

**Ecologia e distribuzione dell'alga
unicellulare *Cyanidium caldarium* (Tilden)
Geitler nei Campi Flegrei (Napoli). ***

Il *Cyanidium caldarium* è un'alga unicellulare che vive in ambienti caratterizzati da fenomeni di vulcanismo secondario: la sua presenza è stata segnalata in molte sorgenti termali del Giappone, dello Yellowstone Park (USA) e di altre località del continente americano ed asiatico. Tutte le stazioni naturali di *C. caldarium* finora studiate presentano come caratteristica ecologica dominante un pH molto basso; esse possono presentare inoltre temperature molto elevate: HIROSE (1950), addirittura, in una sorgente termale del Giappone popolata da *Cyanidium* ha trovato una temperatura di 89°C ed un pH uguale ad 1, e COPELAND (1936) in un'altra sorgente dello Yellowstone Park, 80°C; nelle acque termali di Lemonade Spring è stata trovata una concentrazione 0,1 N di acido solforico ed una temperatura di 75°C (ALLEN, 1959).

La presenza del *C. caldarium* per il continente europeo è stata segnalata per la prima volta solo recentemente (RIGANO, 1965): le stazioni dell'alga sono state rinvenute nei terreni fumarolici di Ischia, della solfatara di Pozzuoli e dei Pisciarelli, località queste che fanno parte di una vasta zona vulcanica dei dintorni di Napoli.

Scopo di questo lavoro è di prendere in esame la distribuzione del *C. caldarium* nelle località ora dette, e di studiare al-

* Lavoro eseguito con un contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito del Comitato Biologia e Medicina, Gruppo « Ecologia », presso l'Istituto Botanico dell'Università di Napoli (Facoltà di Scienze).

cuni aspetti dell'ecologia di quest'alga concernenti il pH, la temperatura e la presenza nel substrato naturale sul quale essa vive di azoto assimilabile sotto forma di $N-NH_4$. La coltivazione di *Cyanidium* per ricerche di ecologia sperimentale sarà argomento di una prossima nota.

AMBIENTI STUDIATI E METODI

Come abbiamo accennato sopra, fumarole colonizzate da *Cyanidium* si trovano alla solfatara di Pozzuoli, ai Pisciarelli, ad Ischia: noi abbiamo preso in esame la solfatara di Pozzuoli ed i Pisciarelli, che fanno parte di una zona vulcanica più ampia, detta « Campi Flegrei ».

La solfatara di Pozzuoli rappresenta il cratere di un vulcano oggi ridotto alla sola attività vulcanica secondaria. Le fumarole, che sono di varia grandezza, si trovano sia sul fondo del cratere, che sulle pareti di esso. Il fondo, che ha un aspetto pianeggiante, è completamente spoglio di vegetazione e per questo viene chiamato «deserto»; le pareti invece, ad eccezione delle aree fumaroliche, sono molto ricche di vegetazione. La zona dei Pisciarelli rappresenta la parete esterna NE del cono vulcanico della solfatara, ed anche qui si trovano vaste aree interessate da fenomeni fumarolici. Un'altra area fumarolica da noi pure presa in esame ai fini di questo lavoro, in cui però manca il *Cyanidium*, si trova in una delle colline che circondano a NE il lago Fusaro, nella località Mofete.

Le fumarole, per quanto riguarda la natura dei componenti volatili sono di vario tipo; noi le distingueremo in due gruppi, e cioè: 1) fumarole a componenti volatili misti (idrogeno solforato, anidride carbonica, vapore acqueo, anidride solforosa, vapori arsenicali, ammoniacali, etc.) e con un pH del suolo decisamente acido, popolate più o meno densamente da *Cyanidium*; 2) fumarole a solo vapore acqueo e con pH del suolo vicino alla neutralità, assolutamente prive di *Cyanidium*. Le fumarole del primo tipo si trovano alla solfatara di Pozzuoli ed ai Pisciarelli; quelle del secondo tipo si trovano nella località Mofete ed in parte anche ai Pisciarelli.

Poiché il *C. caldarium* è stato sempre trovato presso le fumarole a vapori misti e mai presso le fumarole a solo vapore d'acqua, ai fini della nostra indagine abbiamo preso in esame entrambi questi tipi di ambienti fumarolici per confrontarli e stabilire quali fossero in essi le differenze ecologiche che determinano rispettivamente la presenza o l'assenza di quest'alga. I fattori ecologici studiati sono stati la temperatura ed il pH; sono stati inoltre effettuati dosaggi di azoto ammoniacale.

