

SPIEGAZIONE DELLE TAVOLE

TAVOLA I. (1)

(Tutte le figure sono impiccolite circa metà del vero)

- Fig. 1 — Infiorescenze maschili abbattute da un leggero vento a causa delle gallerie delle Piralidi che avevano minato la loro base.
- Fig. 2 — Porzione di stocco di mais perforato dalla Piralide.  
Notare che le perforazioni si trovano tutte nel terzo inferiore dell'internodio.
- Fig. 3 — Porzione di stocco di mais perforato dalla Piralide.  
I fori si trovano sempre su una linea unica perchè la foglia fu attaccata dalla Piralide quando era ancora in germoglio, e perciò ripiegata su se stessa a fisarmonica.
- Fig. 4 — Interno di stocco infestato da Piralidi.

TAVOLA II.

- Fig. 1 — Adulti di *Eulimneria crassifemur* Auct. maschio e femmina con i rispettivi bozoli ( $\times 5$ ).
- Fig. 2 — *Phaeogenes nigridens* Wesm. ♂ e ♀ con esuvie di crisalidi di Piralide ( $\times 5$ ).
- Fig. 3 — *Microgaster globatus* Spin. con bozze ( $\times 5$ ).
- Fig. 4 — *Angitia punctoria* Rom. ♀ con bozzolo ( $\times 5$ ).
- Fig. 5 — Bozzolo di *Angitia punctoria* Rom. con esuvie di Piralide ( $\times 4$ ).
- Fig. 6 — Esuvie di Piralide da cui è uscita una larva di *Lydella stabulans griescens* Rob. Desv. che si è impupata poco discosto. Da questa larva è poi sfarfallato l'adulto ( $\times 2$ ).

(1) Mentre licenzio le bozze per la stampa (16 maggio 1939) vedo pubblicati sul «Giornale delle meraviglie», i due soggetti delle figure 1 e 3 di questa tavola, con firma ALDO CANZI, insieme ad un terzo soggetto ancora da me inedito. Desidero dichiarare che non ho mai autorizzato tale pubblicazione.

## Studi sul Lago di Caprolace

### INTRODUZIONE

L'interessamento allo studio dei fenomeni imponenti di produzione di  $SH_2$  nel Lago di Caprolace e di conseguenza anche di tutti gli altri fenomeni di natura biochimica ad essi connessi, è sorto in noi in seguito al quesito postoci da colleghi della R. Stazione di Chimica Agraria di Roma, sulla probabile origine di tale acido. Una volta entrati nell'argomento, esso ci parve degno di essere studiato nella sua localizzazione e nei suoi sviluppi durante e dopo i lavori di bonifica, anche perchè da tale studio si poterono trarre conclusioni di non trascurabile importanza per la pratica della bonifica stessa. La produzione di  $SH_2$  non era che una delle tante manifestazioni di un ambiente d'acqua stagnante specialissimo che si era formato a Caprolace; eppero tale produzione non rappresentava che uno degli anelli più evidenti, ma non più interessanti di tanti altri, della catena dei fenomeni biochimici di quella plaga desolata.

In un primo tempo la nostra ricerca si limitò alla determinazione delle cause produttrici dell'idrogeno solforato nella melma che copriva il fondo della parte centrale ancora relativamente libera del Lago. E di questa prima parte del lavoro si è riferito in una nota in collaborazione con R. GRANDORI apparsa nel dicembre del 1933.

In seguito la trattazione dell'argomento è stata continuata soltanto dall'Autrice del presente lavoro e si è notevolmente estesa. Con l'estensione maggiore è aumentata anche la complessità del problema, in modo tale da richiedere l'aiuto di colleghi di speciale competenza nei vari rami in cui mi trascinava la necessità della ricerca, che, per natura sua, invadeva non solo il campo biologico, ma anche quello di parecchie scienze affini.

Il prof. CLAUDIO ANTONIANI, il dott. ISIDORO POLITI, il dott. GIUSEPPE DE VITO, mi aiutarono nella determinazione quantitativa di  $SH_2$ , nelle numerose prove fatte, e mi fornirono tutti i dati riguardanti le analisi delle acque e delle melme prima e dopo la bonifica.

Il compianto prof. ACHILLE FORTI determinò le specie di Diatomee della melma. Il prof. GIUSEPPE DALLA FIOR determinò le specie dei grani di polline contenuti nella melma e nella melma fangosa sottostante, raggiunta dai lavori della bonifica.

Per il tramite del prof. ARDITO DESIO ho ottenuto la determinazione delle due forme di molluschi contenute nella melma fangosa. Il prof. CARLO ARNAUDI si dedicò alla ricerca e allo studio, in colture pure, delle forme di batteri desulfuricanti e putrescenti contenuti nelle acque e nelle melme del Lago di Caprolace, e dei risultati del suo studio egli rese già conto in una pubblicazione [4].

Il Reverendo don VITO ZANON si occupò della determinazione delle numerose Diatomee della melma fangosa raggiunta in profondità dai lavori della bonifica e della melma acquosa, residuo della melma a desulfuricanti.

A tutti questi studiosi rivolgo un cordiale ringraziamento.

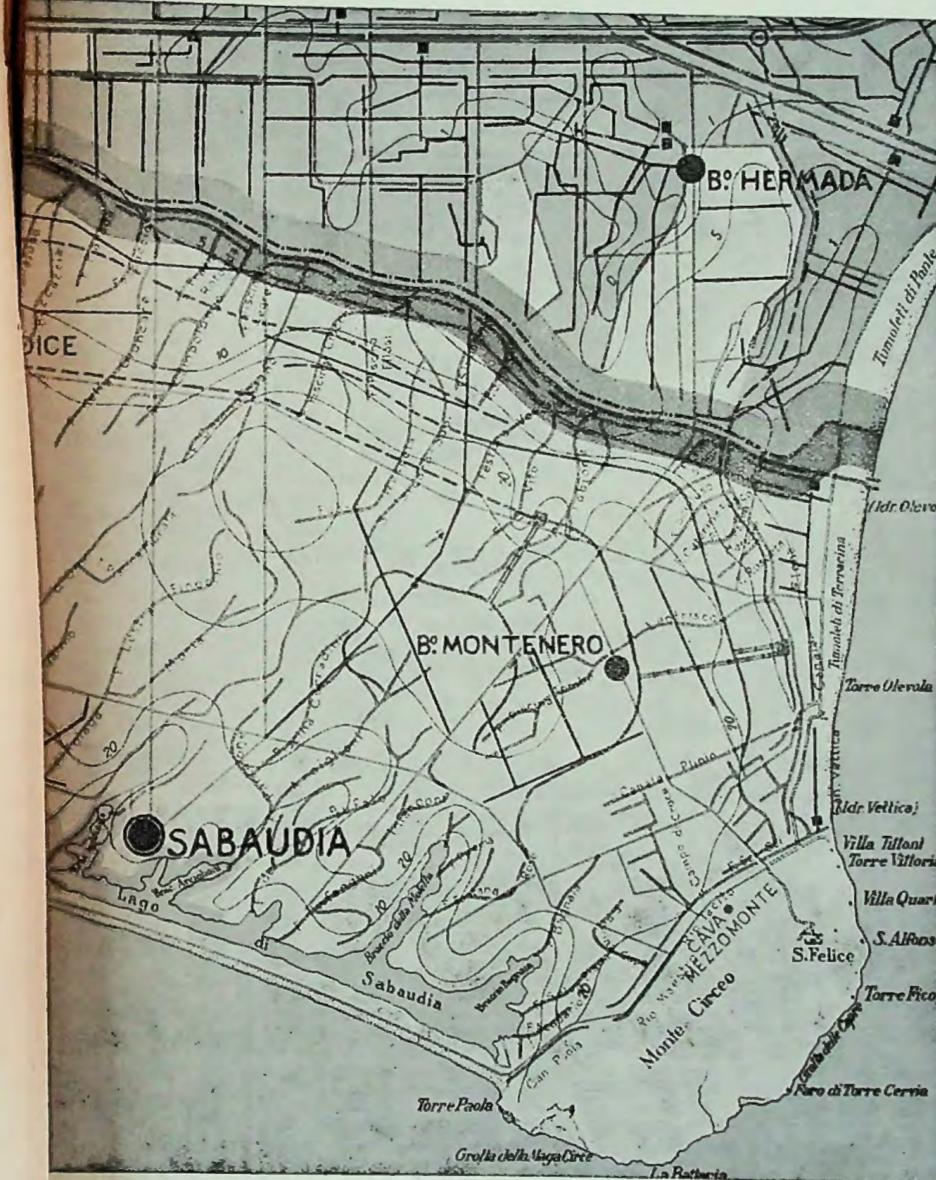
Desidero anche esternare la mia gratitudine al Consorzio per la Bonifica di Littoria che mise a mia disposizione i mezzi di trasporto da Roma a Caprolace, e che mi assicurò sempre larga ospitalità nelle mie gite al Lago; al prof. GUSTAVO BRUNELLI che mise a mia disposizione draghe e pompe per la raccolta del materiale di studio; e infine al dott. VALENTINO MORANI che mi aiutò nella raccolta del materiale stesso e che mi fornì alcuni dati analitici.

\* \* \*

Il presente lavoro non ha la pretesa di essere uno studio completo ed esauriente di ciò che in un tempo recente era chiamato erroneamente Lago di Caprolace.

Per quanto io mi sia data con entusiasmo a tale studio e abbia ottenuto la cortese e disinteressata collaborazione di un buon numero di esimi studiosi italiani, tuttavia la forte distanza della mia residenza (Milano) dall'Agro Pontino che mi ha reso impossibile fare frequenti prelevamenti, la scarsità degli apparecchi atti per il prelevamento dei campioni nello speciale ambiente da me studiato, hanno diminuito di molto la possibilità di trattare in modo completo l'argomento, cioè dal punto di vista limnologico.

Con sei prelevamenti di campioni fatti dall'aprile 1933 all'aprile 1934, e con la raccolta di tutti i dati che mi è stato possibile ottenere, ho potuto soltanto sfiorare alcuni degli argomenti che contrassegnano i successivi e classici gradini del problema limnologico, nei loro due aspetti fisiografico e biologico.



, segnano i nuovi limiti delle acque, dopo la bonifica. (scala 1 : 100.000).

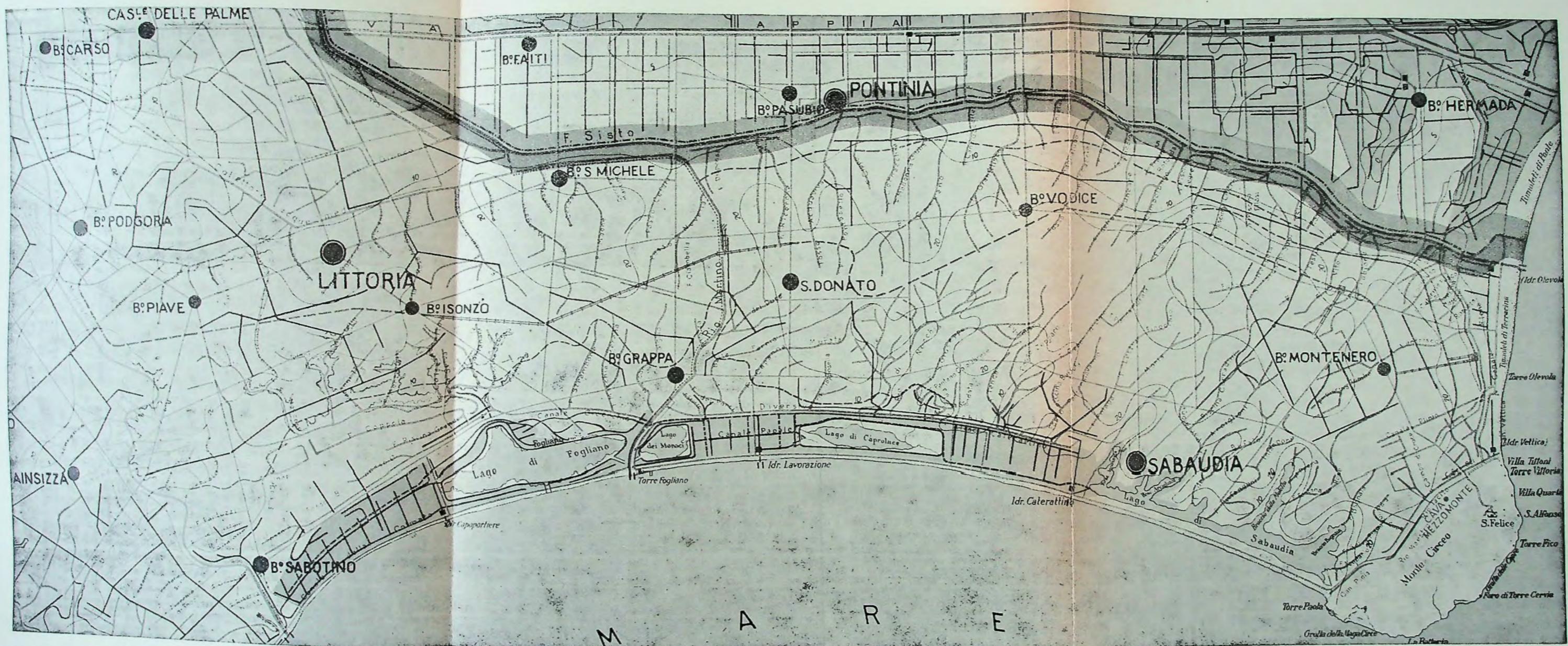


Fig. 1. — Comprensorio di Littoria con la zona dei laghi costieri. Le linee nere che contornano i laghi di Fogliano, Monaci e Caprolace, rappresentati secondo le aree ante-bonifica, segnano i nuovi limiti delle acque, dopo la bonifica. (scala 1:100.000).

Cionostante lo studio è stato sufficiente per mettere assieme i documenti più importanti della storia dello stagno costiero, e per ricostruirla quindi a grandi linee, prima che la vittoriosa draga *Littoria* restituisse di diritto, al bacino di Caprolace, il nome di vero Lago.

\* \* \*

Dopo la presentazione del manoscritto di questo lavoro al concorso per il Premio Ministeriale assegnatomi dall'Accademia dei Lincei, nel 1939, potei elaborare altri dati di cui disponevo, e completare la ricerca su alcuni punti che erano rimasti oscuri e incompleti. La pubblicazione presente, pur mantenendo lo schema generale del primitivo lavoro, esce, rispetto a questo, notevolmente ampliata.

### *Cenni sul ciclo del solfo*

#### A. - IL CICLO DEL SOLFO IN NATURA.

In specialissimi ambienti e per l'attività di microrganismi a tali ambienti adatti, il solfo e i suoi composti subiscono una serie ciclica di attive trasformazioni. Sono soprattutto le melme putrescenti (*Faulschlamm*), formazioni autoctone di sostanza organica che si accumula in ambiente anaerobio o quasi (stagni, lagune morte, valli ecc.), le sedi tipiche di questi particolari cicli biochimici del solfo. Uno studio accurato sulle melme putrescenti e sulla loro fauna di ciliati, è stato fatto dal WETZEL nel 1928, prendendo per oggetto il biotopo delle acque a melma putrescente dei dintorni di Lipsia. Si tratta di piccole conche naturali di acqua stagnante d'origine postglaciale, coperte d'erbe acquatiche o palustri, circondate da boschi di latifoglie, con acque che appaiono nere dall'esterno.

Le melme che coprono il fondo sviluppano  $SH_2$ , la cui quantità dipende dall'entità dell'apporto di sostanza organica decomponibile.

Il chimismo di tali ambienti dipende essenzialmente dall'antagonismo fra  $SH_2$  e  $O_2$ ; il primo che si forma nella zona di fondo per la demolizione di sostanza organica solforata e per la riduzione dei solfati, è limitato alla parte più profonda delle acque; il secondo invece, proveniente dall'aria e dalle piante verdi sommerse, è sciolto nelle parti più superficiali delle acque.

$\text{SH}_2$  e  $\text{O}_2$  reagiscono fra di loro nella zona in cui vengono a contatto, ed è in questa zona, a profondità media delle acque, che si riscontra la minima quantità tanto di ossigeno quanto di idrogeno solforato. La reazione fra  $\text{SH}_2$  e  $\text{O}_2$  può essere di natura puramente chimica, senza che vi partecipino fenomeni biochimici.

Sulla zona di fondo, anaerobia, vivono i solfobatteri rossi e verdi che assimilano  $\text{SH}_2$  e che alla loro volta servono di alimentazione a Ciliati sapropelici stenofagi.

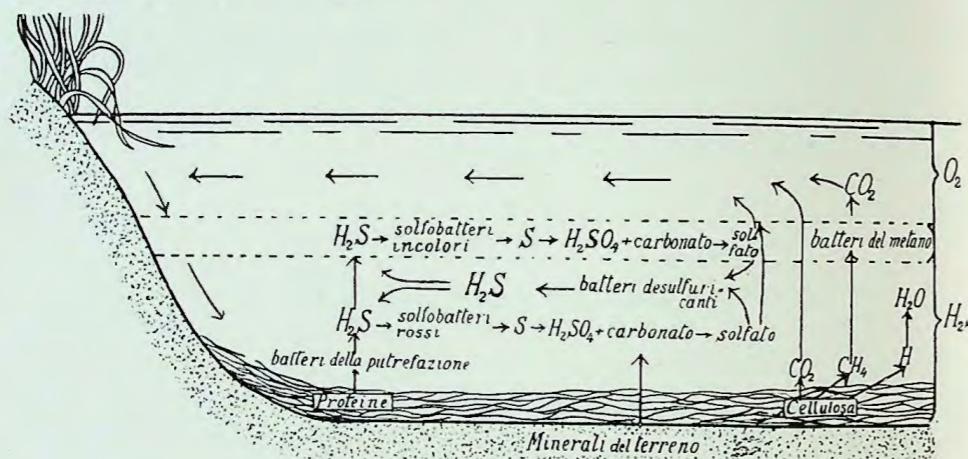


Fig. 2. — Ciclo del solfo nelle acque a fondo sapropelico (di Lauterborn), secondo il Wetzel.

Nella zona delle acque contenenti tanto  $\text{SH}_2$  che  $\text{O}_2$  vivono solfobatteri incolori per i quali necessitano tutte e due queste sostanze. Le acque superficiali, senza  $\text{H}_2\text{S}$  e con  $\text{O}_2$ , sono abitate da numerosi organismi non sapropelici.

L'altezza dell'acqua di queste speciali conche è di qualche decina di centimetri.

In questo specialissimo ambiente abbiamo quindi una caratteristica fauna di Ciliati sapropelici e tutte quelle forme viventi che accompagnano il ciclo del solfo dalla formazione di  $\text{SH}_2$  alla sua ossidazione in solfato e da questo al suo ritorno ad  $\text{SH}_2$ . Tali forme, per lo più batteriche, si possono distinguere in due grandi gruppi: i produttori di  $\text{SH}_2$  e i consumatori di  $\text{SH}_2$ .

Oltre che nel biotopo speciale descritto dal WETZEL, la produzione di  $\text{SH}_2$  avviene in estate normalmente nelle acque più profonde di molti laghi, per il depositarsi di forti quantità di detriti vegetali provenienti dai dintorni. In tali periodi le zone più profonde dei laghi diventano azoiche o quasi; tutt'al più si trovano ancora Copepodi e larve di *Corethra*.

L'ossigeno manca in tale ambiente o è estremamente scarso, mentre la quantità di  $\text{SH}_2$  può giungere ad alti valori; il più alto è quello riscontrato nel Lago di Hemmelsdorf presso Lubecca.

Allorchè in questo lago penetra l'acqua del mare, essa vi determina la formazione di masse d'acqua salata pesante in profondità che per la loro alta densità non vanno soggette alla circolazione verticale dovuta alla temperatura, e quindi perdono tutto l'ossigeno formando strati profondi completamente morti. In tali ambienti anaerobi e ricchi di solfati può prosperare la *Microspira desulfuricans* von Delden, che riduce i solfati in ambiente anaerobio e in presenza di sufficiente e appropriata sostanza organica.

Anche in Olanda il fenomeno della riduzione dei solfati per opera della *Microspira* è stata studiata a fondo nella regione degli estuari e delle acque stagnanti salmastre costiere, in cui si era verificato l'aumento della produzione di  $\text{SH}_2$  allorchè veniva introdotta acqua marina apportatrice di nuove quantità di solfati.

#### B. - IL CICLO BIOCHIMICO DEL SOLFO SECONDO LE RECENTI RICERCHE.

Se nelle grandi linee lo schema del WETZEL dà ragione delle trasformazioni che subiscono i composti di solfo in speciali biotopi, esso però non chiarisce bene l'intimo chimismo dei processi. Un contributo notevole al problema è stato apportato dagli studi su colture pure fatti recentemente da von NIEL, che ha ottenuto 14 ceppi di solfobatteri rossi e cinque ceppi di solfobatteri verdi autotrofi, fotosintetici e anaerobi obbligati.

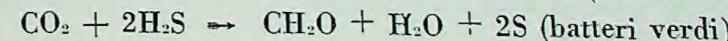
Usando come sorgente di carbonio l'anidride carbonica e come sorgente di azoto l'ammoniaca con aggiunta una soluzione salina, questi batteri usufruiscono parzialmente l'energia luminosa per la deidrogenazione di  $\text{SH}_2$ , il quale verrebbe così a compiere la stessa funzione che compie l'acqua nella comune fotosintesi clorifilliana.

L'organizzazione del carbonio dal  $\text{CO}_2$  sarebbe rappresentabile quindi da una reazione generale:



in cui A può essere ossigeno o solfo e viene liberato in seguito alla reazione.

