

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zeitschrift: | Bollettino della Società ticinese di scienze naturali |
| Herausgeber: | Società ticinese di scienze naturali |
| Band: | 94 (2006) |
| | |
| Artikel: | Manifestazioni a celestina nella Kalkschieferzone inferiore di Meride (cantone Ticino, Svizzera) |
| Autor: | Camana, Gianfranco / Oppizzi, Paolo / Tintori, Andrea |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-1003120 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Manifestazioni a celestina nella *Kalkschieferzone* inferiore di Meride (Cantone Ticino, Svizzera)

Gianfranco Camana¹, Paolo Oppizzi² e Andrea Tintori³

¹ Dipartimento Ingegneria dei Materiali, Università di Trento, Via Mesiano 77, I – 38050 Mesiano

² Fondazione Parco delle Gole della Breggia, CH – 6834 Morbio Inferiore

³ Dipartimento di Scienze della Terra, Via Mangiagalli 34, I – 20133 Milano

Riassunto: Una manifestazione a celestina è stata rinvenuta in più livelli calcareo-marnosi della *Kalkschieferzone* (KSZ) Inferiore di età Triassico Medio, nella Val Mara lungo il corso del torrente Gaggiolo, subito a monte dell'abitato di Meride nel Canton Ticino Meridionale (Svizzera). La celestina si presenta in a) cristalli singoli fino a 1 cm di lunghezza, b) cristalli densamente aggregati formanti dei livelli discontinui fino a tre cm di spessore, c) aggregati nodulari raggiati (rosette) fino a due centimetri di diametro disseminati lungo la superficie di strato. Aggregati nodulari sono stati osservati anche all'interno di uno dei livelli di natura vulcanoclastica che contraddistinguono le litozone inferiore e media della KSZ. Analisi diffrattometriche a raggi X su polveri di campioni mineralizzati hanno individuato come unico solfato presente nella manifestazione della Val Mara, la celestina, mentre analisi compostionali dei campioni del tipo a hanno messo in luce l'esistenza di una varietà mista del tipo barite-celestina con un contenuto in SrO e in BaO rispettivamente del 23.55 % e del 41.41 % in peso. La composizione chimica media dei campioni di tipo b e c è invece quella di una celestina pura con un contenuto medio in SrO e BaO rispettivamente del 55 % e 1% in peso. Il $\delta^{34}\text{S}$ del solfato della celestina sotto forma di livelli discontinui varia tra + 42 ‰ e + 44.9 ‰ mentre il $\delta^{34}\text{S}$ determinato nella celestina nodulare oscilla tra + 36.3 ‰ e + 39.7 ‰. Tali valori sono tipici di ambienti a circolazione ristretta con forte produttività di materia organica. Praticamente costante è invece il rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, compreso tra 0.707492 e 0.707625, in equilibrio con il corrispondente rapporto isotopico della coeva acqua oceanica. Evidenze geologiche, geocheimiche lasciano supporre una precipitazione diretta della celestina con derivazione dello Sr dall'acqua oceanica (favorita da periodiche condizioni di parziale evaporazione influenzanti il bacino della KSZ) e del solfato per ossidazione della materia organica nelle zone di contatto tra masse d'acque anaerobiche (contenuto in ossigeno < 0.1 ml/l) e disaerobiche (0.5 – 0.1 ml/l). La mineralizzazione a celestina della Val Mara assume per quantità e frequenza della mineralizzazione una posizione di primo piano tra i rinvenimenti a celestina all'interno delle Alpi Meridionali lombarde.

Celestine mineralization in the carbonatic layers of the Lower *Kalkschieferzone* of Meride (Canton Ticino, Switzerland)

Abstract: A celestine mineralization has been found in some carbonatic layers of the Lower *Kalkschieferzone* (KSZ) of the Middle Triassic, in the Mara Valley near the little village of Meride in the Southern Canton Ticino (Switzerland). Different kind of occurrences has been recognized: a) white single crystals until 1 cm long; b) discontinuous layers (stratabound type) up to 3 cm thickness constituted by white variously assembled crystals; c) nodular celestine aggregates up to 2 cm diameter disseminated on the layer surfaces. Nodular celestine aggregates have been observed also in one of the vulcanoclastic layers characterizing the lower and middle KSZ.

Celestine is the only one sulphate mineral recognized by X-ray powder diffraction analysis. Instead, EDS analysis have showed as the white single crystals of the case a) are constituted by a barite-celestine type with an SrO and BaO average composition respectively of 23.55% and 41.41% wt. In the cases b) and c) the sulphate phase is a very pure celestine: 54.78 wt % and 55.20 wt % SrO respectively with an average content of BaO of 1 wt %. The $\delta^{34}\text{S}$ value of the stratabound type ranges between + 42 ‰ and + 44.9 ‰, while the $\delta^{34}\text{S}$ value of the nodular type ranges between + 36.3 ‰ and + 39.7 ‰. These data reflect as sulfate ions were subjected to extensive action of sulphate reducing bacteria inside a basin characterized by restricted circulation. Very similar are the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values of the massive and nodular types ranging between 0.707492 and 0.707625, in good agreement with the coeval $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sea water ratio. Geological and geochemical data suggest a direct precipitation of the celestine with a total derivation of the Sr from sea water. Instead, the sulphate probably derives from the oxidation of the organic matter at redox interfaces between anaerobic (oxygen content < 0.1 ml/l) and dysaerobic (oxygen content between 0.5 and 0.1 ml/l) water bodies.

In consequence of its quantitative and stratigraphic frequency features, the Val Mara celestine mineralization may be considered the most important celestine occurrence inside the Southern Lombard Alps.

Key words: Celestine, *Kalkschieferzone*, Southern Lombard Alps, Canton Ticino, $\delta^{34}\text{S}$, rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

INTRODUZIONE

A partire dal 1994, diverse campagne di ricerche paleontologiche eseguite da ricercatori del Museo Cantonale di Storia Naturale di Lugano, del Civico Museo Insubrico di Storia Naturale di Induno Olona e del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano, sono state compiute nel membro di età Triassico Medio della Kalkschieferzone (KSZ), termine introdotto da Senn nel 1924 per indicare la porzione sommitale del Calcare di Meride. Tali scavi sono stati concentrati nella Val Mara, lungo il corso del torrente Gaggiolo appena a monte del piccolo abitato di Meride nel Canton Ticino meridionale (Svizzera) (fig. 1). Nella primavera del 1997, nel corso di una di queste campagne di ricerca, eseguita nella parte superiore della litozona inferiore della KSZ, precisamente tra lo strato 102 di SCHEURING (1978) e lo strato 60 di WIRZ (1945), sono stati rinvenuti livelli fossiliferi a pesci, contenenti abbondanti cristalli, talora centimetrici, biancastri, singoli o variamente aggregati, spesso addensati su superfici preferenziali o costituenti dei veri e propri straterelli fino ad alcuni centimetri di spessore (livelli D9, D10 e D15 di TINTORI *et al.* 1998). La presenza di questi cristalli era già stata segnalata da FURRER (1995) e BIONDA (1996), i quali li classificarono come «barite e/o celestina». Analisi diffrattometriche a RX su polveri di campioni mineralizzati della Val Mara eseguite nel corso del presente studio, hanno invece dimostrato come queste manifestazioni siano costituite unicamente da celestina. Inoltre, osservazioni estese tra i livelli 65 di WIRZ (1945) e 100 di SCHEURING (1978), hanno stabilito anche in questo caso la presenza di livelli mineralizzati a celestina, in modo del tutto

simile ai livelli superiori. Analisi chimiche hanno successivamente dimostrato come nel caso del livello D10 di TINTORI i singoli cristalli siano costituiti da una varietà intermedia di tipo barite-celestina.

