

Le alghe delle acque e dei suoli acidi italiani **

In natura esistono ambienti a pH acido, in dipendenza da cause diverse; in alcuni di questi ambienti l'acidità dipende dalla formazione di H_2SO_4 da parte dei solfobatteri chemioautotrofi (soprattutto *Thiobacillus thiooxidans*); questi batteri infatti possono provocare varie reazioni di ossidazione dello zolfo da S^{-2} a S^0 (LJUNGGREN 1960) e successivamente da S^0 fino a S^{+6} (PARKER, PRISK, 1953).

In questo lavoro viene segnalata la presenza di alcune alghe in ambienti naturali acidi. Gli AA. hanno investigato infatti la vegetazione algale che si sviluppa in ambiente acido presso putizze, sorgenti di acqua solfurea, cave di zolfo, ecc., in numerose località italiane, dedicando particolare attenzione agli ambienti con $pH < 3,0$.

Questo lavoro rientra nel quadro di un più vasto programma di studi sulla ecologia degli ambienti acidi naturali.

STUDI PRECEDENTI

I lavori su questo argomento non sono, a nostra conoscenza, molto numerosi. La maggior parte di essi si limita allo studio dell'alga acidofila *Cyanidium caldarium* (Tilden) Geitler, segna-

* Istituto di Botanica, via Foria 223, 80139 Napoli.

** Lavoro eseguito con un contributo del Ministero della Pubblica Istruzione.

lata per la prima volta da MENEGHINI (1839) per le terme solfuree di Acquasanta, sotto il nome di *Coccochloris orsiniana*.

Quest'alga destò l'interesse di numerosi ricercatori, soprattutto a causa delle sue peculiari caratteristiche ecologiche ed in particolare proprio per la sua estrema acidofilia (FUKUDA, 1958; ALLEN, 1959; RIGANO, TADDEI, 1968).

Successivamente CASTALDO (1968) e DE LUCA & TADDEI (1970) misero in evidenza che sotto il nome *C. caldarium* erano state spesso confuse due differenti alghe, entrambe fortemente acidofile, che furono indicate con i nomi provvisori *C. caldarium forma A* e *C. caldarium forma B* (cfr. anche DE LUCA, TADDEI, 1976).

Fra i primi lavori in cui si segnala la presenza di altre alghe in ambienti acidi (acque acide), ricordiamo quelli di YOSHIMURA (1933), di OHLE (1936) e di LACKEY (1938, 1939).

Un grosso contributo alla conoscenza della vegetazione algale degli ambienti acidi fu apportato da NEGORO (1944), che operò una sintesi di studi precedenti di altri Autori giapponesi e rivelò la presenza di un gran numero di specie viventi nelle acque acide del Giappone.

Altre segnalazioni di alghe in acque acide, in seguito, furono relative ad un numero limitato di specie (PRÁT, 1955; FOTT, 1956; KALINA, 1965; BENNETT, 1968; HARGREAVES & Al., 1975). Un buon numero di generi di alghe viene invece elencato da BROCK (1972; 1973).

Nel complesso, il numero di alghe acidofile o acidoresistenti che sono state individuate in natura è comunque assai limitato. Questo dipende, almeno in parte, dal fatto che questi ambienti non sono stati studiati a sufficienza, ma certamente dipende anche dal fatto che l'ambiente acido opera effettivamente una forte selezione; pertanto poche sono le specie di alghe in grado di popolare tali ambienti. L'acido-resistenza, secondo KESSLER (1965; 1967; 1974) è d'altronde un carattere diagnostico valido, a livello di specie, nell'ambito del genere *Chlorella*, e soltanto una delle

nove specie considerate da questo Autore può vivere a pH inferiore a 2,5. Facciamo notare che la quasi totalità degli studi condotti sulle alghe degli ambienti acidi si riferisce alle acque acide. Lo studio dei suoli acidi è solitamente limitato ai valori di $\text{pH} > 3,0$ (cfr. JOHN, 1942; ROSA, LHOTSKY, 1971).

Le uniche alghe finora segnalate nei suoli fortemente acidi ($\text{pH} < 3$) sono *Cyanidium caldarium forma A* e *C. caldarium forma B* (DE LUCA, TADDEI, 1970), *Cyanidioschyzon merolae* (DE LUCA, TADDEI, VARANO, 1977) e *Choricystis* cfr. *chodati* (TADDEI, 1977).

GLI AMBIENTI STUDIATI

Il processo di ossidazione dello zolfo, con formazione di acido solforico da parte dei solfobatteri chemioautotrofi, assume proporzioni notevoli (cioè forte abbassamento del pH) quando ci si trova in presenza di una grande quantità di zolfo non completamente ossidato. Ciò si verifica in circostanze diverse; è per questo che, innanzitutto, intendiamo dare una classificazione, sia pur approssimata, degli ambienti da noi studiati.

Distinguiamo pertanto:

a) *sorgenti di acqua solfurea* - L'acqua di queste sorgenti ha normalmente un pH intorno alla neutralità. Immersi nell'acqua è facile rinvenire solfobatteri del tipo *Beggiatoa* e più raramente solfobatteri purpurei del tipo *Chromatium*. Sul fondo del ruscello e sui bordi appaiono efflorescenze bianco-giallicce di zolfo.

La produzione di H_2SO_4 , dovuta a una successiva ossidazione di questo zolfo, non determina abbassamenti sensibili di pH, poiché l'acqua corrente diluisce e trasporta via continuamente l'acido formato.

Quando però il tenore in H_2S è elevato, questo si propaga nell'ambiente aereo circostante (il che si rende talora manifesto all'olfatto anche a molti metri di distanza). È allora che l'azione dei solfobatteri diviene cospicua anche fuori dell'acqua, nelle zone dove la concentrazione di H_2S è ancora relativamente alta (cioè sulle sponde del ruscello), e si rende manifesta con un abbassamento del pH del suolo.

Condizioni particolarmente favorevoli perché ciò si verifichi si hanno nei casi in cui la sorgente scaturisce in una grotta, evidentemente perché un ambiente chiuso favorisce il ristagno dell'idrogeno solforato.

Talvolta è sufficiente che l'acqua venga fatta sgorgare attraverso un tubo, perché sul lato superiore interno di esso (se la superficie non è continuamente lavata dall'acqua sorgiva) si possano riscontrare pH estremamente bassi, anche quando il tenore in H_2S è relativamente basso.

Oltre che sul suolo circostante la sorgente, molto frequentemente abbiamo riscontrato bassi pH sulle parti aeree di piante palustri (giunchi, tife, ecc.) pochi cm sopra il livello dell'acqua: la parte basale delle foglie o dei fusti si presenta infatti incrostata da una patina chiara costituita probabilmente da zolfo misto a solfati.

Fra le sorgenti solfuree, menzione a parte meriterebbero quelle termali. Facciamo osservare, però, che la termalità dell'acqua influisce solo nelle immediate vicinanze della sorgente e del corso d'acqua. Spesso a pochi cm di distanza la temperatura del suolo non è più influenzata, se non in modo irrilevante, dal calore dell'acqua. Nell'ambito di breve spazio, perciò, si passa da una vegetazione termale ad una non termale.

In conclusione, abbiamo registrato bassi pH nei pressi di sorgenti solfuree, termali e non, dove l'ambiente è favorevole ad uno sviluppo massiccio dei batteri produttori di H_2SO_4 , ed in particolare laddove il dilavamento causato dall'acqua atmosferica o dalla stessa acqua sorgiva è limitato.

b) *putizze* - Si tratta di emissioni dal suolo di H_2S , eventualmente misto ad altri gas.

A differenza delle sorgenti, che talora vengono definite « solfuree » anche quando il tenore in H_2S è minimo, col termine « putizza » viene sempre indicata una forte emanazione gassosa, facilmente individuabile all'olfatto.

La mancanza di acqua di scaturigine fa sì che il suolo intorno alla putizza sia umido solo in seguito a precipitazioni atmosferiche. La comparsa di una vegetazione algale evidente varia quindi con le stagioni, e quando essa si palesa è normalmente assimilabile a quella delle sorgenti non termali fortemente solfuree.

