

## Geologia dei gessi triassici e dei gessi messiniani

STEFANO LUGLI<sup>1</sup>, VINICIO MANZI<sup>2</sup>, MARCO ROVERI<sup>3</sup>

### Riassunto

I gessi triassici della Val Secchia appartengono alla Formazione evaporitica di Burano, una successione di età tardo triassica di spessore fino a 2200 m costituita da alternanze di gesso-anidrite, dolomie e salgemma. Le evaporiti hanno subito complesse modificazioni indotte dal seppellimento, da eventi termici e da profonde deformazioni tettoniche in conseguenza della orogenesi appenninica, durante la quale hanno rappresentato il principale livello di scollamento di potenti successioni sedimentarie e sono state coinvolte in fenomeni di diapirismo. La storia geologica delle evaporiti si è sviluppata nelle seguenti fasi: a) deposizione prevalente di gesso nel Triassico superiore; b) disidratazione del gesso a formare anidrite durante il seppellimento (Cretaceo); c) rifluimento sin-tettonico delle anidriti, brecciatura delle dolomie e crescita dei quarzi neri in condizioni di seppellimento profondo durante lo sviluppo del complesso metamorfico apuano (Oligocene-Miocene); d) formazione idrotermale e metasomatica di magnesite; e) dissoluzione di salgemma con formazione di potenti mega-brecce residuali; f) gessificazione completa dell'anidrite in condizioni di affioramento; g) dissoluzione dei solfati in condizioni di affioramento con produzione di brecce di dolomie vacuolari (Calcare Cavernoso). I gessi messiniani appartengono alla Formazione Gessoso-solfifera deposta nella prima fase della crisi di salinità del Messiniano, la catastrofe geologica che ha coinvolto il bacino del Mediterraneo tra 5,97 e 5,33 milioni di anni fa. I gessi messiniani sono organizzati in 16 strati separati da sottili livelli di argilla durante le fasi climatiche aride governate dai cicli astronomici della precessione degli equinozi. I cristalli gessosi sono stati depositi per crescita competitiva, presentano morfologie a "ferro di lancia" o "coda di rondine" e possono raggiungere alcuni metri di lunghezza. Durante la crescita hanno inglobato e fossilizzato batteri. Gli affioramenti dei gessi messiniani sono il risultato della giustapposizione e accavallamento di blocchi di enormi dimensioni, risultato di frane sottomarine innescati dalla fase tettonica intra-messiniana.

**Parole chiave:** Formazione evaporitica di Burano, Triassico, Appennino settentrionale, anidrite, gesso, salgemma, Messiniano, Formazione Gessoso-solfifera, selenite.

### Abstract

*The Upper Triassic Burano Evaporite Formation from the Secchia River Valley is an up to 2200 m-thick sequence composed of meter-to decameter-scale interbeds of gypsum-anhydrite and dolostones with minor halite. The deposit has been affected by a complex array of post-depositional modifications, thermal events and large-scale evaporite dissolution. The modifications are intense because these rocks were the main detachment horizon during the formation of the Northern Apennines chain. The phases of the geologic history of the Burano Evaporites are: (a) prevalent deposition of gypsum in the Upper Triassic; (b) gypsum dehydration at burial conditions to form anhydrite (Cretaceous); (c) syn-tectonic flow of anhydrite rocks, brecciation of dolostones and growth of quartz euhedra at deep burial conditions during the development of the Oligocene-Miocene Apuane metamorphic complex; (d) hydrothermal and metasomatic formation of magnesite; (e) sub-surface dissolution of halite to form thick residual mega-breccias; (f) complete gypsification of anhydrite at sub-surface conditions; and (g) evaporite dissolution at surface exposure producing vuggy dolostone breccias (Calcare cavernoso). The Messinian Gypsum is part of the Gessos-solfifera Formation deposited during the first phase of the Messinian salinity crisis, the geologic catastrophe that involved the Mediterranean basin between 5.97 and 5.33 million years ago. The gypsum sequence is organized in 16 beds separated by thin clay layers deposited during arid climatic phases governed by the astronomical cycles of the precession of the equinoxes. The gypsum crystals were deposited by competitive growth, exhibit "arrow head" or "swallowtail" morphologies, and can reach several meters in length. The crystals incorporated and fossilized bacteria during their growth. The Messinian Gypsum outcrops are the result of the juxtaposition and overlapping of huge blocks, the result of submarine landslides triggered by the intra-Messinian tectonic phase.*

**Keywords:** Burano Evaporite Formation; Triassic; Northern Apennines; anhydrite, gypsum, salt, Messinian, Gessoso-solfifera Formation, selenite.

<sup>1</sup> Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Via Campi 103, 41125 Modena (MO); stefano.lugli@unimore.it

<sup>2</sup> Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 157/A, 43124 Parma (PR); vinicio.manzi@unipr.it

<sup>3</sup> Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 157/A, 43124 Parma (PR); marco.roveri@unipr.it

## Geologia dei gessi triassici

### *Nell'antico mare della Tetide*

I gessi triassici della Val Secchia fanno parte della Formazione evaporitica di Burano (fig. 1), una successione di età tardo triassica presente in Toscana, Umbria, Emilia e nel sottosuolo dell'Italia centrale.

In Toscana le evaporiti si trovano alla base di una sequenza carbonatico-clastica di età mesozoica di oltre 2 km di spessore, la Successione Toscana. A quel tempo tutti i continenti erano riuniti a formare il supercontinente Pangea. Quando la Pangea cominciò a frammentarsi per dal luogo alle masse continentali come le conosciamo oggi, il mare della Tetide fece ingresso all'interno del sistema di fosse tettoniche che separarono i continenti. Si aprirono una serie di bacini che migravano verso ovest, dove avveniva la deposizione di evaporiti negli ambienti marini costieri poco profondi. La deposizione di evaporiti avvenne prima in Grecia nel Permiano, poi si spostò attraverso l'odierna Croazia, l'Italia, la Francia e la Spagna e terminò nel Cretaceo nel Golfo del Messico, tra il Nord America e l'Africa.

### *Le rocce*

La sequenza evaporitica è costituita da una alternanza a scala metrica e decametrica di rocce gessoso-anidritiche e dolomie, con locali accumuli di salgemma, per uno spessore totale che raggiunge 2200 m (COLOMBETTI, ZERILLI 1987).

Le rocce carbonatiche sono rappresentate da dolomie massive di colore grigio plumbeo. La notevole attitudine delle rocce solfatiche allo scorrimento in regime sub-fluidale ha determinato il completo smembramento degli strati carbonatici, che spesso si rinvencono come frammenti immersi in una matrice solfatica (fig. 2).

Le rocce gessose ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) hanno aspetto alabastrino, di colore bianco o grigio e sono costituite da cristalli microscopici (fig. 3) o più raramente da aggregati di cristalli centimetrici a disposizione casuale. Le rocce gessose prevalgono in affioramento, ma sono praticamente assenti nel sottosuolo, e presentano caratteristiche riconducibili direttamente o indirettamente a gessificazione di una preesistente roccia anidritica.

