

CAPITOLO V.

I fattori ambientali

a) L'acqua

Si ammette in generale che vi sia una correlazione diretta fra la capacità per l'acqua di un terreno e la sua ricchezza in Protozoi. Alla sua volta la capacità per l'acqua dipende dalla costituzione fisico-meccanica del terreno, dalla sua struttura e dal suo contenuto in *humus*; cosicchè anche queste ultime proprietà del terreno dovrebbero avere indirettamente importanza per la sua ricchezza in Protozoi.

Il SANDON trova che, per un tenore costante in azoto nel terreno, il numero delle specie dei Ciliati è in correlazione diretta col contenuto in acqua. Ciò dimostrerebbe che il fattore acqua agisce indipendentemente dalla quantità di sostanza organica presente nel terreno. Secondo lo stesso Autore, un alto contenuto in acqua del terreno può essere sfavorevole ai Rizopodi quando l'azoto del terreno è scarso. Per i Flagellati il contenuto in acqua del terreno non avrebbe rilevante influenza.

VARGA ammette che quanto maggiore è la capacità di un terreno per l'acqua, tanto maggiore è anche il numero dei Protozoi (numero d'individui).

Prendendo in considerazione il contenuto in acqua dei terreni di foresta, il VARGA costruisce una curva dei valori mensili del contenuto stesso, la quale dimostra che ad un minimo contenuto in acqua del terreno corrisponde un minimo di Protozoi attivi; tale minimo di contenuto in acqua del terreno è fra il 5 e l'8% della capacità idrica del terreno stesso.

L'esperienza a cui si è accennato di LOSINA-LOSINSKI dimostra chiaramente che per un contenuto in acqua superiore al 40% della capacità totale idrica, tutti i Protozoi, i Ciliati compresi, sono attivi nel terreno. Ed è noto che sopra il 40% di contenuto in acqua è pure l'ottimo dal punto di vista agrario.

Il VARGA ammette pure che l'acqua di capillarità e di adesione offre un tipico biotopo ai Protozoi terricoli.

Ma se in generale questi risultati possono accettarsi, sono da citarsi alcune eccezioni importanti.

Il terreno sabbioso, a bassa capacità idrica, dovrebbe contenere e sviluppare pochi Protozoi. Al contrario, nei nostri esperimenti di cui al capitolo VI, il terreno sabbioso si è dimostrato fortemente favorevole allo sviluppo di molti Protozoi. Gli studi del FANTHAM sulle sabbie desertiche del Kalahari hanno dimostrato in tali sabbie l'esistenza di una cospicua fauna protozoaria nella quale predominano i Flagellati verdi.

I recenti studi del FEHER sulla vita microbica dei terreni di foresta, hanno posto in evidenza che l'aereazione ottima di cui gode il terreno forestale sabbioso e la sua facile riscaldabilità, esaltano notevolmente non il numero dei batteri, ma la loro attività specifica in confronto ad altri terreni forestali normali.

Lo stesso VARGA, da un terreno sabbioso di foresta di Robinie, raccolto in febbraio, otteneva ben 43 specie di Protozoi, delle quali 14 erano di Ciliati; numero massimo, quest'ultimo, segnalato dall'Autore per i Ciliati fra tutti i tipi di terreno forestale da lui studiati.

β) L'ossigeno

Esistono parecchi Protozoi liberi anaerobi. Si devono però distinguere due ambienti ben diversi nei quali il chimico riscontra assenza di ossigeno: a) quello ricco in sostanze organiche complesse in via di decomposizione, e in cui effettivamente l'ossigeno arriva, anche se in piccola quantità, ma è immediatamente consumato per l'alto potere riducente dell'ambiente, cosicchè difficilmente esso si può trovare libero; b) l'ambiente ricco in sostanza organica in decomposizione in cui però non arriva affatto l'ossigeno.

Al primo tipo d'ambiente si possono ascrivere le fosse *settiche*, le acque di scolo delle grandi città nel loro primo tratto; al secondo ambiente si riconnette il mondo sapropelico del fondo di acque stagnanti, in cui la vita intensa delle acque superficiali, consumando tutto l'ossigeno disponibile in tali strati, non permette che esso arrivi agli strati più profondi dell'acqua e alla melma del fondo. Quindi, i due processi di decomposizione della sostanza organica, l'uno dei quali avviene nelle acque superficiali scorrenti e l'altro nei fondi melmosi sapropelici, non sono paragonabili. Al mondo sapropelico appartengono forme di Protozoi che non sono segnalate come abi-

tatrici normali del terreno. Qualche rara specie sapropelica fu da noi rinvenuta in terreni irrigati o di serra, ma in modo affatto occasionale.