Tuttavia, in certi casi tutt'altro che infrequenti, la putizza ha sede in un avvallamento del terreno, che diviene punto di raccolta dell'acqua piovana. Nell'acqua di queste pozze, in cui gorgoglia H_2S , si verifica l'impianto dei solfobatteri e il conseguente abbassamento del pH.

L'acidità di quest'acqua è fortemente condizionata dalle precipitazioni atmosferiche, specie quando l'invaso è di piccola capacità.

Questo tipo di ambiente è notevolmente diverso da quello del suolo circostante le sorgenti solfuree e le putizza senz'acqua; esso differisce anche da quello delle acque sorgive acide (v. oltre).

c) *fumarole* - Con questo termine indichiamo, anche se impropriamente, tutte le emissioni di vapore acqueo misto ad altri gas; ovviamente abbiamo preso in considerazione, in questo lavoro, solo quelle emittenti H_2S . Vi comprendiamo, pertanto, sia le fumarole del tipo « solfatara » (es.: quelle dei Campi Flegrei), sia quelle del tipo « soffioni » delle Colline Metallifere (es.: i lagoni del Sasso).

La temperatura dei gas emessi è molto spesso elevata e comunque superiore a quella media atmosferica.

I vapori emessi da tali fumarole determinano, sul suolo circostante le bocche emittenti, condizioni simili a quelle delle sorgenti termali solfuree, ovvero simili a quelle delle putizze con acqua, allorquando è molto intenso il fenomeno di condensazione del vapore acqueo emesso, che può determinare anche la formazione di una pozza di acqua acida nelle vicinanze della bocca emittente.

d) *zolfare* - Si tratta di terreni molto ricchi di zolfo, tanto da poter essere sfruttati per l'estrazione di questo minerale.

Il suolo è quasi ovunque estremamente acido. La presenza di alghe in quantità rilevante è però limitata, soprattutto nella stagione secca, a quelle zone dove l'umidità si conserva più a lungo, e cioè soprattutto nelle conche o negli anfratti del terreno.

Spesso, in questo tipo di suolo, la vegetazione algale non è appariscente, poiché le alghe risultano talora coperte da un esile strato di terriccio di riporto, talora frammiste e rivestite da efflorescenze cristalline, talora relegate nelle fenditure della roccia.

Le zolfare, talvolta, comprendevano anche attrezzature per la purificazione del minerale estratto. Fino a non molti anni fa in Italia era ancora in uso il metodo dei forni Gill, consistente essenzialmente nella fusione dello zolfo usando come fonte di calore la combustione dello zolfo stesso.

Non ci dilunghiamo nella descrizione del funzionamento di questo sistema, che d'altronde si può dedurre dalla fig. 1.

Tali forni sono oggi in disuso nella loro quasi totalità; al momento del loro abbandono, però, essi non sono stati svuotati completamente del materiale depositatosi e pertanto una quantità di zolfo, talvolta cospicua, è rimasta nell'interno ed anche nella parte superiore di essi. Va inoltre aggiunto che, quando i forni erano ancora in funzione, i vapori di zolfo pervadevano le pareti ed il tetto, che sono quindi rimasti impregnati di questo elemento.

In seguito alla pioggia, l'acqua che percola attraverso il tetto dei forni si arricchisce di sali vari e soprattutto di H_2SO_4 prodotto dai solfobatteri viventi nel terreno che costituisce il tetto. Ciò determina l'instaurarsi di ambienti estremamente acidi sul soffitto e sulle pareti del forno stesso.

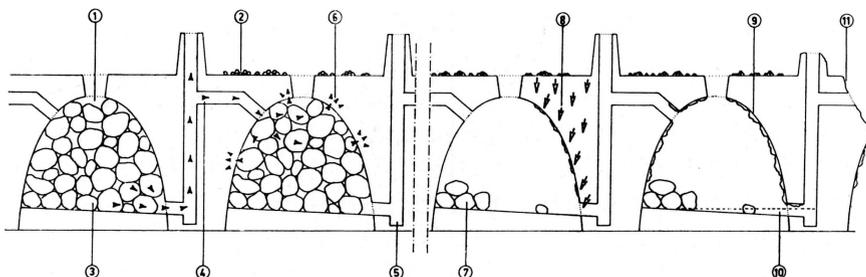


Fig. 1 - Disegno schematico di una serie di forni Gill, visti in sezione. Nei due forni a sinistra ne è illustrato il funzionamento; nei due forni a destra è mostrato come si instaurano gli ambienti acidi nei vecchi forni in disuso.

1, da qui veniva caricato il minerale ricco di zolfo; 2, durante le operazioni di carico, parte del materiale solfifero si accumulava sul tetto del forno; 3, veniva dato fuoco allo zolfo del primo forno; 4, i vapori di zolfo caldi (freccie) servivano a fondere anche lo zolfo del secondo forno; 5, qui si raccoglieva lo zolfo fuso; 6, i vapori di zolfo impregnavano le pareti e il tetto dei forni.

7, i forni sono stati abbandonati e del materiale solfifero è stato lasciato anche sul pavimento del forno; 8, l'acqua piovana transita attraverso i muri; acido solforico e solfati, formati per azione dei solfobatteri, raggiungono il soffitto e le pareti; 9, si instaura un ambiente acido, in cui si impiantano le alghe acidofile; si formano cospicue incrostazioni saline (solfati); 10, l'acqua acida si raccoglie in abbondanza sul pavimento; anche qui si impiantano alghe acidofile; 11, i forni, dopo anni di abbandono, vanno incontro ad un progressivo naturale disfacimento.

La camera del forno, simile a una grotta, è pertanto un luogo ideale per l'impianto di una vegetazione algale acidofila o comunque acidoresistente, anche perché l'ambiente chiuso favorisce il ristagno della umidità.

La ricchezza in sali dell'acqua di percolazione determina spesso la formazione di incrostazioni saline talora molto appariscenti. Non è raro riscontrare popolamenti algali imponenti frammentati a queste incrostazioni e talvolta inglobati, sotto uno spesso e compatto strato di cristalli.

Anche il pavimento del forno presenta sovente un pH basso; in certi casi esso risulta ricoperto di acqua, anch'essa acida.

All'interno del forno, e cioè nell'ambito di uno spazio di pochi metri quadrati, si presenta quindi una vasta gamma di ambienti acidi, differenziati nettamente fra loro soprattutto dal grado di umidità, che solitamente è minima sul soffitto e massima sul pavimento.

e) *acque sorgive acide* - Si tratta normalmente di sorgenti di acqua che è transitata attraverso terreni ricchi di zolfo e ben aerati.

Le sorgenti di questo tipo non sono molto comuni in Italia; quelle che abbiamo visitato erano tutte nelle vicinanze di cave o miniere, e comunque in terreni molto ricchi di zolfo.

La differenza principale esistente tra queste acque e quelle più sopra descritte consiste essenzialmente nella quantità di ossigeno disciolto, che è molto elevata in queste, notevolmente minore nelle acque di ristagno sul pavimento dei forni, estremamente bassa nell'acqua delle putizze.

LE LOCALITÀ INVESTIGATE

Nella tab. 1 abbiamo elencato le località italiane che sono state oggetto della nostra ricerca. Come si deduce dalla fig. 2, abbiamo limitato le nostre ricerche all'Italia peninsulare ed alla Sicilia.