Le misure di temperatura sono state rilevate mediante l'impiego di termometri a termistori con bulbo molto piccolo; quelle di pH sono state effettuate in laboratorio su campioni di terra diluiti due volte; i dosaggi di azoto ammoniacale sono stati eseguiti mediante distillazione dei campioni in H_3BO_3 al 4% e titolazione con H_2SO_4 N/50, secondo il metodo del Kjeldhal. Sia per i dosaggi di azoto che per le misure di pH, abbiamo adottato le tecniche così come riportate da JAKSON (1958).

RISULTATI

Nella tabella annessa sono riportati i risultati delle misure di temperatura e di pH e dei dosaggi dell'azoto ammoniacale relativi alle fumarole da noi prese in esame: tali misure e dosaggi si riferiscono sempre al suolo sul quale vive l'alga, e mai ai vapori.

Temperatura. La temperatura della superficie del suolo circostante alle fumarole è molto diversa a seconda del punto in cui essa viene rilevata: così, nelle immediate vicinanze del punto di fuoriuscita dei vapori, essa può essere molto elevata, sino a raggiungere valori superiori ai $90^\circ C$, mentre già a poca distanza essa si abbassa notevolmente. In alcuni punti poi, discosti dalle bocche fumaroliche, dove pure è presente *C. caldarium*, la temperatura, poco influenzata dai fenomeni termali tende ad uniformarsi con quella atmosferica.

Poiché via via che ci si allontana dalle bocche fumaroliche la temperatura tende a diminuire in maniera graduale, è stato possibile tracciare un profilo termico che ci ha permesso di

stabilire il limite massimo di tolleranza del *C. caldarium* nei confronti di questo fattore; le molte misure eseguite in diverse giornate scelte nei diversi periodi dell'anno, ci hanno dato a tal proposito i risultati seguenti: 1) il *Cyanidium* da noi studiato vive fino al limite massimo di 53°C e non si spinge mai

TABELLA

Località	Ambiente	pH	Temperatura	N-NH ₄ mg/kg terra	Cyanidium
Pozzuoli (Solfatara)	Fumarola a vap. misti	1,5	53°C	196,5	+
Pisciarelli	Fumarola a vap. misti	1,7	50°C	7,1	+
	»	1,6	47°C	509,7	+
	»	1,4	=	141,2	+
	»	1,7	=	531,2	+
	»	1,8	=	510,0	+
	Fumarola a vap. acqueo	6,8	=	5,8	—
Mofete	Fumarola a vap. acqueo	6,6	48°C	=	—
	»	7,2	42°C	=	—

Dati riguardanti la temperatura, il pH, la concentrazione di N-NH₄ e la presenza di *Cyanidium* in vari ambienti fumarolici. Il pH e la temperatura si riferiscono al suolo e non ai vapori. Per la temperatura sono riportati i valori massimi trovati in presenza dell'alga.

+ presenza di *Cyanidium*

— assenza di *Cyanidium*

= dato non rilevato

nelle zone nelle quali la temperatura supera, anche di poco, tale valore; 2) cresce abbondantissimo alle temperature comprese fra 35°-50°C; 3) può vivere a temperature relativamente basse, ed è stato trovato a 12°-16°C.

Nelle fumarole a solo vapore d'acqua, dove, come è stato detto, il *C. caldarium* manca, i valori massimi di temperatura trovati erano compresi fra 42° e 48°C. Poiché quindi le temperature esistenti in quest'ultimo tipo di fumarole possono essere considerate senz'altro ottimali per lo sviluppo dell'alga, la causa per la quale in esse non è stato trovato *Cyanidium* va ricercata nella natura del suolo di queste fumarole che è diversa da quella delle fumarole a vapori misti.

