

La Fioritura di *Microcystis aeruginosa* al lago di Serraia, vista da vicino
(ad inizio settembre 2023)

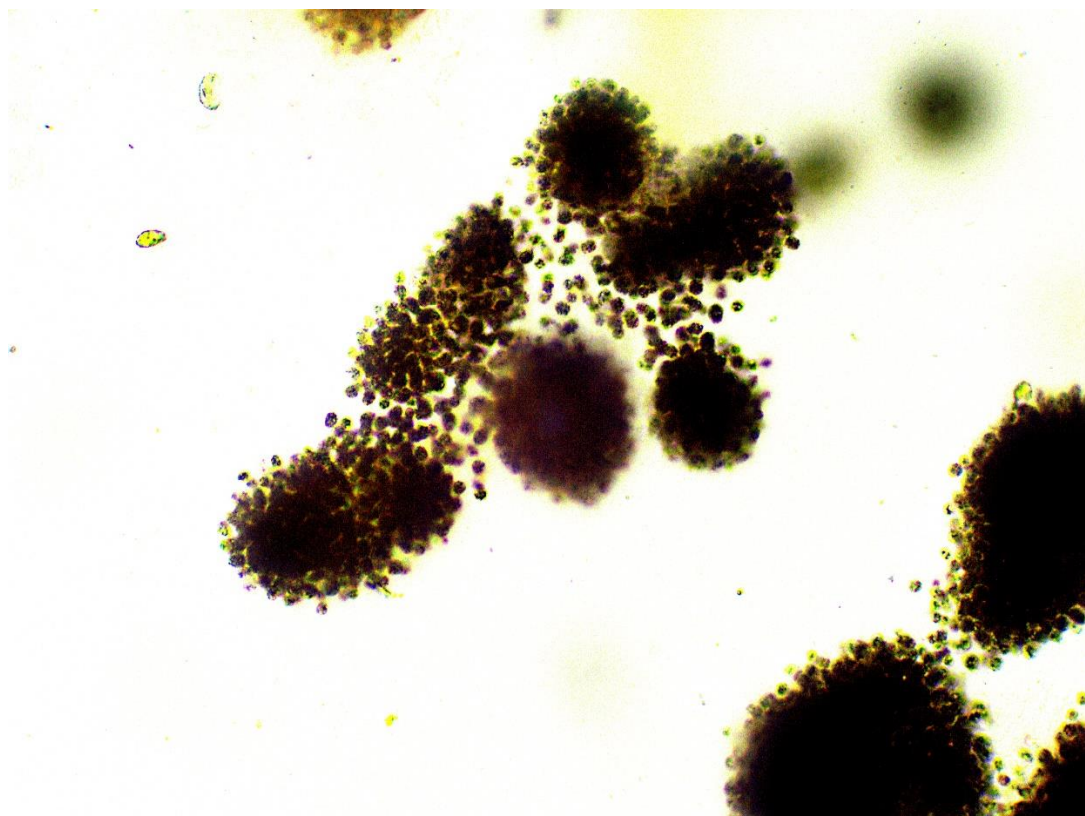


Figura 1. *Microcystis aeruginosa*, prelievo al Serraia, 1° settembre 2023

Grazie alle puntuali osservazioni sul campo di **Mauro Avi** possiamo condividere alcune splendide immagini dei campioni, prelevati con retino da plancton in superficie, ed osservati con microscopio invertito Zeiss IM obiettivo 40X, ingrandimento circa 400X. Le singole cellule hanno dimensione di circa 4 micron. Abbiamo ritenuto utile riportare qualche informazione ricavata dalla letteratura scientifica internazionale (disponibile a richiesta).

