

# ITINERARIO GEOLOGICO: LA CAVA DI MASSIGNANO

## GEOLOGICAL ITINERARY: THE MASSIGNANO QUARRY



La Geologia e la Paleontologia al servizio dei Parchi, delle Riserve Naturali e delle Comunità Montane

PARCO DEL CONERO

### Stop 1

#### LE ROCCE SEDIMENTARIE: UNA GUIDA NEL PASSATO

Se fossimo stati in questo luogo 33 milioni di anni fa, ci saremmo trovati sul fondo del mare, a circa 1000-1500 metri di profondità. Questi strati di roccia rappresentano, infatti, un fango marino costituito prevalentemente da carbonato di calcio con una minore quantità di argilla. Trenta milioni di anni più tardi, durante l'orogènesi dell'Appennino, forze tettoniche compressive deformato la crosta terrestre coinvolgendo la pila di sedimenti marini che, piegandosi e fagliandosi, emerse dalle acque del mare per formare gli odierni rilievi montuosi.

#### I SEDIMENTI SI ACCUMULARONO...

La componente calcarea di queste rocce sedimentarie è costituita da gusci di organismi microscopici. Le parti dure mineralizzate di microalghe planctoniche (coccolitoforidi) e di altri microrganismi planctonici e bentonici (foraminiferi, dinoflagellate, ostracodi) si depositarono, al termine del loro ciclo vitale, sul fondo marino formando un fango carbonatico. Oltre a quest'accumulo organico, una certa quantità di argilla e di silt di origine continentale trasportata dal vento e dalle correnti marine raggiungeva il mare aperto aggiungendosi ai sedimenti calcarei di origine organica.

#### ...E DIVENTARONO ROCCIA

In seguito alla lenta cementazione e compattazione, il sediment carbonatico si trasformò in calcare. Il calcare, dunque, può contenere una certa quantità di argilla. Un calcare ricco di argilla viene denominato *marna*; si tratta di una roccia relativamente più soffice del calcare puro e perciò meno resistente all'erosione. L'elevata percentuale (30%) di argilla rende scagliosa e facilmente erodibili le rocce di quest'affioramento. L'alternanza di strati più o meno marnosi, e quindi più o meno erodibili, evidenzia una stratificazione ritmica.

#### INDIZI DI UN AMBIENTE SCOMPARSO

La stratificazione dei sedimenti è il risultato di cambiamenti dell'ambiente marino nel quale essi si depositarono. La stratificazione di quest'affioramento potrebbe riflettere variazioni climatiche che controllavano la produttività del plancton. L'alternanza di calcari più o meno marnosi varia, infatti, in funzione dell'abbondanza del plancton rispetto all'afflusso, più o meno costante, di argilla terrestre nel bacino.

#### CHE COSA COLORA LE ROCCE?

Piccolissime particelle minerali danno il colore alla roccia. Il colore di alcuni elementi e di alcuni minerali varia secondo il loro stato di ossidazione. Ad esempio, il ferro, elemento comune nelle rocce sedimentarie, può presentare diverse colorazioni.

•Σ A contatto con l'ossigeno, il ferro diventa ematite. Tracce di questo minerale conferiscono alla roccia una colorazione rosata o rossastra.

•Σ In un ambiente meno ossidante, il ferro si combina con l'ossigeno per formare la magnetite. Tracce di questo minerale fanno assumere alla roccia una colorazione grigiastro.

•Σ Condizioni scarsamente ossidanti facilitano la preservazione della materia organica. Tracce di carbone e di minerali di ferro non ossidati conferiscono al sedimentò una colorazione scura o addirittura nera.

Gli strati di colore rosato che affiorano sulla destra di questa cava sottostanno stratigraficamente agli strati di colore grigio visibili sulla sinistra. Essi sono quindi più antichi di questi ultimi. Il cambiamento di colore, dal rosa al grigio, di queste rocce sedimentarie indica che l'ambiente marino profondo è diventato, nel tempo, meno ossidante. I geologi distinguono queste formazioni rocciose secondo la loro litologia, colorazione, o struttura: la formazione scagliosa con evidenti bande rosate è chiamata Scaglia Variegata mentre la sovrastante formazione di colore grigio è chiamata Scaglia Cinerea.