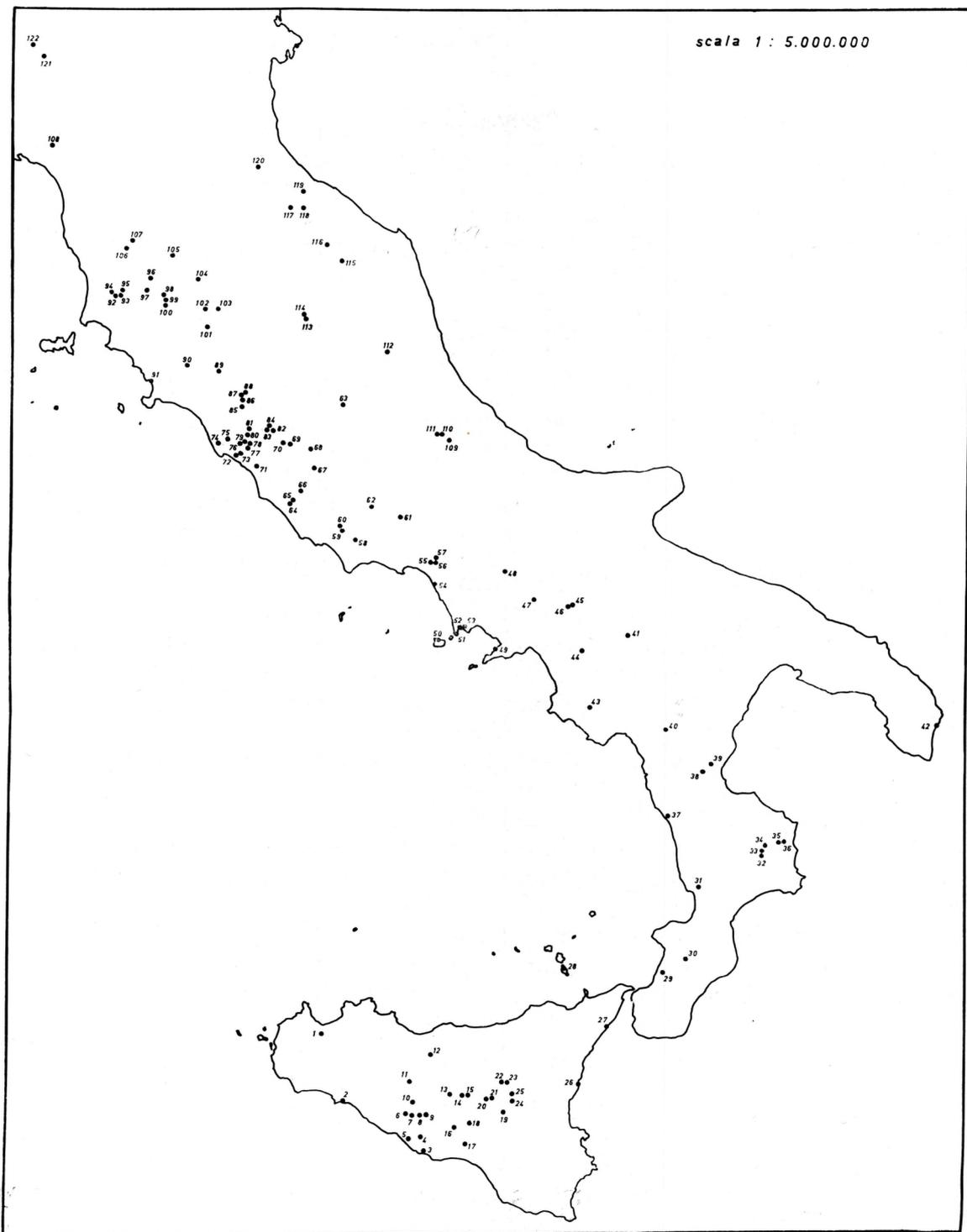


Fig. 2 - Carta geografica dell'Italia peninsulare e della Sicilia; v_1 è indicata la posizione delle località investigate, in cui sono stati individuati popolamenti di alghe in ambienti fortemente acidi.

L'ordine in cui abbiamo elencato le località è approssimativamente quello da Sud a Nord. Un criterio basato sui diversi tipi di ambiente avrebbe dato informazioni più immediate al lettore; tuttavia lo abbiamo scartato poiché molto spesso, in una stessa località, abbiamo constatato la presenza di due o anche più ambienti del tipo di quelli sopra citati.

Nella tab. 1 abbiamo indicato:

1^a colonna - il numero d'ordine che corrisponde a quello riportato nella carta d'Italia rappresentata in fig. 2.

2^a colonna - il tipo di ambiente: ci siamo attenuti alla classificazione da noi sopra riportata ed abbiamo impiegato i seguenti simboli: ss = sorgenti di acqua solfurea; pz = putizze; fm = fumarole o soffioni; zf = zolfare o terreni molto ricchi di zolfo; aa = acque sorgive acide.

3^a colonna - denominazione: i nomi indicati sono stati ricavati dalle carte topografiche (al 25.000 e al 50.000) dell'Istituto Geografico Militare oppure da informazioni raccolte sul luogo.

4^a colonna - comune in cui è sita la località investigata; tra parentesi è indicata la sigla della provincia.

5^a colonna - coordinate geografiche: per comodità nostra e del lettore abbiamo riportato la latitudine riferita a Roma - Monte Mario per quelle località segnalate solo sulle carte al 25.000, mentre abbiamo riportato le latitudini riferite a Greenwich (indicate con !) per quelle località che figurano anche nella edizione di carte al 50.000, che è più aggiornata ma incompleta alla data attuale.

TAB. 1 — ELENCO DELLE LOCALITÀ INVESTIGATE

(per le spiegazioni vedi p. 86)

1	ss	terme Segestane	Castellammare d. G. (TP)	0°26'23"E	37°58'18"N
2	ss	antiche terme	Sciacca (AG)	! 13°05'22"E	37°30'15"N
3	ss	fico amara	Palma di Montech. (AG)	! 13°44'40"E	37°11'12"N
4	ss	mìntina *	Agrigento (AG)	! 13°42'55"E	37°15'09"N
5	zf	Ciavolotta	Favara (AG)	! 13°39'00"E	37°16'15"N
6	ss	mìntina *	Comitini (AG)	! 13°38'55"E	37°24'53"N
7	zf	Comitini Solfare	Comitini (AG)	! 13°39'28"E	37°24'23"N
8	ss	mìntina *	Racalmuto (AG)	! 13°44'56"E	37°25'24"N
9	zf	Gibellini	Racalmuto (AG)	! 13°48'16"E	37°25'57"N
10	zf	Cozzo Disi	Casteltèrmini (AG)	! 13°41'07"E	37°30'42"N
11	ss pz		San Giovanni Gem. (AG)	1°13'43"E	37°38'27"N
12	ss		Sclàfani Bagni (PA)	1°24'07"E	37°49'36"N
13	ss	mìntina *	Caltanissetta (CL)	! 14°00'00"E	37°30'09"N
14	zf	Gessolungo	Caltanissetta (CL)	! 14°05'14"E	37°30'47"N
15	zf	Trabonella	Caltanissetta (CL)	! 14°07'55"E	37°30'44"N
16	zf	Trabia	Sommatino (CL)	! 14°02'26"E	37°18'19"N
17	ss	mìntina *	Butera (CL)	! 14°07'35"E	37°13'58"N
18	zf		Barrafranca (EN)	! 14°09'28"E	37°20'03"N
19	zf	Baccarata	Aidone (EN)	! 14°27'30"E	37°23'00"N
20	ss		Piazza Armerina (EN)	! 14°19'16"E	37°29'49"N
21	ss zf	Floristella	Enna (EN)	! 14°20'52"E	37°29'24"N
22	zf	Giangagliano	Assoro (EN)	! 14°27'23"E	37°36'59"N
23	zf	Zimbalio	Assoro (EN)	! 14°28'44"E	37°36'48"N
24	ss	Ficarra	Raddusa (CT)	! 14°32'34"E	37°28'31"N
25	zf	Destricella	Raddusa (CT)	! 14°32'36"E	37°31'03"N

* Questa voce siciliana deriva dall'arabo *mintina*, femm. di *mintin* 'putrido', 'puzzolente', ecc., come gentilmente mi comunica il dr. Giuseppe Contu dell'Ist. Univ. Orientale di Napoli.