Se il rinvenimento di celestina all'interno di litologie calcareo-marnose tipo quelle della KSZ non costituisce una rarità, l'aspetto sorprendente risiede nella quantità e frequenza delle manifestazioni della Val Mara (diffuse in più livelli calcareo-marnosi della KSZ inferiore) rispetto alle altre segnalazioni presenti nelle Alpi Meridionali lombarde (esemplari singoli ben cristallizzati di taglia massima di 25 mm presenti unicamente in limitate geodi e/o fratture). Si consideri inoltre che allo stato attuale delle conoscenze, non sono stati ancora presi in considerazione gli altri livelli della KSZ fino al 106 di SCHEURING (1978), per uno spessore complessivo di 70 metri della KSZ inferiore e media, nei quali FURRER (1995) riporta ulteriori livelli mineralizzati a «barite» (fig. 2).

Scopo del presente lavoro è:

- 1) illustrare le caratteristiche della mineralizzazione a celestina della Val Mara sulla base dei dati provenienti dalle osservazioni di terreno, dalle osservazioni al microscopio ottico ed elettronico a scansione, dalle analisi chimiche, dalle analisi isotopiche del $\delta^{34}\text{S}$ del solfato e dal rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$;
- 2) eseguire un confronto con le altre manifestazioni a celestina conosciute nelle Alpi Meridionali lombarde.

MATERIALI E METODI

La geologia regionale

L'area contenente la mineralizzazione a celestina della Val Mara si colloca, paleogeograficamente, nella zona di transizione fra la zona di «alto luganese» e il «Bacino Lombardo» (secondo la zoneografia introdotta da BOSELLINI 1965) delle Alpi Meridionali. Gli aspetti geologico-strutturale e stratigrafico-paleogeografico sono già stati affrontati in passato in dettaglio da diversi autori (si veda in proposito le revisioni e le citazioni bibliografiche contenute in FURRER 1995, NERI *et al.*, 1996, OPPIZZI *et al.* 2000). Brevemente, la serie stratigrafica ospitante la mineralizzazione in questione si appoggia sopra il complesso vulcanico di età permiana costituente la «Piattaforma Porfirica Luganese», a diretto contatto con il basamento cristallino delle Alpi Meridionali («Gneiss del Lago di Lugano» di GOVI 1960) (fig. 2). Il primo termine della serie sedimentaria è costituito da arenarie e conglomerati rossi assimilabili alle litologie della Formazione di Bellano (GAETANI, com. or.) di età Anisico Medio (GAETANI *et al.* 1986). Nel tardo Anisico, una trasgressione da est a ovest portò all'instaurarsi di un mare epicontinentale a debole profondità, consentendo il via alla crescita di edifici carbonatici, i quali divennero progressivamente dominanti attraverso le intere Alpi Meridionali lombarde (FURRER 1995). Contemporaneamente, un'attività tettonica distensionale con un diffuso vulcanismo associato, portò allo sviluppo di bacini deposizionali intervallati da piattaforme carbonatiche.

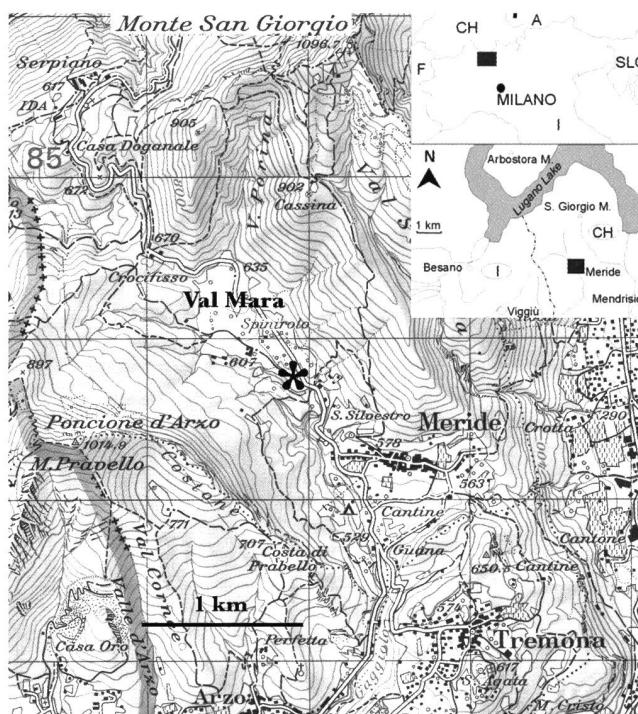


Fig. 1 – Corografia generale dell'area di affioramento (*) della manifestazione a celestina della Val Mara.