#### EVENTI GEOLOGICI AL LIMITE EOCENE/OLIGOCENE

Queste formazioni si sono depositate tra la fine dell'Epoca Eocene e l'inizio dell'Epoca Oligocene, cioè tra 36 e 33 milioni di anni fa, durante un periodo caratterizzato da variazioni climatiche e da crisi biologiche a scala globale. Nell'arco di un milione di anni, alla fine dell'Eocene, circa il 20% dei generi degli organismi marini, dai microscopici protozoi, ai grandi pesci, si estinse. Le ragioni di questo marcato cambiamento bio-ecologico non sono ancora del tutto chiare e sono, a tutt'oggi, oggetto di vivaci dibattiti scientifici.

#### CAMBIAMENTO GRADUALE

L'ipotesi gradualistica invoca il lento movimento dei continenti e il conseguente cambiamento climatico-ambientale a scala globale:

1. Durante l'Eocene, l'Antartide si separò dall'America meridionale e dall'Australia diventando un continente isolato. L'andamento delle correnti oceaniche si modificò profondamente: una nuova corrente, la circumantartica, iniziò a circolare ininterrottamente attorno all'Antartide.
2. La corrente circumantartica isolò termicamente il continente antartico il cui ulteriore raffreddamento permise alla calotta polare di espandersi fino a raggiungere le acque oceaniche.
3. Il ghiaccio disciolto nel mare raffreddò sensibilmente le acque superficiali. Masse di acqua più fredda, e quindi più dense, formarono correnti discendenti che si allontanarono dall'Antartide modificando la circolazione e la temperatura delle acque in tutti gli oceani.
4. Il clima subì un cambiamento lento ma deciso. Il raffreddamento alterò notevolmente la produttività delle acque superficiali e di quelle profonde tanto da sconvolgere gli equilibri ecologici globali.

#### CAMBIAMENTO CATASTROFICO

Un'ipotesi alternativa invoca l'impatto di corpi extraterrestri come causa del cambiamento biologico. Forse siete già venuti a conoscenza della teoria che ritiene che l'impatto di un enorme meteorite avrebbe provocato l'estinzione dei dinosauri alla fine del Periodo Cretaceo 65 milioni di anni fa. Alcuni scienziati sostengono che l'impatto di grandi oggetti extraterrestri sia stata la causa principale di estinzioni e di severe crisi biologiche che caratterizzano la storia geologica del nostro pianeta. In quest'ottica s'inscrive anche la crisi biologica che interessò la fine dell'Eocene e che è ben documentata nella cava di Massignano. Diversi indizi geologici riscontrati in varie località del mondo indicherebbero che la Terra fu colpita da numerosi oggetti extraterrestri alla fine dell'Eocene: un vero e proprio bombardamento cosmico. Questi impatti avrebbero rapidamente alterato il clima e sconvolto gli equilibri ecologici globali. L'impatto di un oggetto extraterrestre di notevoli dimensioni potrebbe riversare nell'atmosfera terrestre una tale quantità di gas, di vapori di roccia sublimata e di pulviscolo da oscurare l'intero pianeta. La fotosintesi sarebbe drammaticamente bloccata e per anni tutto verrebbe avvolto dal buio e dal freddo. L'intera catena alimentare avrebbe subito danni rilevanti con conseguente alterazione dei delicati equilibri ecologici nei diversi ambienti marini e terrestri.

#### CRATERI DA IMPATTO

Con un diametro di 100 chilometri, il Popigai (Siberia artica) è uno dei più grandi crateri da impatto del nostro pianeta. Con un'età di 35 milioni è anche il più grande cratere da impatto dopo quello legato all'estinzione dei dinosauri. L'impatto con la superficie terrestre avrebbe sviluppato un'energia 100 milioni di volte superiore a quella della bomba atomica di Hiroshima. Un altro cratere da impatto di circa 85 chilometri di diametro è sepolto nella baia di Chesapeake, nei pressi di Washington D.C. Crateri minori da impatto, riferibili all'Eocene superiore, si trovano in Canada e in Australia.

