

Ruolo della microflora nella biologia dei sedimenti di grotta

I POPOLAMENTI MICROBICI

La microflora delle grotte è rappresentata, come in superficie, da Batteri, Attinomiceti, Funghi ed anche da Alghe.

Data l'assenza di luce, Batteri fotoautotrofi ed Alghe non possono ovviamente essere considerati elementi caratterizzanti i popolamenti microbici delle grotte, benchè la presenza delle Alghe sia stata rilevata anche nelle zone oscure più interne (Tomaselli, 1955; Palik, 1960; Gounot, 1967; Tosco, 1970; Barr e Kuehne, 1971). Si è d'altra parte osservato che nei sedimenti di grotta, come già rilevato per i suoli di superficie, alcune Alghe sono in grado di adattarsi alla vita eterotrofa (Claus, 1962, 1964; Palik, 1964). La mancanza di dati quantitativi non permette comunque di valutare l'effettivo ruolo delle Alghe nella biologia delle grotte.

I Batteri, che costituiscono insieme con gli Attinomiceti la quasi totalità della microflora cavernicola (tab. 1), sono stati trovati negli habitats più diversi: acque correnti, laghi e marmitte, acque di stillicidio, microfessure, «mondmilch», concrezioni, rocce ed anche nell'aria delle grotte (Birstein e Borutzky, 1950; Liddo, 1951; Caumartin, 1957a, 1961, 1963, 1965; Mason-Williams e Benson-Evans, 1958; Fischer, 1959; Chodorowsky, 1959; Varga e Takats, 1960; Gounot, 1960, 1967, 1969, 1970, 1973; Martini, 1962a, 1962b; Bene, Girard e Baldo, 1964; Pochon, Chalvignac e Krumbein, 1964; Barr e Kuehne, 1971; Bertouille, 1972).

Come in superficie, la maggior parte dei Batteri delle grotte è eterotrofa, anche se la componente autotrofa, rappresentata dai chemiolitotrofi, è costantemente presente. Nitrobatteri, Solfobatteri e Ferrobatteri, capaci di utilizzare l'energia fornita dall'ossidazione di sostanze inorganiche, sono stati trovati sulle rocce calcaree e

soprattutto nei sedimenti e nel «mondmilch» delle grotte (Dudich, 1930, 1932, 1933; Caumartin, 1957b, 1959a, 1959b, 1962; Caumartin e Renault, 1958; Pohl e White, 1965). L'importanza della «produttività primaria» dei Batteri chemiolitotrofi è in generale ridotta a causa della loro minore quantità rispetto agli eterotrofi. Tuttavia l'esistenza di un antagonismo tra microflora autotrofa ed eterotrofa e l'aumento in percentuale della prima rispetto alla seconda, con la diminuzione della sostanza organica nel substrato (Gounot, 1960), fa ritenere di particolare interesse un'indagine sul ruolo dei microrganismi chemiolitotrofi nell'ecosistema grotta, soprattutto quando si abbia una estrema riduzione della sostanza organica. A questo proposito va segnalato che Fischer (1959) e Chodorowsky (1959) hanno osservato nelle acque di due grotte polacche, che gli autotrofi facoltativi sono dieci volte più numerosi degli eterotrofi.

TAB. 1 - Percentuali di Batteri, Attinomiceti e Funghi rispetto alla microflora totale in sedimenti di grotta.

Grotte	Batteri +		Bibliografia
	Attinomiceti %	Funghi %	
Hautecourt	99,6	0,4	Gounot A.M., 1967
Trevi	94,1	5,9	Pasqualini A., Fumanti B., Visonà L. 1978
Mandorla	97,0	3,0	Pasqualini A., Fumanti B., Visonà L. 1978
Punta degli Stretti	92,5	7,5	Pasqualini A., Fumanti B., Visonà L. 1978
Diavolo A	97,8	2,2	Dati personali
Diavolo B	99,2	0,8	Dati personali
Diavolo C	99,8	0,2	Dati personali
Diavolo D	98,2	1,8	Dati personali
Diavolo E	99,8	0,2	Dati personali
Trevi 1°	95,3	4,7	Dati personali
Trevi 2°	99,9	0,1	Dati personali
Trevi 3°	85,7	14,3	Dati personali
Trevi 4°	95,8	4,2	Dati personali
Trevi 5°	93,9	6,1	Dati personali

Per quanto riguarda i Batteri eterotrofi, va innanzitutto considerato che la loro eterotrofia può essere più o meno stretta, in particolare nelle grotte dove i microrganismi sembrano caratterizzati da esigenze alimentari semplici per cui possono utilizzare so-

stanze molto diverse fra loro (polifagia) o presenti nel substrato a basse concentrazioni, (come nel caso degli «oligonitrofilii»). Numerosi Batteri eterotrofi sono inoltre in grado di sfruttare l'azoto minerale e di sintetizzare le vitamine e gli amminoacidi indispensabili al loro metabolismo (Gounot, 1973).

Gli Attinomiceti sono i meno studiati tra i componenti della microflora cavernicola. La loro presenza risulta segnalata da Lovett (1949), da Mason-Williams e Benson-Evans (1958), da Martini (1962a), da Gounot (1967, 1969), da Pasqualini, Fumanti e Visonà (1978). Martini, per una grotta umbra, riporta un milione di Attinomiceti per grammo di sedimento secco¹ e Gounot ha osservato, in una grotta francese, valori compresi tra i 4 e i 6 milioni, pari al 20-25% della microflora totale.

