With the exception of the Scaglia, other Tertiary rocks are rare in the Brescia area. Isolated outcrops of Miocene continental deposits (*Monte Orfano Conglomerate*) are found at Monte Orfano and in the foothills along the southern border of the Prealps west of Brescia. Along the western shores of Lake Garda, marine calcarenites of the *Manerba Formation* (Oligocene-Miocene) crop out and the hill of San Bartolomeo above Salò consists in its upper part of flat-lying Pliocene conglomerates and clays (*Colle di S. Bartolomeo Formation*) covering folded older sediments.

During the Tertiary, the magmatic rocks of the Adamello batholith were added to the stratigraphic pattern of Brescian Alps. The intrusive complex is tectonically bordered to the east by the South Giudicarie Line, whereas to the west it cuts the South Alpine

**Fig. 4** Distribuzione dei maggiori domini paleogeografico-strutturali nella catena alpina.

Distribution of the major paleogeographical-structural domains of the Alpine chain.



crystalline basement and its deformed Permian-Triassic sedimentary cover rocks. The heat released from the crystallizing hot magmas locally turned preexisting rocks into contact metamorphic lithologies: carbonate sediments became marbles and initially shaly deposits and sandstones became dense hornfels.

Much later, during the periods of glaciation in the last ca. 800'000 years, the shape of the major valleys such as Val Camonica, Val Sabbia and Lake Garda were remodelled by glaciers whose southern termina-

proprio per la posizione arretrata che esso assume nei confronti dell'edificio alpino, tra la Linea del Tonale ed il bordo della pianura padana. Solo l'estremità più settentrionale del Bresciano appartiene al confinante dominio Austroalpino, anch'esso di pertinenza paleo-africana. La Linea Insubrica è quella complessa e profonda frattura con andamento all'incirca ovest-est che taglia l'intera catena, separando il Sudalpino dal corpo centrale delle Alpi vere e proprie. A ovest e a nord dell'orogene si riconoscono dall'interno all'esterno il dominio Penninico, di natura oceanica, e quello Elvetico (continente paleo-europeo).

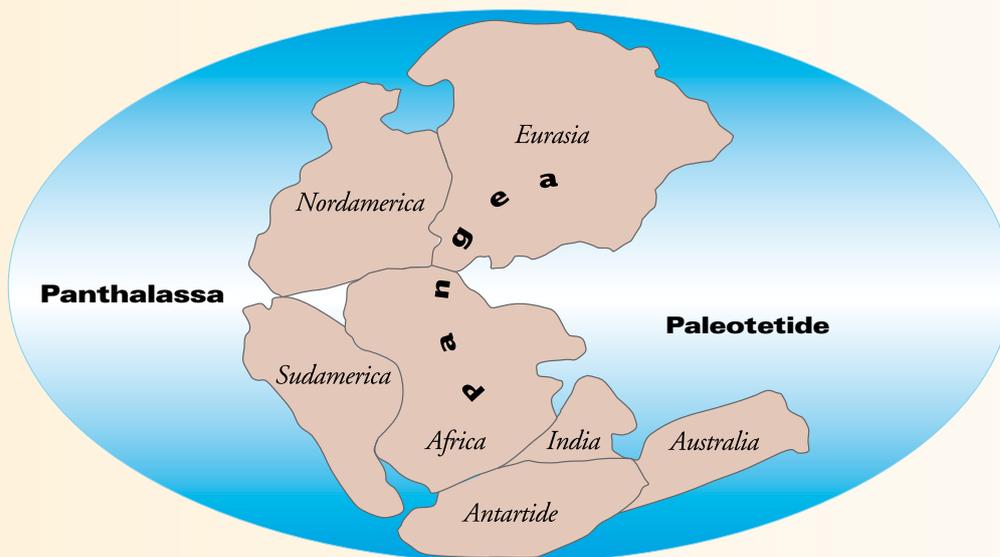
La successione di rocce sedimentarie che costituisce la porzione bresciana del Sudalpino, permette di ricostruire l'evoluzione del paesaggio a partire da circa 300 milioni di anni fa, età alla quale risalgono i sedimenti affioranti più antichi (Carbonifero superiore). Alla fine del Paleozoico sul globo dominava un supercontinente, denominato *Pangea*, che riuniva tutti i continenti oggi conosciuti (fig. 5). Ad oriente esso ospitava in un ampio golfo le acque della *Paleo-Tetide*, connesse a un più vasto oceano chiamato *Panthalassa*. Allora il Bresciano

tions resulted in impressive hilly amphitheatres of the terminal moraines.

#### 1.4. THE GEOLOGY OF THE BRESCIA AREA IN A GLOBAL GEODYNAMIC PERSPECTIVE

The Alpine Chain is ultimately the result of the collision of the African and European paleocontinents. Let us now try to put the stratigraphic and structural data outlined in the previous sections into a large-scale geodynamic perspective.

The geological subdivision of the Alps has allowed the distinction of a number of *structural-paleogeographic domains* (fig. 4) representing the remnants of distinct former marine environments that disappeared during the orogeny with the formation of the mountain chain. The main portion of the Brescian Alps, *i.e.* the sector south of the Tonale (Insubric) Line belongs to the South Alpine domain. This southern portion of the Alps between Ivrea and Carnia consists of rock units that originally belonged entirely to the southern (paleo-African) continent prior to the orogeny. Only the northernmost portion of the actual Province of



**Fig. 5**

Disposizione delle masse continentali alla fine del Permiano (circa 250 milioni di anni fa).  
Arrangement of the continents at the end of the Permian (ca. 250 million years ago).

era caratterizzato da un ambiente continentale che si affacciava sul golfo.

Con l'inizio del Mesozoico, circa 250 milioni di anni fa, la Paleo-Tetide si chiude a settentrione lungo un'estesa zona di subduzione, dove si consumava crosta oceanica, situata di fronte ad un cordone di frammenti continentali staccatisi dalla porzione meridionale della Pangea, detta *Gondwana* (comprendente anche Africa e India), in movimento verso la paleo-Asia posta a nord. Nello stesso tempo, a sud di queste piccole

Brescia belongs to the so-called Austroalpine domain, originally located on the same sub-continent. The Alps further north and west contain nappes of the Penninic and Helvetic domains.

The sedimentary successions of the southalpine part of the Brescian Alps represent almost 300 million years of the Earth's history. At the end of the Paleozoic the present continents were assembled to the *Pangea* supercontinent (fig. 5). A wide gulf on the eastern side of Pangea (known as *Paleo-Tethys*) was connected to

masse continentali, si apre la *Neo-Tetide* e un'importante trasgressione marina porta le acque del nuovo oceano ad invadere progressivamente da est le aree continentali, incluso il Bresciano, ricoprendolo con un mare epicontinentale poco profondo. Dopo circa 10 milioni di anni, al passaggio Anisico-Ladinico, il mare aveva ormai invaso l'intera regione, dando origine ad un paesaggio nel quale acque relativamente profonde circondavano limitate piattaforme carbonatiche sommerse, da cui talora emergevano piccole isole tropicali (fig. 6). Poco lontano, apparati vulcanici attivi periodicamente scagliavano in mare ceneri e lapilli.

Nel Triassico superiore (circa 220 milioni di anni fa), mentre il blocco crostale sudalpino era sede di un diffuso ambiente marino tropicale di acque sottili, alcuni moti divergenti precursori dell'apertura dell'Oceano Ligure-Piemontese, già attivi da tempo al di sotto del continente, iniziano a produrre nella crosta i primi stress tensionali destinati a smembrare con decisione la Pangea nelle placche che possiamo riconoscere oggi.

Con l'inizio del Giurassico, l'apertura dell'Oceano Atlantico centrale induce un movimento parossistico di allontanamento relativo tra i neonati continenti paleo-africano e paleoeuropeo, con la conseguente nascita di un nuovo braccio oceanico, attorno al quale ruota la storia geologica delle Alpi (fig. 7): l'*Oceano Ligure-Piemontese*, successivamente scomparso proprio in seguito alla compressione alpina. Su di esso si affacciavano il continente paleoeuropeo a nord ed un ampio promontorio o microplacca (Adria o Apulia) di pertinenza paleoaficana a sud. Al margine settentrionale e occidentale di quest'ultimo risiedevano i domini Sudalpino e Austroalpino, e dunque l'intero Bresciano, destinato durante il Giurassico e il Cretaceo a passare gradualmente ad ambienti di mare sempre più profondo. Nel paesaggio ricostruito dagli studiosi il dominio Elvetico, collocato oggi al bordo esterno della catena alpina, viene attribuito alla zolla paleoeuropea, laddove il dominio Pennidico, in posizione centrale, testimonia la presenza dei fondali dell'estinto Oceano Ligure-Piemontese.

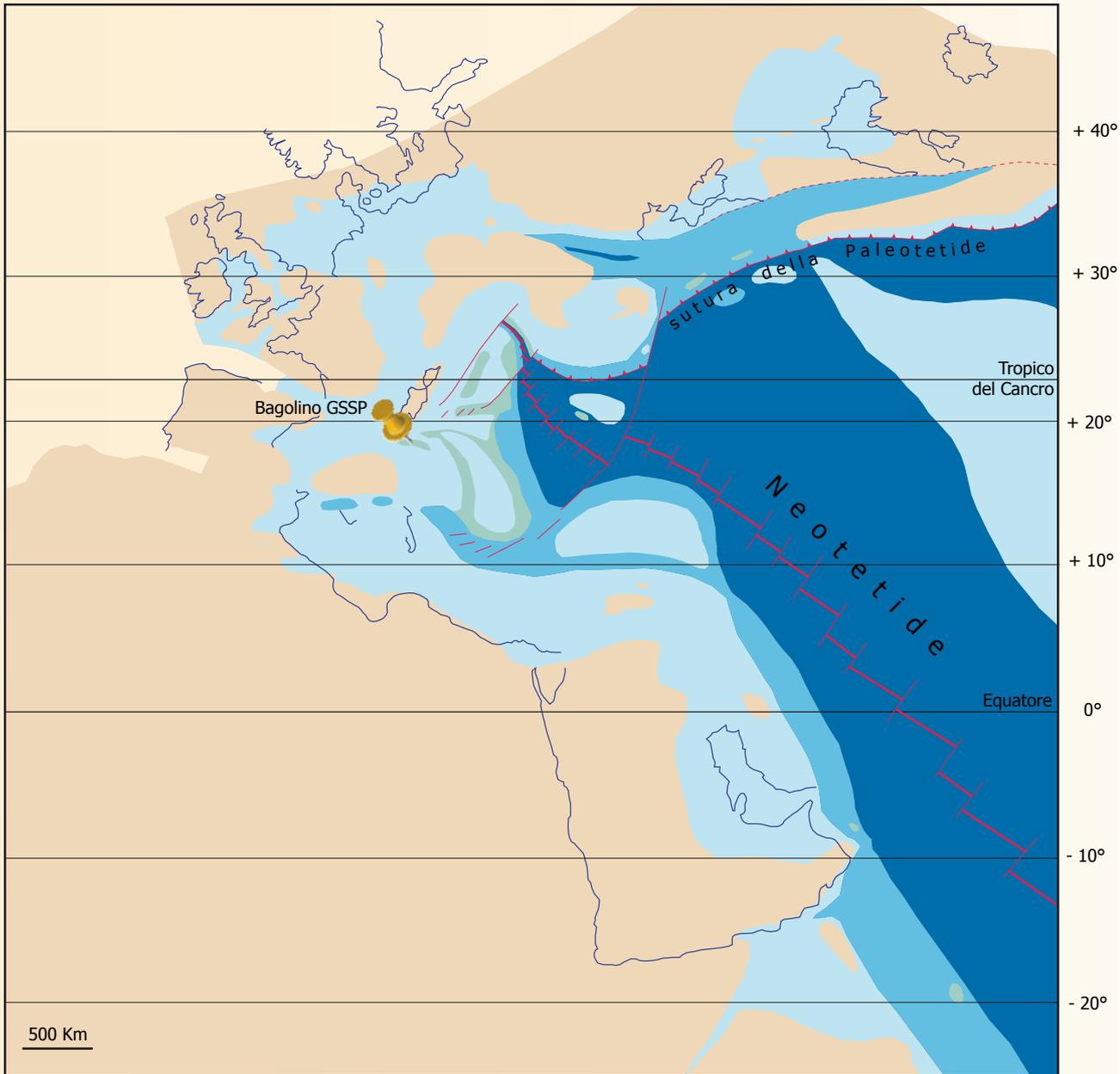
Durante il Cretaceo, a cominciare da circa 130 milioni di anni fa, quando l'oceano aveva raggiunto un'ampiezza vicina al migliaio di chilometri e la Provincia di Brescia rappresentava il fondale di un oceano, si assiste ad un'improvvisa inversione del movimento delle due masse continentali. Alla precedente espansione dei fondali si sostituisce un processo di compressione che ne provoca lo strizzamento, sino a che la crosta oceanica non comincia a scivolare al di sotto del margine del continente paleoaficano (subduzione), su cui giace il territorio bresciano (fig. 8). La consunzione di gran parte delle rocce di dominio oceanico (Pennidico) porta durante il Terziario allo scontro tra le masse continentali paleoeuropea e paleoaficana, con il conseguente inca-

the huge *Panthalassa Ocean*. The Brescia area was located inside the continental area close to the western end of this Tethys-gulf.

At the beginning of Mesozoic, about 250 million years ago, the Paleo-Tethys ocean closed in front of an array of northward moving continental fragments that were ripped off from the southern Gondwana part of Pangea (including Africa, India) and moved towards paleo-Asia. Behind (*i.e.* south of) these small continents the new Neotethys-ocean opened and a shallow sea started to invade formerly continental areas, including Brescia. By Ladinian times, the marine conditions had spread across the entire region and relatively deep marine basins were bordered by tropical islands of shallow water carbonate platforms (fig. 6). Volcanoes periodically erupted in this region at this time.

In the Late Triassic (approximately 220 million years ago), large parts of the South Alpine domain belonged to a single wide shallow water carbonate platform. Inside this platform trough-like basins formed due to the onset of extension. In the Early Jurassic the Central Atlantic Ocean opened between what is now North America and north-western Africa. This movement also induced the separation of Paleo-Africa from Paleo-Europe, forming an ocean branch (fig. 7) that has been named the *Piedmont-Liguria Ocean*. This is a part of what traditionally is known as the Jurassic Tethys Ocean and it may ultimately have reached several hundred kilometres width.

The geological history of the Alps is strictly linked to the evolution of this small ocean, because as it eventually closed (after the middle Cretaceous) Paleo-Africa moved towards Paleo-Europe. The northern margin of Paleo-Africa contained an appendix-like promontory or microplate named Adria or Apulia, and the South Alpine and Austroalpine domains were located along the northern and western border of this plate. Following its complete separation from Paleo-Europe, this border area of Adria (including the western Brescia area) rapidly subsided and faced a deep ocean located to the northwest. Deep marine conditions persisted in the Brescia area throughout much of the Jurassic and Cretaceous. The truly oceanic domain of the Piedmont-Liguria Ocean is what is usually referred to as the Penninic domain. With the northward movement of Adria/Africa this ocean was closed (fig. 8). Most of the oceanic rocks disappeared beneath Adria but portions were ripped off and incorporated in the growing mountain edifice, and are still preserved in the present Penninic Nappes. The northern border area of the Piedmont-Liguria ocean (*i.e.* the southern border of Paleo-Europe) is called the Helvetic domain. The sediment successions that accumulated in this area are now piled up in the Helvetic Nappes. Alpine compression



modificato da Gaetani et al., 2000

- |  |  |                           |                                   |  |                              |
|--|--|---------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Terra emersa                             |  | Exposed land              | Zona di subduzione                |  | Subduction zone              |
| Carbonati di mare sottile                |  | Shallow marine carbonates | Dorsale oceanica                  |  | Oceanic ridge                |
| Carbonati di mare relativamente profondo |  | Deeper marine carbonates  | Limiti delle terre emerse attuali |  | Limit of today's land masses |
| Mare profondo                            |  | Deep marine               |                                   |  |                              |
| Bacino oceanico                          |  | Oceanic basin             |                                   |  |                              |

Carta paleogeografica semplificata dell'area tetidea durante il Ladinico inferiore (modificato da GAETANI et al. 2000).

Simplified paleogeographic map of the Tethys area during the Early Ladinian (modified from GAETANI et al. 2000).

Fig. 6

**Fig. 7** Schema semplificato della formazione dell'Oceano Ligure-Piemontese, durante il Giurassico, a seguito dell'allontanamento della placca paleoeuropea dal continente paleoafricano. Le frecce indicano la direzione di movimento delle masse continentali. I colori contraddistinguono le terre emerse (in marrone), i margini continentali sommersi dalle acque (mari epicontinentali, in blu chiaro) e l'oceano impostatosi su vera e propria crosta oceanica (in blu scuro).

Simplified outline of the formation of the Piedmont-Liguria Ocean during the Jurassic Period, resulting from the displacement of Paleo-Africa relative to Paleo-Europe. Arrows indicate the direction of movement of the plates. Colours mark the emergent land areas (in brown), epicontinental seas (in clear blue) and the ocean (in dark blue).



stro delle due placche ed il parziale sovrascorrimento verso nord del dominio Austroalpino al di sopra delle unità appartenenti allo scomparso Oceano Ligure-Piemontese. Gli sforzi compressivi a più riprese nel Terziario interessano le masse continentali, mentre comincia l'innalzamento dell'edificio alpino, processo ancora in atto e controbilanciato dalla costante erosione che agisce sui rilievi. Nel Terziario, il comparto bresciano delle Alpi passa dunque con gradualità dalle profondità oceaniche alla totale emersione, con ambienti dapprima di transizione (deltizio e costiero) e poi francamente continentali.

### 1.5. LE ZONE GEOLOGICO-STRUTTURALI

Per illustrare in modo schematico e semplificato la natura geologica della Provincia di Brescia, si è suddiviso il territorio, procedendo da nord a sud, in otto comparti, denominati "zone geologico-strutturali", delimitati da linee tettoniche di entità regionale o da estese superfici stratigrafiche. Tali zone sono contraddistinte da una particolare tipologia ed età delle formazioni e/o da un caratteristico stile strutturale assunto dalle masse rocciose in conseguenza degli eventi compressivi alpini (CASSINIS *et al.*, 1991; SCHIROLLI, 2001). La zonazione è riportata sia nella carta geologica semplificata della Pro-

and the collision of Adria and paleo-Europe eventually produced a pile of superimposed rock units including the Austroalpine Nappes (derived from the border area of the Adriatic plate), which were pushed significant distances across rocks of the originally paleo-European margin. The resulting thick pile of relatively light crustal material also started moving upwards and large volumes of rock were subsequently removed by erosion. This movement continues today, forcing ever deeper segments of the still growing Alpine chain towards the surface.

### 1.5. GEOLOGICAL AND STRUCTURAL ZONES

Considering its geological framework, the Province of Brescia can be divided into eight geological and structural zones bound by regional tectonic lines and/or important stratigraphical boundaries. The lithologic patterns of the various formations, their age, and the structural styles imposed by Alpine compression characterize these zones (CASSINIS *et al.*, 1991; SCHIROLLI, 2001), which are outlined below and indicated on the simplified geological map of the Province of Brescia, and in the geological profiles (pl. I).

*Zone I* is located to the north of the *Tonale Line* and is called the Austroalpine paleogeographical-structur-

vincia di Brescia che nei relativi profili geologici (tav. I).

La *Zona I*, situata a nord della *Linea del Tonale*, è l'unica area bresciana in cui è visibile il Basamento cristallino appartenente al dominio paleogeografico-strutturale Austroalpino, rappresentato da rocce metamorfiche di età precedente al Carbonifero superiore. Sebbene litologicamente simili a quelle del basamento sudalpino, le rocce metamorfiche austroalpine ne differiscono per il fatto di mostrare anche tracce della sovrapposizione del metamorfismo alpino.

Tra la *Linea del Tonale* e l'*Anticlinale di Cedegolo* si ha la *Zona II*, nella quale affiora estesamente il Basamento cristallino appartenente al dominio paleogeografico-strutturale Sudalpino (rappresentato dagli *Scisti di Edolo* e altre formazioni), sempre di età precedente al Carbonifero superiore, metamorfosato durante l'orogenesi ercinica che ha preceduto quella alpina. In Val Camonica, lungo la *Linea della Gallinera*, le rocce metamorfiche sovrascorrono verso sud sulle unità di copertura del fianco settentrionale dell'Anticlinale di

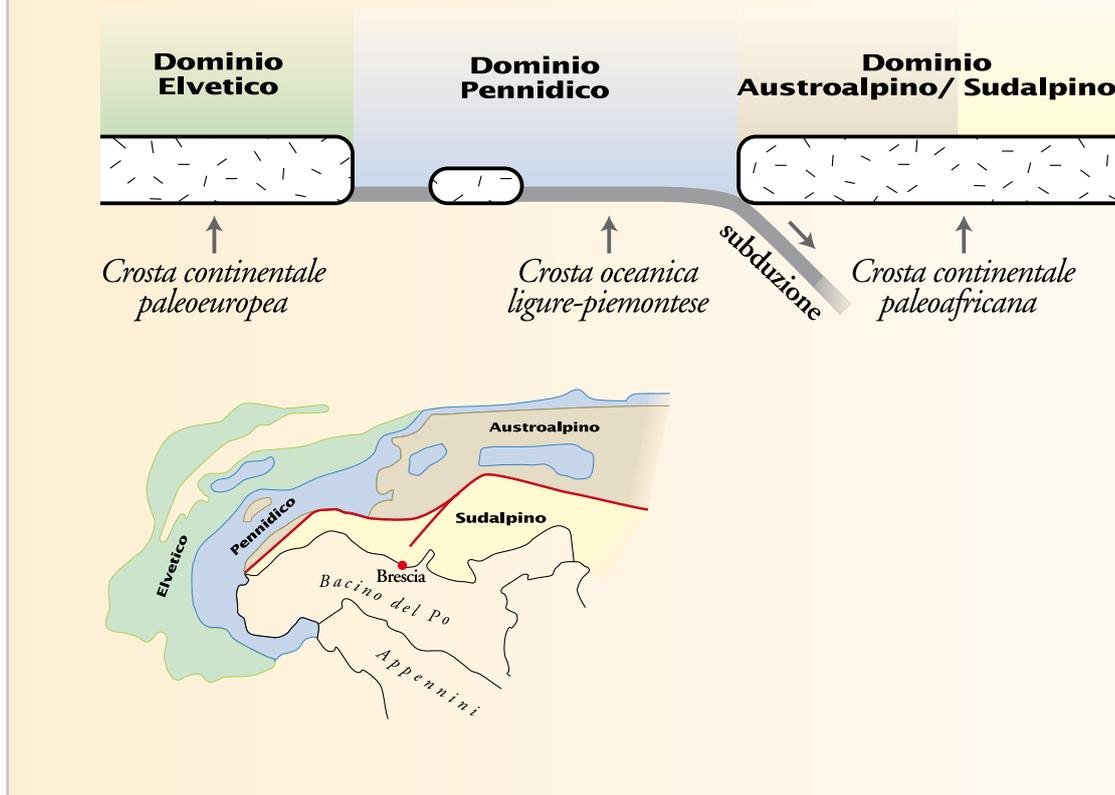
al domain. It includes basement rocks similar to those of the Southern Alps but with the important difference that these rocks also show a metamorphic overprint achieved during the formation of the Alps.

Between the *Tonale Line* and the *Cedegolo Anticline*, the crystalline basement of the South Alpine domain (locally known as *Edolo Schists* but including other formations) characterizes *Zone II*. These and similar rocks extending throughout the northern part of the Orobic Alps received a metamorphic overprint during a far earlier phase of mountain building than the Alps. In Val Camonica the southern boundary of Zone II is represented by the *Gallinera Line*, along which the basement rocks are thrust southwards on to Permian to Lower Triassic cover rocks of the northern limb of the southerly adjacent Cedegolo Anticline. The Permian to Lower-Middle Triassic sedimentary cover rocks of Zone III overlie the crystalline basement of the *Masaccio delle Tre Valli* of Zone IV.

The metamorphic basement of Zone II, the Galli-

**Fig. 8** Schema semplificato della natura ed originaria posizione dei maggiori domini paleogeografico-strutturali alpini durante il Cretaceo, all'inizio del processo di subduzione conseguente al movimento di riavvicinamento delle placche paleoeuropea e paleoafricana, che porterà all'inesorabile scontro delle due masse e all'innalzamento dell'edificio alpino.

Simplified outlines of the positions of the major paleogeographical-structural domains during the Cretaceous Period, at the beginning of the convergence between Paleo-Africa (including Adria) and Paleo-Europe, but prior to the continental collision that formed the Alps.