La *Microcystis aeruginosa* è un cianobatterio (sono dette anche alghe azzurre). Come i batteri non possiedono un nucleo ben delimitato da membrana (sono cioè procariote). Si differenziano dalle alghe eucariote, che invece possiedono un nucleo delimitato. A differenza dei batteri, ricavano l'energia necessaria alla vita dalla luce, via fotosintesi, grazie alla clorofilla (o altre sostanze in grado di catturare la luce, come le ficobiline). Sono degli organismi alla base della catena alimentare.

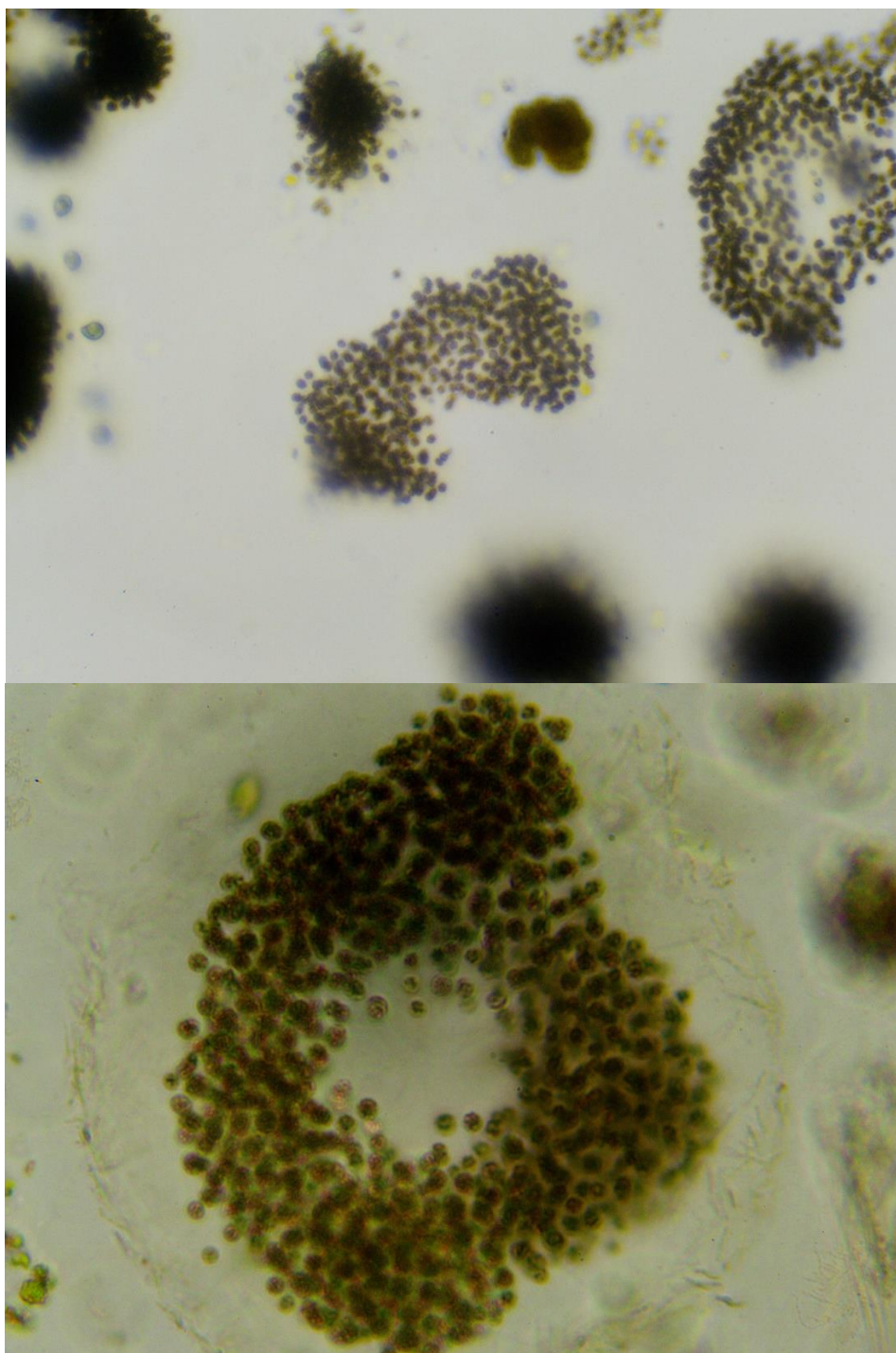


Figura 2. *Microcystis aeruginosa*, prelievi al Serraià, in alto il 1 ed in basso l'8 settembre 2023