26	ss	Santa Vènera	Acireale (CT)	2°43'00"E	37°36'14"N
27	ss	Granata Cassibile	Alì Terme (ME)	2°58'39"E	38°00'32"N
28	fm zf	isola Vulcano	Lìpari (ME)	2°30'27"E	38°24'50"N
29	ss	Cirello	Rizziconi (RC)	3°28'33"E	38°22'20"N
30	ss	stab. termominer.	Gàlatro (RC)	3°40'17"E	38°27'49"N
31	ss	bagni di Caronte	Sambiase (CZ)	3°45'27"E	38°58'26"N
32	ss	Bruciarelli	Caccuri (CZ)	4°22'45"E	39°10'52"N
33	ss	bagni di Rèpole	Caccuri (CZ)	4°22'38"E	39°13'04"N
34	ss	acqua solfara	Savelli (CZ)	4°24'50"E	39°15'05"N
35	ss zf	Prato- S. Doménica	Melissa (CZ)	4°33'00"E	39°16'28"N
36	ss zf	Còmero	Stróngoli (CZ)	4°34'03"E	39°16'28"N
37	ss	terme Luigiane	Acquappesa (CS)	3°32'35"E	39°28'47"N
38	ss	terme Sibarite	Cassano Iònio (CS)	3°52'08"E	39°46'55"N
39	ss	piscina d. Ninfe	Cerchiara di Cal. (CS)	3°57'01"E	39°50'26"N
40	ss	bagni di Calda	Latrònico (PZ)	3°31'42"E	40°05'20"N
41	ss	San Cataldo	Bella (PZ)	3°12'17"E	40°45'02"N
42	ss	Gattulla, ecc.	Santa Cesàrea Terme (LE)	6°00'40"E	40°02'12"N
43	ss		Cannalonga (SA)	3°51'01"E	40°15'15"N
44	ss	bagni Forlenza	Contursi (SA)	2°46'32"E	40°39'06"N
45	pz aa	Mèfite (Ansanto)	Rocca San Felice (AV)	2°41'36"E	40°58'25"N
46	ss	bagni San Teodoro	Villamàina (AV)	2°39'37"E	40°58'05"N
47	zf		Altavilla (AV)	2°20'05"E	41°00'57"N
48	ss	terme	Telese (BN)	2°04'35"E	41°13'18"N
49	ss	Scràio	Vico Equense (NA)	1°58'57"E	40°40'17"N
50	fm	Montecito	Casamicciola Terme (NA)	1°26'37"E	40°44'24"N
51	pz	grotta d. zolfo	Bàcoli (NA)	1°37'53"E	40°47'32"N
52	fm	Solfatara	Pozzuoli (NA)	1°41'12"E	40°49'36"N
53	fm aa	Pisciarelli	Pozzuoli (NA)	1°41'47"E	40°49'46"N
54	ss	terme Sinuessa	Mondragone (CE)	1°24'16"E	41°08'24"N
55	ss	lavatoio	Castelforte (LT)	1°23'51"E	41°17'40"N

56	ss	fosso d. archi	Castelforte (LT)	1°25'55"E	41°17'33"N
57	ss	terme Tomassi	Castelforte (LT), Sùio T.	1°26'26"E	41°18'45"N
58	ss	laghi d. Vescovo	Pontinia (LT)	0°40'28"E	41°27'08"N
59	ss	Acquapuzza	Bassiano (LT)	0°32'26"E	41°31'05"N
60	ss	Mola dei Preti	Sermoneta (LT)	0°31'51"E	41°32'31"N
61	ss	acqua solforica	Fontana Liri (FR)	1°06'08"E	41°36'26"N
62	ss	Acqua Puzza	Ferentino (FR)	0°49'20"E	41°40'55"N
63	ss	terme di Cotilia	Castel Sant'Angelo (RI)	0°32'52"E	42°22'34"N
64	zf	la Zolforata	Pomèzia (RM)	0°05'27"E	41°42'12"N
65	ss	acqua zolfurea	Roma (RM)	0°06'05"E	41°43'02"N
66	pz	Frattòcchie	Marino (RM)	0°09'41"E	41°46'45"N
67	ss	Acque Albule	Tivoli (RM)	0°16'00"E	41°58'02"N
68	ss	di Cretone	Palombara Sabina (RM)	0°14'28"E	42°05'02"N
69	pz	di Grotta Pagana	Castelnuovo di Porto (RM)	0°01'57"E	42°06'41"N
70	pz zf	le Solforate	Sacrofano (RM)	0°00'40"W	42°07'18"N
71	pz	la Caldara	Roma (RM)	0°15'10"W	41°58'06"N
72	ss	Monte Bischero	Cervèteri (RM)	0°25'59"W	42°01'27"N
73	pz	Monte Solferata	Cervèteri (RM)	0°24'47"W	42°01'44"N
74	ss	la Ficoncella	Civitavècchia (RM)	0°37'25"W	42°07'06"N
75	zf	la Cavàccia	Tolfa (RM)	0°31'58"W	42°09'10"N
76	ss	termae Stygianaè	Canale M. (RM), Stigliano	0°24'46"W	42°06'52"N
77	pz	la Caldara	Manziana (RM)	0°21'15"W	42°05'07"N
78	zf aa	solfatara	Manziana (RM)	0°19'47"W	42°07'03"N
79	ss zf	Monterano	Canale Monterano (RM)	0°22'01"W	42°07'56"N
80	ss		Oriolo Romano (RM)	0°21'28"W	42°10'11"N
81	ss	acque minerali	Veiano (VT)	0°20'29"W	42°13'05"N
82	ss pz	terme dei Gracchi	Nepi (VT)	0°06'38"W	42°12'58"N
83	pz	solforate	Nepi (VT)	0°09'23"W	42°13'37"N
84	pz	solforate	Nepi (VT)	0°09'13"W	42°14'05"N
85	ss	il Masso	Viterbo (VT)	0°23'39"W	42°22'19"N

86	ss	Zitelle	Viterbo (VT)	0°23'29"W	42°25'32"N
87	ss	il Bagnaccio	Viterbo (VT)	0°23'14"W	42°27'32"N
88	ss		Viterbo (VT)	0°22'45"W	42°27'53"N
89	pz zf aa		Làtera (VT)	0°38'07"W	42°37'03"N
90	ss	terme di Saturnia	Manciano (GR)	0°56'09"W	42°39'28"N
91	ss	dell'Osa	Orbetello (GR)	1°16'33"W	42°33'07"N
92	fm	lago boracifero	Fràssine (GR)	1°38'11"W	43°08'55"N
93	fm	di Monterotondo	Massa Marittima (GR)	1°35'49"W	43°08'58"N
94	fm	Lagoni Rossi	Pomarance (PI)	1°40'13"W	43°09'53"N
95	fm	Lagoni del Sasso	Castelnuovo Val d. C. (PI)	1°35'36"W	43°10'10"N
96	pz		Sovicille (SI)	1°18'12"W	43°16'07"N
97	pz		Chiusdino (SI)	1°20'26"W	43°11'03"N
98	ss	bagni del Dóccio	Murlo (SI)	1°10'02"W	43°09'32"N
99	pz		Monticiano (SI)	1°09'01"W	43°06'41"N
100	ss pz	bagno di Petriolo	Monticiano (SI)	1°09'10"W	43°04'44"N
101	ss	Bagni San Filippo	Castiglione d'Órcia (SI)	0°45'00"W	42°55'42"N
102	ss	acqua Pùzzola	Pienza (SI)	0°46'40"W	43°03'57"N
103	ss	Sant'Albino	Montepulciano (SI)	0°39'04"W	43°04'19"N
104	ss	terme S. Giovanni	Rapolano Terme (SI)	0°51'38"W	43°16'45"N
105	pz	il Bagno	Radda in Chianti (SI)	1°06'11"W	43°26'04"N
106	pz	bagni Mommialla	Gambassi (FI)	1°31'51"W	43°28'20"N
107	ss	i Bollori	Gambassi (FI)	1°29'12"W	43°31'28"N
108	ss	Equi Terme	Càsola in Lunigiana (MS)	2°17'51"W	44°10'08"N
109	ss	Santa Croce	Caramànico Terme (PE)	1°33'20"E	42°09'30"N
110	ss		Tocco da Casàuria (PE)	1°27'46"E	42°11'23"N
111	ss		Tocco da Casàuria (PE)	1°27'29"E	42°11'36"N
112	ss	terme	Acquasanta Terme (AP)	0°57'29"E	42°46'19"N
113	ss	acqua solforosa	Spello (PG)	0°10'20"E	43°00'12"N
114	ss	sorg. solforosa	Spello (PG)	0°10'01"E	43°00'46"N
115	ss	di San Vittore	Genga (AN)	0°30'51"E	43°24'00"N

116	zf	Bellisio Solfare	Pèrgola (PS)	0°22'30"E	43°31'07"N
117	ss		Sassocorvaro (PS)	0°01'07"E	43°47'07"N
118	zf	la Solfatara	Urbino (PS)	0°08'20"E	43°46'58"N
119	zf		Montefiore Conca (FO)	0°08'29"E	43°53'35"N
120	zf	di Formignano	Cesena (FO)	0°17'32"W	44°04'14"N
121	ss	Tabiano Castello	Fidenza (PR)	2°25'45"W	44°48'07"N
122	ss	terme Bacedasco	Castell'Arquato (PC)	2°32'28"W	44°51'19"N

METODI DI INDAGINE

Per ciascuna località abbiamo effettuato una serie di osservazioni e di prelievi di materiale in vari punti del suolo o dell'acqua.