I solfobatteri rossi e verdi usano per le sintesi, oltre che l'energia luminosa, anche l'energia chimica che si sviluppa dalle seguenti reazioni:



Nel primo caso solfo libero si può anche formare come prodotto intermedio della reazione, e allora esso viene depositato o dentro le cellule o all'esterno di esse. Nel secondo caso il solfo che si forma in seguito alla reazione viene depositato all'esterno delle cellule.

Questi batteri si collegano da un lato ai sulfobatteri chemio-sintetici autotrofi che non usufruiscono radiazioni luminose, e dall'altro alle piante verdi.

I microrganismi chemio-sintetici autotrofi sprovvisti di pigmento si distinguono in obbligati e facoltativi. Sono obbligate le seguenti forme:

*Beggiatoa*, *Thiobacillus thioparus* e *Thiobacillus thio-oxidans*, *Thiotrix*, delle quali alcune sono state ottenute in colture pure completamente sprovviste di sostanza organica. Tali forme possono produrre solfo o acido solforico o l'uno e l'altro. Il *Thiobacillus thioparus* può produrre tanto acido solforico da portare il pH a 1 ossidando i tiosolfati. *Beggiatoa* e *Thiotrix* depositano solfo intracellulare e in parte lo ossidano a sulfato.

Tra le forme facoltative è noto il *Thiobacillus novellus* che cresce tanto bene in un mezzo minerale come in un mezzo contenente composti organici.

#### C - SULLA NOMENCLATURA DEI DEPOSITI DI FONDO LACUSTRE.

In questi anni ha acquistato notevole importanza e ha attirato più che in passato l'interessamento dei limnologi, lo studio dei sedimenti che si formano sul fondo dei bacini continentali, siano essi laghi o stagni, d'acqua dolce, salmastra o salata.

Da ciò è derivato un disorientamento nella classificazione dei sedimenti, in quanto che il successivo e rapido estendersi di tali studi rivelava l'esistenza di tipi di sedimenti non riconducibili a quelli già da lungo tempo conosciuti e studiati, soprattutto nelle regioni nordiche europee.

E ne è derivata anche una certa confusione nella terminologia e qualche polemica, la quale ha condotto alla convinzione che è prematura una classificazione dei sedimenti di laghi e stagni che abbia un valore generale, e che quindi è meglio astenersi dall'usare termini che introdotti nella scienza per indicare speciali ambienti, sono poi stati erroneamente estesi ad ambienti ben diversi.

I termini usati « melma putrescente (*Faulschlamm*) o sapropel, Gyttja, schlick » si riferiscono a sedimenti di diversa origine, formantisi

in ambienti diversissimi e sede di attività biochimiche ben distinte, con equilibri biologici varianti da ambiente ad ambiente.

Fu il primo HAMPUS VON POST (35) a distinguere due tipi di sedimenti lacustri: Gyttja e Dy (1), il primo essendo essenzialmente un sedimento autoctono in contrapposto al secondo, sedimento alloctono dovuto al trasporto nei laghi di humus proveniente dai dintorni. Gyttja si sviluppa nei laghi eutrofi, Dy nei laghi oligotrofi. Tale terminologia introdotta dal POST nel 1862 per i laghi svedesi, venne ripresa dai limnologi moderni e i due termini entrarono nell'uso comune.

Il LUNDQUIST (28), mettendo a punto dal lato metodologico, limnologico e geologico lo studio dei sedimenti lacustri in formazione e di quelli già formati, distinse una notevole varietà in ognuno dei due tipi fondamentali di sedimento, varietà accettata e riportata nei suoi lavori dal NAUMANN.

SERNANDER (46) introdusse la distinzione fra sedimenti già formati e quelli in formazione, e chiamò Förna i sedimenti in formazione dovuti all'accumularsi sul fondo lacustre di resti di piante superiori (fanerogame), prosperanti nella zona litoranea e di fondo, e Äwja i sedimenti in formazione dovuti al depositarsi dei resti di forme planctoniche e di alghe di fondo. Förna e Äwja, si evolvono nella Gyttja.

Da parte sua il LAUTERBON (26) (1901 - 1915) illustrava la vita del sapropel di cui ho dato notizia nel capitolo precedente basandomi sull'esauriente lavoro del WETZEL.

Il THIENEMAN (49) alla sua volta distinse i fondi lacustri in Gyttja = Faulschlamm e Dy = Torfschlamm. Egli quindi, pur dando un ampio significato a Gyttja, la eguagliò tuttavia all'ambiente sapropelico della Faulschlamm di LAUTERBORN.

Successivamente il NAUMANN (34, 35, 36) proponeva di mantenere la distinzione in Gyttja e Dy, ma riprendendo i lavori di LAUTERBORN e POTONIÈ, rivedeva il significato dato da questi Autori alla parola sapropel. Secondo il NAUMANN il sapropel di LAUTERBORN non era che un prestdio della Gyttja. Senonchè proprio lo strato superficiale in formazione della Gyttja sarebbe caratterizzato dalla presenza di Chironomidi e di Oligocheti, i ben noti trasportatori di sedimenti illustrati da ALSTERBERG (2), che elaborando e trasportando le sostanze organiche del deposito, verrebbero a generare un sedimento coprogeno la cui natura sarebbe indissolubilmente legata al concetto di Gyttja. Tali animali mancano nelle Faulschlamms.

(1) Gyttja e Dy derivano da termini dialettali svedesi, come Förna e Äwja.

Cosicché per definire la Gyttja ha importanza tanto la natura del materiale d'origine del sedimento quanto la sua elaborazione e il suo trasporto da parte della fauna di fondo che gli imprime un netto carattere coprogeno. E' noto come il continuo rimescolamento operato dai vermi permetta una profonda decomposizione aerobica della sostanza organica.

Sempre secondo NAUMANN, il sapropel di POTONIÈ comprenderebbe la Gyttja e i suoi prestadi, più altri sedimenti melmosi.

Secondo GAMS (18) il sapropel di POTONIÉ ha un significato più comprensivo di Gyttja; esso comprenderebbe Gyttja, Dy, sedimenti non coprogeuni o appena coprogeni. Anche il GAMS lega il concetto di Gyttja a quello di sedimento coprogeno, e distingue quindi dalla Gyttja i fondi di acque salmastre che si trovano in Russia, che riunisce, in base a caratteri comuni, a quelli di acque continentali della Scandinavia e dell'Europa media che si trovano in zone di boschi ad aghifoglie. GAMS propone per tali sedimenti il nome di *Schlick*, dal RAMANN introdotto nel 1896 per melme marine, estendendo tale nome a sedimenti simili di acqua dolce in cui non si hanno formazioni coprogeni.

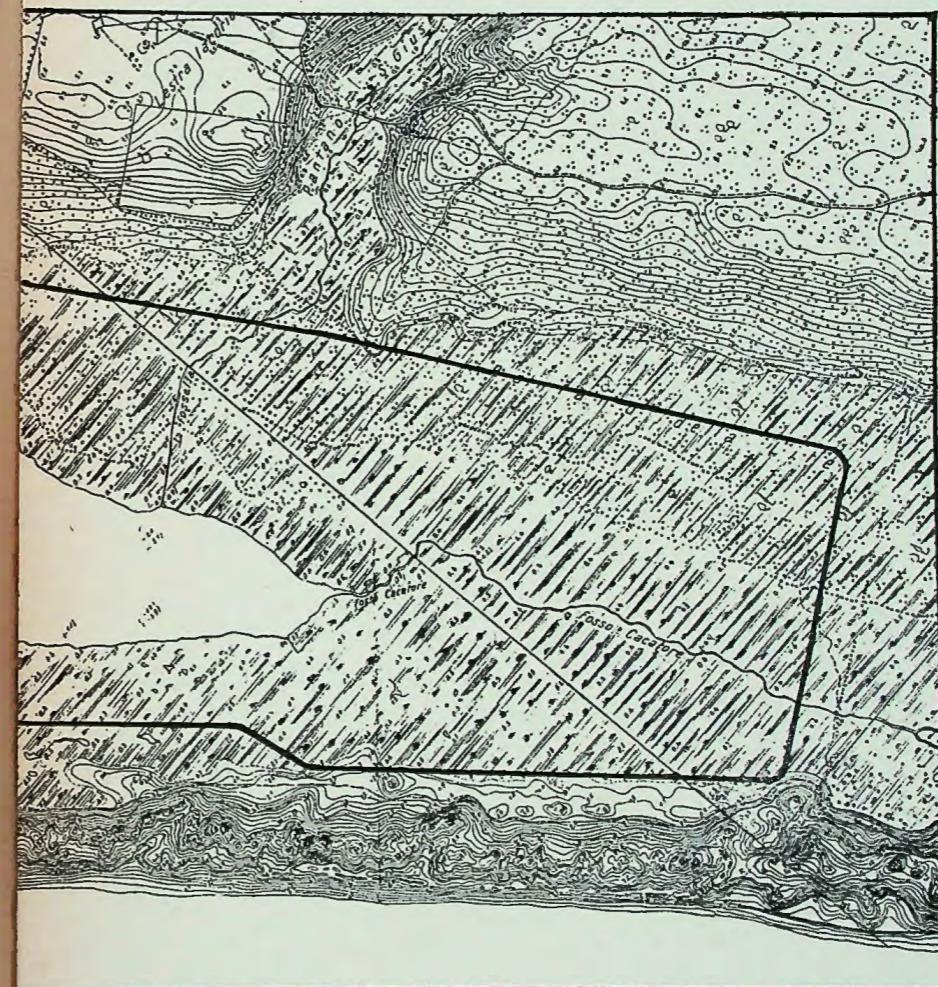
Più recentemente HÖLL (21), che ha studiato i sedimenti melmosi dei laghi della Germania del nord, propose di tener distinto il mondo sapropelico inteso nel senso originario di LAUTERBORN, contenente batteri anaerobi, organismi polisaprobi, Beggiatoe, Rodobatteri, Protozoi, e privo di Oligocheti, Cloroficee, Diatomee, Desmidiacee e Peridinee, da quello della Gyttja, nome che si dovrebbe usare soltanto per denominare i sedimenti coprogeni.

HÖLL ritiene non accettabile per la *Faulschlamm* il nome di *Schlick* e propone di mantenere il nome di *Faulschlamm* per le melme saprofliche di LAUTERBORN.

In conclusione due sedimenti potrebbero avere in comune l'origine autoctona, e l'uno evolversi verso la Gyttja, l'altro verso la melma putrescente (*Faulschlamm*). Il primo sarebbe sede nello strato superficiale di decomposizione aerobica della sostanza organica, l'altro al contrario di decomposizione anaerobica.

Risulta da questo breve riassunto come la terminologia creata per speciali ambienti non possa essere accettata e generalizzata nello studio dei sedimenti lacustri di ambienti diversi.

Nel mio caso particolare, la melma a desulfuricanti essendosi formata soprattutto per il depositarsi dei resti di una flora litoranea autoctona ai quali si sono frammisti, oltre a numerose Bacillariacee, anche i resti di Cloroficee fortemente mesosaprobie quali il *Chlorococcum*, non può rientrare nella definizione della tipica *Faulschlamm* né in quella di Gyllja. D'altra parte la melma a desulfuricanti aveva in comune con



il lago occupa dopo la bonifica (scala 1 : 10.000).

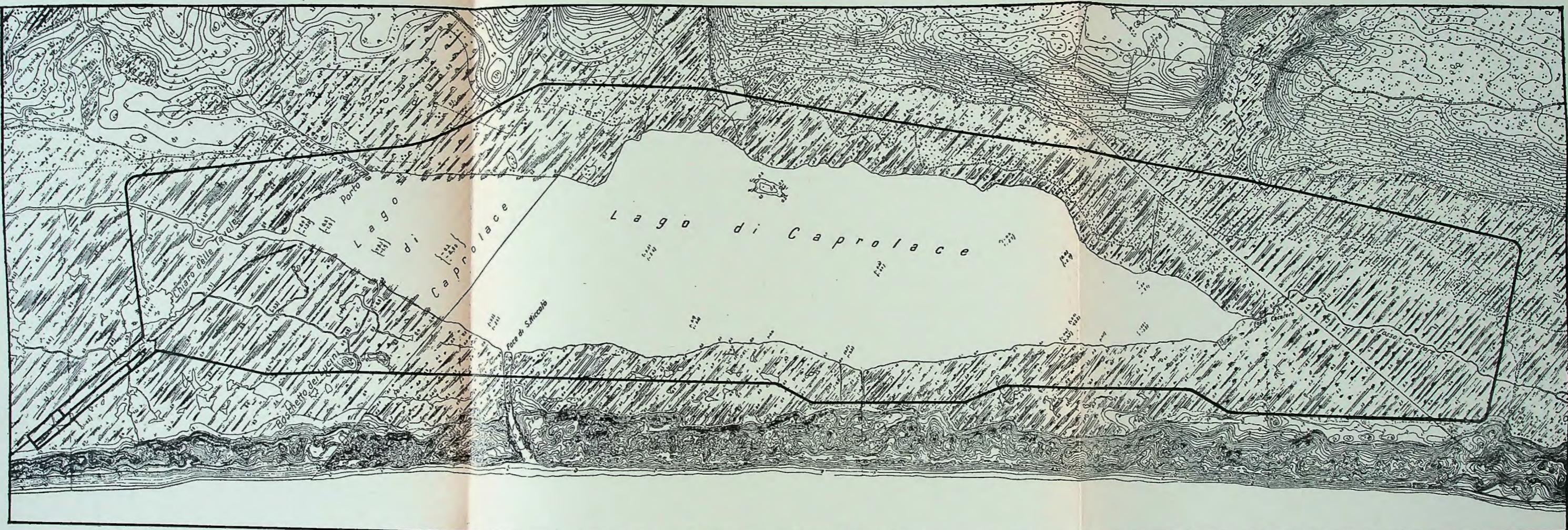


Fig. 3. — Carta della zona di Caprolace. Il lago è rappresentato nella sua area ante-bonifica; la linea nera che circoscrive un'area più ampia indica l'area che il lago occupa dopo la bonifica (scala 1 : 10.000).



Gyttja l'origine autoctona, e in comune con la *Faulschlamm* la presenza di Beggiatoe nello strato in formazione. Si differenziava dalla *Faulschlamm* perchè mancante di rodobatteri, di sulfobatteri verdi, e dei Protozoi tipici del mondo sapropelico e perchè contenente Cloroficee assenti invece nella *Faulschlamm*.

Stando così le cose, mentre in un primo tempo avevo usato il termine Gyttja per la melma a desulfuranti, interpretandolo nel senso più lato, in un secondo tempo, date le categoriche limitazioni poste dagli studiosi al significato di Gyttja, ho ripudiato tale nome che ritengo inapplicabile nel mio caso specifico.

Credo prematuro introdurre un nome particolare per indicare il sedimento da me studiato, nome che avrebbe ragione di esistere quando fosse riscontrato in altri laghi l'ambiente di Caprolace. Cosicchè mi limiterò a chiamare la melma d'origine autoctona ricca in desulfuranti, *melma a desulfuranti*, e il suo strato superficiale paragonabile ai primi 10 cm. della Gyttja, e quindi in formazione, *melma a Chlorococcum*.

#### Cenni idrogeografici sul lago di Caprolace

Il Lago di Caprolace si trova lungo l'arco litoraneo che da Torre Paola si stende con decorso regolare fino allo sbocco in mare del Canale Mussolini (vedi carte annesse). Tale arco presenta un orlo litoraneo costituito da una serie di dune (tumoli), alte in media dieci-quindici metri, che limitano verso terra la zona bassa e paludosa stendentesi a guisa di larga trincea fino alle retrostanti dune quaternarie. Tale zona di terreni bassi decorre per tutta la lunghezza dell'arco e cioè per 36 Km., con una larghezza di circa un chilometro; in essa venivano a sfociare i brevi corsi d'acqua che, aprendosi un varco attraverso le dune quaternarie, le apportavano acqua dolce. Nelle sue zone più depresse, in corrispondenza agli antichi estuari dei maggiori corsi d'acqua, si erano formati i laghi costieri di Fogliano, Monaci, Caprolace e Sabaudia.

Di tutti i laghi litoranei quello di Caprolace presentava lo stadio più avanzato, avendo acquistato tutti i caratteri dello stagno. Può darsi che questo fatto sia dovuto alla minore profondità originaria del lago, che ha permesso una rapida conquista da parte della vegetazione litoranea.

Lungo due chilometri circa e stretto, esso era alimentato dal Rio Nocchia e da altri piccoli rii. La Fossa Papale lo collegava con quello di Fogliano, ma era anch'essa ridotta ad un canneto con poca acqua stagnante. La superficie del lago subiva oscillazioni che la portavano sopra



o sotto il livello del mare facendo oscillare l'altezza dell'acqua sopra la melma che ne formava il fondo fra i 30 e i 60 centimetri.

Qua e là lungo le sponde settentrionali del lago alle quali ho potuto avvicinarmi, fra la rigogliosa vegetazione litoranea affiorava un terreno a conchiglie, evidente continuazione del fondo di melma fangosa a *Cerastoderma* raggiunto dalla draga Littoria sul fondo del lago. Da secoli lasciato alle forze operanti della natura, tranne qualche timido e sfortunato tentativo individuale recente di bonifica, esso aveva subito una rapida evoluzione: da lago costiero → stagno → torbiera.

La flora sommersa litoranea, diede luogo a imponenti sedimenti litoranei autoctoni, sui quali successivamente e progressivamente si estese la vegetazione di palude. Si formarono così le isole mobili di torba, alcune delle quali molto estese, che finirono col coprire buona parte del lago, e quella che si poteva ancora chiamare superficie libera dell'acqua non rappresentava, prima della bonifica, se non un ultimo residuo della zona litoranea a piante sommerse, i resti delle quali costituivano la parte più importante della melma che copriva ormai completamente il fondo del lago e che era destinata ad essere conquistata dalle piante di palude.

Le condizioni speciali di vita create dalla stagnazione e dalla vicinanza del mare, che se non agiva attualmente aveva agito storicamente, avevano ridotto il paesaggio vegetale ad una associazione di un limitato numero di specie: nell'acqua, in corrispondenza alla zona a piante sommerse, dominava la *Najas marina* accompagnata qua e là da un discreto sviluppo del *Myriophyllum spicatum*, mentre la pianta predominante delle isole torbose era il *Cladium mariscus*.

Un paesaggio quanto mai monotono e desolato, ove un'acqua immobile, limpida e giallognola copriva un fondo verde giallastro, caratterizzava quello che si chiamava Lago di Caprolace; esso era un chiaro documento del processo di interramento e di torbificazione di un bacino d'acqua prossimo alla sua fine.

## P A R T E I.

### Studio del lago di Caprolace prima della bonifica

Quando iniziai lo studio del Lago di Caprolace, vicino al varco molto modesto di S. Nicolò, che lo metteva in comunicazione col mare, lavorava una pompa allo scopo di asportare la melma del fondo per convogliarla nel mare; quindi, benchè ancora con intensità modesta, i lavori di bonifica, in corrispondenza allo specchio libero del lago, erano in atto.

Intanto i lavori di bonifica provvedevano a deviare il Rio Nocchia in modo che non sfociasse più nel lago di Caprolace. La nuova alveazione del Rio Nocchia venne collaudata nel marzo 1934, ma a partire dal febbraio 1934 si può calcolare che il lago non ricevesse più acque dolci superficiali.

Dall'aprile 1933 all'aprile 1934 furono prelevati campioni d'acqua e di melma nel Lago di Caprolace alle seguenti date:

20 aprile 1933 (raccolta fatta dal dott. MORANI)
20 giugno 1933 ( " " dall'autrice)
12 agosto 1933 ( " " dal dott. MORANI)
24 novembre 1933 }
10 febbraio 1934 } raccolte fatte dall'autrice
24 aprile 1934 }

Raggiunsi sempre il lago dalla parte della spiaggia marina attraverso il varco S. Nicolò di cui ho già detto, e di lì in barca raggiungevo la parte più centrale della zona d'acqua libera che si presentava sempre limpida e immobile.

### S T R U M E N T I D I R A C C O L T A U S A T I E M O D O D I R A C C O L T A D E I C A M P I O N I.

Per la raccolta della melma, prelevata sempre in corrispondenza alla parte più centrale del Lago, ove non era stata ancora agitata o, sia pure parzialmente, asportata, usai la prima volta una draga a messaggero che però risultò non adatta allo scopo in quanto le melme ne impedivano la chiusura ermetica necessaria per ricerche di indole microbiologica.

Sostituii quindi la draga a messaggero con un apparecchio molto semplice da noi ideato e fatto costruire (vedi tav. I fig. 4, 5).

Esso consta di un recipiente sferico di ferro formato da due pezzi emisferici che si chiudono ermeticamente a tenuta d'aria. I due emisferi cavi, rivestiti all'interno da stagno, sono portati all'estremità delle branche di una sorta di lunghissima tenaglia, col braccio della potenza formato da due pezzi allungabili fino a metri 3,50 e più. Uno dei due emisferi è munito di una sorta di rostro per penetrare agevolmente nel fango del fondo del lago. Il diametro interno della sfera era di 15 c.m.

L'apparecchio si immergeva a sfera chiusa, previa disinfezione, alla profondità voluta, alla quale si apriva; il gorgogliamento d'aria alla superficie segnava il graduale riempimento della palla col materiale melmoso. Dopo qualche minuto dalla cessazione del gorgogliamento, si chiudeva la palla e si estraeva dall'acqua. Si lavava all'esterno accuratamente e con mille precauzioni si versava il contenuto in barattoli di vetro nuovi e precedentemente sterilizzati che venivano chiusi ermeticamente.

Che le precauzioni prese siano state più che sufficienti, venne dimostrato dai risultati delle colture micobiche.