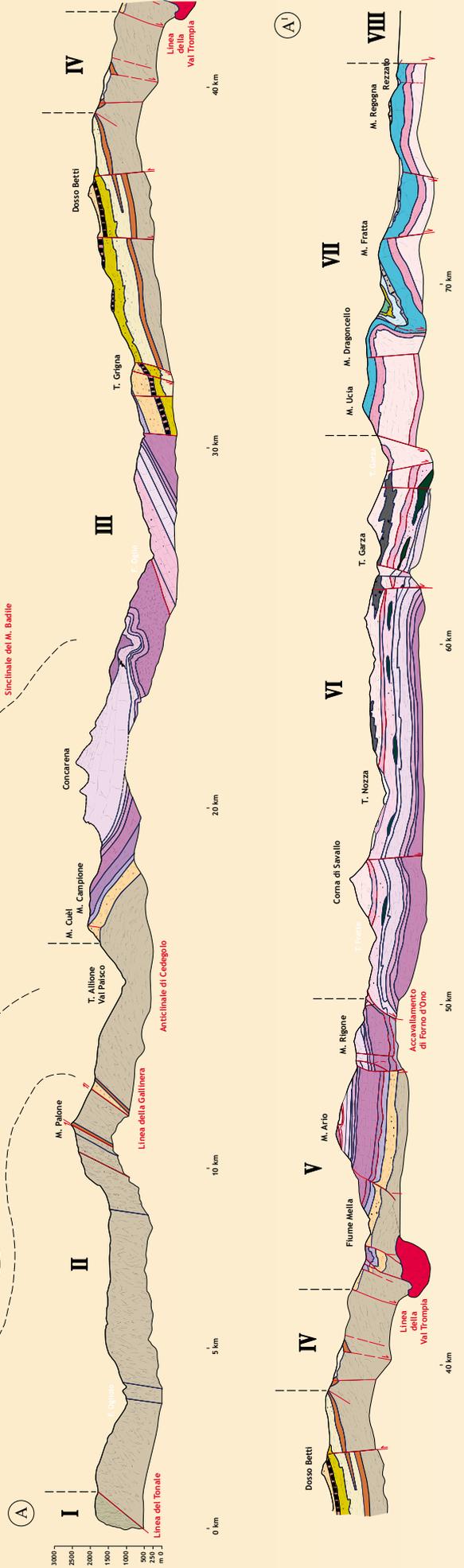
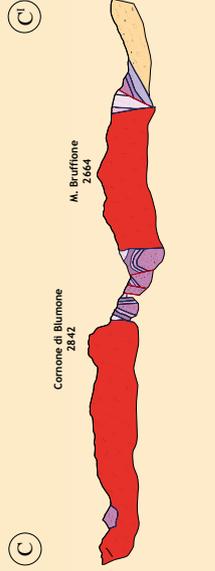


**Profili geologici ad andamento nord-sud** attraverso l'intera Provincia di Brescia. La carta geologica semplificata della Provincia di Brescia mostra i tracciati delle tre sezioni geologiche A-A', B-B', C-C'. I numeri romani riportati sia sulla carta geologica che sul profilo principale fanno riferimento alle zone geologico-strutturali descritte nel testo. Il profilo geologico principale (A-A') è stato realizzato attraverso l'elaborazione di profili e dati in parte pubblicati (BIANCHI et al., 1971; BONI e CASSINIS, 1973; BONI et al., 1968, 1970, 1972; BRACK, 1981; CASSINIS, 1980; CASSINIS e CASTELLARIN, 1981, 1988; CASSINIS e FORCELLA, 1981; DESIO et al., 1970; FORCELLA, 1981; SCHIAVINATO et al., 1969) e in parte inediti

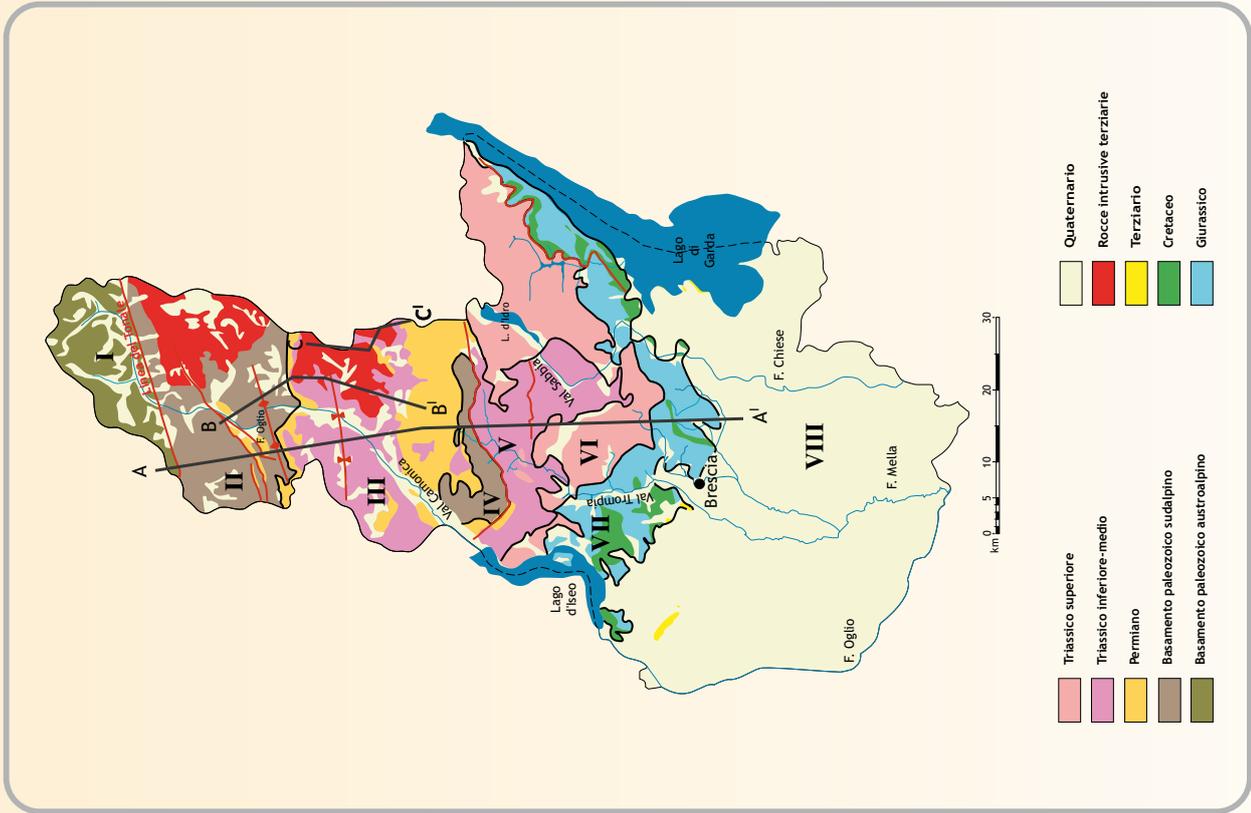
(BRACK, SCHIRULLI). Esso percorre il Bresciano per una lunghezza di circa 80 km e collega un punto situato poco a nord della Linea del Tonale, all'incirca in corrispondenza del Passo dell'Aprica, con gli ultimi rilievi che fronteggiano la pianura padana a Rezzato, poco ad est di Brescia. Altre due sezioni geologiche (B-B' e C-C') attraversano la parte occidentale del massiccio dell'Adamello. Le sezioni permettono di visualizzare tutte le maggiori strutture tettoniche che interessano la pellicola superficiale del substrato roccioso in questo comparto del Sudalpino, nonché di leggere l'intera successione stratigrafica e la variabilità nello spazio che essa manifesta lungo un asse meridiano.

North-South trending geological profiles across the entire Province of Brescia. The traces of the three geological profiles A-A', B-B', C-C' are indicated on the simplified geological map of the Province of Brescia. Roman numerals, both in the geological summary map and cross-section A-A', refer to the geological and structural zones described in the text. The profile A-A'

was compiled on the basis of published (BIANCHI et al., 1971; BONI & CASSINIS, 1973; BONI et al., 1968, 1970, 1972; BRACK, 1981; CASSINIS, 1980; CASSINIS & CASTELLARIN, 1981, 1988; CASSINIS & FORCELLA, 1981; DESIO et al., 1970; FORCELLA, 1981; SCHIAVINATO et al., 1969) and unpublished (BRACK; SCHIRULLI) information on the Brescian Alps. This profile is 80 kilometres long and extends from north of the Tonale Line near the Aprica Pass to the southernmost mountains north of the Po Plain (near Rezzato, a few kilometres to the east of Brescia). Profiles B-B' and C-C' cut the western Adamello intrusive massif. The cross-sections illustrate the main tectonic features affecting the entire stratigraphic succession of this part of the Southern Alps.



	Calcare di Pratoondo (Ladinico superiore)		Limite stratigrafico
	Formazione di Wengen (Ladinico medio-superiore)		Faglia
	Formazione di Buchenstein (Anisico superiore-Ladinico inferiore)		Rocce intrusive terziarie (Eocene superiore-Oligocene inferiore, 43-30 Ma)
	Calcare di Prezzo (Anisico superiore)		Maiolica (Titanico-Aptiano inferiore)
	Calcare di Angolo (Anisico inferiore-medio)		Selcifero Lombardo (Dogger-Titonico)
	Carniola di Bovegno (Scitico superiore-Anisico inferiore)		Gruppo di Concesio (Lias superiore-Dogger)
	Servino (Scitico)		Encrinite di Rezzato e Corso Rosso di Botticino (Lias inferiore-medio)
	Vulcaniti triassiche		Corna (Retico superiore?-Lias inferiore)
	Verrucano Lombardo (Permiano superiore)		Argillite di Riva di Soltò e Calcare di Zu (Norico superiore-Retico superiore/Lias inferiore)
	Vulcaniti di Auccia (Permiano inferiore)		Facies eterotipiche della Dolomia Principale (Norico)
	Conglomerato del Dosso dei Galli (Permiano inferiore)		Dolomia Principale (Carnico superiore-Norico)
	Formazione di Collio (Permiano inferiore)		Formazione di San Giovanni Bianco (Carnico superiore)
	Vulcaniti Permiane (Permiano inferiore)		Arenaria di Val Sabbia (Carnico inferiore-medio)
	Granodiorite della Val Navazze e Diorite della Val di Rangò (Permiano inferiore)		Formazione di Breno (Carnico)
	Basamento cristallino sudalpino (Pre-Carbonifero superiore)		Argillite di Lozio (Carnico inferiore)
	Basamento cristallino austroalpino (Pre-Carbonifero superiore)		Calcare di Esino (Ladinico superiore)



Cedegolo, ben visibili nella limitrofa zona meridionale, elidendole localmente.

La *Zona III* è rappresentata da una copertura sedimentaria comprendente terreni di età attribuibile al Permiano superiore e al Triassico medio-inferiore, poggiante in continuità stratigrafica sul basamento cristallino del Massiccio delle Tre Valli Bresciane, che emerge nella *Zona IV*.

La continuità del basamento cristallino della zona II, della Linea della Gallinera, e delle rocce sedimentarie permo-triassiche della zona III è interrotta ad oriente dalla presenza delle rocce magmatiche intrusive dell'Adamello e dal ramo meridionale della *Linea delle Giudicarie* (BRACK, 1981; BRACK *et al.*, 1985; CASSINIS, 1985).

Lungo la *Linea della Val Trompia* si ha l'innalzamento e l'accavallamento del basamento cristallino verso sud sui terreni intensamente deformati della *Zona V*. Essi risalgono principalmente al Triassico pre-Norico e risultano caratterizzati da una struttura a scaglie tettoniche sud-vergenti, accavallatesi grazie alla presenza di numerose faglie inverse locali con piani immergenti a nord.

Un sistema composto da numerose superfici di sovrascorrimento (significativo è l'*accavallamento di Forno d'Ono*) porta alla sovrapposizione dei terreni della zona V, riferibili al Triassico medio-inferiore, sulle formazioni del Triassico superiore poste a sud, nella *Zona VI*, estesamente rappresentate dalla Dolomia Principale. Questa formazione consiste in un potente piastrone dolomitico a comportamento fortemente rigido, fratturato al suo interno da faglie trascorrenti e inverse. Un generalizzato sovrascorrimento pone la Dolomia Principale sui più recenti terreni mesozoici dell'adiacente comparto meridionale e sud-orientale. Particolarmente evidente è l'*Accavallamento di Tremosine-Tignale* che corre parallelamente alla sponda occidentale del Lago di Garda, con andamento NNE-SSW.

La *Zona VII* è data da terreni di età Giurassico-Cretacica che hanno reagito plasticamente ai movimenti compressivi alpini, originando ampie pieghe sinclinali e anticlinali. Tali formazioni sono talora coperte, in discordanza stratigrafica o con contatti tettonici (i limiti sono generalmente occultati), da ridotti lembi di Terziario.

La *Zona VIII* è rappresentata dalla pianura a sud di Brescia, dove la successione vista nelle adiacenti zone settentrionali è sepolta sotto una potente coltre di depositi alluvionali di età Neogenico-Quaternaria, i quali si ispessiscono progressivamente verso sud. Infine, particolare risalto morfologico assumono le colline moreniche situate a ridosso del Lago d'Iseo e del Lago di Garda, generate dall'azione dei ghiacciai quaternari.

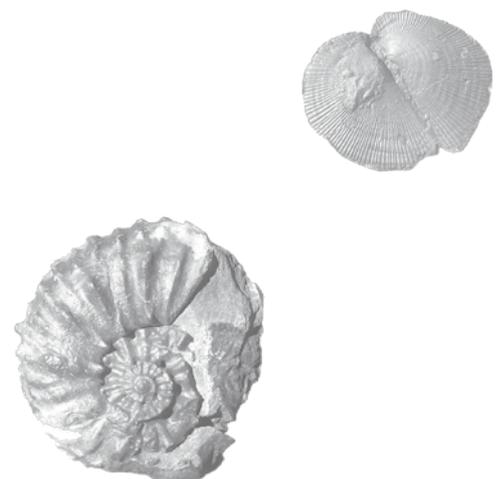
nera Line, and both Permian and intensely folded Triassic sediments of Zone III are cut by the Adamello intrusions (BRACK, 1981, BRACK *et al.*, 1985). Their easternmost extensions terminate at the South-Giudicarie Line (CASSINIS, 1985).

The *Val Trompia Line* is the surface expression linked to the rise of a south-vergent thrust separating the basement area of Zone IV from the deformed sediment successions of Zone V to its south. The pre-Norican Triassic formations of Zone V are displaced along numerous local reverse faults with northward-dipping planes. The *Forno d'Ono Thrust* is one of the major structures separating southward transported Lower-Middle Triassic rocks in the hangingwall from folded Middle Triassic rocks and the rigid slices of *Dolomia Principale* of Zone VI. The latter rocks are cut by reverse and wrench faults.

Further south the *Dolomia Principale* is thrust onto younger Mesozoic formations. A prominent expression of such tectonic contacts is the *Tremosine-Tignale Thrust*, with a NNE-SSW trend running parallel to the western shores of Lake Garda.

Jurassic, Cretaceous and locally Tertiary rocks representing *Zone VII* occur along the border with the Alps. The contacts of Tertiary sediments with Jurassic and Cretaceous formations are mostly hidden but are thought to be tectonic. Thrusting and deformation of these Tertiary rocks occurred during the latest stages of Alpine compression.

The southernmost zone of our scheme (*Zone VIII*) corresponds to the plain south of Brescia. In this sector, flat-lying and southward-thickening Neogene-Quaternary alluvial deposits cover deformed and stratigraphically deeper sediments in the subsurface. Finally, the moraine amphitheatres in front of Lake Iseo and Lake Garda represent a landscape modelled by glacial activity.



**UNITÀ STRATIGRAFICHE E STRATOTIPI:  
CONCETTI BASILARI DELLA STRATIGRAFIA**

STRATIGRAPHIC UNITS AND STRATOTYPES:  
THE BASIC CONCEPTS OF STRATIGRAPHY



## 2.1. COSA STUDIA LA STRATIGRAFIA

La *stratigrafia* (dal latino *stratum* e dal greco *graphia*) può considerarsi la disciplina più vasta delle Scienze della Terra, tanto che, come sottolinea MARIA BIANCA CITA nella premessa alla Guida Italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica, in veste di Chairman dell'International Subcommittee on Stratigraphic Classification (ISSC) e Presidente della Commissione Italiana di Stratigrafia (CIS) della Società Geologica Italiana (SGI), la stratigrafia può a ragione considerarsi ancora oggi il nocciolo duro della geologia (GERMANI e ANGIOLINI, 2003).

La stratigrafia si occupa di descrivere e organizzare in unità distinte, utili e cartografabili, nel tempo e nello spazio, tutte le rocce che costituiscono la parte superficiale della crosta terrestre e gli eventi che esse rappresentano, al fine di ricostruire la storia della Terra e la sua evoluzione (MURPHY e SALVADOR, 1999). La stratigrafia indaga tutte le proprietà delle rocce (composizione litologica, contenuto fossifero, ecc...) e, con particolare attenzione verso lo studio delle successioni sedimentarie, suddivide le masse rocciose in unità, le classifica, le cartografa, ne definisce le relazioni cronologiche e i reciproci rapporti geometrici, fino a giungere alla caratterizzazione dell'originario ambiente genetico. Il suo campo d'indagine comprende dunque una *componente temporale* (costruzione di una scala cronostratigrafica globale standard, studio della successione e della cronologia dei corpi rocciosi, determinazione delle relazioni temporali tra i corpi rocciosi a scala locale o regionale) e una *componente spaziale* (distribuzione areale dei corpi rocciosi e delle loro caratteristiche litologiche, paleontologiche, geofisiche e geochemiche, ricostruzione paleogeografica e paleoambientale). La stratigrafia ricerca anche eventuali momenti della storia della Terra non registrati all'interno delle masse rocciose, attraverso lo studio delle

## 2.1. WHAT IS STRATIGRAPHY ABOUT?

Stratigraphy is one of the widest fields of the Earth Sciences and is described as the heart of geology in the foreword to the current Italian Guide to Stratigraphic Classification and Terminology (GERMANI and ANGIOLINI, 2003), written by M.B. CITA, Chairman of the International Subcommittee on Stratigraphic Classification (ISSC) and of the Italian Commission of Stratigraphy (CIS) of the Italian Geological Society (SGI).

MURPHY and SALVADOR (1999) define stratigraphy (from Latin *stratum* and Greek *graphia*) as "the description of all rock bodies forming the Earth's crust and their organization into distinctive, useful, mappable units based on their inherent properties or attributes

### 2.1.1. FINESTRA DI APPROFONDIMENTO

#### IL FONDATORE DELLA STRATIGRAFIA E IL PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE

#### THE FOUNDER OF STRATIGRAPHY AND THE SUPERPOSITION PRINCIPLE

All'interno di una successione sedimentaria nella quale gli strati si impilano dando origine ad una serie "normale", vale a dire che non è stata sottoposta a sconvolgimenti e/o rovesciamenti causati da movimenti tettonici successivi alla loro formazione, ciascuno strato si è deposto in un momento successivo rispetto a quello su cui giace. I livelli più alti risultano pertanto più recenti di quelli più bassi. Questo principio fondamentale della stratigrafia fu enunciato dall'anatomista e geologo danese NICCOLÒ o NICOLA STENONE (Niels Stensen, Copenhagen 1638 - Schwerin 1686) nella seconda metà del XVII secolo, in un'opera dal titolo *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* (1669). Stenone viene pertanto ritenuto il fondatore della Stratigrafia.



Niccolò Stenone

In any succession of sedimentary layers forming a "normal" series (*i.e.* in which there has been little post-depositional tectonic deformation or overturning), a single bed is considered to have formed after the underlying bed. The upper boundary of a layer is therefore younger than its base. This fundamental law of stratigraphy was formulated in a work entitled *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* (1669) by the Danish anatomist and geologist NICOLAS STENO (born Niels Stensen in Copenhagen, 1638, but more commonly known by his Latinized name). Steno is thus generally considered the founder of Stratigraphy.

lacune e delle discordanze che possono interromperne la continuità.

Per approfondimenti sulla nomenclatura e sulle procedure stratigrafiche si vedano SALVADOR (1994), MURPHY e SALVADOR (1999), GERMANI e ANGIOLINI (2003), che hanno guidato la stesura di questa parte del volume.

## 2.2. LE UNITÀ FONDAMENTALI DELLA CLASSIFICAZIONE STRATIGRAFICA

La stratigrafia riconosce nei corpi rocciosi tipi differenti di unità in rapporto al tipo di proprietà che si va ad indagare. Un corpo roccioso mostra generalmente una molteplicità di caratteri, ciascuno dei quali può essere utilizzato singolarmente per la sua classificazione. Le variazioni delle caratteristiche connesse a ciascuna proprietà possono dunque collocarsi a differenti livelli all'interno della massa rocciosa, comportando una coincidenza solo sporadica dei limiti delle varie unità.

La classificazione stratigrafica si attua attraverso l'uso delle unità stratigrafiche, regolato da una nomenclatura internazionale (SALVADOR, 1994 e versioni aggiornate). Si possono considerare "classiche" le categorie di unità di seguito elencate:

- **unità litostratigrafiche:** si basano sulle proprietà litologiche dei corpi rocciosi. Sono rappresentate da associazioni di strati e masse rocciose distinte in base ai caratteri litologici, sedimentologici, petrografici, mineralogici osservabili direttamente sul terreno (*Gruppo, Formazione, Membro, Strato*).
- **unità biostratigrafiche:** si basano sul contenuto paleontologico dei corpi rocciosi. Esse rappresentano suddivisioni (dette *biozone*) interne alle successioni sedimentarie, basate sulla distribuzione verticale di fossili particolarmente significativi (fossili-guida) o su associazioni composte da forme diverse. I fossili difatti mutano nel tempo in modo irreversibile seguendo un'evoluzione biologica che non si ripete mai.
- **unità geocronologiche e cronostratigrafiche:** si basano sull'attribuzione cronologica dei corpi rocciosi. Mentre le prime sono le unità nelle quali è suddiviso il tempo geologico (*eone, era, periodo, epoca, età, sottoetà*), le seconde indicano le associazioni di strati che si sono depositi durante una certa unità di tempo (*eonotema, eratema, sistema, serie, piano, sottopiano*) e rappresentano la concretizzazione materiale delle unità geocronologiche.

Altre unità formalizzate sono le *unità magnetostratigrafiche*, che si basano sulla polarità normale o inversa della magnetizzazione residua dei corpi rocciosi e le *unità a limiti inconformi (Unconformity-Bounded Stratigraphic Units, UBSU)*, unità delimitate superiormente e inferiormente da discontinuità stratigrafiche significative. Esistono anche unità informali basate su proprietà sismiche, elettriche, sugli isotopi stabili e sui minerali pesanti.

in order to establish their distribution and relationship in space and their succession in time, and to interpret geologic history".

Stratigraphy involves study of the properties of rocks (lithological composition, fossil content, etc.). For mapping purposes it subdivides sedimentary successions into distinct recognizable units and defines their vertical succession and geometric relationships. Another goal of stratigraphic analysis is the interpretation of the depositional paleoenvironment. Stratigraphy thus involves two basic elements: *time* (definition of a Standard Global Chronostratigraphic Scale, study of the succession and chronology of rock bodies, correlation of these bodies to local or regional scale) and *space* (mapping the areal distribution of the rock bodies, understanding lateral changes in lithological, paleontologic, geophysical and geochemical properties, constructing paleogeographical and paleoenvironmental interpretations). Through the study of discontinuities and unconformities, stratigraphy also deals with those time intervals of Earth's history not directly recorded by the sedimentary successions.

The following paragraphs of this volume are based upon several key works on the nomenclature and procedures of stratigraphy (SALVADOR, 1994; MURPHY and SALVADOR, 1999; GERMANI and ANGIOLINI, 2003), and the interested reader is directed towards these references.

## 2.2. THE BASIC UNITS OF STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION

A succession of sedimentary layers can be subdivided on the basis of their inherent properties. Rapid variations in such properties may be used to define a stratigraphic boundary. However, in a stratigraphic succession the variation of different properties often do not all coincide and stratigraphic boundaries may thus be drawn at different levels.

The standard stratigraphic classification makes use of stratigraphic units, according to an international nomenclature (SALVADOR, 1994 and up-to-date versions). The following categories of stratigraphic units are the most widely used:

- **Lithostratigraphic Units** are based on lithological properties of rocks and comprise bed associations and rock bodies defined on the basis of lithological, sedimentological, petrographical and mineralogical characters, all directly observable in the field (*Group, Formation, Member, Bed*).
- **Biostratigraphic Units** are based on the fossil content of sedimentary rocks and provide subdivisions (*biozones*), based on the vertical distribution either of a single important index fossil (guide-fossil) or of a fossil assemblage. In fact, organisms and their fossil remains show evolutionary changes through geologic time that are not repeated in the stratigraphic record.

Ciascuna categoria di unità è suddivisa in termini gerarchici di entità e/o durata relativa diversa (tab. 1), ad esempio *eonotema*, *eratema*, *sistema*, *serie*, *piano*, *sottopiano* per le unità cronostratigrafiche, e in ciascuna categoria esiste convenzionalmente un'unità fondamentale, ad esempio il *piano* è l'unità cronostratigrafica fondamentale.

### 2.3. LE UNITÀ STRATIGRAFICHE DI RIFERIMENTO GLOBALE

Appare evidente che la maggior parte delle categorie stratigrafiche (ad es. litostratigrafia e biostratigrafia) sono rappresentate da unità sostanzialmente descrittive, in quanto basate sul riconoscimento di caratteri fisici o sul contenuto paleontologico del corpo roccioso, attributi che generalmente forniscono all'unità un'estensione laterale limitata rintracciabile a scala locale e/o regionale. Solo le unità basate sul concetto universale di "tempo" (unità cronostratigrafiche e geocronologiche) possono essere riconosciute a livello globale. Dal momento che le unità geocronologiche sono unità di tempo geologico, concettuali e astratte, gli stratigrafi hanno scelto per convenzione internazionale le unità cronostratigrafiche per indicare la posizione di un corpo roccioso nella colonna stratigrafica al fine di operare correlazioni a livello globale. Le unità cronostratigrafiche rappresentano difatti il tempo in modo tangibile, identificandolo con il corpo roccioso formatosi in quel determinato arco di tempo. Tali unità costituiscono l'equivalente delle unità di misura standard, come il "metro campione" di Parigi o il "piede" e la "iarda" di Londra.

Ma perché è indispensabile la coesistenza di entrambe le unità connesse al fattore temporale? Per la generalizzata presenza di lacune di varia entità all'interno dei corpi rocciosi. In tal senso la scala cronostratigrafica, rappresentata dalle rocce, deve essere considerata discontinua, assegnando dunque alle corrispettive unità geocronologiche il carattere astratto della continuità temporale. Per ovviare al problema gli stratigrafi hanno scelto di identificare le unità cronostratigrafiche tramite i loro limiti anziché attraverso l'intero corpo roccioso posto tra i limiti, soggetto ad essere per sua natura discontinuo.