Le misure della temperatura sono state effettuate per mezzo di un termometro a mercurio. Le misure di pH sono state eseguite appoggiando sul terreno, o immergendo nell'acqua, elettrodi appropriati accoppiati al pH-metro IL 275 Portomatic; laddove ciò non era possibile abbiamo impiegato strisce di carta indicatrice ad elevata sensibilità.

Le alghe sono state prelevate sterilmente e conservate in provette contenenti un terreno di coltura minerale, solidificato con agar.

In laboratorio, dopo una osservazione preliminare al microscopio del materiale raccolto, abbiamo posto le alghe in un terreno di coltura liquido, della seguente composizione:

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,30 g	FeSO_4	5,00 mg
NaCl	1,00 g	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,80 mg
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,30 g	H_3BO_3	2,80 mg
KH_2PO_4	0,30 g	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,20 mg
CaCl_2	0,02 g	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08 mg
H_2O	1000 ml	MoO_3	0,02 mg
		$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,50 mg

Al terreno veniva aggiunto H_2SO_4 fino al pH desiderato, che normalmente facevamo coincidere con il pH riscontrato in natura.

In molti casi si è rivelato conveniente apportare alcune modifiche a questo terreno base: impiego del nitrato al posto dell'ammonio, aggiunta di EDTA, di estratto di suolo, ecc.

Le colture di alghe erano mantenute in beutine da 100 ml, poste in agitazione su un piano oscillante di plexiglas e illuminate dal basso a luce continua, in ambiente termostato a 23-25°C, ovvero a 35-40°C per le alghe di ambienti termali.

Le colture di alghe venivano seguite mediante periodiche osservazioni al microscopio. Da esse siamo partiti per effettuare l'isolamento di colture pure, che è attualmente in corso.

LE ALGHE RINVENUTE

In attesa di ottenere colture pure delle alghe raccolte, al fine di esaminarle approfonditamente da vari punti di vista (morfologico, ontogenetico, fisiologico, ecc.), in questo lavoro abbiamo tentato di dare una classificazione delle alghe basandoci principalmente sulle caratteristiche morfologiche riscontrate al microscopio ottico in colture miste; solo in alcuni casi disponiamo già di ceppi monoalgali axenici. Pertanto i nomi che assegneremo alle alghe raccolte, soprattutto quelli specifici, saranno spesso solo indicativi e soggetti a eventuali successive revisioni.

Fatta questa necessaria premessa, passiamo in rassegna le alghe da noi individuate:

Cyanidium - Questo genere comprende l'unica specie *C. caldarium*; sotto questo nome vengono però comprese, come già detto, due alghe diverse (*forma A* e *forma B*). Ne tratteremo in-

sieme poiché le osservazioni che intendiamo fare interessano queste due alghe nel loro complesso.

Molto numerose sono le segnalazioni di *C. caldarium* s.l., vivente in natura sempre a pH acidi, in varie parti del mondo (GEITLER, RUTTNER, 1935; ALLEN, 1959; BROCK, BROCK, 1970; ecc.). In molti casi è difficile stabilire se le segnalazioni si riferiscono alla forma A o alla forma B. Il ceppo di ALLEN, proveniente dallo Yellowstone Park, USA, n° 1355/1 della collezione di Cambridge (GEORGE, 1976), che noi abbiamo esaminato, può essere riferito senz'altro alla forma B.

Dalle descrizioni date da NEGORO (1944) delle alghe delle acque acide del Giappone, crediamo di poter identificare la nostra forma A con il suo *C. caldarium*, e la forma B con l'alga *Chroococciopsis thermalis* var. *nipponica*, anche se non concordiamo con tale classificazione (DE LUCA, MEROLA, MUSACCHIO, TADDEI).

È molto probabile che anche nelle altre parti del mondo le due alghe vivano associate. Esse infatti hanno esigenze ecologiche per certi aspetti molto simili.

Nel corso di queste nostre indagini abbiamo però constatato che le popolazioni di *C. caldarium* in natura sono costituite quasi sempre da un miscuglio delle due alghe, con una nettissima prevalenza dell'una, ovvero dell'altra alga (DE LUCA, TADDEI, 1970; DE LUCA, MORETTI, MUSACCHIO, TADDEI, 1974; DE LUCA, MORETTI, TADDEI, 1974; PINTO, TADDEI, 1975). In certi casi una delle due alghe è risultata assente o è comparsa solo in seguito nelle colture di laboratorio.

Quali siano i fattori ecologici discriminanti non è ancora del tutto chiaro, anche se numerosi studi fisiologici su queste alghe hanno puntualizzato una notevole differenza in alcune delle loro caratteristiche autoecologiche (DE LUCA, TADDEI, 1970 e 1972; DE LUCA, MUSACCHIO, TADDEI, 1972; MUSACCHIO, PINTO, SABATO, TADDEI, 1977).

Di queste due alghe abbiamo già ottenuto un notevole numero di ceppi monoalgali, provenienti da molte delle località se-

gnalate nel presente lavoro, in ambienti fortemente acidi, termali e non.

C. caldarium forma A

presenza in natura *: 1 5 7 10 14 15 16 28 31 34 37 38 39 45 48 50 51 52 53
55 57 58 59 60 67 71 75 76 77 78 79 81 82 90 94 95 97 98 100 101 104 112

C. caldarium forma B

presenza in natura *: 1 2 5 6 7 11 12 14 15 17 18 19 22 25 27 28 35 36 37
39 42 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 57 58 59 60 62 64 66 67 70 71 72
74 76 78 79 80 82 84 85 86 89 90 91 92 93 94 95 96 97 100 101 102 104
105 107 112 118 120

Cyanidioschyzon - Questo genere comprende l'unica specie *C. merolae* De Luca, Taddei, Varano.

Quest'alga, insieme con *Cyanidium caldarium forma A* e *C. caldarium forma B*, è tipicamente acidofila.

La sua presenza in natura è stata da noi riscontrata solo in un numero limitato di località e in quantità quasi sempre esigua. Solo ai lagoni del Sasso essa costituiva, in zone limitate, popolamenti quasi unialgali nell'ottobre 1974; nel settembre 1975 e nel luglio e dicembre 1976 essa, nelle identiche zone, risultava soppiantata quasi completamente da *C. caldarium forma A* e *forma B*.

Ciononostante essa è comparsa molto spesso nelle colture di laboratorio, anche per quelle località in cui essa era risultata assente durante le osservazioni preliminari al microscopio ottico.

La sua presenza in natura è stata accertata anche in ambienti acidi extraeuropei (DE LUCA, MORETTI, TADDEI, 1977).

presenza in natura *: 45 51 53 57 67 71 82 93 95 97 104

* I numeri si riferiscono alle località, secondo quanto indicato in Tab. 1. I numeri in corsivo (es.: 104) indicano che l'alga è stata riscontrata in notevole quantità durante l'esame preliminare al microscopio ottico. I numeri in tondo (es.: 104) indicano che l'alga è stata riscontrata soltanto in quantità esigua o che è comparsa solo in seguito nelle colture di laboratorio.

Pinnularia - Diatomee riferibili a questo genere, o a generi affini, sono presenti quasi ovunque nei terreni acidi molto umidi, soprattutto al bordo delle pozze d'acqua sul fondo dei forni, dove esse costituiscono dei popolamenti unialgali di color marrone intenso, dall'aspetto mucillaginoso. Esse si rinvencono frequentemente e in quantità cospicua anche sul terreno umido nei pressi delle sorgenti solfuree, termali e non. La loro coltivazione ha presentato sempre notevoli difficoltà.