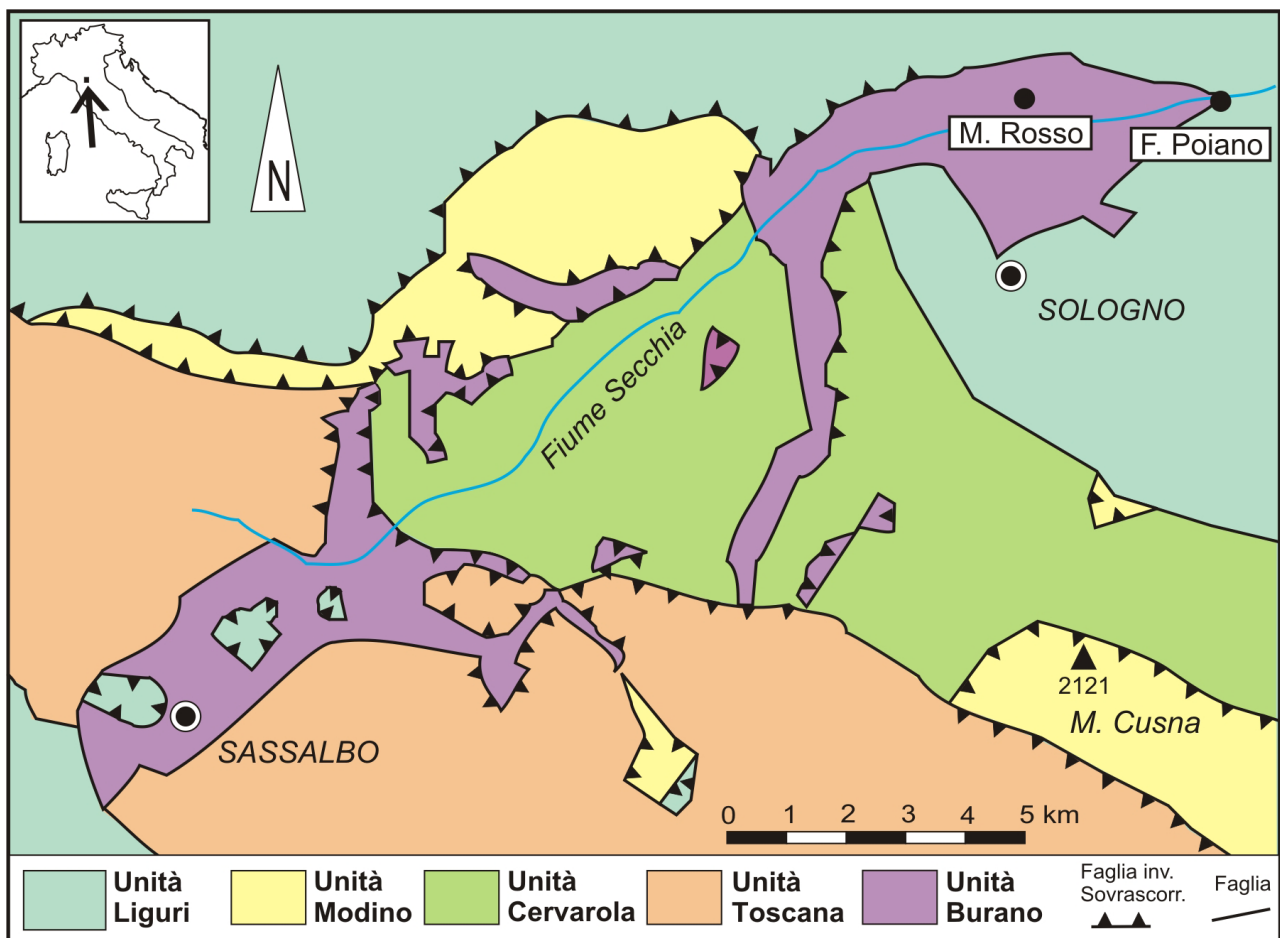


Fig. 1 – Schema geologico della Formazione evaporitica di Burano nella valle del Fiume Secchia tra Sassalbo (Fivizzano, MC) e le Fonti di Poiano (Villa Minozzo, RE) (LUGLI 2009).

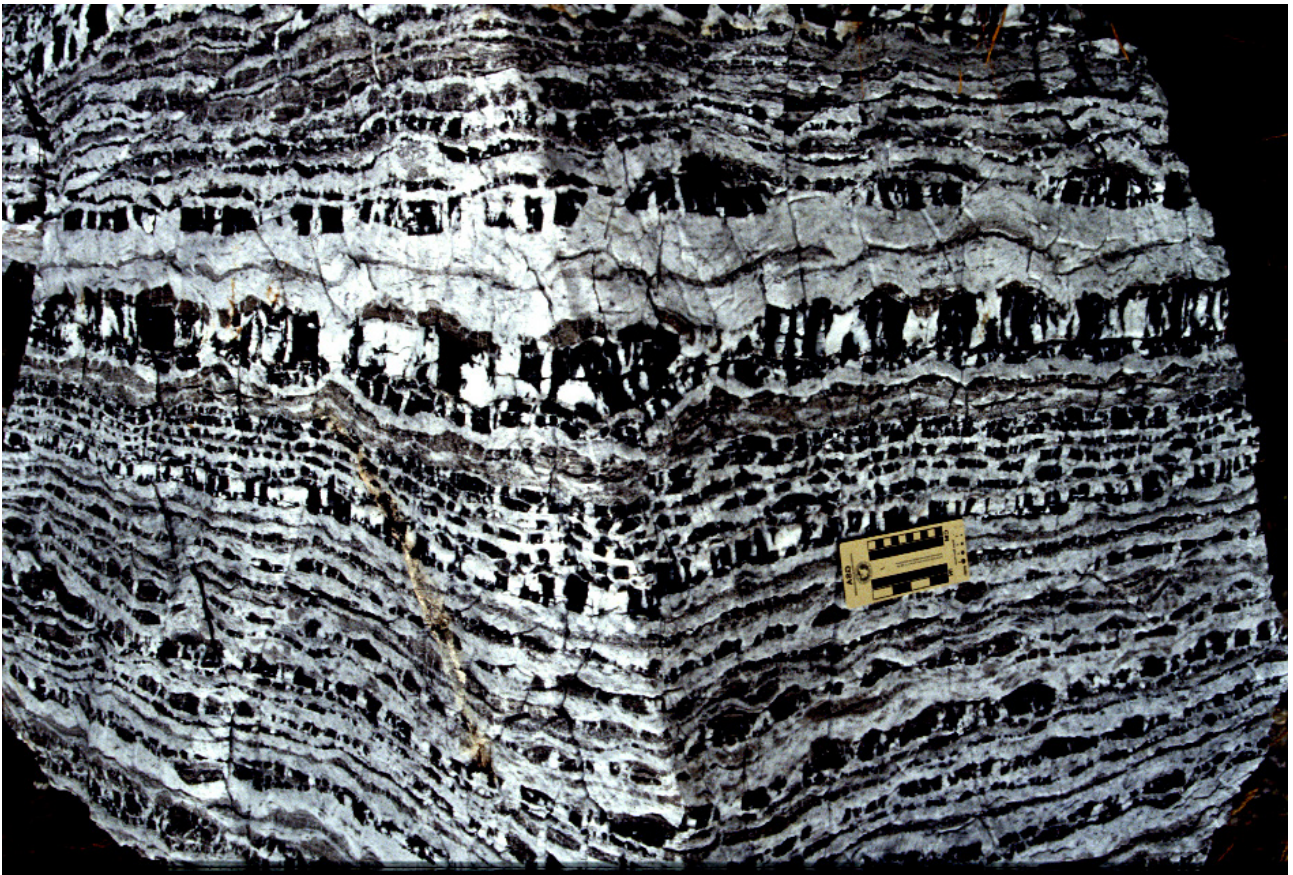


Fig. 2 – Livelli dolomitici (nero) intensamente frammentati all'interno di una roccia gessosa derivante da idratazione di anidrite. I livelli dolomitici più sottili siano stati completamente frantumati fino alla scala dei singoli componenti cristallini. Notare i fenomeni di rifluimento del materiale solfatico ad occupare gli spazi i frammento carbonatici. Rio Torbido (RE)(Foto S. Lugli).

Le rocce anidritiche ( $\text{CaSO}_4$ ) prevalgono in profondità, come evidenziato dai carotaggi, dove il gesso non è presente, ma sono rare in affioramento (circa il 5 % rispetto al gesso). L'aspetto è generalmente saccaroide, mentre il colore è grigio o bianco. Contengono fini laminazioni marcate da sottili livelli di frammenti dolomitici che formano pieghe a strettissimo raggio, spesso ripiegate, o completamente sradicate. Le rocce anidritiche si rinvergono a contatto con quelle gessose attraverso netti fronti di gessificazione (fig. 3).

I rapporti tra le rocce gessose e quelle anidritiche sono legati alle sorprendenti attitudini dei minerali evaporitici a riorganizzarsi o a trasformarsi anche in seguito a minime variazioni delle condizioni ambientali e in particolare della temperatura. Già a temperature superiori a  $52^\circ\text{C}$ , in certe condizioni, il gesso può trasformarsi in anidrite. Ne consegue che il gesso è stabile sulla superficie terrestre, mentre l'anidrite è stabile in profondità (dove le temperature geotermiche superano  $52^\circ\text{C}$ ) e a sua volta viene idratata a gesso dalle acque meteoriche in affioramento (fig. 3). Durante la formazione delle catene montuose si verificano le condizioni per le trasformazioni dei solfati in

una sequenza ciclica: gesso (deposizione dal mare) → anidrite (seppellimento) → gesso (esumazione e affioramento).