I Funghi vengono frequentemente trovati, negli ambienti cavernicoli, su frammenti di legno in decomposizione, sul guano, su cadaveri di animali ed anche laddove il contenuto di sostanza organica è più scarso, come ad esempio nelle argille. Diversi autori, che si sono occupati degli aspetti qualitativi della microflora delle grotte, hanno messo in evidenza la presenza di Funghi nei sedimenti, nel «mondmilch», nell'aria ed anche sulle concrezioni (Politi, 1940; Caumartin, 1957a, 1959b, 1964; Caumartin e Renault, 1958; Luppi-Mosca e Campanino, 1962; Graniti, 1962; Martini, 1962a, 1962b, 1963; Orpurt, 1964). Scarse sono invece, fino ad ora, le valutazioni quantitative della microflora fungina (Gounot, 1967; Pasqualini, Fumanti e Visonà, 1978). Dai dati in nostro possesso risulta comunque che nei sedimenti cavernicoli la percentuale di micromiceti è molto ridotta rispetto a quella dei Batteri ed Attinomiceti che, come già detto, costituiscono la grande maggioranza della microflora (tab. 1).

Questi valori percentuali corrispondono a popolamenti che vanno da 8400 colonie per grammo nella Risorgenza di «Trevi» (Frosinone), al milione nella Grotta della «Mandorla» (Rieti). I valori relativi a cinque diverse stazioni della Grotta del «Diavolo» (Grosseto) sono compresi tra 4000 e 11000 colonie fungine per grammo e quelli di cinque prelievi nella stessa stazione della Risorgenza di «Trevi», da 1000 a 21000 colonie.

(1) Tutti i valori citati sono riferiti a grammo di sedimento secco.

FIG. 1

SEDIMENTI DI GROTTA

1 Grotta Baradla (Ungheria)	Varga I., Takats T., 1960
2 Grotta di Hautecourt (Francia)	Gounot A.M., 1967
3 Grotta di Punta degli Stretti (Toscana)	Pasqualini A., Fumanti B., Visonà L., 1978
4 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Pasqualini A., Fumanti B., Visonà L., 1978
5 Grotta della Mandorla (Lazio)	Pasqualini A., Fumanti B., Visonà L., 1978
6 Grotta del Diavolo (Toscana)	Dati personali
7 Grotta del Diavolo (Toscana)	Dati personali
8 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
9 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
10 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
11 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
12 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
13 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
14 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
15 Risorgenza di Trevi (Lazio)	Dati personali
16 Risorgenza di Trevi (Lazio) (guano)	Dati personali
17 Risorgenza di Trevi (Lazio) (guano)	Dati personali

SUOLI DI SUPERFICIE

1 Limo di ghiacciaio senza vegetazione	Moiroud A., 1970
2 Limo di ghiacciaio con vegetazione	Moiroud A., 1970
3 Limo di ghiacciaio non rizosferico	Moiroud A., 1975
4 Limo di ghiacciaio rizosferico di <i>Chrysanthemum alpinum</i>	Moiroud A., 1975
5 Rendzina forestale di <i>Quercetum ilicis gallo-provinciale</i>	Billès G., Cortez J., Lossaint P., 1971
6 Suolo rosso mediterraneo di <i>Quercetum ilicis gallo-provinciale</i>	Billès G., Cortez J., Lossaint P., 1971
7 Suolo rosso mediterraneo di bosco a <i>Quercus ilex</i>	Billès G., Cortez J., Lossaint P., 1975
8 Suolo rosso mediterraneo di prateria a <i>Brachypodium ramosum</i>	Billès G., Cortez J., Lossaint P., 1975
9 Suolo sabbioso litoraneo rizosferico di <i>Pancratium maritimum</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973
10 Suolo sabbioso litoraneo con <i>Tamarix gallica</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973
11 Suolo sabbioso dunale con <i>Pinus pinaster</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Phillyrea angustifolia</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973
12 Suolo sabbioso con <i>Pinus pinea</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Fraxinus ornus</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973
13 Suolo sabbioso molto umido con <i>Ulmus campestris</i> , <i>Ligustrum vulgare</i> , <i>Quercus ilex</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973
14 Suolo limo-argilloso di palude con prevalenza di graminacee	Naviglio L., Visonà L., 1973
15 Suolo prevalentemente sabbioso con <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Arbutus unedo</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973
16 Suolo sabbioso da alterazione di calcari marnosi con <i>Quercus cerris</i> , <i>Q. ilex</i> , <i>Q. pubescens</i> , <i>Arbutus unedo</i>	Naviglio L., Visonà L., 1973