### 2.4. FORMAZIONI E BIOZONE

Con il termine *formazione* si definisce, in senso strettamente geologico, un corpo roccioso, massiccio o stratificato, che mostra caratteristiche litologiche uniformi, tali da permetterne sul terreno un'agevole distinzione rispetto alle unità tra le quali è compreso, e che presenti spessore ed estensione tali da rendere l'unità cartografabile. Essa rappresenta l'unità litostratigrafica fondamentale. Come per tutte le unità litostratigrafiche, le formazioni si basano solo sui caratteri fisici oggettivi

■ *Geochronologic and Chronostratigraphic Units* are based on the age attribution of rock bodies. Geochronologic Units are the intangible units into which geological time is subdivided (*Eon, Era, Period, Epoch, Age, Sub-age*). Chronostratigraphic Units indicate bed associations that formed during a specific interval of geologic time (*Eonothem, Erathem, System, Series, Stage, Sub-stage*) and thus represent the tangible expression of the equivalent geochronologic units.

Other types of formal units used for stratigraphic subdivision are the *Magnetostratigraphic Polarity Units* (based on normal or reversed magnetic polarity directions preserved in the sedimentary rocks) and the *Unconformity-Bounded Units (UBSU)* (representing intervals of sedimentary layers which are confined above and below by significant discontinuities in the stratigraphic succession). Additional informal subdivisions used in stratigraphy rely on variation of other parameters such as seismic or electrical properties, stable isotopic signatures or the contents of detrital heavy minerals.

Each category of stratigraphic units is subdivided into hierarchically classified formal unit-terms (tab. 1), such as those mentioned above for the Chronostratigraphic Units. Each category has a conventional primary unit (normally the lowest ranking unit). For example the *Stage* is considered the basic unit of the chronostratigraphic classification.

### 2.3. THE STRATIGRAPHIC UNITS OF GLOBAL REFERENCE

Most stratigraphic categories (*e.g.*, litostratigraphy and biostratigraphy) are descriptive units, based on physical properties or on paleontological contents of sedimentary successions. These attributes are usually valid in a restricted area (*i.e.* on a local to regional scale). Only units based on the universal concept of "time" (chronostratigraphic and geochronologic units) are appropriate for a global synthesis. Because geochronologic units are units of (geologic) time and are thus a conceptual and intangible property, stratigraphers generally use the chronostratigraphic units for communication and global correlation of stratigraphic sections and rock bodies. These chronostratigraphic units define geological time by identifying the rock body that formed in a given time span. These units are effectively equivalent to standard measure units, like the "metre sample" in Paris or "foot" and "yard" in London.

The reason for maintaining two separate time-dependent units is that gaps in the sedimentary record are common. The chronostratigraphic pattern characterized by rock bodies is discontinuous, leading stratigraphers to decide to define chronostratigraphic units

CATEGORIE DI UNITÀ STRATIGRAFICHE STRATIGRAPHIC CATEGORIES	PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE PRINCIPAL STRATIGRAPHIC UNIT-TERMS	
Litostratigrafiche Lithostratigraphic	Gruppo <i>Formazione</i> Membro Strato, Colata	Group <i>Formation</i> Member Bed, Flow
Biostratigrafiche Biostratigraphic	<i>Biozone:</i> Biozona di distribuzione Biozona di intervallo Biozona filetica Biozona di associazione Biozona di abbondanza Altri tipi di biozone	<i>Biozones:</i> Range zones Interval zones Lineage zones Assemblage zones Abundance zones Other kinds of biozones
Magnetostatigrafiche Magnetostratigraphic polarity	<i>Zona di polarità magnetostatigrafica</i>	<i>Polarity zone</i>
A limiti inconformi Unconformity-bounded	Supersintema <i>Sintema</i> Subsintema	Supersynthem <i>Synthem</i> Subsynthem
Altre categorie di unità stratigrafiche informali Other informal stratigraphic categories	-zona con suffisso appropriato	-zone with appropriate prefix
Cronostatigrafiche Chronostratigraphic	Eonotema (es. Fanerozoico) Eratema (es. Mesozoico) Sistema (es. Triassico) Serie (es. Medio) <i>Piano</i> (es. Ladinico) Sottopiano (es. Fassanico) (Cronozona)	Eonothem Erathem System Series <i>Stage</i> Substage (Chronozone)
Equivalenti unità geocronologiche Equivalent Geochronologic Units	Eone (es. Fanerozoico) Era (es. Mesozoico) Periodo (es. Triassico) Epoca (es. Medio) <i>Età</i> (es. Ladinico) Sottoetà (es. Fassanico) (Crono)	Eon Era Period Epoch <i>Age</i> Subage (Chron)

Schema delle categorie di unità stratigrafiche e delle principali unità stratigrafiche in uso nella classificazione stratigrafica (parzialmente modificato da SALVADOR, 1994).

Summary of Categories and Unit-Terms in stratigraphic classification (partly modified from SALVADOR, 1994).

Tab. 1

dei corpi rocciosi, ben riconoscibili sul terreno, riassumibili in due principali proprietà: litologia e posizione stratigrafica. L'impilamento verticale delle formazioni dà origine alle successioni stratigrafiche.

Alle formazioni vengono attribuiti nomi specifici e un particolare colore sulla carta geologica o sui profili geologici, tale da permettere di osservare speditamente la loro estensione in affioramento. Il carattere locale o regionale delle formazioni ha condizionato le norme per la costruzione della loro denominazione formale, la quale può essere di origine storica (ad. es. Servino) oppure deve contenere il nome della località-tipo di affioramento preceduto dal rango dell'unità (ad es. Formazione di Buchenstein) o nel caso vi sia una litologia prevalente di valore diagnostico, dal riferimento a tale litologia (ad es. Calcarea di Angolo).

L'esame paleontologico di una successione sedimentaria consente la suddivisione e l'organizzazione della stessa in *biozone* (o *zone biostratigrafiche*), nel caso il corpo roccioso sia particolarmente ricco di fossili significativi. Le biozone sono unità biostratigrafiche descrittive che presentano un'estensione temporale e geografica definita. Nell'ambito di una sezione stratigrafica esse mostrano una estensione verticale che le rende di fondamentale importanza per l'inquadramento temporale della successione in esame, o meglio, per la sua datazione relativa. L'estensione laterale delle biozone appare evidente invece quando più sezioni stratigrafiche vengono tra loro correlate. Il riferimento alle biozone è facilmente comprensibile in quanto al termine indicativo del tipo di biozona è sempre associato il nome del fossile o dell'associazione faunistica che caratterizza l'unità. Uno dei grandi vantaggi della classificazione biostratigrafica è quello di poter caratterizzare uno stesso intervallo stratigrafico con l'integrazione di più tipi di biozonazione (biozona di distribuzione, di intervallo, filetica, di associazione, di abbondanza), riferita a fossili di organismi appartenuti a gruppi tassonomici differenti. La scala biostratigrafica è poi di fatto quella su cui si basa maggiormente la cronostratigrafia: la *cronozona* è un'unità cronostratigrafica formale priva di specifico rango, la quale rappresenta l'estensione temporale massima di una biozona, con un potere di correlazione molto più ampio, anche se non a scala globale. Se la biozona dedicata ad una determinata specie si riferisce agli strati che contengono i resti fossili di quella specie, la cronozona dedicata alla medesima specie si riferisce a tutti gli strati, ovunque affiorino, della medesima età corrispondente alla distribuzione verticale totale di quella specie, anche laddove tale fossile sia assente.

## 2.5. IL FORMALISMO DELLA STRATIGRAFIA

La stratigrafia pone un'attenzione particolare al formalismo. Quasi tutte le unità stratigrafiche devono essere formalizzate attraverso precise procedure codi-

through fixing their boundaries rather than the entire (but potentially discontinuous) succession.

## 2.4. FORMATIONS AND BIOZONES

In a strict geological sense the term *formation* is defined as a body of massive or bedded rocks, with uniform lithological characteristics that allow its distinction in the field from neighbouring lithologies. The formation is the primary formal unit of lithostratigraphic classification and it represents the basic unit of geological mapping. Formations are identified on the basis of properties observed in the field: lithology and stratigraphic position. The normal superposition of formations is a stratigraphic succession.

On geologic maps and profiles, formations are indicated with a specific name and colour, which allow their lateral and vertical extensions to be readily assessed. The name of a formation typically depends on its local or regional distribution. A formation name can be of historic origin (*e.g.*, Servino) or bear the name of a locality or area, often also containing the predominant rock type (*e.g.*, the formation named "Angolo Limestone" refers to the village of Angolo in Val Camonica).

The occurrence of specific meaningful fossils in sedimentary successions (many sediments bear few or no fossils) allows their subdivision and organization into *Biozones* (or *Biostratigraphic Zones*). Biozones are descriptive units with a defined temporal and geographical extent. In a stratigraphic section, the vertical range of biozones provides a relative chronology. The stratigraphic resolution depends on the number of biozones present in a given interval and may thus be variable. The lateral extension of biozones allows correlation of multiple stratigraphic sections. The name of a biostratigraphic unit usually bears the name of the characteristic fossil or faunal assemblage, along with a term indicating the type of the named unit. The same stratigraphic interval may comprise different biozones, depending on the type of biozone (range zone, interval zone, lineage zone, assemblage zone, abundance zone) and the chosen fossil group.

Chronostratigraphy is based mainly on the biostratigraphic scale. The *chronozone* is a formal chronostratigraphic unit of unspecific rank, representing the maximum time range of the equivalent biozone. It allows wide stratigraphic correlation, but not on a global scale. While the biozone named after a fossil species refers to sediments bearing that particular fossil, the chronozone named after the same fossil refers to all rocks formed in the corresponding time interval regardless of the presence or absence of the diagnostic fossil.

## 2.5. THE FORMALISM OF STRATIGRAPHY

Most stratigraphic units must be formalized in accordance with precise internationally codified rules.

ificate a livello internazionale. Tale formalizzazione implica che per ciascuna unità sia scelto uno *stratotipo* e/o una *località-tipo* come standard di riferimento per tutti gli studiosi, che rappresenta il luogo nel quale l'unità stessa è stata definita, caratterizzata e descritta in tutte le sue proprietà. La proposta di formalizzazione di una nuova unità deve essere pubblicata su riviste scientifiche riconosciute a livello nazionale e/o internazionale e l'unità può divenire formale solo dopo una formale ratificazione da parte della commissione scientifica competente.

Anche la scelta della denominazione delle unità stratigrafiche è sottoposta a regole precise che determinano la modalità di costruzione dei nomi, spesso diversificandola secondo la tipologia dell'unità. I nomi formali sono riconoscibili perché scritti sempre con le iniziali maiuscole dei sostantivi che li compongono. I nomi delle unità litostratigrafiche sono composti da un termine geografico preceduto da un termine che indica il rango dell'unità (ad es. Formazione di Wengen) oppure da un termine indicante la litologia prevalente (ad es. Calcarea di Prezzo). Nelle unità biostratigrafiche il nome formale deve essere composto dal termine indicante il tipo di biozona seguito dal nome del fossile o dell'associazione faunistica che le caratterizzano (ad es. Biozona di distribuzione di *Reitziites reitzi*, abbreviato in Biozona a *Reitziites reitzi*). In tutte le tipologie di unità esistono poi nomi da considerarsi tradizionali, che vengono mantenuti anche se la loro costruzione non risponde più alle odierne regole imposte dai codici (ad es. Triassico, Dolomia Principale). *Servino* è ad esempio il nome tradizionale di una formazione triassica ben conosciuta in Lombardia per i suoi giacimenti di minerali contenenti ferro (siderite ed ematite), che in Val Trompia e in Val di Scalve per secoli furono estratti divenendo uno dei principali pilastri dell'economia locale, compresa quella di Bagolino.

## 2.6. STRATOTIPI E LOCALITÀ-TIPO

Lo stratotipo è rappresentato dalla successione di strati prescelta come standard di riferimento per una particolare unità stratigrafica. Il requisito principale di uno stratotipo deve essere la sua rappresentatività: la completezza della successione di strati e la buona esposizione ed accessibilità del corpo roccioso sono elementi fondamentali per una definizione chiara, evidente e completa delle caratteristiche di un'unità. La descrizione geologica deve comprendere tutte le possibili proprietà dell'unità: litologia, contenuto paleontologico, mineralogico e petrografico, assetto giacitura, strutturale e geomorfologico.

Il concetto di stratotipo è applicato a cominciare dalla metà del XIX secolo alla definizione del "piano", inteso quale unità stratigrafica fondamentale e concreta indicante una precisa "età". Il termine "stratoti-

This formalization requires that each chosen unit must be represented by a *stratotype* and/or a *type-locality*, as a reference for all geologists. The stratotype and type-locality represent a section in which the unit's characteristic properties are exemplified and have been thoroughly described. The proposal of a new formal stratigraphic unit must be published in a national and/or international scientific journal, and the unit is only recognized after ratification by the most relevant scientific commission.

Furthermore, the denomination of a stratigraphic unit has precise rules, and the initial letters of all components of the formal names of stratigraphic units must be capitalized. The name of a formal lithostratigraphic unit consists of a geographic name combined with either the term defining its rank (e.g., Wengen Formation) or a lithological term indicating its dominant rock type (e.g., Prezzo Limestone). The formal name of biostratigraphic units comprises the type of biozone combined with the name of the characteristic fossil or fossil assemblage (e.g., *Reitziites reitzi* Range Biozone, simplified to *Reitziites reitzi* Zone).

Traditional names that do not follow the above-mentioned procedures exist in all stratigraphic categories. Such names are usually maintained, but often re-defined (e.g., Triassic, *Dolomia Principale*). For example, the Lombardian *Servino* is a Lower Triassic stratigraphic interval well known for its local abundance of iron-bearing minerals. In Val Trompia and Val di Scalve these strata were exploited over centuries and formed a pillar of the local economies, including that of Bagolino.

## 2.6. STRATOTYPES AND TYPE-LOCALITIES

A stratotype is a succession of strata chosen as a standard of reference for a particular stratigraphic unit. The main requirements for a stratotype are excellent exposure and good accessibility. The geologic description must include all relevant lithological, paleontological, mineralogical and petrographical properties of the unit at this type-section, as well as features such as the bedding attitude and the structural and geomorphological appearance.

Since the mid 20th century the stratotype-concept had been applied to the definition of a "stage" as the fundamental stratigraphic unit which indicates a precise "age". In 1952 the International Subcommittee on Stratigraphic Classification (ISSC) of the International Union of Geological Sciences (IUGS) formally introduced the term "stratotype". The concept of a stratotype can be extended to an entire stratigraphic unit (*Unit-Stratotype*) or only to its boundaries (*Boundary-Stratotype*). The *Type-Localty* hosts the stratotype or refers to the locality where the stratigraphic unit was originally described.

po" nasce invece nel 1952 ad opera dell'International Subcommission on Stratigraphic Classification (ISSC) dell'International Union of Geological Sciences (IUGS). L'applicazione della nozione di stratotipo porta ad una graduale evoluzione e ad un affinamento nell'uso del termine.

Il concetto di stratotipo può essere esteso ad un'intera unità (*stratotipo dell'unità*) oppure solo ai suoi limiti (*stratotipo del limite*), mentre la *località-tipo* rappresenta la località geografica in cui si trova uno stratotipo definito o la località nella quale l'unità è stata originariamente definita e denominata in assenza di uno specifico stratotipo.

Oggi si propende a definire le unità di valore regionale o locale attraverso lo stratotipo dell'unità comprensiva dei suoi limiti, mentre per le unità di scala globale, ad esempio quelle cronostatigrafiche, viene ratificato il limite inferiore, denominato GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point) (COWIE 1986; COWIE *et al.* 1986; REMANE *et al.* 1996; SALVADOR 1994). Difatti, come emerge negli anni '80 e '90, l'utilizzo di un unico punto interno alla successione rocciosa, il quale rappresenta un istante del tempo geologico, permette di definire inequivocabilmente lo standard di riferimento e meglio si presta alle correlazioni globali, evitando lacune e/o parziali sovrapposizioni tra stratotipi di unità in successione. L'unità cronostatigrafica risulta così definita dallo stratotipo del suo limite inferiore stabilito in una certa località e dallo stratotipo del limite inferiore dell'unità sovrastante, definito in una località diversa. È chiaro che in quest'ottica lo stratotipo dell'unità assume in generale una funzione più di caratterizzazione che di definizione formale, pur rimanendo comunque anch'esso di fondamentale importanza.

## 2.7. IL PROCESSO DI ACCREDITAMENTO DI UN GSSP

Mentre per le unità di valore locale o regionale è sufficiente la ratifica di commissioni stratigrafiche o servizi geologici nazionali, per le unità di valore globale, come i limiti delle unità cronostatigrafiche, è indispensabile la ratifica dell'International Commission on Stratigraphy (ICS) dell'International Union of Geological Sciences (IUGS).

La definizione formale di un GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point) comincia dall'esame da parte di un gruppo di lavoro ufficiale, appositamente formatosi, di tutte le sezioni stratigrafiche di cui è stata avanzata proposta di definizione per un determinato GSSP. Il principio che ispira la scelta di un GSSP è il suo potere di correlazione a scala globale, il quale a sua volta dipende dagli eventi stratigrafici che in esso sono contenuti (bioeventi, inversioni magnetiche, livelli datati radiometricamente, ecc.), secondo un approccio integrato di tutti gli strumenti stratigrafici disponibili. La

At present stratigraphers use to define unit-stratotypes only for units of regional or local extent. For global units (*e.g.*, chronostratigraphic units) instead, a boundary-stratotype named GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point) is defined and ratified for only the lower boundary of each unit (COWIE 1986; COWIE *et al.* 1986; REMANE *et al.* 1996; SALVADOR 1994). This usage emerged in the 1980s and 90s and allows the definition of a single point as a global reference in a stratigraphic succession (instead of two subsequent boundaries). Consequently, a chronostratigraphic unit is defined by the boundary-stratotype of its lower boundary, situated in one type-locality, and the boundary-stratotype of the base of the overlying unit, generally located in another type-locality.

### 2.7. PROCEDURES FOR RATIFICATION OF GSSPs

While the ratification of stratigraphic units of local or regional extent requires approval from local or national stratigraphic commissions, the units of worldwide significance (*e.g.*, the boundaries of chronostratigraphic units) must be ratified by the International Commission on Stratigraphy (ICS) of the International Union of Geological Sciences (IUGS).

The formal definition of a GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point) begins with the examination of all stratigraphical sections that have been proposed as potential type sections by an official working group. The most important requirement when choosing a GSSP is that the available stratigraphic information allows this boundary to be correlated over long distances. Such correlation can rely on a combination of bioevents, magnetic-polarity reversals, radiometrically dated layers and other parameters. The characterization of a GSSP usually relies on a combination of many stratigraphic tools. The GSSP-proposal is then submitted to the responsible subcommission of the International Commission on Stratigraphy (ICS). After approval by the ICS, the GSSP must be ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS). Thereafter, the "golden spike" can be marked at the GSSP-site, which now represents the global reference point. A synthesis of the principal stratigraphic data of stratotype sections is usually published in the international scientific journal "Episodes".

The sum of all ratified reference points will eventually yield a complete Standard Global Chronostratigraphic Scale. This will be a reference for dating rocks and geologic events worldwide and will coexist with the Standard Global Geochronologic Scale, a calibration in absolute age. Both scales are continuously being updated. Currently, efforts of the geologic community focus on completing the Chronostratigraphic scale through definition of the GSSPs of all accepted chronostratigraphic units. The ratification of the GSSP for

valutazione in favore di una particolare sezione da parte del gruppo di lavoro è sottoposta alla sottocommissione competente all'interno dell'International Commission on Stratigraphy (ICS). Se il parere è favorevole, la proposta viene votata dall'International Commission on Stratigraphy (ICS) e successivamente ratificata dall'International Union of Geological Sciences (IUGS). Solo al termine di tale processo di accreditamento può essere piantato il "chiodo d'oro" nel punto validato a livello globale come GSSP e una sintesi dei principali dati stratigrafici che caratterizzano lo stratotipo viene pubblicata su "Episodes", rivista scientifica internazionale che si occupa principalmente di stratigrafia.

L'approvazione da parte della comunità scientifica internazionale dell'efficacia del concetto stesso di stratotipo del limite inferiore ha portato alla costruzione di una Scala Cronostratigrafica Globale Standard, costituita da unità cronostratigrafiche definite solo attraverso il loro GSSP. Essa serve di riferimento per la datazione delle rocce e degli eventi geologici in ogni parte del mondo. La Scala Geocronologica Globale Standard è la calibrazione in anni della corrispondente Scala Cronostratigrafica Globale Standard. Tali scale rappresentano uno strumento di correlazione stratigrafica a scala globale in continuo aggiornamento. Su di esse si stanno concentrando gli sforzi della comunità geologica volti a completare la definizione di tutti i GSSP delle unità cronostratigrafiche conosciute.

In tale ottica si pone il riconoscimento del GSSP della base del piano Ladinico presso Bagolino (Brescia), come termine di un complesso *iter* di studio multidisciplinare durato all'incirca un ventennio.

### 2.8. I "CHIODI D'ORO" (GSSP RATIFICATI FINO AL 2010)

La scala geologica temporale degli ultimi 542 milioni di anni della storia della Terra (il Fanerozoico) è suddivisa in tre eratemi/ere (Paleozoico, Mesozoico, Cenozoico) ed ognuno di questi eratemi/ere in sistemi/periodi come per esempio il "Triassico". I sistemi/periodi sono ulteriormente suddivisi in serie/epoche e piani/età. Una scala temporale stabile richiede che la base di ogni piano venga definito da un punto di riferimento ("chiodo d'oro") in un posto ben distinto.

Esiste nel Fanerozoico un totale di circa cento piani, di cui entro il 2010 sessantuno sono stati definiti e ratificati dall'International Union of Geological Sciences (IUGS). Il GSSP di Bagolino, dopo la sua ratifica nel 2005, è stato il primo punto definito all'interno del sistema Triassico (tav. II).

### 2.9. ANNOTAZIONI STORICHE SUL PIANO LADINICO: PRÒDROMI DI UNO STRATOTIPO

Il primo ad indagare l'intervallo stratigrafico ora chiamato Ladinico fu l'eminente paleontologo austriaco

the Ladinian Stage near Bagolino (Brescia) followed almost two decades of multidisciplinary geological studies by an international team of researchers. It is one of the most recent contributions from Italy to the Standard Global Chronostratigraphic (Geochronologic) Scale.

### 2.8. THE "GOLDEN SPIKES" (GSSPs RATIFIED UNTIL 2010)

The geological time-scale of the last 542 million years of the Earth's history (*i.e.* the Phanerozoic Eon) has been divided into three Erathems/Eras (Paleozoic, Mesozoic, Cenozoic). Each of these comprises three to six Systems/Periods (*e.g.*, the Triassic). These Systems/Periods are in turn further subdivided into Series/Epochs and Stages/Ages. A Stage is considered the smallest stratigraphic unit with potential for worldwide recognition. A stable and unambiguous time-scale therefore requires that the base of each Stage is unambiguously defined by a physical "golden spike" at a distinct locality.

The Phanerozoic Eon comprises a total of almost one hundred stages. By the end of 2010, sixty-one stages had been fixed and approved by the International Union of Geological Sciences (IUGS). After its ratification in 2005, the GSSP at Bagolino was the first fix-point inside the Triassic System (pl. II).

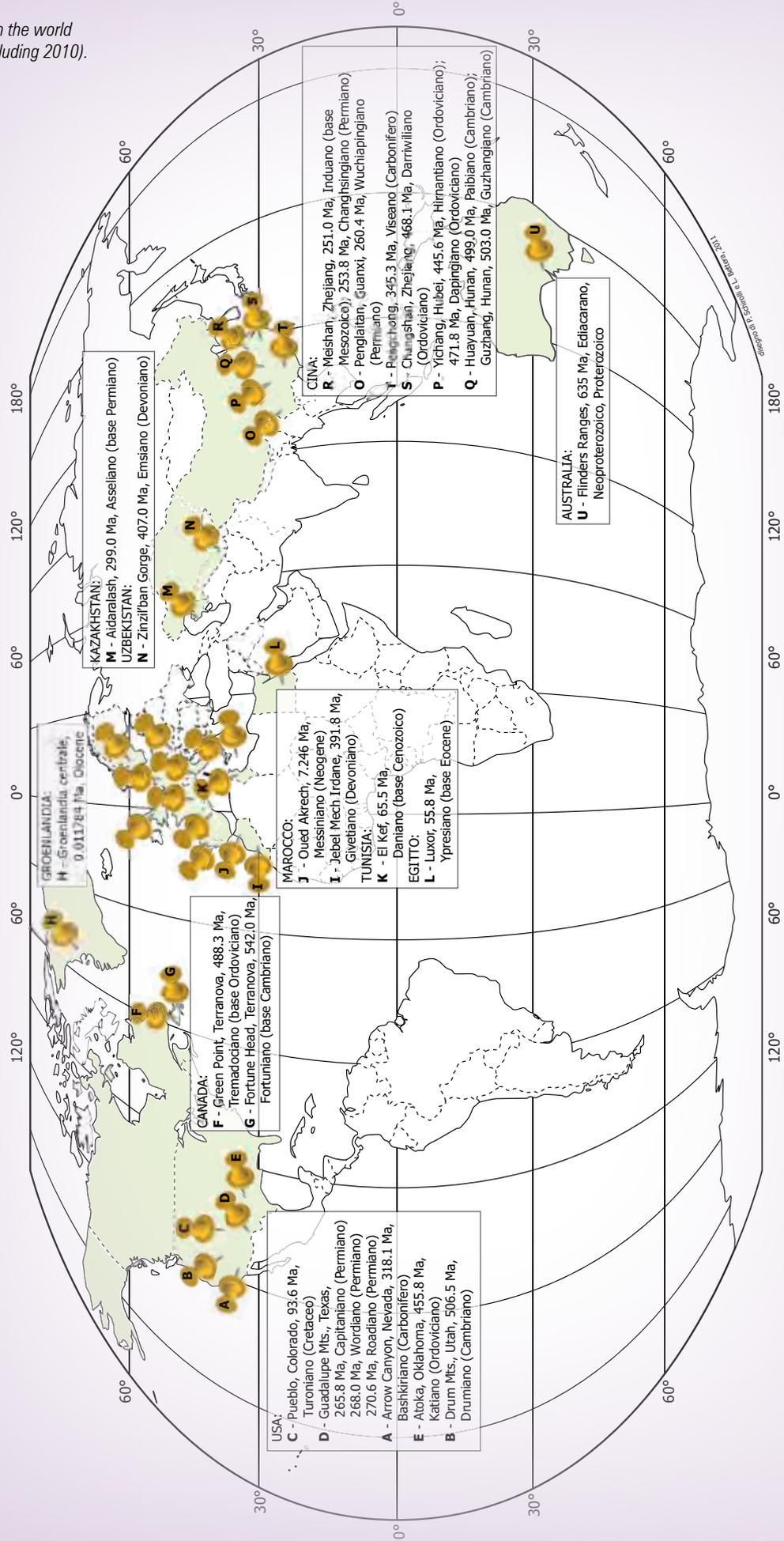
### 2.9. HISTORICAL REMARKS ON THE LADINIAN STAGE: SELECTION OF A GSSP

The first formal recognition of the stratigraphic interval now called Ladinian stems from a study of the subdivisions of the Triassic System proposed by the eminent Austrian paleontologist EDMUND V. MOJSISOVICS (1874, 1882), a member of the Austrian geological survey. Ammonoids served as the main biostratigraphic tool for these divisions. Since 1874 MOJSISOVICS had used the name *Norian* for a stratigraphic interval including, at its base, the South-Alpine Buchenstein Beds. However, Mojsisovics had made a serious mistake when equating this interval with parts of the ammonoid-rich Hallstatt-limestones in the Norian Alps near Salzburg (Austria). Later, these Hallstatt-ammonoids were found to be much younger.