L'acqua del lago che servì alle analisi chimiche fatte a Milano fu raccolta con apposita pompa gentilmente prestatami dal prof. Brunelli, in modo tale da escludere che ai campioni d'acqua si mescolasse aria atmosferica.

### Dati fisiografici

TEMPERATURA.

Prelevammo le temperature soltanto due volte: una volta nella raccolta del giugno 1933 e una volta nel febbraio 1934.

20 giugno 1933; temperatura dell'acqua a contatto colla melma + 23° C.; temperatura dell'acqua in superficie + 24° C.

10 febbraio 1934; temperatura dell'acqua in superficie + 11° C.; temperatura della melma superficiale + 10° C. .

Per lo spessore di un metro al massimo dalla superficie dell'acqua, le differenze di temperatura che risultano dai dati sopra esposti non possono certamente aver avuto importanza nel determinare differenze di salsedine nell'acqua e nella melma; invece la temperatura molto alta dell'acqua e della melma nel semestre estivo deve aver favorito grandemente i fenomeni di produzione di  $H_2S$  e quindi lo sviluppo tanto delle forme viventi determinanti i fenomeni di decomposizione delle sostanze organiche quanto dei desulfuricanti.

## MISURE DEL PH.

Le misure del pH furono fatte da me e contemporaneamente dagli altri studiosi che mi aiutarono per la parte chimica.

L'acqua di Caprolace dal 1933 al 1934 aveva un pH oscillante fra 7,4 e 7,85.

Il filtrato di melme superficiali aveva il pH = 8,4, quello di melma profonda pH = 8,1 (GRANDORI e DE VITO), valori che si mantenne costanti durante l'anno dei prelevamenti. Osserviamo che le melme distinte da noi col nome di superficiale e profonda corrispondevano l'una alla parte della melma a contatto con l'acqua e l'altra alla melma che si trovava da metri 1,70 a metri 2,50 di profondità.

## ANALISI CHIMICA DELL'ACQUA DEL LAGO.

D'importanza fondamentale era la conoscenza della composizione chimica dell'acqua del lago e della melma, come delle variazioni che tale composizione subiva durante i lavori di bonifica. A tale scopo oltre al valermi di una analisi chimica dell'acqua fatta prima dell'inizio del mio studio dal dottor MORANI, mi valsi di analisi fatte dal dottor POLITI e dal dottor DE VITO.

Cosicché potei disporre, dal febbraio 1933 al febbraio 1934, di tre analisi, che, condotte presso a poco con gli stessi criteri, sono risultate preziose agli effetti delle deduzioni che ne ho potuto trarre per ricostruire l'evoluzione del lago in quel periodo.

Lavoravano in quel periodo ad intermittenza la draga « Roma » e la pompa, entrate nel lago attraverso la foce S. Nicolò.

Analisi dell'acqua del lago di Caprolace prelevata il 9 febbraio 1933

(Profondità cm. 30, a 50 metri di distanza dalla bocca di presa della pompa)

Analisi dell'acqua del lago prelevata il 20 giugno 1933 a 50 metri circa dalla bocca di presa della pompa. (1)

	Acqua superficiale	Acqua a 40 cm. di profondità
Cloruri (espressi come NaCl)	1,060 %	1,060 %
SO <sub>3</sub>	0,36 %	0,121 %
CaO	0,074 %	0,073 %
MgO	0,067 %	0,062 %
H <sub>2</sub> S (nessun odore all'atto del prelevamento)		

Analisi dell'acqua del lago di Caprolace prelevata il 14 febbraio 1934

(Profondità cm. 40, nella zona corrispondente a quelle degli altri prelevamenti)

Gas totali (spostati per ebollizione)	per litro di acqua	cc. 29,4
CO <sub>2</sub>	»	» 7,4
O <sub>2</sub>	»	» 4,4
N <sub>2</sub> (residuo non infiammabile)	»	» 17,6
Ossigeno dosato per via chimica	per »	» 3,75
CO <sub>2</sub> (% gas contenuto nell'acqua)		25,17
O <sub>2</sub> » » »		14,96
N <sub>2</sub> » » »		59,86
NaCl		0,4 %
SO <sub>3</sub>		0,03 %
Ossidabilità totale al permanganato (a caldo) mgr. di Ossigeno % d'acqua		1,7
MgO		0,092 %
H <sub>2</sub> S (nessun odore all'atto del prelevamento)		

Analisi chimica delle melme

Una prima analisi venne fatta dal dott. MORANI con melma prelevata il 9 febbraio 1933 nella stessa località in cui aveva prelevato l'acqua.

Contenuto in acqua della melma %	93,42
Sostanza secca della melma %	6,58
Azoto totale % sostanza secca	2,18
Perdita a fuoco % sostanza secca	59,40
Ceneri % sostanza secca	32,24
Anidride fosforica totale % sostanza secca	0,18
Silice e materie insolubili in acidi diluiti % sostanza secca	8,70

Una successiva analisi venne fatta con materiale da me raccolto nel febbraio 1934. Essa fu eseguita da dott. DE VITO su campioni di melma

(1) Il livello dell'acqua del lago era 30 cm. al disotto di quello del mare.

superficiale e melma profonda (m. 2,50), e secondo i criteri che più m'interessavano.

	Melma sup.	Melma prof.
Acqua % melma	96,43	91,08
Cloruro di Sodio % acqua: via ponderale	6,6	14,0
» » » : via volumetrica	6,8	15,5
Solfati	reaz. sensib.	reaz. sensib.
Solfo totale % acqua	0,12	0,20
Ossidabilità al permanganato (a caldo) in mg. di O% di acqua	6,4	8,4
Ossidabilità al permang. (a freddo) in mg. di O% di acqua	1,2	2,0
Consumo di ossigeno della sostanza organica disiolta in mg. di O% di acqua	5,2	6,4
Idrogeno solforato % acqua	0,018	0,018
Sostanza secca % melma	3,57	8,91
Sostanza organica (perdita a fuoco) % sostanza secca	52,56	49,01
Sostanze solubili in acqua % sostanza secca	32,77	21,52
Cloruro di sodio % sostanza secca	17,90	14,30
Azoto totale % sostanza secca	1,805	2,22
Azoto ammoniacale % sostanza secca	0,068	0,07
MgO % della melma	0,89	0,99
MgO % acqua circolante nella melma	0,92	1,08

Da questi dati si ricava il contenuto totale di NaCl e MgO della melma:

NaCl (acqua circolante + sostanza secca) %	12,6	25,10
MgO » » %	1,19	1,87

Analisi della pianta sommersa dominante: NAJAS MARINA

La melma essendo formata prevalentemente da materiale autoctono litoraneo e soprattutto dall'accumularsi dei resti della pianta predominante, la *Najas marina*, e del *Chlorococcum*, credemmo opportuno sottoporre ad analisi anche la monocotiledone.

Nelle piante lavate ed asciugate:	
Sostanza secca all'aria	10,53 %
id. a 100°	9,44 %

Nella sostanza secca:

Proteina greggia (Azoto tot. x 6,25):	
nelle piante raccolte nel mese di aprile	13,06 %
nelle piante raccolte nel mese di novembre	13,35 %
Grasso greggio (estratto eterico)	0,98 %
Ceneri	31,43 %

Nelle ceneri:

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,45 %
Cl	25,45 %
SO <sub>3</sub>	3,74 %
SiO <sub>2</sub>	7,80 %

ASPETTO E STRUTTURA DELLA MELMA SUPERFICIALE  
(Vedi tav. III, fig. 2).

Essa emanava appena raccolta e per lunghissimo tempo, conservata in barattoli ermeticamente chiusi, intenso odore di idrogeno solforato. Poco tempo dopo la raccolta, la sua superficie si ricopriva di uno straterello più chiaro, verde giallastro, lo stesso che essa presentava in natura sul fondo del lago. Tale straterello aveva lo spessore di qualche millimetro. In profondità la melma si presentava di colore bruno.

Lasciata all'aria, fino a perdere l'odore di  $\text{SH}_2$ , e trattata poi con acido solforico, sviluppava  $\text{SH}_2$ , rivelando quindi la presenza di sulfuri, ai quali probabilmente era dovuto il colore scuro della melma più profonda. Aveva un aspetto gelatinoso colloidale, soprattutto in superficie.

All'esame microscopico lo strato superficiale verde giallastro risultò composto prevalentemente dal *Chlorococcum infusionum* (Schrank) Meneghini, formante pseudo-tessuti, mentre la melma sottostante più scura risultò formata da grumetti di sostanza organica senza struttura cellulare, da brandelli di tessuti vegetali (abbondanti le epidermidi), da frammenti di radichette e copiosi involucri vuoti di clorococchi. Dispersi in questa massa prevalentemente di sostanza organica, si trovavano granelli di polline, frustoli di Diatomee e qualche guscio di Rizopode.

Si trattava di un sedimento dovuto a materiale in buona parte autoctono e in cui erano abbondanti i resti parzialmente decomposti delle piante dominanti.

ASPETTO E STRUTTURA DELLA MELMA PROFONDA  
DA M. 1.70 A M. 2.50.

Il colore della melma profonda era bruno, più scuro della melma superficiale, mai nero, sempre invece con tonalità gialla. All'analisi microscopica la melma profonda ha rivelato la stessa struttura di quella superficiale.

PROFILO VERTICALE DEL LAGO IN CORRISPONDENZA  
ALLA ZONA CENTRALE LIBERA.

In corrispondenza alla zona in cui raccolsi i campioni, la ricostruzione del profilo verticale del lago, in base ai dati da me raccolti, risulta la seguente (fig. 4):

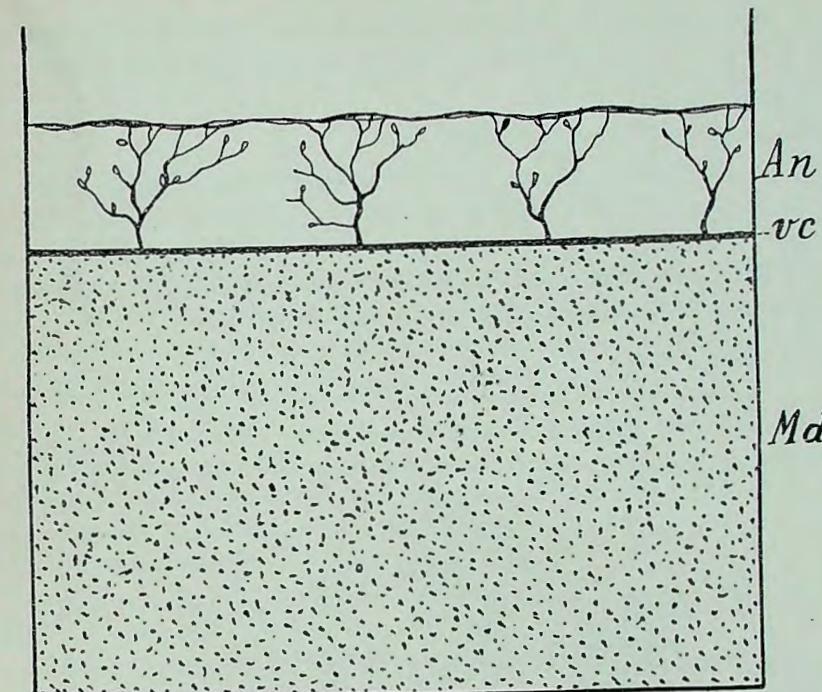


Fig. 4 — Sezione del Lago per tutto lo spessore della melma a desulfuranti (metri 3 circa) in corrispondenza alla parte centrale del Lago. — *An* = acqua libera con *Najas marina*; *vc* = strato superficiale a clorococchi della melma; *Md* = melma a desulfuranti.

Dati biologici

Interessandomi soprattutto lo studio della melma, sede dei più importanti fenomeni biochimici produttori di  $\text{SH}_2$ , limitai le mie ricerche biologiche alle melme stesse e allo strato dell'acqua immediatamente a contatto con esse.

Feei anche qualche esame microscopico dell'acqua del lago ad ogni raccolta, ma non vi rinvenni mai nulla di particolarmente interessante. In complesso la vita plantonica sembrava mancare quasi completamente.

DATI IDIOGRAFICI.

Monocotyledonae.

HELOBIAE

*Najas marina* L. — Specie d'acqua stagnante, che si trova nella sua forma tipica in tutta la penisola e in Sicilia. Segnalata per la zona litoranea dei laghi a piante sommerse; nel Lago di Caprolace rappresentava

tutta la flora sommersa nella parte centrale del Lago, e si mescolava verso le incerte rive al *Myriophyllum spicatum* (giugno, novembre 1933).

Dicotyledonae.

MYRTALES.

*Myriophyllum spicatum* L. — Pianta litoranea prosperante nella zona della vegetazione litoranea sommersa. Compare talvolta nei laghi del tipo a *Potamogeton* (classificazione dei laghi in base al tipo di vegetazione litoranea), che possono essere eutrofi, alcalitrofi e argillotrofi. Ne ho osservato un discreto sviluppo nell'aprile 1934.

Chlorophyceae:

*Chlorococcum infusionum* (Schrantz) Meneghini.

È una forma tipica delle acque stagnanti; fortemente mesosaprobia, per lo più galleggiante, ma anche ammassata sulle piante acquatiche som-



Fig. 5 — *Najas marina* L. — A il caule; f, fiore femminile; m, fiore maschile.

merse. Si presenta in varie forme che differiscono anche molto per la grandezza e per le esigenze fisiologiche. Gli esemplari da noi trovati presentavano diametri giungenti a 90 micron e più, soprattutto nelle melme da lungo tempo chiuse nei barattoli.

Allo stato vivente alla superficie della melma; presenti i soli involucri per tutto lo spessore della melma.

Bacillariaceae:

*Navicula rostellata* Knetz

» *cryptocephala* »

» » var. *veneta* (Knetz) Gonn.

*Amphora commutata* Gonn.

» *ovalis* Knetz var. *pediculus* Knetz.

*Cymbellaria* sp.

Le specie di Diatomee trovate nella melma superficiale, non presentavano altro che il guscio, tanto da far pensare che si trovassero allo stato subfossile. Il loro complesso dimostrava che esse erano specie d'acqua salmastra nessuna delle quali di particolare interesse.

Protozoi:

FLAGELLATI: *Phacus pyrum* (Ehrnb.) Stein. Forma tipica delle acque stagnanti segnalata dal PASCHER come oligosaprobia fino a catarobia. Ne trovai pochi esemplari.

*Synura uvella* Ehr. Secondo il REDEKE essa è da considerarsi come oligoalina e plantonica. Ne ho rinvenuti pochi esemplari.

*Anisonema truncatum* Stein. Tipica forma di acque stagnanti; catarobia fino ad oligosaprobia secondo PASCHER. Nei pochi esemplari da me studiati trovai qualche leggera differenza con la specie tipica raffigurata dal PASCHER. La lunghezza degli individui era di 45 micron circa.

Tutte e tre le specie sopracitate furono trovate alla superficie della melma superficiale.

*Cercomonas* sp.

*Hexamitus inflatus* Duj.

*Trepomonas agilis* Duj.

*Oicomonas termo* (Ehr.) S. Kent.

Queste quattro specie si svilupparono in grande quantità nei barattoli ove esemplari di *Najas marina* subivano il processo di putrefazione.

CILIATI: *Euplates balteatus* Duj. - È segnalato dal KAHL come forma tipica di acqua salmastra e marina, trovata a Kiele e a Cetze (acqua marina). Ne riunvetti parecchi esemplari.

*Diophrys appendiculata* Ehr. - È considerata specie d'acqua salmastra contenente NaCl fino al 0,3%, quindi è tipica di ambiente oligoalino tanto secondo il REDEKE come secondo il BRUNELLI.

*Lembus pusillus* Quennerst. segnalato come forma comune in acque salate del mar Baltico, leggermente o anche piuttosto fortemente inquinata da sostanze organiche putrescenti; si trova anche in acque dolci con-

tenenti molte piante in putrefazione, ma in tal caso presenta qualche differenza morfologica con la specie tipica. L'ottenni in gran numero con i caratteri della specie tipica nel barattolo contenente infuso di *Najas marina*.

*Paramecium Calkinsi* Woodr. specie eurialina secondo il KAHL; essa si trova tanto nelle acque dolci come nelle acque salate.

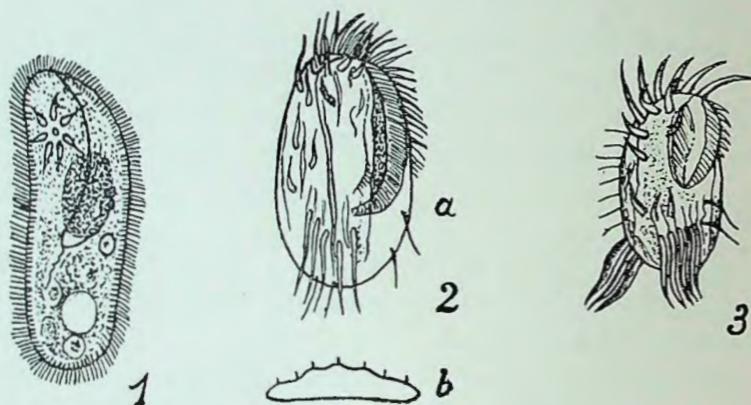


Fig. 6 — Ciliati tipici di acque salmastre: 1, *Paramecium Calkinsi*; 2, *Euplotes balteatus* (a, ventralmente; b, profilo trasversale); 3, *Diophrys appendiculata*.

*Uronema marinum* Duj. Secondo il WETZEL è euroxibionte e più o meno indifferente alla presenza di minime quantità di idrogeno solforato.

*Chilodon* sp.

*Aspidisca* sp.

Tutte le specie di Ciliati furono trovate alla superficie della melma superficiale.

#### Le forme batteriche produttrici di $\text{SH}_2$ .

ARNAUDI è riuscito ad isolare dalla melma due gruppi di batteri: gruppo A, riduttori di solfati; gruppo B, riduttori di iposolfati e decomponenti le sostanze proteiche.

**Gruppo A** — ARNAUDI ha ottenuto 4 ceppi desulfuricanti distinti da lui con a b c d; il primo proveniente dalla melma superficiale, gli altri tre dalla melma profonda. Tutti e quattro i ceppi sono riferibili al *Vibrio desulfuricans* di Baars, e hanno prodotto, coltivati in liquido di VAN DELDEN, dopo 28 giorni di coltura, notevoli quantità di  $\text{SH}_2$ .

Lo stipite a della melma superficiale, vive bene con una soluzione al 3% di NaCl, mentre il ceppo d della melma profonda vive ancora abbastanza bene in una soluzione del 5,5% di NaCl. Essi si dimostrarono tutti anaerobi obbligati, fermentarono e acidificarono il glucosio, il maltosio, il saccarosio.

**Gruppo B.** — ARNAUDI isolò dalle melme 15 ceppi di batteri decomponenti le sostanze proteiche e riduttori degli iposolfati. Di questi 15 ceppi, cinque sono di batteri aerobi obbligati, 5 di aerobi facoltativi, 4 di anaerobi facoltativi.

Anche questi batteri si sviluppano bene in liquido di VAN DELDEN, senza però sviluppare  $\text{SH}_2$ . Tutti i ceppi decompongono le sostanze proteiche fino a  $\text{SH}_2$ , mentre soltanto otto producono  $\text{SH}_2$  dai tiosolfati.

Tutti dimostrano una buona resistenza a NaCl, anzi per alcuni di essi una piccola quantità di NaCl è utile per attivare la produzione di  $\text{SH}_2$ .

**Osservazione.** — Nel suo lavoro ARNAUDI non specifica l'origine dei ceppi decomponenti le sostanze proteiche, quali di essi cioè furono ottenuti dalla melma superficiale e quali dalla melma profonda.

D'altra parte ci sembra incompatibile la presenza contemporanea di anaerobi obbligati, quali sono i desulfuricanti, con aerobi obbligati, quali sono cinque dei quindici ceppi decomponenti le sostanze proteiche trovate dal citato autore.

È ragionevole quindi pensare che questi cinque ceppi derivino esclusivamente dagli strati più superficiali della melma, ove la presenza di cloroficee segnala la produzione di ossigeno.

È certo che anche in Caprolace l'inizio del ciclo del solfo era segnato dai batteri della putrefazione, per il lavoro dei quali presumibilmente venivano liberati gli aminoacidi ed altre sostanze necessarie anche alla nutrizione dei desulfuricanti. Una volta iniziata la putrefazione, i batteri anaerobi liberanti  $\text{SH}_2$  dai derivati delle proteine e batteri desulfuricanti probabilmente gareggiavano nello sfruttamento degli aminoacidi come fonte di sostanze azotate, e difficile quindi sarebbe il decidere quale dei due gruppi prevalesse sull'altro in natura.

#### Microrganismi consumatori di $\text{SH}_2$

Alla superficie libera della melma raccolta nei barattoli, si trovò più volte all'esame a fresco, una specie di *Beggiatoa* e un'altra specie unicellulare contenente, come la *Beggiatoa*, cristallini di solfo. Anche l'ARNAUDI centrifugando l'acqua di Caprolace riuscì ad ottenere la *Beggiatoa*.

Risultarono invece completamente mancanti i batteri verdi e rossi fotosintetici sulfuricanti, malgrado che la piccola profondità del lago e la sua fortissima trasparenza permettessero l'arrivo di molta luce sul fondo.

Tale assenza si può spiegare col fatto che proprio la trasparenza dell'acqua e dell'atmosfera per un lungo periodo dell'anno, tipica del clima Mediterraneo, permetteva lo sviluppo rigoglioso, oltre che delle piante verdi sommerse, anche delle cloroficee formanti una vera coltre ricoprente il fondo, che, per buona parte dell'anno assicurava una produzione di ossigeno alla superficie della melma che impediva lo sviluppo dei desulfuricanti anaerobi obbligati.

