

THE MUSEUM OF NATURAL HISTORY OF THE UNIVERSITY OF FLORENCE  
The Mineralogical and Lithological Collections

# Il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze

Volume IV

Le collezioni mineralogiche e litologiche

a cura di | edited by  
Giovanni Pratesi

Comitato Scientifico | Scientific Board

Paola Bonazzi, Sandro Conticelli,

Piero Manetti, Silvio Menchetti,

Giovanni Pratesi, Giuseppe Tanelli

Coordinatore della serie | General editor

Sandro Rogari

Firenze University Press  
2012

---

Il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze : Le collezioni mineralogiche e litologiche = The Museum of Natural History of the University of Florence. The Mineralogical and Lithological Collections / a cura di Giovanni Pratesi. – Firenze : Firenze University Press, 2012.  
(Cataloghi e collezioni ; 9)

<http://digital.casalini.it/9788866553199>

ISBN 978-88-6655-318-2 (print)

ISBN 978-88-6655-319-9 (online)

---

**FOTO DI COPERTINA:** Sezione di un cristallo di «tourmalina» proveniente dal Madagascar.

**IN QUARTA DI COPERTINA:** Coppa in diaspro, siglata LAURMED, a indicare che apparteneva alla collezione personale di Lorenzo il Magnifico (XV sec.); Collezione Ponis: cristalli di zolfo provenienti dalle miniere siciliane; Neck vulcanico fonolitico di Injibara (a Sud del Lago Tana) contenente numerosi inclusi peridotitici; Uno dei campioni più importanti della «Collezione Elbana»; Particolare della facciata di Santa Maria Novella (Leon Battista Alberti, seconda metà XV sec.) rivestita in marmo, serpentinite e calcari marnosi rossi.

**TRADUZIONE | TRANSLATION**  
Peter W. Christie

**TRADUZIONE DELLA PRESENTAZIONE | TRANSLATION OF THE FOREWORD**  
Karen Whittle

**FOTO | PHOTO**

Tutte le foto in questo volume sono di Saulo Bambi, ad eccezione delle immagini per le quali è diversamente indicato in didascalia.

**PROGETTO GRAFICO | GRAPHIC DESIGN**  
Alberto Pizarro Fernández – Pagina Maestra snc

**FRONT COVER PHOTO:** Section of a «tourmaline» crystal from Madagascar.

**BACK COVER PHOTOS:** Jasper cup, signed LAURMED, indicating that it belonged to the personal collection of Lorenzo il Magnifico (15th century); Ponis collection: sulphur crystals from Sicilian mines; Phonolitic volcanic neck of Injibara (south of Tana Lake) containing numerous peridotitic xenoliths; One of the most important specimens of the «Elba Collection»; Detail of the façade of Santa Maria Novella (Leon Battista Alberti, second half 15th century) lined with marble, serpentinite and red marly limestones.

© 2012 Firenze University Press

Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy  
<http://www.fupress.com/>

Printed in Italy

# Sommario

## Table of contents

XI **PRESENTAZIONE** | FOREWORD  
*Alberto Tesi*  
*Rettore dell'Università degli Studi di Firenze* | Chancellor of the University of Florence

XIII **INTRODUZIONE** | INTRODUCTION  
*Giovanni Pratesi*

### LA STORIA | HISTORY

- 3 **Dalla Real Galleria all'Imperial Regio Museo di Fisica e Storia Naturale** | From Real Galleria to Imperial Real Museo di Fisica e Storia Naturale  
*Luciana Fantoni, Luisa Poggi*
- 17 **Dal Gabinetto di Mineralogia al Museo di Storia Naturale** | From Gabinetto di Mineralogia to Museum of Natural History  
*Luciana Fantoni, Luisa Poggi*
- 31 **Scheda di approfondimento · Insight**  
**Una collezione lito-mineralogica settecentesca** | An 18<sup>th</sup> century litho-mineralogical collection  
*Alba Scarpellini*
- 37 **Il materiale raccolto durante le spedizioni geologiche del XX secolo** | Material collected during the 20<sup>th</sup> century geological expeditions  
*Piero Manetti*

### LE COLLEZIONI | THE COLLECTIONS

- 55 **La collezione di pietre lavorate** | The collection of carved stones  
*Luciana Fantoni, Luisa Poggi*
- 67 **La Collezione elbana** | The Elban collection  
*Giuseppe Tanelli, Luisa Poggi*
- 83 **Collezioni e collezionisti** | Collections and collectors  
*Luisa Poggi, Giovanni Pratesi, Luca Bindi*
- 127 **Per aspera ad astra: la collezione di meteoriti** | *Per aspera ad astra: the meteorite collection*  
*Giovanni Pratesi*
- 143 **Gli olotipi** | The holotypes  
*Silvio Menchetti*
- 157 **I minerali delle pegmatiti** | The minerals of pegmatites  
*Giovanni Pratesi, Paola Bonazzi*
- 181 **Estetica della natura, estetica della scienza: il nuovo allestimento della Sezione di Mineralogia e Litologia** | Aesthetics of nature, aesthetics of science: the new exhibition set-up of the Mineralogy and Lithology Section  
*Roberto Piero Papi, Giovanni Pratesi*

## LA RICERCA | RESEARCH

- 201 **Geodiversità litologica della Toscana** | Lithological geodiversity of Tuscany  
*Eleonora Braschi, Sandro Conticelli, Piero Manetti, Enrico Pandeli*
- 229 **I minerali di ferro elbani: un viaggio tra mito, storia, industria, cultura e scienza** | Elban iron minerals: a journey through myth, history, industry, culture and science  
*Marco Benvenuti, Pilario Costagliola, Alessandro Corretti, Andrea Dini*
- 245 **La città di Firenze: un museo di litologia all'aperto** | The city of Florence: an open-air lithology museum  
*Elena Pecchioni, Emma Cantisani, Fabio Fratini*
- 269 **La scienza dei minerali: dalla selce ai materiali innovativi e alle nanotecnologie** | The science of minerals: from flint to innovative materials and nanotechnologies  
*Giuseppe Tanelli, Luca Bindi, Francesco Di Benedetto*
- 284 **Scheda di approfondimento · Insight**  
**Quasicristalli naturali** | Natural Quasicrystals  
*Luca Bindi, Paul J. Steinhardt*

## BIBLIOGRAFIA E INDICI | BIBLIOGRAPHY AND INDEXES

- 289 **Bibliografia** | Bibliography
- 301 **Indice dei nomi** | Index of Names
- 305 **Indice dei luoghi** | Index of Places
- 309 **Indice delle collezioni e dei reperti** | Index of Collections and Exhibits

The Museum  
of Natural History  
of the University of Florence

*The Mineralogical and  
Lithological Collections*

VOLUME IV

# Il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze

*Le collezioni mineralogiche e litologiche*



*Università degli Studi di Firenze*



FONDAZIONE  
MONTE DEI PASCHI  
DI SIENA



La ricerca  
*Research*





Fig. 1



# Geodiversità litologica della Toscana

*Lithological geodiversity of Tuscany*

*Eleonora Braschi, Sandro Conticelli, Piero Manetti, Enrico Pandeli*

## Premessa

Francesco Rodolico (Fig. 2) è stato uno dei primi ricercatori fiorentini ad interpretare gli aspetti mineralogici, petrografici e geo-chimici delle rocce, come espressione della natura geologica del paesaggio naturalistico della Toscana, fornendo, inoltre, un importante contributo scientifico allo studio delle rocce utilizzate nella costruzione di opere architettoniche di valore storico ed artistico (Rodolico, 1953).

L'opera del Rodolico è stata costantemente caratterizzata da una grande curiosità culturale che lo ha portato, nei primi anni della sua carriera, ad effettuare studi di grande valore scientifico finalizzati alla comprensione dei processi naturali connessi con la genesi delle rocce vulcaniche, ed in particolare con la genesi delle vulcaniti Plio-Pleistoceniche della Toscana e dell'Umbria, per poi volgere l'attenzione, negli anni della sua maturità, a studi di petrografia applicata all'architettura, con

frequenti incursioni in ambiti culturali di natura umanistica.

Oggi Francesco Rodolico è ricordato principalmente per le sue ricerche di petrografia applicata piuttosto che per l'opera giovanile, ma è proprio da questa che egli prese spunto e sistematicità scientifica per realizzare la sua opera maggiore *Le Pietre delle Città d'Italia*, nella quale fornisce una sistematica descrizione delle pietre da costruzione utilizzate nei più importanti edifici delle maggiori città d'Italia. *Le Pietre delle Città d'Italia* rappresenta uno dei più importanti contributi alla storiografia architettonica ed alla conoscenza e classificazione dei materiali lapidei ornamentali. A partire dalla fine degli anni 60 del secolo scorso, molte delle sue osservazioni saranno applicate alla conservazione dei beni culturali, che vedranno soprattutto il CNR con i suoi organi di ricerca, impegnati nello studio di metodologie per la salvaguardia dei beni architettonici.

I suoi studi giovanili riguardanti le rocce vulcaniche e ipoabissali della Toscana

## Foreword

Francesco Rodolico (Fig. 2) was one of the first Florentine researchers to interpret the mineralogical, petrographic and geochemical aspects of rocks, as an expression of the geological nature of the landscape of Tuscany, and to provide an important scientific contribution to the study of the stone materials used in the construction of historically and artistically important buildings of the major Italian cities (Rodolico, 1953). Rodolico's work was constantly characterized by his great cultural curiosity. In the early years of his career he carried out important studies for the understanding of the processes related to the genesis

of Plio-Pleistocene volcanic rocks of Tuscany and Umbria areas. Today Francesco Rodolico is mostly remembered for the late scientific works on building stones, although his early petrological studies gave him the natural intellectual and scientific rigour to realize his major work *Le Pietre delle Città d'Italia* (The Stones of Italian Cities), one of the most important contributions to architectural historiography and to the knowledge and classification of ornamental stone materials. This work represented a milestone for the petrographic research applied to architecture and to cultural heritage conservation, which have been developed by the Italian CNR starting in the early sixties of the last century.

Fig. 1 Argilloscisti varicolori dell'Unità di Gràssera. Cavo, Isola d'Elba, Toscana, Italia.

Fig. 1 Varicoloured slates of the Gràssera Unit. Cavo, Elba Island, Tuscany, Italy.



**Fig. 2** Francesco Rodolico (1905-1988), figlio di Niccolò docente di Storia presso l'Ateneo fiorentino, si laureò in chimica nel 1927, formandosi culturalmente alla scuola di Piero Aloisi e Antonio Garbasso presso l'Istituto di Mineralogia di Firenze, e perfezionandosi in seguito presso l'Istituto di Mineralogia di Friburgo, in Germania. Ottenuta la libera docenza in Mineralogia nel 1931, proseguì i suoi studi di carattere geologico-petrografico sulle rocce magmatiche della Toscana e dell'Umbria lavorando presso l'Istituto di Mineralogia dell'Università degli Studi di Firenze, per poi essere chiamato a dirigere l'Istituto di Mineralogia dell'Università degli Studi di Messina nel 1939. Nell'immediato dopoguerra fu chiamato a ricoprire la cattedra di «Mineralogia e Geologia» presso l'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, anni nei quali inizia ad affiorare in lui l'interesse per la petrografia applicata ai beni culturali ed in particolare alla descrizione dei materiali lapidei utilizzati nell'architettura di edifici pubblici e di pregio, tematiche che divennero il centro di gravità del suo interesse scientifico negli anni successivi al suo rientro a Firenze, dove venne chiamato nel 1948 a coprire la cattedra di «Mineralogia e Petrografia» presso la Facoltà di Architettura.

**Fig. 2** Francesco Rodolico (1905-1988), son of Niccolò, a Professor of History at the University of Florence, graduated in chemistry in 1927. Francesco Rodolico trained within the school of Piero Aloisi and Antonio Garbasso in the Institute of Mineralogy of Florence and later specialized in the Institute of Mineralogy of Freiburg, Germany. After qualifying as University Professor of Mineralogy in 1931, he continued his geological-petrographic studies on the magmatic rocks of Tuscany and Umbria, working in the Institute of Mineralogy of the University of Florence. In 1939, he was appointed Director of the Institute of Mineralogy of the University of Messina. After World War II, he assumed the chair of «Mineralogy and Geology» in the University of Modena and Reggio Emilia. In those years, he developed an interest in petrography applied to cultural heritage, particularly to the description of the stone materials used in the architecture of important public buildings. This subject became the focus of his scientific interest following his return to Florence, where he assumed the chair of «Mineralogy and Petrography» in the Faculty of Architecture in 1948.



centro-meridionale sono, al contrario, pressoché dimenticati sebbene fossero realizzati con grande rigore metodologico e fornissero un'innovazione interpretativa negli studi minero-petrografici dell'epoca, andando a colmare le lacune del Washington (1906) sul magmatismo italiano. In particolare, realizzò ricerche di dettaglio sulle *selagiti* della Val d'Era (Orciatice e Montecatini Val di Cecina), sulle *andesiti* dell'isola di Capraia e di Radicofani, sulle *rioliti* di Roccastrada e del Campigliese e sulle *trachiti* del Monte Amiata (Rodolico, 1934a,b; 1935a; 1938a,b), sebbene già mostrasse l'interesse per lo studio della provenienza delle pietre eruttive utilizzate nella costruzione degli edifici (Rodolico,

Nowdays, his early studies on the volcanic and subvolcanic rocks of central-southern Tuscany are largely forgotten, even though they were carried out with great methodological rigour and led to interpretative innovations in the scientific panorama of the time, filling the gaps left by Washington (1906) concerning Italian magmatism. In particular, he conducted detailed research on the «*selagites*» of the Val d'Era (Orciatice and Montecatini Val di Cecina), on the *andesites* of Capraia Island and Radicofani, on the *rhyolites* of Roccastrada and the Campiglia Marittima area, and on the *trachytes* of Monte Amiata (Rodolico, 1934a,b; 1935a; 1938a,b). At the same time, he was already showing interest in the provenance of the volcanic stones use in building construction (Rodolico, 1932). His studies on the «*eruptive*» rocks of Tuscany

1932). I suoi studi sulle rocce «*eruttive*» della Toscana si conclusero con la pubblicazione dello «sguardo d'insieme» sulle Memorie della Società Toscana di Scienze Naturali (Rodolico, 1938c).

L'opera giovanile di Francesco Rodolico riveste un'importanza notevole nell'avanzamento delle conoscenze minero-petrografiche delle rocce vulcaniche toscane soprattutto per le sue interpretazioni riguardanti la natura delle rocce ultrapotassiche, riconoscendo la notevole somiglianza con le rocce del continente nord-americano studiate da Cross (1897), all'epoca non comprese dai ricercatori italiani. Dovrà passare circa un cinquantennio prima che venga apprezzato quanto

concluded with the publication of the «overall view» in the Memoirs of the Tuscan Society of Natural Sciences (Rodolico, 1938c).

Francesco Rodolico's early work played a very important role in the advancement of minero-petrographic knowledge of Tuscan volcanic rocks. This was especially so concerning his interpretations of the nature of ultrapotassic rocks, at the time not understood by Italian researchers: he recognized their similarity with the North American ultrapotassic rocks studied by Cross (1897). About 50 years were to pass before Rodolico's innovative research could be appreciated by the scientific community, when the *kamafugitic* nature of the ultrapotassic rocks of Umbria and the *lamproitic* nature of those of Tuscany were recognized (i.e. Gallo et al., 1984; Peccerillo and Manetti, 1985).

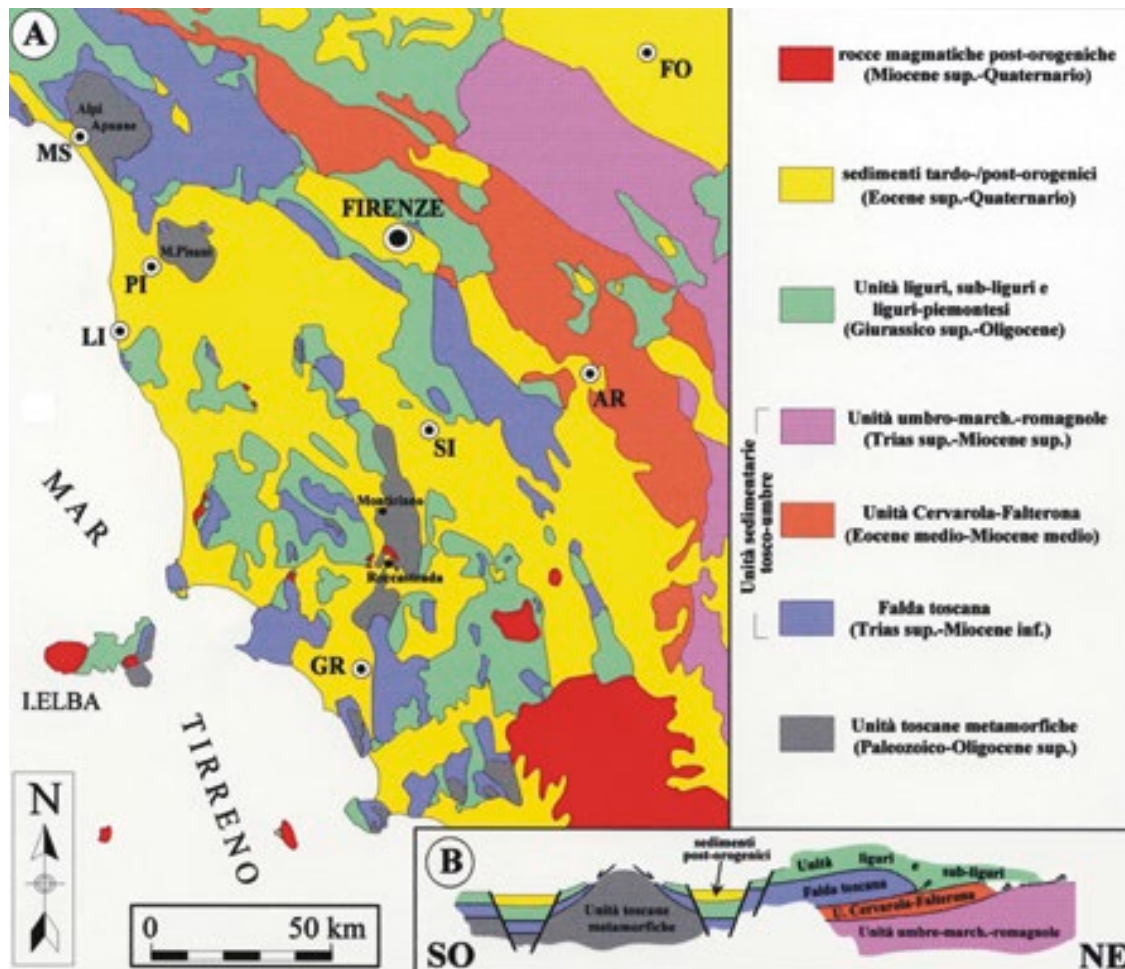


Fig. 3 Carta e sezione geologica schematica dell'Appennino settentrionale (da Pandeli *et al.*, 2004 modificato).

Fig. 3 Map and schematic geological section of the Northern Apennines (from Pandeli *et al.*, 2004 modified).

innovativa fosse stata la ricerca del Rodolico. Ciò avvenne quando fu riconosciuta la natura *kamafugitica* delle rocce ultrapotassiche dell'Umbria e quella *lamproitica* delle rocce ultrapotassiche della Toscana (i.e., Gallo *et al.*, 1984; Peccerillo *et al.*, 1985).