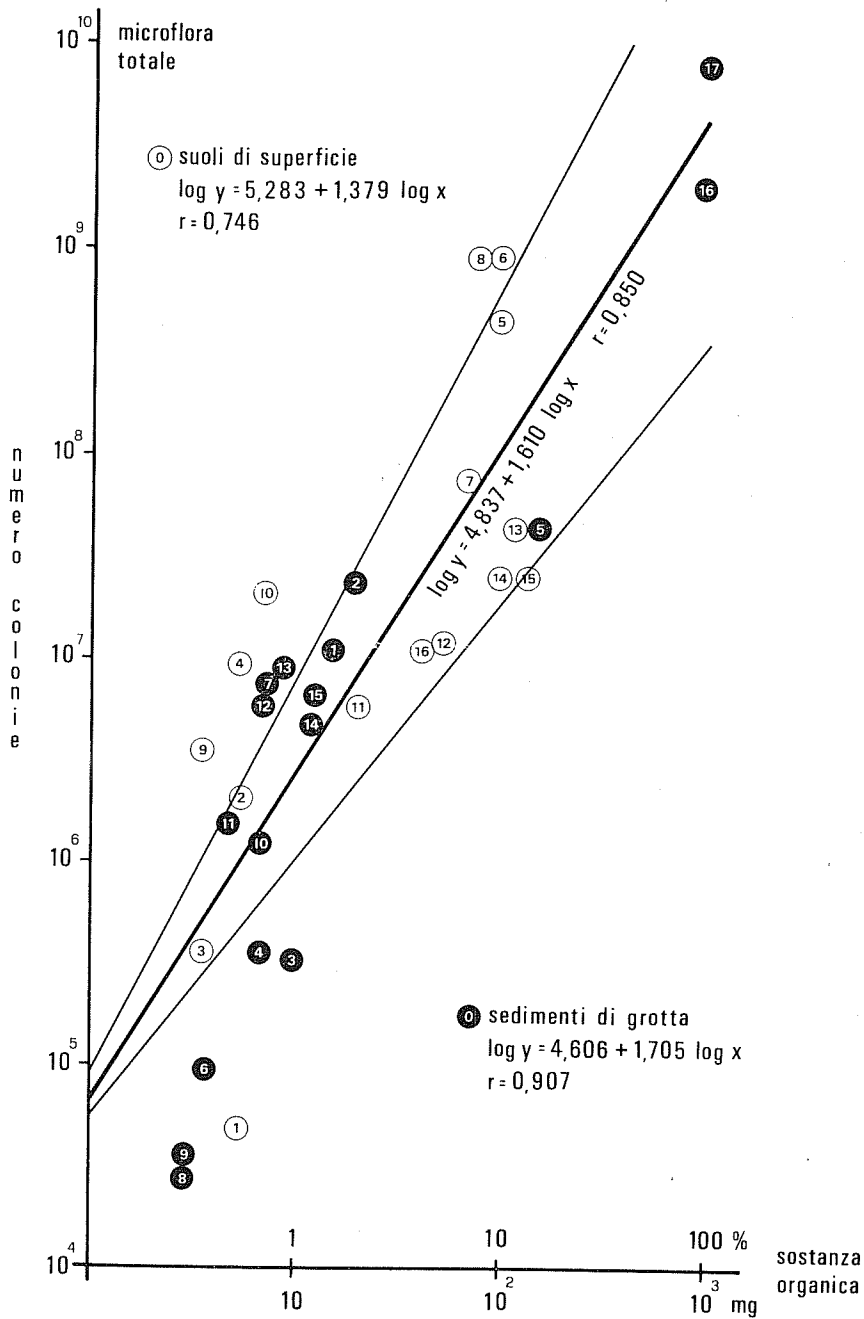


FIG. 1

Nelle grotte i popolamenti microbici sono, in generale, numericamente inferiori a quelli dei suoli di superficie (Gounot, 1967; Pasqualini, Fumanti e Visonà, 1978). Tale differenza deriva dal fatto che nei sedimenti cavernicoli si ha una minore disponibilità di sostanza organica, fatta eccezione per le grotte con accumuli di guano e per quelle le cui caratteristiche morfologiche e idrologiche permettono l'entrata di abbondanti detriti dall'esterno.

Il confronto fra suoli di superficie e sedimenti di grotta (fig. 1), conferma in entrambi i casi una significativa correlazione tra quantità di microflora totale e contenuto di sostanza organica del substrato (significatività di r : $P = 0,01$) e non rileva differenze significative tra i coefficienti di correlazione (r) e di regressione (b): per la significatività di z_1-z_2 (vedasi nota 2), $t = 1,419$ e per la significatività di b_1-b_2 , $t = 0,867$. Si deve inoltre rilevare che in superficie la microflora edafica è positivamente influenzata anche dall'attività rizosferica delle piante conseguentemente alla produzione di essudati radicali: zuccheri, amminoacidi, vitamine, acidi organici, ecc. Il fatto è rilevabile dal confronto tra la microflora dei sedimenti glaciali con e senza attività rizosferica (fig. 1).

