



SOCIETÀ
SPELEOLOGICA
ITALIANA



GRUPPO
SPELEOLOGICO
URBINO



COMMISSIONE
CAVITÀ
ARTIFICIALI



COMUNE
DI URBINO



1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO



AMM/NE
DEL LEGATO
ALBANI

Opera Ipogea: Mundus Subterraneus

SIMPOSIO DI SPELEOLOGIA IN CAVITÀ ARTIFICIALI

Urbino

8 | 9 | 10 | 11 Dicembre **2016**

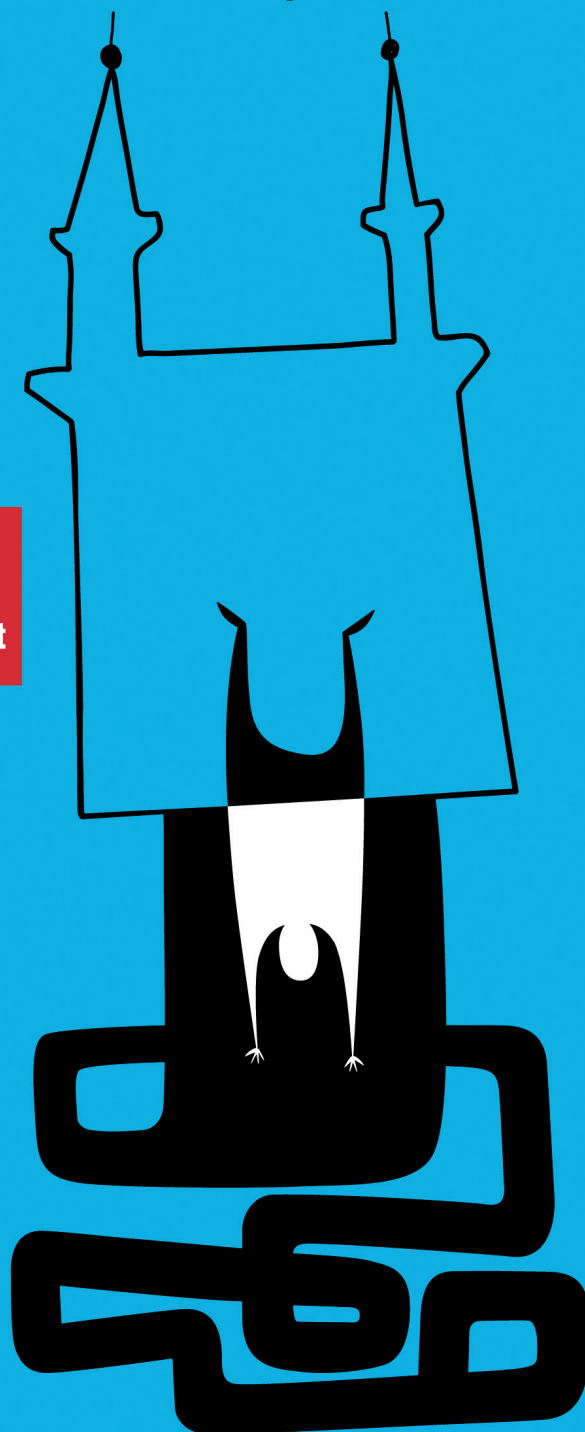
Sede del convegno, ex **Collegio Raffaello** Piazza della Repubblica

Informazioni:

www.mundussubterraneus.it

segreteria@mundussubterraneus.it

#MUNDUS
SUBTERRANEUS





Presidente del Simposio

Michele Betti

Comitato Organizzativo

- Nicola Amadori (Direttore)
- Stratos Diakatos (Segretario)
- Alberto Crinelli
- Paolo Giannotti
- Michele Magnoni
- Enrico Maria Sacchi

Comitato Scientifico

- Enrico Maria Sacchi (Direttore)
- Gabriella Bernardini
- Michele Betti
- Carla Galeazzi
- Alberto Gaudio
- Carlo Germani
- Matteo Giordani
- Andrea Tamburini
- Filippo Venturini



Il bacino sulfureo dell'Urbinate (Appennino Marchigiano esterno)

Andrea Tamburini^{1,2}, Michele Betti^{2,3,4}, Stratos Diakatos Arvanitis^{2,5}, Paolo Giannotti^{2,4}, Matteo Giordani^{1,2}, Michele Magnoni², Enrico Maria Sacchi^{2,4}

Riassunto

Il bacino sulfureo dell'Urbinate fu uno dei principali punti estrattivi del centro Italia, soprattutto durante il periodo compreso tra il 1866 e il 1904 sfruttando diversi giacimenti di Gessoso-Solfifera (Messiniano). Tale bacino si estende geograficamente e geologicamente dalla località Fratterosa, a sud, fino alla zona di Macerata Feltria, a nord, ove affiorano i terreni epiligruri appartenenti alla cosiddetta "colata della Val Marecchia", in prossimità del M. Carpegna, sviluppandosi su di una fascia di circa 45 km con direzione prevalente NW-SE.

Dal punto di vista stratigrafico, il bacino è caratterizzato da depositi di età miocenica superiore comprendenti lenti di gesso, calcari solfiferi, salgemma e altri sali più solubili intercalati a sedimenti terrigeni e legati alla "crisi di salinità del Messiniano" che ha investito tutto il Mediterraneo.

La Formazione della Gessoso-Solfifera si rinviene in prevalenza all'interno di strette sinclinali confinate stratigraficamente tra la sottostante Formazione della Marnoso-Arenacea (Tortoniano inf.-Messiniano sup.) e la soprastante Formazione a Colombacci (Messiniano sup.). Inoltre, la fascia di interesse si presenta intensamente deformata da pieghe e fronti di accavallamento a vergenza orientale legati alla tettonica compressiva che ha coinvolto l'intero Appennino Umbro-Marchigiano. I maggiori punti estrattivi si riconducono alle miniere di San Lorenzo in Zolfinelli, Cavallino, Schieti, Pietrarubbia, Miniera della Morcia, Peglio, Fratterosa e Talacchio, più altrettanti punti di ricerca mai attivati come Coldelce e Farneto presso Colbordolo.

Mediamente, i giacimenti presentavano strati madre, litologicamente marnosi-argillosi, con uno spessore di 0,5-0,8 metri, ed una resa ai forni compresa tra 8-12%. Inoltre, talvolta si presentavano anche per notevole estensione alterati e depauperati anche ad una certa profondità, mentre di regola in tutti i giacimenti solfiferi l'alterazione dello zolfo intacca solamente le porzioni più superficiali.

Pertanto, date le condizioni di alterazione e di poca uniformità stratigrafica degli strati madre, accompagnati dal particolare assetto tettonico di cui è caratterizzato l'intero bacino, l'attività estrattiva si rivelò essere piuttosto complicata, costringendo la ricerca dei giacimenti più importanti, e a maggior tenore in zolfo, sempre più in profondità.

Parole chiave: bacino sulfureo, Urbino, Formazione Gessoso-Solfifera, Messiniano, Miniere, Appennino marchigiano.

Abstract

The sulphur basin of Urbino area (external Marche Apennines)

The sulphur basin of Urbino area it was one of the major mining centres of central Italy, especially during the period included between 1866 and 1904, through the exploitation of the Gessoso-Solfifera Formation deposits (Messinian). Geographically and geologically, the basin extends from Fratterosa at South until Macerata Feltria toward North, covering a tight zone of about 45 km with a prevalent development direction of NW-SE, where outcrop the Epiligrurid sediments of the so-called "colata della Val Marecchia", near to Carpegna massif.

From stratigraphic point of view, the basin is characterized by sediments of upper Miocene, that includes gypsum lenses, sulphur carbonates, rock salt, and other more soluble salts interbedded at terrigenous sediments. This geological formation is linked to "Messinian salinity crisis" that affected the entire Mediterranean Sea.

The Gessoso-Solfifera Formation is mainly found within of tight synclines and stratigraphically bordered between the underlying Marnoso-Arenacea Formation (lower Tortonian-upper Messinian) and the overlying Colombacci Formation (upper Messinian). Furthermore, the interested area shows an intense deformation through folds and thrust-fronts at Eastern vergency, associated at compressive tectonics trend which involved the entire Umbria-Marche Apennines.