#### Evidenze chimiche

**Iridio.** Nella parte inferiore dell'affioramento sono stati individuati due sottili strati che contengono anomale quantità dell'elemento iridio. La concentrazione di iridio nello strato ubicato 5,6 metri al di sopra della base della sezione è dieci volte superiore alla norma. La concentrazione di iridio nello strato posto a 6,2 metri è cinque volte superiore. La concentrazione di iridio più elevata, pari a altri pianeti, nelle meteoriti, nelle componenti rocciose delle comete e nel pulviscolo interplanetario. Il contenuto di <sup>3He</sup> nelle rocce sedimentarie di Massignano inizia ad aumentare al metro 2 e raggiunge alcuni picchi di abbondanza, 10 volte superiore alla norma, proprio in corrispondenza degli strati arricchiti in iridio, per poi tornare gradualmente ai valori normali al metro 14. Questa anomalia di <sup>3He</sup> è attribuibile ad un eccezionale flusso di pulviscolo interplanetario costituito da particelle micrometriche. Le dimensioni eccezionalmente piccole di queste particelle impediscono, al momento del loro ingresso nell'atmosfera terrestre, che esse vaporizzino come al contrario avviene alle micrometeoriti le quali, in una scia luminosa (le stelle cadenti), perdono la loro componente gassosa. Ecco quindi che queste particelle si depositano delicatamente sulla superficie terrestre o sul fondo marino con il loro carico di <sup>3He</sup> ancora integro.

Le anomalie di iridio e di elio-3 riscontrate in una porzione della sezione di Massignano corrispondente ad un intervallo di circa due milioni di anni e la presenza, in varie parti del pianeta, di numerosi crateri da impatto attribuibili allo stesso periodo geologico, avvalorano significativamente l'ipotesi secondo la quale un bombardamento cometario sia stata la causa principale, diretta o indiretta, della crisi biologica globale dell'Eocene terminale.