Fra le segnalazioni di diatomee in ambienti naturali fortemente acidi, ricordiamo quelle di NEGORO (1944) e di BROCK (1972) relative ai generi *Pinnularia* ed *Eunotia*.

presenza in natura *: 4 11 13 14 15 16 17 19 23 28 31 34 35 36 37 38 39
44 45 46 53 54 55 57 58 59 62 64 66 67 71 73 76 77 78 79 82 84 87 89 92
94 95 96 97 98 99 102 103 107 115 116 120

Euglena - La specie *E. mutabilis* è stata segnalata numerose volte negli ambienti acidi naturali (LACKEY, 1938 e 1939; NEGORO, 1944; PRÁT, 1955; HARGREAVES & Al., 1975). Quest'alga è stata anche oggetto di studi fisiologici, che ne hanno sottolineato sempre la particolare acidofilia (VON DACH, 1943; HEIN, 1953; FOTT, MC CARTHY, 1964; HARGREAVES, WHITTON, 1976).

Noi abbiamo rinvenuto questa specie in quantità apprezzabili e in popolamenti unialgali solo nel fango (a pH = 3,0) nei pressi della putizza di Frattocchie. In altre località essa era presente in quantità minime, mista ad altre alghe, o addirittura è comparsa solo nelle colture di laboratorio.

presenza in natura *: 66 79 92 95

Spermatozopsis - Abbiamo rinvenuto un'alga attribuibile alla specie *S. acidophila* Kalina. Essa è risultata abbondante sul terreno ricco di zolfo nella località Pisciarelli, a pH = 0,6-1,6.

L'alga era presente, in quantità minore, anche sui bordi umidi del ruscello di acqua acida della stessa località.

* Vedi nota a pag. 94.

La coltivazione di quest'alga in laboratorio si è rivelata difficoltosa, per cui non possiamo affermare ancora con certezza la sua appartenenza a questa specie, descritta da KALINA (1965), nelle acque acide (pH=1-2) nei pressi di Františcovy Lázně (ČSSR).

presenza in natura *: 53 59 67 71 82

Chlamydomonas - Abbiamo rinvenuto, in numerose località, alghe riferibili a questo genere. Esse costituiscono normalmente dei popolamenti unialgali.

Le abbiamo rinvenute, sempre in quantità abbondante, nelle acque sorgive acide, nelle acque acide sul pavimento dei forni, nelle putizze con acqua, nell'acqua acida intorno alla bocca dei soffioni e, più raramente, nel suolo umido delle cave di zolfo.

Queste alghe sono pertanto collegate con l'ambiente acquatico, il che è comprensibile, trattandosi di alghe mobili.

Uno studio preliminare, condotto su ceppi non ancora achenici, ci ha mostrato che queste alghe non appartengono ad un'unica specie. Esse si distinguono tra loro in base a caratteristiche morfologiche e fisiologiche.

In letteratura il genere *Chlamydomonas* è già stato segnalato in ambienti acidi naturali (NEGORO, 1944; PRÁT, 1955; FOTT, 1956; ecc.). Anche se non siamo ancora in grado di affermarlo, siamo convinti che nessuna di queste nostre alghe possa essere assimilata alla *C. acidophila* di NEGORO (cfr. FOTT, MC CARTHY, 1964).

Alcuni dei nostri ceppi sono invece morfologicamente simili alla *C. sphagnophila*, che PASCHER (1930) riporta, insieme con altre specie, per le acque « fortemente acide », senza indicare l'esatto valore del pH.

L'acido-tolleranza di numerose specie di questo genere è stata puntualizzata anche mediante esperimenti di laboratorio (FOTT,

* Vedi nota a pag. 94.

MC CARTHY, 1964; MC CARTHY, MC LAUGHLIN, 1965; ERLBAUM CAS-
SIN, 1974).

presenza in natura*: 3 9 15 24 39 45 46 47 59 64 69 71 73 76 77 78 80
81 83 84 89 92 94 95 96 99 103 116 119

Chlorella - La presenza di questo genere in ambienti acidi è stata segnalata soltanto da BROCK (1972; 1973). Le nostre osservazioni hanno rivelato che esso è ben rappresentato nella quasi totalità delle località investigate.

In particolare *C. saccharophila* v. *saccharophila* Fott, Nováková è onnipresente nel terreno debolmente acido (pH = 2,5 - 7,0), nei pressi delle sorgenti solfuree, anche a basso tenore di H₂S.

Negli ambienti più decisamente acidi (eccezionalmente fino a pH = 1,2) è invece spesso presente *C. saccharophila* v. *ellipsoidea* Fott, Nováková, soprattutto nei suoli molto ricchi di zolfo e ai bordi dei ruscelli di acqua acida.

L'acido-resistenza di queste alghe fu già sottolineata da KESSLER. Esse però non sono strettamente legate agli ambienti acidi: soprattutto la var. *saccharophila* può essere considerata quasi ubiquista (cfr. le osservazioni di GEORGE, 1957).

Oltre alle due varietà della specie *C. saccharophila*, facilmente identificabili in base semplicemente a criteri morfologici molto evidenti, abbiamo rinvenuto molto frequentemente un'alga riferibile, in base alla sua morfologia, alla specie *C. luteoviridis*.

Alcuni studi preliminari su numerosi ceppi, in fase più o meno avanzata di isolamento, ci hanno già fornito un certo numero di informazioni interessanti, che sembrerebbero escludere la loro appartenenza a questa specie. In particolare segnaliamo che alcuni di questi ceppi provengono dal suolo estremamente

* Vedi nota a pag. 94.

acido (pH = 0,9), il che rappresenta un dato assolutamente nuovo per il genere *Chlorella* (cfr. KESSLER, 1965 e 1967).

C. saccharophila var. *saccharophila*

presenza in natura*: 3 8 9 11 21 26 29 30 33 36 39 40 41 43 44 46 53
54 55 57 58 59 60 61 62 66 76 82 84 87 101 109 113 115 116 117 119 121 122

C. saccharophila var. *ellipsoidea*

presenza in natura*: 6 7 9 10 14 15 24 34 35 36 39 46 47 53 55 59 60 61
62 64 70 75 76 77 78 79 80 89 90 94 97 109 111 116 119 120

C. cfr. luteoviridis

presenza in natura*: 6 10 14 22 23 24 25 28 31 35 36 46 51 53 54 58 60
61 64 66 68 69 71 72 74 75 80 89 92 94 95 97 101 105 107

Choricystis - Abbiamo rinvenuto alghe riferibili a questo genere in numerose località. In base alle osservazioni morfologiche tali alghe possono essere assimilate alla specie *C. chodati* (Jaag) Fott.

Quest'alga è particolarmente abbondante sia nei pressi delle sorgenti solfuree, sia e soprattutto sul soffitto e sulle pareti dei forni, molto spesso inglobata entro incrostazioni saline.

L'unica segnalazione della sua presenza in ambienti fortemente acidi (pH = 1,5) è quella di TADDEI (1977).

presenza in natura*: 7 8 10 14 15 16 18 19 20 22 23 24 32 34 35 36 38
39 44 47 49 51 53 55 62 64 65 66 67 68 70 71 74 75 76 77 78 79 82 83 84
85 88 89 90 92 94 95 98 102 103 105 106 107 108 118 119 120

Stichococcus - Alghe appartenenti a questo genere furono segnalate in acque acide da OHLE (*S. minor*), da HEIN (*S. exiguus*) e da HARGREAVES & Al. (*S. bacillaris*). Le alghe da noi rinvenute sono morfologicamente simili a *S. bacillaris*. Facciamo notare però la grossa confusione esistente, non solo all'interno di questo genere, ma anche nei riguardi del genere ad esso affine *Klebsormidium* Silva & Al. (= *Hormidium* Klebs) (cfr. GRINTZESCO, PETERFI, 1931; RAMANATHAN, 1964; BOURRELLY, 1972).

* Vedi nota a pag. 94.

Quest'alga è forse la più abbondante in natura, negli ambienti da noi studiati, e senza dubbio è la più frequente. Essa si rinviene, in un'ampia gamma di valori di pH (fino a pH = 1,5), in quantità spesso massiccia, sia presso le sorgenti solfuree (a basso e ad alto tenore in H₂S), sia sul soffitto dei forni, sia sul terreno nelle cave di zolfo.

