

MIDA
FONDAZIONE

VERMICOLAZIONI
delle Grotte di Pertosa-Auletta
un brulicare di forme di vita microbica estrema

di Rosangela Addesso

Testi:
Dott. Rosangela Addesso [8]

Editor:
Prof. Mariana Amato [1, 2, 3]

Reviewers:
Prof. Daniela Baldantoni [8]
Prof. Jo De Waele [9]

Foto:
Dott. Rosangela Addesso [8]
Orlando Lacarbonara
Giuseppe Natalino

Progetto grafico:
Nicola Cestaro

Editor in chief:
Prof. Mariana Amato [1, 2, 3]

Editorial board:
Prof. Mariana Amato [1, 2, 3]
Sig. Antonietta Cafaro [2]
Prof. Domenico Calcaterra [3]
Dott. Daniela Casorelli [1, 4]
Dott. Anna De Mauro [2]
Prof. Gaetano Di Pasquale [5]
Dott. Giuseppe Landi [1]
Prof. Michele Perniola [6]
Dott. Roberta Rossi [7]

1. Università degli Studi della Basilicata – Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali
2. MIdA - Musei Integrati dell'Ambiente
3. Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse
4. MIdA Junior Scientific Council
5. Università di Napoli Federico II – Dipartimento di Agraria
6. Università degli Studi della Basilicata – Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo: architettura, ambiente, patrimoni culturali
7. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura del Ministero per le Politiche Agrarie e Forestali. CRA-SCA
8. Università degli Studi di Salerno - Dipartimento di Chimica e Biologia "Adolfo Zambelli"
9. Università di Bologna - Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali

Edizioni MIdA

ISBN 9788894502091

Collana MIdA A Agricoltura e Ambiente
© 2019 Riproduzione vietata, tutti i diritti riservati dalla legge sui diritti d'autore

FONDAZIONE MIdA
Località Muraglione 18/20
84030 Pertosa (SA)
www.fondazionemida.it