¹ Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo" - Dipartimento di Scienze Pure e Applicate

² Gruppo Speleologico Urbino

³ Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo" - Dipartimento di Scienze Biomolecolari

⁴ Società Speleologica Italiana - Commissione Nazionale Cavità Artificiali

⁵ CNSAS - XII Zona Speleologica

Autore di riferimento: Andrea Tamburini - andrea.tamburini@uniurb.it

The most important mining activities are localized to San Lorenzo in Zolfinelli, Cavallino, Schieti, Pietrarubbia, Morcia mine, Peglio, Fratterosa and Talacchio, in addition at other research areas like Coldelce and Farneto, near to Colbordolo, where the extraction it was never started.

Generally, the sulphur deposits were found in marls-clay stratabounds with a mean thickness of 0.5-0.8 m and a yield to the furnaces of 8-12%. Moreover, these layers were found with an extended alteration and strongly depleted until to a considerable depth, while normally the sulphur alteration affects the outer portions of outcrops.

Therefore, given the conditions of heavy alteration and low uniformity of the sulphur deposits, in addition to complex tectonic arrangement of the research area, the mining activity was appeared rather complicated, forcing the exploration always more in depth of most important deposits with a highest content in sulphur.

Key words: Sulphur basin, Urbino area, Gessoso-Solfifera Formation, Messinian, Mines, Marche Apennine.

Introduzione

Lo zolfo è un minerale caratteristico di depositi sedimentari di tipo evaporitico e la sua presenza in Italia è legata alla cosiddetta "crisi di salinità messiniana" (MSC) che ha coinvolto gran parte del Mediterraneo durante la fine del Miocene (tra 5,97 e 5,33 milioni di anni fa). Questo evento rappresenta uno dei principali cambiamenti ambientali nella recente storia geologica della Terra, durante il quale il Mare Mediterraneo fu vicino all'essiccazione completa e circa il 5% dei sali disciolti negli oceani di tutto il mondo si depositarono nei diversi bacini intra-Mediterranei formando più di 1 milione di km³ di sedimenti (Krijgsman et al., 1999; Manzi et al., 2013).

Le cause di questa trasformazione furono il risultato di una complessa combinazione di fattori climatici, tettonici e sedimentari che hanno comportato una progressiva restrizione dello stretto di Gibilterra, fino alla probabile chiusura completa del passaggio Mediterraneo-Atlantico (Ryan et al., 1978; Hsü et al., 1973; Butler et al., 1995; Hilgen et al., 1995, 2007; Clauzon et al., 1996; Govers, 2009; García-Castellanos & Villaseñor, 2011; Ryan, 2011). Senza una connessione con l'oceano e, dal momento in cui l'input meteorico e fluviale non fu compensato dal tasso di evaporazione, il livello del Mar Mediterraneo diminuì drasticamente (Vai, 1997; Krijgsman et al., 1999, 2002; Van Couvering et al., 2000; Hilgen et al., 2007; CIESM, 2008; Manzi et al., op. cit.).

Il complesso di depositi accumulatisi durante questo particolare evento geologico-climatico, prende il nome di Formazione Gessoso-Solfifera (Selli, 1960) e, durante la loro messa in posto, subirono gli effetti dell'attività tettonica Neogenica, manifestando la sua influenza soprattutto sulla paleoceanografia del bacino del Mediterraneo.

Infatti, tali sedimenti furono coinvolti nel progressivo sollevamento Appenninico, il quale definì dal punto di vista topografico una morfologia caratterizzata da bacini allungati di piccola estensione e confinati tra loro da rilievi in lento e continuo accrescimento. Queste condizioni si svilupparono piuttosto marcatamente nella porzione Appenninica meridionale (Sicilia) e nella fascia nord-orientale (Romagna e Marche, ove ricade la provincia di Urbino), favorendo le condizioni per l'accumulo di zolfo all'interno dei singoli bacini.

La fine della crisi di salinità del Messiniano è marcata dalla reinondazione Zancleana (inizio Pliocene), quando il passaggio Atlantico-Mediterraneo si riaprì, lasciando rientrare l'acqua oceanica all'interno del bacino e ripristinando quasi completamente le condizioni marine precedenti alla crisi.

Assetto geologico della provincia sulfurea d'Urbino

La provincia sulfurea Urbinate ricade nella fascia di pedeappennino marchigiano esterno (Deiana & Pialli, 1994) e rappresenta la porzione più orientale della catena, la cui terminazione giunge fino alla zona costiera Adriatica, raggiunta nel Pliocene.

La deformazione di questa porzione di Appennino segue lo stesso andamento delle zone più interne, determinando un sistema a pieghe e fronti di accavallamento con vergenza nord-orientale. Queste strutture plicative sono caratterizzate da assi orientati NW-SE, nel settore settentrionale, che si mantengono fino alla parte meridionale dei Monti Sibillini, dove ruotando a circa N-S, realizzano una configurazione tale da formare un arco a convessità orientale (Lavecchia & Pialli, 1981).

Pertanto, l'area in esame segue circa lo stesso andamento del fronte Appenninico (NW-SE), estendendosi per circa 45 km. Essa, è limitata a SW dal rilievo del M. Nerone-M. Catria, a N dai terreni alloctoni della "Colata della Val Marecchia", in prossimità del massiccio di Carpegna, e giungendo fino a S, nella valle del Metauro, in località Fratterosa.

Dallo schema geologico riportato in figura 1, si evince come i terreni e la tettonica neogenica si estendano su gran parte dell'area considerata, partendo dal fronte orientale dei rilievi mesozoici interni. In particolare, la distribuzione del Messiniano ricopre una superficie piuttosto notevole ed affiora con continuità attorno alle anticlinali più rilevanti e compare ancor più esteso sul fondo delle sinclinali interne della catena. Questa continuità viene interrotta solamente dall'emergere di alcune strutture anticlinaliche come i rilievi di Acquafredda, Furlo e Cesana, che riesumano parte della sequenza calcarea meso-cenozoica.

Pertanto, prendendo a riferimento i vari affioramenti, i dati estratti dai trattati del Servizio Minerario e dall'assetto tettonico considerando, possiamo identi-