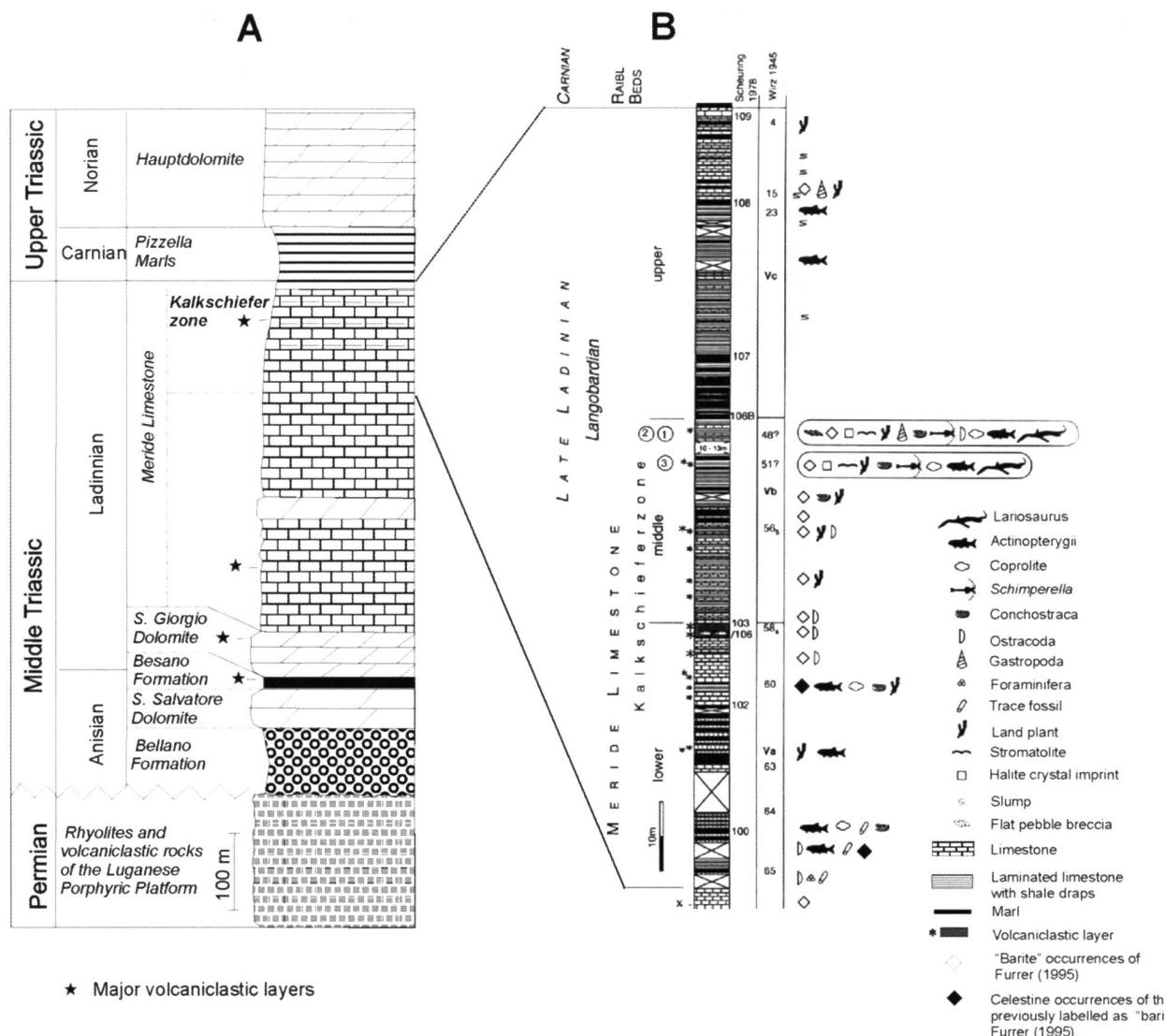


Fig. 2 – A: Stratigrafia regionale dell'area ospitante la manifestazione a celestina della Val Mara. B: Stratigrafia di dettaglio della serie della Kalkschieferzone della Val Mara con ubicazione dei livelli mineralizzati a celestina (da Furrer 1995, ridisegnato e modificato).

Per quanto riguarda l'area del Luganese, si distinguono due zone principali con diverso significato paleogeografico (GIANOTTI & TANNOIA 1988, FURRER 1995):

- un'area settentrionale, comprendente Campione, Monte San Salvatore, Monte Caslano, caratterizzata fino al Ladinico Superiore dallo sviluppo di dolomie massive di mare basso (Dolomia dell'Albiga, Dolomia di S. Salvatore), intervallate, nella zona di Campione, al passaggio Anisico-Ladinico dai termini dolomitici e scistoso bituminoso con tufiti degli Scisti di Besano (*Grenzbitumenzone*);
- un'area meridionale, con caratteristiche prevalentemente bacinali, a circolazione ristretta comprendente il settore del Monte San Giorgio, Besano e Pogliana. Anch'essa è contraddistinta inizialmente dallo sviluppo della sedimentazione carbonatica della Dolomia del San Salvatore (assume il nome di Dolomia del San Giorgio, nei 40–60 m superiori di età ladinico inferiore) intervallata al limite Anisico-Ladinico per un totale di 15–16

m dagli scisti dolomitici ricchi in materia organica della *Grenzbitumenzone* o Formazione di Besano (fig. 2).

Nel seguito del Ladinico, si deposita nello stesso bacino la formazione calcareo-marnosa del Calcare di Meride per uno spessore totale variabile da 400 a 600 m, insieme all'omocrona formazione del Calcare di Perledo-Varennia. Secondo GIANOTTI & TANNOIA (1988), GAETANI *et al.* (1992), FURRER (1995) in base a evidenze sedimentologiche e paleogeografiche, il Calcare di Meride e la Formazione di Perledo-Varennia costituirebbero una sola unità bacinale rispettivamente occidentale e orientale, rispetto a una zona centrale attualmente sepolta dai carbonati giurassici della fossa del Monte Generoso. La *Kalkschieferzone* rappresenterebbe l'ultimo stadio nell'evoluzione del settore occidentale del suddetto bacino, soggetto a forti variazioni stagionali di salinità e del livello delle acque e sempre più isolato, a partire dal Ladinico, rispetto al mare aperto, a causa della progressiva deposizione di fanghi e

depositi carbonatici (membro superiore del Calcare di Meride). La porzione inferiore e media della *Kalkschieferzone* è caratterizzata da numerosi livelli vulcanoclastici intercalati alle normali alternanze marne–calcari come testimonianza distale dell'attività vulcanica presente nelle aree cristalline meridionali appartenenti alla «Fascia Mobile Meridionale» di BRUSCA *et al.*, 1982. Il bacino della *Kalkschieferzone* termina la sua esistenza nel Carnico, allorché un abbondante apporto di materiale clastico derivante dall'erosione della «Fascia Mobile Meridionale», con locale deposizione di evaporiti, caratterizza la deposizione della Marna del Pizzella.

Strutturalmente, l'area considerata appartiene a una monoclinale immergente a sud con pendenza media di 35°–40° costituente il fianco meridionale dell'anticlinale Maroggia–Brinzio o dell'Arbostora avente un decorso ENE–OSO (cfr. OPPIZZI *et al.* 2000), a esclusione di un limitato sistema di faglie secondarie con direzioni medie NNE–SSO, le quali smembrano blandamente e localmente i termini della serie monoclinale, non sono presenti ulteriori elementi strutturali di rilievo.

RISULTATI

Parametri stratigrafici e macroscopici della mineralizzazione

La mineralizzazione a celestina della Val Mara è contenuta nelle litozone inferiore e media della KSZ (fig. 2). Al momento della stesura di questo lavoro la presenza di celestina è stata accertata nei seguenti livelli della KSZ: Tra i livelli 65 di WIRZ (1945) e 100 di SCHEURING (1978) all'interno di uno spessore stratigrafico di 0.5 m (manifestazione inferiore);

Tra i livelli 102 di SCHEURING (1978) e lo strato 60 di WIRZ (1945) all'interno di uno spessore stratigrafico di 0.75 m (manifestazione superiore) e precisamente in corrispondenza degli strati D9, D10 e D15 di TINTORI *et al.* (1998).

Le due manifestazioni affiorano a una distanza di una cinquantina di metri una dall'altra sul fondo della sponda orografica sinistra della Val Mara. Frammenti di calcare marnoso mineralizzato a celestina sono stati trovati anche nei depositi detritici che contraddistinguono la base della ripida scarpata della sponda orografica destra del torrente Gaggiolo in corrispondenza della manifestazione inferiore. Data la regolare giacitura monoclinale verso sud della serie incassante, questi frammenti mineralizzati possono derivare dall'erosione dei livelli della KSZ ospitanti la manifestazione superiore o da livelli ancora più alti (es. 103/106 di SCHEURING 1978), nei quali FURRER (1985) segnala presenze di «barite» (cfr. fig. 2).