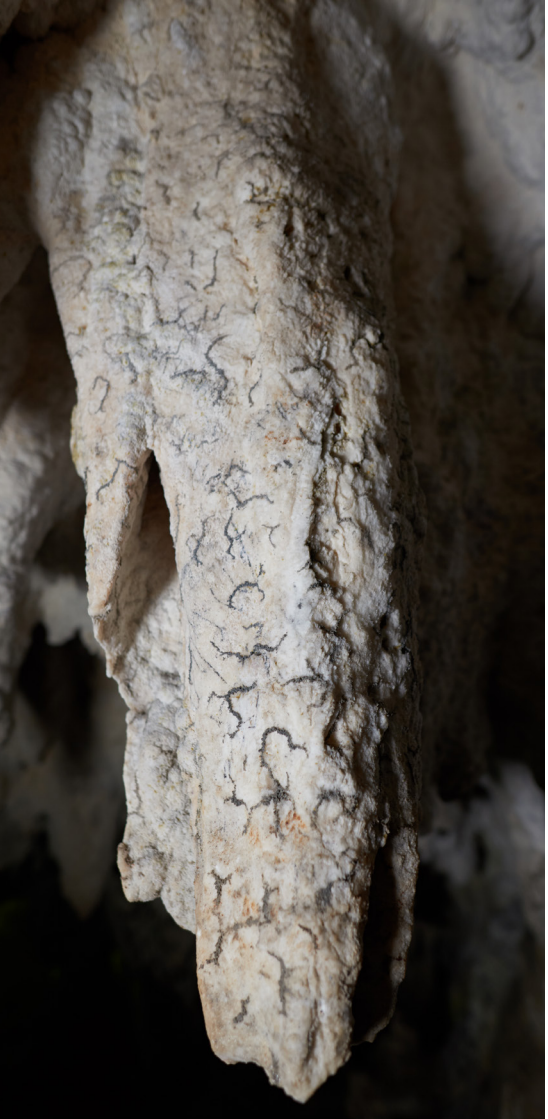


Foto di Rosangela Addesso

presentazione

Le Grotte di Pertosa-Auletta, note per la bellezza e varietà degli ambienti visitabili dai geoturisti, rappresentano un importante patrimonio naturalistico e culturale. La Fondazione MIdA - Musei Integrati dell'Ambiente sostiene la ricerca sul geosito e la divulgazione e diffusione dei suoi risultati. Questa pubblicazione riguarda uno degli aspetti della grotta meno noti al grande pubblico: la vita e l'attività dei microrganismi nelle vermicolazioni. MIdA ha incoraggiato e sostenuto le indagini sulle origini ed il ruolo bio-geochimico ed ecologico di queste formazioni, per la conoscenza degli ambienti ipogei e come base per la loro gestione sostenibile. Le applicazioni esulano dagli scopi di questo breve resoconto ma le ricerche sulla biologia degli ambienti estremi sono anche attualmente promettenti in campi che vanno da quello biomedico a quello della astrobiologia. Questo breve resoconto si propone intanto di suscitare la meraviglia del lettore riguardo alle molte dimensioni dell'ambiente ipogeo e la curiosità del visitatore per i fenomeni e meccanismi che sono alla base del fascino delle grotte.

Mariana Amato
Direzione Scientifica
della Fondazione MIdA



le grotte, habitat naturali per estremofili

Le grotte sono ambienti naturali, vuoti sotterranei, che si generano in seguito al processo carsico di dissoluzione della roccia a causa dell'azione dell'acqua. Rappresentano veri e propri ecosistemi a sé stanti, spesso impervi ed ostili, definiti anche "habitat estremi" per le severe condizioni dei fattori abiotici (oscurità, umidità relativa elevata, scarsa disponibilità di risorse trofiche...), sfavorevoli allo sviluppo della vita e completamente differenti da quelle riscontrate in superficie. Tuttavia, questi spettacolari ed affascinanti paesaggi sotterranei costituiscono interessanti nicchie ecologiche per microrganismi estremofili, altamente specializzati e perfettamente adattati a questo ambiente così singolare. Ne sono un esempio comunità microbiche che hanno imparato a cooperare tra loro, formando strutture collettive e stabilendo relazioni mutualistiche, favorendo ciascuna popolazione la sopravvivenza di un'altra, o

i microrganismi hanno imparato a cooperare tra loro, favorendo ciascuna popolazione la sopravvivenza dell'altra

specie metabolicamente adattate al severo stile di vita chemiolitoautotrofo, le quali sfruttano elementi e composti inorganici presenti nella roccia, nelle acque sotterranee e nell'atmosfera delle cavità.

Sebbene severi siano i fattori abiotici, la loro costanza temporale nelle cavità sotterranee, insieme all'elevato grado di isolamento di questi ecosistemi rispetto a quelli ad essi contigui, riduce la complessità dell'ecosistema grotta, facilitando lo studio delle comunità che lo caratterizzano. In particolare, oltre una certa distanza dall'ingresso, in assenza di illuminazione artificiale, mancano completamente le

Foto di Giuseppe Natalino

le straordinarie forme di vita estrema che popolano le grotte potrebbero contribuire alla loro formazione

piante superiori e pertanto la comunità dell'ecosistema grotta è caratterizzata per lo più da un metabolismo eterotrofo, dipendente soprattutto dall'apporto di materiale organico esogeno. Parallelamente, la complessità strutturale dell'habitat, con la conseguente diversificazione dell'ambiente per la presenza, ad esempio, del reticolo di micro-fessure che generalmente permea la roccia, crea la disponibilità di numerose nicchie spaziali che possono essere occupate da specie differenti che garantiscono l'elevata biodiversità che generalmente caratterizza una grotta.

Numerosi studi geo-microbiologici su matrici di diversa natura provenienti da cavità sotterranee mostrano come le straordinarie forme di vita che le popolano potrebbero contribuire anche alla formazione della grotta stessa, sia con processi distruttivi di dissoluzione della roccia, attraverso la secrezione di enzimi e acidi organici, sia con processi costruttivi, inducendo la neo-formazione di minerali secondari, sostanza organica ed altri composti e partecipando attivamente ai processi che portano all'origine di diverse concrezioni di grotta (speleotemi), spesso difficilmente attribuibili ai soli fattori puramente chimico-fisici. Inoltre, le più moderne tecniche di biologia molecolare hanno mostrato una sorprendente presenza di organismi ancora non noti alla scienza. Di fatto, studiare l'ecologia e la microbiologia degli ambienti sotterranei può dare un enorme contributo alla comprensione dei processi che hanno portato all'origine ed allo sviluppo della vita sulla Terra, ma anche su altri pianeti, come Marte, fornendo elementi utili alla ricerca persino nel campo dell'astrobiologia, motivo per cui questo tipo di studi nell'ancor poco conosciuto mondo sotterraneo va via via incrementando.