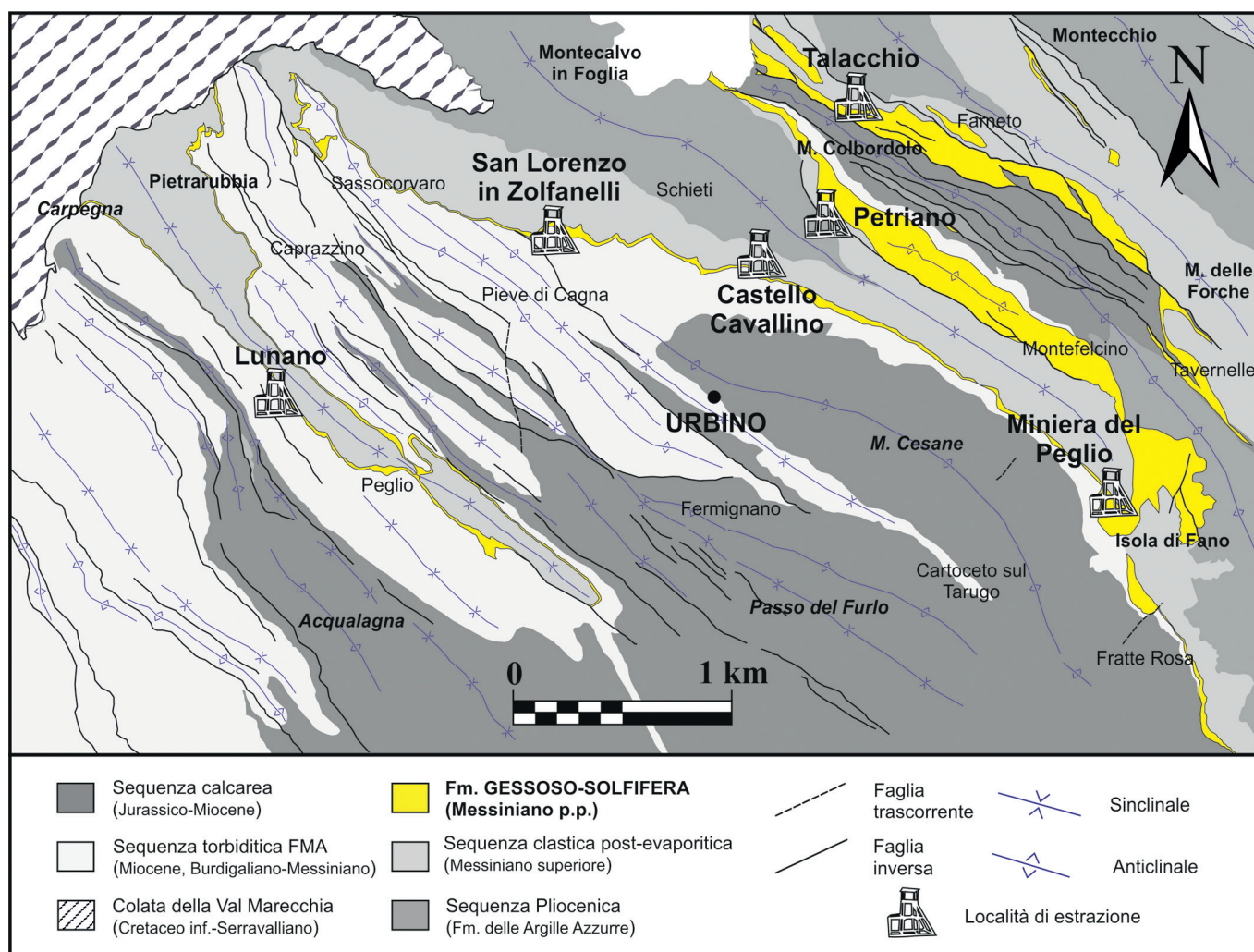


Fig. 1 - Carta geologica schematica del bacino sulfureo della provincia d'Urbino. In giallo viene riportato l'affioramento della Formazione Gessoso-Solfifera, contenente i livelli di zolfo; l'ubicazione dei "castelli" indica le diverse località di estrazione (disegno A. Tamburini).

Fig. 1 - Schematic geological map of Urbino sulphur basin. Gessoso-Solfifera Fm contain the sulphur levels and it's highlighted with the yellow colour in the map; the castle symbology indicates the extractive location of Urbino area (drawing A. Tamburini).

ficare e suddividere tre principali settori strutturali della provincia sulfurea dell'Urbinate, da S-W a N-E, discretizzandole in pieghe principali:

- *Anticlinale di Acqualagna*: la struttura, piuttosto larga e corta, presenta al nucleo la Formazione Maiolica e mostra la chiara asimmetria appenninica (vergenza nord-orientale). A N-W si chiude presso il corso del fiume Metauro, trovando continuazione strutturale sul suo asse principale con la sinclinale di Urbina. Allo stesso modo, la prosecuzione a SE dell'asse anticlinale tende a succedersi alla sinclinale di Monte Aiate.
- *Sinclinale di Pietrarubbia-Urbina*: la piega in esame inizia con la terminazione periclinale dell'anticlinorio di Acqualagna, terminando presso lo spartiacque dei bacini del Conca e del Foglia. Il bacino formato, piuttosto stretto (fianco S-W piuttosto ripido), è occupato prevalentemente dai terreni Messiniani e raggruppa al suo interno una piega di ordine inferiore che fa riferimento alla sinclinale di

Peglio-Pietrarubbia (a N-W). Quest'ultima struttura è sede di uno dei principali sottobacini sulfurei della provincia Urbinate.

- *Anticlinale del Furlo*: questa struttura fa riferimento ad un'enorme dorsale, composta dal susseguirsi di diversi anticlinali allineate sul medesimo asse strutturale. Questa raggiunge la culminazione massima in prossimità del Passo del Furlo, dove si articola la gola che mette in luce i terreni più antichi della successione Umbro-Marchigiana.
- *Sinclinale Urbino-Cartoceto sul Tarugo*: tale struttura risente enormemente della sua prossimità all'anticlinale del Furlo; infatti si presenta come una sinclinale molto stretta e asimmetrica, con fianchi piuttosto inclinati, e al cui fondo affiorano i terreni del Tortoniano, per il cui motivo la ricerca di zolfo non ha interessato questa zona. A NW di Urbino essa è seguibile fin quasi a Pieve di Cagna dove confluisce nella sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano.

- *Anticlinale della Cesana*: il Monte Cesana è costituito da una piega piuttosto larga, con fianchi a debole pendenza e con una lieve vergenza a NE. Questa struttura va a bordare la sinclinale precedente (Urbino-Cartoceto sul Tarugo) e, insieme ai rilievi di Acqualagna e del Furlo va a rappresentare uno dei principali rilievi anticlinali di frammentazione dei vari sottobacini sulfurei della provincia Urbinate. Il nucleo di tale struttura è occupato dalla Formazione Maiolica e, pertanto, i termini più giovani giungono fino al Tortoniano con l'affioramento dello Schlier.
- *Sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano*: questa struttura rappresenta un vasto e complesso bacino che inizia dal Conca a NW fino a giungere oltre il corso fluviale dell'Esino verso SE, in prossimità di Isola di Fano. I fianchi si mantengono piuttosto dolci e regolari (non superano in genere i 35° di inclinazione). Nella porzione meridionale, la sinclinale è occupata quasi totalmente dai terreni Messiniani e, per una piccola parte, dai terreni Plioceni. Lungo il suo proseguimento verso nord, risulta frequentemente disturbata dal punto di vista tettonico da una serie di strutture sia plicative che da taglio di ordine inferiore, mentre sul lato Adriatico manifesta una prosecuzione regolare con la contigua anticlinale del Monte di Colbordolo. La presente sinclinale è sede del più importante sottobacino sulfureo della provincia Urbinate, all'interno del quale sono localizzati i maggiori centri di estrazione come San Lorenzo in Zolfinelli, Castel Cavallino e la ricerca avanzata in località Schieti, sul fianco SW, e le miniere di Petriano e Fratterosa, sul fianco NE.
- *Anticlinale di Monte di Colbordolo*: questa anticlinale è rappresentata da un complesso sistema di pieghe e faglie longitudinali che ne determinano una geometria fortemente asimmetrica, con fianchi irregolari e localmente disturbati dal punto di vista tettonico. L'asse anticlinalico maggiore è osservabile lungo il fiume Foglia, presso la confluenza con il Rio Salso. Il suo nucleo è caratterizzato dai terreni del Miocene Inferiore (Scaglia Cinerea, Bisciario e Schlier) e rappresenta la divisione strutturale tra la sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano e la sinclinale di Tavullia-M. delle Forche.
- *Sinclinale di Tavullia-M. delle Forche*: è una grande piega delimitata a S-W dall'anticlinale di Colbordolo e a NE dall'anticlinale di Montecchio-Mombaroccio, con fianchi molto regolari a debole pendenza e occupata esclusivamente dai terreni Plioceni. All'interno viene inglobata una sinclinale secondaria ampiamente occupata dai terreni Plioceni, come la sequenza torbida della Formazione San Donato e la Formazione delle Argille Azzurre. Questa sinclinale presenta delle strutture plicative di secondo ordine, all'interno delle quali affiorano i terreni evaporitici Messiniani che sono stati sede di attività di estrazione di zolfo, come la Miniera di

Talacchio, o semplicemente di una certa attività di ricerca (per esempio Coldelce).

- *Anticlinale di Montecchio-Mombaroccio*: la presente anticlinale è seguibile solo fra Foglia e Metauro e si abbassa rapidamente lungo i suoi fianchi N-W e S-E, smorzandosi al di sotto del Pliocene. Questa viene considerata come una struttura collaterale del rilievo di Colbordolo (Selli, 1960), dato che ne conserva i vari assi anticlinali e rappresenta, fondamentalmente, la chiusura sul fronte Adriatico dell'affioramento dei terreni Messiniani e, quindi, anche delle attività di ricerca ed estrazione di zolfo nella provincia Urbinate.