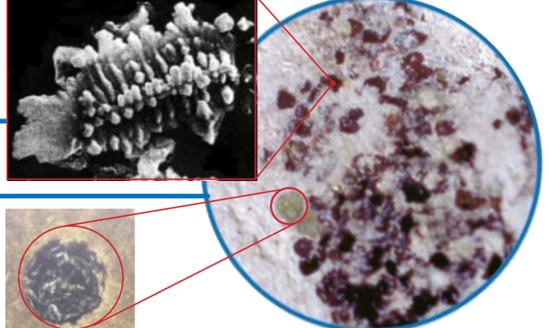
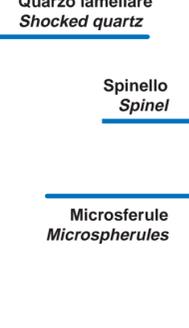
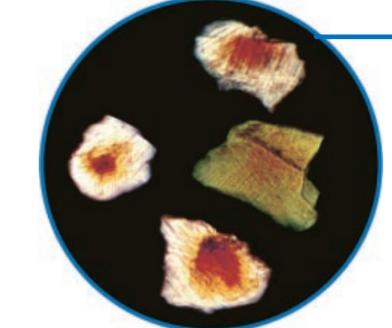
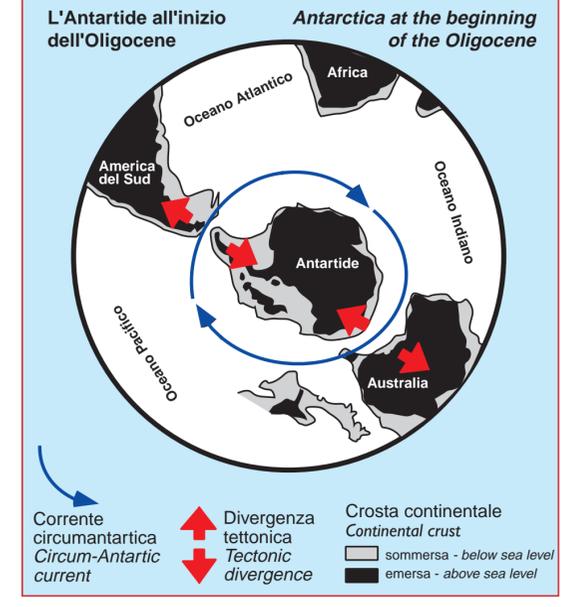
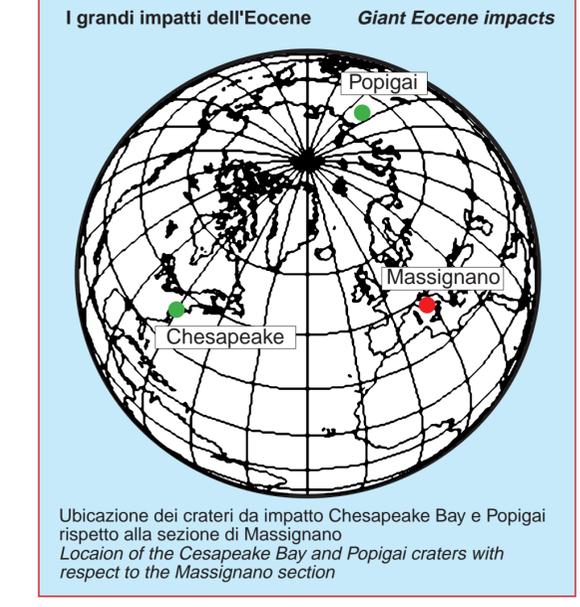
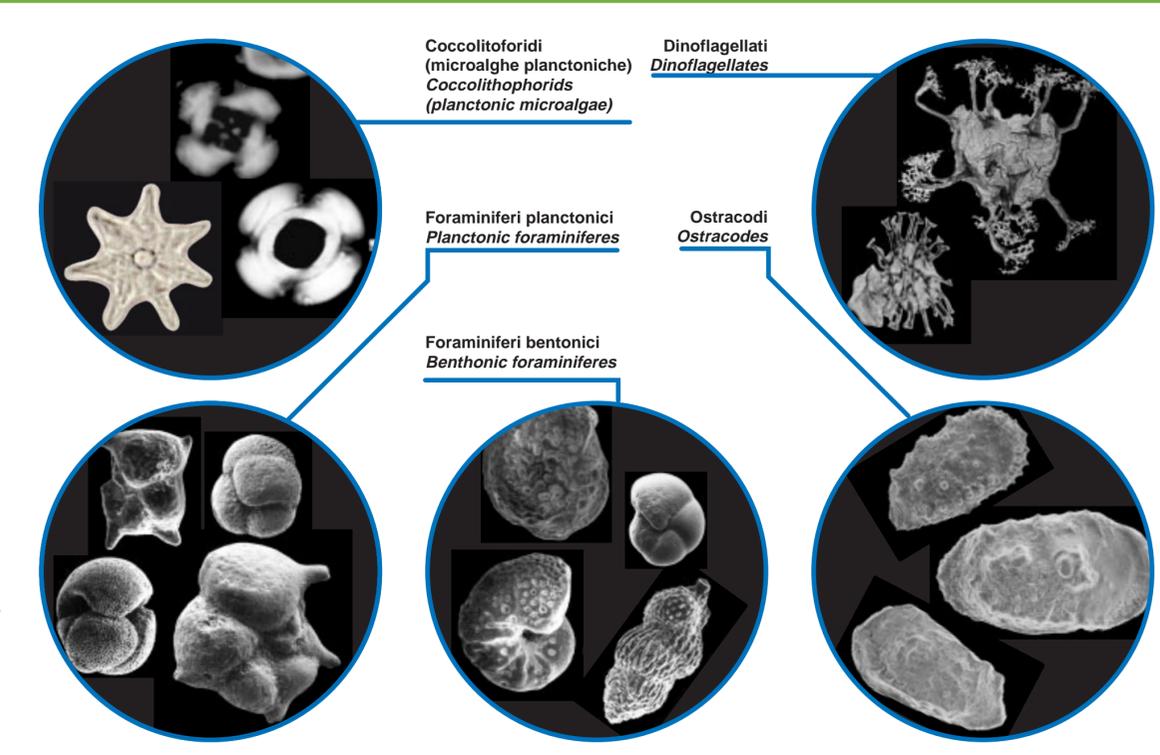
#### Evidenze mineralogiche

**Il quarzo lamellare.** Nello strato arricchito in iridio al metro 5,6 sono stati riscontrati granuli di un quarzo particolare riconoscibile al microscopio per la presenza di strutture lamellari altrimenti assenti nel quarzo comune. Gli atomi del quarzo sottoposto ad una notevole pressione d'urto, si riordinano istantaneamente creando caratteristiche lamelle parallele. Il quarzo lamellare è estremamente raro in natura; lo si riscontra solo nelle rocce cirocristalli e i siti di test nucleari e nelle rocce dei crateri da impatto cosmico.