Non si può comunque escludere che, soprattutto quando si verificano determinate condizioni, come spessore limitato della copertura litologica o sua particolare fratturazione, le sostanze idrosolubili dei suoli esterni siano trasportate nelle grotte dalle acque di percolazione (fig. 2). Nelle gocce di stillicidio di una stalattite della Grotta «Baradla», Dudich (1932) ha trovato 9 mg/l di sostanza organica. Più recentemente la penetrazione dall'esterno di composti organici con le acque di percolazione è stata sostenuta da Caumartin e Renault (1958), secondo i quali le sostanze organiche contribuiscono alla corrosione delle concrezioni ed alla genesi del «mondmilch». Barr e Kuehne (1971) considerano le acque percolanti un mezzo di penetrazione dei microrganismi nelle grotte e sottolineano l'importanza del suolo e della vegetazione soprastante. Secondo Gittleson e Hoover (1969) la presenza nelle grotte di Protozoi di piccole dimensioni appartenenti alle stesse specie che si incontrano nei suoli di superficie, sarebbe da attribuirsi al trasporto

(2) z = parametro di Fisher per verificare la significatività della differenza tra due coefficienti di correlazione (Barbenzi, 1962).
 $z = 1/2 [\log_e (1 + r) \cdot \log_e (1 - r)]$

operato dalle acque di percolazione. Analoghe considerazioni sono state fatte da Caumartin (1963) e da Gounot (1967) per la micro-

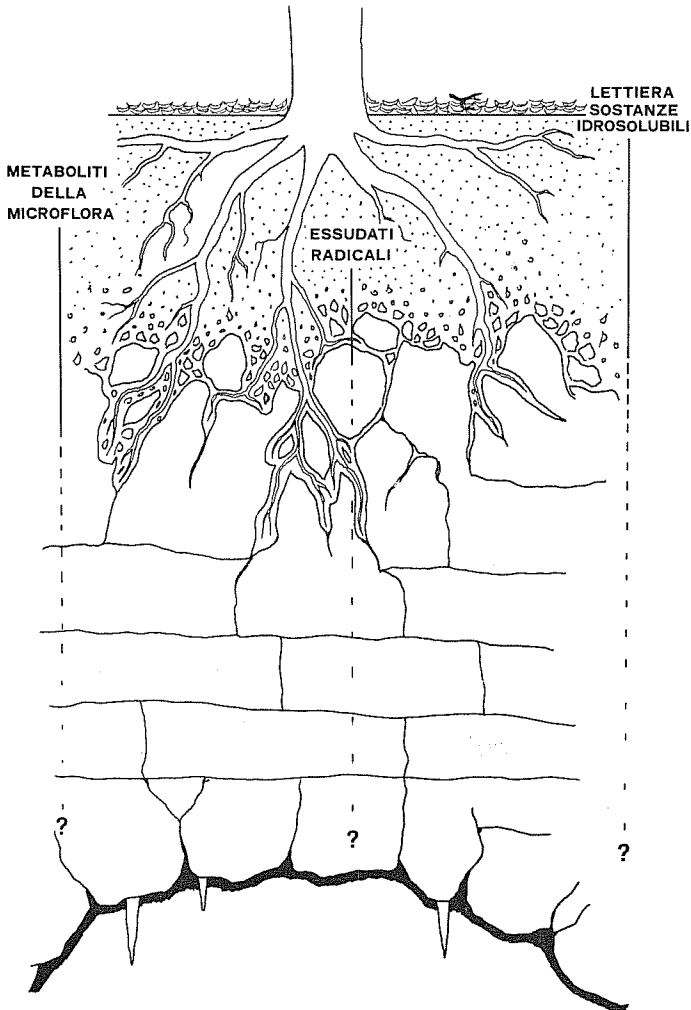


FIG. 2 - Produzione di sostanze idrosolubili nei suoli e loro possibile trasporto nelle grotte con le acque di percolazione.

flora delle grotte, che comprende generi assai comuni nei suoli di superficie, come *Pseudomonas* e *Arthrobacter*. Una ricerca di Dobat (1970) sulle vie di penetrazione delle crittogame in grotta, ha di-

mostrato che sia le correnti d'aria, sia le acque percolanti, sia gli animali trogllosseni e trogllofili, possono trasportare Batteri, Funghi e anche Alghe all'interno delle grotte.

LE ATTIVITA' FUNZIONALI DELLA MICROFLORA

Le attività funzionali specifiche dei cicli biogeochimici degli elementi (cicli dell'azoto, del carbonio, dello zolfo, ecc.), ben note per i suoli di superficie, sono rilevabili anche nell'ambiente cavernicolo. Nei sedimenti, nel «mondmilch» e nelle acque di grotta sono stati messi in evidenza microrganismi azotofissatori, proteolitici, ammonificanti, nitrosanti, nitrificanti, denitrificanti, cellulolitici, amilolitici, pectinolitici, solfoossidanti, solforiduttori, mineralizzatori dello zolfo organico (Mason-Williams e Benson-Evans, 1958; Caumartin e Renault, 1958; Fischer, 1959; Chodorowsky, 1959; Varga e Takats, 1960; Martini, 1962a; Bene, Girard e Baldo, 1964; Pochon, Chalvignac e Krumbein, 1964; Gounot, 1967, 1970; Bertouille, 1972; Pasqualini, Fumanti e Visonà, 1978). Si deve tuttavia rilevare che nelle grotte la minore disponibilità di sostanza organica e l'assenza di una attività rizosferica condizionano numericamente i popolamenti microbici e riducono l'attività dei gruppi funzionali. Ad esempio (fig. 3) la microflora ammonificatrice di tre grotte dell'Italia Centrale è risultata numericamente inferiore e meno attiva di quella presente in alcuni suoli del Rifugio faunistico di Bolgheri (Livorno). Le differenze sono evidenti anche nel confronto dei suoli sabbiosi litoranei poveri di sostanza organica, ma prelevati in corrispondenza degli apparati radicali di *Pancratium maritimum* e *Tamarix gallica*.