Whilst discussing a paper by MOJSISOVICS (1892), ALEXANDER BITTNER (1892), a stratigrapher and geologist from the same institution, proposed the term *ladinisch* (Ladinian) for the stratigraphic interval comprising the South-Alpine Buchenstein and Wengen Beds (both stratigraphic units are still considered Formations). The new name was suggested as a replacement for what Mojsisovics had until 1898 (MOJSISOVICS, 1902) called *norisch*, an expression which Bittner considered inappropriate for this interval. The name Ladinian is derived from the *Ladini* people of the Do-

*I "chiodi d'oro" nel mondo ratificati fino al 2010.*

*The "golden spikes" in the world (ratified up to and including 2010).*



## EUROPA

- 1 - Vrica, Calabria, Italia
- 2 - Monte San Nicola, Gela, Sicilia, Italia
- 3 - Punta Piccola, Sicilia, Italia
- 4 - Eradea Minoa, Sicilia, Italia
- 5 - Monte dei Corvi, Ancona, Italia
- 6 - Ras il Pellegrin, Fomm Ir-Rih Bay, Malta
- 7 - Lemme-Carrosio, Alessandria, Italia
- 8 - Massignano, Ancona, Italia
- 9 - Zumaia, Spagna
- 10 - Zumaia, Spagna
- 11 - Tercis-les-Bains, Landes, Francia
- 12 - Mont Risou, Hautes-Alpes, Francia
- 13 - Ravin du Bès, Hautes-Alpes, Francia
- 14 - Cabo Mondego, Portogallo
- 15 - Fuentelsaz, Castilla, Spagna
- 16 - Robin Hood's Bay, Yorkshire, England, GB
- 17 - Quantoxhead, Somerset, England, GB
- 18 - Kuhjoch, Tyrol, Austria
- 19 - Prati di Stuores, Dolomiti, Italia
- 20 - La Serre, Montagne Noire, Francia
- 21 - Cessenon, Montagne Noire, Francia
- 22 - Col du Puech de la Suque, Montagne Noire, Francia
- 23 - Wetteltdorf, Monti Eifel, Germania
- 24 - Velká Chuchle, Praga, Repubblica Ceca
- 25 - Klonk, Praga, Repubblica Ceca
- 26 - Reporyje, Praga, Repubblica Ceca
- 27 - Ludlow, Shropshire, England, GB
- 28 - Ludlow, Shropshire, England, GB
- 29 - Homer, Shropshire, England, GB
- 30 - Hughley Brook, Shropshire, England, GB
- 31 - 24 - Cefn-cerig Road, Wales, GB
- 32 - Trefawr Track, Wales, GB
- 33 - 25 - Dob's Linn, Moffat, Scotland, GB
- 34 - 26 - Fågelsång, Scane, Svezia
- 35 - 27 - Diabasbrottet, Hunneberg, Svezia
- 36 - 1.806 Ma, Calabriano (Pleistocene)
- 37 - 2.588 Ma, Gelasiano (Pleistocene)
- 38 - 3.600 Ma, Piacenziano (Pliocene)
- 39 - 5.332 Ma, Zancleano (base Pliocene)
- 40 - 11.608 Ma, Tortoniano (Miocene)
- 41 - 13.82 Ma, Serravalliano (Miocene)
- 42 - 23.03 Ma, Aquitaniano (base Neogene)
- 43 - 33.9 Ma, Rupeliano (base Oligocene)
- 44 - 58.7 Ma, Thanetiano (Paleocene)
- 45 - 61.1 Ma, Selandiano (Paleocene)
- 46 - 70.6 Ma, Maastrichtiano (Cretaceo)
- 47 - 99.6 Ma, Cenomaniano (Cretaceo)
- 48 - 167.7 Ma, Bathoniano (Giurassico)
- 49 - 171.6 Ma, Bajociano (Giurassico)
- 50 - 175.6 Ma, Aaleniano (Giurassico)
- 51 - 189.6 Ma, Pliensbachiano (Giurassico)
- 52 - 196.5 Ma, Sinemuriano (Giurassico)
- 53 - 199.6 Ma, Hettangiano (Giurassico)
- 54 - 228.7 Ma, Carnico (Triassico)
- 55 - **242.0 Ma, Ladinico (Triassico)**
- 56 - 359.2 Ma, Tournasiano (base Carbonifero)
- 57 - 374.5 Ma, Famenniano (Devoniano)
- 58 - 385.3 Ma, Frasniano (Devoniano)
- 59 - 397.5 Ma, Eifeliano (Devoniano)
- 60 - 411.2 Ma, Pragian (Devoniano)
- 61 - 416.0 Ma, Lochkoviano (base Devoniano)
- 62 - 418.7 Ma, Pridoliano (Siluriano)
- 63 - 421.3 Ma, Ludfordiano (Siluriano)
- 64 - 422.9 Ma, Gorstiano (Siluriano)
- 65 - 426.2 Ma, Homeriano (Siluriano)
- 66 - 428.2 Ma, Sheinwoodiano (Siluriano)
- 67 - 436.0 Ma, Telychiano (Siluriano)
- 68 - 439.0 Ma, Aeroniano (Siluriano)
- 69 - 443.7 Ma, Rhuddaniano (base Siluriano)
- 70 - 460.9 Ma, Sandbiano (Ordoviciano)
- 71 - 478.6 Ma, Floiano (Ordoviciano)



EDMUND v. MOJSISOVICS (1874, 1882), membro del servizio geologico austriaco, nell'ambito del suo studio volto a creare delle suddivisioni all'interno del Sistema Triassico, usando gli ammonoidi come strumento biostratigrafico. Dal 1874 MOJSISOVICS adottò il nome di *Norico* per l'intervallo stratigrafico includente alla sua base gli strati del "Buchenstein" del Sudalpino. Egli infatti correlò erroneamente l'intervallo del "Buchenstein" sudalpino con i calcari ricchi di ammonoidi di Hallstatt presso Salisburgo (Austria), per i quali usò il termine *Norico* come nome del piano. Solo più tardi gli ammonoidi di Hallstatt risulteranno difatti essere molto più recenti (per l'appunto di età norica).

Si deve ad ALEXANDER BITTNER (1892), stratigrafo e geologo dello stesso servizio geologico austriaco, in una discussione ad un articolo di MOJSISOVICS (1892), l'introduzione in campo geologico del termine *ladinisch* (Ladinico) per indicare un intervallo stratigrafico comprendente i livelli del "Buchenstein" e del "Wengen" affioranti nel Sudalpino, entrambi oggi considerati al rango di formazioni. Il nuovo nome doveva sostituire quello di *norisch* (Norico) applicato da Mojsisovics fino al 1898 (MOJSISOVICS, 1902), termine considerato da Bittner inappropriato per quell'intervallo. "Ladinico" deriva dai Ladini, una popolazione tipica dell'area dolomitica e dotata di una propria lingua (il "ladino"). L'uso suggerito da Bittner di tale termine venne accettato dalla comunità scientifica e si consolidò nella letteratura geologica con il valore di *piano*, quindi come unità cronostratigrafica. Il Sudalpino deve dunque essere considerato come l'area-tipo del piano Ladinico. Inoltre BITTNER (1892) designò esplicitamente la parte inferiore della Formazione di Buchenstein come la più antica del piano Ladinico, così come confermeranno i più recenti studi condotti per il riconoscimento formale del GSSP per il Ladinico.

Nei primi decenni del 1900 furono fatti pochissimi progressi nello studio biostratigrafico degli strati del "Buchenstein", o comunque dell'intervallo stratigrafico comprendente il limite Anisico/Ladinico (MARIANI, 1906). L'Anisico è il piano sottostante quello Ladinico e il suo nome deriva da quello del fiume austriaco Enns (dal latino *Anisius*), che scorre a sud-est di Salisburgo.

A cominciare dagli anni '60 ripresero le ricerche in molte località del Triassico Medio sudalpino, dalle quali emersero nuovi quadri biostratigrafici ad ammonoidi che portarono il limite Anisico/Ladinico ad oscillare in differenti posizioni stratigrafiche.

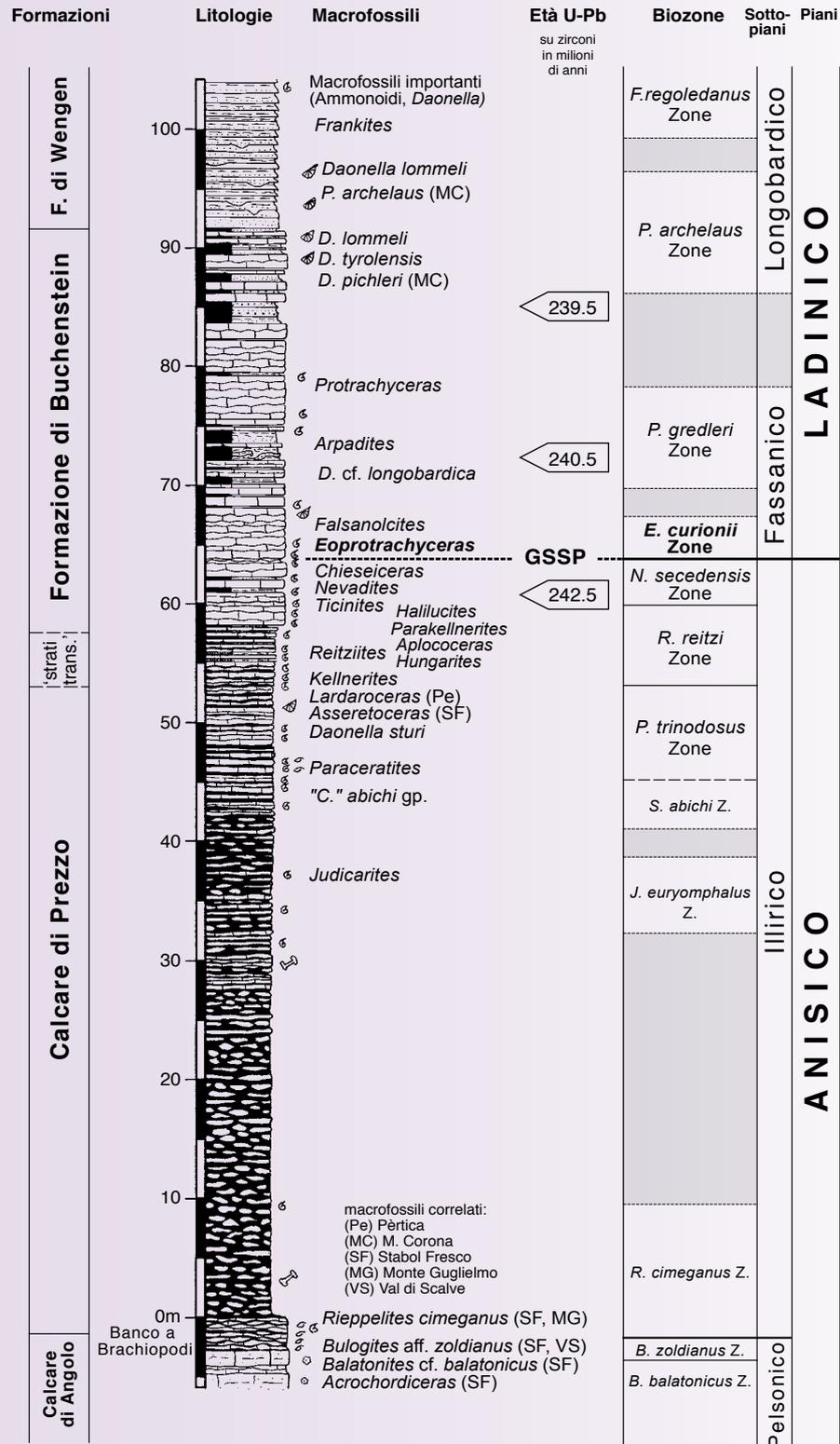
Negli ultimi due decenni le successioni pelagiche del Sudalpino comprendenti il limite Anisico/Ladinico hanno messo in evidenza una precisa e relativamente ricca successione di ammonoidi (BRACK e RIEBER, 1986, 1993, 1994; BRACK *et al.* 1995; MANFRIN e MIETTO, 1995). Tale abbondanza è stata riscontrata anche in altre parti

lomitica area, a population with their own language (the Ladin). The scientific community soon accepted Bittner's suggestion, with the Ladinian ranking as a *stage* (chronostratigraphic unit) and the Southern Alps as its type-area. BITTNER (1892) had explicitly designated the Buchenstein Beds as the oldest stratigraphical unit of the stage. From this historic perspective, but mainly because of the results of recent stratigraphic research, the lower part of the South-Alpine Buchenstein Formation is thus an adequate interval for the Ladinian GSSP.

Little progress was made in the first decades after 1900 on our biostratigraphic knowledge of the Buchenstein Beds and equivalent intervals, including the Anisian/Ladinian boundary (*e.g.*, MARIANI, 1906). The *Anisian* is the stage preceding the Ladinian, its name derived from the Enns river (latin *Anisius*) in the mountains south-east of Salzburg. Eventually (beginning in the 1960s), numerous classical localities for Middle Triassic fossils of the Southern Alps were restudied and new schemes of ammonoid zones were sketched. However, different authors placed the Anisian/Ladinian boundary at different or poorly defined stratigraphic positions.

During the last two decades, pelagic successions including the Anisian/Ladinian boundary in the Southern Alps yielded a hitherto unknown and relatively rich fauna of precisely located ammonoids (BRACK & RIEBER, 1986, 1993, 1994; BRACK *et al.* 1995; MANFRIN & MIETTO, 1995). Comparable fossils were also known from other localities around the world: Greece (KRYSSTYN & MARIOLAKOS, 1975), Hungary (VÖRÖS, 1998) and North America (Nevada; SILBERLING & NICHOLS, 1982). At the same time, further progress has been made on the same stratigraphic interval by researching conodonts (NICORA & BRACK, 1995; BRACK & NICORA, 1998). Although conodonts have a lower stratigraphic resolution power than ammonoid biostratigraphy, their occurrences are likely more widespread. More recently, results from magnetostratigraphic (MUTTONI *et al.*, 2004) and high-resolution radio-isotope dating (MUNDIL *et al.*, 1996, 2003; PÁLFY *et al.*, 2003) have also become available for numerous Middle Triassic successions of the Southern Alps and adjacent areas.

Based on the results of these various techniques, at least five different stratigraphic positions were discussed as potential candidates for the Anisian/Ladinian boundary and therefore as possible candidates for the GSSP of the Ladinian. A definition of the boundary based mainly on ammonoid biostratigraphy, in combination with conodonts, was considered to have the highest potential for long-distance correlations. Two appropriate un-condensed sections with adequate biostratigraphic records of these fossil groups soon



Ricostruzione della successione stratigrafica di Romanterza (Bagolino), contenente il GSSP per la base del Ladinico.

Summary log of the Middle Triassic pelagic succession bearing the Ladinian GSSP at Romanterza (Bagolino).

Fig. 9

del mondo: in Grecia (KRYSTYN e MARIOLAKOS, 1975), in Ungheria (VÖRÖS, 1998) e in Nord America (Nevada; SILBERLING e NICHOLS, 1982). Progressi del tutto simili sono stati fatti anche nelle ricerche dei conodonti effettuate sui medesimi intervalli stratigrafici (NICORA e BRACK, 1995; BRACK e NICORA, 1998), dimostrando peraltro che la biostratigrafia a conodonti possiede un potere di risoluzione di poco inferiore rispetto a quello degli ammonoidi ma una diffusione areale maggiore. Recentemente sono stati resi disponibili per le successioni triassiche sudalpine anche dati magnetostratigrafici (MUTTONI *et al.*, 2004) e datazioni radioisotopiche ad alta risoluzione (MUNDIL *et al.*, 1996, 2003; PÁLFY *et al.*, 2003).

Sulla base dei risultati di tutte queste indagini, almeno cinque differenti posizioni stratigrafiche sono state discusse come potenziali candidati per il limite Anisico/Ladinico e dunque come possibili candidati per il GSSP del Ladinico. La definizione del limite basata principalmente sugli ammonoidi, in combinazione con i conodonti, ha messo in luce il maggiore potenziale di correlazione sulle lunghe distanze. Tra le sezioni stratigrafiche non condensate con un'adeguata biostratigrafia riferita a questi due gruppi fossili emersero subito come valide alternative due candidati: Bagolino in Italia e Felsőörs in Ungheria. In entrambe le località i dati biostratigrafici si integravano con dati magnetostratigrafici e datazioni assolute. In queste due sezioni furono inoltre proposti tre differenti livelli stratigrafici come candidati per il GSSP, vale a dire:

- 1) la base della Sottozona a *Reitziites reitzi* (ammonoide) nella sezione di Felsőörs in Ungheria (VÖRÖS *et al.*, 2003);
- 2) la base della Sottozona a *Aplococeras avisianum* nella sezione di Bagolino localizzata nel Sito C (MIETTO *et al.*, 2003a, 2003b);
- 3) la base della Sottozona a *Eoprotrachyceras curionii* nella sezione di Bagolino localizzata nel Sito B (BRACK *et al.*, 2003).

La terza proposta fu preferita per il suo potenziale di correlazione su lunghe distanze basato sulla biostratigrafia ad ammonoidi e conodonti, e in quanto tale intervallo stratigrafico può essere seguito su più sezioni che mostrano la medesima successione di inversioni magnetiche (BRACK *et al.*, 2005) (fig. 9). A ciò si aggiungono motivazioni storiche e quindi di precedenza nella scelta di uno stratotipo, quale quella che è il Sudalpino ad essere considerato l'area-tipo per il piano Ladinico.

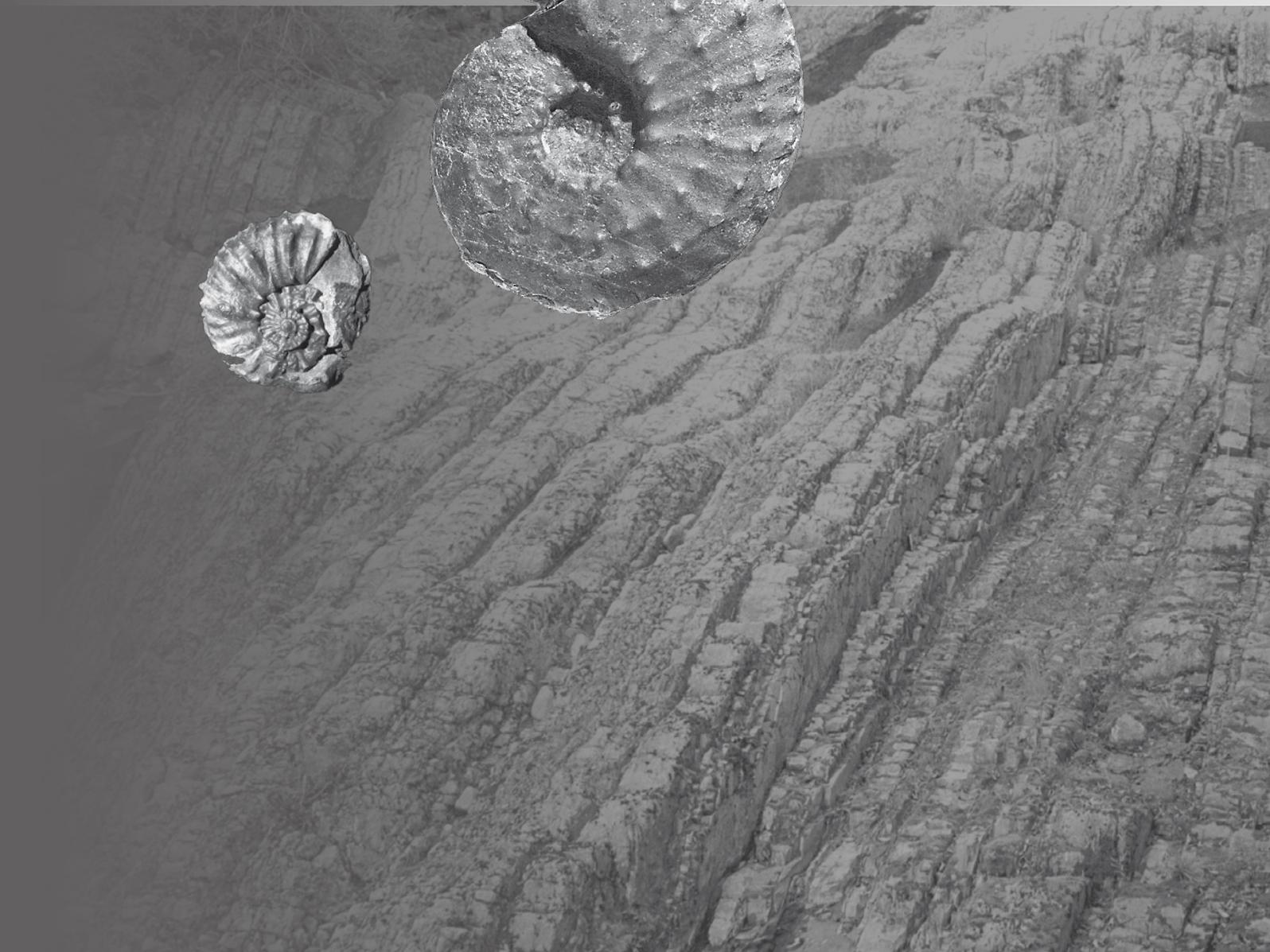
emerged as viable contenders: Bagolino in Italy and Felsőörs in Hungary. A total of three different stratigraphic levels were formally proposed and evaluated as GSSP-candidates. In ascending stratigraphic order these are:

- 1) the base of the *Reitziites reitzi* ammonoid (Sub) Zone in the Felsőörs section in Hungary (VÖRÖS *et al.*, 2003);
- 2) the base of the *Aplococeras avisianum* Subzone at Site C of the Bagolino section (MIETTO *et al.*, 2003a, 2003b);
- 3) the base of the *Eoprotrachyceras curionii* Zone at Site B of the Bagolino section (BRACK *et al.*, 2003).

The third option was eventually chosen because of its potential for long-distance correlations based on ammonoid and conodont biostratigraphy, and because the GSSP-location lies within an extended stratigraphic record (fig. 9). Moreover the stratigraphic succession at Bagolino can be tied to sections with a representative sequence of magnetic reversals (BRACK *et al.*, 2005) and, as mentioned previously, the Southern Alps had long been considered the type-area for the Ladinian Stage.



**IL GEOSITO DI ROMANTERRA**  
THE ROMANTERRA GEOSITE



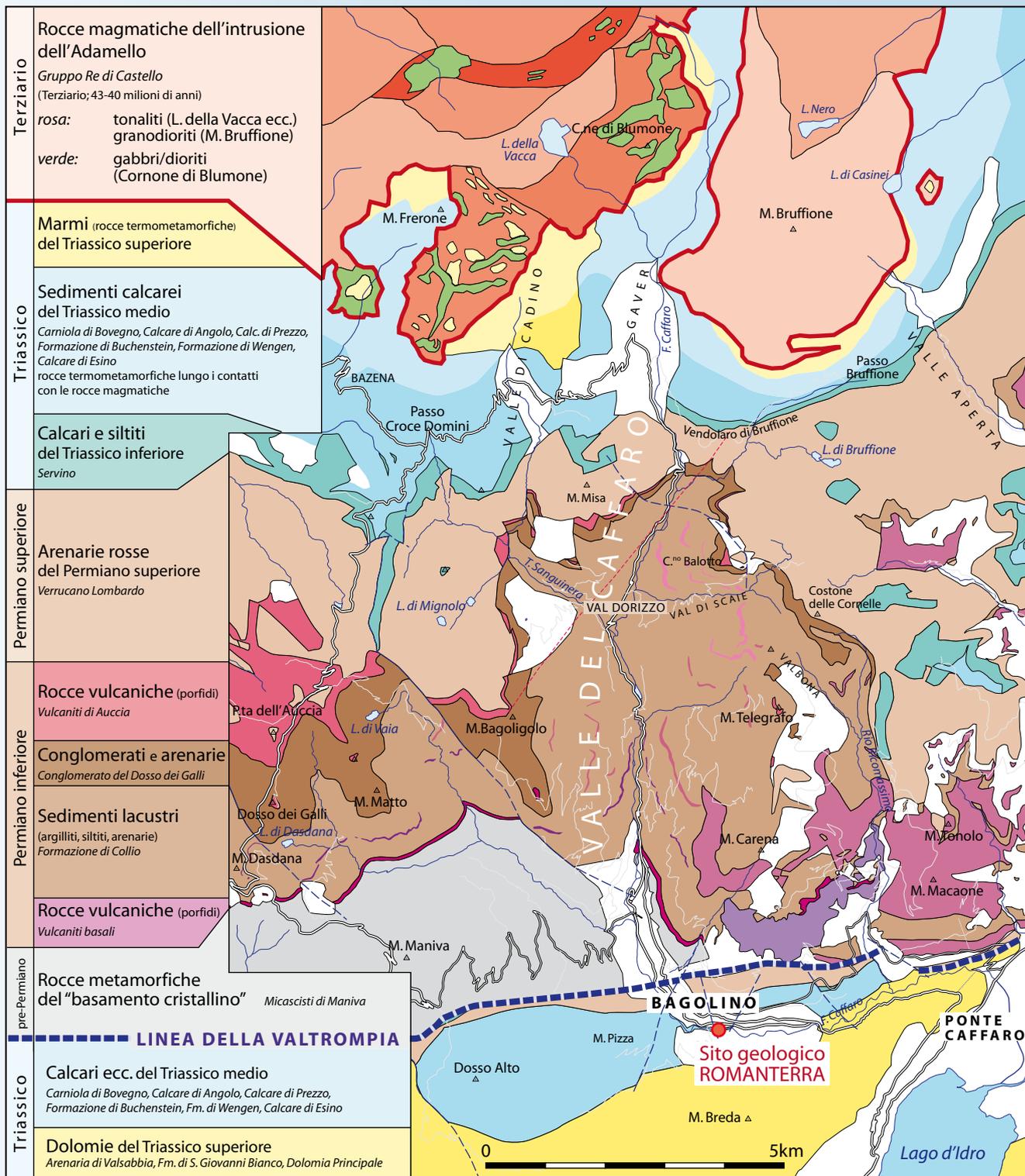


Fig. 10 Carta geologica semplificata della Valle del Caffaro  
Simplified geological map of the Caffaro Valley

### 3.1. LA GEOLOGIA DI BAGOLINO

#### 3.1.1. INTRODUZIONE

Una grande faglia nota come Linea della Val Trompia si estende tra Lodrone e il Passo Maniva dividendo la Valle del Caffaro in due settori geologicamente molto diversi (fig. 10). A sud della faglia si trovano strati, ora quasi verticali, che si depositarono in un mare tropicale durante il periodo Triassico (250-200 milioni di anni fa) (fig. 11). A nord di questa faglia sono visibili rocce più antiche, che comprendono scisti metamorfici (pendii del M. Maniva) ricoperti da una successione di sedimenti argillosi, arenarie e conglomerati con intercalazioni di rocce vulcaniche (porfidi) che si formarono in un ambiente continentale durante il periodo Permiano, intorno a 280 milioni di anni fa (figg. 12, 13).