Foto di Rosangela Addesso



che cosa sono le vermicolazioni?

Osservate e documentate in grotte di tutto il mondo, custodiscono la storia sedimentologica e idrologica delle cavità sotterranee

In grotte di tutto il mondo sono state osservate e documentate le vermicolazioni. Si tratta di depositi sottili, irregolari e discontinui di particelle incoerenti di diametro < 10 µm. Sorprendente è la loro straordinaria diversità. Presentano, infatti, svariate morfologie, dalle maculate alle dendritiche, da quelle "a pelle di leopardo" a quelle "a geroglifici", con colori che vanno dal grigio chiaro al marroncino, fino ad arrivare a colorazioni molto scure, in qualche caso verdastre, indice della presenza di organismi fotoautotrofi (che sfruttano la luce). Le dimensioni variano da < 1 mm a poco più di 1 cm in spessore e larghezza, mentre in lunghezza possono raggiungere anche i 50 cm.

Le si possono osservare sulle pareti, sulle volte e sul suolo di ambienti sotterranei naturali ed artificiali, su varie tipologie di substrato (rocce carbonatiche, evaporitiche, vulcaniche...). Alcune di esse possono mostrare un enigmatico alone chiaro, detto "halo". Molte seguono fratture, canalicoli ed irregolarità della roccia, altre si sviluppano sulla sua superficie senza un controllo strutturale. Da un punto di vista geochimico, sono caratterizzate da un notevole quantitativo di calcite, con presenza di quarzo e minerali argillosi, ricche di ossidi di ferro e manganese, con un'alta percentuale di sostanza organica. È proprio la differente composizione mineralogica che genera le così varie colorazioni. Non tutte sono attive, alcune, infatti, risultano ormai fossili, coperte da un sottile strato di calcite o gesso, continuando a custodire preziose informazioni sulla storia sedimentologica, biologica ed idrologica dei condotti.

Foto di Rosangela Addesso



Foto di Orlando Lacarbonara



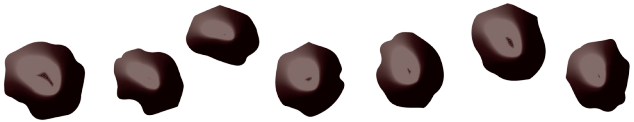
morfologie delle vermicolazioni
modificato da Parenzan 1961 -1965



Macule puntiformi



Macule plachiformi



Macule bollose



Macule irregolari, ellissoidi o allungate



Vermicolazioni grosse (*pelle di leopardo*)



Vermicolazioni lineari, allungate, semplici o anastomizzate (*pelle di tigre*)



Vermicolazioni a geroglifici



Vermicolazioni dendritiche



Vermicolazioni lineolari





l'origine ancora oscura

In merito all'origine delle vermicolazioni si sa ancora troppo poco; di fatto, esistono numerose teorie in letteratura, anche abbastanza datate, che restano tali, poiché basate sulla semplice osservazione del fenomeno, senza evidenze sperimentali che permettano di dimostrarle. C'è chi propende per un'origine chimica, dovuta a decalcificazione della roccia per acque percolanti o di condensazione, tipicamente presenti in questo tipo di ambiente, e chi invece sostiene l'origine fisica, secondo cui gli aggregati si formano per neutralizzazione di cariche elettriche presenti sulle superfici delle particelle o per disseccamento/inumidimento di depositi che si accumulano sulle superfici per fenomeni di varia natura. E poi, c'è chi sostiene l'origine biologica, dovuta ad attività microbica con processi di dissoluzione della roccia, precipitazione di minerali secondari, arricchimento di materia organica ed altre sostanze che favoriscono l'aggregazione di queste particelle. Solo recentemente, gli studi si stanno concentrando su un approccio interdisciplinare per chiarire i processi che effettivamente portano alla formazione ed alla diversificazione delle vermicolazioni.