**Microsferule.** I vapori di roccia prodotti dall'impatto di un oggetto extraterrestre si condensano al di sopra della stratosfera formando microscopiche sferule di vetro. Queste sferule, denominate microtefiti e microcristiti, hanno un diametro inferiore al millimetro. Le microcristiti contengono microcristalli di minerali silicatici e di un particolare ossido di nichel e ferro detto spinello. Microtefiti e microcristiti ricadono sulla superficie terrestre formando uno strato sottilissimo. Nella sezione di Massignano, le sferule contenenti microcristalli di spinello, sebbene appiattite ed alterate dal processo diagenetico, sono state riscontrate nello strato arricchito in iridio e contenente il quarzo lamellare al metro 5,6. Queste evidenze rafforzano l'ipotesi che lo strato al metro 5,6 rappresenti il "fallout" di un grande impatto extraterrestre.

#### UNA CONTROVERSA SCIENTIFICA

La relazione tra gli impatti cosmici e la crisi biologica dell'Eocene terminale non è ancora stata definitivamente chiarita. Un gruppo di scienziati ritiene certamente possibili gli impatti cosmici da oggetti extraterrestri ma pensa che questi non abbiano alterato gli equilibri ecologici globali. Un altro gruppo di scienziati ritiene invece che gli impatti cosmici non siano stati contemporanei delle crisi biologiche: nel processo di cambiamento bio-ecologico globale sarebbero stati determinanti i fattori geologici come l'isolamento tettonico dell'Antartide. Gli eventi di estinzione di massa sono stati numerosi nella storia del nostro pianeta, ma non c'è accordo su come e quando essi siano avvenuti. Quanti impatti extraterrestri ci sono stati e quale è stato il loro ruolo nell'evoluzione della vita del nostro pianeta? Con quale rapidità avvengono le estinzioni? Le rocce della cava di Massignano costituiscono l'oggetto ideale per la ricerca scientifica che mira a dare risposte concrete a questi quesiti. La relazione diretta tra impatti cosmici ed estinzioni di massa è più evidente in corrispondenza del limite Cretaceo/Terziario quando, 65 milioni di anni fa, i dinosauri e gran parte degli organismi terrestri e marini si estinsero.



### Stop 1



#### SEDIMENTARY ROCKS: A GUIDEBOOK TO THE PAST

If we had been here 33 million years ago, we would have been on the sea floor, below about 1,000-1,500 meters of water. In fact, these rock layers used to be a marine mud made mostly of calcium carbonate with minor quantities of clay and silt. Thirty million years later, during the Apennine orogenesis, compressive tectonic forces deformed the terrestrial crust along with its pile of sediments, which, through folding and faulting, were uplifted and emerged from the sea to form the mountains we see today.

#### SEDIMENTS ACCUMULATED...

The calcareous component of these rocks consists of the hard parts of microscopic algae (coccolithophorids) and other planktonic and benthonic microorganisms such as foraminifers, dinoflagellates, and ostracodes. After their death, their hard parts were deposited on the seafloor forming a carbonate mud. In addition to this organic accumulation, some clay and silt particles reached the open sea from land, transported by winds and sea currents. These were added to the sediment.

#### ...AND TURNED INTO ROCK

After a slow process of compaction and cementation, the carbonate sediment became limestone. Limestones contain varying amounts of clay and silt. A limestone rich in clay and silt is called marl. Being softer, it erodes faster than pure limestone. The relatively large amounts of clay in the rocks of this outcrop (30%) makes them flake and easily erode. More and less marly layers alternate, creating visibly rhythmic bedding.