### Le rocce sedimentarie

La maggior parte della Toscana è composta da rocce sedimentarie dell'Unità toscana non metamorfica (Falda Toscana s.l.) che ri-

posano su terreni metamorfici (Unità Tosca-  
ne Metamorfiche) (Fig. 3) e rappresentano il margine continentale africano del paleo-  
oceano della Tetide, assieme alle successioni  
sedimentarie delle Unità umbro-marchigiane,  
poste paleogeograficamente più ad oriente.  
Le rocce sedimentarie della successione  
della Falda Toscana (Boccaletti *et al.*, 1987;  
Fazzuoli *et al.*, 1994) (Fig. 4), scollata tettonicamente rispetto al suo originario substrato paleozoico-medio triassico, si sono formate dal consolidamento (diagenesi) di sedimenti

### Sedimentary Rocks

Most of Tuscany is made up of sedimentary rocks of the so-called Tuscan non-Metamorphic Unit (*Tuscan Nappe* s.l.) that rest on metamorphic terranes (*Tuscan Metamorphic Units*) (Fig. 3). Together with the sedimentary successions of the Umbria-Marche Units, palaeogeographically placed more to the East, they represent the African continental margin of the Tethys palaeo-ocean. The sedimentary rocks of the Tuscan Nappe succession (Boccaletti *et al.*, 1987; Fazzuoli *et al.*, 1994) (Fig. 4), tectonically detached with respect to their original Palaeozoic-Middle Triassic substratum, were mainly formed by marine sediments deposited starting from Late Triassic followed prevalently by carbonate and marly sediments in a ca. 200 million-year period encompassing the later part

of the Triassic, the Jurassic, up to the Cretaceous (from 230 to 65 Ma). In this long period, the palaeogeographical conditions evolved from continental to shallow marine, with environments in which evaporitic conditions prevailed; these conditions generated the *Anidriti of Burano* formation (then transformed into the *Calcare Cavernoso*), with a carbonate platform like those of the present-day Persian Gulf and the Bahamas, from which derived respectively the *Calcari e marne a Rhaeticavicula contorta* and the *Calcare Massiccio* formations. These were followed by marine sediments of deeper environments, formed either along the continental scarps or Atlantic-type ocean plain, represented by carbonate and calcareous-siliceous muds (i.e., *Calcare di Grotta Giusti*, *Rosso Ammonitico* and *Calcare selcifero di Limano*). Afterwards, the deposition of carbonate and clay sediments produced the *Marne a*

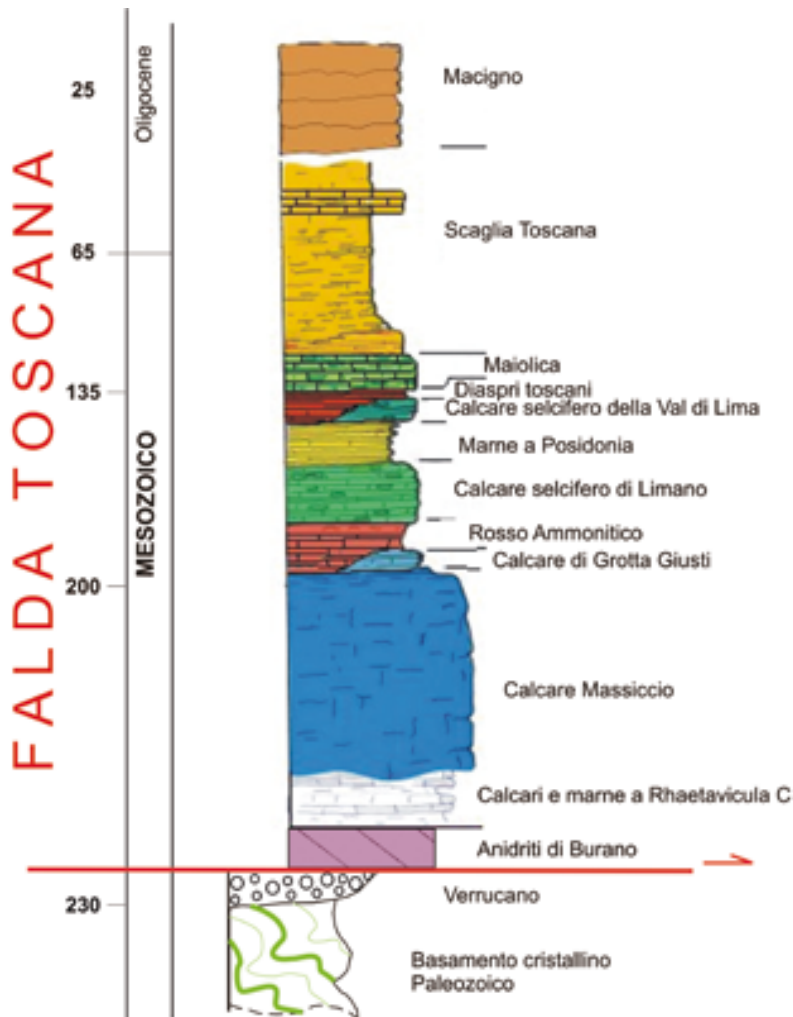


Fig. 4 Colonna stratigrafica della Falda Toscana (da Bortolotti, 1992 modificato).  
Fig. 4 Stratigraphic column of the Tuscan Nappe (modified from Bortolotti, 1992).

marini che hanno iniziato a depositarsi nel Triassico superiore. Le rocce sedimentarie più antiche della Falda Toscana sono derivate da sedimenti marini legati ad un evento di trasgressione, che porta alla deposizione di sedimenti prevalentemente carbonatici e marnosi, in un lungo intervallo di tempo che comprende la parte superiore del Triassico, il Giurassico, fino al Cretaceo, per circa centotanta milioni d'anni (da 230 fino a 65 milioni di anni fa). In questo lungo intervallo temporale le condizioni paleogeografiche evolvono da continentali a marine di bassa profondità,

con ambienti in cui prevalgono condizioni evaporitiche, durante le quali si genera la formazione delle *Anidriti di Burano* (trasformate poi nel *Calcarea Cavernoso*), di piattaforma carbonatica, tipo quelle attuali del Golfo Persico e delle Bahamas, dalle quali derivano, rispettivamente la formazione dei *Calcari e marne a Rhaetavicula contorta* e del *Calcarea Massiccio*, per poi passare ad ambienti di maggiore profondità, lungo scarpate continentali o di piana oceanica tipo atlantico, con la deposizione di fanghi essenzialmente carbonatici e calcareo-silicei, che hanno dato luogo, per diagenesi, al *Calcarea di Grotta Giusti*, al *Rosso Ammonitico* e al *Calcarea selcifera di Limano*. In seguito, si sedimentano le *Marne a Posidonia* (formatesi in seguito alla deposizione di sedimenti carbonatici ed argillosi), i *Calcari selciferi della Val di Lima*, i *Diaspri toscani* (derivati dalla prevalente deposizione di microrganismi silicei, i radiolari), e la *Maiolica* (derivata dalla precipitazione biochimica di fanghi carbonatici). Alla fine del Cretaceo (65 milioni di anni fa), l'Era Mesozoica ci lascia insieme ai dinosauri e a numerose altre specie viventi, entrando così nell'Era Cenozoica. In Toscana, durante i periodi iniziali dell'Era Cenozoica, il Paleocene e l'Eocene (64-34 milioni di anni), si depositano ancora, in un ambiente di mare profondo, rocce sedimentarie di natura prevalentemente argillitica che vanno a formare la *Scaglia Toscana*, all'interno della quale si ritrovano alcune intercalazioni di livelli silicei e carbonatici. Questi ultimi sono talora riccamente fossiliferi, per la presenza di foraminiferi chiamati Nummuliti. Successivamente, nell'Oligocene (tra 34 e 23 milioni di anni), all'interno di profonde fosse oceaniche si formano le rocce prevalentemente arenacee della formazione del *Macigno*, del

*Posidonia* formation, which were followed by the *Calcari selciferi della Val di Lima*, the *Diaspri toscani* formations derived by deep marine sedimentation of siliceous micro-organisms (radiolarians), and the *Maiolica* formations derived from the biochemical precipitation of carbonate muds. The end of the Cretaceous (65 Ma) also marked the end of the Mesozoic Era (and the extinction of dinosaurs and many other living species) and the beginning of the Cenozoic Era. In Tuscany during the early Cenozoic Era, namely the Palaeocene and the Eocene (64-33.5 Ma), prevalently shale sediments were deposited in a deep-sea environment, then giving rise to the *Scaglia Toscana* mainly argillitic formation, which is also characterised by

intercalations of siliceous and carbonate layers. The latter are sometimes richly fossiliferous on account of the presence of foraminiferans called nummulites.

In deep ocean troughs, representing the foredeeps of the forming Apennine orogenic chain front, the prevalently sandstone rocks of the *Macigno* and *Cervarola-Falterona* formations were formed in the Oligocene (between 34 and 23 Ma), whereas those of the *Marnoso-Arenacea* formation were formed in the Early and Middle Miocene (23-12 Ma) in the Umbria-Marche area (Fig. 5). The rocks of these formations were widely used in Florentine architecture starting from the Renaissance. They are known as *Petra Serena* (see Pecchioni et al.; this volume), deriving from



*Cervarola-Falterona* e, nell'area umbro-marchigiana, nel Miocene inferiore e medio (23 – 12 milioni di anni), della formazione *Marnoso-Arenacea* (Fig. 5). Le rocce di quest'ultime formazioni, che compongono l'ossatura della catena appenninica settentrionale, sono state ampiamente utilizzate nell'architettura fiorentina a partire dal Rinascimento e conosciute come *Pietra Serena* (vedi Pecchioni *et al.*, questo volume), proveniente dalle cave del *Macigno* intorno a Firenze, o come *Pietra di Firenzuola*, proveniente da cave nelle formazioni del *Cervarola-Falterona* e della *Marnoso-Arenacea* e di utilizzo più recente sia nella realizzazione di interni che nel rifacimento di pavimentazioni stradali, nonostante presenti caratteristiche di durabilità nettamente inferiori a quelle del *Macigno*.

A partire dal Miocene medio superiore (Tortoniano) in Toscana inizia una fase di sollevamento ed emersione, tuttora attiva nel versante adriatico, che porterà alla formazione della catena dell'Appennino Settentrionale. Con la migrazione verso Est del fronte di accavallamento della catena appenninica, nella sua porzione interna (area tirrenica, Toscana centrale e meridionale), si vanno for-

mando aree depresse con acque basse e con deposizione, durante il Messiniano (7-5 milioni di anni), di sedimenti evaporitici. Una nuova ingressione marina inizia a partire dal Pliocene (5 milioni di anni fa) con la formazione prima di sedimenti marini costieri, sabbiosi ed argillosi e, successivamente, lacustri e alluvionali che perdura fino ad oggi (ciclo sedimentario neo-autoctono). Durante questo ciclo si formano numerosi bacini lacustri nei quali avviene la deposizione di materiale vegetale che, in seguito al suo seppellimento si trasformerà in giacimenti di lignite (Tav. Ia), i più importanti di quali sono quelli del Valdarno Superiore e di Ribolla nel grossetano.

the quarries in the *Macigno* formation around Florence, or *Pietra di Firenzuola*, from quarries in the *Cervarola-Falterona* and *Marnoso-Arenacea* formations; the latter is of more recent use, especially in the repaving of streets despite its much lower durability than *Macigno*.

A phase of uplifting and emergence began in Tuscany in the Middle-Late Miocene (Tortonian) (and is still in progress on the Adriatic side), which led to the formation of the Northern Apennines. With the eastward migration of the front of thrust faulting of the Apennine chain. Within the internal sector of the orogen (e.g., Tyrrhenian area, central and southern Tuscany) the formation of depressed areas with low waters and with deposition of evaporitic

sediments during the Messinian (7-5 Ma) occurred. A new marine ingression began in the Pliocene (5 Ma) with the formation first of sandy and clayey marine coastal sediments and subsequently of lacustrine and alluvial sediments, which has lasted until today (neo-autochthonous sedimentary cycle). Several lake basins were formed during this cycle and the deposited plant material was transformed into lignite deposits (Plate Ia), the most important being those of the upper Valdarno (Figline Valdarno) and of Ribolla in the Grosseto area. There are also many localities where thermal waters come to the surface (e.g. Rapolano Terme), forming deposits of travertine (composed of calcite), widely used as a building stone or for decorative objects.

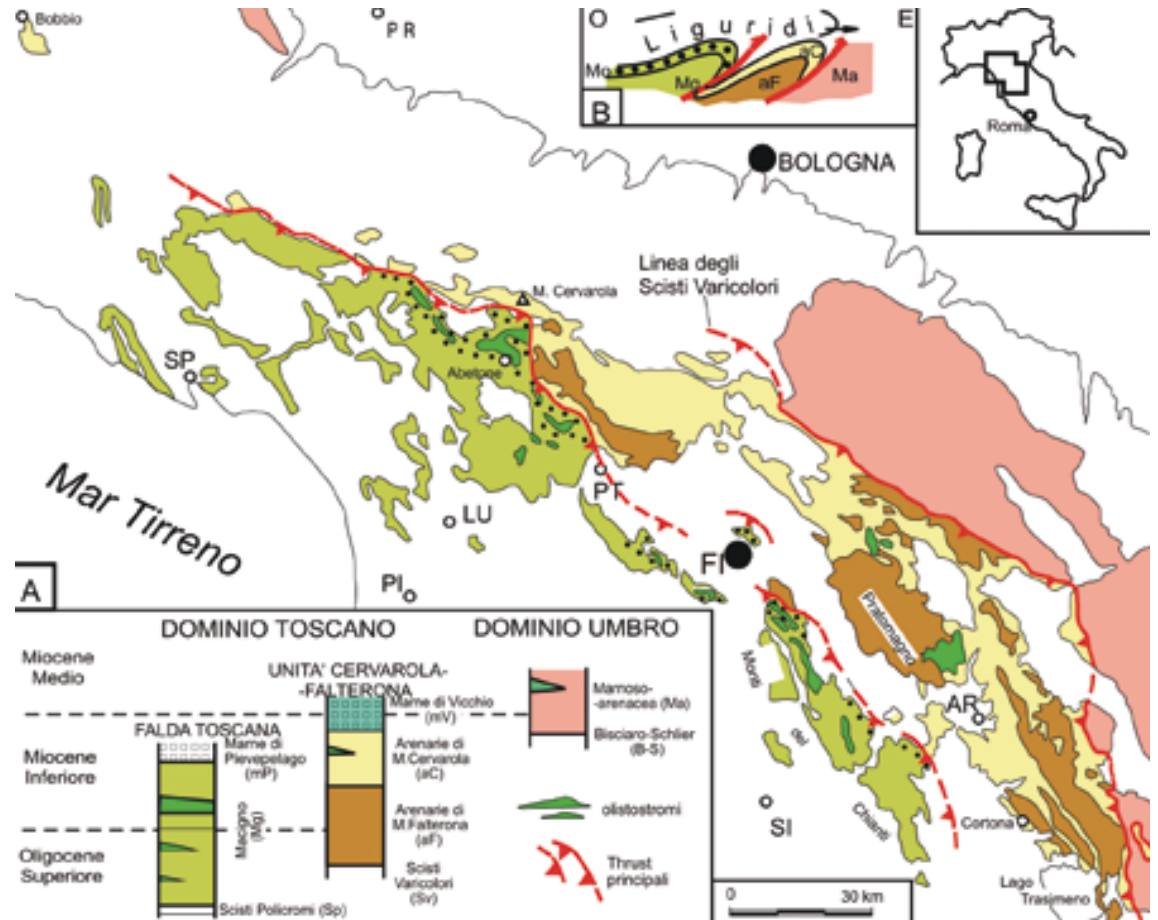
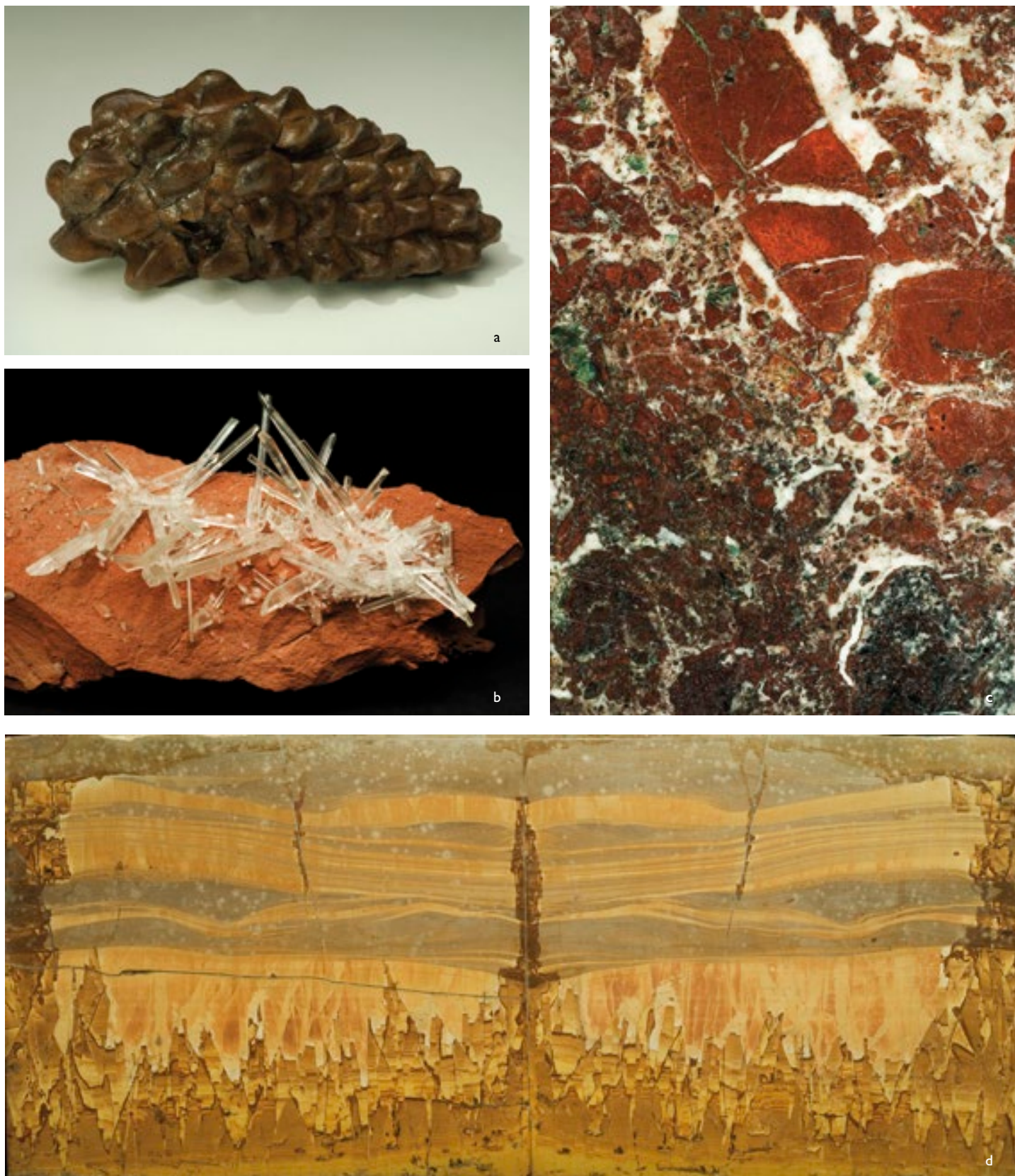


Fig. 5 Distribuzione delle Unità torbiditiche toscano-umbre terziarie (da Aruta *et al.*, 2004 modificata).  
Fig. 5 Distribution of the Tertiary Tuscan-Umbrian Turbidite Units (modified from Aruta *et al.*, 2004).