Tuttavia l'ossigeno, se impediva il formarsi d'ambiente anaerobio, favoriva certamente l'ossidazione di notevole quantità di  $SH_2$  per pura via chimica.

Forme viventi riscontrate subito dopo o poco dopo la raccolta del materiale di studio.

Per potere avere un'idea precisa delle forme prosperanti in gran numero di individui nella melma superficiale in natura, nelle raccolte nel giugno e novembre 1933, febbraio e aprile 1934, feci l'esame al microscopio della melma superficiale o poche ore dopo la sua raccolta (chiedendo in tal caso ospitalità al Laboratorio di Zoologia della R. Università di Roma) oppure il giorno dopo la raccolta appena giunta a Milano.

Ecco i risultati dell'osservazione:

**GIUGNO 1933** : la superficie della melma risulta formata da numerosi Clorococchi isolati o formanti pseudo-tessuti. Nessun protozoo nè a fresco nè dopo parecchi giorni dalla raccolta.

**NOVEMBRE 1933** : numerosi Clorococchi verdi, formanti anche pseudo-tessuti. Dopo qualche giorno erano visibili le seguenti specie di protozoi:

**FLAGELLATI**: *Anisonema truncatum*; *Phacus pyrum*, *Synura uvella* *Trepomonas agilis*, *Hexamitus inflatus*.

**CILIATI**: *Euplotes balteatus*, *Uronema marinum*, *Paramecium Calkinsi*, *Diophrys appendiculata*, *Chilodon* sp.

**FEBBRAIO 1934** : Clorococchi scolorati, o giallo aranciato. Nessun protozoo, neppure dopo qualche tempo dalla raccolta.

**APRILE 1934** : qualche raro Clorococeo. Nessun protozoo, neppure parecchi giorni dopo la raccolta.

#### Le colture impure dei desulfuricanti

Mentre le colture pure fatte dall'ARNAUDI avevano lo scopo di delimitare con esattezza le esigenze fisiologiche dei desulfuricanti, le colture impure da me fatte dovevano servire invece a seguire il fenomeno della desulfuricazione durante un intero anno con materiale prelevato in diversi periodi, per farmi un'idea dell'andamento del processo di desulfuricazione nell'ambiente di Caprolace.

Le colture vennero fatte in tubi graduati alti e stretti, a tappo smegliato. L'anaerobiosi fu ottenuta ricoprendo il liquido nutritizio con uno strato di olio di vaselina e assicurando la chiusura ermetica dei tappi con vaselina. I tubi seminati venivano posti in termostato alla temperatura di + 28° C.

Come materiale da semina per gli esperimenti con le melme usai nelle prime colture qualche milligrammo di melma; in seguito uno o due cc. di filtrato di melma. Per le prove con sabbia marina usai per la semina qualche milligrammo di sabbia.

La ricerca quantitativa di  $SH_2$  venne fatta con soluzione di iodio 0,02n. e tiosolfato sodico 0,02n. (Analisi volumetrica).

La ricerca dei desulfuricanti nella sabbia di mare venne fatta per verificare quale fosse la diffusione di questi batteri anaerobi in tutta la zona interessante la bonifica del Lago di Caprolace.

La soluzione nutritizia da noi usata fu quella di VAN DELDEN. Per liquido solvente si è usato acqua di fonte o acqua marina raccolta a 50 metri circa dalla linea di spiaggia prospiciente il Lago di Caprolace e dove l'acqua di mare era ancora molto bassa.

Riportiamo nelle seguenti tabelle i risultati ottenuti con le colture impure.

Risultati degli esperimenti sulla riduzione dei solfati

TABELLA 1.

Data della raccolta del materiale	Natura del materiale	Profondità	Materiale usato per la semina	Soluzione nutritizia usata	Contenuto in NaCl %	Durata della coltura	Quantità di SO <sub>3</sub> ridotta (mg. per litro)	Percentuale di SO <sub>3</sub> ridotta
20 aprile 1933	melma	superficiale	5 mgr. di melma	Soluz. Van Delden <i>Aqua fontis</i> 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O » 7	0 %	11-19 giugno 1933	9.26	0.4 %
id.	id.	id.	id.	id. (1) MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O gr. 5	0 %	id.	295.35	18 %
id.	id.	id.	id.	id. (1) MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O gr. 3	0 %	id.	491.18	50 %
20 giugno 1933	melma	60-80 cm. dalla superficie dell'acqua (profondità H <sub>2</sub> O cm. 50)	5 mgr. di melma	<i>Aqua fontis</i> 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O » 3	0 %	dal 23 giugno al 14 luglio 1933	17.7	2 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.5 %	id.	43.47	4.5 %
id.	id.	id.	id.	id.	1 %	id.	195.35	20 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	16.39	1.6 %
id.	id.	id.	id.	id.	2 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	2.5 %	id.	68.15	7 %
id.	id.	id.	id.	id.	3 %	id.	nulla	—
15 agosto 1933	id.	superficiale	2 cc. di filtrato di melma	H <sub>2</sub> O dist. 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O » 3 tracce di CaCO <sub>3</sub>	0 %	8-23 settembre 1933	19.8	2 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.5 %	id.	22.97	2.4 %
id.	id.	id.	id.	id.	1 %	id.	38.81	4 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	42.77	3.5 %
id.	id.	Profond. m. 1,70 dalla superf. dell'acqua	id.	id.	0 %	id.	16.63	1.6 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.5 %	id.	24.55	2.5 %
id.	id.	id.	id.	id.	1 %	id.	34.85	3.5 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	27.72	2.9 %
id.	id.	id.	id.	id.	2 %	id.	18.22	1.9 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.5 %	id.	579.7	60 %
24 novembre 1933	melma	superficiale	2 cc. di filtrato di melma	<i>Aqua fontis</i> 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O » 3	0 %	dal 28/XI al 28/XII 1933	832	85 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.7 %	id.	808	82 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.4 %	id.	681	70 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.1 %	id.	745	77 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.8 %	id.	423	43 %
id.	id.	m. 2.50	id.	id.	0 %	id.	672	69 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.7 %	id.	859	88 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.4 %	id.	752	77 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.1 %	id.	709	72 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.8 %	id.	812	83 %
10 febbraio 1934	melma	superficiale	id.	<i>Aqua fontis</i> 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O » 5	0 %	dal 14/II al 7/III 1934	110	6 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.7 %	id.	47	2.8 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.4 %	id.	53	3.2 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.1 %	id.	57	3.5 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.8 %	id.	129	7 %
id.	id.	m. 2.50	id.	id.	0 %	id.	120	7.5 %
id.	id.	id.	id.	id.	0.7 %	id.	971	59 %
id.	id.	id.	id.	id.	1.4 %	id.	22	1.3 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.1 %	id.	507	31 %
id.	id.	id.	id.	id.	2.8 %	id.	267	16 %

(1) Intendesi che tutte le sostanze della soluzione sono le stesse, come sopraindicato, tranne la percentuale di solfato di magnesio.

Risultati degli esperimenti sulla riduzione dei solfati usando acqua di mare per la soluzione nutritizia.

TABELLA 2.

Data della raccolta del materiale	Natura del materiale	Profondità	Materiale usato per la semina	Soluzione nutritizia	Durata della coltura	Quantità di $\text{SO}_3$ ridotta (mg. per litro)	Percentuale di $\text{SO}_3$ ridotta
20 novembre 1933	melma	superficiale	2 cc. di filtrato di melma	Acqua di mare 1000 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1	dal 28/XI al 28/XII del 1933	1296	79 %
id.	id.	m. 2,50	id.	id.	id.	193	11 %
id.	sabbia marina	superficiale	gr. 2 di sabbia marina	id.	—	—	—
id.	sabbia marina	m. 1	gr. 2 di sabbia marina	id.	—	754	46 %
10 febbraio 1934	melma	superficiale	2 cc. di filtrato di melma	14 febbraio 7/III 1933	—	—	—
id.	id.	m. 2,50	id.	id.	—	1297	79 %
id.	sabbia marina	m. 1	gr. 2 di sabbia marina	id.	id.	1132	69 %
id.	Controllo	—	—	id.	id.	65	4 %
20 aprile 1934	melma	superficiale	1 cc. filtrato melma	24 aprile 10/V 1933	—	107	6 %
id.	melma	m. 2,50	1 cc. filtrato melma	id.	—	72	4.4 %
id.	sabbia marina	m. 0.70	gr. 3 di sabbia marina	id.	—	256	15 %
id.	Controllo	—	—	id.	id.	938	57 %
					id.	619	38 %

### Considerazioni sui dati analitici e discussione

E' giunto ora il momento di confrontare i dati fisiografici con quelli biologici per giungere alla ricostruzione dell'ambiente limnologico del Lago di Caprolace.

Per quel che riguarda il pH, il lago tendeva evidentemente al tipo alcalino; e sul suo alto valore ha certamente influito l'attività del Clorococco e quel complesso di condizioni che caratterizzavano l'età avanzata del lago.

Scarso era l'ossigeno sul fondo del lago e si può presumere che in certi periodi dell'anno l'acqua ne fosse sprovvista, almeno negli strati più profondi, perchè attivamente consumato nell'ossidazione di  $\text{SH}_2$ .

Per quel che riguarda lo spettro salino dell'acqua del lago, misurato secondo il contenuto in Cl, i dati concordanti del dott. MORANI, del dottor POLITI e del dott. DE VITO, fanno assegnare il lago di Caprolace al tipo oligoalino, con una oscillazione annua nella concentrazione in  $\text{NaCl}$  che va dal 0,4 % all' 1 %, oscillazione certamente dovuta al calore e alla siccità estive, con conseguenti fenomeni d'intensa evaporazione.

### PARAGONE FRA L'AMBIENTE CHIMICO DELL'ACQUA E QUELLO DELLA MELMA.

Se paragoniamo la composizione chimica della melma superficiale con quella della melma profonda non troviamo differenze notevoli. Invece il confronto fra la composizione chimica delle melme e quella dell'acqua rivela profonde differenze che delimitano nettamente i due ambienti.

Mentre infatti la differenza in contenuto di  $\text{NaCl}$  fra melma profonda e superficiale, per lo spessore di due metri circa, rientra nelle differenze comuni in simili ambienti in relazione all'aumento di profondità, la differenza nel contenuto in  $\text{NaCl}$  fra acqua del lago e melma sottostante è di tale entità da far pensare al contributo di potenti fattori in cui la stagnazione non è quello di maggior importanza.

Si tratta cioè di un salto netto nel contenuto in  $\text{NaCl}$  fra un liquido stagnante e un terreno melmoso sottostante; e precisamente il contenuto in  $\text{NaCl}$  del terreno melmoso superficiale era in inverno 32 volte circa quello dell'acqua, (il contenuto in  $\text{NaCl}$  della melma a m. 2,50 di profondità era 67 volte quello dell'acqua).

Per spiegare il fenomeno si può pensare al contributo dei seguenti fattori:

a) Infiltrazione di acqua marina nelle parti più profonde del lago e che rispettasse soltanto l'acqua superficiale;

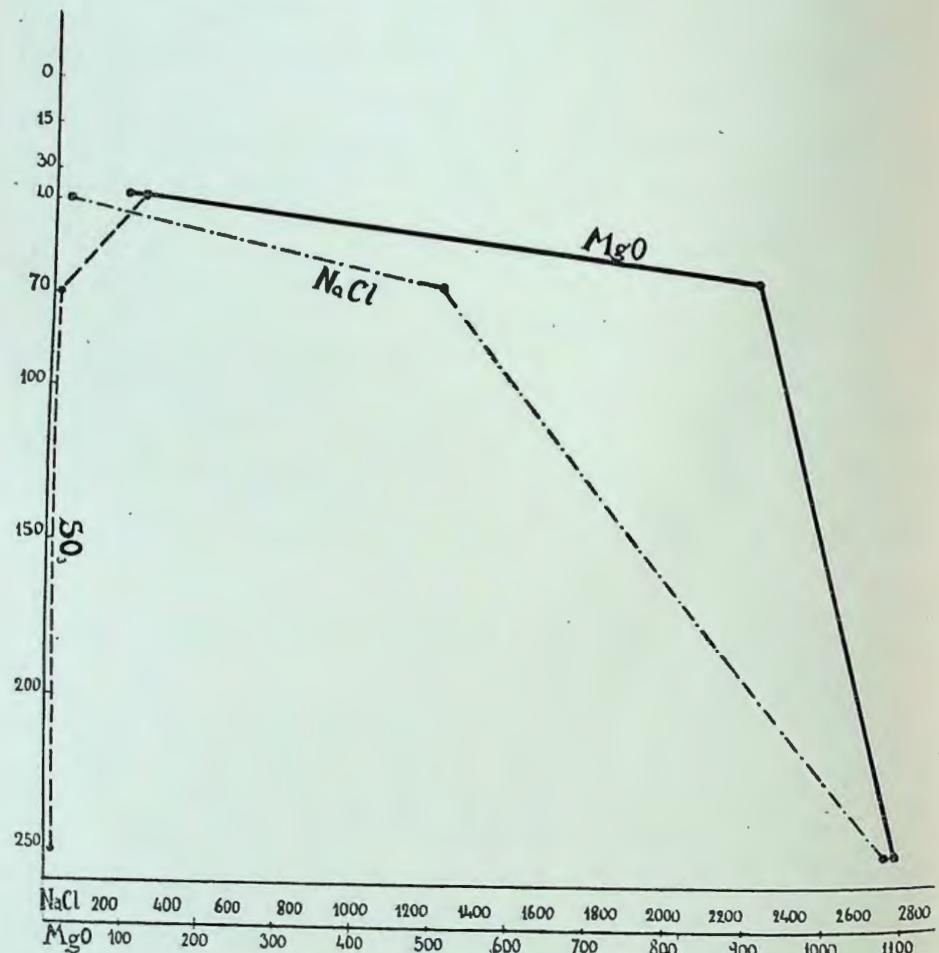


Fig. 7 — Diagramma mostrante la forte differenza nel contenuto in elettroliti fra acqua del lago (40 cm. di profondità) e melma (oltre i 40 cm. fino a metri 2,50) alla data del 14 febbraio 1934. Per il contenuto in elettroliti della melma si è tenuto conto di quello complessivo, acqua circolante + sostanza secca.

Sulle ascisse: NaCl in centigrammi per litro; MgO in mgr. per litro. Sulle ordinate: profondità (acqua + melma) a cui furono prelevati i campioni che hanno servito alle analisi.

b) mancata diffusione dei sali dalla melma all'acqua come conseguenza della stagnazione, nel senso che l'acqua dolce portata dai rii al lago e quella pluviale venivano a stendersi sulla melma ad acqua circolante più densa senza mescolamento dei due liquidi;

c) grandioso fenomeno naturale d'adsorbimento elettivo di elettroliti contenuti nella melma da parte delle sostanze colloidali, di cui essa risultava in forte quantità costituita.

Io propendo a dare grande importanza al fattore c), in quanto che il salto fra la concentrazione in NaCl dell'acqua e della melma era tale da rendere improbabile che a lungo andare la stagnazione (che non era poi in modo costante completa) potesse vincere la forte tensione degli elettroliti della melma.

È vero che proprio in acque salmastre stagnanti si è verificato il fenomeno della stratificazione, per il quale le acque dolci si stendono su acque salate profonde senza mescolarsi; ma il fenomeno si riferisce a bacini profondi e non è per nulla collegato alla presenza di imponenti masse di sostanza colloidale, come è nel caso nostro. D'altra parte, ammettendo l'infiltrazione marina, essendo il livello del fondo melmoso del lago, e per buona parte dell'anno anche il livello dell'acqua, al disotto del livello marino, resterebbe inespllicable come l'infiltrazione marina dovesse rispettare l'acqua del lago per quel che riguarda il suo contenuto in sale. A meno che alla pressione del liquido filtrante non si opponesse una forza riconducibile alle azioni di superficie esercitate da masse colloidali.

Cosicché io giungo alla conclusione che il fenomeno della stagnazione e la forza attualmente operante del mare, soltanto in minima parte potrebbero essere stati la causa dell'ingente differenza nella concentrazione di NaCl fra acqua e melma. E forse, pur tenendo conto delle forze attuali in gioco, giova alla spiegazione del fenomeno la ricostruzione storica delle vicende del lago dedotta dalle analisi chimiche.

Infatti il lavoro della draga Littoria ha fatto raggiungere una melma fangosa, che ha dimostrato essere un sedimento marino (calcolato dello spessore di venti metri), con un alto contenuto in NaCl.

Su questo giacimento marino appoggia direttamente la melma a desulfuricanti, pure ad alta salsedine, prevalentemente formata da residui di una flora sommersa litoranea.

Le piante sommerse ora prosperanti, come la *Najas* e il *Myriophyllum*, sono certamente forme relitte di un'originaria flora litoranea che traeva le sostanze nutritive da un terreno per origine ricco di NaCl, e, come accade in parecchie piante alofite e come è rivelato dall'analisi chimica sopravvissuta della *Najas*, questo NaCl doveva essere assorbito in notevole quantità da tali piante. Infatti l'altissimo contenuto in Cl della *Najas marina* (25% delle ceneri) è solo paragonabile a quello di piante tipicamente marine (*Zostera*).

Io penso che, morendo la *Najas*, pianta annuale, e formando sul fondo una coltre prevalentemente costituita da sostanze organiche, le

particelle colloidali residuate dalla sua parziale decomposizione esercitassero una energica azione di adsorbimento elettivo su alcuni elettroliti, accumulati in vita dalla pianta nei suoi tessuti, soggetti alle pure forze fisico-chimiche dopo la morte della pianta.

La mia interpretazione avvalora gli esperimenti e le deduzioni che da essi ha tratto W. OHLE, il quale dimostrava sperimentalmente che terreni contenenti sostanze vegetali di varia natura in decomposizione, hanno la capacità di adsorbire elettroliti contenuti in soluzione acquosa ( $Ca^{++}$ ). Ne deduceva OHLE che l'acqua di fondo di un bacino contenente elettroliti in soluzione, arrivando a contatto con sedimenti melmosi contenenti *humus*, può disperdere gli elettroliti nei sedimenti stessi. Concludeva OHLE che il fenomeno poteva essere comune in natura. In effetto esso si verificava nel lago di Caprolace con grandiosità di manifestazione e con conseguenze che hanno influito fortemente sull'evoluzione del lago (38).

\* \* \*

Un'altra differenza notevole fra la melma e l'acqua, si ha nel contenuto in solfati, che nell'acqua era quantitativamente apprezzabile, mentre nella melma, per tutto il suo spessore, era presente soltanto in tracce.

Si ha dunque un fenomeno inverso a quello segnalato per il cloruro di sodio, ed esso rivela che i *solfati*, da qualunque parte provenissero, appena giunti nello strato melmoso a desulfuricanti erano sottoposti, per azione di questi, a rapida riduzione.

Dato che quasi sempre la melma ha rivelato presenza di forme viventi di desulfuricanti, è necessario concludere che essi ricevevano sempre nuovo apporto di solfati, in parte derivanti dall'ossidazione chimica e biochimica di  $SH_2$  nello straterello superficiale della melma a clorococchi e in seno alle acque di Caprolace, in parte provenienti dalle acque dolci e in parte anche dalla zona più profonda della conca.

In quanto alla differenza nel contenuto in  $MgO$  fra acqua e melma, è da notarsi che esso è nella melma dieci volte superiore a quello dell'acqua, quindi la differenza è sempre molto minore di quella che si è riscontrata per il contenuto in  $NaCl$ .

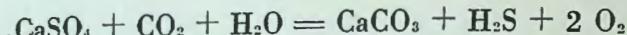
Dall'analisi chimica risulta che l' $MgO$  della melma non può essere legato a  $SO_4$ , mancante o quasi nello strato a desulfuricanti, e soltanto una piccola parte può essere legato a  $Cl$ . È molto probabile quindi che la maggior parte di  $MgO$ , come di  $CaO$ , fosse presente nella melma allo stato di bicarbonato derivante dai carbonati che, almeno in parte, si for-

## Fermentazioni anaerobiche nelle melme di Caprolace

TABELLA 3.

Soluzione nutritizia	sostanza usata per la semina	Quantità di cistina ridotta	Presenza di acido butirrico
Acqua 1000 glucosio 5‰ NaCl 7‰ cistina 2‰	1 cc. filtrato melma superficiale . . . . .	204/1000	—
idem	1 cc. filtrato melma profonda . . . . .	440/1000	+
idem	3 gr. sabbia superficiale	744/1000	+
idem	3 gr. sabbia profonda .	684/1000	+
Acqua 1000 glucosio 5‰ NaCl 14‰ cistina 2‰	1 cc. filtrato melma superficiale . . . . .	608/1000	+
idem	1 cc. filtrato melma profonda . . . . .	528/1000	++
idem	3 gr. sabbia superficiale	456/1000	—
Acqua 1000 glucosio 5‰ NaCl 21‰ cistina 2‰	1 cc. filtrato melma superficiale . . . . .	288/1000	++
idem	1 cc. filtrato melma profonda . . . . .	416/1000	+
idem	3 gr. sabbia superficiale	424/1000	—
idem	3 gr. sabbia profonda .	456/1000	—
Acqua 1000 glucosio 5‰ NaCl 28‰ cistina 2‰	1 cc. filtrato melma superficiale . . . . .	228/1000	+
idem	1 cc. filtrato melma profonda . . . . .	48/1000	—
idem	3 gr. sabbia profonda .	428/1000	—
idem	3 gr. sabbia superficiale	300/1000	—
Acqua 1000 glucosio 5‰ cistina 2‰	1 cc. filtrato melma superficiale . . . . .	408/1000	++
idem	1 cc. filtrato melma profonda . . . . .	432/1000	?
idem	3 gr. sabbia superficiale	584/1000	—
idem	3 gr. sabbia profonda .	532/1000	—

mano nel ciclo biochimico dello zolfo e che riassumo nella seguente equazione:



in cui l'ossigeno è quello usufruito dai microrganismi desulfuricanti.