#### ***Il seppellimento, e la formazione dell'anidrite***

Le complesse strutture delle tormentate e ripiegate rocce della Val Secchia sono legate in gran parte al ciclo dei solfati e cominciano con la trasformazione gesso → anidrite che si verifica durante il seppellimento (fig. 4). Tale fenomeno è provocato dall'aumento geotermico della temperatura e può verificarsi già a 600 m di profondità quando i gessi sono sepolti da altri sedimenti (considerando la temperatura di transizione di  $52^\circ\text{C}$  e gradiente geotermico normale) con la liberazione dell'acqua di cristallizzazione del gesso. Il volume occupato dall'acqua liberata e dall'anidrite è circa il 9 % superiore a quello del gesso di partenza, ma il volume solido dell'anidrite, una volta dispersa l'acqua, risulta inferiore di circa il 38 % rispetto a quello del gesso iniziale (SHEARMAN 1985). La perdita di volume produce la prima deformazione dei sedimenti solfatici.

La Formazione di Burano potrebbe aver raggiunto le



Fig. 3 – Roccia anidritica (grigia) in via di trasformazione in gesso alabastrino (bianco), la separazione è un netto fronte di gessificazione. Le sottili stratificazioni dell’anidrite continuano senza dislocazioni attraverso il fronte di gessificazione, indicando che il fenomeno non avviene con aumento di volume della roccia. Le laminazioni sono in realtà pieghe a strettissimo raggio (al centro) evidenziate da minuscoli frammenti di roccia dolomitica frantumati dal rifluimento tettonico dell’anidrite. Sassalbo (MC) (foto S. Lugli).

profondità di seppellimento necessarie alla disidratazione del gesso durante il Cretaceo (fig. 4).

#### ***La deformazione delle rocce***

Le evaporiti sono state deposte alla base della Successione Toscana per poi essere oggetto di una complessa serie di modificazioni post-deposizionali indotte dal seppellimento, da eventi termici, e da profonde deformazioni tettoniche (LUGLI 2001).

La presenza dei gessi sia alla base della Falda Toscana (a Sassalbo e al Passo del Cerreto), sia all’interno delle Unità alloctone nel versante emiliano dell’Appennino (Val Secchia) ha generato un vivace dibattito tra gli studiosi (fig. 1, PLESI *et alii* 2000, BONINI *et alii* 2013 e bibliografia inclusa). Infatti i gessi della Val Secchia formano delle scaglie sradicate che sovrastano le Arenarie del Cervarola e sono inglobate nel mélange basale di Monte Modino. Questo indica che l’unità evaporitica è stata smembrata e tralata dal Dominio

Toscano Interno verso la zona esterna padano-adriatica.

L’ipotesi più accreditata è che le evaporiti, oltre a rappresentare il livello di scollamento della Falda Toscana, abbiano perforato quest’ultima formando strutture diapiriche che sono poi state recise e inglobate nelle Unità alloctone (Unità Ligure e Subligure) durante la loro traslazione verso le zone esterne (Val Secchia).

#### ***I quarzi neri e la magnesite***

Nella Formazione Evaporitica di Burano sono presenti cristalli di quarzo che possono raggiungere fino a 5 cm di lunghezza. Si tratta di cristalli neri, biterminati, composti dal prisma e dai due romboedri fondamentali (BERTOLANI 1949) a formare una bipiramide esagonale. Si rinvencono all’interno di rocce gessose e anidritiche, oppure negli accumuli residuali di dissoluzione carsica delle rocce.

I quarzi sono elementi di notevole interesse per la

ricostruzione della storia geologica dei gessi triassici perché durante la crescita hanno inglobato e sigillato i minerali delle rocce, permettendone la preservazione da successivi fenomeni di ricristallizzazione e dissoluzione. I quarzi contengono esclusivamente anidrite, mentre il gesso non è mai presente. Ciò dimostra che le rocce gessose oggi prevalenti in affioramento, devono la loro origine esclusivamente alla idratazione di originarie rocce anidritiche da parte delle acque meteoriche superficiali.

La magnesite ( $MgCO_3$ ) è presente in cristalli centimetrici di forma lenticolare e in alcuni casi si è formata a spese della dolomite, fenomeno che può avvenire a temperature di alcune centinaia di gradi (LUGLI *et alii* 2002, LUGLI 2009);

La composizione isotopica e le analisi delle inclusioni fluide per le magnesiti e i quarzi idiomorfi della Val

di Secchia indicano che la Formazione evaporitica di Burano è stata interessata da eventi termici con temperature relativamente elevate, oltre 300-400°C. Queste caratteristiche suggeriscono che le evaporiti siano state coinvolte nell'evento termico che ha creato il nucleo metamorfico apuano, quando si sono formati i famosi marmi di Carrara.

#### **Esumazione e gessificazione dell'anidrite**

Successivamente al seppellimento profondo, le ulteriori complesse fasi dell'orogenesi appenninica hanno determinato l'esumazione delle rocce evaporitiche, che nella Val Secchia si trovano in condizioni di affioramento. In superficie, le temperature relativamente basse (<52°C), l'anidrite non è più stabile e si idrata in gesso per l'azione delle acque meteoriche e di falda. La gessificazione dell'anidrite dovrebbe essere accom-

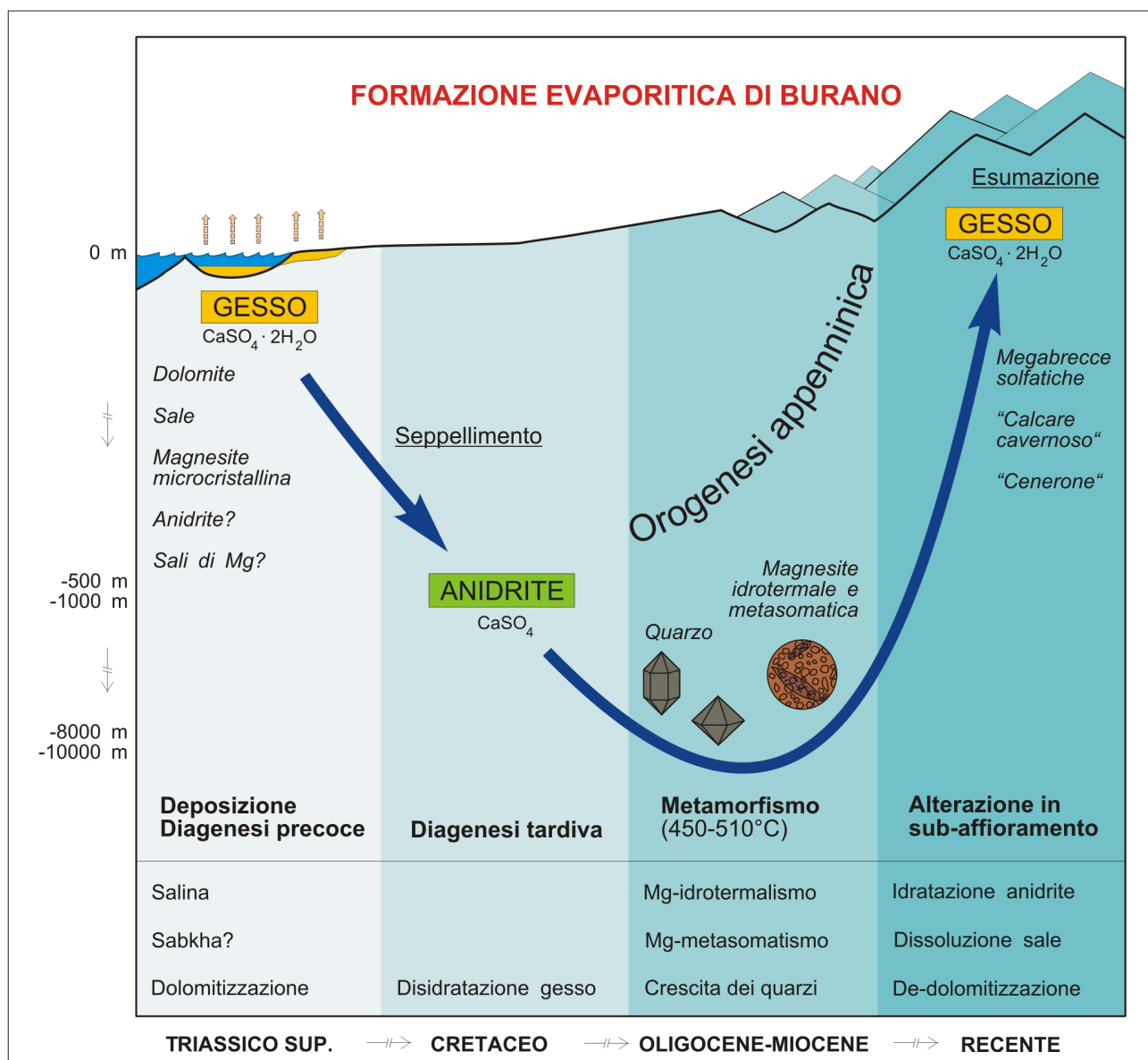


Fig. 4 – Ricostruzione della storia geologica della Formazione evaporitica di Burano della Val Secchia (da LUGLI 2001 e 2009).

pagnata da un aumento del volume totale occupato dalla roccia. Il volume della cella elementare del gesso è, infatti, sensibilmente maggiore di quello dell'anidrite. In realtà, in certe condizioni l'idratazione dell'anidrite può verificarsi senza alcun aumento significativo del volume totale della roccia.