Nell'alta Valle del Caffaro affiorano invece le formazioni più recenti della zona: depositi triassici e rocce intrusive terziarie. Da magmi intrusi durante la formazione delle Alpi (40 milioni di anni fa) ad una profondità di circa 10 km si sono cristallizzati i gabbri e le dioriti scure del Cornone di Blumone, le tonaliti del Lago della Vacca e le granodioriti (rocce granitiche) del M. Bruffione (fig. 14). A causa del calore proveniente dalla messa

### 3.1. GEOLOGY OF BAGOLINO

#### 3.1.1. INTRODUCTION

A large fault known as the Val Trompia Line extends from Lodrone to Passo Maniva, dividing Valle del Caffaro into two geologically different sectors (fig. 10). South of this line the sedimentary strata of Triassic age (250-200 million years old) are now oriented vertically (fig. 11). These sediments originally accumulated with a horizontal bedding in a tropical sea. The area north of the Val Trompia Line includes the metamorphic schists exposed on the gentle slopes of Mt Maniva. Further north these rocks are covered by argillaceous, sandy and conglomeratic sediments interbedded with volcanic rocks (porphyries) which formed in a continental setting during the Permian period, *i.e.* around 280 million years ago (figs. 12, 13).

The youngest rocks of the area are preserved in the uppermost Valle del Caffaro. During the formation of the Alps, and therefore long after their deposition, the Permian and Triassic sediments were intruded by magmas at a depth of *ca.* 10 kilometres. While the magmas crystallized to dark gabbros and diorites, and grey tonalites and granodiorites, the sediments in the



*Strati verticali del Calcare di Prezzo e della Formazione di Buchenstein sotto il Ponte di Romanterra.  
Steeply dipping layers of the Prezzo Limestone and of the Buchenstein Formation are exposed on the banks and in the bed of the Caffaro river in the surroundings of the Romanterra bridge.*

Fig. 11

Fig. 12

*La successione stratificata del Permiano inferiore del Corno Balotto comprende conglomerati ed arenarie con intercalazioni di materiale vulcanico. Verso la cima seguono i porfidi violacei delle Vulcaniti di Auccia, identici a quelli delle cave nei pressi della strada tra Maniva e Passo Croce Domini.*

*The well-stratified succession of Early Permian age at Corno Balotto east of Val Dorizzo consists mainly of conglomerates and sandstones. Towards the top, this succession is capped by violet volcanic rocks (Auccia Volcanics) identical to those quarried in the vicinity of the road between Passo Croce Domini and Passo Maniva.*





*Arenarie rosse del Permiano superiore (Verrucano Lombardo) ricoperte da calcari del Triassico inferiore (Servino) al Vendolaro di Bruffione.*

*At Vendolaro di Bruffione the red sandstones of the Upper Permian Verrucano Lombardo are overlain by lighter carbonate bed of the Lower Triassic Servino.*

**Fig. 13**

Fig. 14

*Bordo del complesso intrusivo del Gruppo Re di Castello nei dintorni del Monte Frerone. Le rocce stratificate del bordo sedimentario sono nettamente tagliate e sostituite da rocce magmatiche (tonaliti, rocce scure in basso).*

*View of the border area of the intrusive rocks of the Re di Castello Group at Mount Frerone. Stratified sediments are cut and replaced by magmatic rocks (tonalites, dark rocks in the foreground).*



in posto di questi magmi, i sedimenti adiacenti si sono trasformati in marmi bianchi, cornubianiti varicolori e altre rocce metamorfiche.

### **3.1.2. L'ETÀ DELLE ROCCE E LA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA**

Durante la deposizione gli strati sedimentari dei dintorni di Bagolino erano orizzontali e la successione attualmente visibile raggiungeva uno spessore di circa 4 chilometri (fig. 15). Alla base di questa successione si trovano le rocce del "basamento cristallino", che sono le più antiche della zona, la cui età non è però ben conosciuta (pre-Carbonifero Superiore). Queste rocce furono deformate, metamorfosate ed erose durante un antico processo di formazione di montagne avvenuto oltre 300 milioni di anni fa (orogenesi ercinica). Più tardi, a partire dal periodo Permiano, la superficie del basamento venne ricoperta da una successione eterogenea di rocce vulcaniche e sedimenti. In quel periodo le rocce dei dintorni di Bagolino appartenevano ad un continente che si trovava poco distante dall'equatore, migliaia di chilometri più a sud della posizione odierna. Con la deriva dei continenti esse si spostarono lentamente per poi arrivare alla latitudine attuale dove, a causa del corrugamento

immediate surroundings of the intrusive bodies were heated and turned into metamorphic rocks including white marbles and coloured cornubianites (fig. 14).

### **3.1.2. AGE OF THE ROCKS AND THE GENERAL STRATIGRAPHIC SUCCESSION**

Originally the rocks of the surroundings of Bagolino were part of a 4 km thick succession of volcanic and sedimentary rocks overlying a metamorphic "crystalline basement" (fig. 15). The basement rocks are the oldest in the area but the exact age of the original rocks remains unknown. These had been deformed and metamorphosed more than 300 million years ago, during a phase of mountain building much older than the formation of the Alps. After a period of erosion the basement was covered by a succession of sediments and volcanic rocks when the area was part of a continent close to the equator, many thousands of kilometres south of the current geographic position. Continental drift eventually carried the entire succession to higher latitudes. Finally the rocks were deformed during the collision of continents leading to the formation of the Alps. The sediments originally above the currently visible strata were eroded while the area

alpino, si innalzarono ed arrivarono alla superficie. Le rocce attualmente visibili erano ricoperte da strati più recenti che col tempo furono erosi (fig. 16).

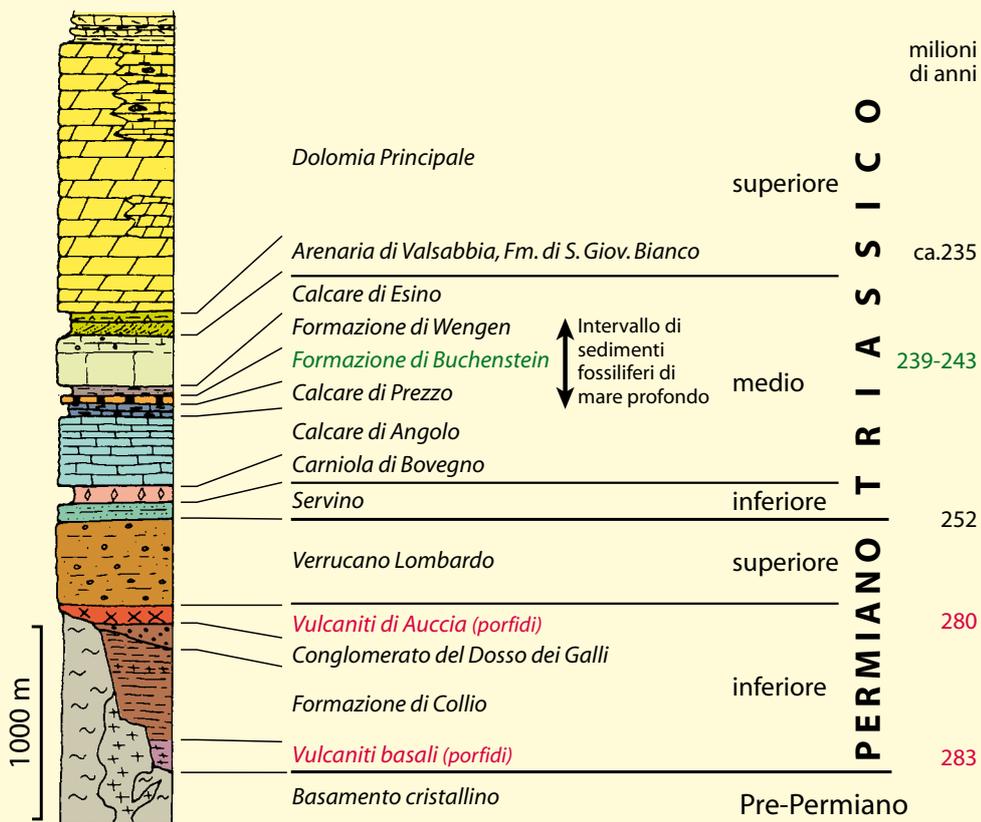
La successione eterogenea del Permiano inferiore comprende rocce vulcaniche (porfidi) e sedimenti clastici di vario tipo: siltiti scure, arenarie e conglomerati della Formazione di Collio, che si depositarono in un ambiente caldo, forse desertico, in una larga valle con laghi temporanei. Le arenarie rosse del Verrucano Lombardo (Permiano superiore) invece sono depositi di una vasta piana alluvionale. Mentre a partire dal periodo Triassico si trovano i primi depositi marini, i cui strati si formarono in un mare tropicale poco profondo. Soltanto l'intervallo comprendente il Calcare di Angolo, il Calcare di Prezzo, la Formazione di Buchenstein e la Formazione di Wengen rappresenta dei sedimenti di un mare relativamente profondo.

I calcari ( $\text{CaCO}_3$ , carbonato di calcio) e le dolomie chiare ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ , carbonato di calcio e magnesio)

rose to its present elevation (fig. 16).

The heterogeneous stratigraphic succession of Early Permian age comprises volcanic rocks (porphyries) and different types of clastic sediments (dark siltites, sandstones and conglomerates of the Collio Formation). These rocks formed in a warm and possibly desert-like environment, in a valley with temporary lakes. In the Late Permian, the red sandstones and conglomerates of the Verrucano Lombardo accumulated on a vast, flat alluvial plain.

Most of the Triassic sediments formed in a shallow tropical sea. Only the interval including the Prezzo Limestone, the Buchenstein and the Wengen Formations are sediments of a relatively deep marine setting. The bright limestones ( $\text{CaCO}_3$ , calcium carbonate) and the dolomite rocks ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ , calcium-magnesium carbonate) of the Esino Limestone and of the Dolomia Principale grew in environments resembling those of modern tropical reefs, barriers and lagoons.



Rappresentazione della successione originale degli strati visibili nella Valle del Caffaro prima della deformazione causata dal corrugamento alpino. Il basamento cristallino rappresenta le rocce metamorfiche e più antiche affioranti nella zona, mentre i banchi della "Dolomia Principale" sono i sedimenti più recenti risparmiati dall'erosione.

The original succession of rocks preserved on top of the basement in Valle del Caffaro ranges from the Collio Formation to the Dolomia Principale and would reach a thickness of ca. 4 kilometres had it not been deformed.

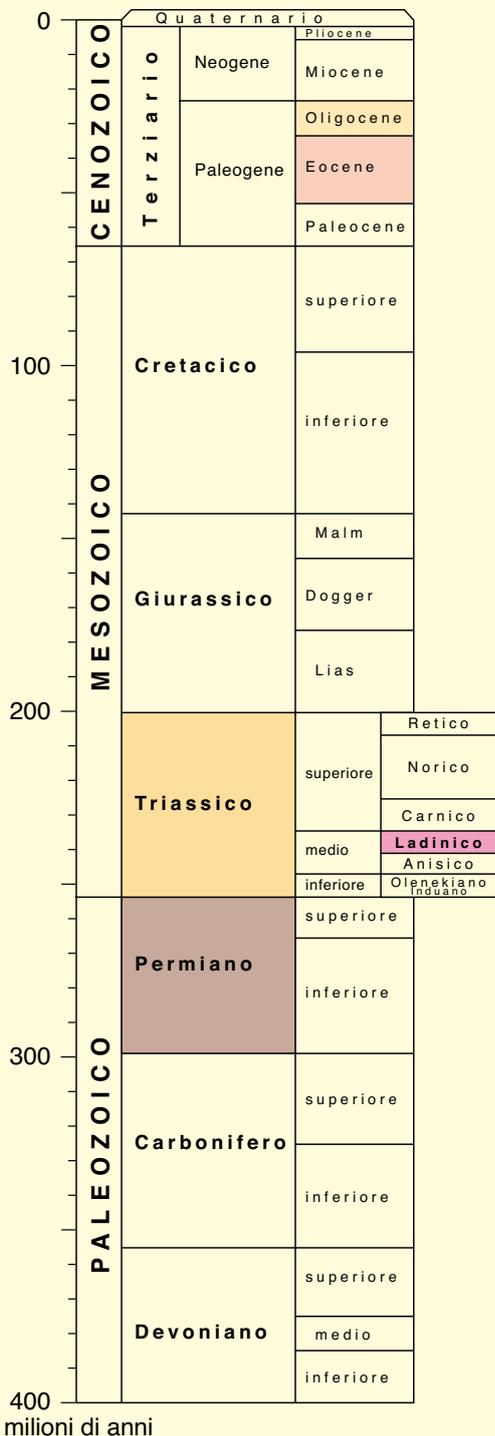
Fig. 15

Fig. 16

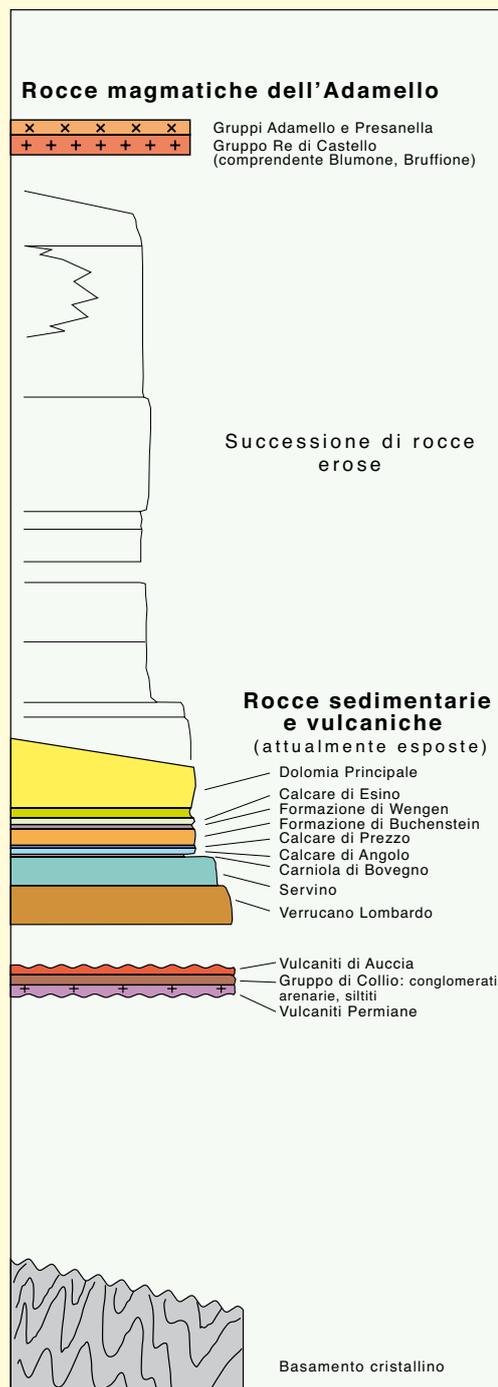
Scala temporale in cui si nota che le rocce dei dintorni di Bagolino rappresentano una successione limitata e interessata da lacune. La successione originale era più completa, ma le unità stratigrafiche più alte sono state erose durante il sollevamento alpino delle rocce. Nell'alta Valle del Caffaro affiorano le rocce di età più recente: le rocce magmatiche dell'Adamello si sono intruse tra 43 e 40 milioni di anni fa, quando il livello attualmente visibile si trovava a una profondità di circa 8 chilometri.

In a geological time chart the rocks of the surroundings of Bagolino represent only limited time intervals with numerous gaps in between. Originally the sedimentary succession continued into the Jurassic and Cretaceous but these sediments were eroded during uplift. Only in the upper Valle del Caffaro are much younger rocks preserved. These are the southernmost magmatic products of the Adamello intrusion emplaced between 43-40 million years ago when the currently visible rocks were around 8 kilometres below the surface.

## La Scala Geologica



## Età delle rocce dei dintorni di Bagolino



## Importanti eventi tettonici ed ambientali



del Calcare di Esino e della Dolomia Principale ricordano almeno in parte le scogliere delle attuali barriere coralline e le adiacenti lagune.

### 3.1.3. LA DEFORMAZIONE ALPINA E LE GEOMETRIE ATTUALI DEGLI STRATI

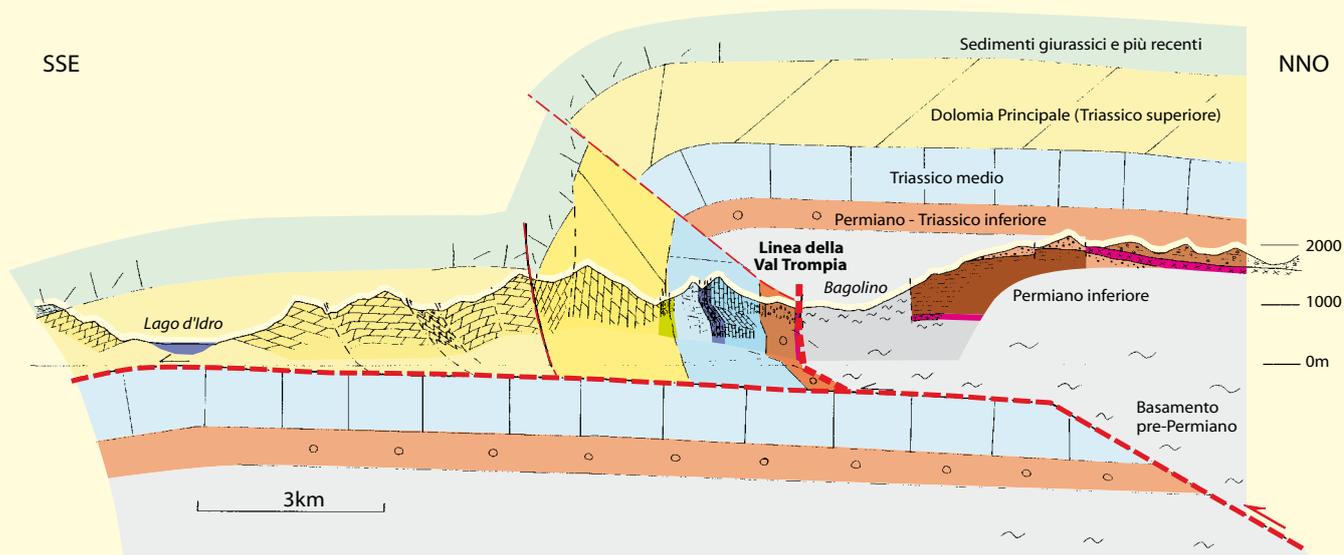
Il corrugamento alpino è dovuto al raccorciamento della crosta terrestre causato dalla collisione di due placche: quella paleoeuropea e quella paleoafricana. Nell'arco alpino, di cui fa parte l'area delle Alpi Bresciane, questi movimenti su scala continentale hanno provocato una deformazione, sia fragile che duttile, delle rocce (figg. 17, 18). Come risultato in Valle del Caffaro ora troviamo agli stessi livelli topografici, strati con orientazione ed età molto diversi (fig. 19). I contatti tra questi settori sono superfici denominate "faglie". Le rocce della zona di Bagolino sono attraversate da numerose faglie grandi e piccole, da scala chilometrica (Linea della Val Trompia) a centimetrica (figg. 20, 21). Alcuni chilometri sotto la superficie terrestre le rocce si stanno tuttora spostando lentamente, come testimoniano gli epicentri di alcuni terremoti avvenuti nella zona.

Nei dintorni di Bagolino, durante la formazione delle Alpi e soprattutto negli ultimi 10 milioni di anni, l'erosione ha rimosso diversi chilometri di strati che ricoprivano le rocce al di sopra di quelle attualmente visibili (fig. 17).

### 3.1.3. ALPINE DEFORMATION AND THE PRESENT ATTITUDE OF THE STRATA

The formation of the Alps is a result of the collision of two continental plates which caused the terrestrial crust to deform and shorten. In many areas of the Alps including the area of eastern Lombardy the exposed rocks have been displaced, folded, or are cut by faults (figs. 17, 18). Therefore, in Valle del Caffaro, strata of very different age, and which originally formed a continuous stratigraphic succession are now found at the same topographic level but with different orientations of their bedding (fig. 19). The abrupt contacts between these sectors are called "faults". A principal fault zone at Bagolino is the Val Trompia Line along which the area to the North has been uplifted by several kilometres. Along numerous minor faults the strata were displaced between a few centimetres and hundreds of metres (figs. 20, 21). At a depth of several kilometres similar faults may still be active as indicated by recent earthquakes in the area.

During the last 10 million years (due to the uplift of the Alps) continuous erosion by rivers and later by the glaciers has removed several kilometres of rocks that originally covered those visible around Bagolino (fig. 17).



*Sezione interpretativa della "flessura" di Bagolino. Questa grande piega a forma di ginocchio comprende un tratto di strati verticali, che probabilmente è l'espressione di un profondo sovrascorrimento verso sud-est di rocce del basamento. Sono indicati anche l'intervallo chilometrico di strati originariamente sovrastanti ma attualmente erosi.*

*Interpretative section across the "flexure" of Bagolino. This large-scale fold has the shape of a knee and comprises a segment with vertical strata. The fold is possibly the near-surface expression of an overthrust at depth along which rocks of the crystalline basement were displaced in a southern direction and lie above younger rocks. Also shown is the kilometre-thick succession of sediments that has been removed through continuous erosion during the uplift of the area.*

Fig. 17

Fig. 18

Illustrazione della formazione della "flessura" di Bagolino (3), dovuta al raccorciamento progressivo della crosta, a partire dallo stato non deformato delle rocce (1).

Illustration of the growth of the "flexure" of Bagolino (3) as a result of the shortening of the crust (see arrows) starting with the undeformed strata (1).