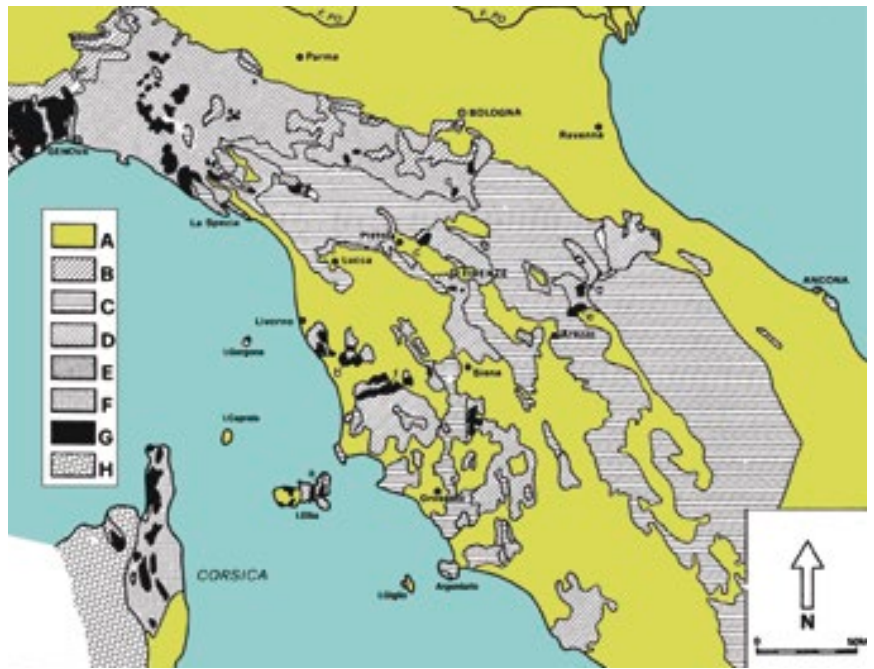
**Tavola I.** a: Campione di lignite proveniente dalla miniera di Santa Barbara (Cavriglia, AR) esposta presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze; b: cristalli di gesso su argillite rossa proveniente dalla miniera di Santa Barbara (Cavriglia, AR), in esposizione presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze; c: esemplare di breccia ofiolitica di colore rosso, meglio conosciuta come *oficalcite*, proveniente da Levanto (Liguria occidentale); d: lastra di *pietra paesina* facente parte della Collezione Settecentesca in esposizione presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze.

**Plate I.** a. Lignite sample from the Santa Barbara mine (Cavriglia, AR) exhibited in the Mineralogy section of the Natural History Museum of the University of Florence; b. gypsum crystals on reddish shale from the Santa Barbara mine (Cavriglia, AR) displayed in the Mineralogy section of the Natural History Museum of the University of Florence; c. ophiolite breccia specimen, called *ophicalcite*, from Levanto (western Liguria); d. specimen of *pietra paesina* plate belonging to the Eighteenth-century Collection exhibited in the Mineralogy section of the Natural History Museum of the University of Florence.



Numerose sono anche le località dove fuoriescono acque termali (es. Rapolano Terme) dalle quali si formano depositi di *travertino*, composto da calcite, ampiamente utilizzato come pietra da costruzione o per la realizzazione di oggetti di arredamento.

Presenze mineralogiche di un certo interesse all'interno dei sedimenti della Falda Toscana caratterizzano in particolare la formazione delle *Anidriti di Burano*, dove si ritrovano depositi di gesso sfruttati industrialmente nella zona del grossetano, a Roccastrada. Qualche raro cristallo appartenente alla famiglia dei solfuri (pirite e marcassite) è stato segnalato anche nelle formazioni silico-clastiche e carbonatiche del Mesozoico e del Terziario (Carobbi e Rodolico, 1976). La maggior parte dei minerali che rivestono un interesse scientifico e collezionistico si ritrovano nei sedimenti del ciclo neo-autoctono. Nei sedimenti argillosi messiniani-pliocenici si ritrovano frequentemente cristalli di gesso (Tav. Ib), spesso geminati a ferro di lancia, nelle argille del senese, del volterrano e del grossetano. Noduli di Alabastro gessoso, spesso associati a cristalli di gesso, formano giacimenti utilizzati come pietra ornamentale (Volterra, Monti di Castellina Marittima). Giacimenti di salgemma, sfruttati industrialmente, sono presenti nel sottosuolo a Saline di Volterra (Cipriani e Tanelli, 1983), mentre un giacimento di zolfo a Lornano, presso Siena, è stato oggetto di ricerche minerarie all'inizio del ventesimo secolo (Manasse, 1907). In quest'ultimo, accanto a bei cristalli di zolfo sono stati rinvenuti anche cristalli di notevole pregio di celestina, calcite e ara-



gonite. Recentemente, associati ai depositi di lignite del Valdarno Superiore, in località Castelnuovo dei Sabbioni, presso Figline Valdarno, sono stati rinvenuti minerali fosfatitici come la vivianite e la rara anapaite oltre a esemplari di baritina (Cipriani *et al.*, 1974) e, più recentemente, nuovi minerali, sempre fosfatici, quali la rodolicoite, la gratoroloite (Cipriani *et al.*, 1997) e la santabarbarite (vedi Menchetti, questo volume).

I terreni della Falda Toscana sono sovrastati in varie parti della regione da rocce magmatiche e sedimentarie appartenenti alle Unità Liguri, formatesi nel bacino oceanico Ligure-Piemontese, porzione del più vasto oceano tetideo (Fig. 6). Le Unità Liguridi si sono deposte in due differenti aree paleogeografiche, una interna e una esterna rispetto alla dorsale oceanica del paleo-oceano teti-

Fig. 6 Distribuzione delle ofioliti in Toscana. A) Messiniano-Attuale, incluse rocce magmatiche; B) Parautoctono e Bacino terziario piemontese; C) Serie Tosco-Umbre; D) Liguridi; E) Unità Sestri-Voltaggio; F) Calcescisti; G) Ofioliti; H) Massicci cristallini (da Abbate *et al.*, 1980 modificato).

Fig. 6 Distribution of ophiolites in Tuscany. A) Messinian-Present, including magmatic rocks; B) Parautochthonous and Piedmontese Tertiary Basin; C) Tuscan-Umbrian Series; D) Ligurians; E) Sestri-Voltaggio Unit; F) Calc-schists; G) Ophiolites; H) Crystalline massifs (modified from Abbate *et al.*, 1980).

Important minerals in the Tuscan Nappe sediments particularly characterize the *Anidriti di Burano* formation, with industrially exploited gypsum deposits at Roccastrada in the Grosseto area. Some rare crystals belonging to the sulphides family (pyrite and marcassite) have also been reported in the silicoclastic and carbonate formations of the Mesozoic and Tertiary (Carobbi and Rodolico, 1976). Most of the minerals of interest to scientists and collectors are found in sediments of the neo-autochthonous cycle. Gypsum crystals (Plate Ib), often twinned in a spearhead shape, are frequently found in the Messinian-Pliocene clayey sediments of the Siena, Volterra and Grosseto areas. Nodules of gypsum alabaster, often associated with gypsum crystals, form deposits used for ornamental stones (Volterra, Monti di Castellina Marittima). Industrially exploited rock salt deposits are present at Saline di Volterra (Cipriani and Tanelli, 1983),

while a sulphur deposit at Lornano, near Siena, was the object of mineralogical research at the beginning of the 20<sup>th</sup> century (Manasse, 1907). The latter deposit yielded not only lovely sulphur crystals but also valuable crystals of celestine, calcite and aragonite. Phosphate minerals such as vivianite and the rare anapaite, as well as specimens of baritine, were found in association with the lignite deposits of the upper Valdarno, at Castelnuovo dei Sabbioni near Figline Valdarno (Cipriani *et al.*, 1974), as were new phosphate minerals such as rodolicoite, gratoroloite (Cipriani *et al.*, 1997) and santabarbarite (see Menchetti, this volume).

The terranes of the Tuscan Nappe are overlain in various parts of the region by magmatic and sedimentary rocks belonging to the Ligurian Units, formed in the Ligurian-Piedmontese ocean basin, a portion of the vast Tethys Ocean (Fig. 6) (Abbate *et al.*, 1970; Bortolotti *et*



**Fig. 7** Ricostruzione spaziotemporale schematica del Bacino Ligure-Piemontese da cui derivano le ofioliti mesozoiche del sistema alpino-appenninico (in carta a destra), (da Beccaluva et al., 1984 modificato). Unità ofiolitiche: 1: Calabria; 2-3: Corsica NE; 4-5-6: Appennino settentrionale (Unità Liguridi); 6-7-8-9: Unità Piemontesi e Alpi occidentali; 10: Antrona; 11: finestra dell'Engadina; 12-13: finestra dei Tauri; 14: finestra di Rechnitz. Ricostruzione paleogeografica (Giurassico sup.): a) margine passivo europeo; PP: pennidico interno (Pre-Piemontese); B: Brianzonese; SB: Sub-Brianzonese; VA: Vallesano; UE: Ultraelvetico; b) margine passivo adriatico (africano); AU: Australpino; SA: Alpi meridionali; c) bacino Ligure-Piemontese (LP). I numeri indicano tentativamente la zona di provenienza delle unità ofiolitiche. **Legenda:** crosta continentale normale (A) e assottigliata (B); crosta oceanica primitiva (C) e più evoluta (D) e zone di frattura (E) con esposizione di gabbri e peridotiti/serpentiniti sul fondo oceanico.

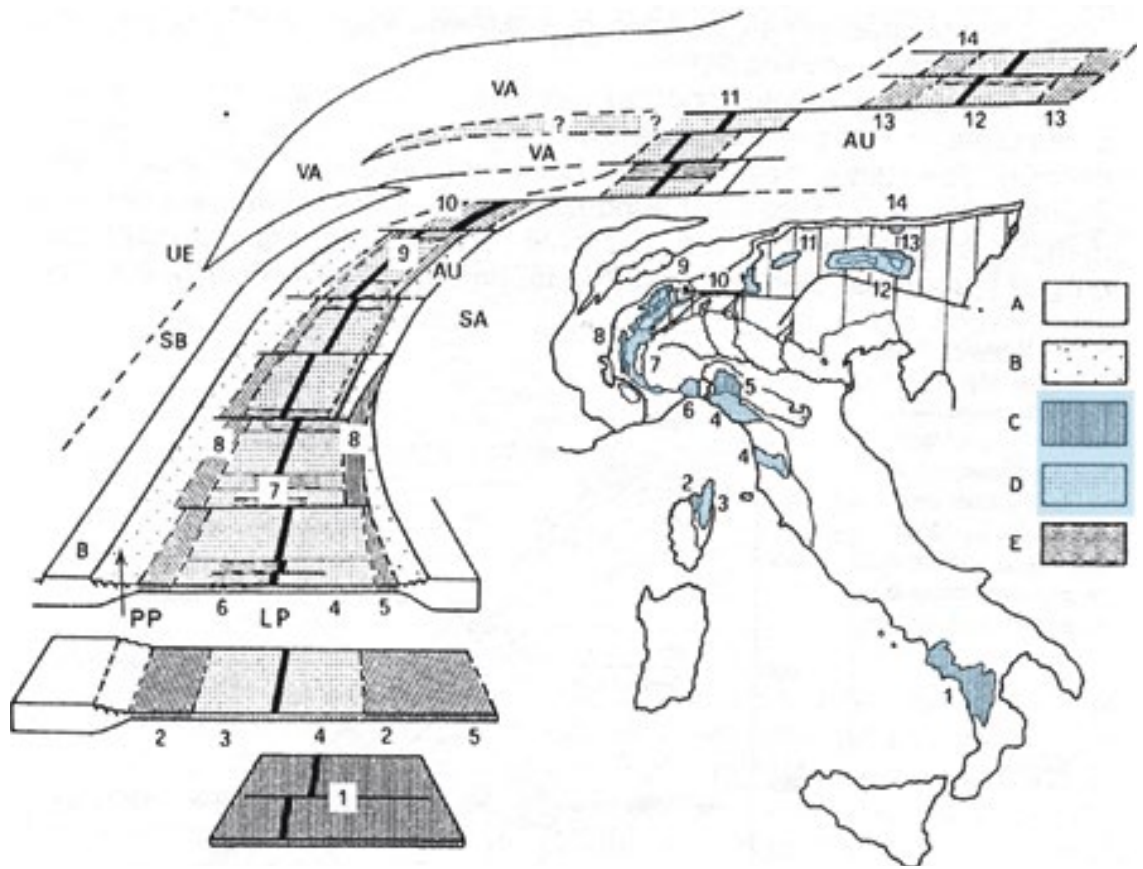


Fig. 7

**Fig. 8** Distribuzione regionale delle Unità Liguridi Esterne (in evidenza il dominio della Pietraforte) (da Abbate e Saggi, 1970 modificato).

**Fig. 7** Schematic spatio-temporal reconstruction of the Ligurian-Piedmontese Basin, from which are derived the Mesozoic ophiolites of the Alpine-Apennine system (on the right of the map), (modified from Beccaluva et al., 1984). Ophiolite Units: 1: Calabria; 2-3: NE Corsica; 4-5-6: Northern Apennines (Ligurian Units); 6-7-8-9: Piedmont and Western Alps Units; 10: Antrona; 11: Engadina window; 12-13: Tauri window; 14: Rechnitz window. Palaeogeographical reconstruction (Late Jurassic): a) European passive margin; PP: internal Apennine (Pre-Piedmontese); B: Brianzonese; SB: Sub-Brianzonese; VA: Vallesano; UE: Ultrahelvetic; b) Adriatic (African) passive margin; AU: Australpino; SA: Southern Alps; c) Ligurian-Piedmontese basin (LP). The numbers tentatively indicate the zone of provenience of the ophiolitic units. **Legend:** normal (A) and thinned (B) continental crust; primitive (C) and evolved (D) ocean crust and fracture zones (E) with exposure of gabbros and peridotites/serpentinites on the ocean floor.



Fig. 8

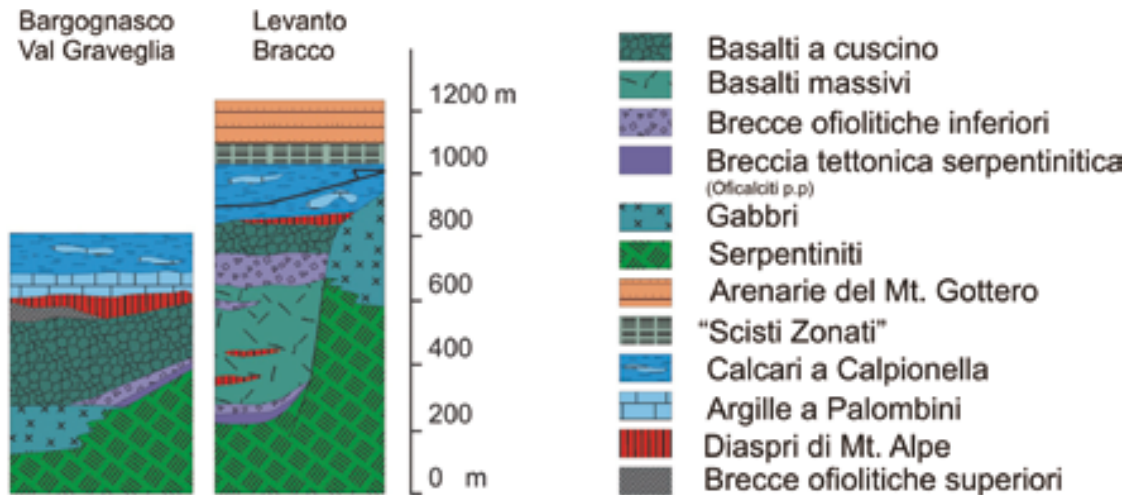


Fig. 9 Colonne stratigrafiche delle Unità Liguri: Unità Vara (Liguridi Interne) (da Abbate e Saggi, 1970 modificato).

Fig. 9 Stratigraphic columns of the Ligurian Units: Vara Unit (Internal Ligurian) (modified from Abbate and Saggi, 1970).

deo (Figg. 7, 8). Il dominio interno (Liguridi Interne) è costituito da rocce magmatiche del Giurassico superiore, sormontate da breccie ofiolitiche varicolori (*oficalciti*, Tav. Ic), radiolariti (*Diaspri di Monte Alpe*), *Calcari a Calpionella* (dal nome di un microfossile, la «*Calpionella*») e *Argille a Palombini* (che devono il loro nome al colore grigio delle intercalazioni calcaree) depositi tra il Giurassico superiore e il Cretacico superiore (Figg. 8, 9). Su questi sedimenti si impostano varie unità sedimentarie cretaceo-paleoceniche (es. *Arenarie del Gottero*) o cretaceo-eoceniche appartenenti alle Liguridi Esterne, come il Supergruppo della Calvana, che al suo interno contiene varie formazioni (Figg. 8, 10) tra cui quella della *Pietraforte* e quella di *Monte Morello*, diffuse in Toscana e nel Lazio settentrionale (Fig. 8). In particolare, la *Pietraforte* (Cretaceo superiore) è costituita da una successione di spessi strati arenacei a cemento calcitico, intercalati a sottili livelli siltiti-

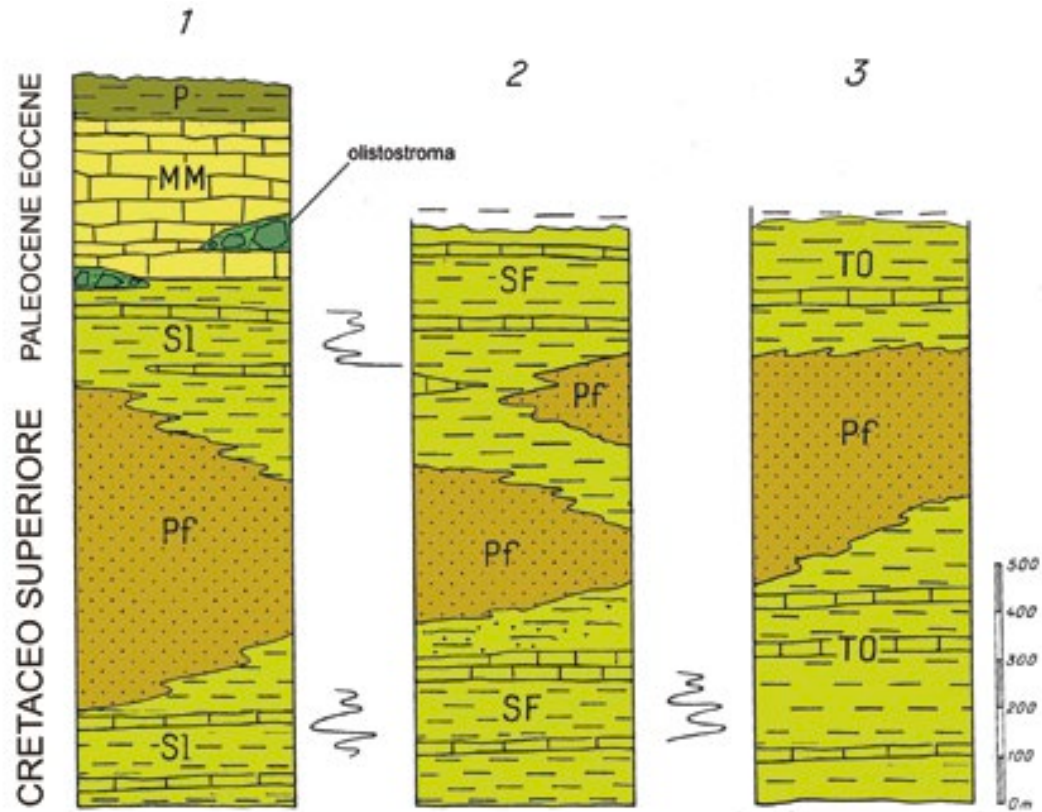
ci, e conglomeratici (chiamati «cicerchina»). Dalla formazione della *Pietraforte* proviene la roccia maggiormente impiegata come pietra da costruzione nei più importanti monumenti medioevali e rinascimentali di Firenze (vedi Pecchioni *et al.*, questo volume). La *formazione di Monte Morello* di età essenzialmente eocenica, è costituita prevalentemente da un calcare marnoso a grana finissima conosciuto come *Alberese*. L'*Alberese* è una pietra bianca utilizzata nella produzione del cemento, ma ha trovato uso nei secoli passati anche nell'architettura sacra, assieme al serpentino, per la costruzione di importanti basiliche (Pecchioni *et al.*, questo volume). L'*Alberese* è anche noto per essere la roccia originaria da cui si estrae la *pietra paesina* (Tav. Id), varietà apprezzata e utilizzata come pietra ornamentale fin dal Rinascimento, derivata dall'alterazione e trasformazione del calcare marnoso in seguito a percolazione di acque contenenti idrossidi di ferro e manganese.