Il fenomeno si verifica in due fasi. Nella prima fase l'idratazione è parziale in condizioni di sub-affioramento, quando l'acqua meteorica comincia a permeare il deposito evaporitico. L'idratazione periferica dei cristalli di anidrite, in seguito all'aumento di volume locale, riduce drasticamente la porosità delle rocce, impedendo ulteriori ingressioni di fluidi meteorici. I processi di gessificazione si fermano fino a quando

il deposito non giunge in condizioni di affioramento, dove si realizza l'invasione carsica da parte delle acque meteoriche lungo giunti di strato e nuove fratture. In tali condizioni l'idratazione dell'anidrite procede velocemente attraverso la migrazione di fronti netti, mentre i solfati in eccesso prodotti vengono direttamente asportati dai fluidi gessificanti. In questo modo non si verificano significativi aumenti di volume della roccia. La prova che non si verificano aumenti di volume totale delle rocce in seguito alla gessificazione viene dalla osservazione che i delicati piani di stratificazione delle anidriti non vengono dislocati quando sono attraversati dai fronti di gessificazione, ma proseguono indisturbati nelle rocce gessose (fig. 4).

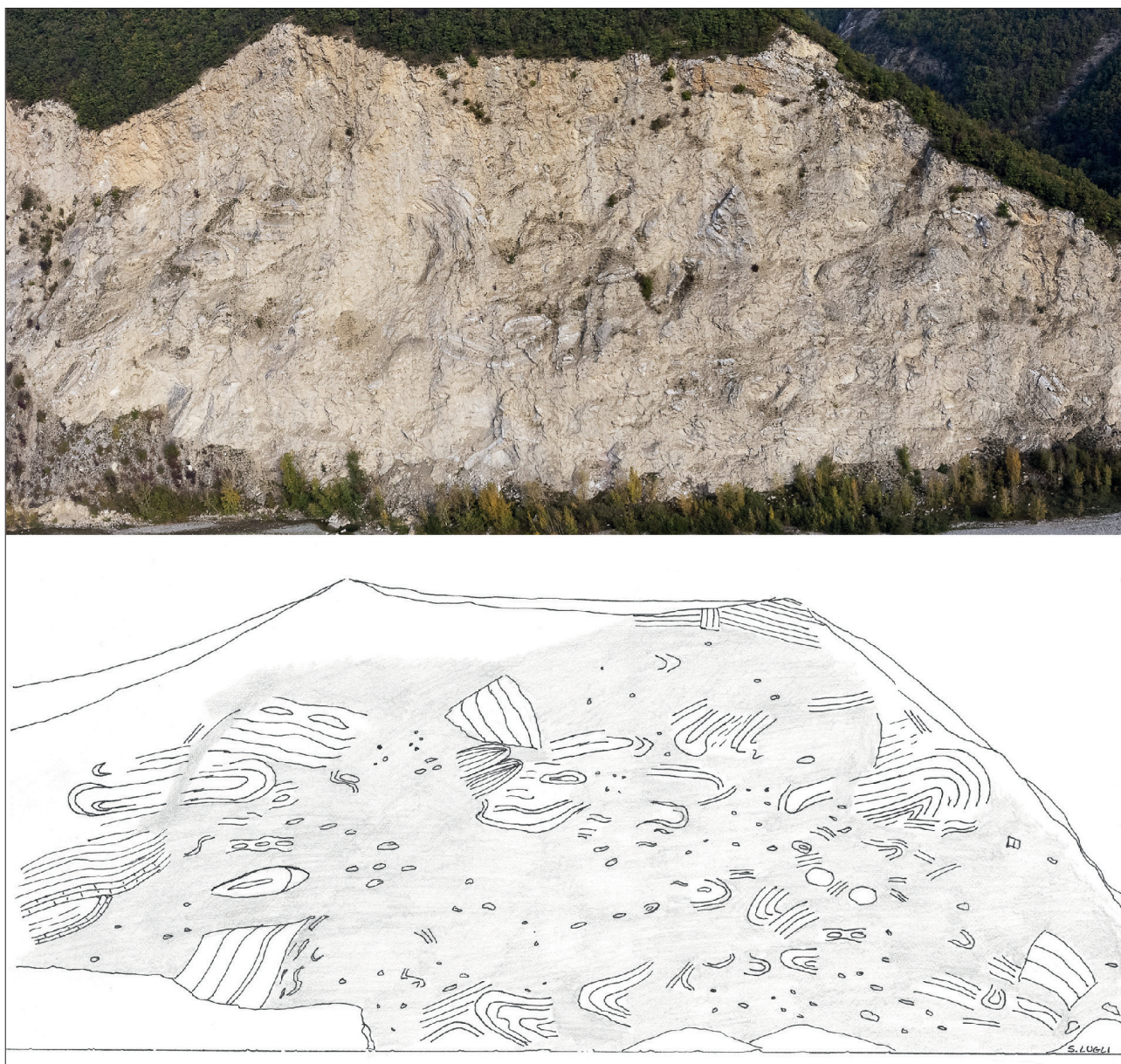


Fig. 5 – La parte orientale della scarpata di M. Rosso come appare oggi (foto aerea P. Lucci) e in un rilievo delle strutture deformative eseguito a terra dall'autore nel 1993. Si riconoscono pacchi di strati deformati immersi in una matrice di gesso a grandi cristalli (grigio) formata per dissoluzione di salgemma. Alcune pieghe e pacchi di strati non sono oggi più riconoscibili a causa dei frequenti crolli. La scarpata raggiunge in questo punto 150 m di altezza sopra il fondo valle Secchia mentre il salgemma si trova a partire da 60 m di profondità sotto l'alveo.

Questi fenomeni sono alla base dello sviluppo e dell'evoluzione degli straordinari fenomeni carsici che nella Val Secchia formano le anse ipogee (MALAVOLTI 1949; LUGLI 1993; LUGLI *et alii* 2004), condotti carsici mai descritti in nessuna altra parte del nostro pianeta.

### ***Il salgemma e le megabrecce solfatiche***

Altro effetto dell'esumazione delle evaporiti è la dissoluzione attiva del salgemma da parte delle acque di falda e di quelle meteoriche. Il salgemma rappresenta infatti il minerale più solubile tra quelli presenti nelle evaporiti di Burano. La rimozione del salgemma per dissoluzione può lasciare tracce leggibili che consentono di riconoscere l'originaria presenza del sale anche nelle zone dove è ormai scomparso. Una di queste tracce è la presenza di brecce residuali (LUGLI 1997) costituite da potenti successioni di megabrecce solfatiche. L'esempio più spettacolare è rappresentato dalla scarpata di Monte Rosso dove sono esposti almeno 200 metri di spessore di megabrecce lungo un tratto di 2 km bagnato dal Fiume Secchia (fig. 5).

Si tratta di lembi di strati di rocce solfatiche e dolomitiche intensamente tettonizzate. Gli strati sono intensamente deformati, piegati anche a grande scala, troncati e giustapposti in una matrice costituita da gesso in cristalli di taglia centimetrica. Gli inclusi anidritici presenti all'interno dei cristalli gessosi nella matrice indicano che essa era originariamente costituita da anidrite. Il fatto che i grandi blocchi siano costituiti da rocce solfatiche e carbonatiche deformate, mentre la matrice gessosa non presenta indizi di deformazione, implica che le megabrecce si siano formate in condizioni post-tettoniche.

Megabrecce solfatiche di questo tipo possono formarsi in seguito alla dissoluzione di grandi quantità di sale originariamente intercalato alle rocce anidritiche e dolomitiche (*cap rock*). Oggi il salgemma si trova alla profondità di 60 m (COLOMBETTI, FAZZINI 1985) e il carico salino delle Fonti di Poiano, che si trovano al margine più orientale degli affioramenti evaporitici, dimostra che il salgemma è attivamente disciolto in profondità.