RELAZIONI TRA MICROFLORA E FAUNA DEI SEDIMENTI CAVERNICOLI

Nelle regioni temperate, alla generale povertà di risorse trofiche si accompagna una polifagia degli organismi cavernicoli. Sono note ad esempio le abitudini alimentari dei *Niphargus*, che si comportano al tempo stesso come fitofagi, carnivori, detritivori, coprofagi e limivori (Ginet, 1960).

Ginet (1955, 1960) e Gounot (1960) hanno osservato che i sedimenti possono costituire un substrato trofico per i *Niphargus* e Vandel e Bouillon (1959) hanno allevato, fino all'età di un anno, giovani Protei nutriti esclusivamente con argilla.

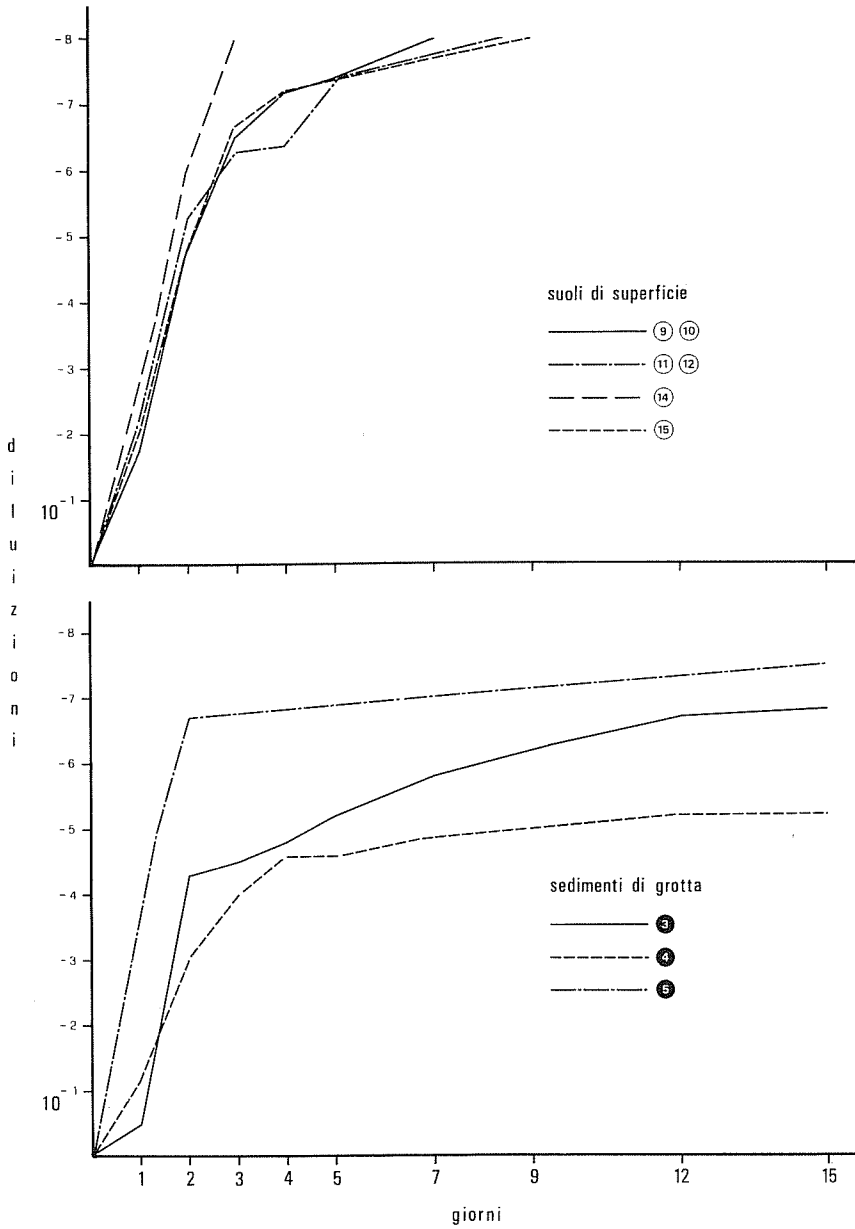


FIG. 3 - Ammonificazione in suoli di superficie e in sedimenti di grotta. Il numero e l'attività della microflora ammonificatrice sono correlati con la diluizione e la rapidità, in giorni, della produzione di NH_3 (Pochon e Tardieux 1962).

L'importanza dei sedimenti nel regime alimentare della fauna dipende dalla microflora edafica che costituisce un alimento, soprattutto proteico, per la micro e la mesofauna limivora. Christiansen (1970), allevando dei Collemboli per oltre 30 settimane in recipienti contenenti solo argilla, ha osservato che il cibo necessario per la sopravvivenza degli insetti era costituito esclusivamente da Batteri. Secondo Gisin e Christiansen (in Pesson, 1971) i Collemboli si nutrirebbero di microrganismi anche e soprattutto nell'ambiente cavernicolo. Analoghe osservazioni sono state fatte da Gittleson e Hoover (1969) e da Barr e Kuehne (1971), che hanno confermato l'importanza della microflora dei sedimenti quale alimento per i Protozoi. Anche Nematodi, Oligocheti e Crostacei possono usufruire della microflora come alimento.