Contenuto del suolo in N-NH₄. Le analisi eseguite su campioni di suolo prelevati sia ai Pisciarelli sia nella conca della solfatara di Pozzuoli mettono in evidenza che nelle fumarole da noi esaminate, il tasso di azoto ammonico raggiunge valori molto elevati. In una fumarola della solfatara di Pozzuoli infatti abbiamo trovato 196,5 mg N-NH₄/kg di terra; nelle fumarole dei Pisciarelli la concentrazione di azoto è stata ancora maggiore, toccando i valori seguenti: 509,7; 142,2; 513,2; 510,0 mg/kg di terra. Nei punti dove sono stati prelevati i campioni di terra per le analisi, il *C. caldarium* cresce abbondantissimo e forma sul terreno estese e spesse colonie.

pH. I valori di pH da noi trovati sono stati diversi a seconda degli ambienti esaminati, e precisamente: nelle fumarole a vapori misti essi erano compresi fra un minimo di 1,4 ed un massimo di 1,8, mentre nelle fumarole a solo vapore acqueo si sono sempre mantenuti vicino alla neutralità, variando da un minimo di 6,6 ad un massimo di 7,2. Il pH delle fumarole a vapori misti è così basso per la presenza di acido solforico libero.

Poiché il *C. caldarium* vive soltanto presso le fumarole a vapori misti e mai presso le fumarole a solo vapore d'acqua, è da ritenere, in base ai risultati sopra riportati, che il pH sia il fattore determinante di questa diversa distribuzione dell'alga.

DISTRIBUZIONE DEL *C. caldarium* NEGLI AMBIENTI STUDIATI

Il *C. caldarium*, nei pressi delle fumarole, cresce esposto ai vapori formando sul terreno colonie molto compatte e spesse, le quali, a volte ricoprono superfici molto estese. Esso può crescere anche in zone discoste dalle fumarole, sempre che il pH del suolo sia basso, ma in tal caso è poco abbondante e vive riparato all'ombra delle anfrattuosità del terreno, o addirittura, nei luoghi molto aridi, ricoperto da uno strato incrostante di terriccio spesso alcuni millimetri.

In autunno ed in inverno, in coincidenza con le piogge che rendono il suolo umido, il *C. caldarium* è più abbondante; in estate invece, a causa dell'aridità del suolo e della luce troppo intensa, la sua distribuzione alla solfatara ed ai Pisciarelli è più ridotta, anche se si continua a trovarlo abbondante nei pressi delle bocche fumaroliche, dove è facilmente raggiungibile dai vapori.

Nel « deserto », che, come abbiamo detto, rappresenta il fondo del cratere della solfatara, il *Cyanidium* può o mancare del tutto, o ricoprirlo per esteso, a seconda della stagione: in estate manda; in autunno invece, dopo le prime piogge, ed in inverno, esso vi cresce abbondante. Tuttavia ancora non possiamo dire se in quest'ultimo ambiente il *C. caldarium* viva solo od associato ad un'altra alga unicellulare. Il suolo del « deserto » presenta valori di pH compresi fra 2,4 e 2,7 che sono i più alti trovati in presenza di *Cyanidium*.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

Questa è la prima volta, a nostra conoscenza, che uno studio ecologico del *C. caldarium* viene condotto su terreni fumarolici: i dati sull'ecologia di quest'alga esistenti in letteratura, raccolti in altri continenti, si riferiscono infatti sempre ad acque termali. La nostra indagine mette in evidenza che il *C. caldarium* trovato da noi in Europa, vivente su terreno, ha lo stesso comportamento ecologico per quanto riguarda temperatura e pH del *C. caldarium* trovato in Asia ed in America,

vivente in acque termali. Come i ceppi dell'alga americani ed asiatici infatti, anche il ceppo di *Cyanidium* del napoletano mostra una notevole termo-resistenza ed una eccezionale acido-resistenza: però, mentre HIROSE (1950) in Giappone ha trovato che *C. caldarium* vive in natura fino alla temperatura di 89°C e COPELAND (1936) in America fino a 80°C, noi abbiamo trovato che l'alga, nelle stazioni da noi studiate, vive soltanto fino alla temperatura di 53°C e non si impianta mai su substrati nei quali la temperatura supera, anche soltanto di qualche grado, questo valore. La differenza fra i limiti massimi di termo-resistenza dei ceppi americani ed asiatici e del ceppo europeo risulta dunque molto grande se i dati da noi riportati vengono confrontati con quelli di HIROSE e di COPELAND; recentemente però, in un articolo sugli organismi termali, BROCK (1967) riporta che il limite massimo di termo-resistenza del *Cyanidium* dello Yellowstone Park è di 60°C. In base a quanto trovato da questo Autore possiamo ritenere quindi che il *maximum* di temperatura del *C. caldarium* da noi studiato sia quasi uguale a quello del *C. caldarium* vivente altrove, almeno nello Yellowstone Park.