Anche per quest'alga valgono le considerazioni relative alla sua ubiquità (cfr. GEORGE, 1957) e ciò spiega la facilità con cui essa può essere coltivata in laboratorio, sotto svariate condizioni colturali.

presenza in natura *: 3 4 6 7 8 9 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
26 30 32 33 34 35 36 38 39 40 44 46 47 56 58 59 61 62 63 64 66 68 69 70
72 73 75 76 77 79 81 82 85 87 88 89 92 94 95 98 100 101 102 103 106 107
109 110 111 113 114 115 116 118 119 122

In definitiva, negli ambienti acidi investigati abbiamo rinvenuto oltre 13 specie di alghe, appartenenti ad almeno 9 generi diversi.

Tre di questi generi (*Pinnularia*, *Euglena* e *Chlamydomonas*) sono risultati particolarmente abbondanti nelle acque acide; gli altri generi invece vivono principalmente sul suolo acido.

Per quanto riguarda le acque acide, che rappresentano una piccola percentuale degli ambienti presi in considerazione in questo lavoro, tutti e tre i generi qui segnalati erano già noti per detti ambienti.

Non abbiamo, viceversa, riscontrato mai la presenza di molti altri generi, segnalati invece da altri Autori: *Lepocinclis* (PRÁT, 1955), *Gloeochrysis* (HARGREAVES & Al., 1975), *Zygonium* (BROCK, 1972), ecc.

* Vedi nota a pag. 94.

Per quanto riguarda i suoli acidi, facciamo osservare che gli studi in tal senso sono in numero estremamente esiguo. Gli unici generi già segnalati per i suoli acidi, a $\text{pH} < 3,0$, sono *Cyanidium* (*C. caldarium forma A e forma B*) (DE LUCA, TADDEI, 1970), *Cyanidioschyzon* (DE LUCA, TADDEI, VARANO, 1977) e *Choricystis* (TADDEI, 1977).

Pertanto i generi *Pinnularia*, *Spermatozopsis*, *Chlamydomonas*, *Chlorella* e *Stichococcus*, già noti per le acque acide, vengono qui segnalati per la prima volta anche nei suoli acidi, a $\text{pH} < 3,0$.

CONCLUSIONI

Gli ambienti considerati in questo lavoro sono caratterizzati tutti da bassi valori del pH.

Osserviamo innanzitutto che questo fattore esercita, nei confronti delle alghe, un forte potere selettivo.

Basta esaminare un qualsiasi elenco delle specie rinvenute in acque o suoli con pH intorno alla neutralità per rendersi conto del gran numero e della grande varietà di specie che popolano questi ambienti.

Anche nelle torbiere, in cui i valori bassi di pH si raggiungono solo durante le ore notturne, la quantità di specie di alghe è dell'ordine di parecchie decine (VILLERET, 1954).

Negli ambienti da noi considerati, invece, i bassi valori di pH sono relativamente costanti nel tempo e si innalzano, in certi casi, fino alla neutralità soltanto in seguito alle forti precipitazioni atmosferiche.

Le specie di alghe che abbiamo osservato in natura, negli ambienti considerati in questo lavoro ($\text{pH} < 3,0$), sono complessivamente in numero non superiore a venti.

Nell'arco di valori decrescenti del pH abbiamo osservato poi una ulteriore selezione operata su alghe a diverso grado di acidotolleranza.

Accanto all'azione selettiva del pH vi è poi quella operata da altri fattori.

La temperatura, l'umidità del suolo, la concentrazione in sali, la presenza di certi ioni, la luce, ecc., esercitano tutti una azione selettiva.

L'azione combinata di tutti questi fattori fa sì che, nell'ambito degli ambienti a pH fortemente acido ($\text{pH} < 3,0$), si instauri in natura un numero assai elevato di microambienti molto particolari; in questi, pertanto, si osservano quasi sempre popolamenti unialgali o costituiti da un numero molto basso di specie, di cui una rappresenta sovente quasi il 100% della popolazione.

Accanto ad un'indagine sulla vegetazione algale delle acque acide, in questo lavoro abbiamo posto la nostra attenzione, in modo particolare, sulle alghe che popolano i suoli acidi; tali ambienti, infatti, non sono stati quasi mai oggetto di studio da parte di altri ricercatori.

La vegetazione algale dei suoli acidi è risultata sostanzialmente diversa da quella delle acque acide, anche se elementi caratteristici dei suoli acidi si rinvenivano occasionalmente anche nelle acque acide, e viceversa.

Le acque ed i suoli acidi costituiscono quindi un complesso di ambienti, che hanno in comune il fattore acidità, ma che sono molto diversi tra loro; l'esistenza di tali differenze, di natura fisico-chimica, si palesa già attraverso l'indagine biologica, cioè semplicemente attraverso lo studio dei popolamenti algali che vi si impiantano.

Con questo lavoro abbiamo inteso porre le basi per un futuro studio di questi ambienti, soprattutto per quanto concerne la distribuzione delle alghe in natura ed i fattori che determinano tale distribuzione.

RIASSUNTO

Gli Autori hanno studiato la vegetazione algale che si sviluppa, in ambiente fortemente acido ($\text{pH} < 3,0$), nei pressi di putizze, fumarole, sorgenti sulfuree, miniere di zolfo, ed in genere in quegli ambienti collegati con un'intensa attività dei solfobatteri chemioautotrofi, produttori di H_2SO_4 . Gli Autori hanno investigato un gran numero di tali ambienti, in 122 località italiane.

Nelle acque acide gli Autori segnalano la presenza di tre generi di alghe, *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Pinnularia* e, sporadicamente, di altri generi, tutti già segnalati da altri Autori per tali ambienti.

Particolare attenzione è stata posta nello studio dei suoli fortemente acidi, la cui conoscenza è estremamente limitata e, per certi aspetti, del tutto ignorata.

In tali ambienti gli Autori segnalano la presenza dei generi *Cyanidium* (*C. caldarium forma A* e *forma B*), *Cyanidioschyzon*, *Pinnularia*, *Spermatozopsis*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Choricystis* e *Stichococcus*.

SUMMARY

The Authors have studied the algal flora that develops, in highly acid environments ($\text{pH} < 3.0$), near sulfur springs, sulfur mines, and in a more general way, in those environments which are connected with an intense activity of sulfur bacteria producers of H_2SO_4 . The Authors have scrutinized a great number of such environments, in 122 Italian sites.

The Authors notice the presence in acid waters of three genera of algae, viz *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Pinnularia*, and, sporadically, of other genera, all of them recorded by other authors in such environments.

A particular care has been put in the study of the highly acid soils the knowledge of which is extremely scanty and, from a certain point of view, completely non-existent. In such environments the Authors record the presence of the genera *Cyanidium* (*C. caldarium forma A* and *forma B*), *Cyanidioschyzon*, *Pinnularia*, *Spermatozopsis*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Choricystis*, and *Stichococcus*.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN M.B., 1959. *Studies with Cyanidium caldarium, an anomalously pigmented chlorophyte*. Arch. Mikrobiol., 32: 270-277.
- BENNET H.D., 1968. *Algae in relation to mine water*. Castanea, 34: 306-328.
- BOURRELLY P., 1972. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. I: Les algues vertes*. N. Boubée et Cie Ed., Paris.
- BROCK T.D., 1972. *The algae of very acid environments*. J. Phycol., suppl. 8: 17.
- , 1973. *Lower pH limit for the existence of blue-green algae: evolutionary and ecological implications*. Science, 179: 480-483.
- BROCK T.D., BROCK M.L., 1970. *The algae of Waimangu Cauldron (N.Z.): distribution in relation to pH*. J. Phycol., 6: 371-375.
- CASTALDO R., 1968. *Ricerche sull'ultrastruttura del Cyanidium caldarium (Tilden) Geitler dei Campi Flegrei (Napoli)*. Delpinoa, 8-9: 135-147.
- DE LUCA P., MEROLA A., MUSACCHIO A., TADDEI R., (revisione sistematica di *Cyanidium caldarium*) in preparazione.
- DE LUCA P., MORETTI A., MUSACCHIO A., TADDEI R., 1974. *Il primo reperto di «Cyanidium caldarium» (Acquasanta, Italia, 1839) e due distinte «forme» di quest'alga*. Delpinoa, 14-15: 3-11.
- DE LUCA P., MORETTI A., TADDEI R., 1974. *Nuove stazioni di «Cyanidium caldarium» nell'Italia meridionale ed in Sicilia*. Delpinoa, 14-15: 49-60.
- , 1977. *Presenza di Cyanidioschyzon merolae in ambienti acidi extraeuropei (USA e Indonesia)*. Delpinoa, 18-19: 69-76.
- DE LUCA P., MUSACCHIO A., TADDEI R., 1972. *Diverso comportamento in eterotrofia delle due forme di «Cyanidium caldarium» dei Campi Flegrei (Napoli)*. Delpinoa, 12-13: 19-27.
- DE LUCA P., TADDEI R., 1970. *Due alghe delle fumarole acide dei Campi Flegrei (Napoli): Cyanidium caldarium?* Delpinoa, 10-11: 79-89.
- , 1972. *Crescita comparata di due forme di «Cyanidium caldarium» dei Campi Flegrei (Napoli) in presenza di diverse fonti di azoto*. Delpinoa, 12-13: 3-8.
- , 1976. *On the necessity of a systematic revision of the thermal acidophilic alga «Cyanidium caldarium» (Tilden) Geitler*. Webbia, 30: 197-218.
- DE LUCA P., TADDEI R., VARANO L., 1977. *A new alga of thermal acidic environments*. Webbia, 31 (in stampa).