M. aeruginosa è capace di aggregarsi in colonie piuttosto grandi, usando una strategia vantaggiosa per l'utilizzo della luce all'interno della colonia. Questo cianobatterio infatti adotta un modello di crescita reticolare, caratterizzato da fori distinti, sottili, irregolari che aumenta la profondità

effettiva di penetrazione della luce. Anche grazie a questo meccanismo, le colonie di *M. aeruginosa* sono tra quelle capaci di crescere in colonie più grandi e dominare le fioriture in estate e in autunno.

Le fioriture di questo tipo non piovono dal cielo, non provengono dal nulla, ma da organismi sempre presenti nel lago a vari livelli. In determinate condizioni, favorevoli al loro sviluppo, come avvenuto al Serraiia nel 2023, si moltiplicano esponenzialmente.

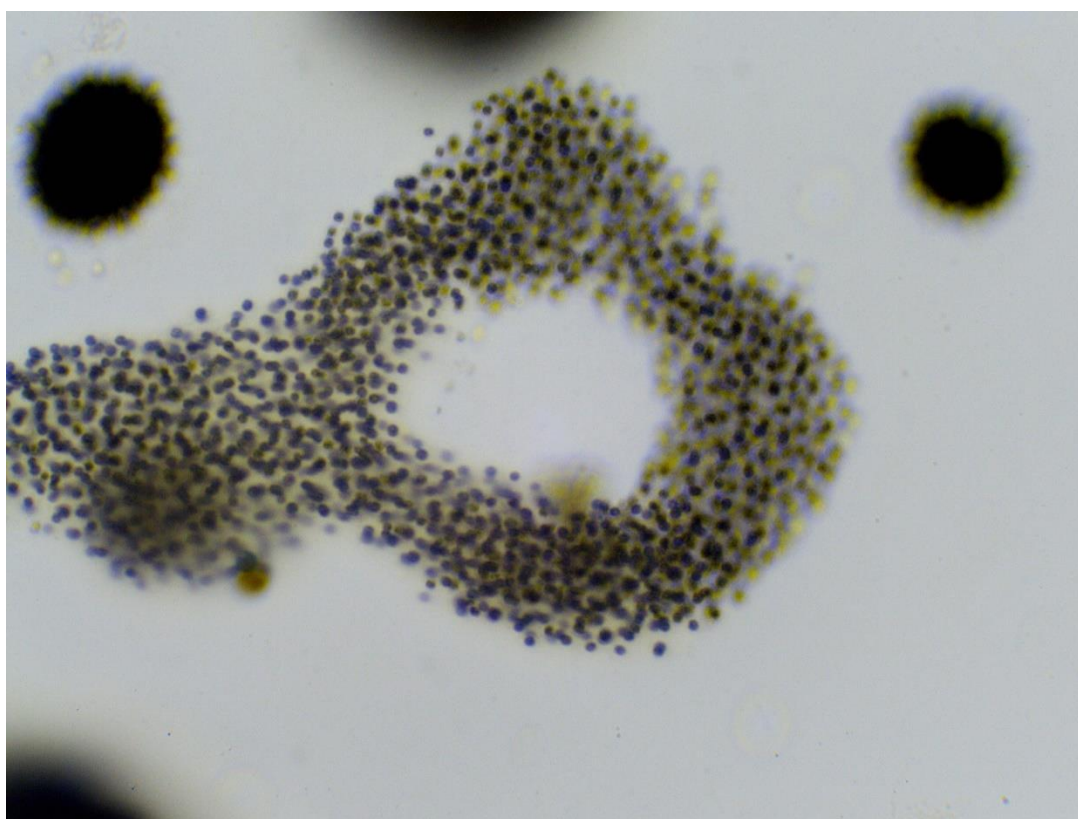


Figura 3. *Microcystis aeruginosa*, prelievo al Serraiia, Imbarcadero, 16 agosto 2023