La temperatura più bassa da noi trovata in presenza di *Cyanidium* è stata di 12°C, ma non possiamo dire se le colonie dell'alga si siano sviluppate a questa temperatura o se siano il residuo di colonie che si erano sviluppate a temperatura più elevata: finché ciò non sarà accertato, non si può stabilire quale sia il *minimum* di temperatura che permette l'impianto e la crescita del *Cyanidium* del napoletano, e se questo debba essere considerato come un'alga termale o come un'alga euriterme.

Per quanto riguarda il pH, noi abbiamo trovato che l'alga in esame vive esclusivamente nei terreni dove questo fattore presenta valori molto bassi, addirittura di 1,4, ed in questo è simile al *C. caldarium* trovato altrove (ved. parte introduttiva di questo lavoro); dalla nostra indagine è anzi risultato che essa è legata ecologicamente a questi ambienti così acidi: infatti noi non abbiamo mai trovato *C. caldarium* in ambienti con pH superiore a 2,7, anche se questi presentavano temperatura ed umidità ottimali per il suo impianto, come, per esempio si è verificato presso le fumarole a solo vapore d'acqua.

Dalla nostra indagine è risultato ancora che il suolo delle fumarole colonizzate da *C. caldarium* è molto ricco di azoto ammoniacale: tenendo conto anche della ricchezza in anidride carbonica dei vapori e della mancanza di specie competitive eliminate dal basso pH, ne risulta che le fumarole da noi studiate rappresentano per il *Cyanidium* ambienti particolarmente eutrofici.

RIASSUNTO

Gli Autori hanno studiato l'ecologia e la distribuzione dell'alga unicellulare *Cyanidium caldarium* che vive presso le fumarole della solfatarata di Pozzuoli e della località Pisciarelli (Napoli). Sono state pertanto effettuate misure di pH e di temperatura e dosaggi di azoto ammoniacale. I risultati ottenuti hanno mostrato che: 1) il *C. caldarium* si trova sempre e soltanto presso le fumarole che presentano un pH del suolo molto acido (1,4 - 1,8) e componenti volatili molto eterogenei (idrogeno solforato, vapore d'acqua, anidride solforosa, vapori arsenicali, etc.) e mai presso le fumarole a solo vapore d'acqua e con un pH vicino alla neutralità; 2) l'alga vive in natura fino a 53°C; 3) i terreni delle fumarole sui quali vive il *Cyanidium* sono molto ricchi di azoto ammoniacale, e contengono fino a 531 mg N-NH₄/kg.

SUMMARY

The Authors have studied the ecology and the distribution of the unicellular alga *Cyanidium caldarium* which lives near the fumaroles that are in the solfatarata of Pozzuoli and Pisciarelli (Napoli). N-NH₄ content, temperature and pH have been measured. The results show that: *C. caldarium* is *always* and *only* found near fumaroles with a highly acid soil (pH 1,4-1,8) and heterogeneous vapours (hydrogen sulphide, water vapour, sulphurous anhydride, ammonia and arsenic vapours, etc.), but *never* near the fumaroles that have only water vapour and a pH close to neutrality; the alga lives in nature up to 53°C; in places where the alga grows plentifully, the N-NH₄ content is very rich and reaches up to 531 mg/kg of soil.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN M. B., 1959. *Studies with Cyanidium caldarium an anomalously pigmented Chlorophyta*. Arch. Mikrobiol. **32**: 270-277.
- BROCK T. D., 1967. *Life at high temperature*. Science, **158**: 1012-1019.
- COPELAND J. E., 1936. *Yellowstone thermal Myxophyceae*. Ann. New York Acad. Sci., **36**: p. 72.
- HIROSE H., 1950 a. *Studies on a thermal alga Cyanidium caldarium*. Bot. Mag., **63**: 107-111.
- HIROSE H., 1950 b. *Studies on Cyanidium caldarium (TILDEN) GEITLER, with special reference to its ecology and distribution in Japan*. Journ. Jap. Bot., **25**: 179-184.
- JAKSON M. L., 1958. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs N. J.: p. 194.
- RIGANO C., 1965. *Presenza dell'alga unicellulare Cyanidium caldarium (TILDEN) GEITLER nei terreni fumarolici dei Campi Flegrei e di Ischia*. Delpinoa, **6-7**: 277-284.