La presenza dei microrganismi nei sedimenti delle grotte rappresenta un fattore positivo per la fauna limivora cavernicola anche perchè l'attività metabolica della microflora comporta la sintesi di sostanze di particolare valore nutritivo, quali vitamine e amminoacidi essenziali.

Nel limo di cinque grotte francesi, Gounot (1966, 1967, 1969) ha trovato da 18 a 92% di Batteri e Attinomiceti in grado di sintetizzare sia vitamine che amminoacidi utilizzando azoto esclusivamente minerale. La ricerca diretta di vitamine ed amminoacidi nei limi di grotta ha messo in evidenza la presenza di sei vitamine del gruppo B (tiamina, acido nicotinico, acido pantotenico, acido folico, biotina, B₁₂) e di undici amminoacidi liberi (glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina, acido glutammico, acido aspartico, fenilalanina, tirosina, prolina, treonina), liberati nel substrato sia con l'attività, sia con la lisi cellulare dei microrganismi (Gounot, 1966, 1969).

La produzione di antibiotici, rilevata da Gounot (1969) per numerosi ceppi di Batteri e Attinomiceti isolati dai sedimenti di una grotta pirenaica, potrebbe rappresentare un altro interessante fattore nelle interazioni tra microflora e fauna cavernicola. Anche Caumartin (1959b) ha segnalato un'azione antagonista delle argille, dovuta presumibilmente all'azione dei Ferrobatteri, nei confronti delle *Mucoraceae* ed in grado di proteggere le uova degli *Apbaenops*. L'alimentazione a base di Batteri da parte della fauna troglobia può essere correlata, secondo Poulson (1969), con la produzione di antibiotici da parte della microflora.

PROSPETTIVE DI RICERCA PER LA BIOLOGIA DEI SEDIMENTI

A completamento di quanto premesso si può rilevare che, se le ricerche microbiologiche negli ambienti cavernicoli hanno messo in evidenza interessanti aspetti di biologia dei sedimenti, confermando anche quanto noto per i suoli di superficie, le conoscenze a tutt'oggi acquisite sono ancora parziali e mancano soprattutto lavori interdisciplinari programmati in un'ottica ecosistemica.

Le molteplici e complesse interazioni tra vegetali clorofilliani e organismi delle biocenosi edafiche (Dommergues e Mangenot, 1970) e tra le stesse zoo- e microbiocenosi del suolo richiedono che nelle ricerche di biospeleologia, ad integrazione delle indagini zoologiche, sia dato maggior spazio alla biologia dei sedimenti. In particolare riteniamo di precìpuo interesse una serie di lavori coordinati allo scopo di analizzare i seguenti fatti:

- 1 - Quantità di detriti organici trasportati all'interno delle grotte dalle acque correnti.
- 2 - Quantità di acque percolanti e loro contenuto in sostanze organiche idrosolubili provenienti dall'esterno, in relazione alla qualità e quantità di lettiera prodotta dalle fitocenosi di superficie ed allo spessore della copertura rocciosa.
- 3 - Accumulo di sostanza organica per attività della fauna troglосena e troglοfila, in rapporto alle dimensioni delle grotte ed ai popolamenti animali.
- 4 - Presenza e attività dei microrganismi chemiolitotrofi, unici produttori primari nell'ecosistema grotta, e loro interazioni con la microflora eterotrofa.
- 5 - Relazioni tra popolamenti microbici e contenuto di sostanza organica dei sedimenti, con valutazioni quantitative numeriche e funzionali della microflora (attività enzimatiche, respirometriche, ecc.).
- 6 - Relazioni tra popolamenti microbici e fauna limivora o predatrice della microflora.

SUMMARY

The microbial populations of the cave sediment have, in general, a structure corresponding to that of the external soils microflora, but they are reduced in number. The cave microflora is composed mainly by heterotrophic organisms and, partly, by chemolithotrophs; while the photoautotrophic component is, obviously, negligible. The heterotrophs (Fungi, Actinomycetes and most of the Bacteria) are conditioned by the presence of organic matter, mainly of external origin. Only the chemolithotrophs are completely independent from external trophic substances.

The microflora of the sediments constitutes a trophic substratum for the micro- and mesofauna; besides it supplies, as a result of its various metabolic activities, the cavernicolous organisms with vitamins, amino-acids and the intermediate products coming from the biodegradation of the organic matter.

As we have limited studies on the interactions between the sediment microflora and the cave fauna, it should be particularly appreciable to begin specific, multi-discipline investigations in order to evaluate the quantity and nature of organic contributions from external environment and to study the interactions inside the microbiocoenosis, between microflora and organic matter and between microflora and limivorous fauna.