*al.*, 2001). The Ligurian Units were deposited in two different palaeogeographical areas, one internal and one external to the ocean ridge of the Tethys palaeo-ocean (Figs. 7, 8). The internal dominion (Internal Ligurians) consists of magmatic rocks of the Late Jurassic, overlain by varicoloured ophiolite breccias (*ophicalcites*, Plate Ic), radiolarites (*Diaspri di Monte Alpe*), *Calcari a Calpionella* (from the microfossil genus «*Calpionella*») and *Argille a palombini* (which take their name from the grey colour of the calcareous intercalations) deposited between the Late Jurassic and Late Cretaceous (Figs. 8, 9). Lying on these sediments are various sedimentary units formed during the Cretaceous-Palaeocene (e.g. *Arenarie del Gottero*) or the Cretaceous-Eocene belonging to the External Ligurians, such as the Calvana Supergroup. The latter contains various formations (Figs. 8, 10), including the *Pietraforte* and the *Monte Morello*, widespread in Tuscany and northern Latium (Fig. 8). In particular, the *Pietraforte*

(Late Cretaceous) consists of a succession of thick calcite-cemented sandstone layers, intercalated with thin siltite levels and conglomerate levels (called «cicerchina»). The *Pietraforte* formation has yielded the building stone most commonly used in Florence's most important medieval and Renaissance palaces (see Pecchioni *et al.*, 2012, this volume). The Eocene *Monte Morello* formation consists mainly of a very fine-grained marly limestone known as *Alberese*. It is a white stone used in the production of cement, but was also employed in the past centuries (together with serpentine) for the construction of important basilicas (Pecchioni *et al.*, this volume). *Alberese* is also well known as the original rock from which *pietra paesina* (Plate Id) was extracted; *pietra paesina* is a variety appreciated and used as an ornamental stone since the Renaissance, derived from the alteration and transformation of marly limestone due to percolation of waters containing iron and manganese hydroxides.

Fig. 10 Colonne stratigrafiche delle Unità Liguri: Unità litostratigrafiche del supergruppo della Calvana (Liguridi Esterne), nelle aree di 1) Firenze; 2) Monte Amiata; 3) Civitavecchia. Sl: Formazione di Sillano; SF: Formazione di Santa Fiora; TO: Formazione della Tolfa; Pf: Pietraforte; MM: Formazione di Monte Morello; P: Argille di Pescina (da Abbate e Sagri, 1970 modificato).

Fig. 10 Stratigraphic columns of the Ligurian Units: lithostratigraphic units of the Calvana Supergroup (External Ligurians), in the areas of 1) Florence; 2) Monte Amiata; 3) Civitavecchia. Sl: Sillano Formation; SF: Santa Fiora Formation; TO: Tolfa Formation; Pf: Pietraforte; MM: Monte Morello Formation; P: Pescina Clays (modified from Abbate and Sagri, 1970).



## Le Rocce Magmatiche

In Toscana è presente una grande varietà di rocce magmatiche, sia intrusive che effusive, associate a minori quantità di rocce subvulcaniche. Tali rocce sono riconducibili ad una intensa attività magmatica sviluppatasi in un ampio intervallo temporale che va dal Mesozoico fino a tempi recenti. Associati alle rocce magmatiche toscane si ritrovano molti minerali sfruttati fin dall'antichità, ma anche numerosi minerali da collezione. Di seguito sono illustrati i principali gruppi di rocce magma-

tiche secondo un criterio cronologico e in funzione delle reciproche relazioni di giacitura.

### Ofoliti

Con questo nome è indicata una successione di rocce, di origine oceanica, il cui nome deriva dalla parola greca «*Ophis*», che vuol dire serpente, per l'aspetto e il colore verdastro che caratterizza i prodotti più comuni di questa successione (le *serpentiniti*).

Le Ofoliti sono tra le rocce magmatiche più antiche della Toscana, appartengono

### Magmatic Rocks

Tuscany has a great variety of magmatic rocks (both intrusive and effusive), associated with small quantities of subvolcanic rocks. These rocks are due to an intense magmatic activity that occurred in a broad time period from the Mesozoic until recent times. The Tuscan magmatic rocks are associated with several mining districts since antiquity. The following are the main groups of magmatic rocks, presented chronologically and according to mutual depositional relationships.

### Ophiolites

This is a succession of rocks of oceanic origin whose name derives from the Greek word «*ophis*», meaning snake, because of the greenish colour characterizing the most common products of this succession (*serpentinites*). Ophiolites are among the oldest magmatic rocks of Tus-

cany. They belong to the Ligurian Units and constitute the rocks of the oceanic substratum of the Ligurian-Piedmontese basin. They are widely distributed in all of Tuscany (Fig. 6) and are composed of a sequence of ultramafic rocks, peridotites (often transformed into serpentinites by processes of oceanic metamorphism), gabbros, and basaltic dykes and lavas, the latter arranged in the form of lava-pillow flows. Because of their petrological and geochemical affinity with the present-day ocean floor rocks, ophiolites have been interpreted as the remains of the Tethys Ocean floor, formed during the Jurassic (199-145 Ma), emplaced onto the continental crust of the African margin (the present-day Italian Peninsula) during construction of the Apennine chain. Today, ophiolites are found in outcrops with their sedimentary covers or in a primary position at the base of the Ligurian successions (e.g. in the *Vara Unit*). They are also found as megablocks, called *olistoliths*, or as *olistostromes* inside large submarine landslides, intercalated in sedimentary formations of the



alle Unità Liguridi e costituiscono le rocce del substrato oceanico del bacino Ligure-Piemontese. Le Ofoliti sono ampiamente distribuite in tutta la Toscana (Fig. 6) e sono composte da una sequenza di rocce ultrabasiche, peridotitiche (spesso trasformate in *serpentiniti* da fenomeni di metamorfismo oceanico), gabbri e complessi filoniani e lavici di composizione basaltica. Per la loro affinità petrologica e geochemica con le attuali rocce dei fondi oceanici, le Ofoliti sono state interpretate come resti del fondo oceanico della Tetide, formatosi durante il Giurassico (199-145 milioni di anni), traslate sulla crosta continentale del margine africano (l'attuale Penisola Italiana) durante la costruzione dell'orogene appenninico. Attualmente, le Ofoliti si ritrovano in affioramento con le loro coperture sedimentarie, o in posizione primaria alla base delle successioni liguri (es. nell'*Unità Vara*). Si ritrovano anche in forma di megablocchi, chiamati *olistoliti*, o di *olistotromi* all'interno di grandi frane sottomarine, intercalati a formazioni sedimentarie delle Liguridi Esterne di età cretacea ed eocenica (Abbate et. al., 1970).

Le rocce più profonde della sequenza ofiolitica sono le *peridotiti a spinello* che hanno subito estesi processi di trasformazione da parte di soluzioni fluide idrotermali con temperature dell'ordine dei 400°C. I minerali che compongono le *peridotiti* sono principalmente olivina (peridoto), clinopirosseno, ortopirosseno e spinello, trasformati in minerali del gruppo del serpentino (principalmente crisotilo ed antigorite), con una

quantità minore e variabile di clorite, brucite, talco e magnesite in funzione del differente grado di termalità metamorfica. La magnesite, in particolare, è stata oggetto di attività estrattiva prima della seconda guerra mondiale in varie località della Toscana, tra cui Casole d'Elsa (SI) e Rosignano Marittimo (LI), mentre i noduli di opale e calcedonio associati alla magnesite sono stati utilizzati, una volta lucidati, come pietre ornamentali. Numerosi minerali secondari si ritrovano all'interno di vene che attraversano le masse serpentinite, tra cui il quarzo, la calcite, la datolite e la dawsonite. Un'ampia descrizione di questi minerali si ritrova in Carobbi e Rodolico (1976). Inoltre, la *peridotite* trasformata in *serpentine*, generalmente di colore verde scuro passante al nero, è stata utilizzata come pietra ornamentale in molte facciate delle chiese fiorentine e dintorni (e.g., Santa Maria del Fiore, Santa Maria Novella, Santa Croce e San Miniato al Monte a Firenze e Duomo di Prato) e come materia prima per la realizzazione di manufatti di pregio (e.g. alcuni pezzi della Collezione Medicea esposti presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze, Tav. IIa). Le *serpentiniti* provenivano in larga parte dal Monte Ferrato, vicino a Prato, e sono conosciute nella letteratura architettonica come «verde di Prato» o come «ranocchiaia», per il disegno che ricorda la pelle delle rane, nei casi in cui prevale il crisotilo (Sartori, 2002).

Le rocce immediatamente sovrastanti alle *peridotiti* serpentinite sono i *gabbri*, rocce intrusive mafiche, generalmente presenti in

External Ligurians of Cretaceous and Eocene age (Abbate et. al., 1970).

The deepest rocks of the ophiolitic sequence are the *spinel peridotites*, which have undergone extensive processes of transformation by hydrothermal fluid solutions with temperatures on the order of 400°C. The minerals that make up *peridotites* are mainly olivine (peridote), clinopyroxene, orthopyroxene and spinel, transformed into minerals of the serpentine group (mainly chrysotile and antigorite), with a lesser and variable amount of chlorite, brucite, talc and magnesite according to the different degree of metamorphic thermality. Magnesite was mined before World War II in various places in Tuscany between Casole d'Elsa (SI) and Rosignano Marittimo (LI), while the nodules of opal and chalcedony associated with the magnesite were polished and used as ornamental stones. Many secondary minerals are found in veins traversing the serpentinitized masses, including quartz, calcite, datolite and dawsonite. An ample description of these

minerals is in Carobbi and Rodolico (1976). Moreover, *peridotite* transformed into *serpentine*, generally from dark green to black, was used as an ornamental stone in many church façades in Florence and the surrounding area (e.g. Santa Maria del Fiore, Santa Maria Novella, Santa Croce and San Miniato al Monte in Firenze and the Cathedral in Prato) as well as raw material for fine handworks (e.g. some pieces of the Medici Collection exposed in the Mineralogy section of the Museum of Natural History of the University of Florence, plate IIa). The *serpentinities* largely came from Monte Ferrato near Prato and are known in the architectural literature as «Prato green» or «ranocchiaia» on account of the pattern resembling frog skin (Italian *ranocchio* = frog) in the cases in which chrysotile prevails (Sartori, 2002).

The rocks immediately overlying the serpentinitized *peridotites* are *gabbros*, mafic intrusive rocks generally present in small intrusive masses, made up prevalently of calcic plagioclase and pyroxene, both monocline and (rarely) or-



**Tavola II.** a: manufatto realizzato in *serpentine* di colore verde scuro tendente al nero, facente parte della Collezione Medicea in esposizione presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze; b: campione di rame nativo dell'Impruneta, conservato nella sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze.

**Plate II.** a: *serpentine* handmade cup with dark-green to black colouring, belonging to the Medicean Collection displayed in the Mineralogy section of the Museum of Natural History of the University of Florence ; b: native copper of Impruneta, specimen displayed in the Mineralogy Section of the Museum of Natural History of the University of Florence.

piccole masse intrusive, costituite prevalentemente da plagioclasio calcico e pirosseno, sia monoclini che raramente ortorombici. Il loro nome deriva da Gabbro, una frazione del comune di Rosignano Marittimo, nella provincia di Livorno, ubicato su uno sperone di queste rocce. I *gabbri* hanno una composizione chimica molto simile a quella dei sovrastanti basalti. Questa somiglianza chimica conferma l'ipotesi che i *gabbri* rappresentino rocce raffreddatesi in camere magmatiche oceaniche dalle quali provenivano i magmi basaltici che formavano gli espandimenti del fondale oceanico in corrispondenza delle dorsali. In alcune località della Toscana, come la Valle d'Ortano all'Isola d'Elba, il clinopirosseno, varietà diallagio, si ritrova in cristalli che raggiungono una elongazione centimetrica. Al contatto tra *serpentiniti* e *gabbri* sono talvolta presenti giacimenti di rame. A Montecatini Val di Cecina, in provincia di Pisa, fu attiva nel 1700 la più importante miniera di rame d'Europa che coltivava un giacimento arricchito in calcopirite in un ammasso alterato al contatto tra *gabbri* e *serpentiniti*. Inoltre, rame nativo è stato rinvenuto in varie località, tra le quali sono da segnalare i grossi blocchi ritrovati all'Impruneta, nei pressi di Firenze, e conservati presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze (Tav. IIb).

I *basalti* sono gli ultimi prodotti della sequenza magmatica delle ofioliti e si ri-

trovano sia sotto forma di filoni, che di lave con struttura a cuscino («*pillow*»), tipica del raffreddamento di lave fluide in ambiente sottomarino. La composizione mineralogica, quando conservata, è composta da rari fenocristalli di plagioclasio calcico, pirosseno e talvolta olivina, immersi in una massa di fondo microcristallina, formata da abbondante plagioclasio, pirosseno e ossidi di ferro e titanio.

### Graniti s.l.

I graniti sono rocce magmatiche intrusive, cristallizzate cioè all'interno della crosta terrestre, presenti in Toscana meridionale e nell'antistante arcipelago (Fig. 11). Queste rocce sono il prodotto dell'intrusione in profondità di magmi formati durante il sollevamento e il corrugamento della catena appenninica settentrionale. Si tratta di estesi corpi *acidi* a composizione variabile da *granitica* a *granodioritica* e *monzogranitica* cristallizzati in un periodo di tempo compreso tra il Miocene superiore ed il Pliocene (Poli, 2004). L'età di cristallizzazione di questi corpi ignei intrusivi varia con una progressione regolare da ovest verso est. Il corpo igneo intrusivo più antico è rappresentato dal *plutone monzogranitico* dell'isola di Montecristo (7.3-7.1 Ma-milioni di anni) mentre quello di maggiori dimensioni si ritrova al Monte Capanne, all'isola d'Elba di composizione *granodioritica* e con una età assoluta, deter-

thorhombic. Their name derives from Gabbro, a village in the municipality of Rosignano Marittimo in the province of Livorno, situated on a spur of these rocks. *Gabbros* have a chemical composition very similar to that of the overlying basalts. This chemical similarity confirms the hypothesis that *gabbros* represent rocks related to cooling of the oceanic magma chambers from which the basaltic magmas that formed the sea-floor spreading near the ridges are from. In some places in Tuscany, such as Valle d'Ortano on Elba Island, clinopyroxene (variety diallagio) is found in crystals that reach several centimetres in length. Copper deposits are sometimes present at the contact between *serpentinites* and *gabbros*. The most important copper mine in Europe in the 18<sup>th</sup> century was active at Montecatini Val di Cecina in the province of Pisa; it exploited a deposit enriched in chalcopyrite in an altered mass at the contact between *gabbros* and *serpentinites*. Moreover, native copper has been found in various localities, e.g. the metres-long blocks discovered at Impruneta near Florence and conserved in the Mineralogy Section of the Museum of Natural History of the University of Florence (Plate IIb).

*Basalts* are the last products of the magmatic sequence of ophiolites. They are found both as dykes and as pillow

lavas, typical of the cooling of fluid lavas in a deep-sea environment. The mineralogical composition, when preserved, consists of rare phenocrysts of calcic plagioclase, pyroxene and sometimes olivine, embedded in a microcrystalline groundmass formed by abundant plagioclase, pyroxene, and iron and titanium oxides.

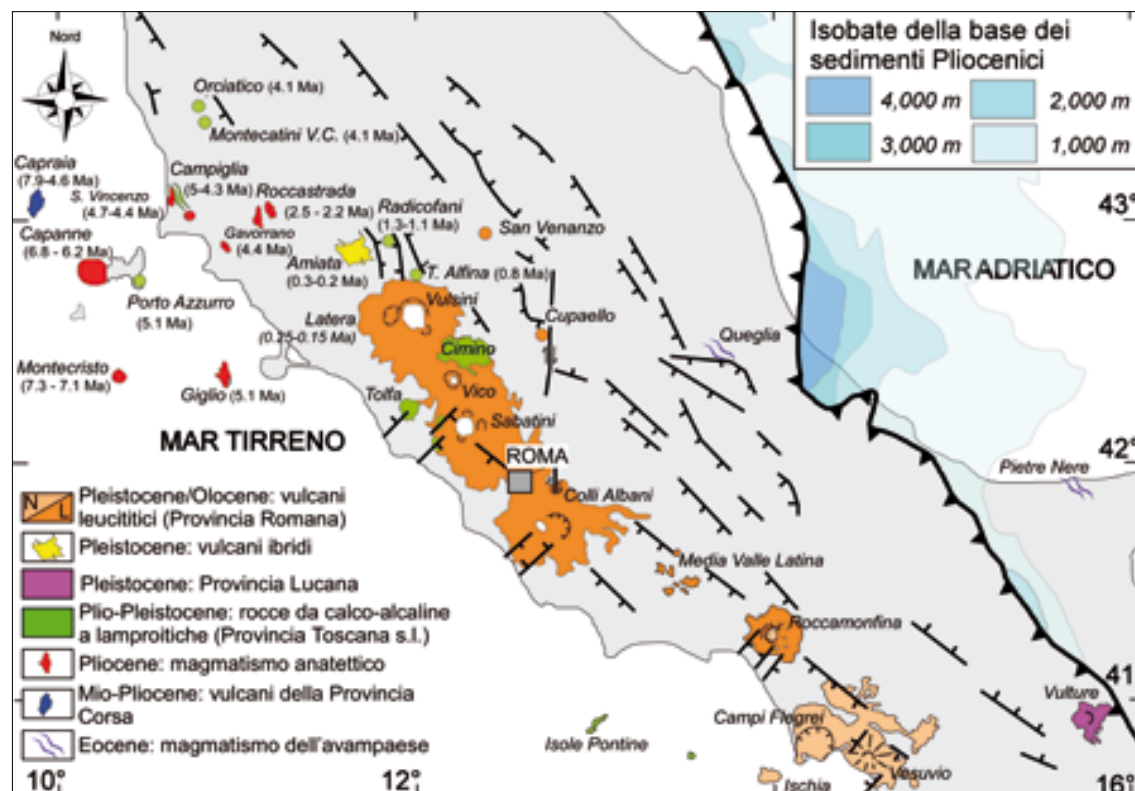
### Granites s.l.