Nelle fosse settiche, in assenza di ossigeno libero, LACKEY ha segnalato le seguenti specie: *Chlamydothryx minor*, *Wahlkampfa fragilis*, *Mastigamoeba longifilum*, *Mastigamoeba reptans*, *Mastigamoeba radiosa*, *Trepomonas agilis*, *Bodo glissans*, *Holophrya* sp., *Metopus sigmoides*, *Saprodinium putrinum*, *Trimyxa compressa*. Fra questi i Ciliati sono in minoranza, e, tranne il *Metopus sigmoides*, trovato occasionalmente nel terreno, le altre forme non sono state rinvenute nel terreno.

Anche nelle fogne, contenenti poco o punto ossigeno, lo stesso Autore (1925-26) ha segnalato 29 specie di Protozoi.

Secondo NOLAND, le specie *Colpidium colpoda*, *Colpoda cucullus*, *Colpoda steinii*, *Glaucoma pyriformis*, *Spathidium spathula*, vivono in assenza di ossigeno libero, e *Chilodon cucullus*, *Dileptus gigas*, *Euplotes charon*, *Glaucoma scintillans*, *Paramecium caudatum*, ne richiedono soltanto piccole tracce. Recenti ricerche di LWOFF dimostrano però che il *Glaucoma pyriformis*, in ambiente perfettamente privo di ossigeno, non si moltiplica.

Gli studi del KOLKOWITZ e MARSSON e i nostri risultati sui terreni di marcita, dimostrano a sufficienza che i Ciliati del terreno abbondano in numero di specie e complessivamente anche d'individui là ove prevalgono processi ossidativi d'origine batterica nella decomposizione della sostanza organica.

Ora, nel terreno agrario normale in genere, i processi di decomposizione sono di tipo essenzialmente aerobio e batterico. In certi terreni naturali può preponderare l'azione decomponente ifomicetica su quella batterica, ma questa azione, lenta in natura, non è accompagnata da abbondanti Protozoi (RICCARDO, ARNAUDI, GRANDORI), essendo essi in buona parte batteriofagi.

Cosicché si può affermare con sicurezza che la buona aereazione del terreno, e tutti quegli accorgimenti e fattori che la favoriscono, accelerando la decomposizione batterica aerobica della sostanza organica, esaltano anche lo sviluppo di Protozoi (esclusi i Teolobosi).

Riferendoci a ciò che abbiamo detto sui terreni sabbiosi, è certo che in essi, quando il contenuto in acqua raggiunge l'optimum o si avvicina ad esso, i fenomeni della decomposizione ae-

robica della sostanza organica sono intensi ed intensa è anche l'aereazione.

A quest'ultima conclusione giunge anche il FEHER; e il risultato del nostro esperimento sul terreno sabbioso ne è una conferma, per quanto riguarda i Protozoi. Se inoltre si considera che i terreni di marcita irrigata con acque luride ricevono per lunghi mesi, dall'irrigazione fatta con scorrimento di un sottile velo liquido sulla superficie del terreno, oltre a grandi quantità di sostanza organica in via di decomposizione, anche abbondante ossigeno, e sono ricchi di Protozoi, e la ricchezza in Ciliati va aumentando col progredire dei processi ossidativi nei successivi quadri della marcita, si giunge alla conclusione che, in via generale, allo stato attuale delle nostre conoscenze, sembrerebbe doversi ammettere una correlazione positiva fra intensità di aereazione del terreno, ricchezza di sostanza organica in decomposizione, e sviluppo dei Protozoi.

γ) Il valore del pH

Alla concentrazione degli idrogenioni nel terreno in rapporto alla vita dei Protozoi terricoli, è stato dato da alcuni un'importanza, da altri no.

FANTHAM e i suoi collaboratori, nei loro studi decennali sui Protozoi dei terreni africani, portano dati dai quali parrebbe che il valore del pH non abbia grande influenza sulla fauna protozoaria, compresi i Teolobosi.

Secondo il SANDON, il valore del pH non avrebbe influenza apprezzabile su Amebe, Flagellati e Ciliati, mentre i Teolobosi sembrerebbero tendere all'aumento nei terreni acidi.

Il VARCA invece trova che nei terreni di foreste e in quelli dei prati forestali, i Protozoi sono attivi quando la reazione è acida; quando essa tende al basico, i Protozoi attivi scompaiono quasi sempre. Purtroppo però i dati del VARCA riguardano il numero complessivo dei Protozoi, senza distinzione dei gruppi sistematici; da qui il dubbio che egli comprenda nei suoi computi anche i Teolobosi, che secondo SANDON tendono a svilupparsi di preferenza in terreni acidi.