BIBLIOGRAFIA

- BARBENSI G., 1962 - Metodologia statistica applicata alle Scienze Biologiche. Valsalva, Firenze.
- BARR T.C., KUEHNE A., 1971 - Ecological studies in Mammoth Cave system of Kentucky. II. The ecosystem. *Ann. Spél.*, **26**: 47-96.
- BENE R., GIRARD T., BALDO S., 1964 - Etude microbiologique d'un sol de grotte (Grotte des Sarrazins, Lourdes). *Bull. Ass. Dipl. Microbiol. Fac. Pharm. Nancy*, **96**: 3-8.
- BERTOUILLE H., 1972 - Le mondmilch, repère climatique. *Ann. Spél.*, **27**: 609-623.
- BILLÈS G., CORTEZ J., LOSSAINT P., 1971 - L'activité biologique des sols dans les écosystèmes méditerranéens. I. Minéralisation du carbone. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, **8**: 375-395.
- BILLÈS G., CORTEZ J., LOSSAINT P., 1975 - Étude comparative de l'activité biologique des sols sous peuplements arbustifs et herbacés de la garrigue méditerranéenne. I. Minéralisation du carbone et de l'azote. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, **12**: 115-139.
- BIRSTEIN J.A., BORUTZKY E.V., 1950 - Zizn v podziemnych vodlach. *Zizn priensnyh vod SSSR*, **3**: 683-706.
- CAUMARTIN V., 1957a - La microflore des cavernes. *Notes Biospéol.*, **12**: 59-64.
- CAUMARTIN V., 1957b - Recherches sur une bactérie des argiles de cavernes et des sédiments ferrugineux. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **245**: 1758-1760.
- CAUMARTIN V., 1959a - Morphologie et position systématique du *Perobacterium spelei*. *Bull. Soc. Bot. Nord France*, **12**: 15-17.
- CAUMARTIN V., 1959b - Quelques aspects nouveaux de la microflore des cavernes. *Ann. Spél.*, **14**: 147-157.
- CAUMARTIN V., 1961 - La microbiologie souterraine: ses techniques, ses problèmes. *Bull. Soc. Bot. Nord France*, **14**: 53-60.
- CAUMARTIN V., 1962 - Besoin en oligoéléments des Ferrobactériales. Propriétés oligodynamiques des argiles de grotte. *Spelunca Mém.*, **2**: 99-103.
- CAUMARTIN V., 1963 - Review of the microbiology of underground environments. *Nat. Spel. Soc. Bull.*, **25**: 1-14.
- CAUMARTIN V., 1964 - Le comportement des moisissures dans le milieu souterrain. *C.R. III Congr. Int. Spél.*, Wien 1961, **3**: 41-44.
- CAUMARTIN V., 1965 - La corrosion microbienne dans un réseau karstique. «Sous le plancher». *Bull. Spél. Club Dijon*, **4**: 34-43.

- CAUMARTIN V., RENAULT P. 1958 - La corrosion biochimique dans un réseau karstique et la genèse du mondmilch. Notes Biospéol., **13**: 87-109.
- CHODOROWSKI A., 1959 - Les études biospéologiques en Pologne. Biospéol. Pol., Speleologia, **1**: 122-144.
- CHRISTIANSEN K.A., 1970 - Survival of Collembola on Clay Substrates with and without Food added. Ann. Spél., **25**: 849-852.
- CLAUS G., 1962 - Data on the ecology of the algae of Peace Cave in Hungarn. Nova Hedwigia, **4**: 1-2.
- CLAUS G., 1964 - Algae and their mode of life in the Baradla Cave at Aggtelek. II. Int. J. Spel., **1**: 13-17.
- DOBAT K., 1970 - Considérations sur la végétation cryptogamique des grottes du Jura-Souabe (Sud-Ouest de l'Allemagne). Ann. Spél., **25**: 871-907.
- DOMMERGUES Y., MANGENOT F., 1970 - Ecologie microbienne du sol. Masson Ed., Paris. 796 pp.
- DUDICH E., 1930 - Die Nahrungsquellen der Tierwelt in der Aggtelek Tropfsteinhöhle. Allat. Közlem., **27**: 77-85.
- DUDICH E., 1932 - Biologie der Aggtelek Tropfsteinhöhle Baradla in Hungarn. Spel. Monogr., **13**: 1-246.
- DUDICH E., 1933 - Die Klassifikationen der Höhlen auf biologischer Grundlage. Mitt. Höhl. Karstf., **3**: 35-45.
- FISCHER E., 1959 - Bakterie dwoch zbiornikow wodnych jaskin tatrzańskich. Polsk. Arch. Hydrobiol., **6**: 189-199.
- GINET R., 1955 - Etude sur la biologie d'Amphipodes troglobies du genre *Nipbargus*. I. Le creusement des terriers, relations avec le limon argileux. Bull. Soc. Zool. France, **80**: 332-349.
- GINET R., 1960 - Ecologie, éthologie et biologie des *Nipbargus* (Amphipodes Gemmaridés hypogées). Ann. Spél., **15**: 127-376.
- GISIN H., CHRISTIANSEN K. in PESSON P., 1971 - La vie dans les sols. Gauthier Villars Ed., Paris.
- GITTLESON S.M., HOOVER R.L., 1969 - Cavernicolous Protozoa, review of the literature and new studies in Mammoth Cave, Kentucky. Ann. Spél., **24**: 737-776.
- GOUNOT A.M., 1960 - Recherches sur le limon argileux souterrain et sur son rôle nutritif pour le *Nipbargus* (Amphipodes Gammaridés). Ann. Spél., **15**: 501-526.
- GOUNOT A.M., 1966 - Production de substances organiques de croissance par la microflore des limons argileux souterrains. C.R. Acad. Sci., Paris, **262**: 524-526.
- GOUNOT A.M., 1967 - La microflore des limons argileux souterrains: son activité productrice dans la biocoenose cavernicole. Ann. Spél., **22**: 23-143.
- GOUNOT A.M., 1969 - Etude préliminaire du peuplement bactérien du limon de la grotte de Peyort (Ariège). Ann. Spél., **24**: 565-601.
- GOUNOT A.M., 1970 - Quelques observations sur le micropeuplement des limons de grottes arctiques. Bull. Soc. Linn., Lyon, **39**: 226-236.
- GOUNOT A.M., 1973 - Recherches sur les Bactéries cavernicoles. C.R. 96^e Congr. Nat. Soc. Sav., Toulouse 1971, **3**: 257-265.
- GRANITI A., 1962 - *Scolebasidium anellii* n. sp., agente di annerimento superficiale di stalattiti. Giorn. Bot. Ital., **69**: 360-365.
- LIDDO S., 1951 - Ricerche batteriologiche nell'aria delle Grotte di Castellana. Contributo allo studio della microflora cavernicola. Boll. Soc. Ital. Biol. Sper., **27**: 496-498.
- LOVETT T., 1949 - Microorganisms in cave. Cave Sci., Bull. Brit. Spel. Ass., **2**: 51-52.
- LUPPI-MOSCA A.M., CAMPANINO E., 1962 - Analisi micologiche del terreno di grotte piemontesi. Allionia, **8**: 27-43.
- MARTINI A., 1962a - Alcune indagini preliminari sulla microflora delle caverne. Rass. Spel. Ital., **14**: 245-251.
- MARTINI A., 1962b - La microflora della caverna di Monte Cucco. I. I Blastomiceti. II. I degradatori della cellulosa e gli Attinomiceti. III. I fissatori di N, i nitrificanti, gli ammonificanti, i riduttori dei solfati e gli ossidanti dei tiosolfati. Ann. Fac. Agr. Univ. Perugia, **17**.