Un'origine chimica, fisica o biologica?

Foto di Rosangela Addesso

Foto di Giuseppe Natalino



le vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta

Tranne che nel piccolo tratto che va dalla Sala del Trono alla Grande Sala nel ramo turistico, le Grotte di Pertosa-Auletta risultano essere particolarmente ricche di vermicolazioni. La quasi totalità delle superfici (pareti, volte e stalattiti), infatti, è ricoperta da questi affascinanti depositi, che mostrano svariate morfologie, dalle maculate alle dendritiche, da quelle "a pelle di leopardo" a quelle "a geroglifici", con colori che vanno dal grigio chiaro al marroncino, fino ad arrivare a colorazioni molto scure, in qualche caso verdastre, indice della presenza di organismi fotoautotrofi.

Applicando le moderne tecnologie di Next-Generation Sequencing (NGS) è emerso che le vermicolazioni brulicano di vita. Un copioso gruppo di microrganismi, rilevato nelle vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta, è quello appartenente al phylum dei *Proteobacteria*, comunemente ritrovato in grotta, il cui successo in un ambiente così limitante è dovuto fondamentalmente alla capacità di utilizzare un ampio range di composti organici e di adottare differenti strategie metaboliche (eterotrofia, ma anche chemiolitoautotrofia o fotoautotrofia). Vi è inoltre una considerevole presenza di *Acidobacteria*, *Actinobacteria*, *Nitrospirae*, *Firmicutes*, *Planctomycetes*, *Chloroflexi* , *Gemmatinomodates*, nonché la presenza di numerosi altri gruppi meno rappresentati, ma non meno importanti da un punto di vista ecologico, essendo noto ormai da tempo l'importante ruolo che essi svolgono nei cicli biogeochimici degli elementi e nei processi di decomposizione della necromassa. Inoltre, un notevole quantitativo del DNA isolato non trova riscontro nelle banche dati comunemente utilizzate per l'identificazione del biota, dimostrando quanto il mondo sotterraneo risulti ancora poco studiato

le vermicolazioni brulicano di vita e un notevole quantitativo di DNA isolato risulta sconosciuto

e quante altre sorprese esso può riservare. Evidenze di attività biologica (cluster di cellule, spore, filamenti organici, minerali secondari precipitati), che sembrano confermare il ruolo attivo dei microrganismi nella formazione dei depositi vermicolari, sono state chiaramente rilevate attraverso la microscopia confocale a scansione laser (CLSM) ed elettronica a scansione con sorgente ad emissione di campo (FESEM), che hanno permesso di avere un'idea della densità e della distribuzione del materiale biologico e di visualizzare le microstrutture delle vermicolazioni.

Le analisi mineralogiche hanno eviden-

ziato, infine, un basso contenuto di quarzo e argilla (illite, smectite, siderite, feldspati e caolinite) presente il più delle volte solo nei difetti, nelle irregolarità e nelle zone cave dei più abbondanti minerali di calcite, che costituiscono la quasi totalità delle vermicolazioni, tanto da mettere in discussione la comune definizione delle vermicolazioni, chiamate da sempre anche "argillo-limose".

il basso contenuto di argilla mette in discussione la comune definizione delle vermicolazioni, da sempre chiamate "argillo-limose"