Se dal campo dello studio in natura si passa a quello degli esperimenti *in vitro*, i rapporti fra i diversi valori del pH e la vita dei Protozoi, non risultano per ora affatto chiariti.

Relativamente recenti sono i lavori dello SKADOWSKY, dell'EFIMOFF e collaboratori, del HOPKINS, del DARBY e di G. ANDAL, che si occuparono degli effetti della concentrazione degli idrogenioni su specie isolate di Protozoi, ma i loro dati vertono su un numero relativamente piccolo di specie, e per ora non possono servire di base ad una interpretazione dei risultati qualitativi che si ottengono con lo studio dei Protozoi del terreno.

I più recenti lavori del MAST, del LOEFER, dell'ELLIOT, hanno rivelato infine che alcune specie di Protozoi (Amebe, Flagellati, Ciliati), dimostrano in coltura due ottimi di sviluppo corrispondenti a due valori del pH, talvolta notevolmente lontani. Ad esempio il *Colpidium striatum*, in un mezzo libero da batteri, presenta due massimi di sviluppo numerico in corrispondenza a $\text{pH} = 5,5$ e $\text{pH} = 7,6$. Mutando in parte il mezzo colturale, variano anche i valori del pH corrispondenti ai due ottimi, e l'aggiunta di acetato di sodio fa scomparire uno dei due ottimi.

Vi è anche da notare che i valori dei limiti del pH entro cui può vivere e prosperare una data specie, non sempre concordano quando determinati da Autori diversi. Ad esempio, secondo il MOREA, il *Paramecium aurelia* vive fra i valori 6 e 9,5 del pH, mentre, secondo il DARBY, esso vive fra i valori 5,7 e 7,8 del pH.

δ) L'azoto totale

Il prendere in considerazione da un lato l'azoto totale contenuto nei terreni e dall'altro il numero dei Protozoi, senza specificare di quali gruppi sistematici si tratti, ha condotto parecchi osservatori a risultanze in apparenza discordanti.

SANDON trova che un primo lieve aumento nel contenuto in azoto s'accompagna con un aumento nella media dei numeri delle specie di Amebe, Flagellati e Ciliati; un aumento ulteriore nel contenuto in azoto, non è accompagnato da ulteriore aumento apprezzabile del numero delle specie di Protozoi. Però questa conclusione è basata sul presupposto che il numero crescente delle specie sia indice sicuro di aumento anche numerico individuale. Il che, se in taluni casi risponde a verità, in altri casi non si verifica.

SANDON afferma che i terreni di giardino, aventi di solito un piuttosto alto contenuto in azoto, sono ricchi soprattutto in Ciliati, e per converso altri tipi di terreno ricchi in azoto (terreni

torbosi artici e antartici) sono poveri in Flagellati, Amebe e Ciliati.

Risultarono invece ricchi di specie di Flagellati, Ciliati e Amebe in numero superiore alla media, tutti i terreni tropicali e sub-tropicali coltivati.

Afferma ancora il SANDON che il numero dei Tecolobosi mostra una marcata correlazione positiva con l'azoto totale del terreno. Con un basso contenuto in azoto i Rizopodi sono sempre scarsi o assenti, e l'aumento d'azoto è accompagnato sempre da un aumento della media frequenza di essi; il massimo numero si trovò nei terreni ad alto contenuto in azoto totale.

E' evidente che terreni di diversissima natura e in diversissimo stadio del metabolismo della sostanza organica in essi contenuta, possono presentare un alto contenuto di azoto totale: per esempio, due campioni di terreno, uno dei quali di marcita (ricca di specie e d'individui di Protozoi e di sostanza organica azotata in rapida demolizione) e l'altro di brughiera (notoriamente ricca anch'essa di sostanza organica azotata immobilizzata o quasi, e povera di Protozoi in numero di specie e d'individui), possono presentare ambedue alta ricchezza in azoto totale. Quindi le apparenti contraddizioni che il SANDON ha creduto di rilevare (anche dato, ma non concesso, che numero di specie e numero d'individui siano in correlazione positiva) dipendono dal fatto che l'Autore prende come termini confrontabili con lo sviluppo della popolazione protozoaria (Flagellati, Ciliati, Amebe) le cifre date dall'analisi per il contenuto in azoto totale, invece di quelle dell'azoto nitroso, nitrico e ammoniacale che possono essere indici dell'intensità dei fenomeni di decomposizione della sostanza organica nel terreno.