- MARTINI A., 1963 - Yeast in cave environments. *Arch. Mikrobiol.*, **45**: 111-114.
- MASON-WILLIAMS A., BENSON-EVANS K., 1958 - A preliminary investigation into the bacterial and botanical flora of caves in South Wales. *Cave Res. Group Great Brit.*, **8**: 70 pp.
- MOIROUD A., 1970 - Etude microbiologique des limons de deux glaciers alpins. I. Activité biologique à basse température. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **7**: 457-464.
- MOIROUD A., 1975 - Etude microbiologique des limons glaciaires. II. Influence de la végétation. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **12**: 169-180.
- NAVIGLIO L., VISONA' L., 1973 - Ricerche preliminari sulla microflora e sulla attività dei gruppi funzionali del ciclo dell'azoto nel rifugio faunistico di Bolgheri (Livorno). *Ann. Bot., Roma*, **32**: 129-154.
- ORPURT P.A., 1964 - The microfungus flora of bat cave soils from Eleuthera Island, the Bahamas. *Canad. J. Bot.*, **42**: 1629-1633.
- PALIK P., 1960 - A new blue-green alga from the cave Baradla near Agtelek. *Ann. Univ. Sci. Budapest R. Eotvos, sect. biol.*, **3**: 275-286.
- PALIK P., 1964 - Ueber die Algenwelt der Höhlen in Ungarn. *Int. J. Spel.*, **1**: 35-43.
- PASQUALINI A., FUMANTI B., VISONA' L., 1978 - Microflore et activité de groupements fonctionnels dans les sédiments de trois grottes de l'Italie Centrale. *Int. J. Spel.*, **10**: 73-105.
- POCHON J., CHALVIGNAC M.A., KRUMBEIN W., 1964 - Recherches microbiologiques sur le mondmilch. *C.A. Acad. Sci., Paris*, **258**: 5113-5115.
- POCHON J., TARDIEUX P., 1962 - Techniques d'analyse en microbiologie du sol. Ed. La Tourelle, St. Mandé.
- POHL E.R., WHITE W.B., 1965 - Sulfate minerals: their origin in the central Kentucky karst. *Amer. Min.*, **50**: 1461-1465.
- POLITI I., 1940 - Sui fenomeni di annerimento delle formazioni calcitiche e calcaree nelle grotte di Postumia. *Le Grotte d'Italia*, **4**: 18-22.
- POULSON T.L., WHITE W.B., 1969 - The cave environment. *Science*, **165**: 971-981.
- TOMASELLI R., 1955 - Relazione sulla nomenclatura botanica speleologica. *Arch. Bot.*, **31**, **15/4**: 193-211.
- TOSCO U., 1970 - La vegetazione delle Grotte di Castellana. *Le Grotte d'Italia*, **2**: 69-180.
- VANDEL A., BOUILLON M., 1959 - Le Protée et son intérêt biologique. *Ann. Spél.*, **14**: 111-127.
- VARGA I., TAKATS T., 1960 - Mikrobiologische Untersuchungen der Schlamme eines wasserlosen Teiches der Aggtelek Baradla Höhle. *Acta Zool. Acad. Sci. Hung.*, **6**: 429-437.