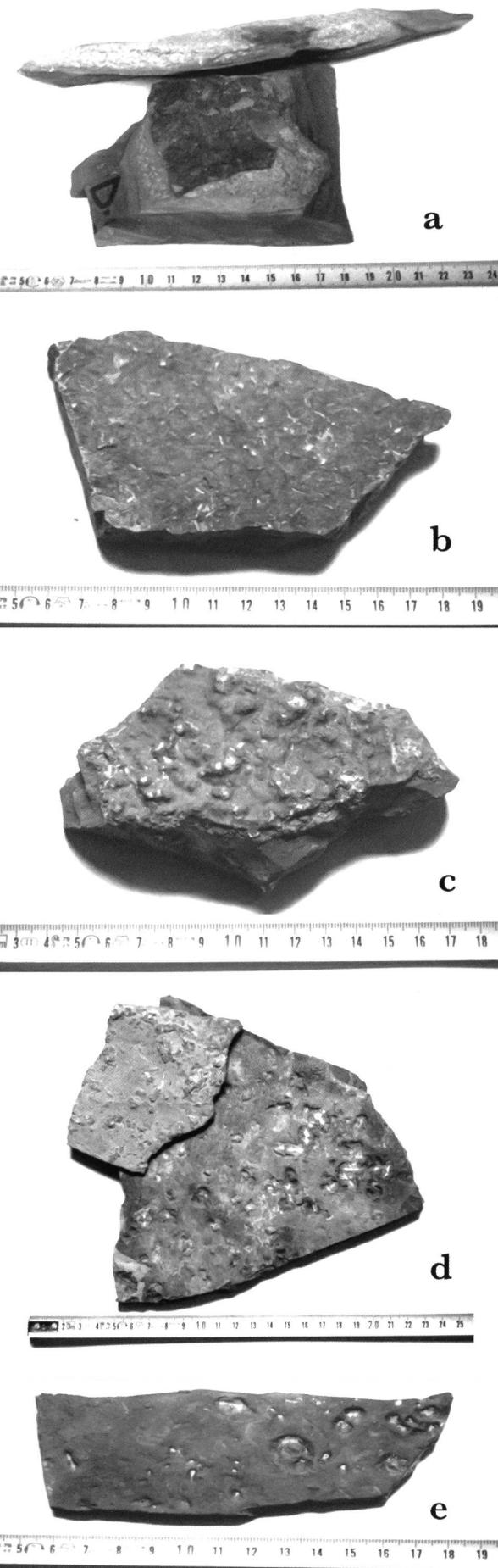


Fig. 3 – Aspetti macroscopici della manifestazione a celestina della Val Mara. a) cristalli singoli allungati; b) livello discontinuo costituito da cristalli addensati; c) aggregati nodulari (rosette); d) livello discontinuo costituito da aggregati nodulari addensati gli agli altri; e) impronte di cristalli e/o noduli preesistenti di celestina.

Macroscopicamente la celestina si manifesta secondo due modalità:

Cristalli singoli, biancastri, aventi forma da tozza ad allungata fino a 1 centimetro di lunghezza (fig. 3a), in particolare nello strato D10 di TINTORI *et al.* (1998). Nel caso dello strato D9 di TINTORI *et al.* (1998), i cristalli di celestina si rinvengono addensati gli uni con gli altri a formare una sorta di livello discontinuo a celestina (stratiforme) fino a 3 cm di spessore (fig. 3b).

Aggregati nodulari raggiati (rosette) fino a due centimetri di diametro sparsi lungo la superficie di strato (fig. 3c), in particolare nello strato D15 di TINTORI *et al.* (1998). Tuttora, anche queste rosette si osservano addensate le une alle altre a formare un livello di spessore centimetrico semicontinuo (fig. 3d). Infine, nel caso della manifestazione inferiore, aggregati nodulari raggiati centimetrici sono stati osservati anche all'interno di uno dei livelli vulcanoclastici presenti nella KSZ inferiore.

È inoltre frequente la presenza lungo le superfici di strato di impronte di preesistenti cristalli singoli o di aggregati nodulari di celestina (fig. 3e). Nel caso degli aggregati nodulari è ben osservabile anche macroscopicamente una blanda incurvatura delle laminazioni del calcare incassante (costituite da una fitta alternanza di laminazioni millimetriche più o meno ricche in materiale argilloso-bituminoso), adiacenti al nodulo, a testimonianza di una crescita di quest'ultimo durante una fase sindiagenetica di consolidamento del sedimento.

Parametri microscopici della mineralizzazione

In sezione sottile sia la celestina di tipo stratiforme, sia la celestina nodulare si presenta sottoforma di cristalli aciculatori aventi colori di interferenza bianco-azzurri a due nicol (fig. 4a-c). Nel caso della tipologia stratiforme è possibile osservare abbondante materiale carbonatico-argilloso interstiziale tra i singoli granuli, mentre in quella nodulare è ben apprezzabile la disposizione radialmente orientata dei singoli cristalli costituenti il nodulo. Inoltre è presente un effetto di incurvatura delle laminazioni del calcare incassante, derivante dalla crescita del nodulo stesso. Una caratteristica comune della roccia incassante in entrambe le tipologie è la diffusa presenza di granuli di pirite sottoforma di cubetti all'interno o all'interfaccia cristallo sedimento.

Parametri chimici e geochimici della mineralizzazione

Analisi chimiche della composizione di cristalli di celestina della manifestazione della Val Mara sono state eseguite presso la Sezione di Sondrio del Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria dal Dr. Pietro Vignola mediante analisi con microsonda a dispersione di energia (EDS) Link 10.000.

Tali analisi hanno confermato che le manifestazioni a solfati della celestina della Val Mara sono contraddistinte da celestina pura nel caso della manifestazione inferiore (campione L100) e nei campioni D9 e D15 della manifestazione superiore con strette analogie compostionali indipendentemente dalla posizione stratigrafica e dalla struttura no-