La Formazione Gessoso-Solfifera nell'area d'Urbino

Il termine Formazione Gessoso-Solfifera sta ad indicare un complesso di depositi di età miocenica superiore comprendenti lenti di gesso, calcari solfiferi, salgemma e altri sali più solubili intercalati a depositi terrigeni che si ritrovano in tutta l'area italiana, e che hanno termini equivalenti nelle aree perimediteranee. L'unità è stata suddivisa classicamente in tre membri (fig. 2): Tripoli (diatomiti e peliti euxiniche, ricche in sostanza organica), calcare di base e membro "gessoso" (gessi, gessareniti, salgemma, etc.), costituito da calcari sottilmente laminati di colore bianco o grigio molto chiaro, con irregolari vuoti interni contenenti sali (Baldacci, 1886; Mottura, 1871; Ogniben, 1957; Sacco, 1886). Il limite superiore, sincrono, viene posto in coincidenza con il ritorno a condizioni marine franche alla base dello Zancleano. Il limite inferiore, diacrono, è dato dalla prima comparsa di depositi evaporitici primari (carbonati, solfati o cloruri) o clastici (Roveri et al., 2003).

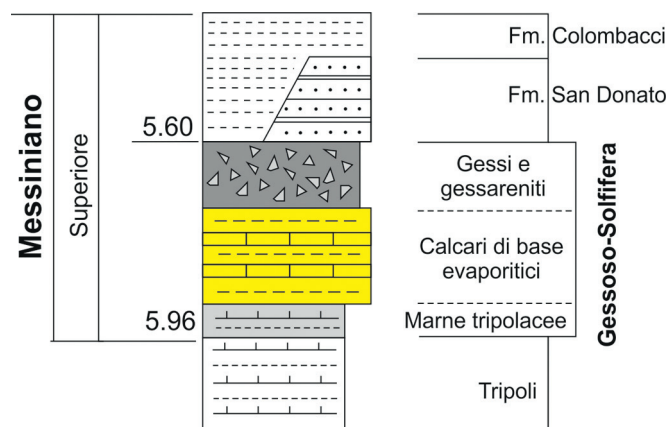


Fig. 2 - Colonna stratigrafica schematica della Formazione Gessoso-Solfifera dell'Appennino Umbro-Marchigiano (disegno A. Tamburini).
Fig. 2 - Schematic stratigraphic column of the Gessoso-Solfifera Formation in the Umbria-Marche Apennines (drawing A. Tamburini).

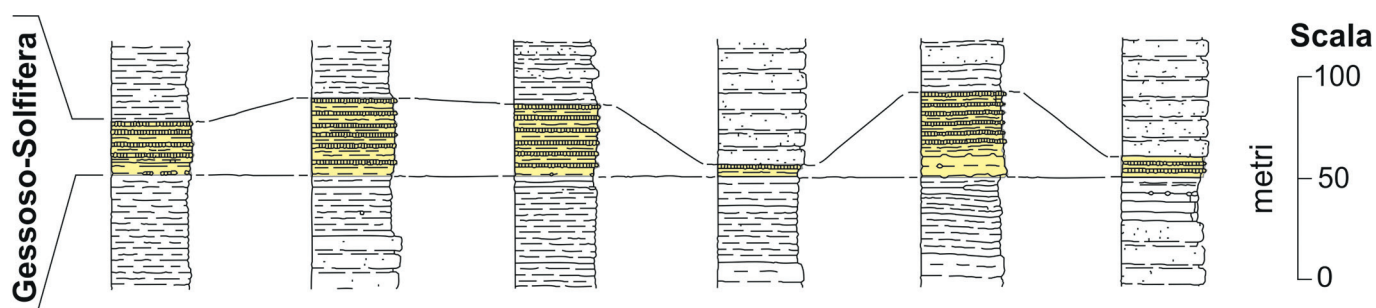


Fig. 3 - Colonne stratigrafiche progressive lungo la sinclinale di Pietrarubbia-Urbania. In giallo viene riportata la sola Formazione Gessoso-Solfifera (disegno A. Tamburini).

Fig. 3 - Progressive stratigraphic columns along the Pietrarubbia-Urbania syncline. The Gessoso-Solfifera Formation is highlighted in yellow (drawing A. Tamburini).

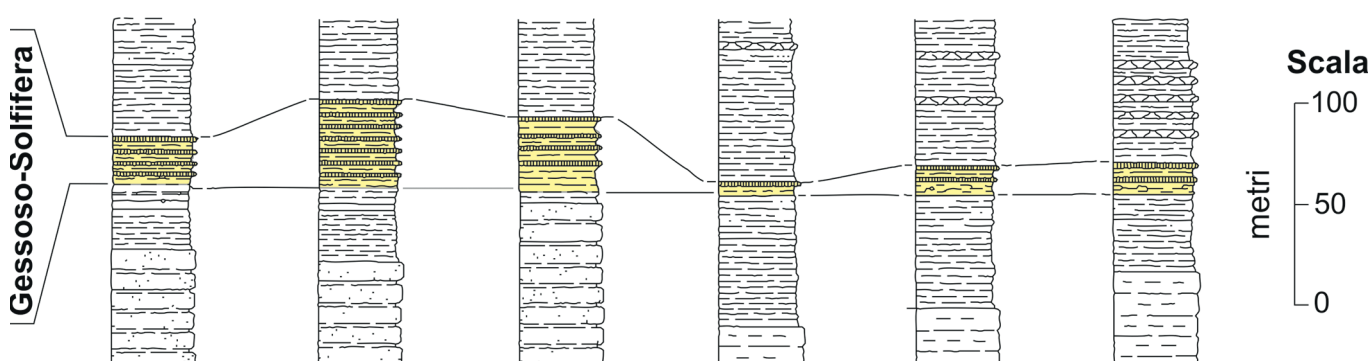


Fig. 4 - Colonne stratigrafiche progressive lungo la sinclinale di Isola del Montecalvo in Foglia-Isola di Fano. In giallo viene riportata la sola Formazione Gessoso-Solfifera (disegno A. Tamburini).

Fig. 4 - Progressive stratigraphic columns along the Montecalvo in Foglia-Isola di Fano syncline. The Gessoso-Solfifera Formation is highlighted in yellow (drawing A. Tamburini).

Per quanto attiene ai bacini del fronte appenninico adriatico romagnolo e marchigiano (bacini padani e adriatici, bacini della Laga, fino alle aree di avampaese della Maiella), la Formazione in esame è stata suddivisa in due unità: la Formazione della Vena del Gesso (per le evaporiti primarie, prevalentemente selenitiche) e la Formazione di Sapigno (per le evaporiti clastiche risedimentate) (Roveri et al., 2004).

Per quanto concerne lo Zolfo d'estrazione, questo se ne rinviene abbondante nei calcari di base. La sua presenza ha dato origine a controverse teorie sulla sua genesi e quella più accreditata sembra essere legata ad un processo di trasformazione dei gessi, per l'azione di solfobatteri e acque di circolazione sotterranee, in zolfo puro e acqua.

Dalla vecchia letteratura "Notizie sull'attività mineraria del bacino solfifero dell'Urbinate", rilasciate dal Servizio Minerario, l'unità caratterizzata dai calcari di base conteneva alcuni livelli di diverso spessore detti "a ganga marnosa", entro i quali si rinveniva il maggiore tenore di zolfo dell'intera sequenza evaporitica. L'attività mineraria, quindi, si fondava esclusivamente sulla ricerca di questi livelli madre e, pertanto, vennero portate avanti ricerche sostanzialmente di tipo stratigrafico all'interno dei sottobacini in cui affioravano i terreni Messiniani.

– *Stratigrafia Pietrarubbia-Lunano-Peglio*: la stratigrafia emersa dai dati del servizio minerario mostra che la successione Messiniana inizia con delle argille marnose con impregnazioni bituminose nella parte alta (50-80 m), marne bituminose con intercalati strati calcareo-solfiferi (talora solo 10 cm) e noduli di solfo saponaceo (6 m), strati di gesso con spessori fino a 50 cm intercalati a marne bituminose (spessore complessivo di circa 20 m), argille marnose con intercalazioni molassiche, che aumentano di spessore verso l'alto e chiudono la Formazione Gessoso-Solfifera per proseguire con la sovrastante Formazione a Colombacci (fig. 3).