Granites are intrusive magmatic rocks, i.e. crystallized inside the Earth's crust, present in southern Tuscany and in the Tuscan archipelago (Fig. 11). These rocks are the product of deep intrusion of magmas formed during the uplifting and folding of the Northern Apennines. They are extensive «felsic» bodies with variable composition from «granitic» to «granodioritic» and «monzogranitic» that crystallized between the Late Miocene and Pliocene (Poli, 2004, and references therein). The age of crystallization of these intrusive igneous bodies varies with a regular progression from west to east. The oldest intrusive igneous body is the *monzogranitic pluton* of Montecristo Island (7.3-7.1 Ma) whereas the largest is the *granodioritic* one at Monte Capanne on Elba Island with a radiometric



**Fig. 11** Distribuzione delle rocce vulcaniche ed intrusive nell'Italia centro meridionale. Le età sono dettagliatamente riportate per i prodotti della Toscana e del suo arcipelago indicando una evidente migrazione del magmatismo nel tempo da Ovest verso Est. In rosso: rocce derivate per fusione parziale della crosta continentale e cristallizzate sia in profondità, sottoforma di intrusioni da granodioritiche a monzogranitiche (graniti s.l.) che in superficie sottoforma di colate laviche di natura riolitica; in verde: prodotti della Provincia Magmatica Toscana generati per fusione parziale del mantello superiore con una affinità seriale variabile da calc-alkalina a shoshonitica fino ad alcalina ultrapotassica. L'Isola di Capraia rappresenta l'episodio più antico dell'attività magmatica in Toscana, riferito ad un magmatismo mantellico legato all'apertura precoce del mar Tirreno, ed attribuito petrograficamente alla Provincia Magmatica Corsa. Il Magmatismo alcalino ultrapotassico sottosaturato in silice della Provincia Magmatica Romana è suddivisibile in distretti Laziali (L) e distretti Napoletani (N) sulla base della loro età, Pleistocenici i primi, Olocenici i secondi. Per i riferimenti bibliografici delle età riportate si rimanda a Conticelli *et al.* (2010), dal quale la Figura è stata ripresa e modificata.

**Fig. 11** Distribution of volcanic rocks in central-southern Italy, with the ages of the volcanic and intrusive rocks of Tuscany and its archipelago. Note the marked difference in amount of products emitted in time, and especially the evident migration of the magmatism from west to east. Tuscany presents the greatest compositional variability with products of similar age but generated by partial melting in different sources. In red, rocks derived by partial melting of the continental crust and crystallized both at depth in the form of granodioritic to monzogranitic (granites s.l.) intrusions and superficially in the form of rhyolitic lava flows. In green, products of the Tuscan Magmatic Province generated by partial melting of the upper mantle with a serial affinity varying from calc-alkaline to shoshonitic up to ultrapotassic alkaline. Monte Amiata is a hybrid volcano characterized by products of different nature, prevalently mantle-derived, related to the mixing of melts saturated with silica and melts strongly subsaturated with silica. Capraia Island represents the earliest event of magmatic activity in Tuscany, referred to mantle-derived magmatism related to the early opening of the Tyrrhenian Sea, and attributed petrographically to the Roman Magmatic Province. The ultrapotassic alkaline magmatism subsaturated with silica of the Roman Magmatic Province is divided into Latium districts (L) and Neapolitan districts (N) on the basis of their age, Pleistocene the former, Holocene the latter. For the bibliographical references of the reported ages, see Conticelli *et al.* (2010), modified from which the Fig. was taken.



minata attraverso metodi radiometrici, compresa tra 6.8-6.2 Ma. L'intrusione del Monte Capanne è seguita da quelle di Porto Azzurro, sempre nell'Isola d'Elba (6.1-5.1 Ma), dell'Isola del Giglio (5.0 Ma), e successivamente da quelle di Gavorrano (4.9 Ma) e di San Vincenzo (Botro ai Marmi, 4.7-4.4 Ma). In seguito a ricerche geotermiche e minerarie, in Toscana meridionale sono stati perforati corpi intrusivi granitici (s.l.) a Castel di Pietra (4.3 Ma), 7 km a NE di Gavorrano, e Larderello (ca.3 Ma).

Corpi subvulcanici di età leggermente più antica delle rocce *granitoidi*, ma probabil-

mente ad esse correlati, si ritrovano sottoforma di filoni e laccoliti intrusi nelle rocce sedimentarie mesozoiche delle Unità Liguri dell'Isola d'Elba. Essi sono rappresentati da *porfidi quarziferi*, con un'età compresa tra 8.9 e 7.0 Ma, e da un corteggio filoniano di rocce *aplitiche, microgranitiche e pegmatitiche* strettamente correlate alle due masse intrusive del Monte Capanne e di Porto Azzurro (Poli, 1992; Dini *et al.*, 2002).

Le rocce intrusive sono caratterizzate da una struttura olocristallina, granulare con abbondanti cristalli di ortoclasio (K-feldspato), quarzo, plagioclasio e biotite (Tav. IIIa).

age of 6.8-6.2 Ma. The Monte Capanne intrusion was followed by those of Porto Azzurro on Elba Island (6.1-5.1 Ma), Giglio Island (5.0 Ma), Gavorrano (4.9 Ma) and San Vincenzo (Botro ai Marmi, 4.7-4.4 Ma). *Granitic* (s.l.) intrusive bodies at Castel di Pietra (4.3 Ma), 7 km NE of Gavorrano, and Larderello (ca.3 Ma) were drilled during geothermal and mining exploitation in southern Tuscany.

Subvolcanic bodies slightly older than the *granitoid* rocks but probably related to them are found as dykes and laccoliths intruded in the Mesozoic sedimentary rocks of the Ligurian Units of Elba Island. They are represented by *quartz porphyries*, with an age between 8.9 and 7.0 Ma, and by a dyke swarm of «aplitic», «microgranitic» and «pegmatitic» rocks closely related to the two intrusive masses of Monte Capanne and Porto Azzurro (Poli, 1992; Dini *et al.*, 2002).

Intrusive rocks are characterized by a granular holocrystalline structure with abundant crystals of ortho-

class (K-feldspar), quartz, plagioclase and biotite (Plate IIIa). On Elba Island, the orthoclase crystals reach large sizes (with some specimens over 10 cm long) in the peripheral portion of the Monte Capanne granite mass at Sant'Andrea (Plate IIIb) (Coli *et al.*, 2001; Gagnevin *et al.*, 2005).

The *porphyritic aplites* of Elba Island, also known as «*eurite*», have long been used in the ceramic industry because of their high aluminium content and very low iron content. Some of the most important mineral specimens in the Elban collection of the Museum of Natural History of the University of Florence were found in pegmatite dykes associated with granite intrusions. Prominent among them are the tourmalines, particularly the magnificent polychrome varieties (see Tanelli and Poggi, this volume).

The several ore deposits of the Tuscan Colline Metallifere (provinces of Siena, Grosseto and Livorno) and of

All'Isola d'Elba, nella porzione marginale della massa granitica del Monte Capanne, in località Sant'Andrea, i cristalli di ortoclasio raggiungono dimensioni notevoli con esemplari decimetrici, (Tav. IIIb), (Coli *et al.*, 2001; Gagnevin *et al.*, 2005).

Le *aplitì porfiriche* dell'isola d'Elba, conosciute anche con il nome di «*eurite*» vengono utilizzate da lungo tempo nell'industria ceramica per il loro elevato contenuto in alluminio e i bassissimi contenuti in ferro. Alcuni dei più importanti esemplari di minerali che arricchiscono la collezione elbana del Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze, sono stati ritrovati in filoni pegmatitici associati ad intrusioni granitiche. Tra questi, degne di particolare menzione, sono le tormaline, ed in particolare le loro bellissime varietà policrome (vedi Tanelli e Poggi, questo volume).

Le numerose mineralizzazioni di minerali metallici delle Colline Metallifere Toscane (province di Siena, Grosseto e Livorno) e dell'isola d'Elba sono probabilmente legate alle intrusioni magmatiche che hanno generato un aumento del gradiente geotermico regionale assieme alla mobilitazione di molte specie chimiche, favorendo l'instaurarsi di processi metasomatici. Le mineralizzazioni, generalmente a solfuri misti, sono dovute alla deposizione di soluzioni ricche in metalli legate ai fluidi provenienti dalle masse magmatiche in raffreddamento. Infatti, durante il raffreddamento, in seguito alla cristallizzazione dei minerali principali quali ortoclasio, plagioclasio, biotite e quarzo, i liquidi magmatici residuali tendono ad

arricchirsi, nella fase volatile acquosa, in elementi non compatibili con il chimismo delle fasi mineralogiche principali. Questi elementi sono rappresentati principalmente da ferro in eccesso, zolfo, rame, stagno, arsenico, antimonio, ecc. Tali soluzioni residuali tendono a disperdersi nell'ambiente circostante, più freddo, dove si depositano a formare giacimenti di minerali utili. Le più importanti miniere di ferro (ematite e magnetite) si ritrovano all'isola d'Elba, in prossimità delle intrusioni *granitiche*. Quelle a solfuri dominanti, principalmente pirite e calcopirite, si ritrovano a Campiglia Marittima, Gavorrano, Niccioleta, Boccheggiano-Campiano ed in altre località dell'entroterra della Toscana meridionale (Tanelli e Lattanzi, 1986). L'attività estrattiva in Toscana è ormai completamente cessata per problemi economici e ambientali. La miniera di pirite di Campiano, che forniva il materiale per la produzione di acido solforico per gli stabilimenti di Follonica, è stata abbandonata anche se considerata una delle più moderne in Europa.

L'unica attività di sfruttamento delle risorse geologiche e minerarie del territorio toscano rimane quella legata alla presenza della massa magmatica in raffreddamento nella zona di Lardarello-Travale-Radicondoli (Fanelli *et al.*, 2008) che genera un campo geotermico a vapore dominante (uno dei cinque presenti nel mondo) che produce, assieme al più piccolo campo geotermico del Monte Amiata, circa 700 MW annui di energia elettrica, pari al 25% di energia rinnovabile della Toscana.

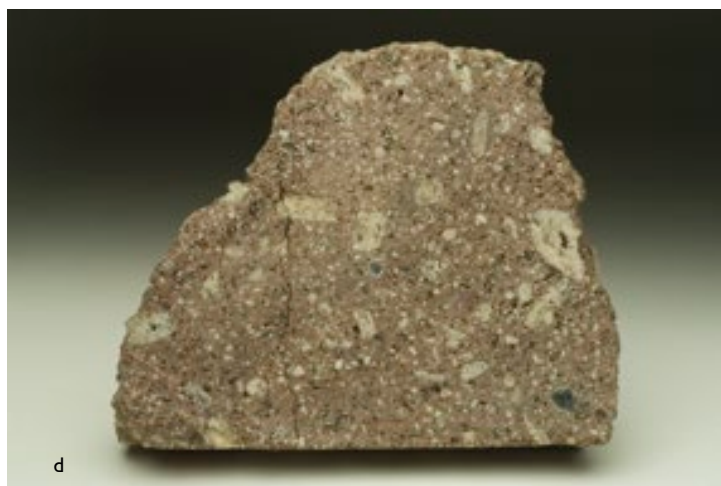
Elba Island are probably related to the magmatic intrusions, which gave rise to an increase of the regional geothermal gradient together with the mobilization of many chemical species, favouring the establishment of metasomatic processes.

The mineralizations, generally with mixed sulphides, are related to the deposition of metals-rich solutions linked to fluids deriving from the cooling magmatic masses. In fact, following crystallization of the principal minerals during the cooling (such as orthoclase, plagioclase, biotite and quartz), the residual magmatic liquids tend to become, in the aqueous volatile phase, rich in incompatible trace elements. These elements are mainly represented by an excess of iron, sulphur, copper, tin, arsenic, antimony, etc. These residual solutions tend to disperse in the cooler surrounding environment where they form deposits of useful minerals. The most important iron mines (hematite and magnetite) are on Elba Island near

the granite intrusions. Those with dominant sulphides, mainly pyrite and chalcopyrite, are at Campiglia Marittima, Gavorrano, Niccioleta, Boccheggiano-Campiano and in other inland localities of southern Tuscany (Tanelli and Lattanzi, 1986). Mining in Tuscany has now completely ceased for economic and environmental reasons. The Campiano pyrite mine, which provided material for sulphuric acid production in the Follonica plants, was abandoned even though considered one of the most modern in Europe.

The sole exploitation of the geological and mineral resources of Tuscany is related to the presence of the cooling magmatic mass in the area of Lardarello-Travale-Radicondoli (Fanelli *et al.*, 2008), which generates a geothermal steam field. Together with the smaller Monte Amiata geothermal field, it produces ca. 700 MW of electricity per year, equal to 25% of the renewable energy production in Tuscany.





**Tavola III.** a: campione di *granito* proveniente da Gavorrano (GR, Toscana meridionale), roccia intrusiva caratterizzata da struttura olocristallina, granulare con abbondanti cristalli di ortoclasio (K-feldspato), quarzo, plagioclasio e biotite; b: cristallo di K-feldspato di dimensioni pluricentriche in granito proveniente dall' complesso intrusivo del Monte Capanne (Isola d'Elba, LI); c: campione di lave lamproitiche provenienti dal piccolo apparato vulcanico di Torre Alfina con evidente presenza di xenoliti cristallini; d: campione di lava trachitica proveniente dal Monte Amiata facente parte di una delle colate più recenti (colata delle Macinaie) caratterizzata da una paragenesi composta da abbondanti fenocristalli di plagioclasio e sanidino e subordinatamente di clinopirosseno, immersi in una massa di fondo composta da plagioclasio, clinopirosseno, ossidi di ferro e titanio, e raramente da sanidino.

**Plate III.** a: *granite* sample from Gavorrano intrusive complex (GR, Southern Tuscany) characterized by granular holocrystalline structure with abundant crystals of orthoclase (K-feldspar), quartz, plagioclase and biotite; b: mega-phenocryst of K-feldspar in a granite sample from the Monte Capanne intrusion (Isola d'Elba, LI); c: lamproitic lava sample from Torre Alfina volcano containing evident crust-derived xenoliths; d: trachitic lava sample from the Monte Amiata volcanic complex (Colata delle Macinaie lava-flow) characterized by a paragenesis of abundant phenocrysts of plagioclase and subordinately clinopyroxene, embedded in a groundmass of plagioclase, clinopyroxene, iron and titanium oxides, and rarely sanidine.



## Le rocce vulcaniche

Accanto ai comuni prodotti lavici, diffusi in varie zone dell'Italia, in Toscana si ritrovano rocce che rappresentano una peculiarità unica e che sono rappresentate dalle *lamproiti* di Montecatini val di Cecina, Orciatico, in provincia di Pisa e dalle rocce di Capraia, Radicofani e del Monte Amiata. Le *lamproiti* sono rocce vulcaniche o subvulcaniche, ultrapotassiche, di origine mantellica, caratterizzate da bassi contenuti di CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, alto K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e relativamente alto MgO. Di seguito saranno descritte le rocce vulcaniche toscane evidenziandone le peculiarità composizionali.

I due maggiori vulcani della Toscana sono quello composito di Capraia e quello lineare del Monte Amiata, il primo di età Miocenica e il secondo di età Pleistocenica. Essi rappresentano rispettivamente l'evento più antico e più recente di tutta l'attività vulcanica della Toscana. Tra questi due eventi maggiori si verifica una serie di eventi eruttivi, di piccola entità volumetrica, sparsi tra l'Arcipelago toscano e l'entroterra della Toscana centrale e meridionale (Fig. 11) con un'età sempre più recente da ovest verso est (Conticelli *et al.*, 2010, e riferimenti bibliografici ivi inclusi).

Al di là di questa variazione spaziale e temporale, l'attività vulcanica toscana è caratterizzata dall'emissione di magmi originatisi da sorgenti diverse. In dettaglio, i prodotti *felsici* (*rioliti*) hanno origine da un magma

che si genera in seguito a fusione di crosta continentale (anatesi), mentre i prodotti *mafici* (*andesiti basaltiche*, *shoshoniti*) derivano da magma di origine profonda formatosi per fusione parziale delle rocce costituenti il mantello terrestre (Conticelli *et al.*, 2007).

Le rocce vulcaniche di derivazione crostale anatettica sono rappresentate dalle *rioliti* di San Vincenzo (4.7-4.4 a) e di Roccastrada e Roccatederighi (2.5-2.2 Ma), definite con il nome ormai in disuso di «*lipariti*» da Rodolico (1938c), il quale, peraltro, riconosceva le forti somiglianze chimiche con le rocce *granitiche* s.l., della Toscana. Questa osservazione è stata successivamente confermata da vari autori che hanno riconosciuto la natura anatettica crostale sia dei magmi che avevano originato le masse intrusive *granitiche* s.l. che i corpi vulcanici *riolitici* (e.g., Peccerillo *et al.*, 1987; Poli, 1992, 2004). Forti somiglianze si osservano tra questi due gruppi di rocce acide anche da un punto di vista mineralogico, con dominanza di K-feldspato e quarzo su plagioclasio e biotite. Di particolare interesse è la presenza di cordierite magmatica, spesso trasformata in pinite in seguito a processi di alterazione, a testimonianza di un eccesso di alluminio nei magmi *riolitici* (Rodolico, 1938b). La cordierite si ritrova, talvolta, in bei cristalli come a Roccatederighi (GR).

L'attività vulcanica legata a magmi originati in profondità, all'interno del mantello terrestre è presente all'isola di Capraia, con

### Volcanic rocks

Alongside common lava products widely found in various Italian zones, Tuscany also contains unique peculiarities, namely the *minette* and *lamproites* of Montecatini Val di Cecina and Orciatico, respectively, in the province of Pisa, and the *shoshonitic to andesitic* rocks of Capraia, Radicofani and Monte Amiata. *Lamproites* are ultrapotassic mantle-derived volcanic or subvolcanic rocks with low CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>O contents, a high K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio, and relatively high MgO content. The following is a description of the Tuscan volcanic rocks, with their compositional peculiarities.

The two major volcanoes of Tuscany are the composite one of Capraia (Miocene age) and the linear one of Monte Amiata (Pleistocene age). Respectively they represent the earliest and latest volcanic activity in Tuscany. Between these two major events, there occurred a series of small-volume eruptive events scattered between the Tuscan Archipelago and central and southern Tuscany (Fig. 11), with an ever more recent age from west to east.

In addition to this spatial and temporal variation, Tuscan volcanic activity was characterized by the emission of magmas deriving from different sources. The *felsic* products

(*rhyolites*) originated from a magma generated by melting of continental crust (anatexis), while the *mafic* products (*basaltic andesites*, *shoshonites*) derived from deep magma formed by partial melting of mantle rocks (Conticelli *et al.*, 2007).