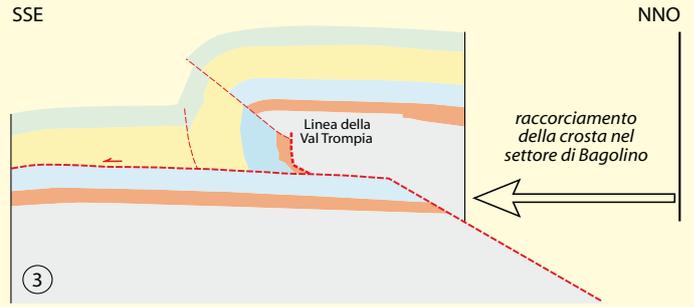
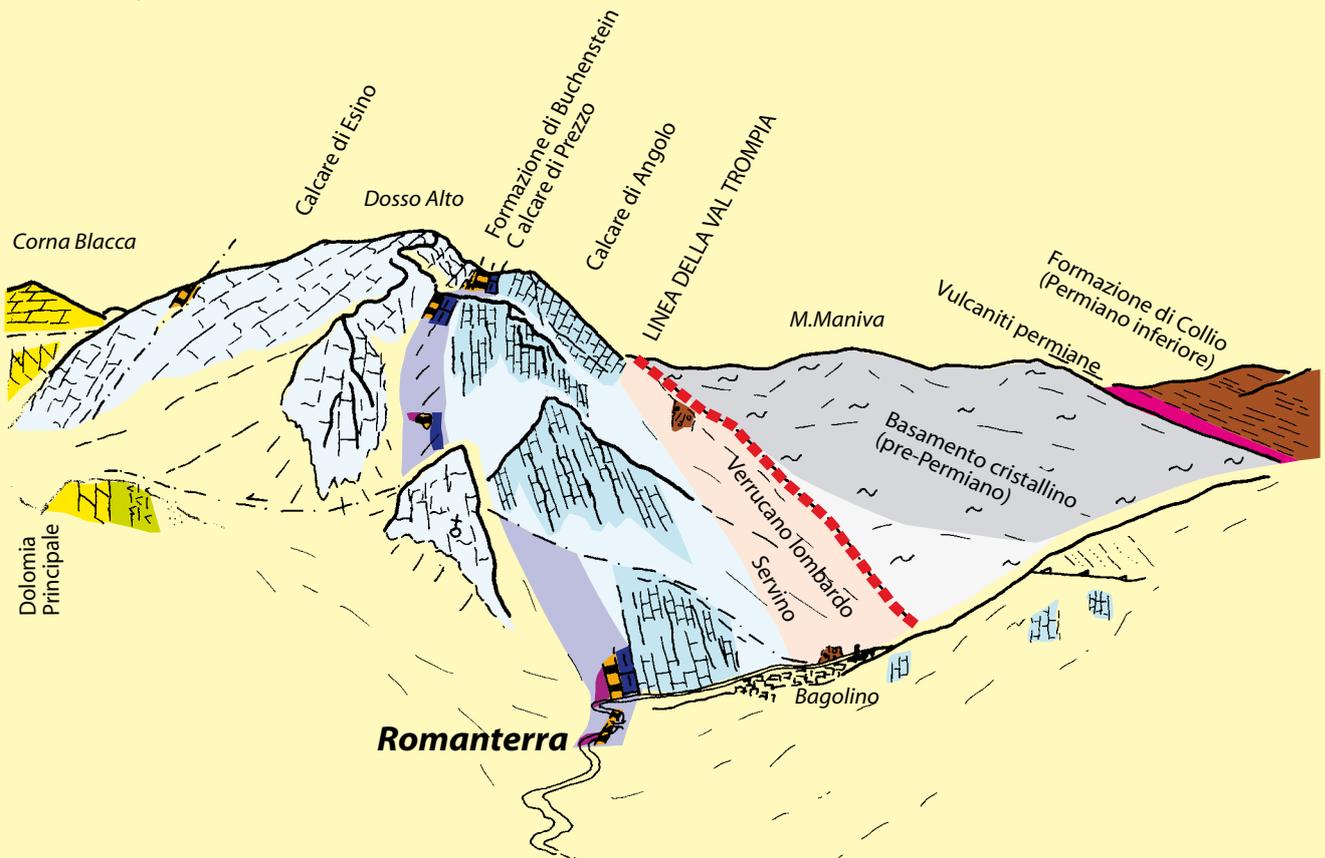
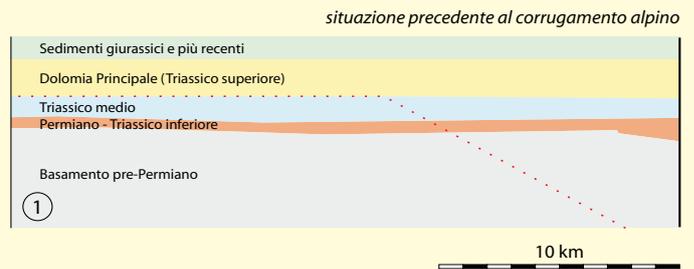
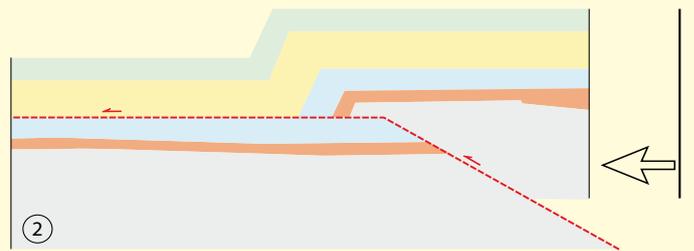


Fig. 19

Nella dorsale tra Romanterra e il Dosso Alto si notano gli strati raddrizzati della successione stratigrafica del Permiano superiore e del Triassico. A nord della Linea tettonica della Val Trompia gli scisti del basamento cristallino sono ricoperti da rocce vulcaniche e sedimenti del Permiano.

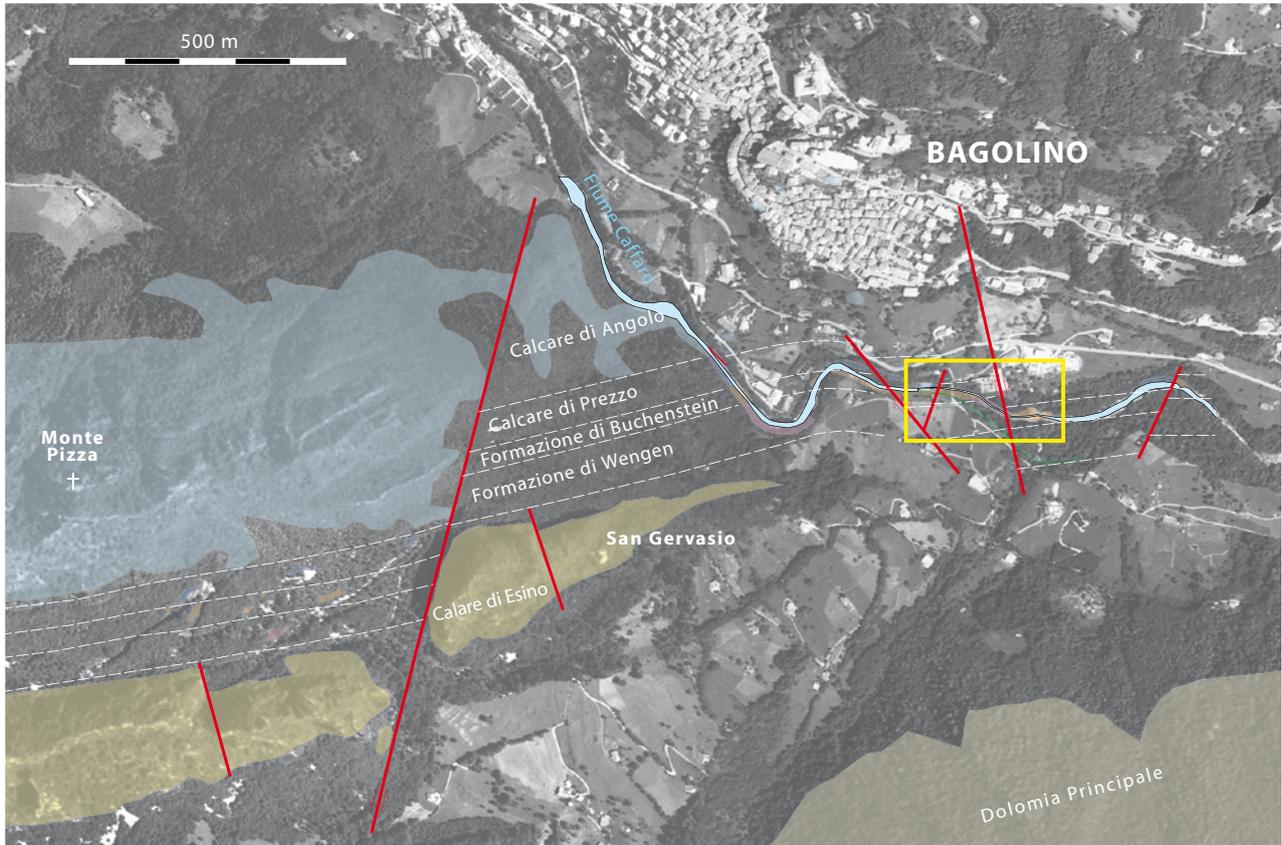
A panoramic view of the ridge between Dosso Alto and Mt Maniva exhibits a steeply dipping succession of sediments of Late Permian to Middle Triassic age. The slopes of Mt Maniva consist of metamorphic schists of the crystalline basement, which in turn are overlain by volcanic and sedimentary rocks of the Permian.



*Veduta aerea degli strati verticali della zona a sud del paese di Bagolino. Questi strati sono dislocati da un sistema di faglie osservabile a diverse scale (linee rosse).*

*Aerial view of the vertical strata of the area south of the village of Bagolino. The succession of stratified rocks is re-oriented vertically and is cut by a system of faults with large and small displacements between corresponding layers.*

Fig. 20



*Due piccole faglie con rigetto opposto negli strati della Formazione di Buchenstein sull'alveo del Fiume Caffaro in Romanterra. La loro orientazione è identica a quella delle faglie a scala maggiore indicate nella fig. 20.*

*Small faults in the Buchenstein Formation in the Caffaro river bed at Romanterra. The layers along the two faults are displaced by a few centimetres but in different directions. The orientation of these minor faults is the same as that of the larger faults highlighted in fig. 20.*

Fig. 21

## 3.2. ROMANTERRA: SITO DI RIFERIMENTO GLOBALE PER LA SCALA TEMPORALE GEOLOGICA

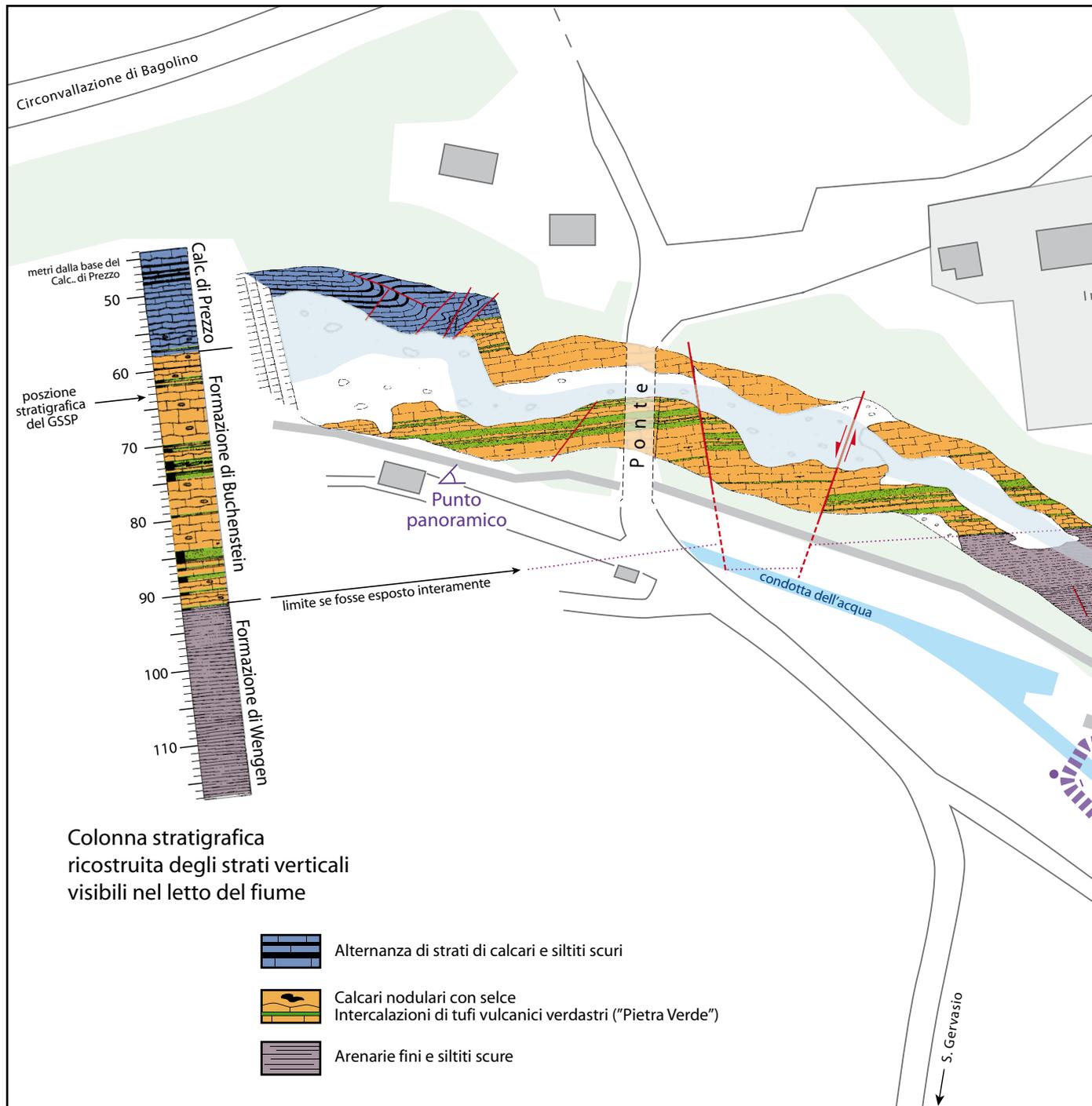
### 3.2.1. INTRODUZIONE

Sul letto e lungo l'alveo del fiume Caffaro, nei pressi di Romanterra, è visibile in modo esemplare un intervallo di strati del Triassico medio comprendente il Calcere di Prezzo, la Formazione di Buchenstein e la Formazione di Wengen, con fossili e tracce di animali tipici di un mare relativamente profondo (fig. 22). Nonostante la giacitura verticale degli strati e la presenza di numerose faglie è stato possibile ricostruire

## 3.2. ROMANTERRA: GLOBAL REFERENCE SITE FOR THE GEOLOGICAL TIME SCALE

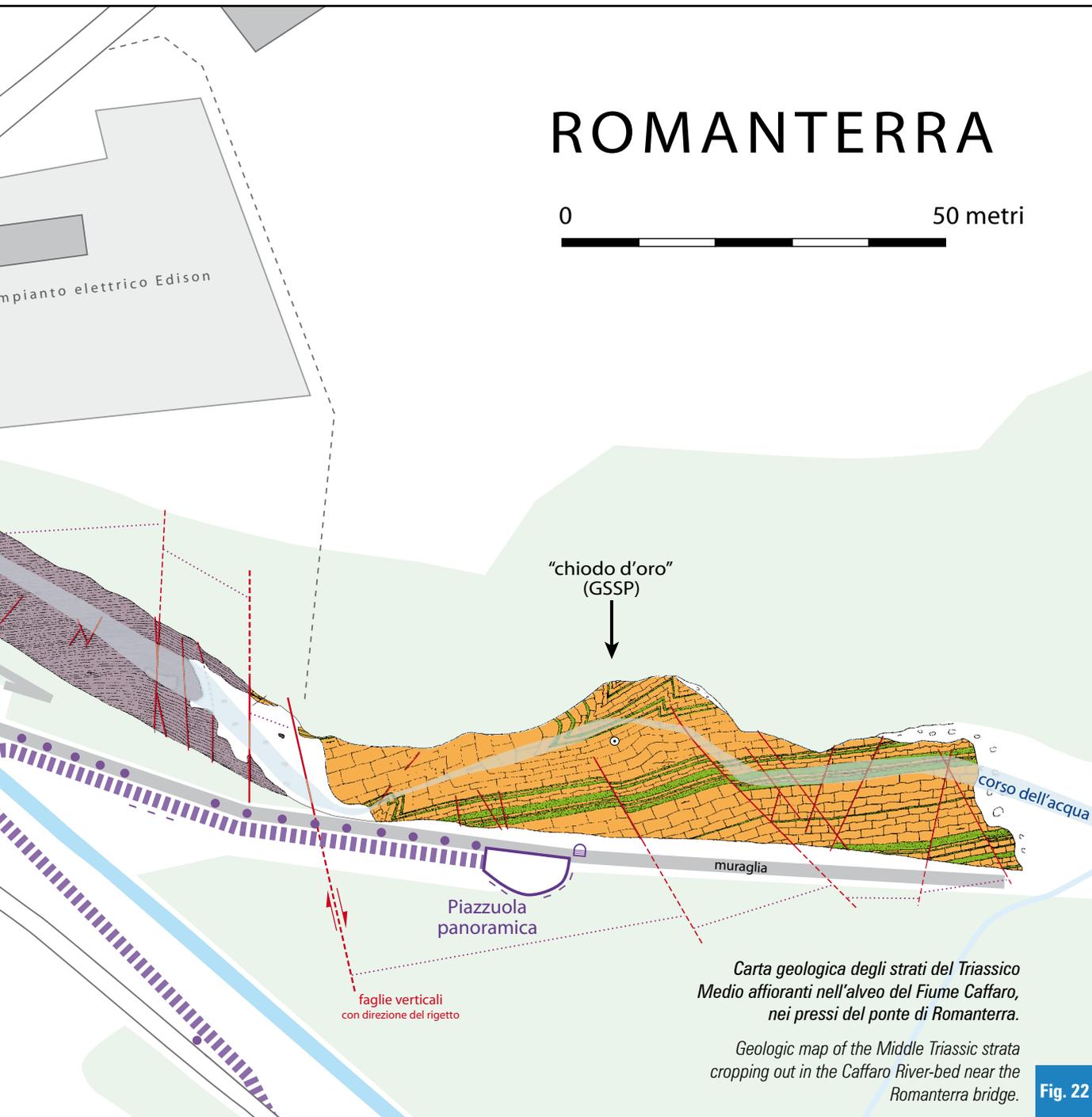
### 3.2.1. INTRODUCTION

The banks and the bed of the River Caffaro at Romanterra host excellent outcrops of an interval of sedimentary rocks of Middle Triassic age comprising the Prezzo Limestone and the Buchenstein and Wengen Formations (fig. 22). The vertical layers are displaced along several small faults but their original succession can be reconstructed with the help of corresponding horizons identified in the different sectors.



la successione originale completa. I fossili marini di Romanterra comprendono resti di ammonoidi e gusci di bivalvi utili a stabilire l'età dei vari strati. Inoltre tra i livelli calcarei della Formazione di Buchenstein sono presenti delle intercalazioni verdi di tufi vulcanici che hanno reso possibile la datazione assoluta, in milioni di anni, di un intervallo della scala temporale geologica. Questi dati hanno permesso di stabilire con precisione il limite tra due intervalli geocronologici successivi: l'*Anisico* ed il *Ladinico*. Per questo limite, su scala mondiale, esistono poche sezioni stratigrafiche simili. Grazie all'ottima esposizione e alla facile accessibilità

Fossils and traces of living organisms characteristic of relatively deep marine environments are observed at numerous levels in these strata. Ammonoids and thin shells of bivalves also document the age of the rocks. The limestone beds of the Buchenstein Formation contain intercalations of greenish volcanic tuff layers, which are important for the numerical dating of these sediments. This information has allowed to precisely define the limit between two subsequent divisions of the geological time scale called the *Anisian* and *Ladinian* Ages. On a global scale there are only a few outcrops with comparably detailed age



l'affioramento di Romanterra è stato quindi designato, nell'estate del 2005, come sito di riferimento globale (GSSP – Global boundary Stratotype Section and Point).

### 3.2.2. LE FORMAZIONI SEDIMENTARIE PRESSO IL LIMITE ANISICO-LADINICO

#### CALCARE DI PREZZO

Il Calcarea di Prezzo è costituito da un'alternanza di strati calcarei grigi e livelli scuri di materiale argilloso ed è famoso per un'abbondante fauna ad ammonoidi (fig. 23). La parte superiore della formazione mostra strati delimitati da superfici piane relativamente regolari, mentre nella parte inferiore la successione è nodulare (questo intervallo è visibile lungo il fiume Caffaro, ad ovest di Romanterra). Le principali località fossilifere di questo intervallo si trovano nell'alta Valle del Chiese e in Val Camonica. Anche nella successione di Romanterra sono presenti resti di questi fossili, ma di difficile estrazione a causa della roccia molto compatta.

#### FORMAZIONE DI BUCHENSTEIN

La Formazione di Buchenstein è costituita prevalentemente da strati di calcari nodulari grigio chiari con intercalazioni sottili di materiale argilloso (fig. 24). La denominazione *Buchenstein* deriva da una zona delle Dolomiti (Livinallongo nell'alta Valle del Cordevole). I calcari della Formazione di Buchenstein sono molto duri perché comprendono noduli e liste di selce. La selce è costituita da piccole particelle di ossido di silicio (stessa composizione dei cristalli di quarzo), originariamente contenuto negli scheletri di fossili microscopici (radiolari) e nelle ceneri vulcaniche; essa si è formata durante e dopo il consolidamento delle rocce (fase sin- e post-diagenetica). I fanghi calcarei si accumularono in modo molto lento: la formazione di 1 cm di spessore attuale richiedeva più di mille anni. Attraverso tutta la successione degli strati della Formazione di Buchenstein si trovano intercalazioni di ceneri e tufi vulcanici, i quali per il loro colore verde vengono chiamati "Pietra verde".

#### FORMAZIONE DI WENGEN

La Formazione di Wengen invece contiene pochi materiali carbonatici ed è costituita prevalentemente da arenarie, siltiti e argilliti scure e compatte (fig. 25). I singoli strati hanno spessori variabili ma sono ben distinti. Essi derivano da depositi di sabbie e particelle più piccole trasportate da correnti di torbida provocate da forti burrasche. Inizialmente queste correnti provocavano leggere modificazioni della topografia, con incisioni sul fondo marino che poi venivano riempite di sabbia. Ogni strato è stato generato da un singolo evento ("tempestate") ed esso comprende alla base un

results over this time interval. Because of this information and the good exposures, the easily accessible outcrop at Romanterra has been designated as the principal reference point for the geological boundary indicated above (GSSP – Global boundary Stratotype Section and Point).

### 3.2.2. SEDIMENTARY FORMATIONS NEAR THE ANISIAN-LADINIAN BOUNDARY

#### PREZZO LIMESTONE

The Prezzo Limestone consists of an alternation of light grey limestone beds and layers of dark marl (fig. 23). The uppermost beds of the Formation show relatively even surfaces whereas the lower part of the succession is nodular (this interval is visible along the Caffaro River west of Romanterra). The Prezzo Limestone is famous for its fossil fauna, which is particularly rich in ammonoids. Ammonoids also occur at Romanterra but are difficult to extract from the hard rocks. Well known fossil localities are located in the Chiese Valley and in Val Camonica.

#### BUCHENSTEIN FORMATION

The Buchenstein Formation is named for an area in the Dolomites (Livinallongo in the Cordevole Valley) and consists of grey nodular limestones with thin argillaceous intercalations (fig. 24). Because of abundant chert nodules and bands the limestone beds are very hard. The chert nodules formed during and after the consolidation of the sediment and consist of silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ , *i.e.* the same composition of the mineral quartz) originating from particles of microscopically small fossils and volcanic ashes. Such volcanic ashes occur as greenish layers throughout the entire succession of the Buchenstein Formation - because of their colour these ash beds are also known as "Pietra verde". Whereas the deposition of individual volcanic layers was rapid, the calcareous muds accumulated at extremely slow rates: in 1000 years only *ca.* 1 cm of the present limestone of the Buchenstein Formation was formed.

#### WENGEN FORMATION

The Wengen Formation consists mainly of sand- and siltstones and compact shales (fig. 25). Individual beds vary in thickness and were deposited from suspensions of muds and sands originating during large storms. Such storms also induced strong currents on the sea floor and in places these movements were able to erode and cut into the underlying beds. The remaining topography was then covered by sands and subsequently by the finer grained materials. Therefore, the grain-size of particles in a single bed of the Wengen Formation



**Fig. 23** *Calcare di Prezzo.*  
*Prezzo Limestone.*



*Formazione di Buchenstein.*  
*Buchenstein Formation.*

**Fig. 24**



**Fig. 25** *Formazione di Wengen.*  
*Wengen Formation.*

intervallo arenaceo (livelli chiari di sabbie) seguito verso l'alto da materiali sempre più fini che rimasero in sospensione più a lungo. Questo tipo di struttura dello strato prende il nome di "gradazione diretta".

### 3.2.3. RESTI E TRACCE FOSSILI

La maggior parte dei fossili presenti nelle formazioni di Romanterra comprende impronte o gusci di animali come ammonoidi e daonelle, frammenti di piante e tracce di gallerie scavate da organismi che vivevano nei fanghi del fondo marino. Inoltre vi si trovano resti di vertebrati, come ossa sparse di ittiosauri (rettili acquatici) e di pesci. Altri fossili marini, ad esempio minuscoli resti di scheletri di radiolari (organismi unicellulari) e conodonti (apparati masticatori di piccoli invertebrati), sono visibili soltanto al microscopio.

Gli ammonoidi, le daonelle, ma anche le tracce lasciate dagli organismi sul fondale sono tipici di un ambiente marino la cui profondità poteva aggirarsi sui 100-200 metri.

Resti di piante sono presenti come frammenti carboniosi all'interno della Formazione di Wengen e documentano l'esistenza di vicine zone emerse (isole o terraferma) coperte da vegetazione.

#### I BRACHIOPODI

Nella locale stratigrafia il Calcere di Prezzo è preceduto dal Calcere di Angolo. Al limite tra le due formazioni, e in particolare alla sommità del Calcere di Angolo, si colloca un accumulo di brachiopodi che forma un banco-guida ben visibile sull'alveo del Fiume Caffaro ad ovest di Romanterra (fig. 26). I brachiopodi, tuttora esistenti, sono organismi dotati di due valve disuguali che vivono fissati ad un substrato (fig. 26a). L'accumulo di milioni di gusci di brachiopodi è probabilmente dovuto all'azione di trasporto delle correnti.

#### GLI AMMONOIDI

Alcuni livelli del Calcere di Prezzo e della Formazione di Buchenstein sono ricchi di resti di ammonoidi, molluschi marini, dotati di una conchiglia spirale piana simile a quella dell'attuale *Nautilus*, che vivevano in mare aperto (figg. 27, 27a). Gli ammonoidi sono il gruppo più importante per la determinazione dell'età degli strati appartenenti all'era Mesozoica in quanto le singole specie vissero in intervalli temporali molto limitati e si diffusero su vaste aree oceaniche.

#### LE DAONELLE

Il nome dei bivalvi del genere *Daonella* deriva dalla Val di Daone e fu introdotto nel 1874 dal famoso paleontologo austriaco Edmund von Mojsisovics. Tali bivalvi sono abbastanza comuni nei depositi marini del Triasico Medio (figg. 28, 28a). Poiché non erano in grado di spostarsi autonomamente, la loro vasta distribuzione indica che le daonelle si sono diffuse in modo pseudo-

is usually coarse in the lower part and becomes finer upwards. This type of bedding is also called "graded bedding".

### 3.2.3. REMAINS AND TRACES OF FOSSILS

The majority of the fossils found in the sedimentary formations at Romanterra comprise imprints or fragments of the shells of animals such as ammonoids and daonellas, but also of plants. Bones of aquatic saurids (ichthyosaurs) and fishes occur as scattered remains and traces of animals who lived in the muds of the sea floor are also preserved. Tiny fossils recognizable under the microscope include delicate skeletons of radiolarians (single cell organisms) and conodonts (dental apparatuses of soft tissue animals).