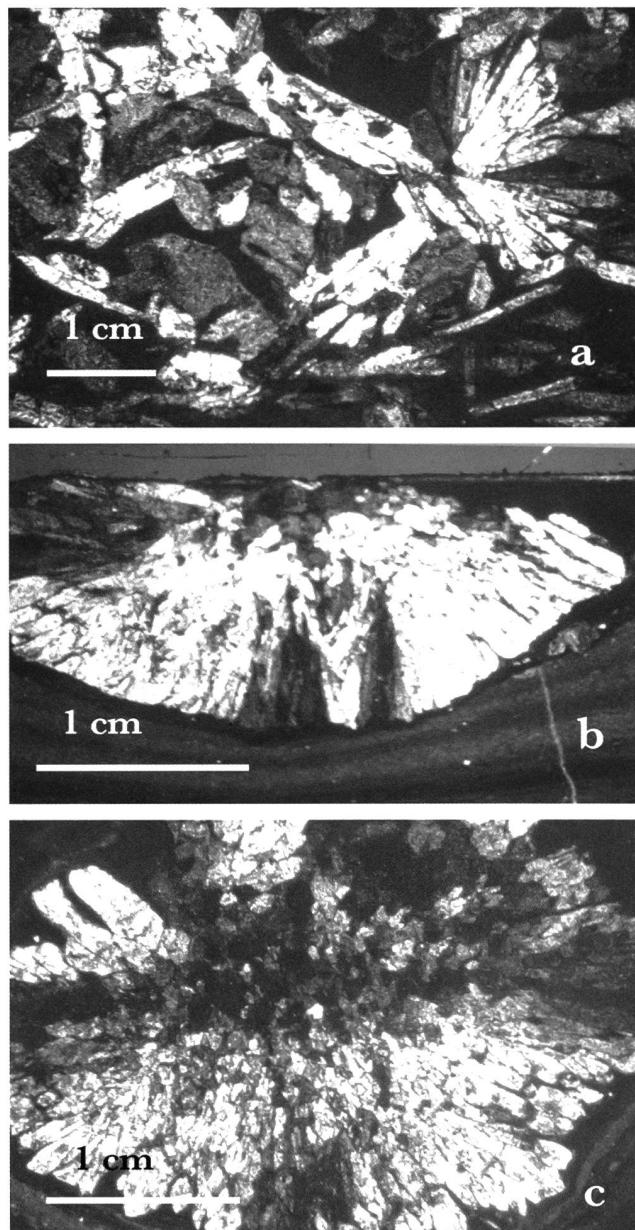


Fig. 4 – Aspetti microscopici della manifestazione a celestina della Val Mara. a) sezione sottile a NX di un livello discontinuo costituito da cristalli addensati; b) e c) sezione sottile a NX di aggregati nodulari. Si noti in a l'abbondante materiale carbonatico-argilloso interstiziale (parti scure) mentre in b è ben visibile la curvatura delle laminazioni del calcare sottostante il nodulo.

dulare o massiva (contenuto medio in SrO compreso tra 54,17 e 56,25 %) (tab.1).

Le composizioni medie del campione D10 della manifestazione superiore (cristallini singoli sparsi) sono invece risultate essere prossime a quelle di una barite-celestina (BaO 41,41 %, SrO 23,55%). Osservazioni al microscopio elettronico a scansione utilizzando gli elettroni retrodiffusi di questi ultimi campioni hanno evidenziato anche la presenza di minuscole inclusioni miste di stronzianite e aragonite di dimensione massima 20 μm (Fig 5a-b) con un contenuto medio in SrO di 54,30%.

In tab. 2 sono riportati il $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ e il rapporto isotopico

Tab. 1 – Composizioni chimiche medie delle manifestazioni a celestina della Val Mara.

| Elementi | L100 nodulare | D9 massiva | D10 cristallini | D15 nodulare |
|--------------------------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| SO ₃ | 43.56 | 43.43 | 34.30 | 42.77 |
| SrO | 54.17 | 54.78 | 23.55 | 56.23 |
| BaO | 1.71 | 1.09 | 41.41 | 0.52 |
| CaO | 0.20 | --- | --- | --- |
| MgO | --- | --- | 0,05 | --- |
| K ₂ O | --- | --- | 0,05 | --- |
| FeO | --- | --- | --- | --- |
| As ₂ O ₃ | --- | --- | --- | --- |
| P ₂ O ₅ | --- | --- | --- | --- |
| Totali | 99.64 | 99.30 | 99.36 | 99.52 |
| N° analisi | 5 | 5 | 4 | 5 |

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr di 4 campioni di celestina provenienti dalla manifestazione superiore (D9 e D10) e di 1 campione di celestina proveniente dalla manifestazione inferiore (L100).

Le analisi isotopiche del δ³⁴S_{CDT} sono state eseguite presso l'Institute of Mineral Deposits (CAGS) di Pechino dal Prof. Ding Tiping usando uno spettrometro di massa MAT251EM e i seguenti standard di lavoro GBW 04414 (Ag₂S, δ³⁴S_{CDT} = -0.07) and GBW 04415 (Ag₂S, δ³⁴S_{CDT} = 22.15). Il valore del δ³⁴S della celestina stratiforme è tendenzialmente più alto rispetto alla celestina nodulare il quale oscilla tra +36.3 ‰ e +39.7 ‰. In entrambi i casi, i dati isotopici dello S sono considerevolmente più alti rispetto a quelli della coeva acqua oceanica compresi all'incirca tra +12 ‰ e +17 ‰ (HOEFS 1997). Queste alte concentrazioni in δ³⁴S sono tipiche di ioni solfati sottoposti a una pervasiva azione da parte di batteri solfato riduttori in bacini marginali con alta produttività di materia organica.

Le analisi isotopiche del rapporto ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr sono state determinate presso l'Open Research Laboratory on Isotope Geology di Pechino dal Prof Zhang Zongqing usando uno spettrometro di massa MAT261 e un campione standard di stronzianite (NBS987SrCO₃) avente un rapporto ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr di 0.710261 ± 14 (2σ). I rapporti ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr sono stati normalizzati a un rapporto ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr di 8.37521. Il rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr è invece praticamente costante sia per la celestina di tipo nodulare che stratiforme (intervallo compreso tra 0.707492 e 0.707652) e mostra un

Tab. 2 – Valori isotopici del δ³⁴S_{CDT} e del rapporto ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr della celestina della Val Mara.

| Campione | Struttura | δ ³⁴ S _{CDT} | 2σ | ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr | 2σ |
|----------|-------------|----------------------------------|-------|------------------------------------|-----------|
| D15A | Nodulare | 37.6 | ±0.2‰ | 0.707517 | ±0.000008 |
| D15B | Nodulare | 36.3 | ±0.2‰ | 0.707492 | ±0.000011 |
| D9A | Stratiforme | 42.0 | ±0.2‰ | 0.707581 | ±0.000013 |
| D9B | Stratiforme | 44.9 | ±0.2‰ | 0.707570 | ±0.000009 |
| L100 | Nodulare | 39.7 | ±0.2‰ | 0.707625 | ±0.000010 |

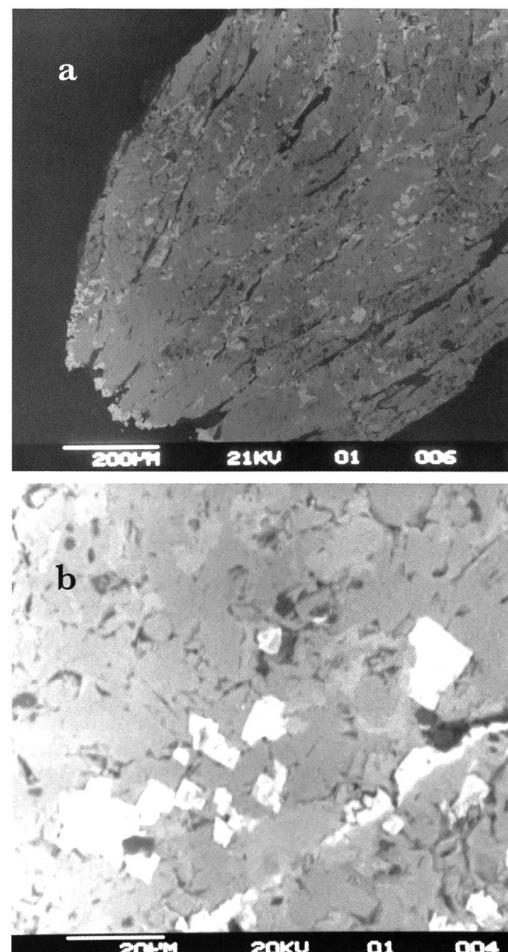


Fig. 5 a, b – Foto al microscopio elettronico a scansione della mineralizzazione a celestina della Val Mara relativa a un singolo cristallo di barite-celestina presente nel livello D10 di TINTORI *et al.* (1998). I cristallini bianchi sono costituiti da stronzianite.

rapporto medio di 0.707557. L'intervallo del rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr è perfettamente in equilibrio con il rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr della coeva acqua oceanica (fig. 6).