The anatectic crust-derived volcanic rocks are represented by the *rhyolites* of San Vincenzo (4.7-4.4 Ma) and of Roccastrada and Roccatederighi (2.5-2.2 Ma). They were given the now abandoned name of «*liparites*» by Rodolico (1938c), who recognized the strong chemical similarities with the *granites* s.l. of Tuscany. This observation was subsequently confirmed by various authors who identified the anatectic crustal nature of the magmas that generated both the *granitic* s.l. intrusive masses and the *rhyolitic* volcanic bodies (e.g. Peccerillo *et al.*, 1987; Poli, 1992, 2004). There are also strong mineralogical similarities between these two groups of acidic rocks, with dominance of K-feldspar and quartz over plagioclase and biotite. Of particular interest is the presence of magmatic cordierite, often transformed into pinite due to alteration processes, a sign of an excess of aluminium in the *rhyolitic* magmas (Rodolico, 1938b). Cordierite is sometimes found as beautiful crystals, e.g. at Roccatederighi.

due vulcani sovrapposti, sebbene distinti per alimentazione magmatica, il complesso di Capraia (7-7,2 Ma) ed il piccolo vulcanico monogenetico dello Zenobito (4.8 Ma) (Gasparon *et al.*, 2009). Il primo è caratterizzato essenzialmente da rocce con composizione da intermedia ad acida, di natura calc-alkalina, con termini variabili da *andesiti basaltiche*, *andesiti*, *daciti*, fino a *rioliti*. Il plagioclasio è sicuramente il minerale più abbondante delle rocce di Capraia, seguito in ordine di importanza da clinopirosseno, ortopirosseno, biotite, olivina, sanidino e anfibolo, diversamente distribuiti a seconda della composizione chimica della roccia (Rodolico, 1938a; Franzini, 1961). Il secondo, si trova nella porzione meridionale dell'isola, presso la punta dello Zenobito, ed è caratterizzata da rocce di composizione *trachandesitica* di età Pliocenica. Queste lave presentano una struttura debolmente porfirica con abbondante olivina euedrale come unico fenocristallo, immerso in una massa di fondo di plagioclasio e clinopirosseno (Franzini, 1961; Avanzinelli *et al.*, 2009).

Inoltre, nell'Arcipelago toscano e lungo la fascia costiera della Toscana si ritrovano rocce filoniane mafiche, di età variabile da 6 a 5 Ma circa (Conticelli *et al.*, 2010), e più precisamente a Monte Castello nell'Elba e nella Valle del Temperino (Campiglia Marittima) (Fig. 11). In entrambi i casi, le rocce di natura *andesitico basaltica* presen-

tano un elevato livello di alterazione, ma accanto a cristalli relitti di clinopirosseno ed olivina, totalmente trasformati in i minerali secondari, sono riconoscibili cristalli di K-feldspato (sanidino) di dimensioni centimetriche (Conticelli *et al.*, 2001).

Più a nord nella Val d'Era, nelle vicinanze di Volterra, ad Orciatice e a Montecatini Val di Cecina, si ritrovano due piccoli corpi subvulcanici laccolitici, aventi una età di circa 4.1 Ma, che rappresentano una unicità tra i prodotti del magmatismo italiano (Conticelli *et al.*, 1992). Le rocce che costituiscono questi due corpi subvulcanici sono state definite dallo Stefanini (1934) «*selagiti*» e cioè «*rocce che brillano*» in virtù della notevole quantità di mica bruna che le compongono. Rodolico (1934a) segnalò correttamente la loro natura *lamprofirica* rimarcando le notevoli somiglianze con le rocce affioranti nel Wyoming, nel continente nordamericano, piuttosto che con le rocce alcalino potassiche a leucite della Provincia Magmatica Romana descritte da Washington (1906). Affinché tale intuizione venga confermata, si dovrà aspettare il lavoro di Wagner e Velde (1986) che riconobbero il carattere lamproitico dei magmi della Val d'Era, associandolo a quello di altre lamproiti mediterranee (e.g., Corsica, Murcia) (e.g., Conticelli *et al.*, 2009). La mineralogia di queste rocce è dominata dalla mica bruna ricca in magnesio (flogopite) associata

Volcanic activity linked to magmas originating deep in the mantle was present on the island of Capraia with two superimposed volcanoes, albeit with separate magma feeds, the Capraia complex (7-7.2 Ma) and the small monogenetic Zenobito volcano (4.8 Ma) (Gasparon *et al.*, 2009). The former is characterized essentially by rocks with intermediate to felsic composition, of calc-alkaline nature, with terms varying from basaltic andesites, andesites, dacites, up to rhyolites. Plagioclase is certainly the most abundant mineral in the Capraia rocks, followed in order of importance by clinopyroxene, orthopyroxene, biotite, olivine, sanidine and amphibole, differently distributed according to the chemical composition of the rock (Rodolico, 1938a; Franzini, 1961). The latter volcano is found in the southern part of the island, at Zenobito Point, and is characterized by rocks of *trachyandesite* composition. These lavas present a weakly porphyritic structure with abundant euhedral olivine as the only phenocryst, embedded in a plagioclase and clinopyroxene groundmass (Franzini, 1961; Avanzinelli *et al.*, 2009).

Mafic dykes of variable age (6-5 Ma) are found in the Tuscan Archipelago and along the coast of Tuscany (Conticelli *et al.*, 2010, and references therein), more precisely

at Monte Castello on Elba and in the Valle del Temperino (Campiglia Marittima), (Fig. 11). In both cases, the *basaltic andesitic* rocks present a high level of alteration, but K-feldspar (sanidine) crystals several centimetres long can be found along with relict crystals of clinopyroxene and olivine, totally transformed into secondary minerals (Conticelli *et al.*, 2001).

More to the north, at Orciatice and Montecatini Val di Cecina in the Val d'Era near Volterra, we find two small laccolithic subvolcanic bodies (ca. 4.1 Ma), which represent a unique product of Italian magmatism (Conticelli *et al.*, 1992). The rocks forming these two subvolcanic bodies were called «*selagites*» by Stefanini (1934). i.e. «*shining rocks*» on account of the large quantity of brown mica in them. Rodolico (1934a) correctly reported their *lamprophyric* nature, noting the strong similarities with the rocks cropping out in Wyoming in North America rather than with the leucite-containing potassic alkaline rocks of the Roman Magmatic Province described by Washington (1906). Confirmation of this intuition only came in 1986 with the paper by Wagner and Velde who recognized the lamproitic nature of the Val d'Era magmas, associating them with the other Mediterranean lamproites (e.g. Corsica, Murcia) (Conticelli *et al.*, 2009). The mineralogy of these

a sanidino, clinopirosseno diopsidico, estremamente impoverito in alluminio, olivina, anfibolo ricco in K (K-richterite), Mg-ilmenite e Ti-magnetite con quantità accessorie di torite e perrierite (Cellai *et al.*, 1993).

Un ulteriore affioramento di rocce lamproitiche è quello presente a Torre Alfina, (VT) (Fig. 11), dove un piccolo apparato vulcanico ha emesso un numero limitatissimo di colate di lava, nel Pleistocene superiore (0.88 Ma, Nicoletti *et al.*, 1981). I prodotti vulcanici presentano una mineralogia dominata da fenocristalli di olivina immersi in una pasta di fondo composta da clinopirosseno diopsidico povero in alluminio, sanidino, flogopite e Mg-ilmenite, che, in alcuni termini differenziati, presenta plagioclasio e xenocristalli di quarzo e cordierite a testimonianza di un processo di contaminazione con rocce metamorfiche di origine crostale (Conticelli, 1998). Torre Alfina rappresenta uno dei pochi affioramenti italiani in cui si ritrovano noduli mantellici peridotitici (Conticelli e Peccerillo, 1990) insieme a una serie di xenoliti crostali, sia metamorfici che sedimentari (Orlando *et al.*, 1994), strappati dal substrato durante la risalita del magma (Tav. IIIc). Noduli mantellici e xenoliti crostali sono facilmente osservabili nel materiale lavico con cui è stato costruito il castello di Torre Alfina.

Di poco più antico (ca. 1.3 Ma) e poco più a nord di Torre Alfina si trova il vulcano mo-

nogenico di Radicofani, del quale oggi è rimasto solo la porzione del camino vulcanico e alcune colate laviche, oramai smembrate a causa dell'acclività e della natura argillitica del substrato (Innocenti, 1967). Le rocce hanno una composizione prevalentemente *andesitico basaltica* con termini ricchi in potassio (*shoshonitici*) passando verso la porzione sommitale (Conticelli *et al.*, 2011). Rodolico (1935b) l'aveva definita *andesite olivinica* a causa dell'abbondanza dei fenocristalli di olivina che talvolta, nei termini meno ricchi in potassio, sono affiancati da fenocristalli di plagioclasio, immersi in una massa di fondo composta da clinopirosseno, plagioclasio, Ti-magnetite e raro ortopirosseno.

A pochi chilometri ad ovest di Radicofani si ritrovano le rocce del Monte Amiata (Fig. 11), vulcano lineare di modeste dimensioni che ha sviluppato la sua attività nel Pleistocene superiore, tra 0.3 e 0.2 Ma (Barberi *et al.*, 1994). I prodotti emessi variano in composizione da *trachidaciti* a due pirosseni a *latiti ad olivina*, passando per *latiti* e *trachiti* (Ferrari *et al.*, 1996). Anche nel caso delle rocce del Monte Amiata, il primo a riconoscerne la loro natura trachitica fu Rodolico (1935a). Le lave del Monte Amiata sono caratterizzate da una elevata viscosità che non ha permesso lo sviluppo di colate laviche estese, favorendo così il loro accumulo attorno al punto di emissione, formando duomi esogeni allineati lungo una direttrice antiappenninica ad an-

rocks is dominated by magnesium-rich brown mica (phlogopite) associated with sanidine, diopside clinopyroxene (extremely poor in aluminium), olivine, K-rich amphibole (K-richterite), Mg-ilmenite and Ti-magnetite with accessory amounts of thorite and perrierite (Cellai *et al.*, 1993).

There is another outcrop of lamproitic rocks at Torre Alfina (VT) (Fig. 11), where a small volcanic apparatus emitted a very small number of lava flows in the Late Pleistocene (0.88 Ma, Nicoletti *et al.*, 1981). The volcanic products present a mineralogy dominated by olivine phenocrysts embedded in a groundmass of aluminium-poor diopside clinopyroxene, sanidine, phlogopite and Mg-ilmenite, which, in some differentiated terms, presents plagioclase and xenocrysts of quartz and cordierite, indicating a process of contamination with crust-derived metamorphic rocks (Conticelli, 1998). Torre Alfina is one of the few Italian outcrops containing mantle-derived peridotite nodules (Conticelli and Peccerillo, 1990) together with a series of metamorphic and sedimentary crust-derived xenoliths (Orlando *et al.*, 1994) torn from the substratum during the magma eruption (Plate IIIc). Mantle-derived nodules and crust-derived xenoliths are easily observable in the lava material used to build the castle of Torre Alfina.

Somewhat older (ca. 1.3 Ma) and a little to the north of Torre Alfina is the monogenetic Radicofani volcano. All that remains of it today are the portion of the volcanic neck and some lava flows, now dismembered because of the steepness and argillitic nature of the substratum (Innocenti, 1967). The rocks have a prevalently *basaltic andesitic* composition with terms rich in potassium (*shoshonitic*) toward the top portion (Conticelli *et al.*, 2011). Rodolico (1935b) called it olivine andesite because of the abundance of olivine phenocrysts; in the terms less rich in potassium, these phenocrysts are sometimes flanked by plagioclase phenocrysts embedded in a groundmass of clinopyroxene, plagioclase, Ti-magnetite and rare orthopyroxene.

A few kilometres west of Radicofani outcrops the volcanic rocks of Monte Amiata (Fig. 11), a small linear volcano active in the Late Pleistocene between 0.3 and 0.2 Ma (Barberi *et al.*, 1994). The extruded products vary in composition from two pyroxenes *trachydacites* to *olivine latites*, passing through *latites* and *trachytes* (Ferrari *et al.*, 1996). Once again, Rodolico (1935a) was the first to recognize the trachytic nature of the Monte Amiata rocks. The high viscosity of the Monte Amiata lavas did not permit the development of extensive lava flows, favouring their



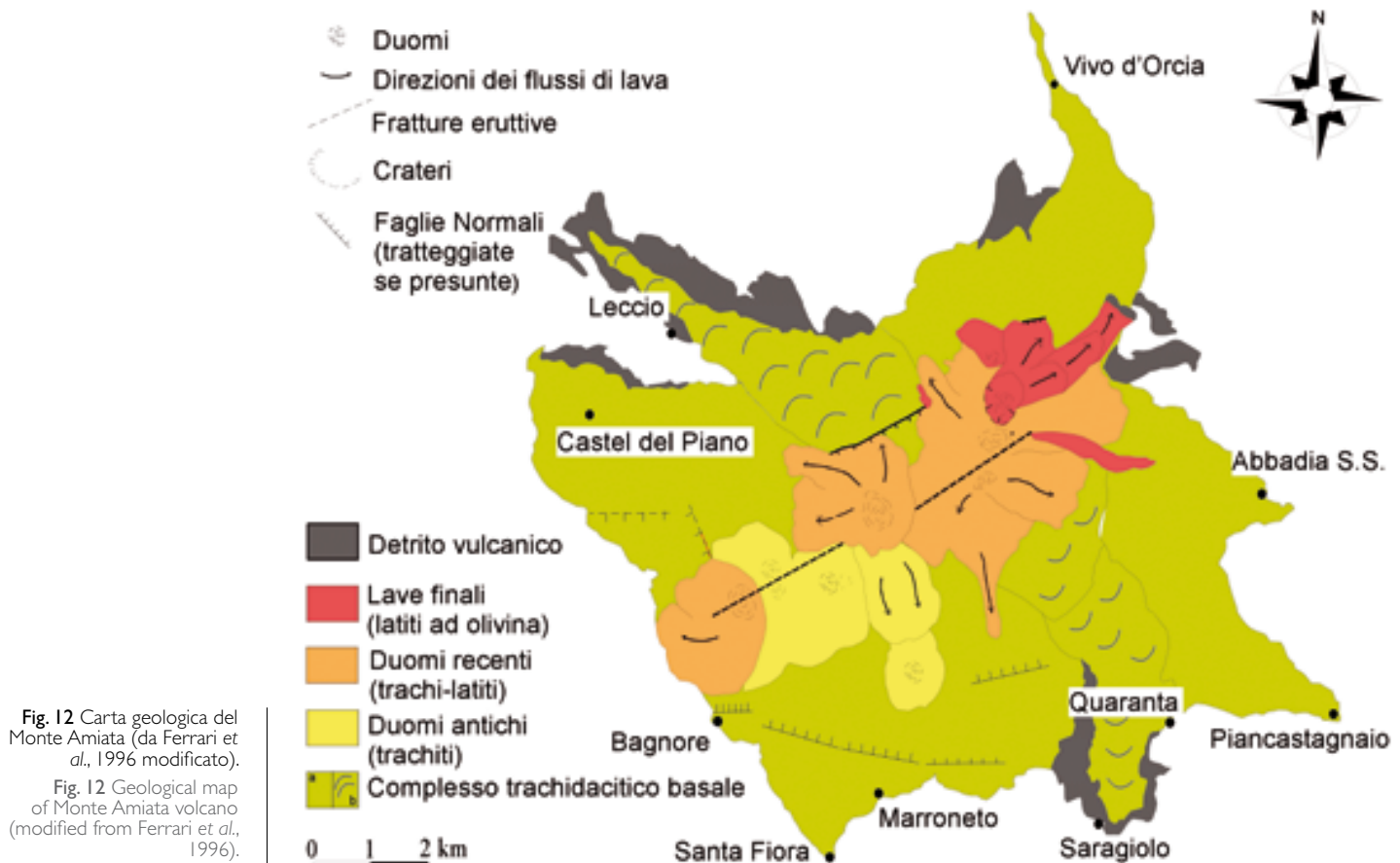


Fig. 12 Carta geologica del Monte Amiata (da Ferrari et al., 1996 modificato).

Fig. 12 Geological map of Monte Amiata volcano (modified from Ferrari et al., 1996).

damento NE-SO (Fig. 12). I duomi si formano in due distinti periodi: durante il primo periodo si genera il complesso trachidacitico basale, in seguito al collasso di un megaduomo esogeno, durante il secondo periodo si forma invece un allineamento di duomi nella parte sommitale del Monte Amiata, messi in posto con una progressione temporale da sud-ovest verso nord-est. L'attività finale è rappresentata da due colate laviche, una fuoriuscita dalla sommità (*lave dell'Ermeta*) e l'altra da una frattura nel fianco nord-est del complesso dei duomi, (*colata delle Macinaie*). Le età radiometriche di queste due colate laviche non si discostano, all'interno

dell'errore analitico, dalle età trovate per le rocce del complesso dei duomi.

Le rocce del complesso trachidacitico basale e dei primi duomi del complesso superiore, che sono le più ricche in silice ( $\text{SiO}_2$ ), presentano cristalli di plagioclasio, sanidino, quest'ultimo talvolta di dimensioni centimetriche, clinopirosseno, ortopirosseno, anfibolo, biotite, Ti-magnetite e sporadicamente da quarzo interstiziale. Nelle lave dei duomi più recenti, che occupano l'estremità nord-orientale dell'allineamento, si osserva la comparsa dell'olivina in equilibrio con il magma. Le *lave dell'Ermeta* mostrano una paragenesi costituita da fenocristalli di olivina, clinopi-

accumulation around the point of extrusion and forming exogenous domes aligned along an anti-Appennine NE-SW direction (Fig. 12). The domes formed in two distinct periods: in the first one, the basal trachydacite complex was generated by the collapse of an exogenous megadome; in the second period, an alignment of domes formed in the top part of Monte Amiata, emplaced in a temporal progression from SW to NE. The final activity is represented by two lava flows, one extruded from the summit (Ermeta flow) and the other from a fracture in the north-eastern side of the dome complex (Macinaie flow). The radiometric age of these two lava flows does not differ (within analytical error) from the ages found for the rocks of the dome complex (Barberi et al., 1994).