Non sono neppure organismi per sé negativi, al contrario fanno parte tutti di un equilibrio, di un ecosistema dove tutti hanno bisogno e dipendono nello sviluppo dagli equilibri che si instaurano: se si alterano non sono malvagi in sé: siamo noi che li viviamo come problemi. Vediamo perché.

Equilibri che si alterano. Nella maggior parte dei casi siamo noi a provocare queste alterazioni, con le diverse azioni antropiche. Ogni azione provoca una reazione. Ogni scelta ha un costo. Anche nella Natura. Senza dubbio, la presenza di eccesso di nutrienti, fosforo ed azoto, ne favorisce lo sviluppo. Ma non spiega tutto.

Perché i cianobatteri possono produrre tossine? Le *Microcystis*, in particolare quando muoiono, possono liberare sostanze potenzialmente tossiche (epatotossine in particolare). Perché sono particolarmente pericolose proprio quando muoiono? Le microcistine sono solubili solo in bassissime concentrazioni (micromolari) in acqua, mentre al contrario vengono immagazzinate in

alte concentrazioni (millimolari) all'interno delle cellule dei cianobatteri. Tuttavia, l'accumulo di concentrazioni così elevate di metaboliti secondari altamente tossici in una cellula procariotica non avviene senza problemi. Il frazionamento differenziale dei costituenti cellulari di *Microcystis* ha mostrato che le microcistine (e le cianopeptoline) sono legate a una frazione proteica composta principalmente da ficobiline. Dal punto di vista ecologico ciò è vantaggioso in quanto fungono da molecole di difesa. I cianobatteri devono quindi accumulare grandi quantità a livello intracellulare per usarli come tossine acute per la difesa contro gli erbivori quando vengono ingeriti.