DISCUSSIONE

Le caratteristiche geologiche e geochimiche delle manifestazioni a celestina della Val Mara riflettono quella che è da considerare l'origine dello Sr. Infatti:

- a) il perfetto accordo del rapporto isotopico ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr con il rapporto ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr della coeva acqua oceanica, il quale preclude un qualunque tipo di arricchimento in Sr radiogenico (per lisciviazione dalle adiacenti aree continentali; cfr. SCHOLLE *et al.* 1990 o per alterazione dei livelli vulcanoclastici presenti nella serie incassante),
- b) l'assenza di vere e proprie facies a gessi e anidriti con le quali la celestina è frequentemente associata o dalle quali può derivare (cfr. DE BRODTKORB 1989 per un'ottima rassegna dei principali giacimenti mondiali a celestina) nella serie sedimentaria incassante (a esclusione di qualche isolata impronta di cristalli di alite nella KSZ media, FURRER 1995; cfr. fig. 2),

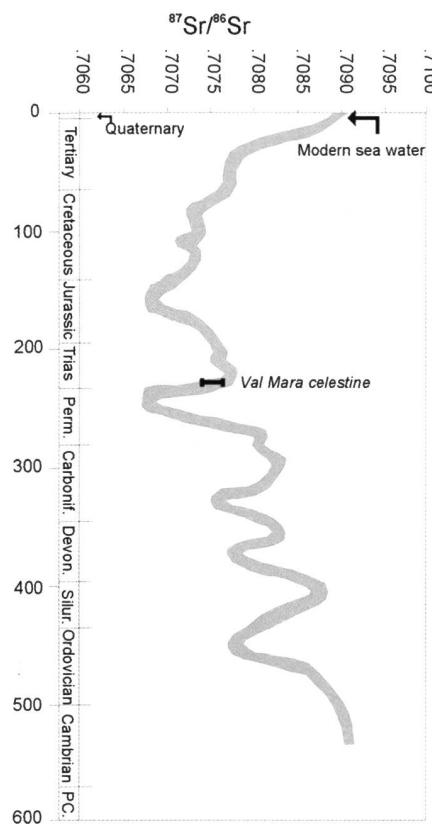


Fig. 6 – Variazione dei rapporti isotopici $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dell'acqua marina dal Cambriano al Presente ed indicazione del rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ della celestina della Val Mara (curva di variazione ridisegnata da Barbieri, 1989; dati da BURKE *et al.* 1982, DE PAOLO & INGRAM 1985).

lasciano supporre una derivazione dello Sr esclusivamente per precipitazione diretta dall'acqua di mare o soluzioni da essa direttamente derivate.

Già MÜLLER (1962), aveva dimostrato come il contenuto in Sr dell'attuale acqua di mare sia di 8 g/t, dei quali il 62% è disponibile per la precipitazione della celestina e il 38% è incluso in altri minerali evaporitici. La precipitazione di celestina dall'acqua di mare avviene al limite della precipitazione del carbonato di calcio e quella del solfato di calcio, allorché il volume d'acqua è ridotto all'incirca a 1/4 del volume originario (tra 1/3 e 1/5) (fig. 7). Questo spiega il motivo per cui celestina e gesso si rinvengono frequentemente associati. L'inizio della precipitazione di celestina in acqua di mare per concentrazioni iniziali tra 2 e 40 g/t, al diminuire del volume originario, è mostrata in fig. 8. Secondo MÜLLER (1962), l'ammontare di Sr inglobato nella formazione di carbonati, i quali sono considerati i primi minerali a precipitare chimicamente, è trascurabile e la saturazione in SrSO_4 è presto raggiunta per un arricchimento di 40 g/t in Sr. Per un contenuto medio dell'acqua di mare di 8 g/t il punto di precipitazione del CaSO_4 è raggiunto per concentrazioni di 1/3,35 e 8 g/t in Sr e la maggior parte dello Sr precipita come celestina, mentre con concentrazioni iniziali di 4 g/t in Sr (ad esempio in bacini diluiti dall'apporto di acque continentali), la celestina inizia a precipitare allorché la maggior parte del solfato di calcio si è già formato. Di conseguenza per concentrazioni ini-

ziali anche appena superiori al valore medio di 8 g/t, la celestina può precipitare prima che si arrivi alla precipitazione del CaSO_4 .

Condizioni paleoambientali che prevedano processi di concentrazione della soluzione originaria mediante i quali si abbia precipitazione della celestina senza avere vere e proprie condizioni evaporitiche (formazione di livelli a gessi e anidriti) sono in accordo con le ricostruzioni paleoambientali del bacino della KSZ. Studi tafonomici hanno infatti indicato una sedimentazione controllata dal clima in un bacino avente uno stabile picnoclino (salto di salinità), con acque superficiali ossigenate, ricche in nutrienti a elevata produttività organica e acque anossiche sul fondo ove poteva accumularsi abbondante materiale organico (Furrer 1995). Durante la stagione secca il processo di evaporazione aumentava la salinità favorendo la precipitazione di sedimenti carbonatici come testimoniato dalla diffusa presenza di lamine stromatolitiche, estremamente analoghe agli odierni tappeti microbici essiccati che si rinvengono nelle zone intertidale e sopratidale di lagune o piccoli bacini isolati, e dalla presenza di impronte di cristalli evaporativi e dalla celestina stessa. Livelli ad Esterie (crostacei d'acqua dolce) sono stati rinvenuti sulle stesse lamine dei cristalli di celestina, ciò che indicherebbe la presenza stagionale di acqua dolce, a testimoniare le condizioni per una mortalità di massa causata dalla repentina variazione di salinità.