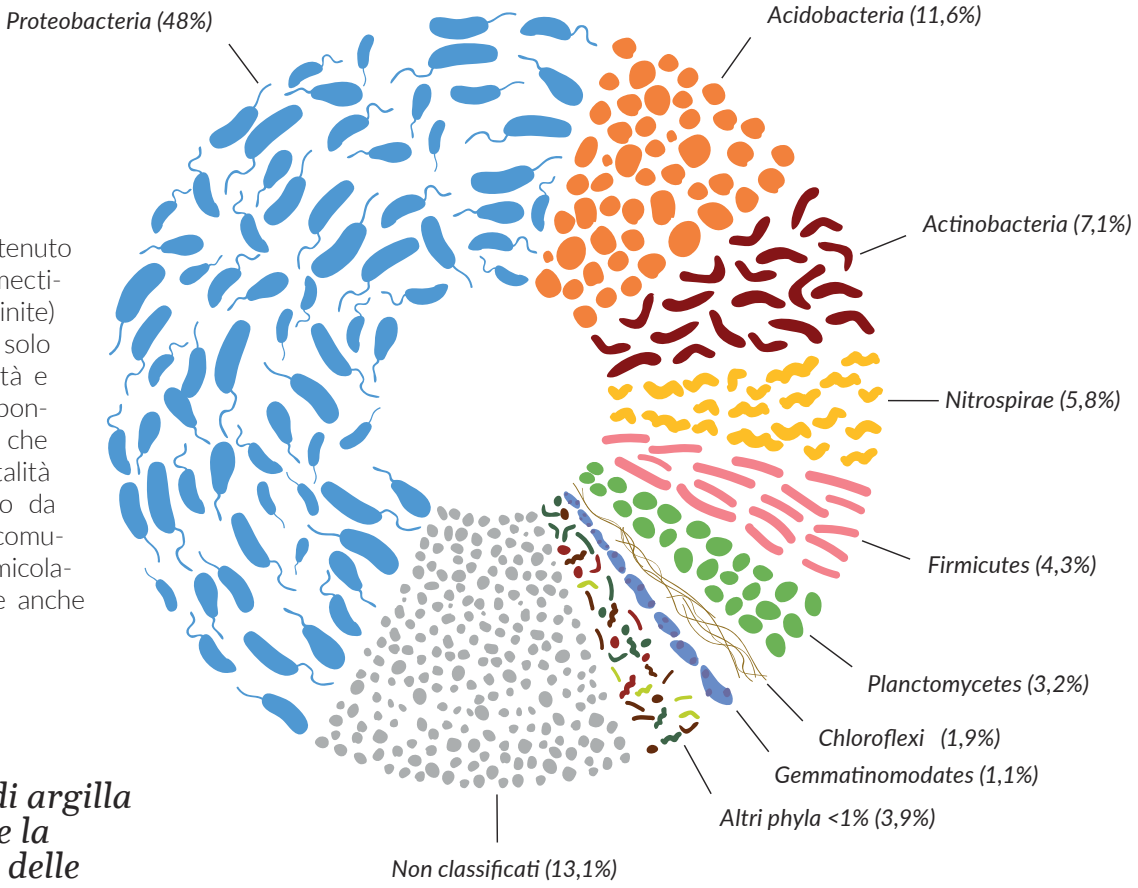