Il *Vibrio* (= *Microspira*) *desulfuricans* è infatti considerato come produttore indiretto di carbonato di calcio (37).

#### SULLA PRODUZIONE DI CO<sub>2</sub> NELLA MELMA A DESULFURICANTI.

Tanto per il ciclo del zolfo come per la formazione dei bicarbonati in seno alla melma, è necessario ammettere la produzione di notevoli quantità di CO<sub>2</sub> nella melma stessa. E' noto come in ambienti ricchi di sostanza organica e anaerobi si verifichino fenomeni di fermentazione anaerobica con lo sviluppo di acido butirrico e di CO<sub>2</sub>.

Per dimostrare lo svolgersi di un tale processo nella melma effettuai delle colture impure usando filtrato di melma o sabbia della spiaggia marina di Caprolace come materiale da semina. Riporto a titolo di documentario le tabelle riguardanti tali esperimenti. Usai per essi gli stessi tubi adoperati per le culture anaerobiche dei desulfuricanti. Il liquido nutritizio conteneva il glucosio come idrato di carbonio, e la cistina fonte di azoto e di zolfo.

Dai dati della Tabella 3 appare chiaramente che nella melma erano attivi e presenti i microrganismi della fermentazione butirrica anaerobica, mentre nella sabbia marina di Caprolace essi erano presenti in via del tutto accidentale. Concludendo, per quanto dimostrato indirettamente, si deve ammettere lo sviluppo di forti quantità di CO<sub>2</sub> nella melma.

#### SULLA PRODUZIONE DI SH<sub>2</sub>.

In quanto al fenomeno della produzione di SH<sub>2</sub>, che aveva richiamato la nostra attenzione, lo studio del suo andamento durante un anno intero, mi ha rivelato che, mentre la riduzione dei solfati non sempre si verificava, nei barattoli di prova, colla stessa intensità, avendosi talvolta risultati trascurabili, la produzione di SH<sub>2</sub> dalla cistina ha sempre dato nei barattoli di prova notevoli risultati.

Soltanto col materiale melmoso prelevato nel novembre 1933, tutti i barattoli usati per le colture impure dei desulfuricanti diedero percentuali altissime nella riduzione dei solfati presenti.

Nel febbraio 1934 invece vi è stata una netta differenza fra melma

superficiale e profonda, che si dimostrò in questo periodo molto più attiva della superficiale nei fenomeni di desulfurazione.

Tale risultato è in pieno accordo con la diminuzione riscontrata, all'atto dei prelevamenti, nella produzione di SH<sub>2</sub> da parte della melma, diminuzione che con tutta probabilità ha determinato quella di SO<sub>3</sub> nell'acqua sovrastante la melma.

Il fenomeno più imponente di riduzione di SO<sub>3</sub>, dal punto di vista della quantità assoluta di SO<sub>3</sub> ridotta, si è verificato nelle colture impure fatte con acqua di mare, che diedero un massimo di mgr. 1297 di solfati ridotti per litro.

Tuttavia nell'aprile del 1934, il controllo degli esperimenti di desulfurazione fatti usando come liquido solvente della soluzione nutritizia l'acqua di mare, mi dava un risultato del tutto inaspettato (vedi tabella 2). E cioè anche nel controllo in cui non era stata fatta semina alcuna con melma o sabbia di mare, si verificò il fenomeno della desulfurazione per ben il 38% di SO<sub>3</sub> presente. D'altra parte le colture impure fatte usando acqua di fonte come solvente nella soluzione nutritizia e seminando sabbia marina prelevata alla profondità di circa un metro, hanno rivelato l'esistenza dei desulfuricanti anche nella sabbia marina.

Ora la sabbia marina e l'acqua di mare da me usate erano state prelevate in corrispondenza alla spiaggia marina prospiciente il lago di Caprolace, in vicinanza quindi alla zona in cui veniva scaricata mediante la pompa, e sia pure con portata modesta, la melma del lago fra il 1933 e il 1934.

Quindi, anche indipendentemente dall'esistenza di desulfuricanti nella sabbia marina di profondità, essi potevano essere riportati verso la spiaggia coi nuclei di sostanza organica melmosa per effetto del moto ondoso.

Qualunque sia la spiegazione, è indubitato che l'acqua marina, usata per le colture impure dei desulfuricanti, prelevata a 50 metri circa dalla linea di spiaggia, ove l'acqua era ancora bassa, conteneva i batteri desulfuricanti.

Vedremo che risultati simili ho ottenuto con l'acqua di mare dopo la bonifica della draga Littoria, che mi hanno fatto giungere alla conclusione che la draga Littoria e la pompa relativa avevano praticamente sgombrato il lago dai desulfuricanti per popolarne la spiaggia marina prospiciente ove si mantenevano in buon numero e ben vitali alla fine del 1936.

Dai risultati di tutte le colture impure da me fatte devo dedurre che in tutta la zona di Caprolace, comprendente la melma del lago, le sab-

bie profonde marine, le acque marine in vicinanza alla spiaggia, si trovavano nuclei di desulfuricanti.

Impossibile decidere, sui dati da me posseduti, quale dei due gruppi, i desulfuricanti e i produttori di  $SH_2$  dalle proteine, producesse maggior quantità assoluta di  $SH_2$ , e quale dei due predominasse nei vari periodi dell'anno.

**VARIAZIONI NEL CONTENUTO DI ALCUNI COMPOSTI DELL'ACQUA DEL LAGO DAL FEBBRAIO 1933 AL FEBBRAIO 1934.**

Nei diagrammi qui riportati risulta evidente l'andamento nel contenuto delle varie sostanze minerali durante questo periodo.

Infatti risulta che il contenuto in  $NaCl$  oscillò durante l'anno per ritornare allo stesso valore; probabilmente tale oscillazione, trattandosi di un bacino chiuso e soggetto a forte evaporazione, è dovuta all'alternarsi del periodo di siccità estiva con quello di piovosità invernale. Invece tutt'altro andamento presentano le spezzate del diagramma che riguardano il contenuto in  $SO_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ .

È evidente che per questi costituenti non hanno avuto valore le variazioni stagionali, cosicché essi hanno un andamento del tutto indipendente da quello di  $NaCl$ . Inoltre la spezzata di  $SO_3$  è nettamente in antagonismo con quella di  $MgO$ , di cui possiedo dati completi, e con tutta verosimiglianza anche con quella di  $CaO$ , come ho rappresentato nella estrapolata.

Una prima deduzione che si può fare su questo antagonismo è che  $MgO$  e  $CaO$  non dovevano essere in nessun modo allo stato di solfati. In quanto alla diminuzione continua di  $SO_3$  si può pensare che essa fosse dovuta ad una avvenuta rottura nell'equilibrio della circolazione del solfo fra acqua e melma. Una prova in favore di questa ipotesi si ha nel fatto che tutti i miei prelevamenti di acqua del lago a contatto della melma segnalarono assenza completa in essa di  $SH_2$ , mentre l'acqua raccolta prima di me dal dottor MORANI nella stessa località e alla stessa profondità conteneva idrogeno solforato all'atto del prelevamento.

E' quindi evidente che i lavori di bonifica in atto, pur rispettando ancora una forte massa della melma là ove noi facevamo i prelevamenti, avevano diminuito la produzione di  $SH_2$  da parte della melma stessa, forse per il diminuito apporto di sostanza organica delle piante autoctone che andavano gradatamente scomparendo. È quindi da presumere che l' $SH_2$  sviluppantesi dalla melma fosse, in quel periodo, ossidato completamente nello straterello superficiale a Clorococchi, e che quindi i solfati fossero sottratti all'acqua da parte della melma, senza che all'acqua stessa venisse restituito il solfo sotto forma di  $SH_2$ .

Più difficile rimane da spiegare la causa del continuo aumento nell'acqua di  $MgO$  e di  $CaO$ . Essi non erano provenienti da solfati e in

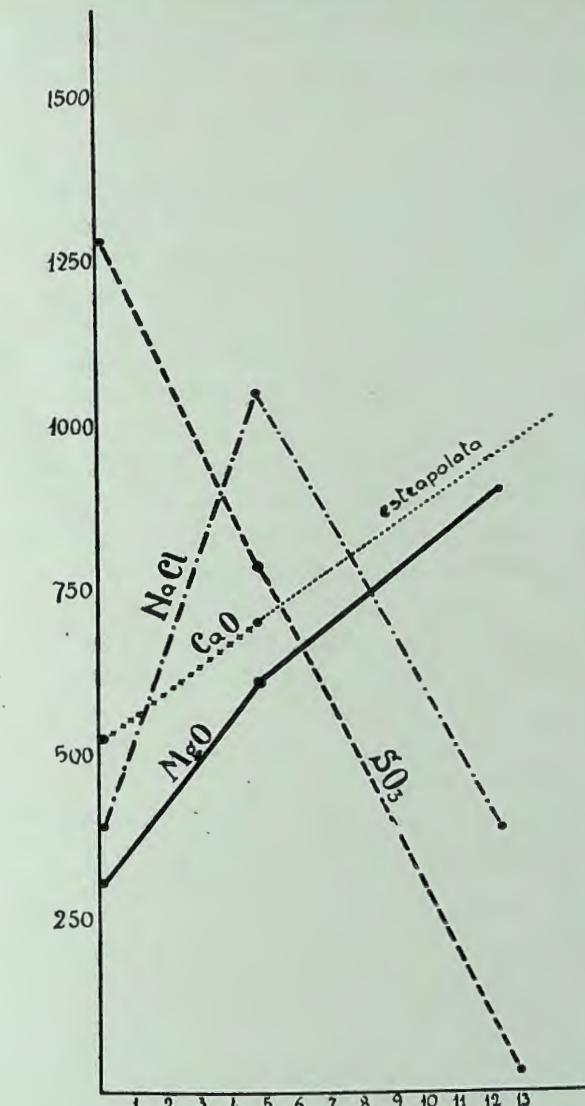


Fig. 8 — Diagramma mostrante le variazioni della concentrazione degli elettroliti nell'acqua del lago di Caprolace dal febbraio 1933 al febbraio 1934.

Sulle ascisse: il numero dei mesi, a partire dal 1<sup>o</sup> febbraio 1933. Sulle ordinate:  $MgO$  e  $CaO$  espressi in decimilligrammi per litro; per  $CaO$  si è segnata l'estrapolata, dato l'andamento probabile di  $CaO$  concorde con quello di  $MgO$ ;  $NaCl$  espresso in mgr. per litro;  $SO_3$  in mgr. per litro.

minima parte da cloruri; con tutta probabilità essi provenivano dalla melma sotto forma di bicarbonati, come già si è detto.

\* \* \*

Dall'attento esame e dalla comparazione dei dati, risulta ben evidente quale potente influsso esercitava il mondo dei viventi sul chimismo dell'ambiente del lago.

#### ALTRÉ CONSIDERAZIONI.

In complesso la vita nell'acqua della zona ancora libera del lago pareva in buona parte dominata dai fenomeni più salienti: stagnazione, produzione di  $SH_2$ , consumo di  $O_2$  per l'ossidazione di  $SH_2$ .

È presumibile, benchè a me non sia risultato alla diretta osservazione, perchè la bonifica era già in atto da tempo, che in alcune epoche dell'anno la produzione di  $SH_2$  da parte delle melme fosse così intensa da invadere anche le acque, rendendo del tutto insufficiente alla vita della maggior parte delle specie l'ossigeno prodotto dalle piante sommerse e dal clorococco, e trascurabile quello, sempre piccolo, dovuto alla semplice diffusione dell'aria nelle acque stagnanti. E che tale estensione dell'idrogeno solforato alle acque sovrastanti la melma si verificasse, è testimoniato dall'analisi del dott. MORANI.

La scarsità dei consumatori di  $SH_2$  nell'ambiente di Caprolace, rappresentati dalla *Beggiatoa*, e la mancanza assoluta dei batteri rossi e verdi sulfuricanti avevano alla lor volta determinato l'assenza di tutti i Ciati caratteristici del mondo anaerobio sapropelico; e da tutti questi fatti positivi o negativi io ho dedotto che l'ossidazione di  $SH_2$  nell'ambiente di Caprolace era d'origine quasi esclusivamente chimica.

Sullo sviluppo e sulla funzione dei clorococchi nell'ambiente biologico di Caprolace mi potei fare un'idea con una prova sperimentale a cui sottoposi esemplari di *Najas marina* portati a Milano dal Lago di Caprolace e immersi nell'acqua stessa del lago.

Entro il barattolo chiuso contenente la *Najas marina* si verificò una rapida decomposizione della pianta, i cui resti cadevano sul fondo completamente rivestiti da strati di Clorococco che si erano formati su di essi. In quell'occasione poche forme di protozoi si svilupparono, ed erano le forme più comuni polisaprobie degli ambienti ricchi in sostanze organiche in putrefazione, forme delle quali abbiamo dato il nome in precedenza.

Certamente l'enorme numero di individui di Clorococchi (caratteristici degli ambienti fortemente mesosaprobi) usufruiva in un primo tempo dei prodotti della prima rapida decomposizione della sostanza organica: in un secondo tempo tanto i clorococchi quanto i resti indecomposti di *Najas* cadevano sul fondo del lago costituendo un nuovo

strato di melma, il cui velo superficiale era formato da Clorococchi ancora attivi.

Sotto a questa prima coltre che chiameremo a Clorococchi (vedi figura 4) si entrava nella zona costantemente anaerobia in cui potevano prosperare i desulfuricanti.

\* \* \*

Le poche forme di protozoi trovate breve tempo dopo la raccolta dell'acqua a contatto con la melma, furono riscontrate in buon numero di individui soltanto in febbraio del 1934, quando l'acqua del lago aveva temperature basse ( $+11^{\circ} C.$ ) e i desulfuricanti erano più attivi nella melma profonda che nella superficiale. Le specie di protozoi erano tutte oligosaprobie fino a catarobie, tipiche quindi d'ambiente d'acqua pura, contenente ossigeno e con poche o nulle sostanze in putrefazione. Alcune di esse inoltre erano forme di origine plantonica, salmastro o d'acqua dolce, eurialine, come la *Synura uvella*, ultime rappresentanti forse di una vita plantonica ridotta ormai ai minimi termini, estendentesi sino ai fondi melmosi in quei periodi dell'anno in cui diminuiva o cessava la produzione di  $SH_2$  da parte della melma superficiale.

#### CONCLUSIONE

Il lago di Caprolace prima della bonifica presentava i caratteri di stagno ad acqua salmastro nel pieno sviluppo della penultima classica fase (quarta fase) fissata dal FOREL per la vita dei laghi, senza alcuna distinzione fra la zona litoranea e la zona profondale.

L'acqua salmastro, il fondo melmoso salato, la produzione di  $SH_2$  hanno certamente contribuito alla sempre più forte limitazione del numero delle specie viventi in tale ambiente; soltanto poche specie avevano trovato le condizioni favorevoli per un forte sviluppo numerico ed erano le ultime rappresentanti di un mondo lenitico certamente un giorno molto più ricco di forme e più rigoglioso. Osservazioni simili hanno fatto BRUNELLI e CANNICCI per il lago di Sabaudia.

Esso aveva acque chiarissime, con una leggera tinta in giallognolo, fondo coperto da melma emanante grande quantità di  $SH_2$ , e con un contenuto in sostanza organica superiore al 50% della sostanza secca.

La trasparenza dell'acqua di Caprolace, segnava nel nostro caso la scomparsa di numerose specie plantoniche, dovuta alla forte limitazione delle forme viventi causata dalla enorme produzione di  $SH_2$  da parte della melma.

Il pH dell'acqua tendeva alla netta alcalinità.

I solfati di cui era ricco il lago, principalmente per la sua origine marina, hanno accentuato i fenomeni di produzione di  $SH_2$ , con lo sviluppo rigoglioso dei desulfuranti, rendendo più rapido il processo di spopolamento del lago.

Dal febbraio 1933 al febbraio 1934 l'acqua del lago di Caprolace, essendo in atto i lavori di bonifica, segnala decisamente una rottura nell'equilibrio del ciclo del solfo. Infatti:

- a) diminuisce la produzione di  $SH_2$  da parte della melma;
- b) diminuisce gradatamente  $SO_3$  nell'acqua;
- c) aumenta gradatamente nell'acqua il contenuto in  $CaO$  e  $MgO$  che, forse non più impegnati in una attiva circolazione biochimica nella melma, venivano da questa ceduti parzialmente all'acqua sovrastante allo stato di bicarbonati.

## P A R T E I I <sup>a</sup>

### Cenno sui lavori di bonifica

Fin dal 1932, dalla parte del mare, in corrispondenza alla foce di S. Nicolò, la draga Roma si era aperta una strada raggiungendo il lago attraverso le dune costiere, e durante le mie visite al lago fra il 1933 e il 1934, lavorava intermittentemente, vicino alla foce S. Nicolò, una pompa che convogliava la melma del lago alla spiaggia.

Nel settembre 1934 la draga « Roma » venne sostituita dalla draga Littoria, la quale continuò con maggiore energia e rapidità il lavoro di pulizia del lago. La melma non coperta dalle isole torbose veniva aspirata potentemente dalla pompa e poi inoltrata in grandi tubi galleggianti che la rovesciavano in mare aperto attraverso canali aperti fra le dune con percorsi fino ad un chilometro di lunghezza. Questa prima fase del lavoro durò fino al settembre del 1935 (1).

Subito dopo si sono iniziati i lavori di colmata, togliendo il materiale più solido dalle rive e dagli isolotti, che fu reflujo sui terreni bassi circostanti, mentre la superficie del lago fu allargata.

Anche la melma sottostante agli isolotti venne aspirata e portata con tubature fino al mare.

I lavori di dragaggio fecero stimare a — 20 metri la profondità della melma fangosa che ho chiamato a *Cerastoderma*.

Alla fine del 1936 i lavori eseguiti a cura del Consorzio della Bonifica di Littoria erano ultimati. Il Rio Nocchia, come già si è detto, durante i lavori di bonifica era stato deviato in modo che il lago non ricevesse più acque dolci, se non quelle molto scarse che colavano direttamente dalle gronde fra il nuovo canale Nocchia ed il lago, e che costituivano un piccolo bacino largo un centinaio di metri e lungo quanto il lato maggiore del lago parallelo al canale Nocchia.

Cosicché alla fine del 1936, non essendo ancora stata aperta una comunicazione fra il lago e il mare, il lago riceveva soltanto le acque di pioggia. Questa condizione ha permesso di limitare fortemente le probabili cause dei cambiamenti verificatisi nel lago.

### A S P E T T O D E L L A G O D I C A P R O L A C E D O P O I L A V O R O D E L L A D R A G A L I T T O R I A .

Quando la draga Littoria incominciò il suo lavoro, io interruppi la raccolta dei campioni.

(1) Queste notizie furono in parte da me raccolte direttamente sul posto nel sopralluogo da me fatto nell'ottobre del 1936, in parte invece mi furono fornite a voce o per iscritto da funzionari ministeriali addetti ai lavori della bonifica di Littoria e dai dirigenti del Consorzio della bonifica.

Ritornai a Littoria il 19 ottobre 1936, quando la draga nel settore sud orientale del lago stava distruggendo l'ultimo pezzo d'isola mobile torbosa dello spessore di m. 1,50 e sotto la quale si stendeva la melma a desulfuranti. Il livello del Lago era in quel giorno 35 cm. al disopra del livello del mare.

Il lago, notevolmente allargato, con le rive completamente diserbate, si stendeva con uno specchio di acque mosse dal vento e che raggiungevano la profondità di circa m. 3,50; cioè il lavoro di dragaggio e della pompa aveva permesso di rimuovere completamente lo strato di melma.

Il colore della massa dell'acqua era diventato scuro, bruno, evidentemente per la sospensione di particelle organiche provenienti dalla melma e diffuse dal movimento continuo della draga. Infatti l'acqua raccolta nei recipienti depositava rapidamente sul fondo, quando lasciata in riposo, uno strato di sostanza melmosa.

Potei salire sulla draga, assistere al suo lavoro e infine raccogliere la pianta dominante delle isole torbose, e successivamente, facendo uso di una barca, recarmi nel settore del lago in cui due anni innanzi avevo prelevato i campioni per prelevarne di nuovi.

#### PRELEVAMENTO DEL MATERIALE DI STUDIO.

Usammo per l'acqua e per la melma acquosa una pompa dataci dal prof. Brunelli. La melma di fondo era semiliquida e dovuta evidentemente ad una sedimentazione posteriore al lavoro della draga e della pompa, formata per il depositarsi di particelle melmose sospese nell'acqua dall'agitazione causata dalla draga stessa.

Sotto questo deposito melmoso che si stendeva fra m. 3.50 e m. 3.80 di profondità e che chiamerò melma acquosa, il nostro strumento per il prelevamento delle melme portò alla superficie una melma fangosa molto più consistente della melma a desulfuranti sovrastante, che ci era servita per gli studi ante-bonifica.

La melma fangosa appariva piena di gusci di *Cerastoderma* e di *Loripes*.

Raccolsi i seguenti campioni.

#### Campioni d'acqua:

- a) a m. 0.40 dalla superficie;
- b) a m. 1.90 dalla superficie;
- c) a m. 2.50 dalla superficie.