Situazioni paleoambientali simili a quelle della KSZ sono prospettate da CLARK (1988) riguardo i bacini paleozoici degli Appalachi negli Stati Uniti orientali, nei quali numerose ricorrenze di noduli di barite sono presenti all'interno di litologie calcareo-marnose depositatesi in ambienti marini scarsamente ossigenati (disaerobici) in bacini stratifi-

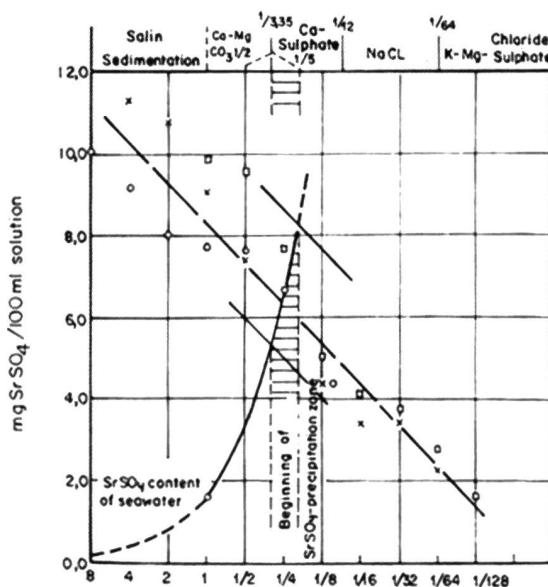


Fig. 7 – Solubilità di SrSO_4 per differenti diluizioni e concentrazioni di acqua marina a 25°C (da Müller 1962). Fig. 8 – Curva di solubilità della celestina per differenti concentrazioni iniziali di Sr in acqua di mare (da Müller 1962).

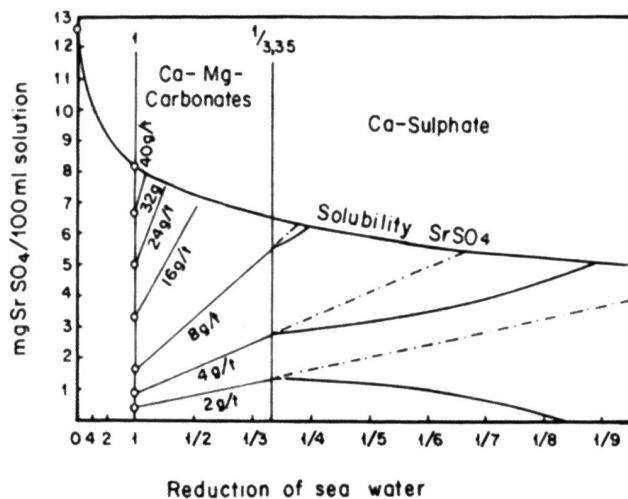


Fig. 8 – Curva di solubilità della celestina per differenti concentrazioni iniziali di Sr in acqua di mare (da Müller 1962).

cati. Queste ricostruzioni paleomabientali si basano su: a) ricorrenza dei noduli di barite in posizioni stratigrafiche corrispondenti a condizioni disaerobiche, comprese tra litologie testimonianti condizioni aerobiche e anaerobiche b) associazione dei noduli di barite all'interno di livelli argilosi-carbonatici contenenti noduli calcitici e piritici formatisi probabilmente in zone da disaerobiche ad anaerobiche. A questo si aggiunga l'elevato valore del $d^{34}\text{S}$ calcolato su noduli di barite di età Devoniano Inferiore – Devoniano Superiore (valori medi compresi tra + 38 e + 46.3 ‰ i quali sono decisamente superiori all'intervallo isotopico della coeva acqua oceanica (17–27 ‰) e testimonianti un'intensa attività da parte di batteri sulfato-riduttori sugli ioni sulfato. In base a queste evidenze, Clark (1988) ipotizza che la barite derivi dalla concentrazione e dalla precipitazione di Ba dissolto nei livelli marini anaerobici all'interfaccia con i livelli disaerobici più ossidanti previa ossidazione della materia organica.

In base a quanto esposto e alle caratteristiche geologiche e isotopiche è possibile ipotizzare anche per la manifestazione a celestina nella KSZ della Val Mara una derivazione simile per precipitazione diretta della celestina con derivazione dello Sr dall'acqua oceanica (favorita dalle periodiche condizioni di parziale evaporazione) e del solfato per ossidazione della materia organica nelle zone di contatto tra masse d'acque anaerobiche e disaerobiche (interfacce di ossido-riduzione). Un modello simile ben si applicherebbe al fatto che la celestina si rinvie e si possa rinvenire (vedi segnalazioni di «barite» tra i livelli 60 di Wirz e 106B di Scheuring in fig. 2) in più livelli della KSZ inferiore e media, lasciando intravedere una ciclicità nella precipitazione della celestina in funzione delle periodiche variazioni chimico-fisiche esistenti nel bacino del Calcare di Meride. In alternativa si può considerare un meccanismo coinvolgente «un tappeto di alghe», sigillante le parti più profonde del bacino.

Conclusioni

Il rinvenimento a celestina della Val Mara costituisce

un'eccezione in termini quantitativi per ciò che riguarda le segnalazioni nelle Alpi Meridionali lombarde. Infatti, al momento, le sole manifestazioni conosciute dagli scriventi sono le seguenti:

- SCAINI (1939) e BOSCARDIN *et al.* (1970) segnalano nella «Cava del Fop» sita nella frazione di Grumo del comune di Lierna (Provincia di Lecco), il rinvenimento di cristalli lenticolari bianchi lunghi 1 mm in piccoli gruppi, all'interno dei calcari marnosi della Formazione di Perledo-Varenna. Un campione costituito da pochi cristalli prismatici rombici, limpidi, leggermente verdastri, adagiati sulla parete di un piccola frattura assieme a calcite cristallizzata è esposto nella raccolta mineralogica lombarda del Museo Civico di Storia Naturale di Milano. Malgrado l'esiguità di questa manifestazione, essa ben s'inquadra nelle moderne correlazioni paleoambientali (vedi GIANOTTI & TANNOIA 1998; GAETANI *et al.* 1992; FURRER 1995) tra Calcare di Meride e Formazione di Perledo-Varenna, lasciando intravedere la possibilità di una continuità verso oriente della mineralizzazione della Val Mara.
- PEZZOTTA & BAILO (1990) e JADOU *et al.* (1993), descrivono il rinvenimento di cristallini di celestina azzurra (lunghezza massima 10 mm anche biterminati) all'interno di geodi decimetriche contenute in una piccola struttura anticinalica impostata nella formazione norica delle Argilliti di Riva di Solto, e affiorante lungo l'intaglio stradale della provinciale Zogno-Selvino nella zona di Branca (località Ponte Merlo) in provincia di Bergamo. Le geodi sono localizzate all'interno di un'intercalazione calcareo-marnosa delle Argilliti di Riva di Solto (età Norico Superiore) nella zona di cerniera della piccola anticinale in corrispondenza di sottili fratture tensionali di piano assiale riempite anche da calcite e dolomite di varie generazioni con associata localmente barite in piccoli cristalli tabulari. La manifestazione a barite e celestina di Ponte Merlo fa parte di una numerosa serie di mineralizzazioni a barite, fluorite e quarzo contenute all'interno di differenti trappole stratigrafico-strutturali intercalate tra il tetto della Dolomia Principale e le Argilliti di Riva di Solto nelle Prealpi lombarde distribuite dalla zona di Abbadia Lariana a ovest fino alla zona del Lago di Iseo (Cornà Trentapassi, in provincia di Brescia).
- MAGLIA (1988), riporta l'osservazione di cristalli di celestina biancastra fino a 25 mm di lunghezza in vene calcitiche contenute in una formazione flyschoides del Cretaceo Superiore (C_a^2 della Carta Geologica d'Italia foglio 32 – Como), in località Cava del Baggero nei territori dei comuni di Monguzzo e Merone (Provincia di Como).
- JERVIS (1873) cita presenza di celestina associata ad anidrite nella «volpinite» o «Gesso di Volpino» del Triassico Inferiore affiorante nel comune di Costa Volpino in Val Camonica (provincia di Brescia). Questa segnalazione non è stata però confermata dai successivi ricercatori (BOSCARDIN *et al.* 1970).