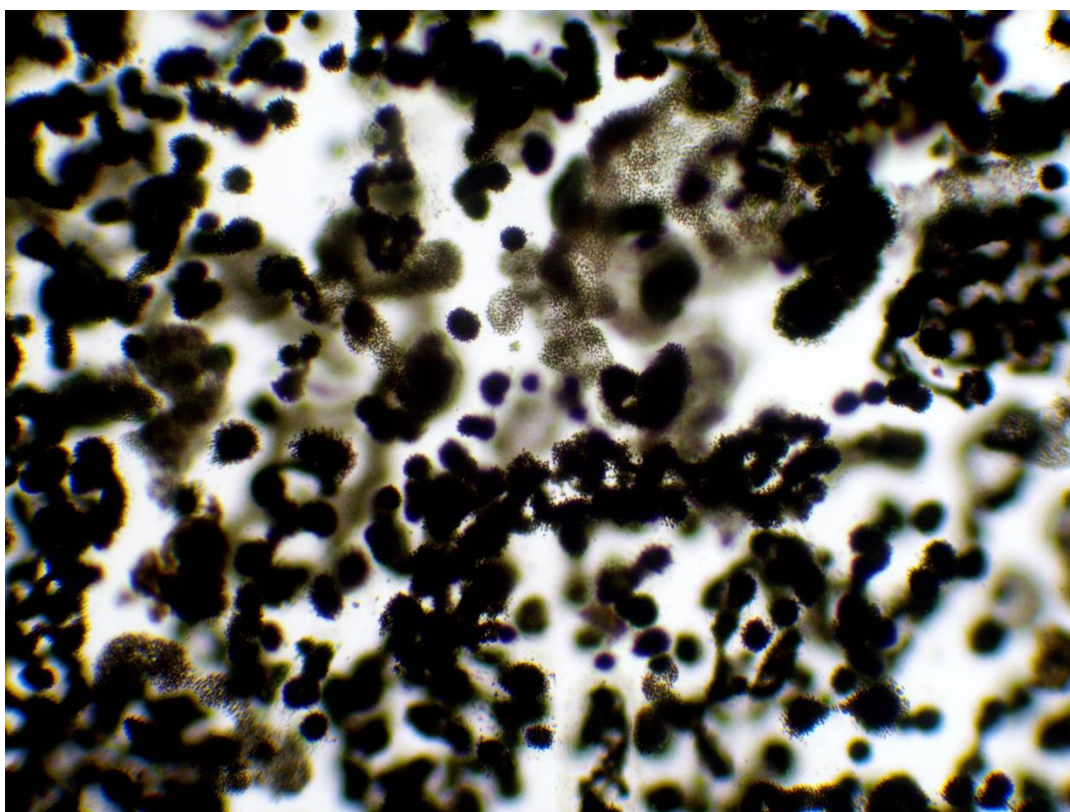


Figura 4. *Microcystis aeruginosa*, prelievo al Serrai, imbarcadere, 11 settembre 2023

Attenzione ai colori blu. Le fioriture superficiali conferiscono colori cangianti col tempo (dal verde fluo, al marrone, al blu). L'acqua di colore blu, che si può osservare durante il collasso finale delle fioriture di *Microcystis*, può essere estremamente tossica perché le ficobiline rilasciate possono trasportare la frazione maggiore di microcistine.

Meccanismo di azione delle tossine. Quando l'alga muore, le pareti cellulari si rompono, rilasciando la tossina nell'acqua. Le microcistine in generale sono tossine per il fegato. Le microcistine inibiscono una classe di enzimi noti come fosfatasi proteica. Questo enzima rimuove il fosfato da una proteina, un passaggio comune in molti percorsi biochimici. Si ritiene che questa inibizione, con conseguente accumulo di proteine fosforilate, sia un meccanismo con cui le microcistine distruggono il fegato.

Pericolosità delle tossine. Confrontando le indicazioni disponibili sui pericoli derivanti dalle cianotossine con altri pericoli per la salute legati all'acqua, è riportato che le cianotossine hanno causato numerosi avvelenamenti mortali del bestiame e della fauna selvatica, mentre non sono stati documentati decessi umani dovuti all'assunzione orale. Seri avvelenamenti umani richiedono l'ingestione di quantità importanti di acqua contaminata, un rischio importante se vengono contaminate acque per il consumo diretto, ma altamente improbabile per chi ad esempio fa il bagno.

Attenzione agli animali domestici. La maggior parte degli avvelenamenti da cianotossine segnalati si è verificata in animali domestici che hanno bevuto acqua dolce contenente fioriture di cianobatteri. Nel mondo, migliaia di decessi di bestiame e numerosi avvelenamenti di cani sono stati collegati all'ingestione di cianobatteri. Si sono verificati anche in condizioni ambientali considerate sfavorevoli alle fioriture di cianobatteri, come laghi freddi con bassi livelli di nutrienti. La maggior parte degli avvelenamenti è stata fatale ed è stata associata alla presenza di una schiuma visibile di cianobatteri. Purtroppo, alcuni animali sembrano essere attratti dai cianobatteri presenti nell'acqua e dalle croste secche di alghe che si formano sopra l'acqua. È stato osservato che il bestiame e i cani bevono l'acqua infestata mentre l'acqua pulita è chiaramente accessibile e consumano avidamente le croste e i tappeti di alghe. Osservazioni ed esperimenti indicano che almeno alcuni animali consumano preferenzialmente cianobatteri. Agli animali domestici deve quindi essere impedito di bere o di entrare in acque di fioritura non testate e di mangiare croste o stuoie di alghe sulle sponde.