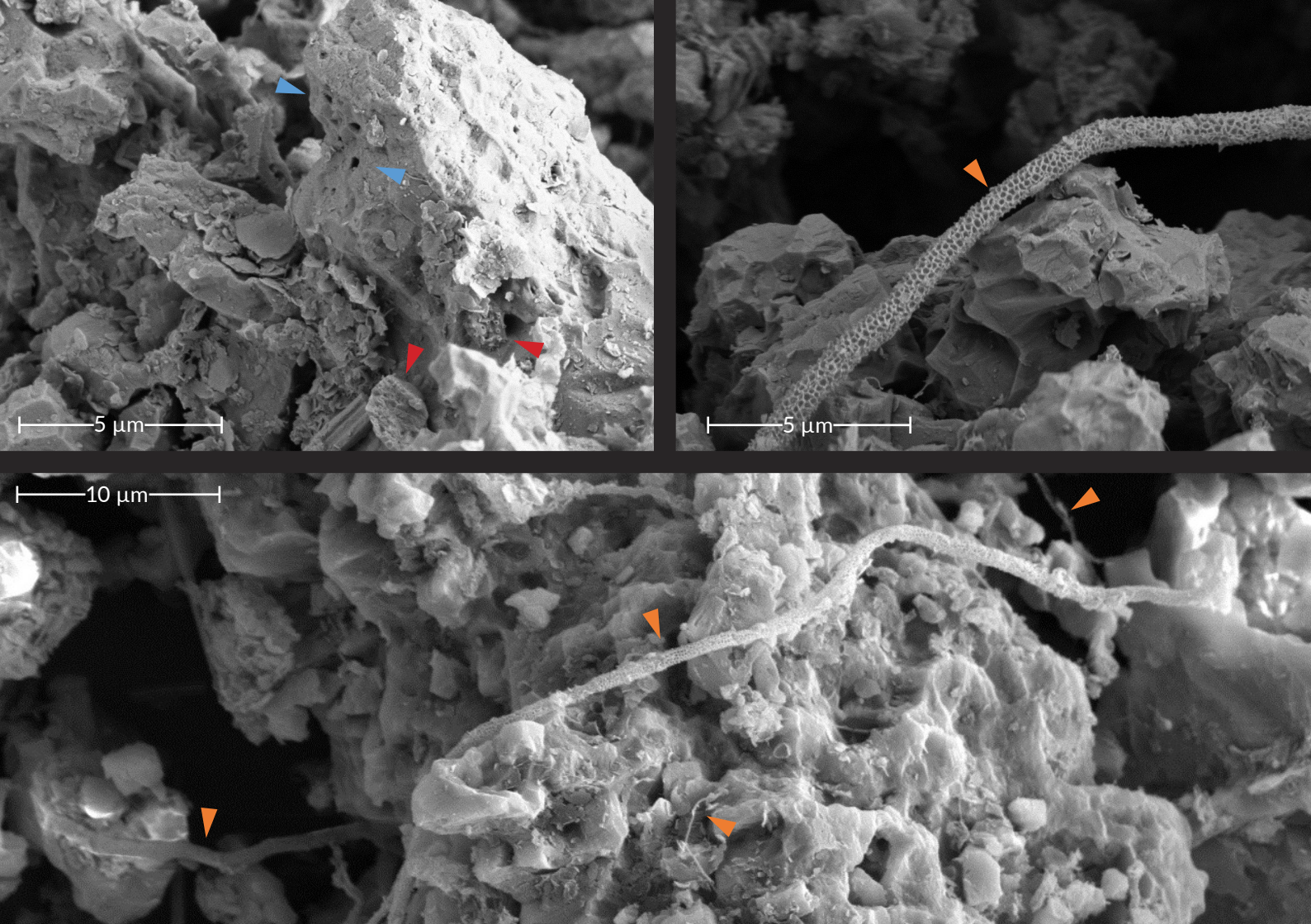