#### A CLUE TO ANCIENT CONDITIONS

Changes in the ancient marine environment in which sediment was deposited create layers. Layering in this outcrop may reflect climatic variations, which controlled the productivity of the marine plankton. In fact, the alternation of marls and limestones is a function of the abundance of calcareous plankton in respect to the constant input in the basin of terrestrial clay and silt.

#### WHAT GIVES ROCKS THEIR COLOR?

Tiny mineral particles give rocks their color. Some elements and minerals may even vary in color, depending on their exposure to oxygen (oxidation state). One common example of an element with several colors is iron.

- Iron in the mineral hematite has been exposed to oxygen. Tiny amounts of this mineral color the rock pink or red.
- Iron in the mineral magnetite has been exposed to less oxygen than that of hematite. Tiny amounts of magnetite color this rock gray.
- Lack of oxygen preserves dark carbon derived from organisms. Tiny amounts of carbon and iron unexposed to oxygen make the rock dark gray or even black.

The pinkish layers exposed on the right side of this quarry stratigraphically underlie the gray layers exposed on the left side of the quarry, and are therefore older. This color change from pink to gray indicates that the deep sea environment became less oxidizing through time. Geologists named the rock formations here after their colors and flakey texture. The formation with visible pinkish bands is called Scaglia Variegata ("Variegated Scale"), whereas the overlying gray formation is called Scaglia Cinerea ("Ashy Scale").

#### GLOBAL EVENTS AROUND THE EOCENE/OLIGOCENE BOUNDARY

The formations here were deposited between the end of the Eocene Epoch and the beginning of the Oligocene Epoch, between 36.5 and 33.0 million years ago. This was a period of fluctuating climatic conditions and global biological crises. In about one million years, nearly 20% of all genera of organisms in the oceans, from microscopic protozoans to huge fish, became extinct. The reasons for this marked bio-ecological change are still uncertain and constitute the subject of scientific debates.

#### GRADUAL CHANGE

One possible explanation relates to the gradual movement of the continents with consequent climatic and environmental changes on a global scale:

- 1) Antarctica slowly separated from Australia and South America, becoming an isolated continent. This modified the course of oceanic currents, which began to flow between the continents and kept circulating restlessly around Antarctica.
- 2) This circum-Antarctic current isolated the continent and kept it from exchanging heat with the rest of the world. Antarctica grew colder and its polar ice cap spread until it reached the ocean.
- 3) As ice entered the sea and melted, it cooled the superficial water. The denser cold water masses sank and moved away from Antarctica. These cold water masses traveled large distances changing water circulation and temperature in all other oceans.
- 4) With time, this altered circulation affected climate. Climatic cooling began to affect productivity of superficial as well as deep sea waters, and eventually altered the equilibrium of the global ecosystem.

#### CATASTROPHIC CHANGE

Another explanation, which does not exclude the previous one, involves catastrophic extraterrestrial impacts: You may be aware of the theory that a huge meteorite impact caused the extinction of the dinosaurs at the end of the Cretaceous Period, about 65 million years ago. Some scientists believe that large extraterrestrial impacts have played a role in many other extinctions and biologic turnovers through Earth's history, and that they furthered the biological crisis at the end of the Eocene when these rocks were formed. There is evidence that several large meteorites or comets hit the Earth near the end of the Eocene. As opposed to the slow movement of continents, these extraterrestrial impacts may have changed the climate quite suddenly, dramatically altering global bio-ecological equilibriums. A large impact could have spewed gas, rock vapor and dust into the atmosphere, blocking sun light, and hindering photosynthesis. This would have had adverse effects upon the entire food chain and the ecological equilibrium in diverse marine and terrestrial environments.

#### IMPACT CRATERS

The largest impact crater from this time is the 35.5 million year old Popigai structure located in Arctic Siberia. Its diameter of 100 kilometers makes it the biggest impact since the extinction of the dinosaurs. The collision would have released energy 100 million times that of the Hiroshima atomic bomb. A second crater 85 kilometers in diameter is buried under the Chesapeake Bay, near Washington D.C. There are also smaller craters in Canada and Australia.