Per cui noi pensiamo che un terreno può essere relativamente povero in azoto totale e tuttavia possedere una forte percentuale di questo azoto in forma rapidamente utilizzabile.

Si ricollega a questo concetto il fatto che nei terreni meridionali, in buone condizioni d'umidità, è difficile l'accumulo di sostanza organica perchè la temperatura elevata vi accelera i processi di decomposizione, mentre nei paesi più settentrionali l'accumulo è possibile, come anche ricerche recenti confermano, perchè i processi di decomposizione, a prescindere dagli altri fattori, sono meno intensi a bassa temperatura.

In base a queste considerazioni diventa spiegabile la con-

statazione del SANDON che tutti i terreni tropicali e subtropicali coltivati da lui studiati sono relativamente poveri in azoto totale e posseggono tuttavia una fauna protozoaria notevole od abbondante (esclusi i Tecolobosi).

Quindi il nesso fra azoto del terreno e popolazione protozoaria esiste, ma si ramoda non all'azoto totale, bensì all'intensità dei fenomeni di decomposizione d'origine batterica delle sostanze azotate nel terreno.

c) *La natura della sostanza organica*

Uguagliando gli altri fattori, la natura delle sostanze organiche presenti nel terreno, può influire sullo sviluppo dei Protozoi terricoli?

Alcuni Autori parlano di ricchezza in sostanza organica (WAKSMAN), in rapporto ai Protozoi, ma l'affermazione che esista tale rapporto è generica, e non precisa di quali sostanze organiche si tratti. Parecchi sono d'accordo nell'affermare che i terreni coltivati, ben concimati con stallatico, sono i più ricchi in Protozoi. Lo stallatico porta nel terreno parecchie specie co-prozoiche, e la sua ulteriore decomposizione nel terreno dà origine a sviluppo di un buon numero di individui di Protozoi. Naturalmente gli effetti saranno più evidenti quando la sostanza organica viene apportata a un terreno per natura povero di Protozoi.

Le nostre ricerche sulla brughiera mettono in evidenza tali effetti.

La conclusione della COPPA, che le concimazioni non modificano la popolazione protozoaria del terreno, non corrisponde ai fatti.

Per ciò che riguarda l'influenza dei residui di diverse essenze forestali cadenti sul terreno, i risultati del nostro studio sui Protozoi di brughiera (Vedi Capitolo X, §) ci hanno portato alla conclusione che la natura di tali residui influisce notevolmente sugli aggruppamenti protozoari del terreno e sullo sviluppo numerico degli individui.

Esperimenti in corso e dei quali diamo più avanti i risultati, dimostrano che la natura dei residui vegetali che si decompongono negli strati superficiali del terreno, determina nette variazioni qualitative e quantitative sulla fauna protozoaria del terreno (V. Capitolo XI).

γ) *La temperatura*

E' difficile precisare entro quali limiti in natura il fattore temperatura entri nel giuoco dei numerosi fattori da cui dipende la vita e lo sviluppo dei Protozoi del terreno. Innanzi tutto, le diverse specie sono adattabili entro limiti variabilissimi di temperatura. In secondo luogo la temperatura favorevole a un certo gruppo di specie, pur verificandosi, non è sempre e in tutti i terreni condizione sufficiente al loro sviluppo, perchè occorre anche la presenza di una certa quantità d'acqua; e per le forme saprobie, che sono le più abbondanti nel terreno, occorre anche una certa quantità di sostanza organica in decomposizione.

VARGA ha osservato che quanto più si sale in alta montagna, tanto più diminuisce il numero di specie dei Protozoi del terreno. Le nostre ricerche su terreni di pascoli montani a circa 2200 m. di altitudine (Passo del Piccolo S. Bernardo) con diverso valore del pH, diversa natura litologica ed esposizione di versanti, e diverse associazioni vegetali dominanti, hanno confermato che a quelle altitudini il numero delle specie e degli individui presenti nel terreno è trascurabile. In tali terreni la carica batterica eseguita dal Prof. ARNAUDI risultò bassissima (2800 germi per grammo di terreno). Le acque di palude di fondo valle invece ci rivelarono una fauna protozoaria abbastanza ricca, con forme già conosciute quali abitatrici di acque fredde e come catarobie. Spieghiamo la povertà di specie nei terreni a grandi altitudini non solo per la bassa temperatura come fattore a sè stante, ma anche perchè alle basse temperature di quelle regioni e con la povertà batterica constatata, la decomposizione della sostanza organica procede con grande lentezza.