- ERLBAUM-CASSIN P., 1974. *Isolation, growth, and physiology of acidophilic Chlamydomonads*. J. Phycol., 10: 439-447.
- FOTT B., 1956. *Flagellaten aus extrem sauren Gewässern*. Preslia, 28: 149-150.
- , 1976. *Choricystis, a new genus of the order of Chlorococcales (Chlorophyceae)*. Arch. Hydrobiol., suppl. 49: 382-388.
- FOTT B., MC CARTHY A.J., 1964. *Three acidophilic Volvocine Flagellates in pure culture*. Jour. Protozool., 11: 116-120.
- FOTT B., NOVÁKOVÁ M., 1969. *A monograph of the genus Chlorella. The fresh water species*. In: FOTT B., *Studies in phycology*. Academia, Praga: 10-74.
- FUKUDA I., 1957. *Physiological studies on a thermophilic blue-green alga, Cyanidium caldarium*. Bot. Mag., 71: 79-86.
- GEITLER L., RUTTNER F., 1935. *Die Cyanophyceen der deutschen limnologischen Sunda Expedition, ecc.* Arch. Hydrobiol., suppl. 14: 371-481.
- GEORGE E.A., 1957. *A note on Stichococcus bacillaris Naeg. and some species of Chlorella as marine algae*. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 36: 111-114.
- , 1976. *List of strains*. Culture Centre of Algae and Protozoa (Cambridge).
- GRINTZESCO J., PETERFI S., 1931. *Contribution à l'étude des algues vertes de Roumanie. I: Sur quelques espèces appartenant au genre Stichococcus de Roumanie*. Rev. Algol., 6: 159-175.
- HARGREAVES J.W., LLOYD E.J.H., WHITTON B.A., 1975. *Chemistry and vegetation of highly acidic streams*. Freshwat. Biol., 5: 563-576.
- HARGREAVES J.W., WHITTON B.A., 1976. *Effect of pH on growth of acid stream algae*. Br. Phycol. J., 11: 215-223.
- HEIN G., 1953. *Ueber Euglena mutabilis und ihr Verhalten zu sauren Medien*. Arch. Hydrobiol., 47: 516-525.
- JAAG O., 1933. *Coccomyxa Schmidle. Monographie einer Algengattung*. Beitr. Kryptog. Schweiz, 8: 1-132.
- JOHN R.P., 1942. *An ecological and taxonomic study of the algae of British soils. I. Distribution of the surface-growing algae*. Ann. Botany (London), 6: 323-349.
- KALINA T., 1965. *Zur Morphologie und Taxonomie der Gattung Spermatozopsis Korschikow (Volvocales)*. Preslia, 37: 9-12.
- KESSLER E., 1965. *Physiologische und biochemische Beiträge zur Taxonomie der Gattung Chlorella. I: Säureresistenz als taxonomisches Merkmal*. Arch. Mikrobiol., 52: 291-296.

- —, 1967. Idem. *III: Merkmale von 8 autotrophen Arten*. Arch. Mikrobiol., 55: 346-357.
- —, 1974. Idem. *IX: Salzresistenz als taxonomisches Merkmal*. Arch. Mikrobiol. 100: 51-56.
- LACKEY J.B., 1938. *The flora and fauna of surface waters polluted by acid mine drainage*. Publ. Health Rep., 53: 1499-1507.
- —, 1939. *Aquatic life in waters polluted by acid mine waste*. Publ. Health Rep., 54: 740-746.
- LJUNGGREN P., 1960. *A sulfur mud deposit formed through bacterial transformation of fumarolic hydrogen sulfide*. Economic Geology, 55: 531-538.
- MC CARTHY A.J., MC LAUGHLIN J.J.A., 1965. *Nutritional aspects of acidophilous algae*. Am. J. Bot., 52: 640.
- MENEGHINI G., 1839. *Nuova specie di alga*. Nuovo Giornale de' Letterati, 39: 67-68.
- MUSACCHIO A., PINTO G., SABATO S., TADDEI R., 1977. *Alloresistenza in diversi ceppi di Cyanidium caldarium forma A e forma B*. Delpinoa, 18-19: 37-44.
- NEGORO K., 1944. *Untersuchungen über die Vegetation der mineralogen azidotrophen Gewässer Japans*. Sci. Rep. Tokyo Bunrika Daigaku, sect. B, 6: 231-374.
- OHLE W., 1936. *Der schwefelsaure Tonteich bei Reinbeck*. Monographie eines idiotrophen Weihers. Arch. Hydrobiol. 30: 604-662.
- PARKER C.D., PRISK J., 1953. *The oxidation of inorganic compounds of sulphur by various sulphur bacteria*. J. Gen. Microbiol., 8: 344-364.
- PASCHER A., 1930. *Neue Volvocalen (Polyblepharidinen-Chlamydomonadinen)*. Arch. Protistenk., 69: 103-146.
- PINTO G., TADDEI R., 1974. *Nuove stazioni italiane di « Cyanidium caldarium »*. Delpinoa, 14-15: 125-139.
- PRÁT S., 1955. *Vegetace v silně kyselých vodách a regenerace železitých slatin*. Preslia, 27: 225-233.
- RAMANATHAN K.R., 1964. *Ulotrichales*. Indian Council Agric. Res. New Delhi: 1-188.
- RIGANO C., TADDEI R., 1968. *Estrema acido-resistenza dell'alga Cyanidium caldarium (Tilden) Geitler vivente alla solfatara di Pozzuoli (Napoli)*. Delpinoa, 8-9: 57-63.
- ROSA K., LHOTSKY O., 1971. *Edaphische Algen und Protozoen im Isergebirge, Tschechoslowakei*. Oikos, 22: 21-29.

- SILVA P.C., MATTOX K.R., BLACKWELL W.H.Jr., 1972. *The generic name Horridium as applied to green algae*. Taxon, 21: 639-645.
- TADDEI R., 1977. *Alghe che vivono in ambienti fortemente acidi nella grotta dell'acqua fredda dello Scraio*. Annuario Speleologico, Club Alpino Italiano, sez. di Napoli, 4: (in stampa).
- TILDEN J., 1898. *Observations on some West American thermal algae*. Bot. Gaz., 26: 89-105.
- VILLERET S., 1954. *Contribution à la biologie des algues des tourbières à sphaigne*. Bull. Soc. Scient. Bretagne, 29 (fasc. fuori serie): 1-246.
- VON DACH H., 1943. *The effect of pH on pure cultures of Euglena mutabilis*. Ohio J. Sci., 43: 47-48.
- WAKSMAN S.A., JOFFE J.S., 1922. *Microorganisms concerned in the oxidation of sulfur in the soil. II: Thiobacillus thiooxidans, a new sulfur-oxidizing organism isolated from the soil*. J. Bact., 7: 239-256.
- YOSHIMURA S., 1933. *Kata-numa, a very strong acid-water lake on volcano Katanuma, Miyagi Prefecture, Japan*. Arch. Hydrobiol., 26: 197-202.