Grafico: Microrganismi rilevati nelle vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta


5 µm
5 µm
10 µm

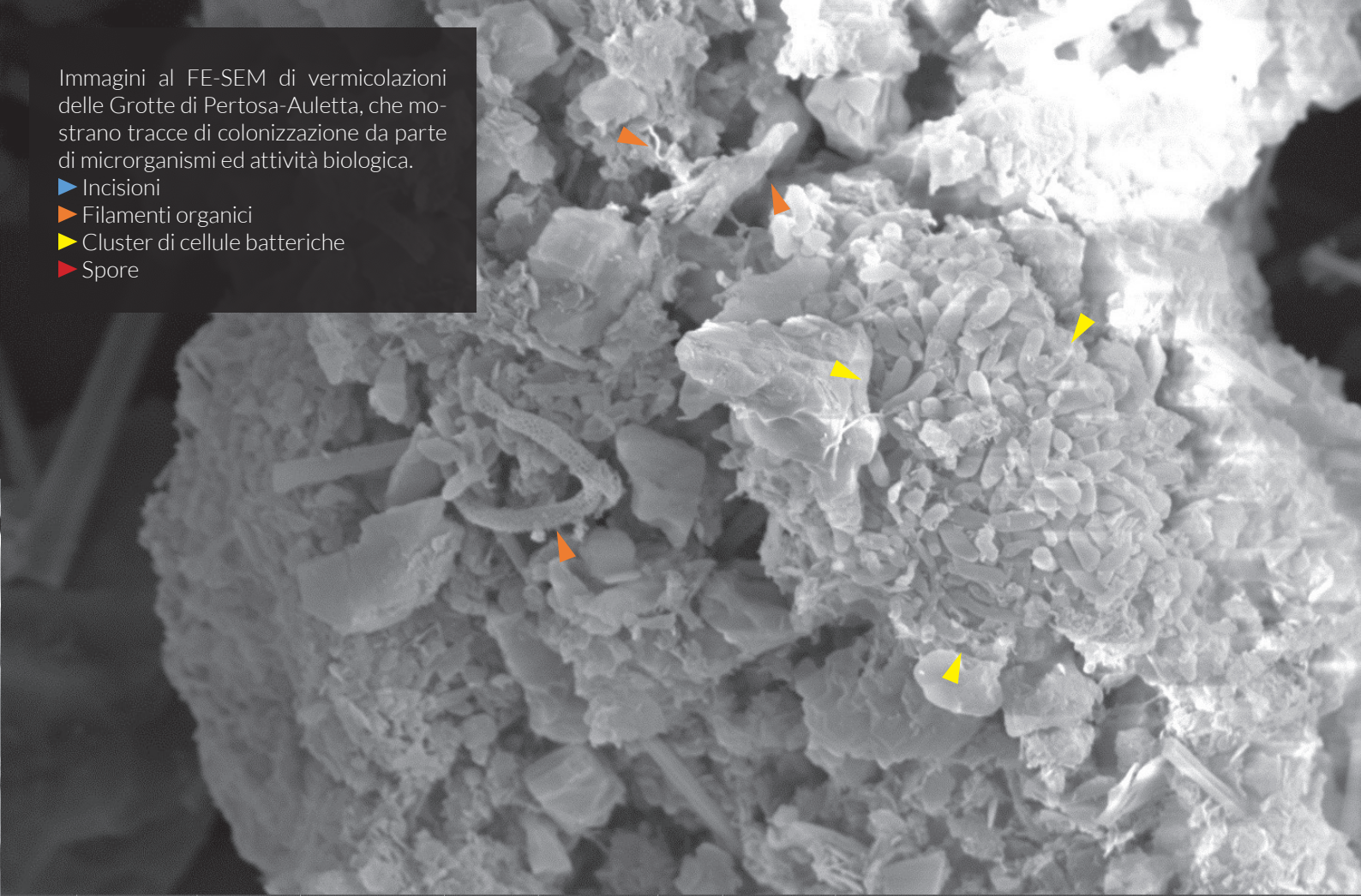

Immagini al FE-SEM di vermicolazioni delle Grotte di Pertosa-Auletta, che mostrano tracce di colonizzazione da parte di microrganismi ed attività biologica.
Incisioni
Filamenti organici
Cluster di cellule batteriche
Spore
WD
10.0 mm
mag
3 000 x
12/15/2017
2:03:40 PM
dwell
500 ns
HV
15.00 kV
det
ETD
HFW
42.3 µm
10 µm
Teneo



Foto di Rosangela Addesso



Foto di Orlando Lacarbonara



prospettive future

Questo studio ha sicuramente dato, e continuerà a dare, un enorme contributo alla ricerca. Generosamente finanziato dalla Fondazione MIdA (Musei Integrati dell'Ambiente) e dal progetto Spagnolo CGL2016-75590-P con Fondi europei di sviluppo regionale (ERDF), ha visto la collaborazione di diverse università ed enti di ricerca nazionali ed internazionali, che hanno fornito i servizi necessari alle indagini, tra cui il Dipartimento di Agrochimica, Microbiologia Ambientale e Conservazione dei Suoli del centro di ricerca IRNAS (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla) di Siviglia (Spagna), il Dipartimento di Chimica e Biologia "Adolfo Zambelli" dell'Università degli Studi di Salerno, il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Bologna Alma Mater e il Dipartimento di Scienze per la Terra, per l'Ambiente e per la Vita dell'Università di Genova . La comprensione della genesi e della natura delle vermicolazioni rappresenta solo un primo risultato per attuare programmi significativi di protezione e tutela di queste particolari e fragili "biosignature", esposte continuamente a degradazione. È necessario educare tutti i frequentatori della grotta (turisti, ricercatori, speleologi...) al valore immenso che le vermicolazioni hanno in questo tipo di habitat, prezioso scrigno di vita, salvaguardandone l'integrità evitando il più possibile un contatto e contribuendo al mantenimento di un equilibrio millenario.

la comprensione della genesi e della natura delle vermicolazioni è solo un primo risultato per attuare programmi di tutela di queste enigmatiche "biosignature"