Un pericolo per gli animali selvatici. Le microcistine sono tossiche per i pesci a concentrazioni fino a pochi microgrammi per litro e forse anche inferiori. Ovviamente non sorprende che i potenziali impatti sui pesci siano oggetto di maggiore attenzione. I pesci ingeriscono tipicamente cianobatteri o prede che si sono nutrite di cianobatteri. In misura minore, possono assorbire le tossine direttamente dall'acqua. Morie di uccelli sono state collegate alle fioriture di cianobatteri in Canada e negli Stati Uniti fin dai primi anni del 1900. Le fioriture di specie cianobatteriche che producono microcistine e/o anatoxina-a hanno coinciso con la morte di anatre, gabbiani, aironi, uccelli canori, fagiani e falchi, oltre che di numerose altre specie di uccelli. La gravità di tali uccisioni varia da pochi individui a diverse migliaia di uccelli per ogni incidente.

Persistenza nel tempo delle microcistine. Le microcistine sono estremamente stabili e resistono alla degradazione chimica comune, come l'idrolisi o l'ossidazione, nelle condizioni presenti nella maggior parte dei corpi idrici naturali. Il tempo di dimezzamento, cioè il tempo che impiega la metà della tossina a degradarsi, in condizioni ambientali tipiche è di 10 settimane. Le microcistine si degradano lentamente in piena luce solare, soprattutto quando sono presenti pigmenti idrosolubili. Sebbene le microcistine possano essere scomposte da alcune proteasi batteriche, in molte circostanze questi batteri non sono presenti e quindi la tossina persiste per mesi o addirittura anni una volta rilasciata in corpi idrici naturali più freschi e bui. Le microcistine possono persistere anche dopo la bollitura, suggerendo che nemmeno la cottura è sufficiente a distruggere le tossine.

Importante ruolo delle temperature. I risultati di un recente studio su scala continentale che ha coinvolto ben 94 centri di ricerca e considerato 137 laghi (European Multi Lake Survey, EMLS) sono

stati piuttosto sorprendenti. Ha dimostrato che in Europa, gli effetti della temperatura erano in gran parte responsabili della distribuzione delle diverse cianotossine su scala continentale. Sembra che i meccanismi legati alla temperatura portino allo sviluppo selettivo di ceppi di cianobatteri ben adattati che ridurrebbero la diversità delle tossine, promuovendo potenzialmente la dominanza di alcuni ceppi altamente tossici.

Non solo i nutrienti quindi. Al contrario di quanto atteso, lo studio EMLS non ha indicato che le concentrazioni di fosforo totale o di azoto totale abbiano avuto un impatto significativo sulla distribuzione delle diverse tossine o sulla loro concentrazione totale nei diversi laghi. Nelle analisi su scala continentale, è stato ipotizzato che i nutrienti potrebbero potenzialmente svolgere un ruolo nella comparsa delle singole varianti di tossina supportando elevate biomasse cianobatteriche o concentrazioni di tossine, ma i nutrienti non sarebbero i fattori che influenzano la diversità delle tossine.

Perché la temperatura. È accertato che il tasso di crescita dei cianobatteri aumenta rapidamente con la temperatura dell'acqua fino a circa 25 °C e si stabilizza a circa 28 °C, mentre la temperatura può essere dannosa per i cianobatteri quando supera i 33 °C. Quindi mentre per i laghi in zone calde le temperature sono già in partenza vicine al massimo, e un aumento non è atteso modificare in modo sostanziale le fioriture di cianobatteri, in laghi in zone relativamente più fresche (come il Serrai) ogni incremento di temperatura va in estate proprio verso i valori che ne favoriscono lo sviluppo. Questo suggerisce di porre la massima attenzione ad ogni azione che influenzi la temperatura.