#### Campioni di melma acquosa:

A m. 3.50 di profondità dalla superficie libera dell'acqua nella parte più centrale del lago raccogliemmo la melma acquosa di cui abbiamo già detto.

Campione di melma fangosa a m. 3,80 di profondità.

#### PROFILO VERTICALE DEL LAGO IN CORRISPONDENZA ALLA ZONA CENTRALE.

Gli scandagli fatti mi hanno permesso di ricostruire il profilo disegnato nella fig. 9.

#### PROFILO VERTICALE DEL LAGO IN CORRISPONDENZA ALLE ISOLE MOBILI DI TORBA.

Così pure i dati raccolti mi hanno permesso di costruire il profilo verticale disegnato nella fig. 10.

#### Dati fisiografici

#### IL pH DOPO IL LAVORO DELLA DRAGA LITTORIA.

Determinai coll'apparecchio Trenel il pH per tutti i campioni prelevati.

Acqua del lago profondità . . . . .	m. 0.40	pH = 8
» » » . . . . .	1.90	pH = 8
» » » . . . . .	2.50	pH = 8
Melma acquosa profondità . . . . .	3.50 filtrato	pH = 8.3
	melma	pH = 8.1
Melma fangosa . . . . .	3.80 filtrato	pH = 7.8
	melma	pH = 8.4
Torba superficiale . . . . .	filtrato	pH = 7.2
	torba	pH = 7.2
Acqua del mare; spiaggia prospiciente il lago		pH = 7.1

Risulta evidente che il lavoro della pompa e della draga Littoria, smuovendo la melma, ha diffuso nell'acqua le sostanze che hanno ugualato il pH di questa a quello del fondo. In complesso infatti l'alcalinità dell'acqua del lago è aumentata per effetto del lavoro della draga Littoria.

#### ANALISI CHIMICA DEI CAMPIONI D'ACQUA.

	profondità m. 0.40	profondità m. 1.90	profondità m. 2.50
Residuo secco a 100° C. . . . .	7.756 %	7.600 %	7.936 %
Residuo alla calcinazione . . . . .	6.756 »	6.788 »	6.780 »
CaO . . . . .	0.23 »	0.23 »	0.23 »
Cl . . . . .	3.64 »	3.64 »	3.64 »
SO <sub>3</sub> . . . . .	0.464 »	0.464 »	0.464 »
Gas totali . . . . .	cc. per litro 55	42.3	39.1
CO <sub>2</sub> . . . . .	» » 36.6	24	20.5
O <sub>2</sub> . . . . .	» » 2	2.5	2.4
Gas residui . . . . .	» » 16.4	15.8	16.2

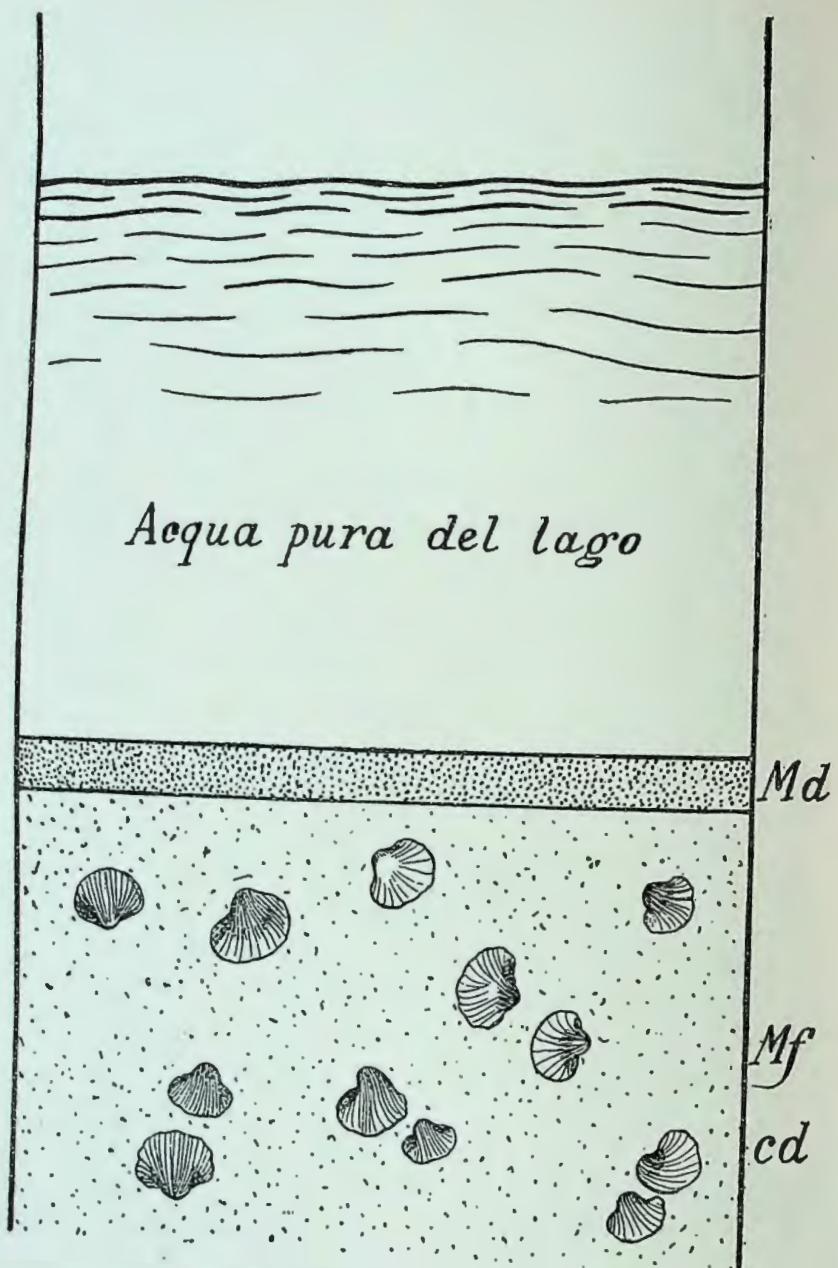


Fig. 9 — Sezione verticale del lago in corrispondenza alla parte centrale dopo la bonifica; *Md* = acqua melmosa a desulfuranti, residuo del primitivo strato di melma; *Mf, cd* = melma fangosa a *Cerastoderma* e a *Diatomee*.

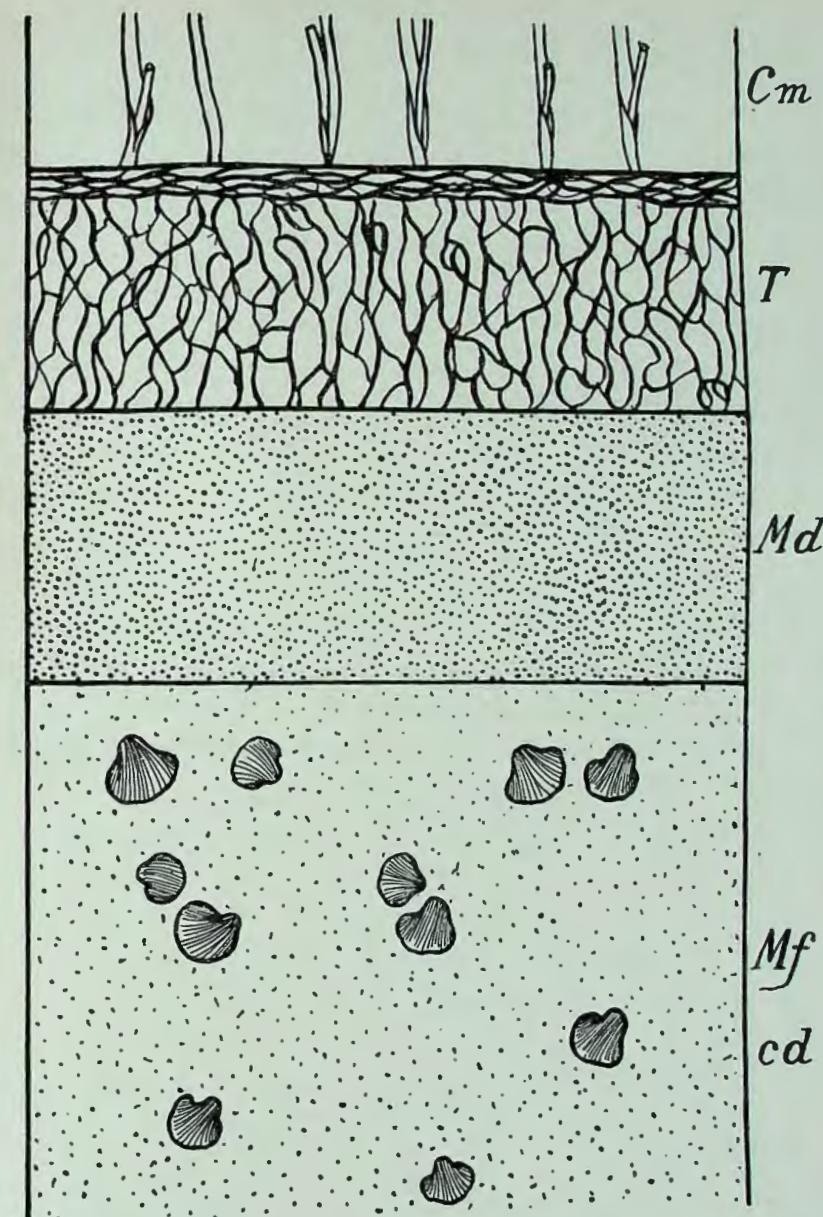


Fig. 10 — Sezione verticale del lago in corrispondenza ad un'isola turbosa; *Cm* = *Cladum mariscus*; *T* = strato di torba; *Md* = melma a desulfuranti; *Mf, cd* = melma fangosa a *Cerastoderma* e a *Diatomee*.

ANALISI CHIMICA DEI CAMPIONI DI MELMA ACQUOSA  
SA E DI MELMA FANGOSA.

	melma acquosa	melma fangosa
Umidità % . . . . .	94.4	87.4
Sostanza secca % . . . . .	5.6	12.6
<i>Fase liquida</i> (separata per filtrazione)		
NaCl ‰ . . . . .	6.2	9.2
SO <sub>3</sub> ‰ . . . . .	0.06	0.375
<i>Fase solida</i> .		
Sostanza organica (perdita alla calcinazione) % .	52.6	37.20
Sostanze minerali % . . . . .	47.4	62.80
Azoto totale ‰ sostanza secca . . . . .	16.8	13.4
» » » » organica . . . . .	31.9	36

## Dati biologici

## CARICA BATTERICA DELLE ACQUE.

La determinazione della carica batterica, in rapporto coi fenomeni di putrefazione e di desulfurazione, poteva darmi un indizio dell'attività biochimica. Essa risultò la seguente:

Germi per cc. 5600 a m. 0.40 di profondità			
» » » 5100 » 1.90			»
» » » 4000 » 2.50			»

Le acque quindi sono risultate poverissime in germi.

## ANALISI BIOLOGICA DELLA MELMA ACQUOSA.

Dopo qualche giorno dal suo prelevamento riscontrammo in essa un esemplare di *Lacrymaria sapropelica* e un individuo di *Cristigera* sp.

Erano presenti in gran numero gli involucri dei Clorococchi e anche qualche individuo verdissimo di questa specie.

## GRANELLI DI POLLINI.

Dato il forte numero di granelli di pollini visibili nella melma, ricorremo al prof. DALLA FIOR per la determinazione delle specie.

Il DALLA FIOR ha analizzato 200 mm.<sup>3</sup> della melma acquosa e mi ha comunicato il seguente elenco:

<i>Quercus</i> sp.	.	.	.	granuli	7
<i>Alnus</i> sp.	.	.	.	»	8
<i>Corylus</i> sp.	.	.	.	»	2
Ericacee	.	.	.	»	3
Cariofillacee	.	.	.	»	9
Ciperacee	.	.	.	»	15
Graminacee	.	.	.	»	35
Spore fungine	.	.	.	»	11

CARICA BATTERICA. — La carica batterica per la melma acquosa è risultata di germi 106.000 per grammo.

## DIATOMEE DELLA MELMA ACQUOSA A DESULFURANTI.

Ripeto che la melma acquosa era formata prevalentemente da grumetti di melma a desulfuranti probabilmente raccoltisi sul fondo in seguito ai lavori della draga e della pompa; essa quindi poteva essere formata da particelle derivanti da qualsiasi livello della originaria melma a desulfuranti dello spessore di tre metri circa.

Era interessante lo studio delle Diatomee della melma acquosa per contrapporle i risultati a quelli che seguiranno sulle Diatomee del fondo fangoso. E perciò sottoposi il materiale in questione allo studio di Don Vito ZANON.

Egli rinvenne 59 forme distinte (fra specie e varietà), di cui riporto l'elenco:

## Diatomee della melma acquosa a desulfuranti.

Le specie segnate con asterisco furono trovate coi gusci contenenti protoplasma.  
Abbreviazioni: fr. = frequentissima; fr. = frequente; r = rara; rr = rarissima; 1 = unico esemplare; m = marina; sm = d'acqua salmastra; ad = d'acqua dolce; f = di fondo; ep = epifita; pl = plantonica.

TABELLA 4.

NOMI DELLE SPECIE	m.	sm.	ad	dati ecol.
* 1 <i>Achnantes brevipes</i> Ag. var. <i>intermedia</i> (Ktz.) Cl.	1	1		ep. ep. f.
* 2 » <i>minutissima</i> Kitz.	1		fr.	f.
3 <i>Amphora grevilleana</i> Greg.			fr.	f.
4 » <i>ovalis</i> var. <i>Lybica</i> (Ehr.) Cl.	r.		fr.	f.
5 » <i>turgida</i> Greg.		fr.	fr.	f.
6 <i>Anomoconeis sphaerophora</i> (Ktz.) Pfitzer	1			f.
7 <i>Campyloidiscus clipeus</i> Ehr.	r.			pl.
8 <i>Chaetoceros</i> sp. sp.				

(Continua tabella 4)

NOMI DELLE SPECIE	m.	sm.	ad	dati ecol.
9 <i>Cocconeis placentula</i> Ehr. var. <i>euglypha</i> (Ehr.) Cl.	1		r.	ep.
10 " <i>scutellum</i> Ehr.			fr.	ep.
11 <i>Cyclotella Meneghiniana</i> Ktz.			fr.	f. al.
12 " <i>ocellata</i> Pant.			fr.	f.
13 <i>Cymbella Ehrenbergii</i> Ktz.			fr.	ep.
14 <i>Diatoma vulgare</i> Bory	1		1	ep.
15 <i>Diploneis bombus</i> (Ehr.) Cl.			fr.	f.
16 " <i>ovalis</i> var. <i>oblongella</i>			1	f.
17 " <i>subovalis</i> Cl.			fr.	ep.
18 <i>Epithemia sorex</i> Ktz.		fr.	fr.	ep.
19 " <i>zebra</i> (Ehr.) Ktz.		fr.	fr.	ep.
20 <i>Eunotia faba</i> (Ehr.) Grun.			fr.	f.
21 " <i>lunaris</i> (Ehr.) Grun.			frr.	f.
22 " <i>pectinalis</i> (Ktz.) Babh.			frr.	f.
23 " <i>sudetica</i> (O. Müll) Hust.			fr.	f.
* 24 <i>Fragilaria brevistriata</i> Grun.			frr.	pl.
* 25 " <i>construens</i> (Ehr.) Grun.			frr.	pl. ep.
* 26 " var. <i>venter</i> (Ehr.) Grun.			frr.	pl. ep.
27 " var. <i>tridentula</i> Heichel.			fr.	pl. ep.
28 " <i>intermedia</i> Grun.			r.	ep.
* 29 <i>Fragilaria pinnata</i> Ehr.			frr.	pl. ep.
30 " <i>virescens</i> Balz.			r.	ep.
31 <i>Gomphonema longiceps</i> Ehr.			r.	ep.
32 " <i>olivaceum</i> (Lyngb.) Ktz.			fr.	ep.
33 " <i>parvulum</i> Ktz.			fr.	ep.
34 <i>Gyrosigma balticum</i> (Ehr.) Babh.	1			f.
35 <i>Mastogloia elliptica</i> var. <i>Dansei</i> (Thwaites) Grun.		r.		f.
36 " <i>Smithii</i> Thwaites		r.		f.
37 <i>Melosira italica</i> (Ehr.) Ktz.			frr.	f.
38 <i>Navicula cuspidata</i> var. <i>ambigua</i> (Ehr.) Cl.			r.	f.
39 " <i>elegans</i> W. Sm.		r.		f.
40 " <i>forcipata</i> Grev.		r.		f.
41 " <i>lyra</i> Ehr. var.		r.		f.
42 " <i>oblonga</i> Ktz.		r.	r.	f.
43 " <i>radiosa</i> Ktz.			fr.	f.
44 <i>Nitzschia acuminata</i> (W. Sm.) Grun.			fr.	f.
* 45 " <i>apiculata</i> (Greg.) Grun.			frr.	f.
* 46 " <i>Hungarica</i> Grun.			frr.	f.
47 " <i>lanceolata</i>				f.
48 " <i>scalaris</i> (Ehr.) W. Sm.	1	1		f.
49 " <i>sigma</i> (Ktz.) W. Sm.		r.		f.
50 " <i>vitrea</i> Grun.		r.		f.
51 <i>Pinnularia gibba</i> Ehr.			r.	f.
52 " var. <i>parva</i> (Ehr.) Grun.			r.	f.
53 " <i>Maior</i> (Ktz.) Cl.			r.	f.
54 " <i>viridis</i> var. <i>sudetica</i> (Hilse) Hust.			r.	f.
55 <i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. M.	1		r.	ep.
56 " <i>musculus</i> (Ktz.) O.M.	1		r.	ep.
57 <i>Stauroneis phoenicenteron</i> Ehr.		r.	r.	f.
58 <i>Synedra capitata</i> Ehr.			fr.	ep.
59 " <i>ulna</i> (Ktz.) var. <i>biceps</i> Ktz.			fr.	ep.

Per la maggior parte sono specie di fondo ed epifite; scarse sono le forme planctoniche. Le sei forme marine sono rappresentate da un solo o da pochi individui, quindi sono da considerarsi come accidentali. Invece ben netta è la facies salmastra e quella d'acqua dolce. Delle for-

me salmastre la dominante è la *Nitzschia apiculata*, tipica dei fondi salmastri.

Trascurando le specie rare o presenti con un solo individuo, riporto in uno specchietto la frequenza delle forme trovate dello ZANON nella melma in maggior numero di individui, distinte a seconda dell'habitat:

TABELLA 5.

habitat	frequentissime	frequenti
marino . . . .	0	0
salmastro . . . .	1	7
d'acqua dolce . .	4	16

Le Diatomee quindi indicano che tutta la melma a desulfuricanti era un sedimento dovuto in buona parte all'accumalarsi di resti di forme viventi in ambiente oligoalino.

## ANALISI BIOLOGICA DEL FONDO A CERASTODERMA.

Esso conteneva in grande quantità gusci ben conservati del *Cerastoderma rectidens* Coen, var. *corbuloides* Monterosata, e del *Loripes lacteus* Poli, ambedue forme per lo più marino-salmastre, segnalate per tutto il bacino mediterraneo e talvolta anche lagunari (segnalate da BRUNELLI e CANNICCI per il Lago di Sabaudia).

Nei primi giorni di osservazione trovai qualche guscio di foraminifero che in seguito non potei più ritrovare, e sempre in grande quantità frustoli di Bacillariacee.

## CARICA BATTERICA.

La carica batterica di questo fango è risultato di germi 34.000 per grammo su piastre di agar comune.

## GRANI DI POLLINI.

Lo studio dei grani di polline ha dato i seguenti risultati:

<i>Quercus</i> sp.	·	·	·	·	·	granuli	4
<i>Alnus</i> sp.	·	·	·	·	·	»	11
<i>Corylus</i> sp.	·	·	·	·	·	»	2
<i>Salix</i> sp.	·	·	·	·	·	»	1
<i>Ulmus</i> sp.	·	·	·	·	·	»	1

<i>Pinus pinaster</i>	granuli	2
<i>Ericacee</i>	»	2
<i>Cariofillacee</i>	»	10
<i>Ciperacee</i>	»	9
<i>Graminacee</i>	»	15
<i>Spore fungine</i>	»	6
Qualche spora probabilmente di felci.		

## DIATOMEE DELLA MELMA FANGOSA.

La ricchezza in Diatomee della melma fangosa raggiunta dalla draga Littoria ha richiesto la collaborazione di Don Vito ZANON il quale riuscì ad individuare in essa 110 specie il cui elenco completo è il seguente:

## Diatomee della melme fangosa a Cerastoderma.

Abbreviazioni: abb. = abbondante; fr. = molto frequente; fr. = frequente; r. = rara; 1 = unico esemplare; m = marina; sm = salmastra; ad = di acqua dolce; ep. = epifita; f = di fondo; pl = planetonica.

TABELLA 6.