Foto di Rosangela Addesso

Foto di Rosangela Addesso





ringraziamenti

Si ringraziano la Fondazione MIdA, in particolare il Presidente Dott. Francescantonio D'Orilia e la Direttrice Scientifica Prof.ssa Mariana Amato, la Dott.ssa Anna De Mauro, la guida esperta Vincenzo Manisera, il Dott. Antonio Mastrangelo, la Prof.ssa Daniela Baldantoni, il Prof. Giovanni Vigliotta e il Dott. Alessandro Bellino del Dipartimento di Chimica e Biologia "Adolfo Zambelli" dell'Università degli Studi di Salerno, il Prof. Cesareo Saiz-Jimenez, le Dott.sse Ana Zélia Miller e ValmeJurado e il Dott. Jose L. Gonzalez-Pimentel, il gruppo di Microbiologia Ambientale e Patrimonio Culturale del centro di ricerca IRNAS di Siviglia (Spagna), il Prof. Jo De Waele e la Dott.ssa Ilenia M. D'Angeli del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Bologna Alma Mater, la Prof.ssa Cristina Carbone del Dipartimento di Scienze per la Terra, per l'Ambiente e per la Vita dell'Università di Genova, le colleghe Sabrina Raimondi, Giuliana De Luca e Raffaella Addesso e gli amici del Gruppo Speleo Melandro per il notevole contributo dato a questo studio.

Foto di Rosangela Addesso

bibliografia

Addesso R., Baldantoni D., Bellino A. (2019) - *Cave vermiculations and microbiota, an ecological journey.* XXIX Congresso Nazionale S.It.E - Società Italiana di Ecologia, Capitale Naturale: la Gestione per la Conservazione. Ferrara (Italia), 10 - 12 Settembre 2019, 50

Addesso R., Baldantoni D., Bellino A., Vigliotta G., De Waele J., D'Angeli I.M., Saiz-Jimenez C., Miller A.Z., Gonzalez-Pimentel J.L., Jurado V., Cubero B., Carbone C., Amato M. (2018) - *Bio- and geodiversity of vermiculations from Pertosa-Auletta Cave (southern Italy).* 113th Congress of the Italian Botanical Society (5th International Plant Science Conference). Fisciano (Italia), September 12th – 15th 2018, 59.

Addesso R., Bellino A., D'Angeli I.M., De Waele J., Miller A.Z., Carbone C., Baldantoni D. (2019) - *Integrated approach for the geochemical characterization of vermiculations from Pertosa-Auletta Cave (southern Italy).* 27th International Karstological School "Classical karst", Karst Hydrogeology - Research Trends and Applications. Postojna (Slovenia), June 17th - 21st 2019, 81.

Addesso R., Bellino A., D'Angeli I.M., De Waele J., Miller A.Z., Carbone C., Baldantoni D. (2019) - *Vermiculations from karst caves: The case of Pertosa-Auletta system (Italy).* Catena, 182

Bini A., Cavalli Gori M., Gori S. (1978) – *A critical review of hypotheses on the origin of vermiculations.* International Journal of Speleology, 10, 11-33

Hill C.A., Forti P. (1997) – *Cave Minerals of the World. National Speleological Society - Second Edition*, 463

Parenzan P. (1961) – *Sulle formazioni argillo-limose dette vermicolari.* Atti Sympium Internazionale di Speleologia sui "Riempimenti naturali di grotte". Varenna (Italia), 1960. Memoria 5(2), 120-125

Parenzan P. (1965) – *Le formazioni vermicolari della grotta di Sant'Angelo di Statte (Taranto).* Atti IX Congresso Nazionale di Speleologia. Trieste (Italia), 1962. Memoria 7(2), 101-104

Tomczyk-Żak K., Zielenkiewicz U. (2015), *"Microbial Diversity in Caves".* Geomicrobiology Journal, 33: 1-20



La collana MIdA A Agricoltura e Ambiente

È realizzata in collaborazione tra la Fondazione MIdA – Musei Integrati dell'Ambiente e la Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali (SAFE) dell'Università della Basilicata. Documenta e promuove fenomeni, processi e prodotti di agricoltura, ambiente, territorio e del relativo patrimonio culturale materiale e immateriale. Evidenzia le loro valenze scientifiche, tecniche, didattiche e storico-culturali, e lancia la sfida di inserirle in cicli sostenibili integrati con la fruizione culturale e turistica per raccoglierne il potenziale di eco-compatibilità e sviluppo.

ISBN 978-88-945020-9-1

9 788894 502091