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare vivamente il Prof. Giuseppe Liborio della Sezione di Mineralogia del Dipartimento di Scienze della Terra di Milano per la disponibilità nell'analisi a raggi x e l'aiuto nell'interpretazione degli spettri di diffrazione. Si ringrazia inoltre il Prof. Franco Rodeghiero del Dipartimento di Georisorse del Politecnico di Torino per la lettura critica del testo e il Sig. Luigi Saibene per la collaborazione nella raccolta delle notizie bibliografiche.

BIBLIOGRAFIA

- BARBIERI M., 1989. Strontium isotopes as natural tracers in magmatic processes. In: M.K. De Brodtkorb (ed.) Nonmetalliferous Stratabound Ore Fields, Van Nostrand Reinhold – New York, 1–7.
- BIONDA D., 1996. Stable Isotope geochemistry of the Middle triassic Kalkschieferzone, Southern Alps (Ticino, Switzerland). Unpublished Diploma Thesis E.T.H. Zürich, 79 pp.
- Boscardin M., De Michele V. & Scaini G., 1970. Itinerari mineralogici della Lombardia. Museo Civ. St. Nat. – Soc. It. Sc. Nat., Milano, 120 pp.
- Bosellini A., 1965. Schema strutturale del permo-trias postercinico nelle Alpi Meridionali. Atti Acc. Naz. Lincei, 38, 2, 216–222.
- Brusca C., Gaetani M., Jadoul F. & Viel G. 1981. Paleogeografia e metallogenese del Triassico Sudalpino. Mem. Soc. Geol. It. 22, 65–82.
- Burke W.B., Denison R.E., Hetherington E.A., Koepnock R.B. & Nelson H.F., Otto J.B., 1982. Variation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. Geology, 10, 516–519.
- Clark S.H.B., 1988. Origin of some shale-hosted barite nodules in the Appalachian basin of the Eastern United States. In: Proceedings of the Seventh Quadriennal IAGOD Symposium, Stuttgart, 259–268.
- De Brodtkorb M. K. 1989. Celestite: worldwide classical ore fields. In: M.K. De Brodtkorb (ed.) Nonmetalliferous Stratabound Ore Fields, Van Nostrand Reinhold – New York, 17–39.
- De Paolo D.J. & Ingram B.L. 1985. High resolution stratigraphy with strontium isotopes. Science, 227, 938–941.
- Furrer H. 1995. The Kalkschieferzone (Upper Meride Limestone; Ladinian) near Meride (Canton Ticino, Southern Switzerland) and the evolution of a Middle Triassic intraplatform basin. Eclogae geol. Helv., 88/3, 827–852.
- Gaetani M., Gianotti R., Jadoul F., Ciarapica G., Cirilli S., Lualdi A., Passeri L., Pellegrini M. & Tannoia G., 1986. Carbonifero Superiore, Permiano e Triassico nell'area lariana. Mem. Soc. Geol. It., 32, 5–48.
- Gaetani M., Gnaccolini M., Poliani G., Grignani D., Gorza M., & Martellini L. 1992. An anoxic Intraplatform Basin in the Middle Triassic of Lombardy (Southern Alps, Italy): Anatomy of a Hydrocarbon source. Riv. It. Paleont. Strat., 97/3–4, 329–354.
- Gianotti R. & Tannoia G. 1988. Elementi per una revisione stratigrafico-paleontologica del Trias Medio-Superiore della regione compresa tra il Lario e il Ceresio. Atti Tic. Sc. Terra, 31, 434–445.
- Govi M. 1960. Geologia del territorio compreso tra il lago di Lugano e la Valmarchirolo. St. e Ric. Divis. Geomin. CNRN 3, 160–217.
- Hoefs J. 1997. Stable isotope geochemistry. Springer, Berlin Heidelberg New York, 201 pp.
- Jadoul F., Bailo F. e Pezzotta F. 1993. Note su manifestazioni a fluorite, barite e celestina nelle successioni del Norico delle Prealpi Bergamasche. Boll. Soc. Geol. It., 112, 219–233.
- Jervis G. 1873. I Tesori sotterranei dell'Italia. Parte prima. Loescher, 348 pp
- Maglia L. 1988. Celestina e Stronzianite di Merone (Co) Cava del Baggero. Riv. Min. It., 3, 123–125.
- Müller G.: 1962. Geochemie des Strontium in ozeanen. Evaporiten unter besonderer Berücksichtigung der sedimentaren Coelestin-lagerstatte von Hemmelte-West. Geol. Beiheft., 35, 1–90.
- Neri P., Rodeghiero F & Rossi C. 1996. Rapporti tra mineralizzazioni di tipo filoniano e di tipo legato agli strati nell'area Besano – Monte San Giorgio (Lombardia Settentrionale – Ticino Meridionale). Geol. Insubr., 1/1+2, 17–28.
- Oppizzi P., Camana G., Neri P., Rossi C., Rodeghiero F. & Bernasconi E. 2000. Le mineralizzazioni filoniane a barite e fluorite del Monte San Giorgio (Canton Ticino meridionale). Geol. Insubr., 4/2, 77–87.
- Pezzotta F. & Bailo F. 1990. Precisazioni sulla nuova località di ricerca di quarzo a Zogno e segnalazione del rinvenimento di celestina cristallizzata nella zona di Branca. Riv. Min. It., 3, 158–160.
- Scaini G. 1939. Itinerari Mineralogici. Natura, 30, 88–90.
- Scheuring B.W. 1978. Mikroflore aus den Meridekalken des Mts. Giorgio (Kanton Tessin). Schweiz Paläont. Abh. 100, 1–205.
- Scholle P.A., Stemmerik L. & Harpott O. 1990. Origin of major karst-associated celestite mineralization in Kastryggen, central east Greenland. Jour. Sedim. Petr., 60, 3, 397–410.
- Senn A. 1924. Beiträge zur Geologie des Alpensüdrandes zwischen Mendrisio und Varese. Eclog. geol. Helv., 18/4, 552–632.
- Tintori A., Lombardo C., Danini G., Felber M., Marazzi B. & Vendico M. 1998. Scavi paleontologici nella Kalkschieferzone di Meride (Cantone Ticino, Svizzera): risultati preliminari della campagna 1997. Geol. Insubr., 3/1, 11–16.
- Wirz A. 1945. Beiträge zur Kenntnis des Ladinikums im Gebiete des Monte S. Giorgio. Die Triasfauna der Tessiner Kalkalpen XV. Schweiz. Päl. Abh. 65, 1–84.