Altro indizio dell'originaria presenza di sale sono impronte di cristalli cubici di cristalli di salgemma a Monte Rosso e al Passo del Cerreto (LUGLI, PAREA 1997).

Il fatto che le megabrecce per dissoluzione di salgemma si trovino esclusivamente sul fronte degli affioramenti evaporitici è giustificato dalla maggiore mobilità tettonica del salgemma rispetto alle rocce solfatiche. Infatti, il cloruro di sodio tende a rifluire, formando strutture diapiriche, e a migrare al fronte delle falde scollate a formare le cosiddette *salt-cored anticline* (anticlinali con nucleo di sale).

### ***Il Calcare cavernoso***

Ulteriore effetto delle trasformazioni che possono avvenire in condizioni di affioramento è la formazione del Calcare cavernoso: una breccia a clasti dolomitici e cemento calcitico contenente numerosi vuoti e vuoli, localmente chiamata *caprone* (fig. 6).

L'origine della roccia è legata al rifluimento e la dissoluzione dei livelli solfatici con formazione di brecce dolomitiche a clasti grossolani di forma sferoidale o a spigoli vivi cementati da calcite. In condizioni di affioramento gran parte dei clasti possono essere totalmente o parzialmente calcitizzati (de-dolomitizzati) e rimossi per dissoluzione, producendo rocce dall'aspetto spugnoso, ricco di vuoli. La formazione delle cellette e dei vuoli del Calcare Cavernoso non dipende quindi dalla dissoluzione di originari clasti di gesso, ma dalla disintegrazione per de-dolomitizzazione di clasti di dolomie.

### **Geologia dei gessi messiniani**

#### ***Il Mediterraneo sconvolto: la crisi di salinità messiniana***

La crisi di salinità messiniana è l'evento più drammatico della storia del Mare Mediterraneo (fig. 7). Una vera e propria catastrofe ecologica provocò la scomparsa di quasi tutte le forme di vita quando, tra 5.97 e 5.33 milioni di anni fa (Messiniano, Miocene superiore), il nostro mare si trasformò in una di enorme salina. Lo spostamento della placca Africana verso quella Euro-asiatica provocò un restringimento dello stretto di Gibilterra e la salinità aumentò drasticamente fino alla cristallizzazione dei minerali evaporitici. Nelle ultime fasi della crisi le acque estremamente salate furono sostituite da acque dolci e salmastre e il nostro mare diventò un vero e proprio "Lago mare". Le condizioni anomale della crisi, prima iperaline e poi iposaline, si protrassero per 640 mila anni (ROVERI *et alii* 2014) secondo il seguente schema, attraverso tre fasi principali:

- nella fase 1 (5.970.000–5.600.000 di anni fa) si sono formati i gessi Inferiori Primari (*Primary Lower Gypsum*), costituiti da cristalli di selenite cresciuti sul fondo, esclusivamente in acque poco profonde (meno di 200 m di profondità; LUGLI *et alii* 2010), mentre nei bacini più profondi avveniva la deposizione di argille eusiniche e di carbonato.

- con la fase 2 (5.600.000- 5.530.000 di anni fa) le zone di acque poco profonde furono sottoposte a erosione lungo la superficie erosiva messiniana (MES) con formazione di gesso clastico dell'unità dei gessi Inferiori Risedimentati (*Resedimented Lower Gypsum*) derivata dalla erosione e risedimentazione dei gessi Inferiori Primari; la deposizione evaporitica primaria migra nelle parti più profonde del bacino formando i depo-



Fig. 6 – Il Calcare cavernoso (*caprone*) è una breccia formata esclusivamente dalla cementazione di frammenti di rocce dolomitiche. L'aspetto cavernoso non dipende dalla dissoluzione di frammenti di gesso ma dalla disgregazione dei clasti dolomitici che hanno subito il fenomeno della de-dolomitizzazione (foto S. Lugli).

siti di sale (come in Sicilia, in Toscana e Cipro; LUGLI *et alii* 1999; ROVERI *et alii* 2008; MANZI *et alii* 2016); - nella fase 3 (5.530.000-5.330.000 di anni fa) si verificò la deposizione di una nuova unità evaporitica, i gessi Primari Superiori (Upper Gypsum) sia in acqua poco profonda (selenite) che in profondità (gesso clastico e cumuliti di gesso laminato) in Sicilia, Cipro e Grecia, mentre in Spagna e nell'Appennino settentrionale si depongono sedimenti fluvio-deltizi (Formazione a Colombacci, BASSETTI *et alii* 2004).

I gessi messiniani del sito UNESCO appartengono all'unità dei gessi Inferiori Primari della Formazione Gessoso-solfifera e si deposero nella prima fase della crisi, tra 5.97 e 5.60 milioni di anni fa nelle aree marginali poco profonde del Mediterraneo, simili a lagune (fig. 7). Nei confini del sito seriale non sono presenti le altre unità evaporitiche sopra descritte.

#### ***I gessi e i parametri astronomici***

Uno degli aspetti che salta subito all'occhio osservando i gessi messiniani è l'organizzazione in spessi strati

separati da sottili livelli di argilla (fig. 8). Sono 16 in tutto gli strati di gesso, i due cicli basali affiorano raramente, sono i più sottili e sono costituiti da cristalli giganti di selenite, fino a più di 1,5 m di lunghezza. Il 3°, 4° e 5° cicli sono i più spessi, fino a 30 m, e contengono selenite massiva e selenite bandata. La parte superiore della formazione, dal ciclo 6° al 16°, è invece caratterizzata da strati più sottili (spessore medio 15 m) costituiti alla base da selenite massiva seguita dalla selenite bandata e infine dalla selenite ramificata (fig. 9).

I gessi si sono formati nelle fasi climatiche aride della crisi di salinità, quando la forte evaporazione dell'acqua marina permetteva la cristallizzazione dei minerali evaporitici. L'argilla che separa gli strati gessosi rappresenta invece le fasi climatiche umide, quando piogge intense provocavano il trasporto delle particelle più fini dalle aree emerse dentro al bacino. Durante le fasi umide i gessi non si formavano perché l'evaporazione non era sufficiente. È questo uno dei casi più spettacolari e meglio studiati al mondo di sedimen-





Fig. 7 - Distribuzione delle evaporiti nel bacino del Mediterraneo in seguito della crisi di salinità messiniana che scorse in nostro mare tra 5.970.000 e 5.330.000 anni fa (semplificato da ROVERI *et alii* 2014).



Fig. 8 – La Vena del Gesso nella Riva di San Biagio vista dal castello di Tossignano mostra l'organizzazione delle 16 bancate di gesso separate da strati di argilla. (foto S. Lugli).