The ammonoids, the daonellas and, in particular, the traces of burrowing organisms are indicative of relatively deep water conditions of maybe up to 100-200 metres. Fragments of plants are also abundant in the Wengen Formation. These were swept into the marine environment, probably originating from vegetated islands or land areas not too far away.

#### BRACHIOPODS

The base of the Prezzo Limestone is above a distinct brachiopod-bearing layer of the Angolo Limestone, forming a bed visible on the banks of the Caffaro River west of Romanterra (fig. 26). Brachiopods, a few species of which still exist, live attached to firm ground and are recognized by their two unequally sized shells (fig. 26a). Brachiopods may have lived in large colonies but the accumulation of millions of shells is possibly due to water currents.

#### AMMONOIDS

Moulds of ammonoids are abundant in some layers of the Prezzo Limestone and in the Buchenstein Formation (fig. 27). Ammonoids are now extinct but are similar to the modern *Nautilus* (fig. 27a). They were marine molluscs living in the open sea. Because numerous single ammonoid species occur in rather short geologic time intervals this group of fossils is important for establishing the relative age of sedimentary rocks throughout the entire Mesozoic Era.

#### DAONELLAS

The name *Daonella* was introduced in 1874 by the famous Austrian paleontologist Edmund von Mojsisovics for bivalves well known in Val Daone. This group of bivalves only has thin shells and has been found to occur in sedimentary deposits of Middle Triassic age worldwide (figs. 28, 28a). The distribution of daonellas suggests that before being encased in the sediments of the sea floor these animals lived in a pseudo-planktonic way, possibly attached to floating wood pieces.



Fig. 26



Fig. 26a

*Brachiopode*  
(disegnato da  
B. Scheffold).  
*Brachiopod.*

*Banco a brachiopodi alla sommità del  
Calcare di Angolo (Romanterra).*

*Brachiopod-bearing layer in the  
uppermost part of the Angolo Limestone  
(Romanterra).*

Fig. 27a

*Nautilus* (disegnato  
da B. Scheffold).  
*Nautilus.*



*Ammonoide nella Formazione di  
Buchenstein (Romanterra).*

*Ammonoid in the Buchenstein  
Formation (Romanterra).*



Fig. 27



Fig. 28

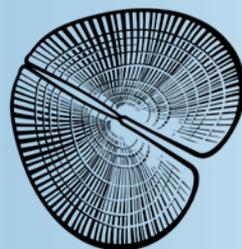


Fig. 28a

*Daonella*  
(disegnato da  
B. Scheffold).  
*Daonella.*

*Daonella nella Formazione di  
Wengen (Romanterra).*

*Daonella in the Wengen  
Formation (Romanterra).*

planctonico, cioè attaccate a dei resti di materiali galleggianti prima di depositarsi sul fondo marino.

#### I VERTEBRATI

Resti di vertebrati trovati nelle formazioni di Romanterra comprendono vertebre di Ittiosauri ma anche lische di pesci. La fig. 29 indica alcune vertebre di un esemplare di Ittiosauro (fig. 29a) trovato nella Formazione di Buchenstein del Dosso Alto ad ovest di Bagolino.

#### I CONODONTI

La presenza di conodonti nei sedimenti depositatisi al limite Anisico/Ladinico affiorante presso Bagolino ha rappresentato un importante strumento biostratigrafico di correlazione a grande distanza. I conodonti sono considerati vertebrati molto primitivi a corpo molle, simili all'anfiosso o alle lamprede, di cui rimane allo stato fossile l'apparato boccale, visibile al microscopio, costituito da isolati elementi dentati, talora assai numerosi nei sedimenti riferibili al Paleozoico e al Triassico (figg. 30, 30a).

#### I LEGNI FOSSILI

Alcuni strati all'interno della Formazione di Wengen contengono abbondanti materiali vegetali derivanti da piante che crescevano sulla riva del mare oppure su isole non molto distanti. Nei dintorni di Bagolino questi resti vegetali risultano fortemente frammentati e carbonizzati, mentre sono rari resti più articolati di piante (figg. 31, 31a).

#### LE TRACCE DI ORGANISMI

Nelle formazioni di Romanterra si osservano frequentemente tracce e gallerie scavate da organismi poi

#### VERTEBRATES

Relicts of vertebrates include the bones of ichthyosaurs and the scales of fossil fishes. The vertebrae of ichthyosaur shown in fig. 29 (fig. 29a) were found in a block of the Buchenstein Formation on the slopes of Dosso Alto west of Bagolino.

#### CONODONTS

In the sediments straddling the Anisian/Ladinian boundary at Bagolino, along with ammonoids, the occurrence of tiny denticulated conodont elements are another important biostratigraphic tool for large-scale correlation. Conodonts are extinct soft-bodied vertebrates resembling lancelets and lampreys. However, only isolated tiny tooth-like elements are usually preserved. They are remnants of the feeding apparatus of the conodont animal. Conodonts occur in Palaeozoic and in Triassic rocks (figs. 30, 30a).

#### FOSSIL WOODS

The Wengen Formation comprises layers rich in plant material that were growing on nearby land areas or islands. Such remains are usually disarticulated and turned into coal-like material (figs. 31, 31a).

#### TRACE FOSSILS

At Romanterra numerous types of traces of animals living on the seafloor are preserved in the sediment layers. Such traces can be branched tube-like galleries in which animals such as large shrimps were living. Burrows of the type *Thalassinoides* (fig. 32) are typical for the lower surfaces of beds of the Buchen-

**Fig. 29a** *Ittiosauro* (disegnato da B. Scheffold).

*Ichthyosaur.*

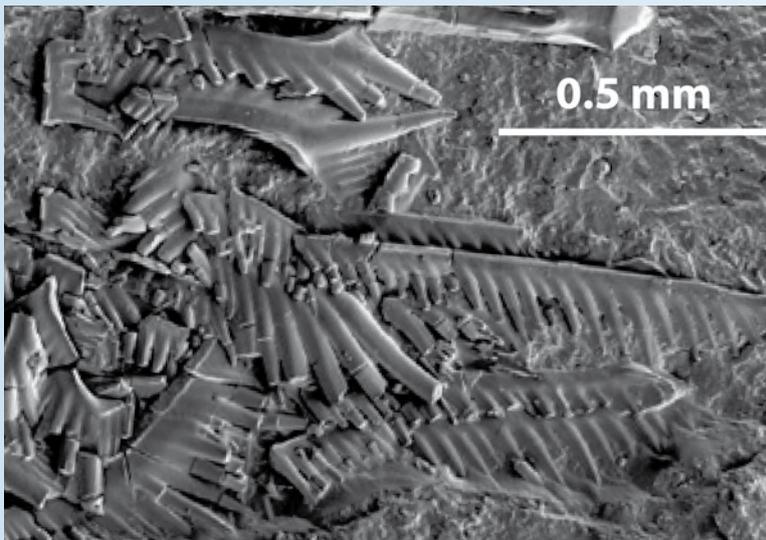
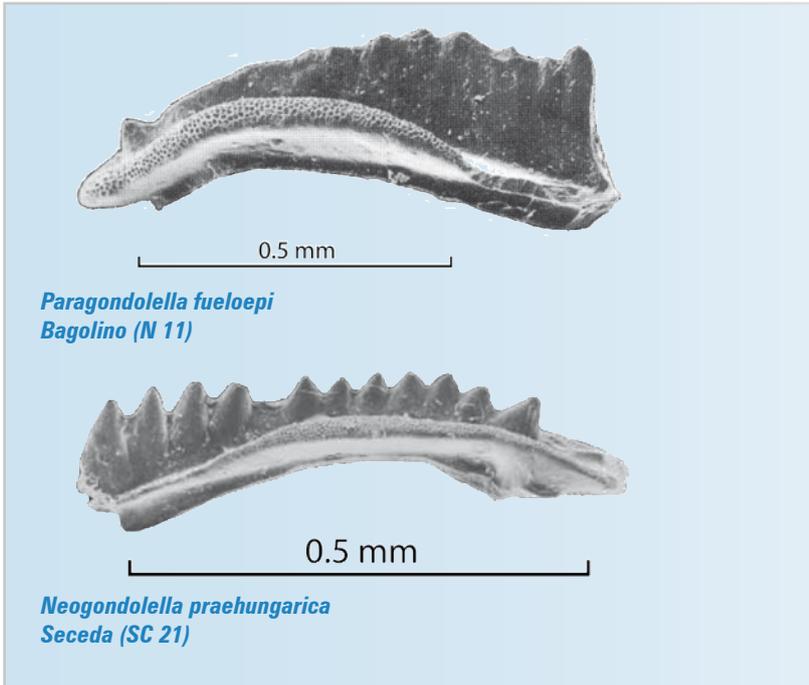


Vertebre di *Ittiosauro* nella Formazione di Buchenstein del Dosso Alto (Bagolino).

*Ichthyosaur bones in the Buchenstein Formation of Dosso Alto (Bagolino).*

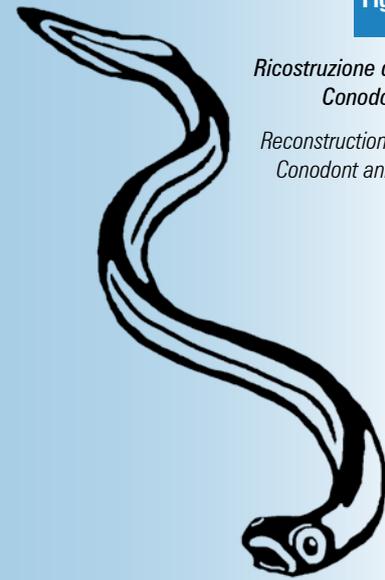


**Fig. 29**



**Conodont cluster**  
(Middle Triassic, Grenzbitumenzone, Monte San Giorgio)

**Fig. 30a**



*Ricostruzione di un Conodonte.*

*Reconstruction of a Conodont animal.*

*Bioaccumulo di conodonti provenienti dal Triassico Medio (Grenzbitumenzone) del Monte San Giorgio (Ticino, CH) e coevi conodonti isolati ritrovati negli strati della Formazione di Buchenstein a Romanterra (Paragondolella fueloepi) e Seceda (Neogondolella praeungarica) (Illustrazioni di N. Goudemand).*

*A cluster of Middle Triassic (Grenzbitumenzone) conodont elements from Monte San Giorgio (Ticino, CH). Isolated conodont elements of the same age also occur at Romanterra (Paragondolella fueloepi) and Seceda (Neogondolella praeungarica) from the Buchenstein Formation.*

**Fig. 30**

decomposti (come ad esempio i granchi) che vivevano in tali cavità. La fig. 32 evidenzia un sistema tubolare con biforcazioni del tipo *Thalassinoides* caratteristico di alcuni strati della Formazione di Buchenstein. La fig.33 invece mostra un particolare di uno strato arenaceo della Formazione di Wengen che si è formato improvvisamente e su cui è visibile il canale (vedi freccia) attraverso il quale un animale sepolto cercò di liberarsi.

### 3.2.4. TUFİ VULCANICI: L'ORIGINE E L'ETÀ DEL MATERIALE VULCANICO

Nella Formazione di Buchenstein si trovano numerosi strati con materiali di origine vulcanica, noti come "Pietra verde" per il loro colore verde intenso (figg. 34, 35). I materiali vulcanici sono composti da granelli di minerali come il feldspato, il quarzo e "foglie" di mica scura (biotite), ma contengono anche delle minuscole

stein Formation. The fig. 33 shows a sandstone layer in the Wengen Formation with a vertical tube (see arrow) through which an animal tried to escape after having been buried by rapidly deposited sands.

### 3.2.4. VOLCANIC TUFF LAYERS: THEIR ORIGIN AND AGE

The Buchenstein Formation contains numerous beds of volcanic material which are called "Pietra verde" because of the sometimes intensely green colour (figs. 34, 35). The dense groundmass of these layers originally consisted of fine ash particles. The coarser components are clasts of magmatic rocks as well as crystals of quartz, feldspar and dark sheets of biotite. Tiny crystals of the mineral "zircon" also occur in these layers and contain traces of the element uranium (fig. 36). Because some of the uranium atoms decay in a regular

Fig. 31a

*Vegetali fossili (disegnato da B. Scheffold).  
Fossil Plants.*



*Resti vegetali nella Formazione di Wengen (Romanterra).*

*Fossil plant remains in the Wengen Formation (Romanterra).*



Fig. 31



Fig. 32

*Thalassinoides sulla superficie inferiore di uno strato della Formazione di Buchenstein (Romanterra).*

*Thalassinoides in the lower surface of a Buchenstein Formation bed (Romanterra).*

particelle di cenere non riconoscibili ad occhio nudo. Tra le particelle più piccole si trovano cristalli di zirconio, un silicato di zirconio con un modesto contenuto di uranio (fig. 36). La lenta decomposizione di alcuni isotopi dell'uranio permette con metodi fisici raffinati di risalire al tempo trascorso dalla formazione del cristallo ad oggi. Poiché la formazione di zirconi nel magma precede di poco l'eruzione vulcanica e la loro integrazione in un deposito marino, l'età di quest'ultimo corrisponde praticamente all'età degli zirconi in esso contenuti.

I materiali vulcanici sono stati emessi nell'atmosfera durante grandi eruzioni esplosive le cui particelle si sono lentamente depositate sul fondo marino a partire dai cristalli più grossi e pesanti a finire con le particelle più minuscole e leggere. Ogni strato così gradato rappresenta una singola eruzione. In genere la posizione dei centri eruttivi è incerta, soltanto per un livello nel-

fashion into other elements, it is possible to establish the time elapsed since the formation of the zircon in the magma prior to eruption. Such zircon-ages are considered as a good approximation for the time when these grains were deposited in the volcanic bed.

The material of the "Pietra verde" originated from large subaerial eruptions of volcanoes above sea level. Once the fallout had reached the sea surface they settled through the water column with the coarser and heavier particles travelling faster. Single eruptions therefore usually resulted in the deposition of a graded layer with the coarse particles at its base.

The locations of the volcanic districts are unknown in most cases. However, a few volcanic layers in the uppermost Buchenstein Formation can be related to a nearby source area. Around 20 km west of Bagolino a Triassic volcano was situated in the area of Mount



*Bioturbazione in uno strato della Formazione di Wengen.*

*Vertical burrow in a bed of the Wengen Formation.*

**Fig. 33**



*Strati centimetrici di materiale vulcanico di colore verde tra i livelli calcarei della Formazione di Buchenstein. Ogni strato rappresenta il deposito di una grande esplosione vulcanica.*

*Layers of greenish volcanic materials interbedded with chert-rich (dark streaks) limestones of the Buchenstein Formation. Each volcanic layer originated from a single large eruption.*

**Fig. 34**



Fig. 35

Fig. 35a



*La parte intermedia della Formazione di Buchenstein comprende uno strato di "Pietra verde" che contiene delle piccole sfere costituite da particelle di tufi vulcanici, denominate "lapilli accrezionari". Queste sfere si formarono all'interno di una nube eruttiva mediante l'accrescimento di particelle di ceneri. La fig. 35a mostra due sfere di questo tipo recentemente ritrovate nei dintorni di un vulcano attivo in Nuova Zelanda. La presenza di tali sfere in depositi marini è una delle migliori prove che i materiali vulcanici prima di entrare in ambiente marino si sono sparsi nell'atmosfera.*

*A unique "Pietra verde" layer in the middle part of the Buchenstein Formation contains conspicuous spheres of volcanic ash particles. These so-called "accretionary lapilli" formed in a huge eruption cloud emerging from the volcano when wet ash particles stuck together. The fig. 35a shows two comparable spheres found in the ejecta of a recent volcano in New Zealand. Occurrence of such ash-balls are the best evidence for the original dispersion of volcanic particles in the atmosphere before being deposited in a marine sediment.*

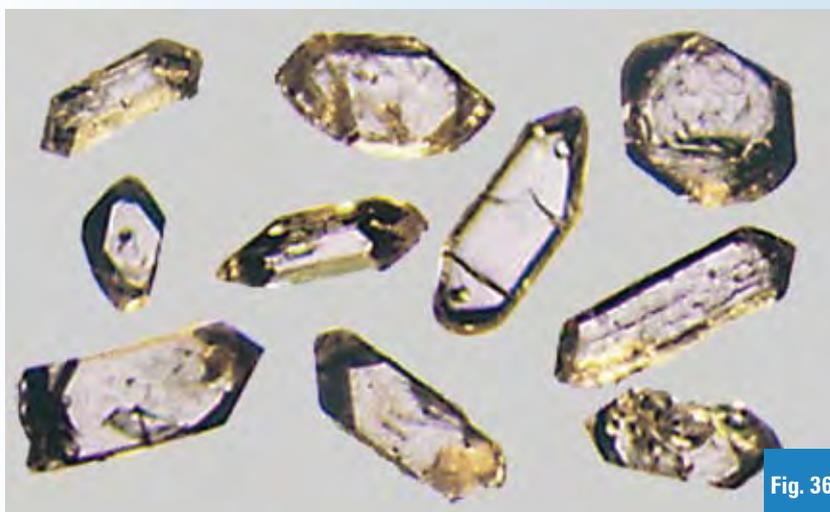


Fig. 36

*Minuscoli cristalli di zircono prelevati da materiale vulcanico. Grazie ad un modesto contenuto di Uranio è possibile determinare l'età della loro cristallizzazione nel magma, avvenuta poco prima dell'eruzione.*

*Tiny crystals of zircon isolated from a volcanic layer. Uranium atoms and their decay products (lead atoms) in such grains allow the age of crystallization to be established.*

la parte alta della Formazione di Buchenstein essa è stata chiaramente individuata. Si tratta di un vulcano triassico che si trovava a circa 20 km ad ovest di Bagolino, nei dintorni dell'attuale Monte Muffetto (zona di Montecampione) tra la Val Trompia e la Val Camonica. In questa zona gli strati dell'Anisico e del Ladinico ora sono erosi, tuttavia gli strati sottostanti sono intrusi da numerosi corpi magmatici coevi che testimoniano l'esistenza di un vulcano (figg. 37, 37a).

**3.2.5. IL "CHiodo D'ORO" PER IL PIANO LADINICO**

Nella moderna scala internazionale del tempo geologico ogni limite tra i diversi intervalli temporali deve

Muffetto on the present watershed between Val Trompia and Val Camonica. In this area the sediments of Anisian and Ladinian age are eroded but the underlying rocks host small bodies of intrusive rocks which formed underneath an active volcano and whose zircon grains have the same age as those of the equivalent "Pietra verde" layers at Bagolino (figs. 37, 37a).

**3.2.5. THE "GOLDEN SPIKE" FOR THE LADINIAN STAGE**

Modern geological time-scales have boundaries between subsequent time intervals, which are defined at a place that serves as a global reference. The location where a boundary is fixed in a succession of

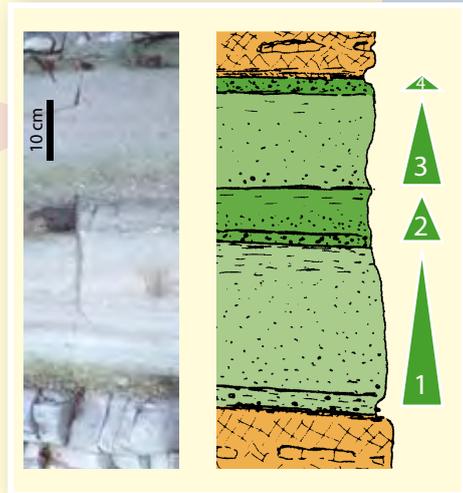
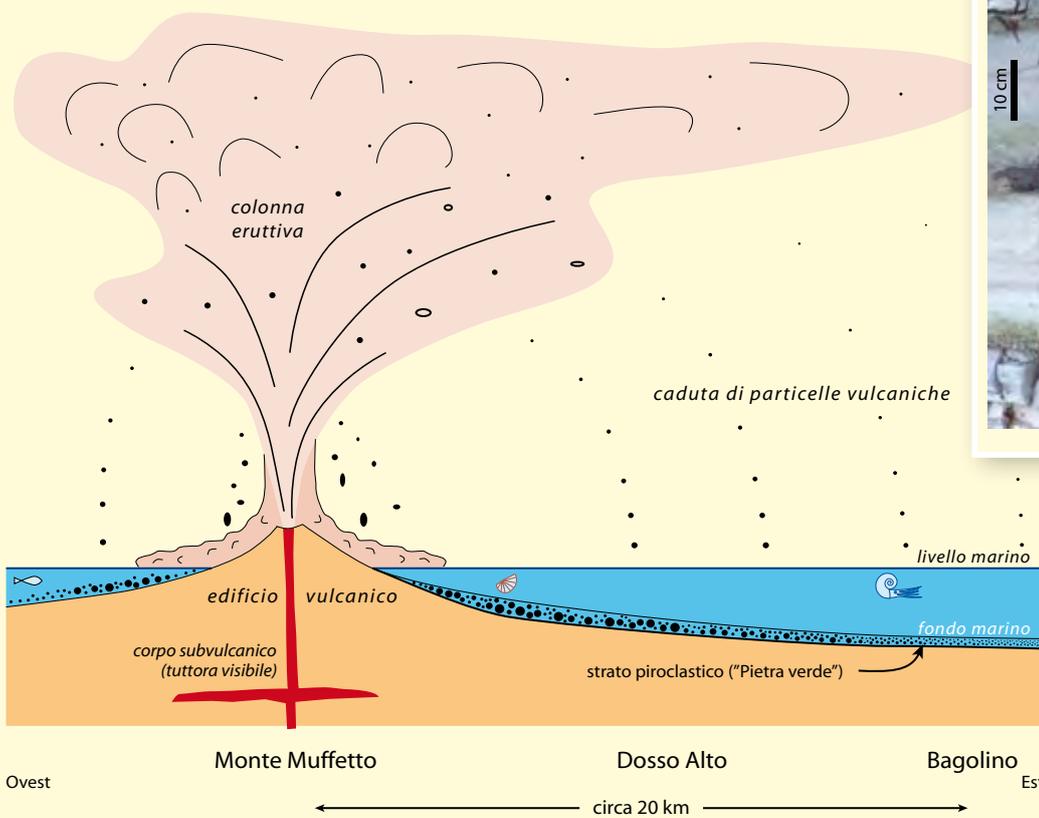


Fig. 37a

*Illustrazione schematica e semplificata del complesso vulcanico del Monte Muffetto e delle porzioni marine adiacenti. Degli apparati vulcanici si sono conservati fino ad oggi solamente i corpi subvulcanici ("laccolite" evidenziati in rosso). L'età di questi corpi e il tipo di roccia sono simili a quelli dei lapilli vulcanici che si trovano in un intervallo di "Pietra verde" nella Formazione di Buchenstein a Bagolino (fig. 37a). Questo intervallo è composto da diversi strati gradati (evidenziati dalle frecce verdi), ognuno dei quali rappresenta una singola eruzione. La presenza di molteplici livelli simili suggerisce una serie di eruzioni che perduravano per un certo intervallo di tempo. Al Dosso Alto gli strati equivalenti sono di spessore maggiore che a Bagolino e contengono lapilli di grosse dimensioni, elementi questi che indicano una maggior vicinanza al centro eruttivo.*

*A simplified schematic section across the subaerial volcanic district of Mount Muffetto and the adjacent marine basins. The volcanic edifice is no longer preserved but intrusive magmatic rocks that had solidified a few hundred metres below the active volcano remain as thin tabular "laccolith" bodies (indicated in red). The age of these rocks and of the corresponding interval of volcanic layers in the uppermost Buchenstein Formation at Bagolino are identical. At Bagolino (fig. 37a) this interval consists of a series of different graded beds (green arrows) documenting subsequent events of eruption. At Dosso Alto between Bagolino and Mount Muffetto the equivalent layers are much thicker and coarser grained because of the closer vicinity to the centre of eruption.*

Fig. 37

essere definito con un singolo punto di riferimento mondiale. Tale punto viene denominato GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point) oppure brevemente "golden spike" (chiodo d'oro) che simbolicamente indica il punto esatto del limite sull'affioramento (fig. 38). Il "chiodo d'oro" viene scelto da una commissione internazionale valutando proposte formulate in base a criteri scientifici (vedasi paragrafo 2.7.).

Nel 2005 il sito di Romanterra è stato scelto come punto di riferimento per il limite tra i piani *Anisico* e *Ladinico* per la rappresentatività dell'affioramento, per i suoi fossili e per la concentrazione e precisione della datazione degli strati (figg. 39, 40). Per il periodo Triassico i nomi *Anisico* e *Ladinico* in realtà erano già stati introdotti nella seconda metà dell'ottocento da geologi austriaci. Tuttavia in quel periodo e fino a qualche decennio fa non era consuetudine definire con esattezza i vari limiti, e di conseguenza molti di questi rimasero indefiniti e inadeguati per una scala geologica moderna. L'espressione *Anisico* proviene dal nome del fiume austriaco Enns (lat. *Anisius*) a sud-est di Salisburgo, mentre il *Ladinico* ha preso il nome dalla popolazione di lingua Ladina nelle Dolomiti (vedasi paragrafo 2.9.).

sedimentary layers is called a GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point). Such points are also referred to as "golden spikes" (fig. 38) and are established by an international geological commission after the evaluation of various scientific proposals (also see paragraph 2.7.).

More than one hundred years ago most intervals (stages) of the geological time-scale had been established but often with no clearly defined limits. Because modern time-scales are expected to be accurate, most of the historical boundaries have been or are currently being revised in order to be suitable as GSSPs.

On the basis of the fossils and age values available for the stratigraphic succession at Bagolino, in 2005 the Romanterra site was chosen as the global reference point for the limit between the two stages *Anisian* and *Ladinian* (figs. 39, 40). The names of these stages of the Triassic System had been introduced much earlier, in the second half of the eighteenth century, by geologists of the Austro-Hungarian Empire. The name *Anisian* refers to the Enns river (lat. *Anisius*) southeast of Salisbury whereas the *Ladinian* is named after the Ladini people living in the Dolomites (also see paragraph 2.9.).