– *Stratigrafia Montecalvo in Foglia-Isola di Fano*: qui la sequenza stratigrafica Messiniana inizia alla base con un calcare siliceo sterile (0,5 m), un banco calcare solfifero da 1-1,5 fino a 3 m, alternanza di gessi e marne bituminose (20 m circa), marne argillose grigiastre ben stratificate (35 m) e chiude con un'alternanza di argille e molasse cenerognole di circa 70 m di spessore (fig. 4).

– *Stratigrafia Tavullia-M. delle Forche*: la sequenza inizia con delle marne biancastre tripolacee e Tripoli (livelli di spessore di circa 90 m), strati di gesso,

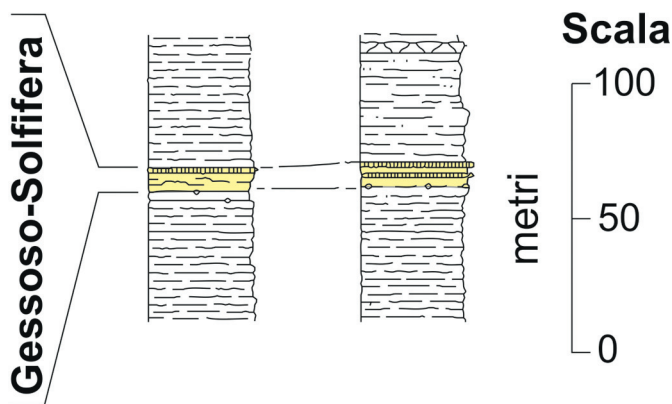


Fig. 5 - Colonne stratigrafiche progressive lungo la sinclinale di Tavullia-M. delle Forche. In giallo viene riportata la sola Formazione Gessoso-Solfifera (disegno A. Tamburini).

Fig. 5 - Progressive stratigraphic columns along the Tavullia-Mt delle Forche syncline. The Gessoso-Solfifera Formation is highlighted in yellow (drawing A. Tamburini).

per lo più con spessore di qualche decimetro talora anche di un metro, intervallati da marne argillose bituminose fogliettate, argille grigie con intercalazioni di colombacci (90 m di circa) che determinano il passaggio tra la Formazione Gessoso-Solfifera e la Formazione a Colombacci (fig. 5).

A fronte delle colonne stratigrafiche si può evidenziare come i livelli d'estrazione siano localizzati quasi sempre alla base della sequenza evaporitica e considerando gli spessori, relativamente bassi (mediamente da 3 a 6 m) le attività di esplorazione e di estrazione necessitavano di ricerche puntuali e dettagliate, mirate alla determinazione sia della continuità laterale dei livelli a maggior tenore, che al loro andamento in profondità.

Miniere e ricerca di zolfo

Determinato l'assetto e la conformazione dei vari domini strutturali, i loro limiti, e analizzato l'andamento

degli affioramenti della Formazione. Gessoso-Solfifera all'interno di ogni singolo bacino considerato, possiamo introdurre quella che è stata sia la ricerca di zolfo che la vera e propria attività estrattiva all'interno della provincia Urbinate.

Di seguito verranno riportati i giacimenti sfruttati e le principali esplorazioni, ripercorrendo la suddivisione adottata precedentemente su base strutturale e, sostanzialmente, legata alle quattro principali linee di affioramenti, le quali sono rappresentative delle quattro "falde" avviluppanti in massima parte il sollevamento d'Urbino-Cesana.

Partendo dalle zone più interne e spostandoci verso l'Adriatico, troviamo in serie le seguenti miniere:

- *Miniera della Morcia (sinclinale Pietrarubbia-Lunano)*: la ricerca fu aperta nel 1876 in località Cà Morcia sulla sinistra del Foglia circa a 2 km a N di Lunano, lungo la sinclinale di Pietrarubbia-Lunano. Qui la Formazione Gessoso-Solfifera affiora con una potenza di circa 50 m di spessore. Come riportato in precedenza, tale sinclinale si presenta abbastanza stretta e asimmetrica e, pertanto, la pendenza di entrambi i fianchi risulta piuttosto elevata, raggiungendo anche i 45° di inclinazione. Nella presente località, i livelli sfruttabili immergono a SW, trovandosi sul fianco orientale del bacino e, localmente, si osservano notevoli disturbi tettonici di secondo ordine che ne diminuiscono talvolta lo spessore fino alla scomparsa vera e propria (fig. 6). Il giacimento si presentò molto alterato dal *weathering* anche nelle porzioni più profonde, dove le acque di infiltrazione giunsero sfruttando alcune strutture tettoniche come vie preferenziali diminuendo, di fatto, il tenore del minerale utile.

Il minerale estratto si presentava bruno a struttura listata con una matrice calcareo-marnosa (Selli, 1954), riportando quindi alle facies di base della serie evaporitica, con una resa ai forni di circa il 22% per le prime 250 tonnellate di materiale cavato; la resa scese poi fino ad un valore di circa il 18-20% che si mantenne stabile per l'intera durata dell'attività estrattiva.

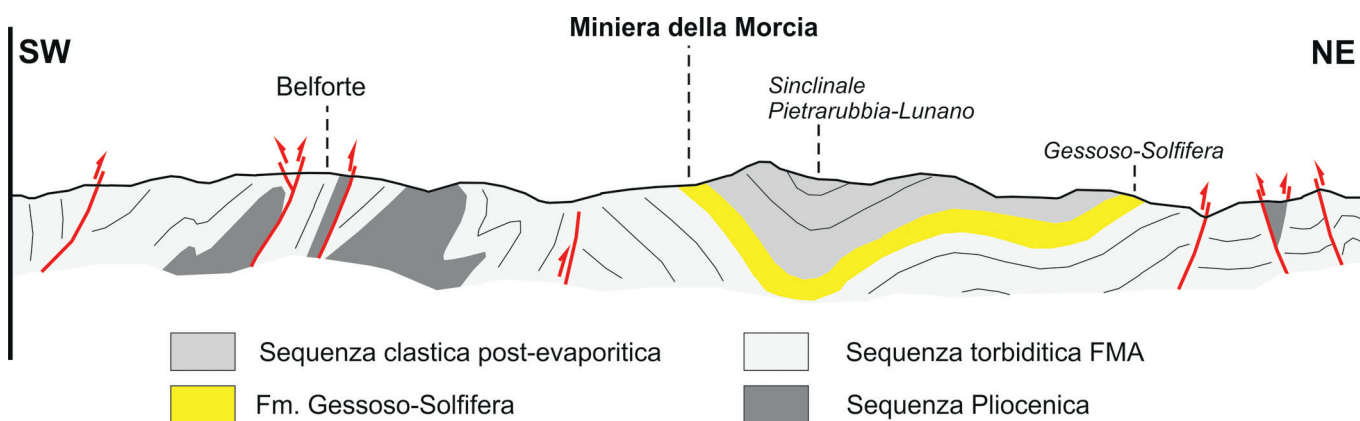


Fig. 6 - Sezione geologica schematica della sinclinale interna Pietrarubbia-Lunano (disegno A. Tamburini).

Fig. 6 - Schematic cross-section of the internal syncline of Pietrarubbia-Lunano (drawing A. Tamburini).

Tra il 1876 e 1886 vi fu il periodo di massima coltivazione, ove furono estratte quasi 38.500 tonnellate di materiale che diedero circa 5.200 tonnellate di zolfo greggio. Negli anni successivi si svolsero solamente lavori di manutenzione e preparatori a nuove campagne di ricerca, ripresi nel 1930, trovando la prosecuzione in direzione E della formazione solfifera per circa 65 m, su di uno strato di circa 1 m di spessore e con discreta mineralizzazione.

- *Miniera di San Lorenzo in Zolfanelli (fianco S-W sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano):* questa miniera, attiva e in produzione dalla seconda metà dell'ottocento fino agli anni '30, fu la più importante, non solo della provincia Urbinate, ma anche del complesso marchigiano-romagnolo.