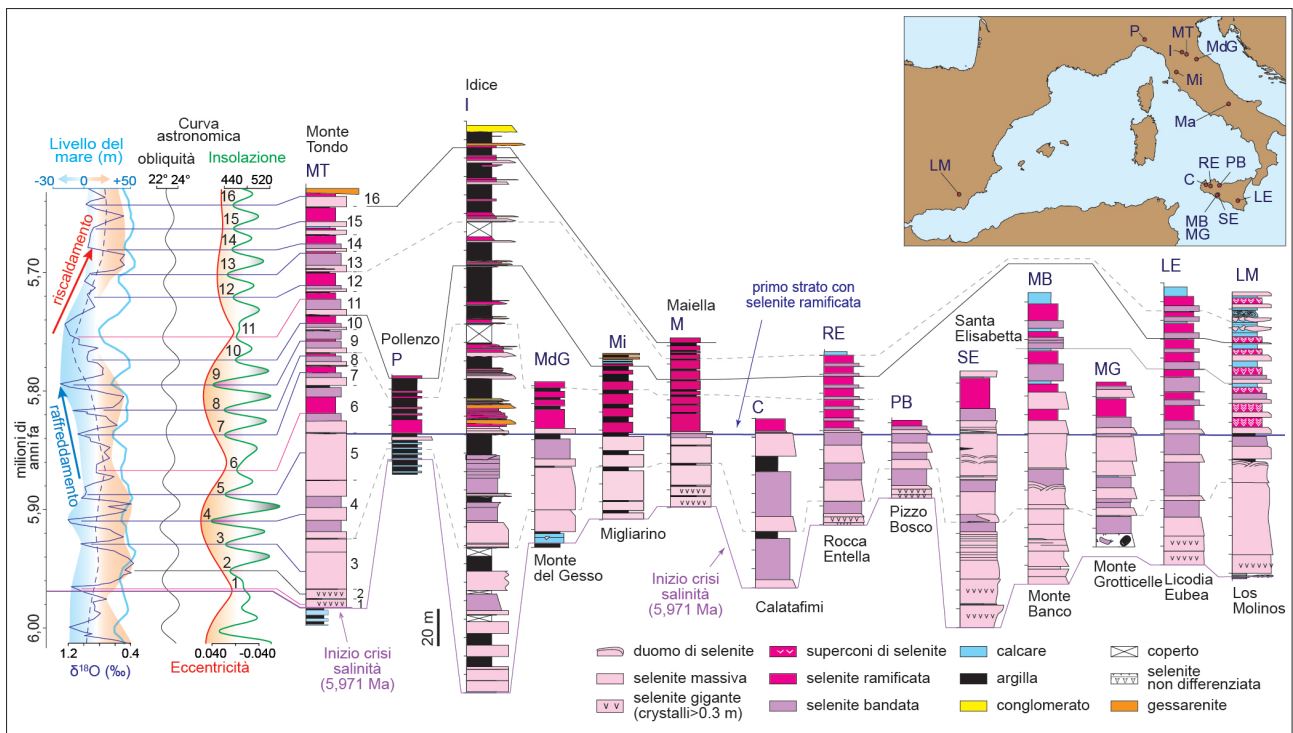


Fig. 9 – Nel sito UNESCO i 16 strati gessosi e le argille che li separano sono stati depositi in seguito alle variazioni climatiche naturali causate del fenomeno astronomico della precessione degli equinozi descritte dalla curva dell’insolazione (semplificato da LUGLI *et alii* 2010).

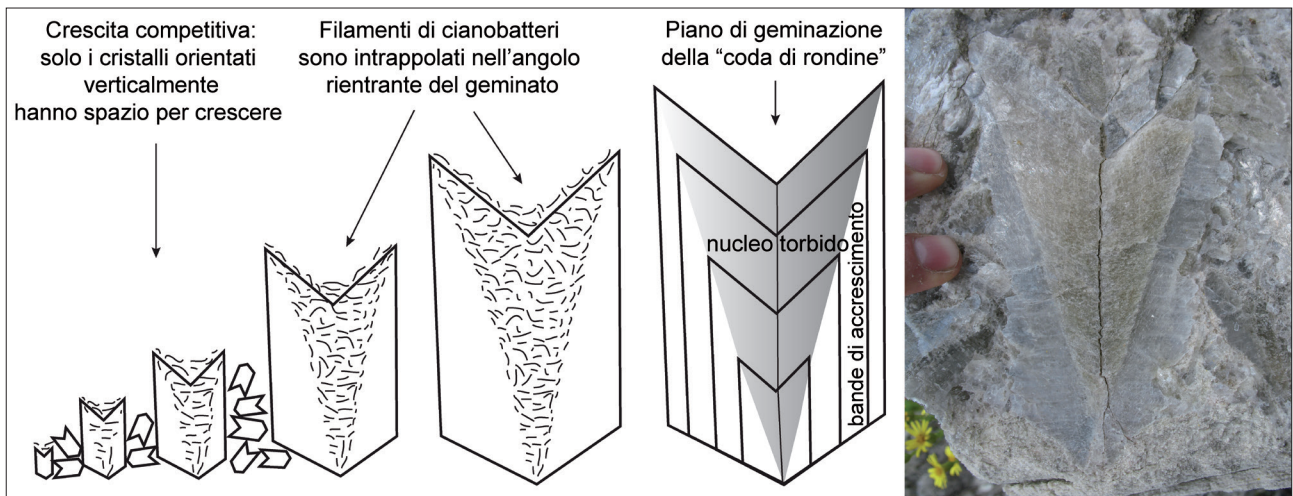


Fig. 10 - Crescita verticale competitiva dei cristalli di gesso geminati a coda di rondine. Il nucleo torbido dei cristalli include filamenti di cianobatteri intrappolati durante la crescita (modificato da LUGLI *et alii* 2010).

tazione influenzata dalle variazioni climatiche provocate da cause astronomiche naturali (LUGLI *et alii* 2010). Le perturbazioni dei parametri orbitali del nostro pianeta provocate dall’interferenza degli altri corpi celesti, cambiano nel tempo l’intensità dell’energia solare (insolazione) che raggiunge la superficie terrestre. Tra i cicli climatici, i cosiddetti cicli di Milankovitch, è la precessione degli equinozi ad aver regolato la deposizione dei gessi e delle argille. Ciascuna coppia di strati costituita da gesso e argilla

registra quindi la deposizione avvenuta nell’arco di circa 21.000 anni (LUGLI *et alii* 2010). Ne consegue che i 16 strati della Vena del Gesso, per uno spessore totale di oltre 200 m, sono stati depositi in circa 340.000 anni (fig. 9).

### Cristalli straordinari

I cristalli di Gesso messiniano presentano numerosi aspetti straordinari. Primo tra questi è la notevole dimensione che per i cristalli degli strati basali supera

il metro e potrebbero anche raggiungere 4 metri di lunghezza (LUGLI 2019).

La morfologia cristallina più diffusa è quella cosiddetta a “ferro di lancia” o “coda di rondine”, costituita da cristalli geminati (formati cioè dall’unione di due diversi cristalli) che possono raggiungere anche alcuni decimetri di lunghezza (fig. 10). La disposizione dei cristalli, descritta da MOTTURA (1871), indica che questi si formarono verticalmente, con la punta orientata verso il fondale e l’angolo rientrante in alto. Il fatto che nelle bancate gessose tutti i cristalli abbiano la stessa disposizione verticale può essere spiegata con la competizione per lo spazio che ha favorito solo la crescita dei nuclei che erano orientati verso l’alto, l’unico spazio libero possibile. Tutti gli altri cristalli orientati casualmente prima o poi terminarono la loro crescita contro quelli orientati verticalmente, che risultarono quindi i “vincitori” della competizione (LUGLI *et alii* 2010, fig. 10).

Oltre ai cristalli a coda di rondine, sono presenti anche lunghi cristalli monoclini non geminati, dritti o leggermente ricurvi. I primi due banconi della successione sono costituiti esclusivamente da cristalli di

questo tipo, che possono raggiungere dimensioni fino a oltre quattro metri (selenite gigante) a Monte Mauro (LUGLI 2019a).

La modalità di crescita di cristalli ha creato anche altre forme caratteristiche. I primi cristalli che si formavano tendevano ad affondare nel fango sottostante, formando strutture sedimentarie da carico di forma conica chiamate coni di nucleazione (fig. 11). Questi, che prendono il nome di “mammelloni” nei soffitti delle sale di crollo delle grotte quando lo strato inferiore è stato asportato, raggiungono dimensioni straordinarie come quello della grotta di Onferno che misura 4,90 m di diametro basale e 2,15 m di altezza, il più grande mammellone del mondo (LUGLI 2022 e bibliografia inclusa).

I cristalli di selenite sono semitrasparenti ma la zona centrale è torbida, ricca di filamenti di organismi che vivevano sul fondo del bacino e venivano intrappolati durante la crescita (fig. 10). È questo un caso eccezionale di fossilizzazione in gesso di cianobatteri (PANIERI *et alii* 2010) e/o di batteri solfuro-ossidanti (DELA PIERRE *et alii* 2015). L’ottimo stato di preservazione della materia organica ha permesso di analizzare il