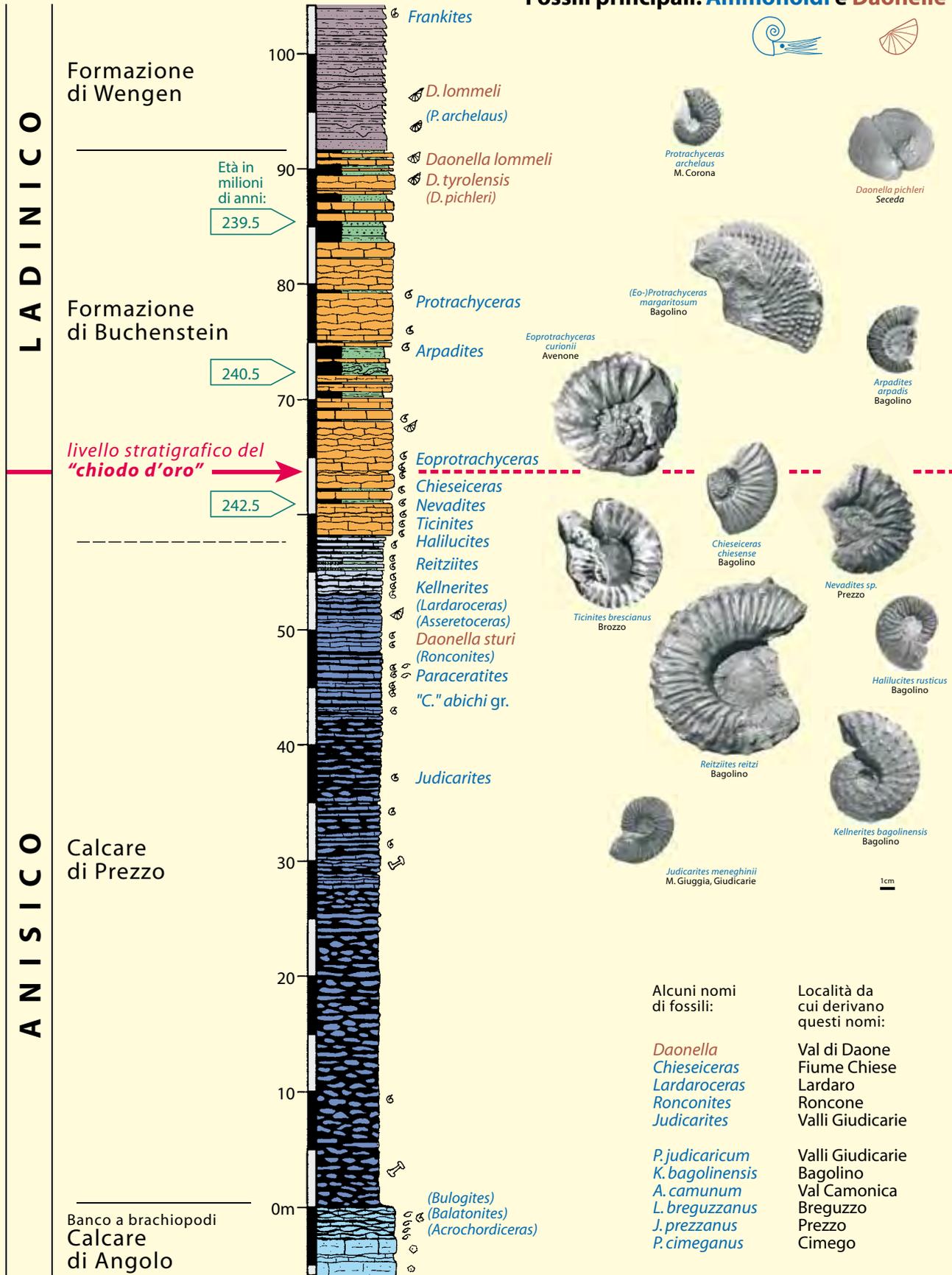


La foto rappresenta il punto di riferimento ("chiodo d'oro", GSSP) per il limite tra i piani *Anisico* e *Ladinico* nella successione degli strati della Formazione di Buchenstein sull'affioramento di Romanterra, come indicato dalla freccia. Al di sotto e al di sopra del limite sono indicate le età in milioni di anni di due livelli di tufi vulcanici.

The "golden spike" (GSSP) of the base of the Ladinian (i.e. the boundary between the Anisian and the Ladinian Stages) is placed at a single point along the laterally continuous layer that defines this limit inside the Buchenstein Formation at Romanterra. The numbers indicated refer to the age of volcanic ash layers ("Pietra verde") below and above the boundary.

Fig. 38

Fossili principali: **Ammonoidi** e **Daonelle**

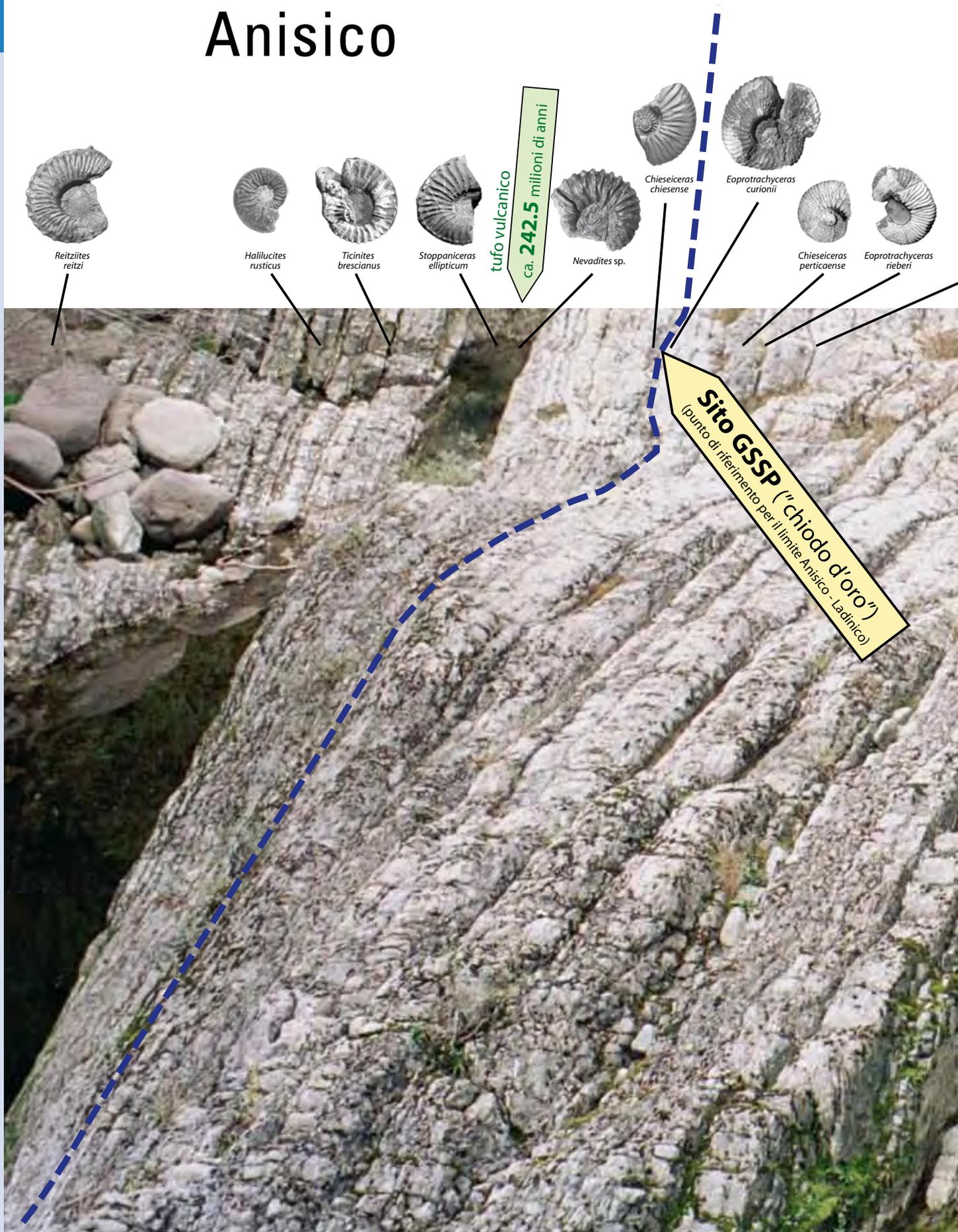


Riassunto dei principali dati stratigrafici che hanno permesso la scelta di Romanterra come punto di riferimento per la base del Ladinico. Particolare importanza hanno i fossili come gli ammonoidi e le datazioni dei tufi vulcanici intercalati ai calcari della Formazione di Buchenstein.

Summary of the most important age information of the stratigraphic succession at Romanterra. The combination of age-diagnostic ammonoids and the numeric values obtained on several volcanic ash layers interbedded with the limestones of the Buchenstein Formation was of particular importance for the definition of the base of the Ladinian Stage at Romanterra.

Fig. 39

# Anisico



**Fig. 40** Ammonoidi e livelli vulcanici nei pressi del chiodo d'oro (GSSP) per il limite Anisico-Ladinico a Romanterra.

Ammonoids and volcanic layers near the golden spike (GSSP) of the Anisian-Ladinian boundary at Romanterra.

# Ladinico



*Eoprotrachyceras  
recubariense*

strati di calcare con noduli di selce



*(Eo)Protrachyceras  
margaritosum*

"Pietra Verde"  
(tufo vulcanico)

ca. **240.5** milioni di anni

"Pietra Verde"  
(tufo vulcanico)



*Arpadites  
arpadis*



Gli Autori desiderano ringraziare H. RIEBER per la collaborazione durante il processo di definizione del GSSP di Bagolino, M.B. CITA e M. BALINI per la lettura critica del manoscritto e la presentazione al volume, M. CADDICK per la revisione dei testi in inglese, B. SCHEFFOLD e N. GOUEMAND per averci concesso l'utilizzo delle loro illustrazioni dei fossili, il COMUNE DI BAGOLINO per aver riconosciuto il valore scientifico ed educativo del GSSP, impegnandosi nella realizzazione di un percorso e finanziando la stampa di questo volume, e in particolare si è grati a G. GIACOMOLLI per la costante mediazione e il coordinamento dei lavori sul Geosito Romanterra.

The authors of this book would like to warmly thank H. RIEBER for his fundamental collaboration during the long process of defining the GSSP at Bagolino. M.B. CITA e M. BALINI are acknowledged for the revision and their thoughtful introduction to this book! M. CADDICK kindly revised the English text and B. SCHEFFOLD and N. GOUEMAND made available graphics and illustrations of fossils.

Sincere thanks go to the municipality of Bagolino (COMUNE DI BAGOLINO) for its appraisal of the scientific and educational value of the GSSP-site at Romanterra, resulting in the implementation of the informative geotrail and the funding of this volume. In particular we would like to thank G. GIACOMOLLI for his support and the coordination of the works at the Romanterra geosite.



- BIANCHI A., BONI A., CALLEGARI E., CASATI P., CASSINIS G., COMIZZOLI G., DAL PIAZ GB., DESIO A., GIUSEPPETTI G., MARTINA E., PASSERI L.D., SASSI F.P., ZANETTIN B. e ZIRPOLI G., 1971. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000. Foglio 34 Breno. *Minist. Ind., Comm., Artig., Dir. Gen. Min., Serv. Geol. d'Italia*. Nuova Tecnica Grafica, Roma: 1-134.
- BITTNER A., 1892. Was ist norisch? *Jb. K.K. geol. Reichsanst.*, 42, 3: 387-396.
- BONI A. e CASSINIS G., 1973. Carta geologica delle Prealpi Bresciane a Sud dell'Adamello. Note illustrative della legenda stratigrafica. *Atti Ist. Geol. Univ. Pavia*, 23: 119-159.
- BONI A., CASSINIS G., CAVALLARO E., CERRO A., FUGAZZA F., ZEZZA F., VENZO S. e MEDIOLI F., 1968. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 47 Brescia (II edizione), Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli).
- BONI A., CASSINIS G. e VENZO S., 1970. Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:100000. Foglio 47 Brescia. *Minist. Ind., Comm., Artig., Dir. Gen. Min., Serv. Geol. d'Italia*. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli): 1-93.
- BONI A., CASSINIS G., CERRO A., ROSSETTI R., ARDIGÒ G., CAVALLARO E., FUGAZZA F. e ZEZZA F., 1972. Carta Geologica delle Prealpi bresciane a sud dell'Adamello (scala 1:50.000), edita dall'Istituto di Geologia dell'Università di Pavia, *Atti Ist. Geol. Univ. Pavia*, 22: 2 carte.
- BRACK P., 1981. Structures in the Southwestern border of the Adamello intrusion (Alpi Bresciane, Italy). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 61: 37-50.
- BRACK P. e NICORA A., 1998. Conodonts from the Anisian-Ladinian succession of Bagolino, Brescian Prealps (Brescia, Lombardy, Northern Italy). *Giorn. Geol.*, ser. 3, 60 (1998), Spec. Issue, ECOS VII – Southern Alps Field Trip Guidebook: 314-325.
- BRACK P. e RIEBER H., 1986. Stratigraphy and ammonoids from the lower Buchenstein Beds in the Brescian Prealps and Giudicarie and their significance for the Anisian/Ladinian boundary. *Ecolgae geol. Helv.*, 79: 181-225.
- BRACK P. e RIEBER H., 1993. Towards a better definition of the Anisian/Ladinian boundary: New biostratigraphic data and correlations of boundary sections from Southern Alps. *Ecolgae geol. Helv.*, 86: 415-527.
- BRACK P. e RIEBER H., 1994. The Anisian/Ladinian boundary: retrospective and new constraints. *Albertiana*, 13: 25-36.
- BRACK P., CALLEGARI E., CASSINIS G., CASTELLARIN A., FONTANA D., GAETANI M., ORI G., ORIGONI GIOBBI E., RIKLIN K., SARTORI R. e ULMER P., 1985. Guida all'escursione sull'Adamello meridionale. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 26 (1983): 391-419.
- BRACK P., RIEBER H., e MUNDIL R., 1995. The Anisian/Ladinian boundary interval at Bagolino (Southern Alps, Italy): I. Summary and new results on ammonoid horizons and radiometric age dating. *Albertiana*, 15: 45-56.
- BRACK P., RIEBER H. e NICORA A., 2003. The Global Stratigraphic Section and Point (GSSP) for the base of the Ladinian Stage (Middle Triassic). A proposal for the GSSP at the base of the Curionii Zone in the Bagolino section (Southern Alps, Northern Italy). *Albertiana*, 28: 13-25.
- BRACK P., RIEBER H., NICORA A. e MUNDIL R., 2005. The Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Ladinian Stage (Middle Triassic) at Bagolino (Southern Alps, Northern Italy) and its implications for the Triassic time scale. *Episodes*, 28, 4: 233-244.
- CASSINIS G., 1980. Motivi strutturali emersi da un profilo condotto nelle Prealpi bresciane tra il Passo di Croce Domini e Salò. *Rend. Soc. Geol. Ital.*, 2 (1979): 13-14.
- CASSINIS G., 1982. Note geologiche sull'area all'intersezione tra Linea delle Giudicarie Sud e Linea della Val Trompia. In: Castellarin A. e Vai G.B. (a cura di), Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale. Guide Geol. Reg. S.G.I., Bologna: 97-102.
- CASSINIS G., 1985. Il Permiano nel Gruppo dell'Adamello, alla luce delle ricerche sui coevi terreni delle aree contermini. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 26 (1983): 119-132.
- CASSINIS G. e CASTELLARIN A., 1981. Foglio 47 Brescia. In: Castellarin A. (ed.), Carta tettonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200000. C.N.R. Prog. Final. Geodinamica, Sottopr. 5 "Modello Strutturale", Pubbl. n. 441: 161-165.
- CASSINIS G. e CASTELLARIN A., 1988. Il significato delle linee della Gallinera e delle Giudicarie Sud nella geologia dell'Adamello e zone circostanti. *Atti Ticin. Sci. Terra*, Pavia, 31 (1987/88): 446-462.
- CASSINIS G. e FORCELLA F., 1981. Foglio 34 Breno. In: Castellarin A. (ed.), Carta tettonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200000. C.N.R. Prog. Final. Geodinamica, Sottopr. 5 "Modello Strutturale", Pubbl. n. 441: 166-173.
- CASSINIS G., CASTELLARIN A., PELOSO G.F., SARTORI R. e VERCESI P.L., 1982. Il settore della Linea delle Giudicarie Sud: evoluzione paleotettonica permo-triassica ed assetto strutturale attuale. In: Castellarin A. e Vai G.B. (eds), Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale. Guide Geol. Reg. S.G.I., Bologna: 125-130.
- CASSINIS G., PEROTTI C.R., VERCESI L., 1991. Prealpi bresciane a sud dell'Adamello: breve sintesi delle conoscenze geologiche e ulteriori temi di ricerca. In: Attualità dell'opera di Arturo Cozzaglio nel 40° della scomparsa. Atti del Convegno Nazionale ottobre 1990, Ateneo di Brescia, Brescia: 35-109.
- CASTELLARIN A. e SARTORI R., 1983. Il sistema tettonico delle Giudicarie, della Val Trompia e del sottosuolo dell'alta pianura lombarda. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 26: 31-37.
- CASTELLARIN A. e VAI G.B., 1986. Southalpine versus Po Plain apenninic arcs. In: Wezel F.C. (ed.), "The Origin of Arcs". Development in Geotectonics, Elsevier, Amsterdam, 21: 253-280.
- CASTELLARIN A., FESCE A.M., PICOTTI V., PINI G.A., PROSSER G., SARTORI R., SELLI L., CANTELLI L. e RICCI R., 1987. Structural and kinematic analysis of the Giudicarie deformation belt. Implications for compressional tectonics of Southern Alps. *Mineral. Petrogr. Acta*, 30 (1986-1987): 287-310.
- COWIE J.W., 1986. Guidelines for boundary stratotypes. *Episodes*, 9: 78-82.
- COWIE J.W., ZIEGLER A.W., BOUCOT A.J., BASSETT M.G. e REMANE J., 1986. Guidelines and statutes of the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Cor. Forsch. Inst. Senckenberg*, 83: 1-14.

- DEL MORO A., PARDINI G., QUERCIOLO C., VILLA I. e CALLEGARI E., 1985. Rb/Sr and K/Ar chronology of Adamello granitoids, Southern Alps. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 26 (1983, Parte prima): 285-299.
- DESIO A., BONI A., DAL PIAZ GB., BIANCHI A., CASATI P., ASSERETO R., COMIZZOLI G., PASSERI L.D., CASSINIS G., CERRO A., ROSSETTI R., ACCORDI B., DIENI I., MALARODA R., CEVALES G. e MORGANTE S. (1970) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 34 Breno, E.I.R.A., Firenze.
- DOGLIONI C. e BOSELLINI A., 1987. Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps. *Geol. Rundschau*, 76: 735-754.
- FORCELLA F., 1981. Foglio 19 Tirano. In: Castellarin A. (ed.), Carta tettonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200000. C.N.R. Prog. Final. Geodinamica, Sottopr. 5 "Modello Strutturale", Pubbl. n. 441: 166-173.
- GAETANI M. et al. (35 co-authors), 2000. Early Ladinian. In: DECOURT J., GAETANI M., VRIELYNCK B., BARRIER E., BIJU-DUVAL B., BRUNET M.F., CADET J.P., CRASQUIN S. & SANDULESCU M. (eds). Atlas Peri-Tethys, Palaeogeographical Maps. CCGM/CGMW, Paris: map 5.
- GERMANI D. e ANGIOLINI L. (con la supervisione di CITA M.B.), 2003. Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica. APAT, Quaderni, serie III, Volume 9: 1-155.
- KRYSSTYN L. e MARIOLAKOS J., 1975. Stratigraphie und Tektonik der Hallstätter-Scholle von Epidaurus (Griechenland). *Sitzungsber. österr. Akad. Wiss.*, 184: 181-195.
- LAUBSCHER H.P., 1990. The problem of the deep structure of the Southern Alps: 3-D material balance considerations and regional consequences. *Tectonophysics*, 176: 103-121.
- MANFRIN S. e MIETTO P., 1995. The Anisian/Ladinian boundary: a contribution. *Albertiana*, 15: 26-36.
- MARIANI E., 1906. Alcune osservazioni geologiche sui dintorni di Bagolino nella Valle del Caffaro. *Rend. Ist. lomb. Sci. [Lett., Ser. 2]*, 39, 14: 646-653.
- MIETTO P., MANFRIN S., PRETO N., GIANOLLA P., KRYSSTYN L. e ROGGI G., 2003a. Proposal of the Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Ladinian Stage (Middle Triassic) - GSSP at the base of the Avisianum Subzone (FAD of *Aplococeras avisianum*) in the Bagolino section (Southern Alps, NE Italy). *Albertiana*, 28: 26-34.
- MIETTO P., GIANOLLA P., MANFRIN S. e PRETO N., 2003b. Refined ammonoid biostratigraphy of the Bagolino section (Lombardian Alps, Italy), GSSP candidate for the base of the Ladinian Stage. *Riv. It. Paleont. Strat.*, 109, 3: 449-462.
- MOJSISOVICS E. v., 1874. Faunengebiete und Faciesgebilde der Trias-Periode in den Ost-Alpen. *Jahrb. k.k. geol. Reichsanst.*, 24, 1: 81-134.
- MOJSISOVICS E. v., 1882. Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. *Abh. k.k. geol. Reichsanst.*, 10: 1-322.
- MOJSISOVICS E. v., 1892. Die Hallstätter Entwicklung der Trias. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien*, 101: 775-776.
- MOJSISOVICS E. v., 1902. Das Gebirge um Hallstatt. Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke, vol.1, suppl. - *Abh. k.k. geol. Reichsanst.*, 6, 1: 175-356.
- MUNDIL R., BRACK P., MEIER M., RIEBER H. e OBERLI F., 1996. High resolution U-Pb dating of Middle Triassic volcanoclastics: Time-scale calibration and verification of tuning parameters for carbonate sedimentation. *Earth and Planetary Science Letters*, 141: 137-151.
- MUNDIL R., ZÜHLKE R., BECHSTÄDT T., PETERHÄNSEL A., EGENHOFF S.O., OBERLI F., MEIER M., BRACK P. e RIEBER H., 2003. Cyclicities in Triassic platform carbonates: synchronizing radio-isotopic and orbital clocks. *Terra Nova*, 15: 81-87.
- MURPHY M.A. e SALVADOR A. (Eds.), 1999. International Stratigraphic Guide. An abridged version. *Episodes*, 22, 4: 255-271.
- MUTTONI G., NICORA A., BRACK P. e KENT D.V., 2004. Integrated Anisian/Ladinian boundary chronology. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 208: 85-102.
- NICORA A. e BRACK P., 1995. The Anisian/Ladinian boundary interval at Bagolino (Southern Alps, Italy): II. The distribution of Conodonts. *Albertiana*, 15: 57-65.
- PÁLFY J., PARRISH R.R. e VÖRÖS A., 2003. Mid-Triassic integrated U-Pb geochronology and ammonoid biochronology from the Balaton Highland (Hungary). *J. Geol. Soc. London*, 160: 271-284.
- PICOTTI V., PROSSER G. e CASTELLARIN A., 1995. Structures and Kinematics of the Giudicarie - Val Trompia Fold and Thrust Belt (Central Southern Alps, Northern Italy). *Mem. Sci. Geol.*, Padova, 47: 95-109.
- REMANE J., BASSETT M.G., COWIE J.W., GORBHANDT K.H., LANE H.R., MICHELSEN O. e WANG NAIWEN (coord.), 1996. Revised Guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission on Stratigraphy (ICS). *Episodes*, 19, 3: 77-81.
- SALVADOR A., 1994. International Stratigraphic Guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure: 1-214.
- SCHIAVINATO G., DESIO A., BIANCHI A., DAL PIAZ GB., MONTRASIO A., CRESPI R., BORIANI A., BONSIGNORE G., RAGNI U., MOTTANA A., BORGO A., LIBORIO G., CAMPIGLIO C., COMIZZOLI G., PASSERI L.D., DIENI I., POLLINI A., PROTO DECIMA F., SASSI F., ZANETTIN B., ACCORDI B., DE VECCHI GP. e MORGANTE S., 1969. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 19 Tirano, E.I.R.A., Firenze.
- SCHIROLLI P., 2001. Geological setting of the Brescian Alps, with particular reference to the Permian outcrops: an overview. In: G. Cassinis (Editor), Permian Continental Deposits of Europe and other areas. Regional Reports and Correlations. *Monografie di Natura Bresciana*, Brescia, 25: 65-72.
- SILBERLING N.J. e NICHOLS K.M., 1982. Middle Triassic molluscan fossils of biostratigraphic significance from Humboldt range, Northwestern Nevada. *Prof. Pap. U.S. geol. Surv.*, 1207: 1-77.
- TREVISAN L., 1938. Il fascio di fratture tra l'Adige e la Linea delle Giudicarie e i suoi rapporti col massiccio intrusivo dell'Adamello. *Studi Trent. Sci. Nat.*, 29: 177-187.
- VÖRÖS A., 1998. A Balaton-felvidék Triás ammonoideái és biostratigrádiája. *Studia Naturalia* 12, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest: 1-105.
- VÖRÖS A., BUDAI T., HAAS J., KOVÁCS S., KOZUR H. e PÁLFY J., 2003. GSSP (Global Boundary Stratotype Section and Point) Proposal for the base of the Ladinian (Triassic). A proposal for the GSSP at the base of the Reitz Zone (sensu stricto) at Bed 105 in the Felsőör section, Balaton Highland, Hungary. *Albertiana*, 28: 35-47.



COMUNE DI BAGOLINO

**QUESTO VOLUME È STATO PUBBLICATO GRAZIE ALL'IMPEGNO DEL COMUNE DI BAGOLINO  
CON IL PATROCINIO DI:**



Comunità Montana  
Valle Sabbia

**E CON LA COLLABORAZIONE DEI SEGUENTI SPONSOR:**



Realizzazione: DGM - Brescia  
Stampa: Tipografia M. Squassina - Brescia

OTTOBRE 2011