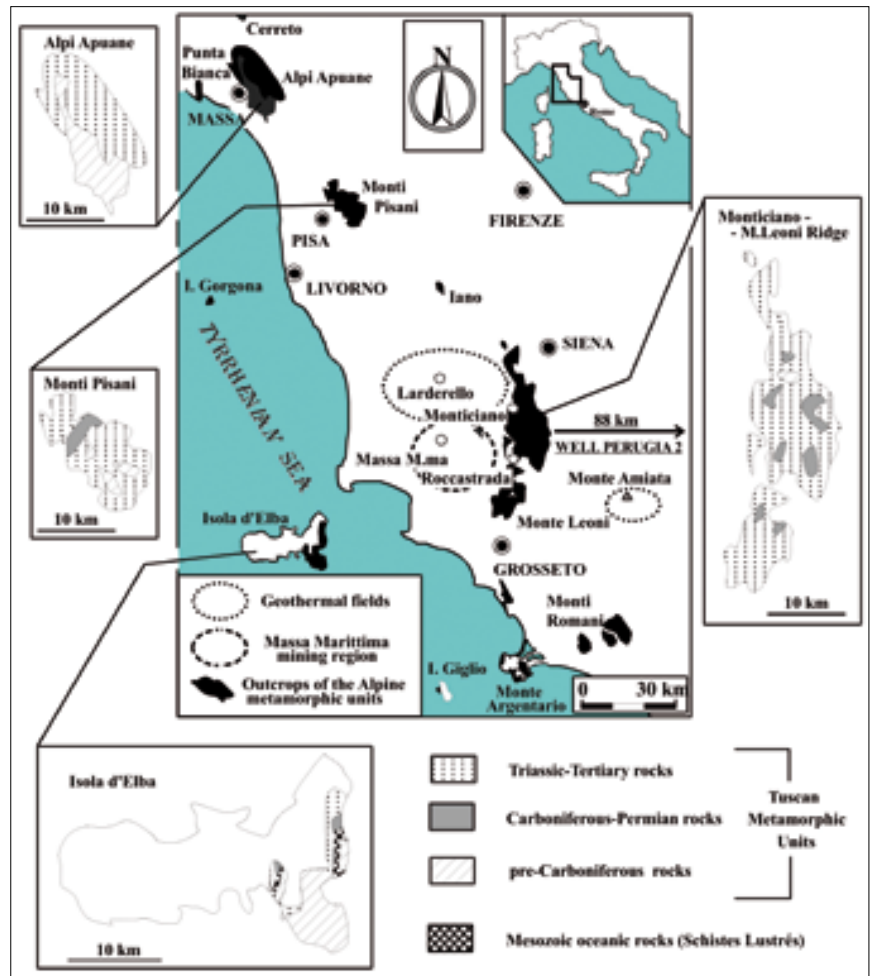
The rocks of the basal trachydacite complex and of the first domes of the upper complex, which are richer in silica ( $\text{SiO}_2$ ), present crystals of plagioclase, sanidine (sometimes centimetres long), clinopyroxene, orthopyroxene, amphibole, biotite, Ti-magnetite and sporadically interstitial quartz. The lavas of the most recent domes, occupying the north-eastern end of the alignment, show the appearance of olivine in equilibrium with the magma. The Ermeta lava flows exhibit a paragenesis consisting of phenocrysts of olivine, clinopyroxene and phlogopite, with subordinate amounts of plagioclase, embedded in a groundmass composed of the same mineralogical phases, while the Macinaie lava flow presents a paragenesis consisting of abundant phenocrysts of plagioclase and subordinately clinopyrox-

rosseno e flogopite, con quantità subordinate di plagioclasio, immersi in una pasta di fondo costituita dalle stesse fasi mineralogiche, mentre la *colata delle Macinaie* presenta una paragenesi composta da abbondanti fenocristalli di plagioclasio e sanidino e subordinatamente di clinopirosseno, immersi in una massa di fondo composta da plagioclasio, clinopirosseno, ossidi di ferro e titanio, e raramente da sanidino (Tav. IIIId) (Ferrari *et al.*, 1996). Nelle zone marginali del Monte Amiata, dove le vulcaniti poggiano sul substrato sedimentario, si ritrovano importanti mineralizzazioni cinabrifere considerate come giacimenti di natura idrotermale legati all'attività magmatica Plio-Pleistocenica della Toscana meridionale (Carobbi e Rodolico, 1976).

### Le rocce metamorfiche

Le rocce metamorfiche sono il prodotto della trasformazione allo stato solido, mantenendo per lo più la composizione chimica, di rocce preesistenti, trasformazione che si realizza in una riorganizzazione strutturale e microstrutturale associata ad un cristallizzazione di nuove paragenesi in equilibrio con le nuove condizioni di pressione e temperatura. In Toscana le rocce metamorfiche sono poco comuni e poco diffuse arealmente (Fig. 13; Franceschelli *et al.*, 2004 e riferimenti ivi riportati).

Le rocce metamorfiche si ritrovano, per la maggior parte, in corrispondenza di particolari strutture tettoniche dette «finestre» che ci permettono di avere in superficie le rocce delle unità geologiche più profonde dell'edificio orogenico (ovvero le Unità Toscane Metamorfiche), come avviene lungo la co-



siddetta dorsale metamorfica medio-toscana (Alpi Apuane, Monti Pisani, Iano, Montagnola Senese, Monti Leoni) e in altri «nuclei» dispersi in Toscana meridionale (es., Boccheggiano, Monti dell'Uccellina, Promontorio del Monte Argentario) e nell'Arcipelago Toscano (Isola d'Elba, Isola del Giglio). Altri affioramenti ancor più limitati sono quelli dei *Calcesisti* con ofioliti o *Schistes Lustrés*, derivanti, come le Unità Liguri, dalla litosfera dell'oceano Ligure-Piemontese. Gli *Schistes Lustrés* sono presenti sul Promontorio del Monte Argentario, all'Isola del Gi-

Fig. 13 Distribuzione delle rocce metamorfiche in Toscana (da Franceschelli *et al.*, 2004 modificato).  
Fig. 13 Distribution of metamorphic rocks in Tuscany (modified from Franceschelli *et al.*, 2004).

ene, embedded in a groundmass of plagioclase, clinopyroxene, iron and titanium oxides, and rarely sanidine (Plate IIIId) (Ferrari *et al.*, 1996). In the marginal zones of Monte Amiata where the volcanic rocks rest on the sedimentary substratum, there are important cinnabar mineralizations considered to be hydrothermal deposits related to the Plio-Pleistocene magmatic activity of southern Tuscany (Carobbi and Rodolico, 1976).

#### Metamorphic Rocks

Metamorphic rocks are formed by transformation of pre-existing rocks in the solid state (maintaining the chemical composition). This transformation causes a structural

and microstructural reorganization associated with crystallization of new parageneses in equilibrium with the new pressure and temperature conditions. In Tuscany, metamorphic rocks are relatively uncommon and not widely distributed (Fig. 13; Franceschelli *et al.*, 2004, and references therein).

The metamorphic rocks are largely found in correspondence to particular tectonic structures called «windows» where deep-seated rocks outcrop. This occurs along the so-called mid-Tuscan metamorphic ridge (Apuan Alps, Monti Pisani, Iano, Montagnola Senese, Monti Leoni) and in other «cores» scattered in southern Tuscany (e.g. Boccheggiano, Monti dell'Uccellina, Monte Argentario promontory) and in the Tuscan Archipelago (Elba Island, Giglio Island).

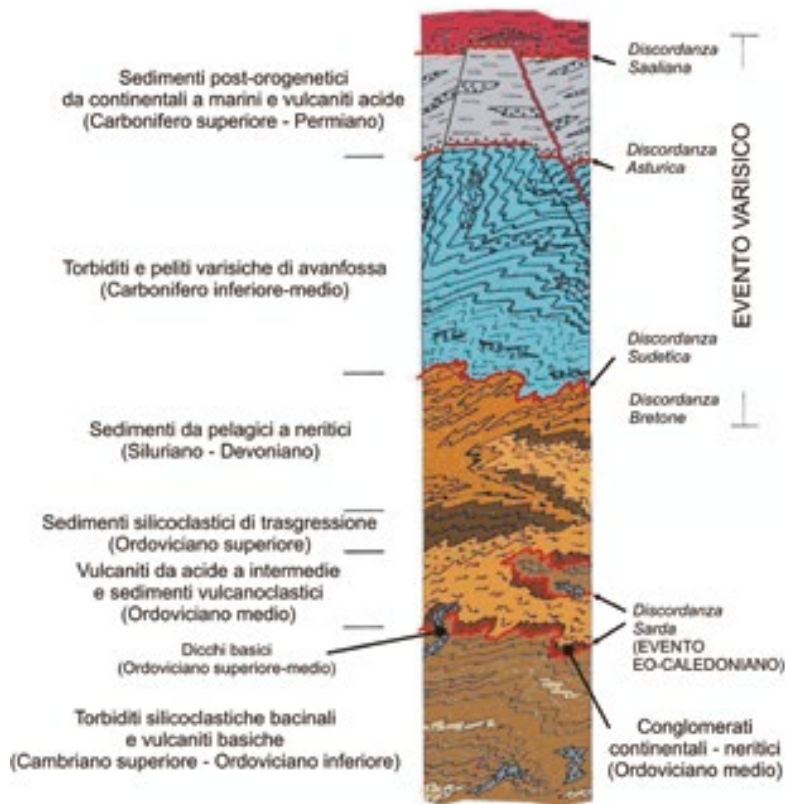


Fig. 14 Colonna stratigrafica della successione paleozoica toscana (da Elter e Pandeli, 1996 modificato).

Fig. 14 Stratigraphic column of the Palaeozoic Tuscan succession (modified from Elter and Pandeli, 1996).

glio, all'Isola d'Elba, e all'Isola di Gorgona, quest'ultima interamente costituita da queste rocce, e sono correlabili con quelli affioranti estesamente nella parte nord-orientale della Corsica (*Schistes Lustrés* della Corsica «Alpina»). Infine, altre rocce metamorfiche (*cornubianiti*) sono presenti attorno ai corpi magmatici plutonici «granitici» nell'Arcipelago Toscano e in Toscana meridionale (Fig. 13).

Other even smaller outcrops are those of the ophiolitic *calc-schists* or *Schistes Lustrés* deriving, like the Ligurian Units, from the lithosphere of the Ligurian-Piedmontese Ocean interposed between the Adria plate and the European plate during the Mesozoic. The *Schistes Lustrés* are present on the Monte Argentario promontory, Giglio Island, Elba Island and Gorgona Island, the last consisting entirely of these rocks. They can be correlated with the rocks widely cropping out in the north-eastern part of Corsica (*Schistes Lustrés* of «Alpine» Corsica). Finally, other metamorphic rocks (*cornubianites*) are present around the «granitic» plutonic magmatic bodies in the Tuscan Archipelago and in southern Tuscany (Fig. 13).

The Tuscan Metamorphic Units and *cornubianites* are also present in southern Tuscany, as demonstrated by mineralogical studies in the Massa Marittima area and in the geothermal fields of Larderello-Travale and Monte Amiata (Elter and Pandeli, 1991; Pandeli *et al.*, 1994; Bertini *et al.*, 2006).

Le Unità Toscane Metamorfiche e le *cornubianiti* sono presenti anche nel sottosuolo della Toscana meridionale, come testimoniato da studi mineralogici nella zona di Massa Marittima e nelle aree geotermiche dei campi di Larderello-Travale e del Monte Amiata (Elter e Pandeli, 1991; Pandeli *et al.*, 1994; Bertini *et al.*, 2006).

### Unità Toscane Metamorfiche

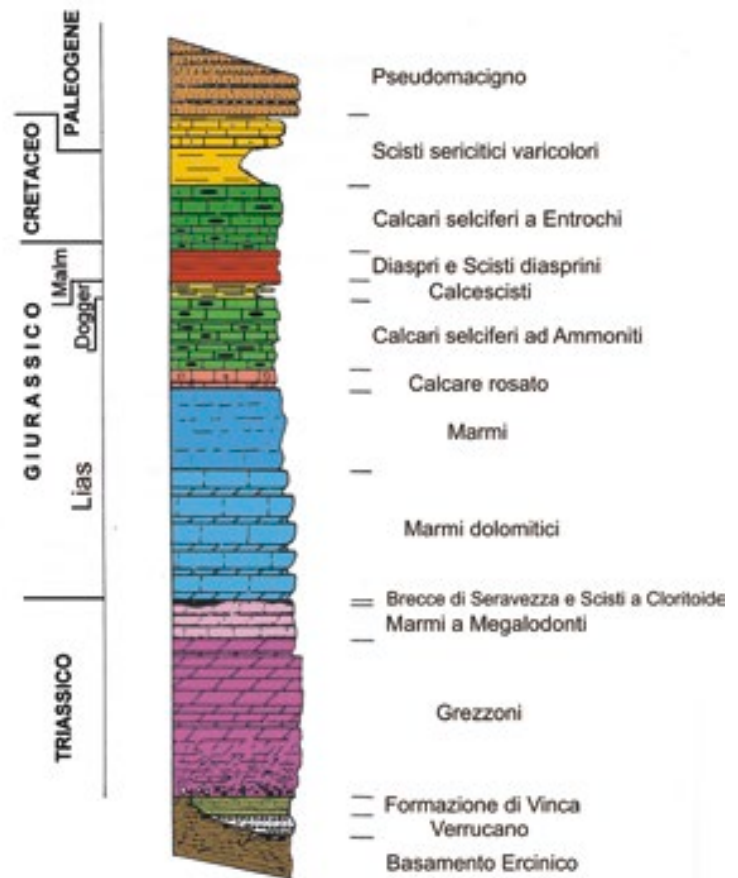
Il metamorfismo polifasico tradizionalmente di tipo regionale in facies di Scisti Verdi (basso grado metamorfico) che impronta queste rocce scistose, è legato al sottoscorrimento del settore toscano del margine continentale adriatico durante l'Oligocene-Miocene medio, in concomitanza con la creazione dell'edificio orogenico appenninico. I dati termici e barometrici ottenuti dai minerali metamorfici (sericite-muscovite, clorite, albite, epidoto, tremolite-actinolite) testimoniano il loro seppellimento a profondità generalmente di 10-12 km, ma talora anche fino a oltre 20 km (per la locale presenza di cianite e di carpholite) e con temperature di picco fino a circa 480°C (Franceschelli *et al.*, 2004). Le successioni delle Unità Toscane Metamorfiche rappresentano un frammento di crosta continentale costituito da un «basamento» cristallino antico (paleozoico-prepaleozoico) e dalle soprastanti formazioni di copertura di età permo-carbonifera e triassico-oligocenica (Pandeli *et al.*, 1994; Pandeli, 2002) (Fig. 14), queste ultime in larga parte corrispondenti a quelle già descritte della Falda Toscana. Il «basamento»

### Tuscan Metamorphic Units

The traditionally regional type of multiphase metamorphism in greenschist facies (low metamorphic degree) that marks these schistose rocks is related to the subduction of the Tuscan sector of the Adriatic continental margin during the Middle Oligocene-Miocene, in concomitance with the creation of the Apennine chain. The thermal and barometric data obtained from the metamorphic minerals that make up these rocks (sericite-muscovite, chlorite, albite, epidote, tremolite-actinolite) indicate their burial at generally 10-12 km depths, but sometimes also more than 20 km deep (for the local presence of kyanite and carpholite) and with peak temperatures up to ca. 480°C (Franceschelli *et al.*, 2004). The successions of the Tuscan Metamorphic Units represent a fragment of continental crust consisting of an ancient crystalline «basement» (Palaeozoic-pre-Palaeozoic) and the overlying cover formations of Permo-



toscano (Fig. 14), in larga parte correlabile con le unità cambriano superiori-devoniane della Sardegna centrale (Conti *et al.*, 1991; Pandeli *et al.*, 1994), include formazioni filladico-quarzitiche-metarenacee (es. *Quarziti e filladi inferiori*, *Quarziti e filladi listate di Buti*) (Tav. IVa), filladico-carbonatiche-diasprine (es. *Filladi grafitose con calcari ad Orthoceras*, *Calcari nodulari di Retignano*) e metavulcaniti acide-intermedie (*Porfiroidi*). All'Isola d'Elba e al Passo del Cerreto (a nord-est delle Alpi Apuane) affiorano anche micascisti a granato con livelli di orto-anfiboliti ad orneblenda. Queste rocce conservano spesso relitti mineralogici e tessiturali (scistosità) precedenti agli eventi di ricristallizzazione di età alpina, che sono stati attribuiti al metamorfismo regionale di medio e basso grado occorso durante l'orogenesi varisca ed in particolare all'evento tettono-metamorfico sudetico del Carbonifero inferiore (Conti *et al.*, 1991; Pandeli *et al.*, 1994). Ad eccezione del nucleo apuano, nelle altre successioni sono spesso conservate anche le unità filladico-metarenacee continentali e marine grafitose riccamente fossilifere del Carbonifero-Permiano inferiore (es. *Scisti di S. Lorenzo*, *Scisti di Rio Marina*, *Arenarie e Scisti di Iano*) e talora anche quelle continentali in clima sub-arido del Permiano medio-Superiore (es. *Brecce e conglomerati di Asciano e di Torri*, *Arenarie Rosse di Castelnuovo*). Su queste ultime unità o direttamente sul «basamento» paleozoico poggiano stratigraficamente le formazioni del ciclo sedimentario alpino triassico-oligocenico (Fig. 15) con, alla base, i depositi silicoclastici continen-



tali e costieri del *Verrucano* triassico, che prendono il nome dal toponimo del castello della Verruca (nei pressi di Oliveto Terme sui Monti Pisani) e che sono caratterizzati dalle tipiche *anageniti*, ovvero metaconglomerati quarzosi con clasti di quarzo bianco e rosa, e da locali orizzonti di *prasiniti* derivanti da metavulcaniti basiche. Successivamente si passa alle formazioni metacarbonatiche di mare sottile, triassico superiori-giurassiche

Fig. 15 Colonna stratigrafica della successione mesozoico-terziaria del Nucleo Apuano (da Coli e Pandeli, 1992 modificato).

Fig. 15 Stratigraphic column of the Mesozoic-Tertiary succession of the Apuan cores (modified from Coli and Pandeli, 1992).

Carboniferous and Triassic-Oligocene age (Pandeli *et al.*, 1994; Pandeli, 2002) (Fig. 14); these cover formations largely correspond to those of the Tuscan Nappe described above. The Tuscan «basement» (Fig. 14), largely correlated with the Late Cambrian-Devonian units of central Sardinia (Conti *et al.*, 1991; Pandeli *et al.*, 1994), includes phyllite-quartzite-metasandstone (e.g. *Quarziti e filladi inferiori*, *Quarziti e filladi listate di Buti*) (Plate IVa), phyllite-carbonate cherts (e.g. *Filladi grafitose con calcari ad Orthoceras*, *Calcari nodulari di Retignano*) and acidic-intermediate metavulcanite (*Porfiroidi*) formations. Garnet mica schists with levels of hornblende ortho-amphibolites also crop out on Elba Island and at Cerreto pass (north-east of the Apuan Alps). These rocks often conserve mineralogical and textural relics (schistosity) preceding the crystallization events of Alpine age, which have been attributed to the medium and low degree regional metamorphism that occurred during the Variscan orogeny, and particularly the Sudetic tectono-

metamorphic event of the Early Carboniferous (Conti *et al.*, 1991; Pandeli *et al.*, 1994). With the exception of the Apuan core, the other successions also often contain the richly fossiliferous graphite-bearing continental and marine phyllite-metasandstone units of the Early Carboniferous-Permian (e.g. *Scisti di S. Lorenzo*, *Scisti di Rio Marina*, *Arenarie e Scisti di Iano*) and sometimes also the sub-arid climate continental units of the Middle-Late Permian (e.g. *Brecce e conglomerati di Asciano e di Torri*, *Arenarie Rosse di Castelnuovo*). The formations of the Triassic-Oligocene Alpine sedimentary cycle rest stratigraphically on the last unit or directly on the Palaeozoic «basement» (Fig. 15). At the base are the continental and coastal silicoclastic deposits of the Triassic *Verrucano*, which take their name from the castle of Verruca (near Oliveto Terme in the Monti Pisani); they are characterized by the typical *anagenites*, i.e. quartz metaconglomerates with white and pink quartz clasts, and by local horizons of *prasinites* deriving from basic metavul-



a



b

**Tavola IV.** a: campione di fillade, roccia caratteristica del «basamento» toscano di età presumibilmente cambriana superiore-devoniana; b: cristalli di wurtzite su marmo proveniente dalla Cava Canalini, Val Pulita, Torano (Alpi Apuane, MS) visibile in esposizione presso la sezione di Mineralogia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze.