Salvo poche ore del giorno in una breve stagione estiva, abbiamo constatato che la temperatura degli strati superficiali del terreno raramente supera i + 10° C. Notevole il fatto da noi constatato nei terreni a sfagno del fondo valle del Passo del Piccolo S. Bernardo, della presenza di una fauna di Tecolobosi caratteristica di sfagni e muschi, dimostrandosi così che questo speciale aggruppamento di Protozoi segue il suo biotopo anche a grandi altitudini, dove invece il fattore temperatura diventa fortemente sfavorevole al gruppo dei microrganismi saprobi.

7) *Altri fattori*

Sull'importanza dei raggi luminosi e delle altre radiazioni solari, della pressione osmotica, della natura litologica e mineralogica del terreno, della struttura fisico-meccanica del medesimo, delle concimazioni chimiche e di altri fattori minori, la letteratura della sperimentazione ci offre soltanto qualche frammento insufficiente per trarne conclusione alcuna e neppure orientamenti generali sui singoli problemi; per qualcuno di questi fattori (concimazioni chimiche) si registra qualche risultato negativo (COPPA).

Rimandiamo perciò ad una successiva memoria la trattazione del valore di questi fattori per il mondo protozario del terreno, allorchè potremo disporre anche dei nostri risultati sperimentali.

CAPITOLO VI.

L'alimentazione dei Protozoi del terreno

Tecolobosi. — Mancano lavori sperimentali sul modo di alimentazione di questi animali. Alcune notizie frammentarie date da diversi Autori sono talvolta contraddittorie. Per i generi *Euglypha*, *Disflugia*, *Nebela*, *Quadrula*, *Heleopera*, *Amphyzonella*, *Cochliopodium*, *Pamphagus*, *Hyalosphenia*, che si trovano tutti nel terreno, sembra che l'alimento consista per lo più in alghe clorofilliche. Qualche specie è considerata batteriofaga.

Amebe del terreno. — Esse appartengono al gruppo delle piccole *Amebe*, del tipo *limax*, e si trovano nel terreno, nei liquidi fermentanti, nelle feci degli animali. Sono considerate come essenzialmente batteriofaghe. Secondo CUTLER e CRUMP, l'*Hartmannella hyalina* si sviluppa più rapidamente con alcune specie di batteri che con altre, e questa specificità è considerata importante per spiegare le fluttuazioni notevoli del numero d'individui di *Hartmannella* nel terreno.

In generale, come conseguenza di esperimenti compiuti, si ammette per queste *Amebe* un certo potere selettivo del cibo. Le spore batteriche sono meno facilmente ingerite delle forme vegetative.

Flagellati. — Qualche specie di *Polytoma* si può nutrire con soluzioni nutritive di varie sostanze organiche libere da batteri. Nelle *Eugleninae* si passa da una nutrizione olofitica ad una olozoica. L'*Euglena viridis* è eterotrofica facultativa per le sostanze azotate.

I *Peranemidae* sono olozoici, cibandosi di piccole Alghe verdi, Flagellati, frammenti di piante.

La maggior parte dei più piccoli *Pantostomatinae* mangiano esclusivamente batteri.

Nei *Bodonidae*, pur essendo l'alimentazione molto varia, predomina quella batterica. *Bodo saltans* ed *Heteromita ovata* sono le due specie considerate molto importanti nell'auto-sterilizzazione delle acque luride.

Il genere *Hexamitus* delle *Distomatinae* si nutre di Batteri, piccoli Flagellati e amido.

Ciliati. — I Ciliati del terreno hanno bisogno in generale di alimento solido. Questa conclusione si basa sulle osservazioni fatte sugli individui durante l'ingestione degli alimenti, sulla presenza di un complesso citostoma, sullo studio dei vacuoli alimentari, e soprattutto sul fatto che pochissime specie di Ciliati sono state ottenute in colture pure libere da batteri. Di tutte le colture di questo genere, quelle sulle quali non vi è discussione per i metodi rigorosi seguiti, sono la coltura di *Glaucocoma pyriformis*, che è stato allevato dal LWOFF per 8 anni consecutivi, e quella del *Colpidium striatum* dell'ELLIOT.

I risultati di altre colture per altre specie di Ciliati annunciate da vari Autori sono accettati con molta riserva.

In generale, i Ciliati nei quali il cibo viene portato al citostoma mediante un vortice provocato da ciglia ed altri organelli adoriali, mangiano batteri e alghe unicellulari vive.

Per lo più i batteri acido-resistenti hanno minor valore alimentare per i Ciliati che per i Rizopodi. E' noto dai lavori del CHATTON quale importanza abbia la specie del batterio che serve d'alimento sulla divisione e coniugazione dei *Glaucocoma*, *Colpidium* e *Paramecium*.

Pochi sono i Ciliati predatori.