Furono scavati 6 livelli, con diverse gallerie in direzioni comunicanti tra loro e con l'esterno attraverso un pozzo (detto Pompucci). Da queste gallerie si dipartivano le discenderie entro lo strato produttivo, il quale seguiva un andamento molto costante con un'inclinazione media di 28° verso NE negli scavi superficiali, e 18° in quelli più profondi (fig. 7). Lo strato solfifero, molto regolare e con scarse parti sterili, mostrava uno spessore in media di 1-1,5 m e raggiunse anche i 3 m negli scavi più profondi del quinto e sesto livello, mantenendosi mediamente sui 2,65 m; il tenore medio dava circa il 16% di zolfo, il quale si presentava piuttosto compatto e ben separato dalla roccia calcarea.

La coltivazione si estese principalmente in direzione E, in quanto si seguiva la maggior fertilità del giacimento, e la produzione (già ottima in superficie) passò dalle 120 alle 150 tonnellate giornaliere, quando entrò in funzione il 5° livello (-55 m sotto il livello del mare). Qui, la mineralizzazione si ispessì notevolmente tanto che la galleria, in questo livello, raggiunse nel 1900 la lunghezza di 1.460 m, di cui circa 1.220 m verso E dalla trasversa al pozzo.

Nel 6° livello (-146 m sotto il livello del mare) aumentò notevolmente l'estensione delle zone sterili, tanto da raggiungere l'esaurimento della mineralizzazione.

Ciò comportò la fine dei lavori nel 1904 e l'abbandono nel 1911, rimanendo inattiva fino al 1926, quando fu ripresa l'attività con l'ausilio di nuove tecnologie. Infatti, fu pompata via l'acqua (circa 80.000 m³) che aveva allagato il 5° e il 6° livello, e furono scavate altre gallerie, ricominciando pure ad estrarre il minerale. Lo strato individuato era di 1-1,9 m, con inclusioni di sterile o sostituito da gesso, quindi un materiale praticamente scadente, con bassissime rese ai forni. Constatato l'esaurimento della miniera, nel 1932 fu nuovamente sospesa ogni attività di ricerca e di estrazione.

- *Miniera di Cavallino (fianco S-W sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano):* ubicata alla destra del fiume Foglia, tra la miniera di San Lorenzo in Zolfanelli (della quale ripete i caratteri) e il paese di Schieti. Affioramenti della Formazione Gessoso-Solfifera si rinvengono nel fosso Cavallino e in quello di Colbruinello, dove sono ben visibili diversi strati di gesso e calcare solfifero (fig. 7).

I giacimenti si sviluppano in direzione NNW-SSE con una pendenza di circa 18° verso NNE, mostrando uno spessore della fascia mineralizzata variabile da 1,5 a 0,5 metri (mediamente 0,70 m) con sufficiente tenore (14% e, talvolta, picchi del 25%).

La miniera fu strutturata su 4 livelli, con due discenderie principali, una discendente ed una ascendente, ubicate rispettivamente a monte e a valle del fosso Cavallino, dalle quali si dipartivano altre gallerie secondarie. Il complesso diede buoni risultati fino a quando lo strato mineralizzato diminuì di spessore tanto da rendere l'attività non più economicamente conveniente e determinarne la chiusura definitiva nel 1906.

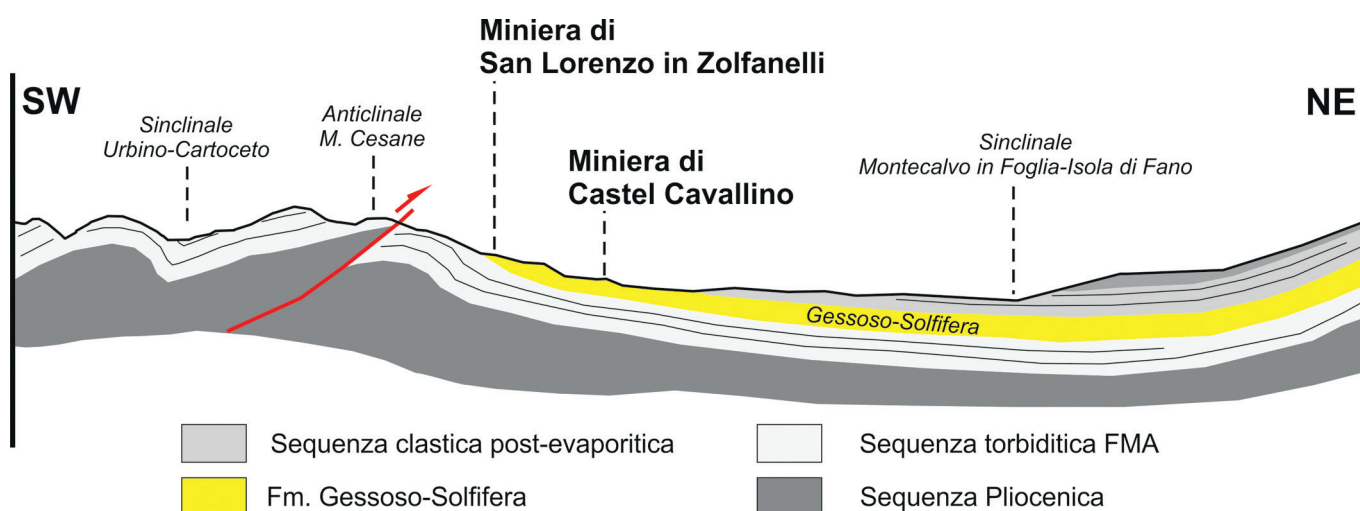


Fig. 7 - Sezione geologica schematica della grande sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano (disegno A. Tamburini).
Fig. 7 - Schematic cross-section of the large syncline of Montecalvo in Foglia-Isola di Fano (drawing A. Tamburini).

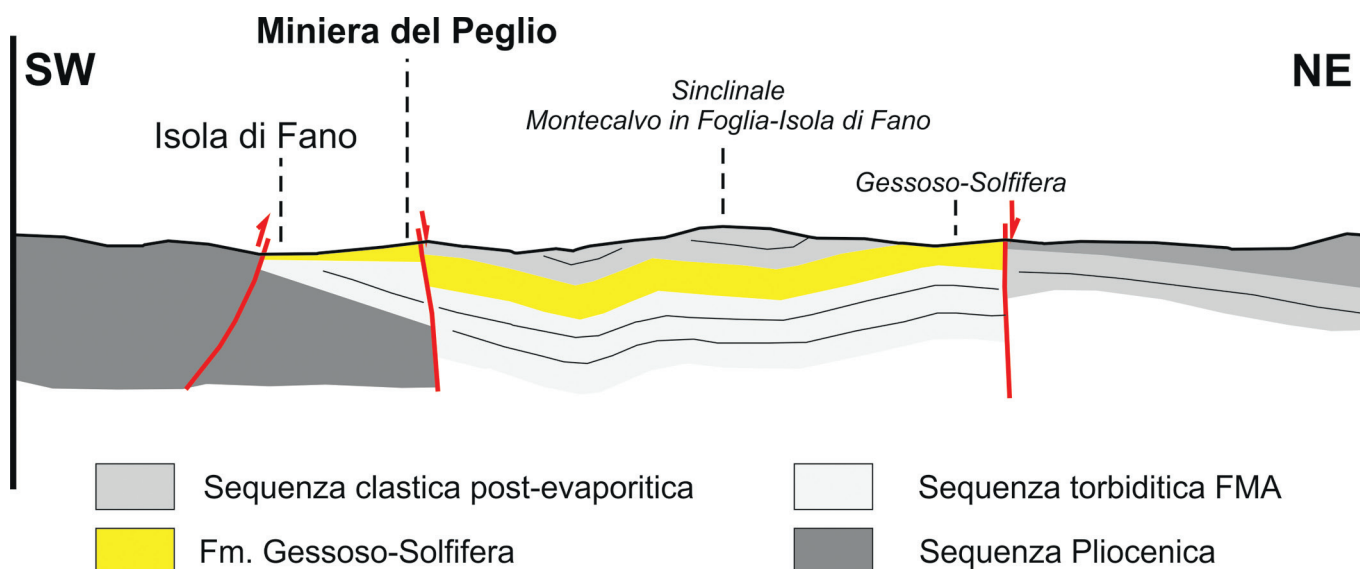


Fig. 8 - Sezione geologica schematica della terminazione sud della sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano (disegno A. Tamburini).