**Plate IV.** a: late Cambrian-Devonian age phyllite rock sample from the tuscan metamorphic «basements»; b: wurtzite crystals on marble from the Cava Canalini, Val Pulita (Torano, Alpi Apuane, MS) displayed in the Mineralogy section of the Museum of Natural History of the University of Florence.

inferiori (*Grezzoni*, *Marmi*) e a quelle pelagiche filladico-marmoree-calcescistose e silicee del Giurassico medio-Oligocene Inferiore e infine alla formazione metarenacea dello *Pseudomacigno* oligocenico che chiude la successione. Gli affioramenti di Verrucano triassico del versante occidentale delle Alpi Apuane (Unità di Massa) possono contenere cristalli di cianite (Bonatti, 1938; Franceschelli *et al.*, 2004). Le formazioni marmoree mesozoiche sono senz'altro quelle più note ed utilizzate da tempo immemorabile anche per le loro variabilità cromatiche (Bonatti, 1938). Nel nucleo apuano vengono cavate le varietà «nero di Colonnata», bianco «statuario», grigio «bardiglio», «venati», «nuvolato», «cipollini variegati e arabescati», «calacata» e «broccatello» (metabrecce calcaree), mentre sulla Montagnola Senese è famoso il «marmo giallo di Siena». Tra i *Grezzoni* e *Marmi* dolomitici è localmente presente il tipico orizzonte degli *Scisti a cloritoide* (o ottrelite) e la pregiata «*Breccia Medicea o di Seravezza*». All'interno di vene e cavità nei marmi, ma anche nelle rocce paleozoiche, possono localmente essere presenti vari tipi di mineralizzazioni, ben note ai collezionisti, quali quarzo, dolomite, solfuri metallici (es. tetraedrite, stibina, calcopirite, sfalerite, pirite, galena), ossidi di ferro (magnetite, ematite), barite, fluorite, wurtzite, (Tav. IVb) (Orlandi e Franzini, 1994; Orlandi e

canites. Above them are the Late Triassic-Early Jurassic shallow-sea metacarbonate formations (*Grezzoni*, *Marmi*), the pelagic phyllite-marble-calc-schist and silica formations of the Middle Jurassic-Early Oligocene, and finally the Oligocene *Pseudomacigno* metasandstone formation, which closes the succession. The Triassic Verrucano outcrops on the western side of the Apuan Alps (Massa Unit) can contain kyanite crystals (Bonatti, 1938; Franceschelli *et al.*, 2004). The Mesozoic marble formations are undoubtedly the best known ones and have been used from time immemorial because of their chromatic variability (Bonatti, 1938). The Apuan core yields the varieties «nero di Colonnata», «statuario» white, «bardiglio» grey, «venati», «nuvolato», «cipollini variegati» and «arabescati», «calacata» and «broccatello» (calcareous metabrecias), whereas the Montagnola Senese is famous for the «marmo giallo di Siena». The typical *Scisti a cloritoide* horizon (or «ottrelite») and the precious *Breccia Medicea o di Seravezza* are locally present between the dolomitic *Grezzoni* and *Marmi* forma-

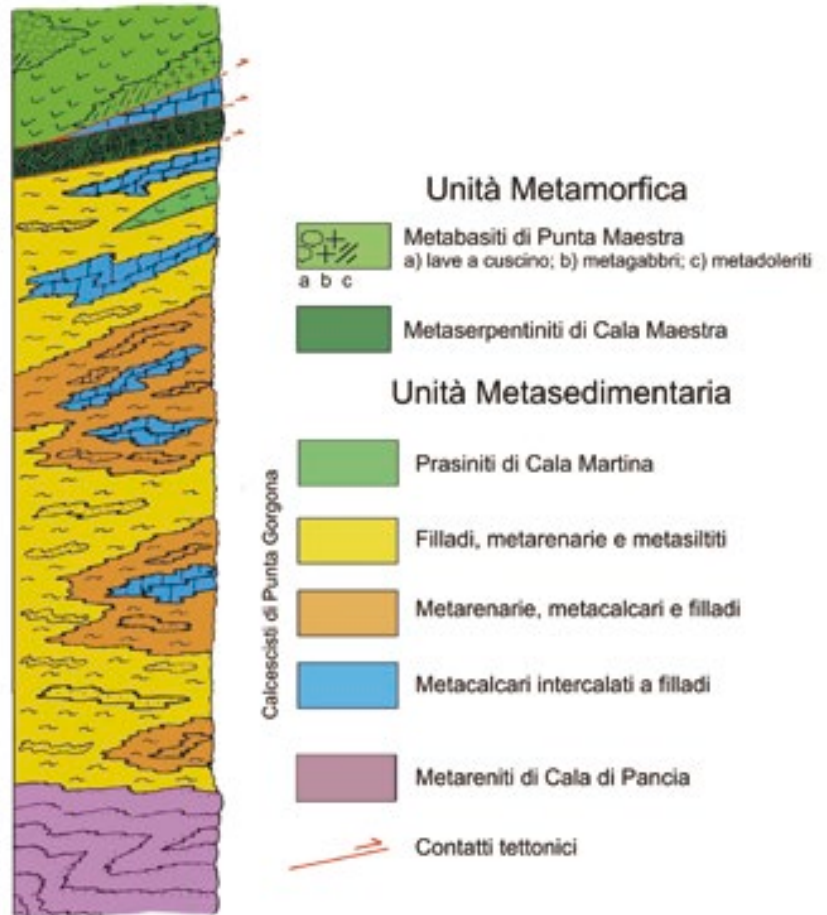


Bellè, 2002). Anche lo Pseudomacigno viene localmente cavato ed è noto come «*Pietra di Cardoso*» utilizzata nell'edilizia e per scopi ornamentali.

Infine, nel sottosuolo dell'area geotermica di Larderello-Travale, i sondaggi hanno raggiunto, al di sotto dei *Micascisti a granato*, il *Complesso degli Gneiss* costituito da gneiss con livelli di ortogneiss ed orto-anfiboliti, caratterizzati dalla sola strutturazione tettono-metamorfica di medio-alto grado e termica varisica (Elter e Pandeli, 1993).

### Calcescisti con ofioliti o Schistes Lustrés

Queste successioni rappresentano porzioni di litosfera oceanica che sono state subdotte al di sotto del margine attivo europeo durante la chiusura cretaceo-eocenica dell'oceano ligure-piemontese. Durante questi eventi hanno acquisito un tipico metamorfismo di alta pressione e bassa temperatura in facies di Scisti Blu che testimonia il loro seppellimento fino a profondità di circa 50 km, con temperature di picco fino a circa 370°C (Franceschelli *et al.*, 2004). Le rocce che costituiscono queste successioni (Fig. 16) includono un «basamento» ofiolitico con serpentiniti ad antigorite e corpi di metagabbri intrusi da filoni di metabasalti. Questi ultimi, assieme ai soprastanti metabasalti sottomarini, presentano spesso le tipiche blastesi di alta pressione ad anfibolo blu (glaucofane, riebeckite, crossite) e, talora, anche a lawsonite e/o carpholite, come all'Isola di Gorgona



(Orti *et al.*, 2002), che di regola presentano ricristallizzazioni tardive in minerali della facies a Scisti Verdi. Le coperture sedimentarie, spesso scollate tettonicamente rispetto al proprio «basamento» ofiolitico che talora le sovrascorre (e.g., nell'Isola di Gorgona e nell'Isola d'Elba), sono state trasformate dal metamorfismo in complessi filladici varicolori con orizzonti di marmi, calcescisti e di mi-

Fig. 16 Schema stratigrafico-structurale dei Calcescisti con ofioliti o Schistes Lustrés dell'Isola di Gorgona (Orti *et al.*, 2002 modificato).

Fig. 16 Stratigraphic-structural scheme of the «ophiolitic calc-schists or Schistes Lustrés» of Gorgona Island (modified from Orti *et al.*, 2002).

tions. Various types of mineralizations well known to collectors can be locally present inside veins and cavities in the marbles but also in the Palaeozoic rocks, including quartz, dolomite, metallic sulphides (e.g. tetrahedrite, stibnite, chalcocopyrite, sphalerite, pyrite, galena), iron oxides (magnetite, hematite), barite, fluorite, wurtzite (Plate IVb) (Orlandi and Franzini, 1994; Orlandi and Bellè, 2002). Pseudomacigno is also quarried locally and is known as «*Pietra di Cardoso*», used in construction and for ornamental purposes.

Finally, drillings in the Larderello-Travale geothermal area reached the *Gneiss Complex* below the *Garnet-bearing micaschists*. It consists of gneiss with levels of orthogneiss and ortho-amphibolites, characterized only by Variscan medium-high degree metamorphic imprint (Elter and Pandeli, 1993).

### Ophiolites with calc-schists or Schistes Lustrés

These successions represent portions of oceanic lithosphere (upper mantle and ocean crust) that were subducted below the European active margin (Corsican margin)

during the Cretaceous-Eocene closure of the Ligurian-Piedmontese Ocean. During these events, they acquired a typical high-pressure, low-temperature metamorphism into blueschist facies, testimony of their burial up ca. 50 km deep, with peak temperatures of ca. 370°C (Franceschelli *et al.*, 2004). The rocks making up these successions (Fig. 16) include an ophiolitic «basement» with antigorite serpentinites and metagabbro bodies intruded by metabasalt dykes. The latter, together with the overlying submarine metabasalts, often present typical high-pressure blasteses with blue amphibole (glaucofane, riebeckite, crossite) and sometimes also with lawsonite and/or carpholite, as on Gorgona Island (Orti *et al.*, 2002), which usually present late recrystallizations into greenschist facies minerals. The sedimentary covers, often tectonically detached with respect to their ophiolitic «basement» that sometimes overthrusts them (e.g. on the islands of Gorgona and Elba), were transformed by metamorphism into varicoloured phyllite complexes with horizons of marbles, calc-schists and microquartzites (metaradiolarites), as in the *Cala Grande Unit* on the Monte Argentario promontory (Elter



croquarziti (metaradiolariti), come nell'*Unità di Cala Grande* sul promontorio del Monte Argentario (Elter e Pandeli, 2002), mentre all'Isola d'Elba (*Unità dell'Acquadolce*) e all'Isola di Gorgona (Orti *et al.*, 2002) sono presenti in larga parte filladi e metasiltiti grigio-verdastre fino a nerastre, con orizzonti da decimetrici a pluridecametrici di marmi e calcescisti e di metarenarie feldspatiche (es. le *Arenarie di Cala di Pancia* dell'Isola di Gorgona in Fig. 16).

### Cornubianiti

Si tratta di rocce che caratterizzano le aureole termometamorfiche, con spessori fino ad oltre 500 metri, legate alle intrusioni di corpi plutonici del Miocene superiore-Pliocene nella parte più occidentale della catena appenninica, per effetto del forte assottigliamento crostale legato alla tettonica distensiva post-orogena. La risalita e messa in posto di questi corpi magmatici fino a relative basse profondità (3-4 km) ha prodotto nelle rocce incassanti, generalmente di tipo toscano, ma anche ligure (es. l'aureola del Monte Capanne all'Isola d'Elba), svariate associazioni mineralogiche in funzione della composizione delle rocce originarie e della distanza di queste dalla massa plutonica (Barberi e Innocenti, 1965). Per esempio, nel caso di rocce argillose-silicoclastiche, si passa da «*scisti macchiettati*» a biotite e andalusite,

nella parte più esterna dell'aureola, a *cornubianiti a pirosseno* in quella più interna (associato a cordierite, feldspato potassico, sillimanite e, in prossimità del contatto, anche corindone). I litotipi carbonatici ricristallizzano formando i *marmi*, ma, per effetto dei fluidi silicatici di derivazione magmatica, possono essere anche trasformati, per intero o in parte, nei cosiddetti *skarn*, caratterizzati dalla blastesi di granato, wollastonite, pirosseno, vesuviana, scapolite calcica e/o dar luogo a concentrazioni di minerali metallici (es. i giacimenti a magnetite di Capo Calamita all'Isola d'Elba). Le rocce serpentinitiche, gabbriiche e basaltiche liguri sono state invece trasformate in anfiboliti ad orneblenda e tremolite talora con talco. Nelle *serpentiniti* prossime al contatto con il plutone è invece tipica la cristallizzazione di olivina.

### Considerazioni conclusive

In Toscana sono presenti numerosi tipi di rocce che per le loro caratteristiche rappresentano delle geodiversità litologiche che meritano di essere ricordate per la loro utilizzazione, per l'importanza nello sviluppo degli insediamenti urbani e per la loro rarità. Tra queste ultime sono certamente da ricordare le rocce ultrapotassiche (*minette e lamproiti*) di Montecatini val di Cecina e Orciatice (PI) che rappresentano una unicità nel quadro delle rocce magmatiche italiane. Inoltre Tor-

and Pandeli, 2002). On Elba Island (*Acquadolce Unit*) and on Gorgona Island (Orti *et al.*, 2002), there are largely phylites and greenish-grey to blackish metasiltites, with decimetre to multi-decametre thick horizons of marbles and calc-schists and of feldspar metasandstones (e.g. *Arenarie di Cala di Pancia* of Gorgona Island in Fig. 16).

### Cornubianites

These rocks characterize thermometamorphic aureoles, with thicknesses up to more than 500 metres, related to pluton body intrusions of the Late Miocene-Pliocene in the westernmost part of the Apennine chain, caused by strong crustal thinning linked to post-orogeny distensive tectonics. The rise and emplacement of these magma bodies to relatively shallow depths (3-4 km) produced various mineralogical associations in the country rocks, generally of Tuscan type but also Ligurian (e.g. the Monte Capanne aureole on Elba Island), according to the composition of the original rocks and their distance from the plutonic mass (Barberi and Innocenti, 1965). For example, in the case of clayey-silicoclastic rocks, we pass from biotite and andalusite «*spotted schists*» in the most external part of the aureole to *pyroxene cornubianites* (associated with cordier-

ite, potassic feldspar, sillimanite and, near the contact, also corundum). The carbonate lithotypes recrystallized to form *marbles*; however, by the effect of magma-derived silicate fluids, they could also be fully or partly transformed into so-called *skarns* (characterized by blasteses of garnet, wollastonite, pyroxene, vesuvianite, calcic scapolite) and/or give rise to concentrations of metallic minerals (e.g. the magnetite deposits of Calamita mine on Elba Island). The Ligurian serpentinitic, gabbriic and basaltic rocks were transformed into hornblende amphibolites and tremolite, sometimes with talc. Instead, olivine crystallization is typical in the serpentinites near the contact with the pluton.

### Concluding remarks

There are numerous types of rocks in Tuscany. On account of their characteristics, they represent lithological geodiversities that deserve consideration because of their important uses in the development of urban settlements or because of their rarity. The rare types include the ultrapotassic rocks (*minettes* and *lamproites*) of Montecatini Val di Cecina and Orciatice (Pisa), which are unique among Italian magmatic rocks. Moreover, Torre Alfina, on the border between Tuscany and Latium, is one of the few Italian

re Alfina, che si trova al confine tra Toscana e Lazio, è una delle poche località italiane dove le lave lamproitiche del piccolo apparato vulcanico contengono noduli mantellici peridotitici, insieme a una serie di xenoliti crostali strappati dal substrato durante la risalita del magma. Le lave di Capraia, Radicofani e del Monte Amiata, per le loro caratteristiche chimiche e mineralogiche uniche, hanno suscitato l'interesse di numerosi ricercatori per loro caratteristiche «ibride» che hanno fatto ipotizzare alternativamente ad una genesi i) per interazione tra magmi di origine profonda, generatisi nel mantello, e contaminazioni con la crosta o magmi crostali, oppure ii) attraverso fusione crostale di un mantello terrestre fortemente eterogeneo in seguito a riciclaggio di sedimenti attraverso la subduzione (Avanzinelli *et al.*, 2009).

I «graniti» s.l. rappresentano una presenza importante formando l'ossatura delle principali isole dell'arcipelago toscano (Montecristo, Elba e Giglio). All'Isola d'Elba, legati al raffreddamento del corpo intrusivo, si ritrovano giacimenti di minerali utili e pegmatiti ricche in magnifici esemplari di minerali. Il bordo dell'intrusione è caratterizzato da grandi cristalli di ortoclasio, come in località S.Andrea, e da rocce metamorfiche di contatto (*cornubianiti*) che hanno prodotto tipi litologici molto caratteristici e rari nel contesto italiano come quelle che hanno interessato le *serpentiniti*.

Le rocce metamorfiche, pur non essendo molto diffuse, hanno nelle Alpi Apuane il loro massimo sviluppo. Esse rappresentano fin dall'antichità una zona di sfruttamento dei marmi, tra i quali, unico per bellezza e purezza è lo «statuario» che deriva dal metamorfismo del *Calcare Massiccio*.

Le rocce sedimentarie, costituiscono i tipi litologici più diffusi in Toscana rappresentati dalle rocce della Falda Toscana, dalle Unità Liguri (sovrascorse durante l'orogenesi Appenninica sui terreni della Falda Toscana), e infine i sedimenti del ciclo neoautoctono nella Toscana occidentale. Rodolico (1953) nella opera maggiore «*Le Pietre delle Città d'Italia*» riporta che nell'Appennino settentrionale «predomina la formazione Eo-Miocenica del macigno [...]», ma forse questa affermazione appare non veritiera data la presenza d'altri estesi complessi di rocce. Tra questi cita l'*Alberese* e la *Pietraforte* «calcare arenaceo che col macigno viene troppo avvicinato e confuso». In due capitoli del suo libro (capitolo IV e V) Rodolico (1953) ripercorre la storia dell'uso di queste rocce sedimentarie oltre ad altre, quale il *Calcare Cavernoso*, il *Rosso Ammonitico*, i travertini ed i marmi Apuani e della Montagnola Senese nelle città storiche della Toscana. Un saggio, quello di Rodolico (1953), che valorizza attraverso la ricerca storiografica l'importanza delle rocce nello sviluppo della civiltà ed in particolare del Medioevo e del Rinascimento.

localities where the lamproite lavas of the small volcanic apparatus contain mantle-derived peridotite nodules together with a series of crust-derived xenoliths torn from the substratum during the rise of the magma. Because of their unique chemical and mineralogical characteristics, the lavas of Capraia, Radicofani and Monte Amiata have aroused the interest of several researchers. Indeed, their «hybrid» characteristics have suggested a genesis i) by the interaction between magmas of deep origin, generated in the mantle, and contaminations with the crust or crust-derived magmas, or ii) by crustal melting of a strongly heterogeneous mantle due to recycling of sediments through subduction (Avanzinelli *et al.*, 2009).

Granites s.l. are important since they form the skeleton of the principal islands of the Tuscan archipelago (Montecristo, Elba and Giglio). Elba Island contains deposits of economically useful minerals and pegmatites rich in magnificent mineral specimens, linked to cooling of the intrusive body. The edge of the intrusion is characterized by large orthoclase crystals, as at S. Andrea, and by contact rocks (cornubianites) that have produced very characteristic lithological types that are rare in Italy, such as those involving the serpentinites.

Metamorphic rocks, albeit not very diffuse, show maximum development in the Apuan Alps. The marbles of this

area have been extracted since antiquity, including the uniquely beautiful and pure «statuario» type derived from metamorphism of *Calcare Massiccio*.

Sedimentary rocks constitute the most widespread lithotypes in Tuscany, represented by the rocks of the Tuscan Nappe, by the Ligurian Units (thrust on the Tuscan Nappe terranes during the Apennine orogeny), and finally the sediments of the neo-autochthonous cycle in western Tuscany. In his major work *Le Pietre delle Città d'Italia*, Rodolico (1953) reported that «the Eo-Miocene Macigno formation predominates [...]» in the northern Apennines, although perhaps this statement appears untrue given the presence of other extensive rock complexes. Among them, he cited Alberese and Pietraforte, «arenaceous limestone which is too easily mistaken and confused with macigno». In two chapters of his book (IV and V), Rodolico (1953) outlined the history of the use of these sedimentary rocks and others such as *Calcare Cavernoso*, *Red Ammonitic Limestone*, travertines and marbles of the Apuan Alps and Montagnola Senese in the historical cities of Tuscany. Through historiographic research, this book by Rodolico (1953) documents the importance of these rocks in the development of civilization, particularly during the Middle Ages and the Renaissance.