#### IMPACT EVIDENCE AT MASSIGNANO

##### Chemical Evidence

**Iridium.** In the lower part of the section, there are two layers with unusually high concentrations of the element iridium. The highest concentration is found in the layer at meter level 5,6, and is about ten times higher than in other layers. A second layer with a concentration 5 times higher than background is found at meter level 6,2. A third layer with a high concentration of iridium is located at meter level 10,25. Iridium is extremely rare on the surface of the Earth because, being a siderophile element (iron-lover), it is held in the iron core of the Earth. However, extraterrestrial objects such as meteorites, asteroids and the rocky cores of comets, contain hundreds or thousands of times more iridium than do terrestrial rocks. Impact with the Earth would have disintegrated a meteorite or comet and dispersed iridium-rich dust and gas into the atmosphere. This dust would have eventually settled upon the Earth's surface, and formed a layer with unusually large amounts of the element iridium. The anomalous concentration of iridium in the rock layers at 5.6 and 6.2 m in the Massignano section may be from the Popigai and Chesapeake impacts. The origin of the third iridium-rich layer is still unknown.

**Helium-3.** In addition to iridium, the Massignano limestones contain anomalous concentrations of the isotope helium-3 (<sup>3He</sup>). This noble gas is extremely rare in terrestrial rocks because, being much lighter than air, it has been lost to outer space at the time our planet was formed. Its individual atoms are actually shocked by intense pressure, its individual atoms actually rearrange to form characteristic fine planar deformation features. Shocked quartz is extremely rare in nature. It is found only in the rocks around nuclear bomb test sites, and in terrestrial rocks shocked by impacts. **Microspherules.** The rock melts and vapors produced in the impact explosion condense above the stratosphere to form microscopic glass spherules (less than 1 mm in diameter) called microtektites and microcristites. The latter contain tiny crystals of silicate minerals and a particular nickel-rich iron oxide called spinel. These spherules resettle on the Earth's surface forming a thin fallout layer. In the Massignano section, these spherules are found in the iridium-rich, shocked quartz bearing layer at meter level 5.6. Moreover, the same level contains a very high concentration of sparse nickel-rich spinel micrograins, which probably derived from the break-up of impact spherules in the compacting sediment. Such evidence strengthens the hypothesis that this layer represents the fallout of a giant extraterrestrial impact explosion.

#### Mineralogical evidence

**Shocked quartz.** Tiny crystals of a special kind of quartz are found in the iridium-rich layer at meter level 5.6 of this section. This quartz can be recognized under a microscope from its very fine planar deformation features. Shocked quartz is extremely rare in nature. It is found only in the rocks around nuclear bomb test sites, and in terrestrial rocks shocked by impacts.

**Microspherules.** The rock melts and vapors produced in the impact explosion condense above the stratosphere to form microscopic glass spherules (less than 1 mm in diameter) called microtektites and microcristites. The latter contain tiny crystals of silicate minerals and a particular nickel-rich iron oxide called spinel. These spherules resettle on the Earth's surface forming a thin fallout layer. In the Massignano section, these spherules are found in the iridium-rich, shocked quartz bearing layer at meter level 5.6. Moreover, the same level contains a very high concentration of sparse nickel-rich spinel micrograins, which probably derived from the break-up of impact spherules in the compacting sediment. Such evidence strengthens the hypothesis that this layer represents the fallout of a giant extraterrestrial impact explosion.

#### A SCIENTIFIC CONTROVERSY

The relative importance of meteoritic impacts in the process of bio-ecological changes at the end of the Eocene compared to global tectonic changes is still not clear. Some scientists agree that extraterrestrial impacts occurred, but believe that they had no effect on ecologic equilibria of the Earth. Others say that impact timing may not coincide with extinctions, and that other factors, such as the isolation of Antarctica, were much more important. There have been many periods of extinction in Earth's history, but there is disagreement about how and why they occurred. How many extraterrestrial impacts have there been and how important were they? How rapidly do extinctions occur? The rocks at Massignano are an ideal place for research, which may resolve such controversies. The relationship between extraterrestrial impacts and extinction seems clearer at the Cretaceous/Tertiary boundary (65 million years ago) when the dinosaurs disappeared along with a multitude of other marine and terrestrial organisms.