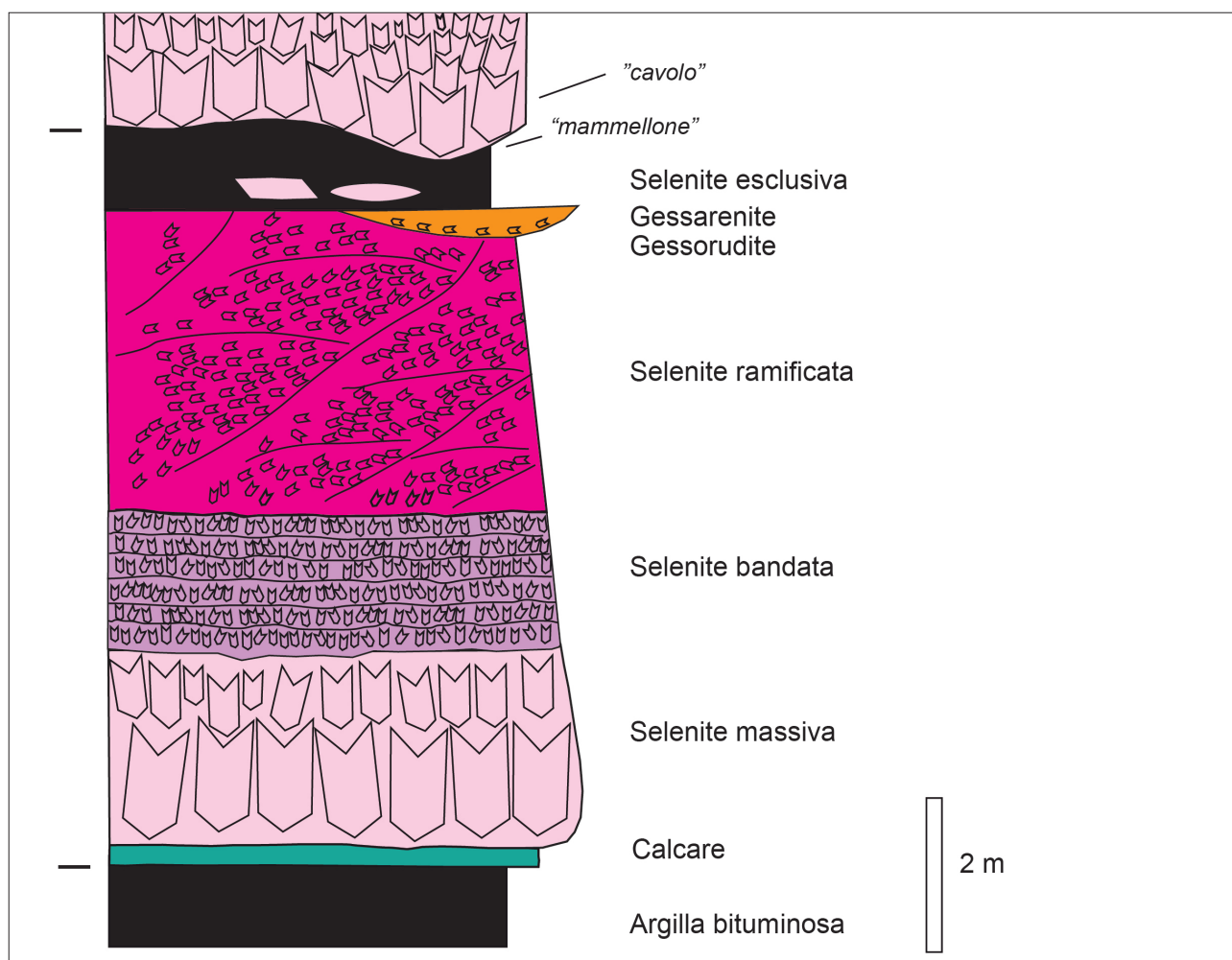


Fig. 11 – Colonna stratigrafica con i diversi sedimenti e varietà di selenite negli strati dei gessi messiniani (modificato da LUGLI *et alii* 2010).

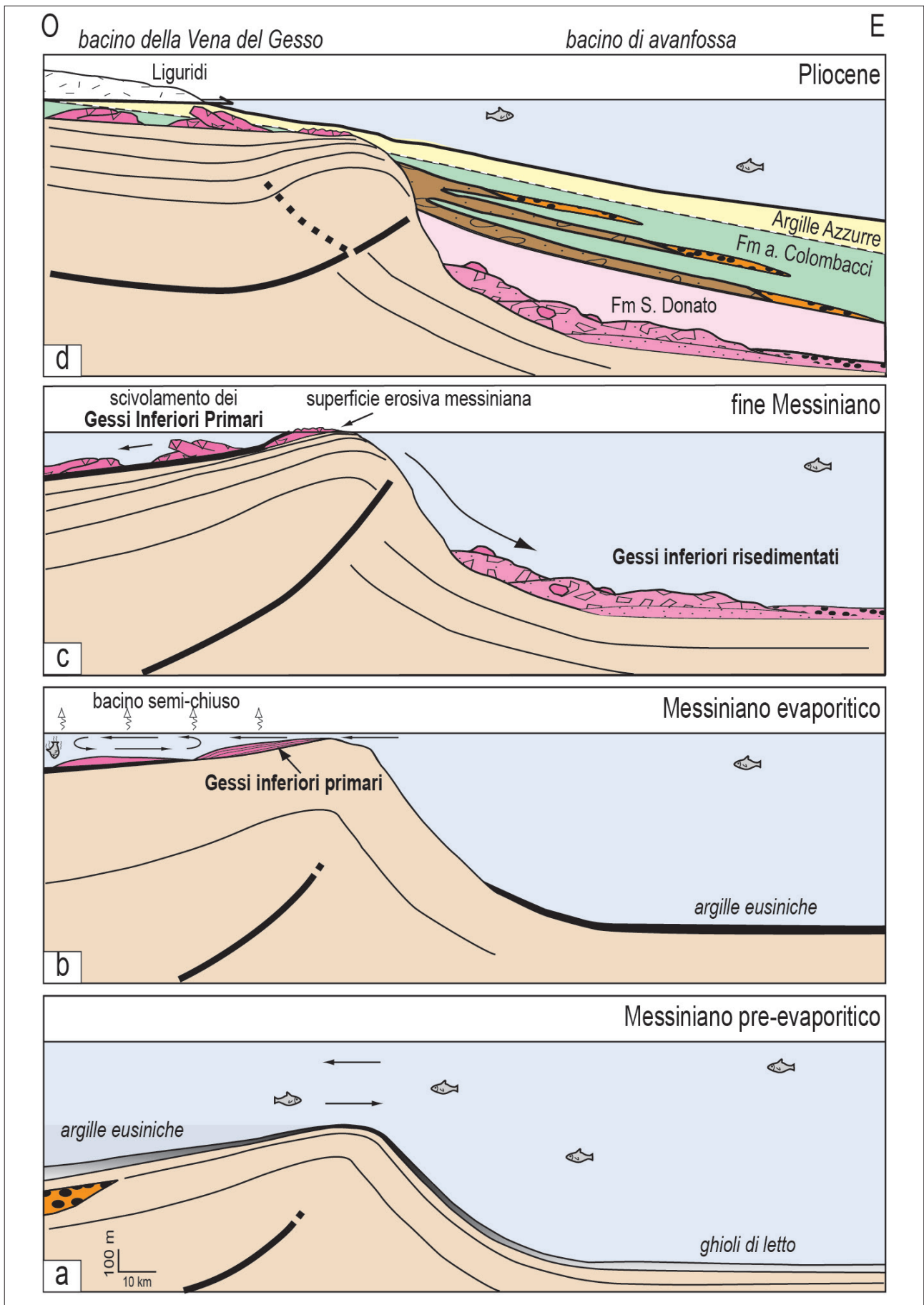


Fig. 11 – Colonna stratigrafica con i diversi sedimenti e varietà di selenite negli strati dei gessi messiniani (modificato da LUGLI *et alii* 2010).

materiale genetico dei cianobatteri, il più antico esempio fino ad oggi mai rilevato. Solo questi microrganismi e pochi altri erano in grado di sopravvivere alle elevate salinità del Mediterraneo durante la crisi di salinità, poco meno di sei milioni di anni fa.

La proprietà mineralogica dei cristalli di gesso di essere separati lungo piani perfettamente lisci e regolari (piani di sfaldatura) fu sfruttata dai Romani per suddividere facilmente i cristalli in lastre sottilissime, per utilizzarle nelle finestre al posto dei vetri, il famoso *lapis specularis* di origine secondaria formato all'interno di fratture (LUGLI 2019b).

### **Le frane sottomarine**

Gran parte degli affioramenti dei gessi messiniani è caratterizzata da deformazioni estensionali e compressive (MARABINI, VAI 1985), che hanno isolato blocchi gessosi ruotati di dimensioni enormi, grandi quanto intere montagne. Alle faglie sono associati sovrascorrimenti poco profondi che non interessano le formazioni geologiche sovrastanti e sottostanti, ma si propagano da una superficie di scollamento localizzata alla base dei gessi, a contatto con le unità argillose sottostanti. Queste deformazioni in passato attribuite a "tettonica compressiva tangenziale" (o "pellicolare") lungo faglie orientate verso nord-est (MARABINI, VAI 1985; MONTANARI *et alii* 2007) appaiono in realtà il frutto di scivolamento dei grandi blocchi indotto in enormi frane sottomarine innescate dalla fase tettonica intramessiniana (fig. 12), ROVERI *et alii* 2003), così come in altre aree del Mediterraneo, dalla Sicilia a Cipro (MANZI *et alii* 2005, MANZI *et alii* 2016) e Israele (LUGLI *et alii* 2013).