NOMI DELLE SPECIE	m.	sm.	ad	dati ecol.
1 <i>Achnantes brevipes</i> Ag.	r.	r.		ep.
2 » var. <i>intermedia</i> (Ktz.) Cl.	r.	r.		ep.
3 <i>Amphora acutiuscula</i> Ktz.	fr.	fr.		f.
4 » <i>arenicola</i> Grun var. <i>major</i> Cl.	r.			f.
5 » <i>commutata</i> Grun.	r.			f.
6 » <i>crassa</i> Greg.	fr.			f.
7 » <i>eunotia</i> Cl.	r.			f.
8 » <i>formosa</i> Cl.	r.			f.
9 » <i>gigantea</i> Grun.	r.			f.
10 » <i>proteus</i> Greg.	fr.			f.
11 » var. <i>oculata</i> Per.	fr.			f.
12 » <i>ovalis</i> Ktz.			fr.	f.
13 » var. <i>lybica</i> (Ehr.) Cl.		fr.	fr.	f.
14 <i>Anomoconeis sphaerophora</i> (Ktz.) Pfitzer		fr.	fr.	f.
15 » var. <i>polygramma</i> (Ehr.) O. Müll.	abb.	r.	fr.	ep.
16 <i>Biddulphia pulchella</i> Gray.				
17 <i>Caloneis silicula</i> (Ehr.) Cl.		fr.	fr.	f.
18 » var. <i>trunculata</i> Grun.			fr.	f.
19 <i>Cocconeis placentula</i> Ehr.		r.	r.	ep.
20 » var. <i>lineata</i> (Ehr.) Cl.		r.	r.	ep.
21 » <i>pseudomarginata</i> Greg.	r.			ep.
22 » <i>scutellum</i> Ehr.	r.	r.		ep.
23 <i>Campylodiscus echeneis</i> Ehr.	fr.	fr.		f.
24 <i>Chaetoceros</i> sp. sp.	fr.	fr.		pl.
25 <i>Cyclotella ocellata</i> Pant.			fr.	f.
26 » <i>comta</i> (Ehr.) Ktz.		r.	r.	f.
27 <i>Cymbella Ehrenbergii</i> Ktz.		r.	r.	ep.
28 » <i>aqualis</i> W. Sm.		r.	r.	ep.
29 » <i>cymbiformis</i> (Ag. Kitz.) V. H.		r.	r.	ep.

(Segue tabella 6)

NOMI DELLE SPECIE	m.	sm.	ad	dati ecol.
30 <i>Diploneis bombus</i> (Ehr.) Cl.	r.			f.
31 » <i>elliptica</i> (Ktz.) Cl.				f.
32 » <i>interrupta</i> (Ktz.) Cl.	r.			f.
33 » <i>mediterranea</i> (Gdun.) Cl.	r.			f.
34 » <i>Smithii</i> (Breb.) Cl.	r.			f.
35 » <i>suborbicularis</i> (Greg.) Cl.	r.			f.
36 » <i>vacillans</i> A. S.	fr.			f.
37 <i>Epithemia sorex</i> Ktz.			fr.	ep.
38 » <i>turgida</i> (Ehr.) Ktz.	r.		r.	ep.
39 » <i>zebra</i> (Ehr.) Ktz.	r.		r.	ep.
40 <i>Eunotia arcus</i> Ehr.			r.	f.
41 » <i>lunaris</i> (Ehr.) Grun.			r.	f.
42 » <i>monodon</i> Ehr.			r.	f.
43 » <i>pectinalis</i> (Ktz.) Rabh.			r.	f.
44 » var. <i>minor</i> (Ktz.) Rabh.			r.	pl.
45 <i>Fragilaria brevistriata</i> Grun.			r.	ep.
46 » <i>inflata</i> (Heid.) Hustedt			r.	pl.
47 » <i>construens</i> (Ehr.) Grun.			r.	pl.
48 » var. <i>venter</i> (Ehr.) Grun.			r.	pl.
49 » var. <i>triundulata</i> Reichelt			r.	pl.
50 <i>Gomphonema acuminatum</i> (Ehr.) var. <i>Brébissonii</i> (Ktz.) Cl.			r.	ep.
51 » var. <i>trigonocephala</i> (Ehr.) Grun.			r.	ep.
52 » <i>constrictum</i> Ehr.			r.	ep.
53 » <i>intricatum</i> Ktz. var. <i>pumila</i> Grun.			r.	ep.
54 » <i>lanceolatum</i> Ehr. var. <i>insignis</i> Greg.			r.	ep.
55 » <i>longiceps</i> Ehr. var. <i>subclavata</i> Grun.			r.	ep.
56 » <i>parvulum</i> Ktz.			r.	ep.
57 <i>Grammatophora angulosa</i> Ehr.			r.	ep.
58 » <i>arcuata</i> Ehr.			r.	ep.
59 » <i>oceanica</i> (Ehr.) Grun.			abb.	f.
60 » var. <i>macilenta</i> (W. Sm.) Grun.			fr.	r.
61 <i>Hyalodiscus radiatus</i> (O' meara) Grun.				f.
62 <i>Mastogloia Grevillei</i> V. Sm.				f.
63 » <i>Braunii</i> Grun.				f.
64 <i>Melosira granulata</i> (Ehr.) Ralfs.				f.
65 » <i>islandica</i> O Müll. subsp. <i>helvetica</i> O. Müll.				f.
66 » <i>italica</i> (Ehr.) Ktz.			abb.	f.
67 » <i>sulcata</i> (Ehr.) Ktz. f. <i>coronata</i> Grun.			abb.	f.
68 » f. <i>radiata</i> Grun.			fr.	f.
69 » f. <i>radiolata</i> Grun.				f.
70 <i>Navicula cincta</i> (Ehr.) Ktz.				f.
71 » <i>cryptocephala</i> Ktz.				f.
72 » var. <i>veneta</i> (Ktz.) Grun.			1	f.
73 » <i>cuspidata</i> Ktz. var. <i>ambigua</i> (Ehr.) Cl.			1	f.
74 » <i>gastrum</i> Ehr.				f.
75 » <i>longirostris</i> Hustedt			1	f.
76 » <i>peregrina</i> (Ehr.) Ktz.			1	f.
77 » ( <i>Caloneis</i> ) <i>Powellii</i> Lewis				f.
78 » var. <i>aegyptiaca</i> Grev.				f.
79 » » <i>Vidovichii</i> Grun.				f.
80 » <i>pupula</i> Ktz. var. <i>capitata</i> Hustedt			1	f.
81 » <i>pygmaea</i> Ktz.			1	f.
82 » ( <i>Caloneis</i> ) <i>Zanardiniana</i> Grun.			1	f.
83 <i>Neidium iridis</i> (Ehr.) Cl. f. <i>vernalis</i> Reichelt			1	f.
84 » var. <i>amphigomphus</i> (Ehr.) V. H.			fr.	f.
85 <i>Nitzschia acuminata</i> (W. Sm.) Grun.			1	f.
86 » <i>dubia</i> W. Sm.			1	f.
87 » <i>hungarica</i> Grun.			fr.	f.

NOMI DELLE SPECIE		m.	sm.	ad	dati ecol.
88	» <i>punctata</i> (W. Sm.) Grun.	r.	r.		f.
89	» <i>insignis</i> Greg.	r.			f.
90	» <i>linearis</i> W. Sm.	1		1	f.
91	» <i>valida</i> Cl. et Grun.				f.
92	» <i>vitrea</i> Norman		1		f.
93	» <i>scalaris</i> (Ehr.) W. Sm.		1		f.
94	<i>Pinnularia dactylus</i> Ehr.			1	f.
95	» <i>gentilis</i> (Donk.) Cl.			1	f.
96	» <i>major</i> Kitz.			fr.	f.
97	» <i>microstauros</i> (Ehr.) Cl. var. <i>Brébissonii</i> (Kitz.) Hust.			1	f.
98	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) O. Müll.	rr.	rr.		ep.
99	» <i>gibba</i> (Ehr.) O. Müll.	rr.	rr.		ep.
100	» <i>musculus</i> (Kitz.) O. Müll.	r.			ep.
101	<i>Surirella biseriata</i> Bréb.		1	1	f.
102	» <i>ovalis</i> Bréb.		1	1	f.
103	» <i>linearis</i> , W. Sm. var. <i>constricta</i> (Ehr.) Grun.			1	f.
104	» <i>striatula</i> Turpin		fr.		f.
105	<i>Synedra affinis</i> Kitz.			r.	ep.
106	» <i>ulna</i> (Nitzsch.) Ehr., var. <i>biceps</i> (Kitz.) Hustedt			fr.	ep.
107	» <i>undulata</i> Bailey	abb.	abb.		f.
108	<i>Tropidoneis vitrea</i> , W. Sm. var. <i>mediterranea</i> Grun.	1			f.
109	<i>Toxonidea insignis</i> Donk.		1		f.
110	<i>Triceratium antediluvianum</i> (Ehr.) Grun.		abb.		f.

Il fatto più interessante per la storia del lago è che lo ZANON ha trovato nel fango un forte numero di specie esclusivamente marine, fra le quali si trovano quelle rappresentate dal maggior numero di individui.

Delle specie segnalate come marino-salmastre, alcune sono da considerarsi essenzialmente marine e solo occasionalmente lagunari; è questo il caso della *Melosira sulcata* *fa coronata* e *Melosira sulcata* *fa radiata* (forma neritica e d'estuario più che lagunare) dallo ZANON tuttavia rinvenuta anche nella Laguna di Venezia. Così pure è il caso della *Synedra undulata*.

Nessuna delle specie date dallo ZANON come esclusivamente salmastre, oppure comuni alle acque salmastre e dolci, od esclusive delle acque dolci, è segnalata come abbondante. Cosicchè in definitiva preponderano nella melma fangosa le forme marine, come lo prova la presenza contemporanea di forme esclusivamente marine quali *Biddulphia* e *Triceratium*, e di quelle marino-salmastre, che nel nostro caso specifico, accompagnando forme caratteristiche marine, segnalano esse pure ambiente marino.

Riassumendo in uno specchietto la presenza delle specie di Diatomee trovate dallo ZANON in un numero rilevante di individui, e trascur-

rando quelle segnalate come rare o rappresentate da un solo individuo, si ottiene:

Marine . . . .	abbondanti	6	frequenti	10
Salmastre . . . .	»	—	»	13
D'acqua dolce . . . .	»	—	»	19

Fra le forme salmastre di cui lo ZANON mi ha comunicato l'elenco, soltanto la *Surirella striatula* è specie esclusivamente salmastro; in quanto poi alle specie d'acqua dolce esse sono ubiquitarie e la loro presenza nella melma fangosa potrebbe soltanto significare che esse, almeno in parte, sono state trasportate in mare dai corsi d'acqua. Infatti le raccolte costiere di Diatomee rivelano sempre la presenza di specie d'acqua dolce trasportate al mare dalle acque correnti.

Concludendo: i reperti dello studio delle Diatomee indicano chiaramente che la melma fangosa a *Cerastoderma* si è formata in ambiente marino, col concorso di numerose Diatomee marine di fondo od epifite, poche planctoniche.

Questo risultato orienta con una certa sicurezza nella ricostruzione della storia del lago, anche perchè si trova in pieno accordo col reperto microbiologico, che segnala la mancanza assoluta dei desulfuricanti nel fango a *Cerastoderma*, mancanza denotante un ambiente di acque mosse e rinnovate.

#### RISULTATI DEGLI ESPERIMENTI SUI DESULFURI- CANTI FATTI CON MELMA ACQUOSA E MELMA FANGOSA.

I campioni della melma fangosa (m. 3,80 di profondità) e della melma acquosa (m. 3,50 di profondità) appena prelevati emanavano intenso odore di  $SH_2$ , più forte nella melma acquosa. Tali campioni conservati in parte fino ad oggi in barattolo chiuso emanano ancora un leggero odore di  $SH_2$ , più netto nei barattoli contenenti melma acquosa.

Speciale interesse offriva lo studio delle colture impure dei desulfuricanti e dei batteri produttori di  $SH_2$  dalle proteine col materiale dei due campioni.

Nelle seguenti tabelle diamo i risultati degli esperimenti fatti, lasciando di riportare i risultati riguardanti la produzione di  $SH_2$  dalla cistina da parte dei batteri contenuti nell'acqua melmosa, risultati tutti positivi e corrispondenti a quelli già ottenuti prima del lavoro della draga Littoria.

Risultati degli esperimenti sulla riduzione dei solfati dopo il lavoro della draga Littoria.

TABELLA 7.

Data della raccolta del materiale	Natura del materiale	Profondità	Materiale usato per la semina	Soluzione nutritizia	Contenuto in NaCl	Durata della coltura	Quantità di SO <sub>3</sub> ridotta	Percentuale di SO <sub>3</sub> ridotta
19 ottobre 1936	Acqua del lago	m. 0.40	1 cc.	<i>Aqua fontis</i> 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> gr. 0.5 Lattato Na » 5 Asparagina » 1 MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O » 3	0 %	3-21 nov. 1936	nulla	—
id.	id.	m. 0.40	1 cc.	id.	1.5 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	3 %	id.	nulla	—
id.	id.	m. 1.90	id.	id.	0 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	3 %	id.	nulla	—
id.	id.	m. 2.50	id.	id.	0 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	nulla	—
id.	melma acquosa	m. 3.50	1 cc. di filtrato di melma	id.	0 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	164	16 %
id.	id.	id.	id.	id.	3 %	id.	846	86 %
id.	Melma fangosa a <i>Cerastoderma</i>	m. 3.80	1 cc. di filtrato di melma	id.	0 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	1.5 %	id.	nulla	—
id.	id.	id.	id.	id.	3 %	id.	nulla	—

— 202 —

Risultati degli esperimenti sulla riduzione dei solfati, fatti con acqua di mare, dopo il lavoro della draga Littoria.

TABELLA 8.

Data della raccolta del materiale	Natura del materiale	Profondità	Materiale usato per la semina	Soluzione nutritizia usata	Durata della coltura	Quantità di SO <sub>3</sub> ridotta mgr. per l.	Percentuale di SO <sub>3</sub> ridotta
19 ottobre 1936	Acqua del lago	m. 1.90	1 cc. di acqua del lago	Acqua di mare gr. 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> » 0.5 Lattato di Na » 5 Asparagina » 1	3-21 novem. 1936	743	45 %
id.	Melma acquosa	m. 3.50	1 cc. del filtrato	id.	id.	601	37 %
id.	Melma fangosa	m. 3.80	1 cc. del filtrato	id.	id.	982	60 %
id.	Controllo	—	—	Acqua di mare gr. 1000 K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> » 0.5 Lattato di Na » 5 Asparagina » 1	id.	884	54 %

— 203 —

Come abbiamo già detto, di particolare interesse era il ricercare la attività dei batteri produttori di  $\text{SH}_2$  dalle proteine con materiale preso dalla melma fangosa.

Gli esperimenti hanno dato i seguenti risultati:

TABELLA 9.

Materiale da semina	Soluzione nutritizia	Contenuto in NaCl	% di cistina ridotta
1 cc. di filtrato di melma fangosa m. 3,80	<i>Aqua fontis</i> . . gr. 1000 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . . . » 0.5 Asparagina . . » 1 Lattato Na . . » 5 Cistina . . . » 1	0 %	595
id.	id.	1.5 %	818
id.	id.	3 %	804

Risulta da questi esperimenti: I° che i desulfuricanti, mancavano completamente nella melma fangosa; II° che i batteri produttori di  $\text{SH}_2$  dalle proteine in ambiente anaerobio erano in essa presenti ed attivi.

Dato che i batteri della putrefazione sono ubiquitari e non obbligatoriamente anaerobi, i due risultati, negativo per i desulfuricanti, positivo per i putrefacenti, non conducono a deduzioni contrastanti.

#### CENNI SULLE ISOLE MOBILI DI TORBA.

Come già ripetutamente è stato detto, buona parte della superficie dell'originario lago di Caprolace era coperto ante-bonifica da isole mobili torbose sulle quali ho potuto raccogliere il *Cladium mariscus* e un po' del materiale torboso formante una sorta di galleggiante dello spessore di m. 1.50, appoggiato sulla melma sottostante a desulfuricanti (fig. 10).

Anche per il materiale torboso procedetti ad analisi chimiche, alla determinazione della carica batterica e alle colture impure anaerobie di desulfuricanti e produttori di  $\text{SH}_2$  dalle proteine.

I risultati sono stati i seguenti:

#### ANALISI DELLA TORBA FORMANTE LE ISOLE TORBOSE MOBILI.

Umidità 88%

Sostanza secca 12%

#### Fase solida:

Sostanza organica (perdita alla calcinazione) 77%

Sostanza minerale 23%

Azoto totale (% sostanza secca) 22.7

» » » » organica) 29.5

#### CARICA BATTERICA.

Piastre di agar comune: germi per grammo 850.000.

La ricchezza in cenere di questa torba indica chiaramente la sua origine da torbiera bassa; la sua maggior ricchezza in germi, in confronto alle melme indica un ambiente di più attiva e rapida decomposizione della sostanza organica.

#### Risultati di colture impure anaerobie fatte con materiale torboso.

TABELLA 10.

Materiale di semina	Soluzione nutritizia	Contenuto in NaCl	% cistina ridotta	$\text{SO}_3$ ridotta
1 cc. di filtrato torba	<i>Aqua fontis</i> . . gr. 1000 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . . . » 0.5 Asparagina . . » 1 Lattato Na . . » 5 Cistina . . . » 1	0 %	799	—
id.	id.	1.5 %	947	—
id.	id.	3 %	452	—
id.	<i>Aqua fontis</i> . . gr. 1000 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . . . » 0.5 Asparagina . . » 5 Lattato Na . . » 5 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . » 0.3	0 %	—	—
id.	id.	1.5 %	—	294/974
id.	id.	3 %	—	101/974
id.	Acqua di mare gr. 1000 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . . . » 0.5 Asparagina . . » 1 Lattato Na . . » 5	—	—	490/1623

#### CONFRONTI FRA LA COMPOSIZIONE CHIMICA DELL'ACQUA DI CAPROLACE DURANTE LA BONIFICA 1933-34 E A BONIFICA COMPIUTA.

(vedi fig. 11)

Il confronto dei dati analitici dimostra che il lavoro energico di bonifica eseguito per mezzo della draga Littoria e delle pompe, che ha liberato il lago quasi completamente dalla melma a desulfuricanti, ha prodotto una forte mineralizzazione dell'acqua del lago di Caprolace.

Il residuo secco dell'acqua è diventato 10 volte maggiore e risulta per la quasi totalità di sostanze minerali; è aumentato infatti di circa quattro volte il tenore in CaO, è aumentato di circa 15 volte la quantità di NaCl e di SO<sub>3</sub> rispetto alle quantità date dalle analisi del febbraio '34.

Per quel che riguarda l'aumento del contenuto in NaCl che da 0,4 ‰ diventa il 6 ‰ (comparando le analisi del febbraio 1934 con quelle dell'ottobre 1936) non vi è altro che da concludere che il lago da oligoalino

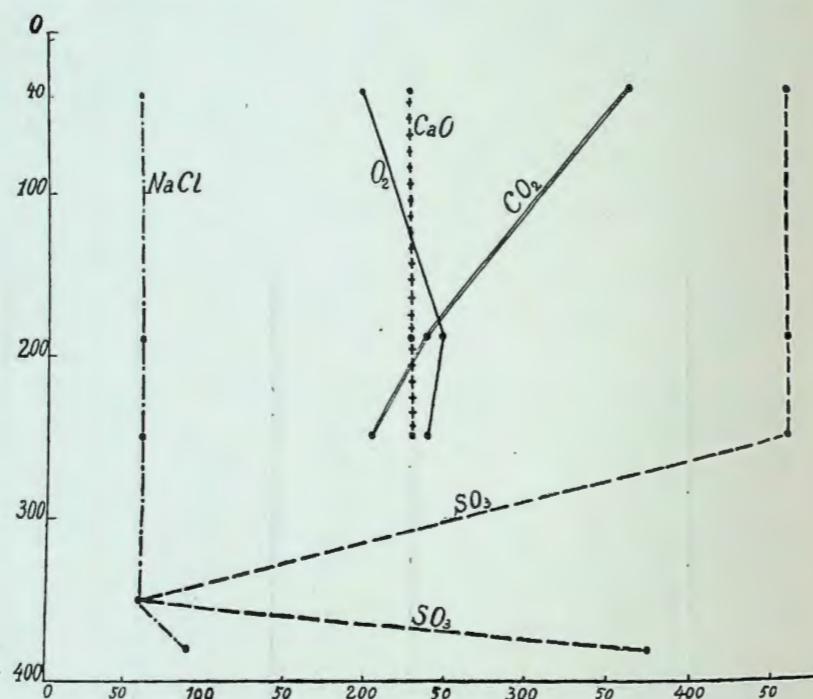


Fig. 11: Diagramma mostrante la concentrazione dei vari elettroliti, inoltre di O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> liberi, dopo la bonifica, il fondo a Cerastoderma essendo a m. 3,80 di profondità.

Sulle ascisse: NaCl in decigrammi; SO<sub>3</sub> e CaO in mgr.; CO<sub>2</sub> in decimi di cc.; O<sub>2</sub> in centesimi di cc.

Sulle ordinate: le profondità del lago a cui furono prelevati i campioni (in cm.).

è diventato mesoalino secondo lo spettro del BEDEKE. Il lavoro della draga e della pompa, smuovendo completamente la coltre di melma a desulfuricanti, ha portato a diretto contatto l'acqua del lago colla melma fangosa a Cerastoderma. Si è verificato soltanto allora ciò che la melma a desulfuricanti, pur col suo alto contenuto in NaCl, aveva impedito si verificasse, e cioè la diffusione di NaCl dalla melma fangosa all'acqua e con esso anche la maggior diffusione delle altre sostanze minerali contenute nel fondo, solfati compresi.

Quindi è chiaro che la melma a desulfuricanti funzionava da tamponcino impedendo la maggior parte degli scambi fra fondo e acqua, il chimismo della quale era evidentemente dominato dalla attività biochimica della melma stessa.