Fig. 8 - Schematic cross-section of south termination of Montecalvo in Foglia-Isola di Fano syncline (drawing A. Tamburini).

- *Miniera del Peglio (fianco S-W sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano)*: localizzata a circa 1,5 km a SE di Isola di Fano, in direzione di Fratterosa, la miniera fu impostata sul fianco sud-occidentale di questa sinclinale, bordata tra le anticlinali del Monte Cesana e Monte Colbordolo, ove affiora un limitato strato di calcare cavernoso di 60 cm di spessore, alla base della Formazione Gessoso-Solfifera (fig. 8).

L'attività estrattiva perdurò dal 1872 al 1897 e fu sfruttato un giacimento che evidenziava un orizzonte di gesso alabastrino di circa 4-5 m di spessore, mineralizzato nella parte basale per una fascia variabile dai 0,30 ai 2 m. Questo, diede una resa ai calcaroni, forni per l'estrazione dello zolfo dalla roccia calcarea, di circa il 12%.

Si riprese l'attività nel 1902; in tale fase si evidenziò una mineralizzazione estesa, (circa 40.000 m²) caratterizzata da un banco (0,80 m di spessore) coperto da marne contenenti ovuli di zolfo saponacei con intercalati strati di gesso; per sfruttarlo si decise di installare una nuova discenderia. Tra il 1926 e il 1929 furono estratte 400 tonnellate di minerale con una resa compresa tra il 7 ed il 10%; in seguito agli scarsi risultati, si decise di chiudere definitivamente l'attività nel 1931.

- *Miniera del Gallo (fianco N-E sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano)*: la miniera si trova in prossimità della confluenza dei torrenti Apsa d'Urbino e Apsa di Palazzo del Piano; in tale area si aprì una prima galleria in una cava di gesso, sul fianco nord-orientale della sinclinale di Montecalvo in Foglia-Isola di Fano. Qui si esplorò il banco minerale per circa 60 m, fino all'incontro con una faglia diretta che dislocò lo strato 32 m più in basso,

costringendo l'abbassamento del fronte di scavo. Ulteriori approfondimenti furono avanzati, mettendo in evidenza nel 1884 due zone mineralizzate, rispettivamente di 165 metri e 115 metri circa.

Qua i giacimenti mostrano una direzione NW-SE con una pendenza iniziale di circa il 45° verso SW, passante a 25-20°, per poi tendere all'orizzontalità nelle zone più profonde raggiunte (fig. 9). Il giacimento era rappresentato da 2-3 strati solfiferi a matrice marnoso-silicea, intercalati all'interno di 2 metri di marne che stanziano al di sotto di un grande banco di gesso di circa 7 metri di spessore. Il minerale utile (suddiviso in più strati o in un solo banco) era compreso mediamente tra 0,60-1,30 metri di spessore raggiungendo, talvolta, anche picchi di 3 m; questi, caratterizzati da minerale amorfo, compatto e duro (ben distinti dalla roccia marnosa incassante), contenevano una percentuale media di zolfo di circa il 16%.

Anche questo complesso, come nella miniera della Morcia illustrata precedentemente, presentò importanti alterazioni, anche nelle parti più profonde per cause imputabili alle complicità tettoniche di cui sopra. I lavori si interruppero nel 1888, a causa degli scarsi risultati ottenuti, per poi riprendere dal 1897 al 1900 con qualche attività di ricerca in seguito all'installazione di un nuovo pozzo; dopodiché la miniera del Gallo chiuse definitivamente.

- *Miniera di Talacchio (fianco S-W sinclinale di Tavullia-Monte delle Forche)*: il campo di esplorazione di questa miniera iniziò nel 1872 e si estese sul versante settentrionale del Monte Fabbri, fra il paese di Talacchio e il fiume Foglia. Qui, sulla sponda N del fiume omonimo si osserva la testata di un banco di calcare cavernoso, ricoperto da marne gessifere e

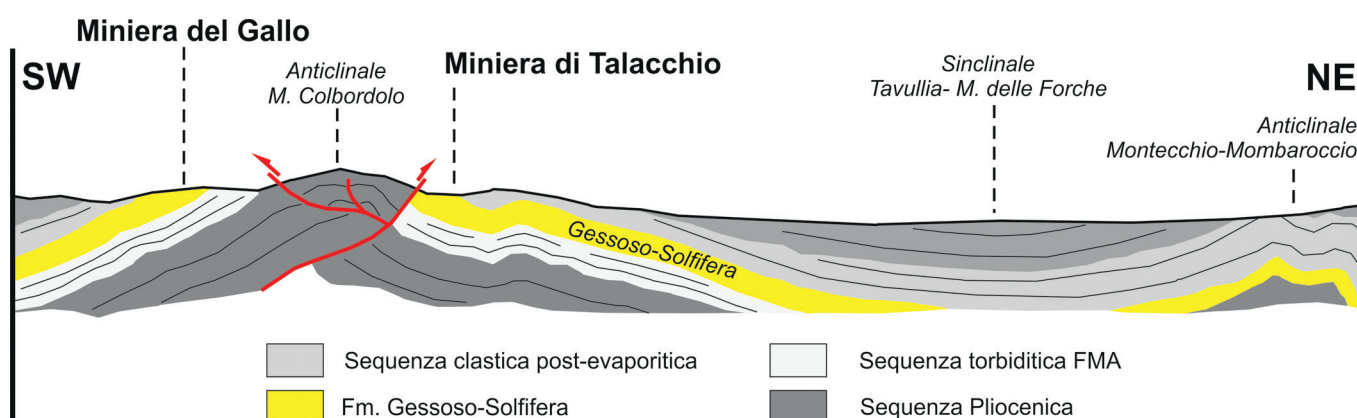


Fig. 9 - Sezione geologica schematica della grande sinclinale esterna di Tavullia-Monte delle Forche, bordata a SW dall'anticlinale del Monte di Colbordolo (disegno A. Tamburini).

Fig. 9 - Schematic cross-section of the large external syncline of Tavullia-Monte delle Forche; this is bordered from Monte di Colbordolo anticline in the SW limb (drawing A. Tamburini).

direzionato N-W con pendenza verso nord (fig. 9). Le ricerche si svilupparono in seguito all'osservazione di questo affioramento, dato che esso rappresentava il precursore dello strato calcareo che, nell'Urbinate e nel Cesenate, costituiva il principale giacimento di zolfo. Le supposizioni furono confermate in seguito al ritrovamento del banco calcareo lungo il versante del Monte Colbordolo, dove si ritrovò il livello cercato contenente abbondanti impregnazioni di gesso lamellare e mineralizzazioni sulfuree, per una potenza complessiva di circa 2,5 m.

L'attività estrattiva iniziò nel 1875 e si sviluppò su tre livelli di coltivazione operata per gradini rovesci. Si incontrarono diversi problemi legati sia all'incontro di forti venute d'acqua sia a disturbi tettonici locali, come piegamenti e piccole faglie. Queste, ol-

tre a rendere piuttosto complicato l'avanzamento del fronte di scavo, furono la causa anche di certo grado di alterazione che ne diminuì il tenore medio del materiale utile, non solo in superficie, ma anche nelle parti più profonde. La miniera produsse in tutto circa 5.200 tonnellate di zolfo grezzo con un massimo di 3.000 nel 1876, ed una resa ai forni di circa il 10%. L'attività estrattiva si prolungò fino al 1878, dopodiché fu abbandonata per le complesse condizioni stratigrafiche del giacimento. In seguito, nel 1892, si iniziò una nuova attività durante la quale si scavarono un pozzo di 82 m e circa 400 m di nuove gallerie. Lo strato calcareo mineralizzato trovato, mostrò però un tenore piuttosto povero (7-8%), pertanto si decise di chiudere definitivamente la miniera nel 1896.