### **Bibliografia**

- M.A. BASSETTI, V. MANZI, S. LUGLI, M. ROVERI, A. LONGINELLI, F. RICCI LUCCHI, M. BARBIERI 2004, *Paleoenvironmental significance of Messinian post-evaporitic lacustrine carbonates in the Northern Apennines, Italy*, (Sedimentary Geology 172), pp. 1-18.
- M. BERTOLANI 1949, *Rocce e minerali dell'alta Valle del Secchia*, in *Studio sulla formazione gessoso-calcareo dell'alta Valle del Secchia*, (Memorie Comitato Scientifico Centrale, CAI Modena, I), pp. 2-70.
- L. BONINI, C. MONTOMOLI, P.C. PERTUSATI 2013, *Le evaporiti triassiche di Sassalbo e della Val Secchia (Appennino-Tosco-Emiliano): dati geometrici e cinematici*, (Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, 120), pp. 5-23.
- A. COLOMBETTI, P. FAZZINI 1986, *Il salgemma nella formazione dei gessi triassici di Burano (Villaminazzo, RE)*, (Le Grotte d'Italia (4) XII, 1984/85), pp. 209-219.
- A. COLOMBETTI, A. ZERILLI 1987, *Prime valutazioni dello spessore dei gessi triassici mediante sondaggi elettrici verticali nella Valle del F. Secchia (Villa Minozzo- R.E.)*, (Memorie della Società Geologica Italiana, 39), pp. 83-90.
- F. DELA PIERRE, M. NATALICCHIO, S. FERRANDO, R. GIUSTETTO, D. BIRGEL, G. CARNEVALE, S. GIER, F. LOZAR, D. MARABELLO, J. PECKMANN 2015, *Are the large filamentous microfossils preserved in Mesinian gypsum colorless sulfide-oxidizing bacteria?* (Geology 43, 10), pp. 855-858.
- S. LUGLI 1993, *Considerazioni geologiche sulla genesi delle cavità ad "ansa ipogea" nelle evaporiti triassiche dell'alta val di Secchia*, (Atti XVI Congresso Nazionale di Speleologia, Le Grotte D'Italia (4) XVI) pp. 257-266.
- S. LUGLI 1997, *Megabrecce solfatiche nella Formazione di Burano dell'alta val di Secchia (Trias sup., RE): cap rock da dissoluzione di salgemma*, Riassunti 1° Forum Italiano di Scienze della Terra, Geoitalia 1997, Bellaria (Rimini), 5-9 ottobre 1997, fascicolo 2, pp. 36-38.
- S. LUGLI 2001, *Timing of post-depositional events in the Burano Formation of the Secchia Valley (Upper Triassic, northern Apennines), clues from gypsum-anhydrite transitions and carbonate metasomatism* (Sedimentary Geology, 140/1-2) pp. 107-122.
- S. LUGLI 2009, *La storia geologica dei gessi triassici della Val Secchia*, in M. CHIESI, P. FORTI (a cura di), *Il progetto Trias*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s.II, 22), Bologna, pp. 25-36.
- S. LUGLI 2019a, *I grandi cristalli di gesso di Monte Mauro, quasi un primato mondiale*, in M. COSTA, P. LUCCHI, E. S. PIASTRA (a cura di), *I Gessi di Monte Mauro, studio multidisciplinare di un'area carsica nella Vena del Gesso romagnola*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, v. 34), pp. 45-48.
- S. LUGLI 2019b, *Il gesso in natura e nell'arte*, in D. GULLI S. LUGLI, R. RUGGIERI, R. FERLISI (a cura di) (*GeoArcheoGypsum2019, Geologia e archeologia del gesso: dal lapis specularis alla scagliola*), Palermo, Regione siciliana, pp. 17-31.
- S. LUGLI 2022, *Ex cava Spes, dentro e fuori la Vena del gesso*, in P. LUCCHI, S. PIASTRA (a cura di), *I Gessi di Tossignano, studio multidisciplinare di un'area carsica nella Vena del gesso romagnola*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia s. II, 40), pp. 25-28.
- S. LUGLI, G.C. PAREA 1997, *Halite cube casts in the Triassic sandstones from The Upper Secchia River*

- valley (Northern Apennines, Italy): environmental interpretation, (Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti di Modena, Collana di Studi, 15, Miscellanea Geologica), pp. 341-351.
- S. LUGLI, M. DOMENICHINI, C. CATELLANI 2004, *Peculiar karstic features in the Upper Triassic sulphate evaporites from the Secchia Valley (Northern Apennines, Italy)*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, 16, Istituto Italiano di Speleologia), Bologna, pp. 95-102.
- S. LUGLI, G. MORTEANI, D. BLAMART 2002, *Petrographic, REE, fluid inclusion and stable isotope study of the magnesite from the Upper Triassic Burano Evaporites (Secchia Valley, northern Apennines): contributions from sedimentary, hydrothermal and metasomatic sources*, (Mineralium Deposita, 37), pp. 480-494.
- V. MANZI, S. LUGLI, F. RICCI LUCCHI, M. ROVERI 2005, *Deep-water clastic evaporites deposition in the Messinian Adriatic foredeep (Northern Apennines, Italy): did the Mediterranean ever dry out?*, (Sedimentology 52), pp. 875-902.
- V. MANZI, S. LUGLI, M. ROVERI, F. DELA PIERRE, R. GENNARI, F. LOZAR, M. NATALICCHIO, B.C. SCHREIBER, M. TAVIANI, E. TURCO 2016, *The Messinian salinity crisis in Cyprus: a further step towards a new stratigraphic framework for Eastern Mediterranean*, (Basin Research), pp. 1-30.
- S. MARABINI, G.B. VAI 1985, *Analisi di facies e macro-tettonica della Vena del Gesso in Romagna*, (Bollettino della Società Geologica Italiana 104), pp. 21-42.
- D. MONTANARI, C. DEL VENTISETTE, M. BONINI, F. SANI 2007, *Passive-roof thrusting in the Messinian Vena del Gesso Basin (Northern Apennines, Italy): constraints from field data and analogue models*, (Geological Journal 42, 5), pp. 455-476.
- S. LUGLI, B.C. SCHREIBER, B. TRIBERTI 1999, *Giant polygons in the Realmonte mine (Agrigento, Sicily): evidence for the desiccation of a Messinian halite basin*, "Journal of Sedimentary Research" 69, pp. 764-771.
- G. PANIERI, S. LUGLI, V. MANZI, M. ROVERI, B.C. SCHREIBER, K.A. PALINSKA 2010, *Ribosomal RNA gene fragments from fossilized cyanobacteria identified in primary gypsum from the late Miocene, Italy*, (Geobiology 8), pp. 101-111.
- G. PLESI, S. CHICCHI, G. DANIELE, S. PALANDRI 2000, *La struttura dell'alto Appennino reggiano-parmense fra Valditacca, il Passo di Pradarena e il M. Ventasso*, (Bollettino della Società Geologica Italiana, 119), pp. 267-296.
- M. ROVERI, R. FLECKER, W. KRIJGSMAN, J. LOFI, S. LUGLI, V. MANZI, F.J. SIERRO, A. BERTINI, A. CAMERLENGHI, G. DE LANGE, R. GOVERS, F.J. HILGEN, C. HÜBSCHER, P.T.H. MEIJER, M. STOICA 2014, *The Messinian Salinity Crisis: past and future of a great challenge for marine sciences*, (Marine Geology, 349), pp. 113-125.
- M. ROVERI, V. MANZI, F. RICCI LUCCHI, S. ROGLEDI 2003, *Sedimentary and tectonic evolution of the Vena del Gesso basin (Northern Apennines, Italy): Implications for the onset of the Messinian salinity crisis*, (Geological Society of America Bulletin 115, 4), pp. 387-405.
- M. ROVERI, S. LUGLI, V. MANZI, R. GENNARI 2008, *Large-scale mass wasting processes in the Messinian Ciminna Basin (northern Sicily)*, (Geoacta 7), pp. 45-62.
- D.J. SHEARMAN 1985, *Syn depositional and late diagenetic alteration of primary gypsum to anhydrite*, in B.C. SCHREIBER (Ed.), *Sixth International Symposium on Salt*, vol. 1, Salt Institute, pp. 41-55.