*La mineralizzazione dell'acqua del lago in seguito alla bonifica e per effetto del fondo a Cerastoderma, essendo escluso l'apporto da parte di acque affluenti, è una controprova dell'azione d'adsorbimento esercitata dalla melma a desulfuricanti sugli elettroliti prima della bonifica.*

Confrontando inoltre il diagramma riguardante i principali composti contenuti nell'acqua del lago prima della rimozione completa della melma durante l'anno solare che va del febbraio 1933 al febbraio 1934, con il diagramma corrispondente di dopo la bonifica, si osserva che il contenuto in SO<sub>3</sub> che in quell'anno era andato riducendosi gradatamente e sensibilmente, a completa rimozione della melma a desulfuricanti raggiunge una concentrazione superiore a quella che si trova nella melma fangosa (grammi 0,464 per litro dopo la bonifica, contro grammi 0,03 per litro nel febbraio 1934).

Tale differenza, anche se non è tanto forte (0,464 milligrammi per litro nell'acqua contro 0,367 mgr. per litro nel fondo a Cerastoderma) indica chiaramente che l'SO<sub>3</sub> dell'acqua aveva due origini:

1°) dall'SO<sub>3</sub> contenuto nel fondo a Cerastoderma e diffusosi nell'acqua dopo la rimozione completa del tamponcino formato dalla melma a desulfuricanti;

2°) dall'ossidazione dell'SH<sub>2</sub> liberantesi durante la rimozione e l'agitazione dal forte strato di melma e dal fondo fangoso.

#### SUL CONTENUTO IN O<sub>2</sub> E CO<sub>2</sub> DEL LAGO DI CAPROLACE NELL' OTTOBRE 1936.

L'andamento delle curve di O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> rappresentate nel diagramma di fig. 11 dimostra chiaramente che esse sono in antagonismo e che alla diminuzione di CO<sub>2</sub> con la profondità corrisponde un aumento piccolo, ma sensibile, nel contenuto in O<sub>2</sub>.

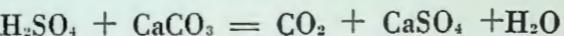
Mettendo in relazione questo fatto con la piccola quantità di O<sub>2</sub> presente si giunge a concludere:

1°) l'ossigeno apportato all'acqua dall'energico lavoro della draga è stato consumato in buona parte dalla sostanza organica in sospensione nell'acqua del lago di Caprolace e che proveniva dalla melma in uno stato di parziale decomposizione;

2º una parte dell'ossigeno è stata altresì consumata nell'ossidazione di SH<sub>2</sub> proveniente dal fondo e dalla melma rimossa.

In quanto a CO<sub>2</sub> che raggiunge forti quantità nella parte più superficiale dell'acqua (36,6 cc. per litro), esso doveva avere con tutta verosimiglianza tre origini:

1º dall'azione di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, derivante dall'ossidazione di SH<sub>2</sub>, sui carbonati di cui era ricco il fondo a *Cerastoderma*, secondo l'equazione:



2º dai bicarbonati provenienti dalle melme;

3º dall'ossidazione delle sostanze organiche portate in sospensione nell'acqua dal lavoro della draga e provenienti da un ambiente nel quale si trovavano solo parzialmente decomposte.

#### SULL'AUMENTO DEL CaO NELL'ACQUA.

In quanto all'aumento di CaO nell'acqua del lago, la spiegazione si ha nel fatto che il fondo a *Cerastoderma*, oltre a contenere numerosi gusci di questo mollusco e del *Loripes*, conteneva anche gusci di Foraminiferi (*Rotalia*?) in quantità apprezzabile al momento della raccolta. La forte produzione di CO<sub>2</sub> di cui si è data spiegazione più sopra e l'ossidazione di SH<sub>2</sub> devono avere trasformato in quantità notevoli il CaCO<sub>3</sub> del fondo in Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e in CaSO<sub>4</sub>.

Io stessa constatai sperimentalmente, e già ne feci cenno, che la melma fangosa emanante odore di H<sub>2</sub>S che in un primo tempo risultava contenere gusci di Foraminiferi in quantità apprezzabile, dopo qualche mese dalla sua raccolta, andando evidentemente soggetta a fenomeni di ossidazione di SH<sub>2</sub> e di produzione di CO<sub>2</sub> non ne conteneva più.

La liberazione di Ca<sup>++</sup> nell'acqua da parte del fondo non era compensata, subito dopo la bonifica, dalla sottrazione di calcio da parte di organismi, dato lo stato di abiosi in cui si trovava il lago in seguito alle profonde modificazioni prodotte dai lavori.

#### SULLA PRESENZA DEI DESULFURICANTI.

I risultati degli esperimenti sulla riduzione dei solfati dopo il lavoro della draga *Littoria* (tabella 7) non hanno bisogno di commenti lunghi.

Risulta indiscutibile che i desulfuricanti nel lago sono stati limitati dopo il lavoro della draga *Littoria* e della pompa a quei 30 centimetri di melma acquosa coprenti la melma fangosa a *Cerastoderma*, che rappresentano l'ultimo residuo dello strato melmoso spesso di ben 3 metri e più di ante-bonifica.

D'altro canto la melma fangosa era priva completamente di desulfuricanti e conteneva soltanto i batteri produttori di SH<sub>2</sub> dalle proteine. Difficile tuttavia decidere se l'SH<sub>2</sub> che emanava la melma fangosa si era tutto formato nella melma stessa e non provenisse per diffusione, almeno in parte, dalla melma a desulfuricanti superiore.

Si deve anche tener presente che la melma fangosa aveva un alto contenuto in sostanza organica (37%) denotando quindi, anche in base alla natura dei resti organici, la sua origine da un deposito litoraneo; ma nello stesso tempo l'assenza dei desulfuricanti indica chiaramente che i processi di decomposizione della sostanza organica avvenivano nella melma fangosa in un ambiente continuamente rinnovato, non privo di ossigeno, o per lo meno non strettamente anaerobio.

\* \* \*

I reperti delle colture si accordano pienamente con quelli delle analisi chimiche e precisamente:

a) la melma fangosa a *Cerastoderma*, senza desulfuricanti, conteneva abbondanti solfati;

b) la melma acquosa a desulfuricanti conteneva una quantità sensibilmente minore di solfati (circa un sesto) in confronto a quella contenuta nella melma fangosa;

c) l'acqua del lago, senza desulfuricanti, conteneva solfati in maggior quantità della melma fangosa; questi solfati accusavano così la loro doppia origine.

#### CONFRONTO FRA LA FLORA DIATOMOLOGICA DELLA MELMA ACQUOSA E DEL FONDO A CERASTODERMA.

Le 59 specie di Diatomee della melma acquosa e le 110 specie del fondo a *Cerastoderma* hanno in comune 29 specie, ma differiscono profondamente perchè nell'una prepondera la *facies salmastro oligoalina*, mentre nell'altra è dominante la *facies marina*.

Il fatto che la melma a desulfuricanti priva o quasi di Diatomee marine, ricca invece di Diatomee d'acqua salmastro e dolce, denotante ambiente anaerobio di acqua stagnante, appoggia direttamente su un fango ricco di specie e di individui prevalentemente marini, conduce alla deduzione che il fondo fangoso si è formato in un'insenatura marina, con acque forse poco profonde in corrispondenza alla quale sfociava probabilmente il rio Nocchia. Forse a causa di qualche rapido spostamento verticale barre di fondo marino sono emerse dal mare, in modo che l'insenatura marina è passata rapidamente allo stadio di lago costiero, completamente separato dal mare, senza una fase intermedia di laguna

aperta, più o meno ampiamente comunicante col mare. Questa ipotesi spiegherebbe bene la rapidità dell'interramento del lago, che infatti, comparativamente agli altri laghi costieri della regione, denota una età molto più avanzata e sarebbe avvalorata dalla presenza di gusci di Molluschi lungo le sponde interne delle dune.

Però, mentre il contrasto fra i due sedimenti non lascia dubbio sul brusco passaggio dallo stadio di insenatura marina a quello di stagno costiero, nulla si può decidere sulle cause della chiusura se non in seguito a uno studio geologico accurato delle dune.

#### GRANI DI POLLINE.

Anche la comparazione del contenuto in grani di polline fra acqua melmosa e fondo a *Cerastoderma*, indica differenze notevoli in rapporto certamente al cambiamento d'ambiente segnalato dagli altri dati. Tuttavia i dati non sono sufficienti per una sicura interpretazione delle differenze stesse.

#### CONCLUSIONI

1. — Il lavoro della draga *Littoria* e della pompa ha asportato per lo spessore di circa 3 metri la melma d'origine litoranea ricca in desulfuricanti che riempiva la conca del lago e limitava a 30-60 centimetri lo spessore dell'acqua.

2. — L'originaria melma a desulfuricanti funzionava da tampone, impedendo quasi completamente la diffusione verso l'alto degli elettroliți contenuti nella melma fangosa sottostante.

Si è dimostrato quindi il verificarsi in natura, e in misura grandiosa, del fenomeno d'adsorbimento, sperimentalmente ottenuto da OHLE.

3. — La melma a desulfuricanti veniva così a dominare il chimismo dell'acqua del lago, soprattutto mediante l'attività biochimica che si svolgeva in essa e i fenomeni chimico-fisici d'adsorbimento.

4. — Raggiunta la melma fangosa priva di desulfuricanti, il lago subì una forte mineralizzazione aumentando notevolmente il contenuto in  $\text{NaCl}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CaO}$ , provenienti tutti evidentemente dal fondo a *Cerastoderma*. L'abbondanza di  $\text{SO}_3$  nell'acqua indica che esso non era più attivamente consumato dai desulfuricanti ridotti ormai all'esiguo straterello

di melma acquosa dello spessore di cm. 30; quindi in pratica alla fine del 1936 era terminata nel lago di Caprolace la circolazione del solfo.

6. — La forte quantità di  $\text{CO}_2$  presente nell'acqua dopo la bonifica è dovuta presumibilmente all'ossidazione della sostanza organica, portata in sospensione nell'acqua dalla draga, all'ossidazione di  $\text{SH}_2$  e ai bicarbonati provenienti dalla melma.

7. — La povertà in ossigeno libero nell'acqua del lago dopo la bonifica, è in rapporto inverso col suo grande consumo per le ossidazioni di cui al numero 6.

8. — La flora diatomologica della melma acquosa a desulfuricanti e quella del fondo a *Cerastoderma*, privo di desulfuricanti, segnalano il rapido passaggio da una *facies marina* a una *facies lacustre-salmastra*, indicante un ambiente sottratto completamente all'influsso del mare libero.

9. — In via di ipotesi si può ammettere che una originaria insenatura marina ad acque poco profonde, in cui sfociava probabilmente l'attuale Rio Nocchia, per cause ancora da determinarsi, sia stata separata completamente dal mare con grande rapidità, in modo da passare bruscamente alla fase di lago e di stagno costiero non comunicanti col mare.

10. — I batteri desulfuricanti, per quattro anni convogliati con la melma al mare prospiciente il lago di Caprolace, hanno invaso anche le acque più basse del mare in vicinanza alla spiaggia.

11. — Il lago di Caprolace alla fine del 1936 si trovava in uno stato di abiosi determinato dal trapasso prodotto dai lavori di bonifica.

BIBLIOGRAFIA

1. - ALGERER R. J., PETERSON W.H., JNDAY C., BIRGE E. A. — *The anaerobic Fermentation of Lake deposits.* - Intern. Revue der Gesamten Hydrob. und Hydrob., Bd. 26, 1932.
2. - ALSTERBERG G. — *Die Nahrungszirkulation einiger Binnenseetypen.* - Arch. für Hydrob., B. XV, 1923.
3. - ANSELMI S. — *Osservazioni fisico-chimiche sulla laguna di Orbetello.* - Boll. Pesca, Piscic. Idrobiol., Anno V, Roma, 1929.
4. - ARNAUDI C. — *Sulla produzione microbica di SH<sub>2</sub> nel Lago di Caprolace.* - Boll. Ist. Sier. Milanese, Vol. XV, 1936.
5. - BAARS I. K. — *Over sulfatreduceerende bacteriën.* - Delft, 1930.
6. - BAISE CARL. — *Hydrobiologische Untersuchungen niederrheinischer Gewässer.* - Arch. für Hydrob., Bd. XXV, Stuttgart, 1933.
7. - BAVEDAMM W. — *Die farblosen und roten Schwefel-bakterien des Süßwasser und Salzwässer.* - In Kolkwitz. Pflanzenfor., Heft. 2, 1924.
8. - BEIJERINCK M. W. — *Ueber Spirillum desulphuricans als Ursache der sulfat-reduktion.* - Centralbl. für Bakter., Abt. II<sup>o</sup>, Bd. I<sup>o</sup>, 1895.
9. - BRUNELLI G. — *I progressi della idrobiologia e le conoscenze fisico-biologiche dell'ambiente acqueo.* - Riv. Biol., Vol. VI, 1924.
10. - BRUNELLI G. e APOLLONI N. — *Su alcune caratteristiche delle associazioni lagunari mediterranee.* - Rendiconti R. Accademia dei Lincei, (6) Vol. XI, Roma, 1930.
11. - BRUNELLI G. — *Ricerche sugli stagni litoranei.* - Rend. R. Acc. Lincei, Vol. XVII, Roma, 1933.
12. - BRUNELLI G. e CANNICCI G. — *Notizie preliminari sulle caratteristiche chimiche e biologiche del Lago di Sabaudia (Paola).* - Rend. R. Acc. Lincei, Vol. XIX, Roma, 1934.
13. - BRUNELLI G. e CANNICCI G. — *Notizie preliminari sulle caratteristiche chimiche e biologiche del Lago di Massaciuccoli.* - Rend. R. Acc. dei Lincei, Vol. XXII, Roma, 1935.
14. - D'ANCONA U. — *Faune et flore des eaux saumâtres. Deuxième Partie - Rapport et procès-verbaux des réunions de la Comm. Intern. pour l'expl. scient. de la Mer Méditerranée.* - Vol. VII, Paris, 1933.
15. - DELDEN (VAN) A. — *Beitrag zur Kenntniss der sulfatreduktion durch bakterien.* - Zentr. f. Bakter., Band XI, 1904.
16. - DÜCCELI M. — *Bakteriologischen Untersuchungen am Ritemsee.* - Zeitschrift f. Hydrob., Vol. II, 1924.
17. - GAMS H. — *Die Ergebnisse der pollenanalytischen Forschung in bezug auf die Geschichte der Vegetation und des Klimas von Europa.* - Zeisch. für Gletscherkunde, XV, 1927; XVI, 1929.

18. - GAMS H. — *Zur Schlammmenomenkatur.* - Arch. für Hydrob., Bd. XXI, Stuttgart, 1930.
19. - HARNISCH O. — *Die Biologie der Moore.* - Die Binnengewässer, Bd. VII, 1929.
20. - HESSE R. — *Tiergeographie.* - Jena, 1924.
21. - HÖLL K. — *Ueber den Sapropel - Begriff.* - Arch. für Hydrobiol., Bd. XXIII, Stuttgart, 1932.
22. - KAHL A. — *Die infusorien der Oldesloer Salzwasserstellen.* - Arch. für Hydrobiol., Band XIX, 1928.
23. - KAHL A. — *Die Tierwelt der Nord- und Ost-see.* Liefer. 23, 1933.
24. - KLOCK W. — *Phytoplanktonuntersuchungen in Brackwassergebiet der Unterwarnow.* - Intern. Revue der Gesamte Hydrobiologie und Hydrogr., Bd. 23, Leipzig, 1930.
25. - KNIGHT B. C. J. G. — *Bacterial nutrition.* - Medical Research Courneil, Londra, 1936.
26. - LAUTERBORN R. — *Die Sapropelische Lebewelt.* - Zool Anz., Bd. 24, 1901. — Verh. des Natur. Mediz. Ver. zu Heidelberg. N. F. XIII, 1915.
27. - LUNDBECK GOHANNES. — *Untersuchungen über die Bodenbesiedelung der Alpenränderseen.* - Arch. für Hydrob., Suppl. Bd. X, Heft 2, Stuttgart, 1938.
28. - LUNDQUIST G. — *Bodenablagerung und Entwicklungstypen der Seen.* — Die Binnengewässer, Vol. II, Stuttgart, 1927.
29. - MALDURA C. — *Le variazioni stagionali dei caratteri fisici e chimici delle acque della laguna di Orbetello.* - Boll. Pesca Piscicolt. Idrobiol., Roma, 1929.
30. - MAZZARELLI G. — *La improvvisa grande mortalità fra i pesci e gli altri esseri viventi nel Lago Lucrino manifestatasi il 14 agosto 1922.* - Atti R. Ist. Incoraggiamento Napoli, Ser. 6, Vol. LXXV, 1923.
31. - NADSON G. — *Beitrag zur Kenntnis der bakteriogenen kalkablagerungen.* - Arch. f. Hydr., Bd. XIX, Stuttgart, 1928.
32. - NAUMANN E. — *Die Bodenablagerungen des Süßwasser.* - Eine einführende Uebersicht. - Arch. für Hydr., Bd. XIII, Stuttgart, 1921.
33. - NAUMANN E. — *Grundlinien der experimentellen Planktonforschung.* - Die Binnengewässer, Bd. VI, Stuttgart, 1929.
34. - NAUMANN E. — *Einige Bemerkungen zur Terminologie des Sapropels.* - Arch. für Hydr., Bd. XX, 1929.
35. - NAUMANN E. — *Die Bodenablagerungen der Seen.* - Verh. Intern. Vereinigung für theor. und prakt. Limnologie, Roma, 1929.
36. - NAUMANN E. — *Einführung in die Bodenkunde der Seen.* - Die Binnengewässer, Bd. IX, Stuttgart, 1930.
37. - NAUMANN E. — *Grundzüge der regionalen Limnologie.* - Die Binnengewässer, Bd. XI, 1932.
38. - OHLE W. — *Chemische und physikalische Untersuchungen nord-deutscher Seen.* - Arch. für Hydr., Bd. XXVI, Stuttgart, 1934.
39. - PIA J. — *Kohlensäure und Kalk.* - Die Binnengewässer, Bd. XIII, Stuttgart, 1933.
40. - PRAMPOLINI N. — *La Bonifica idraulica della Palude Pontina.* - 1938.

41. - REDEKE H. C. — *Flora und Fauna der Zuidersee. - Monografie van een Brakwatergebiet* (Helder). - 1922.
42. - REDEKE H. C. — *Zur Biologie der niederländischen Brackwassertypen (Ein Beitrag zur regionalen Limnologie)* - *Bijdrag Dierkde, Afd. XXII*, 1922.
43. - REDEKE H. C. — *Abriss der regionalen Limnologie der Niederlande* - Amsterdam, 1932.
44. - REISSINGER ADOLFO. — *Quantitative Untersuchungen über den Schlammabsatz im Alpsee, dem Niedersonthofener See und dem Starnberger See.* - *Archiv. für Hydrol.*, Bd. XXIV Stuttgart, 1932.
45. - SASAKI, TAKAOKI e IKIRO OTSUKA. — *Experim. Untersuch. über die Schwefelwasserstoffentwicklung der Bakterien aus Cystin, etc.* - *Biochem. Zeitschr.*, 1912.
46. - SERNANDER R. — *Förna och äfja (Förna und Aefja)* - *Geol. Fören. Förh.*, Vol. 40, Stockholm, 1928.
47. - STARKEY W. N. — *Journ. Bacteriol.*, 1925, 1934.
48. - STARKEY W. N. — *Journ. gen. Physiol.*, 1935.
49. - THIENEMANN A. — *Die Binnengewässer Mitteleuropas* - Stuttgart, 1925.
50. - WEHMER C. — *Die Planzenstoffe* - Jena, 1929.
51. - WETZEL A. — *Der Faulschlamme und seine Ziliaten-Leitformen* - *Zeitschr. f. Morphologie un Oekologie der Tiere*, Berlin, 1928.

## SPIEGAZIONE DELLE TAVOLE

### TAVOLA I

- Fig. 1. — Le dune marine in corrispondenza del Lago di Caprolace.
- Fig. 2. — Il pantano ai bordi del Lago di Caprolace verso la strada della lavorazione (luglio 1932).
- Fig. 3. — Il pantano fra il Lago di Caprolace e la strada della lavorazione prima dell'inizio dei lavori di risanamento (luglio 1932).
- Fig. 4. — L'apparecchio per la pompatura della melma del Lago di Caprolace prima dell'inizio del funzionamento (luglio 1932).
- Fig. 5. — Veduta da bordo dell'apparecchio galleggiante per la pompatura della melma: si vede la tubazione galleggiante che porta la melma a scaricarsi in mare alla foce di S. Nicolò (luglio 1932).
- Fig. 6. — La draga «Roma» entra nel Lago per il dragaggio del fondo dopo essersi scavata un varco attraverso la duna marina.

### TAVOLA II

- Fig. 1. — Apparecchio prendi-fango a chiusura ermetica con lancia apicale perforante. Apparecchio aperto.
- Fig. 2. — Il medesimo chiuso.
- Fig. 3. — La Draga «Littoria» al lavoro (febbraio 1935).
- Fig. 4. — Il canale attraverso la duna che porta la melma pompata dal Lago di Caprolace fino al mare.
- Fig. 5. — Lago di Caprolace: dettaglio dell'argine perimetrale dopo la sistemazione (ottobre 1936).

### TAVOLA III

- Fig. 1. — Microfotografia a forte ingrandimento del fango a Diatomee ottenuto dalla melma fangosa dopo trattamento con acidi; al centro un esemplare di *Melosira sulcata*, (Ehr.) Ktz., f. *coronata* Grun.
- Fig. 2. — Aspetto della melma a desulfuricanti a forte ingrandimento. La grossa diatomea è il *Campylodiscus clypeus* Ehr.

### TAVOLA IV

- Fig. 1. — Microfotografia della melma fangosa. Sono ben visibili le due forme dominanti di *Melosira* e di *Triceratium*.
- Fig. 2. — Visione del Lago di Caprolace dalla duna marina prima del dragaggio.