Conclusioni

In sintesi, da quanto emerso nei paragrafi precedenti, si può evincere come la presenza di zolfo nella provincia Urbinate sia associata esclusivamente alla sequenza evaporitica della Formazione Gessoso-Solfifera la cui genesi risulta legata alla concausa di diversi avvenimenti geologici avvenuti durante il Messiniano (tra 7,2 e 5,3 milioni di anni fa).

Le mineralizzazioni nei principali giacimenti si rinvengono in precisi intervalli, i quali presentano una vastissima variabilità spaziale attribuibile sia a motivi stratigrafici che tettonici. I disturbi e le conseguenti deformazioni tettoniche sia sin- che post-sedimentari, hanno incrementato notevolmente la complessità delle fasi di ricerca ed estrazione del materiale utile. Infatti, numerose sono le testimonianze lasciate dagli Ingegneri del Servizio Minerario sul ritrovamento di strutture geologiche che alteravano e, talvolta, interrompevano il regolare andamento dei livelli madre.

In conseguenza di ciò, la provincia Urbinate è stata suddivisa in domini strutturali, attraverso i lineamenti tettonici prevalenti e prendendo in considerazione le quattro aree di deposizione della Formazione Gessoso-Solfifera all'interno dei diversi sottobacini identificati (rappresentati dalle sinclinali):

- sinclinale Pietrarubbia-Urbina;
- sinclinale Urbino-Cartoceto sul Tarugo;
- sinclinale Montecalvo in Foglia-Isola di Fano;
- sinclinale Tavullia-Monte delle Forche.

La ricerca delle mineralizzazioni e l'avanzamento dei fronti d'estrazione furono impostate quasi tutte attraverso discenderie, collegate tra loro attraverso pozzi, dalle quali si dipartivano uno o più sistemi di gallerie disposti su più livelli in profondità.

Nonostante il complicato quadro geologico, la provincia sulfurea Urbinate durante il periodo compreso tra la metà del 1800 e il 1932, rappresentò uno dei principali centri di produzione di zolfo di tutto il centro Italia attraverso lo sfruttamento di banchi calcarei di base aventi un tenore medio di circa 10-12% e picchi del 16% (Miniera di San Lorenzo in Zolfinelli), dai quali si arrivarono a produrre anche 150 tonnellate di zolfo al giorno.

Bibliografia

- Baldacci L., 1886, *Descrizione geologica dell'isola di Sicilia*. Memorie descrittive della carta geologica d'Italia, vol. 1, Tipografia nazionale, Roma.
- Butler W.H., Likhovich W.H., Grasso M., Pedley H.M., Ramberti L., 1995, *Tectonics and sequence stratigraphy in Messinian basins, Sicily: Constraints on the initiation and termination of the Mediterranean salinity crisis*. Geological Society of America Bulletin, vol. 107, pp. 425-439.
- Ciesm, 2008, *The Messinian salinity crisis from mega-deposits to microbiology*. In: Briand, F. (Ed.), A consensus report, in 33ème CIESM Workshop Monographs, 33. CIESM, 16, bd de Suisse, MC-98000, Monaco, pp. 1-168.
- Clauzon G., Suc J.P., Gautier F., Brger A., Loutre M.F., 1996, *Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: controversy resolved?* Geology, 24-4, pp. 363-366.
- Deiana G., Piali G., 1994, *The structural provinces of the Umbro-Marchean Apennines*. Memorie Società Geologica Italiana, 48, pp. 473-484.
- Garcia-Castellanos D., Villaseñor A., 2011, *Messinian salinity crisis regulated by competing tectonics and erosion at the Gibraltar arc*. Nature, 480, pp. 359-363.
- Govers R., Meijer P., Krijgsman W., 2009, *Regional isostatic response to Messinian salinity crisis events*. Tectonophysics, 463, pp. 109-129.
- Hilgen F.J., Bissoli L., Iaccarino S., Krijgsman W., Meijer A., Negri A., Villa G., 1995, *Integrated stratigraphy and astrochronology of the Messinian GSSP at Oued Akrech (Atlantic Morocco)*. Earth and Planetary Science Letters, v. 182, pp. 237-251.
- Hilgen F.J., Kuiper K., Krijgsman W., Snel E., Van Der Laan E., 2007, *Astronomical tuning as the basis for high resolution chronostratigraphy: the intricate history of the Messinian salinity crisis*. Stratigraphy, 4, pp. 231-238.
- Hsu K.J., Cita M.B., Ryan W.B.F., 1973, *The origin of the Mediterranean evaporites*. In Ryan, W.B.F., Hsu, K.J., et al., Init. Repts. DSDP, 13 (Pt. 2): Washington (U.S. Govt. Printing Office), pp. 1203-1231.
- Krijgsman W., Hilgen F.J., Marabini S., Vai G.B., 1999, *New paleomagnetic and cyclostratigraphic age constraints on the Messinian of the Northern Apennines (Vena del Gesso Basin, Italy)*. Memorie Soc. Geologica Italiana, 54, pp. 25-33.
- Krijgsman W., Blanc-Valleron M.M., Flecker R., Hilgen F.J., Kouwenhoven T.J., Orszag-Sperber F., Rouchy J.M., 2002, *The onset of the Messinian salinity crisis in the eastern Mediterranean (Pissouri Basin, Cyprus)*. Earth and Planetary Science Letters, 194, pp. 299-310.
- Lavecchia G., Piali G. 1981, *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro Marchigiano. 1-Il basamento*. Geol. Rom., 20, pp. 183-195.
- Manzi V., Gennari R., Hilgen F., Krijgsman W., Lugli S., Roveri M., Siero F.J., 2013, *Age refinement of the Messinian salinity crisis onset in the Mediterranean*. Terra Nova, 25, pp. 315-322.
- Mottura S., 1871, *Sulla formazione terziaria nella zona solfifera della Sicilia*. Mem. R. Comit. Geol. Italia, 1, pp. 50-140, Roma.
- Ogniben, L. 1957, *Petrografia della serie solfifera siciliana e considerazioni geologiche relative*. Memorie descrittive della carta geologica d'Italia, vol. 33, Ed. Libreria dello Stato.
- Roveri M., Landuzzi A., Bassetti M.A., Lugli S., Manzi V., Ricci Lucchi F., Vai G.B., 2004, *The record of Messinian events in the Northern Apennines foredeep basins*. In: B19 Field trip guidebook. 32nd International Geological Congress, Firenze, 20-28 agosto 2004.
- Roveri M., Manzi V., Ricci Lucchi F., Rogledi S., 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, vol. 115, n. 4, pp. 387-405.
- Ryan W.B.F., Cita M.B., 1978, *The nature and distribution of Messinian erosional surfaces, Indicators of a several kilometers deep Mediterranean in the Miocene*. Marine Geology, 27, pp. 193-230, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Ryan W.B.F., 2011, *Geodynamic responses to a two-step model of the Messinian salinity crisis*. Bulletin de la Société Géologique de France, t. 182, n. 2, pp. 73-78, Paris.
- Sacco F., 1886, *Il piano Messiniano in Piemonte (Parte II Guarene-Tortona)*. Bollettino Società Geologica Italiana, 5, pp. 363-393, Roma.
- Selli R., 1954, *Il bacino del Metauro. Descrizione geologica, risorse minerarie, idrogeologia*. In Giornale Geologia, 24/2, Bologna.
- Selli R. 1960, *Il Messiniano Mayer-Eymar 1867. Proposta di un neostratotipo*. In Giornale di Geologia, 28/2, Bologna.
- Vai G.B., 1997, *Cyclostratigraphic estimate of the Messinian stage duration*. In *Miocene Stratigraphy: An Integrated Approach* (eds. Montanari A., Odin G.S., Coccioni R.). Elsevier, Amsterdam, pp. 463-476.
- Van Couvering J.A., Castradori D., Cita M.B., Hilgen F.J., Rio D., 2000, *The base of the Zanclean Stage and of the Pliocene Series*. Episodes 23, pp. 179-187.