

Fioriture di *Planktothrix rubescens* (Cyanophyceae) nel Lago di Lugano

Camilla Capelli

Istituto scienze della Terra (IST), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI),
6952 Canobbio, Svizzera

camilla.capelli@supsi.ch

Riassunto: Nel Lago di Lugano le fioriture algali di colore rosso-bruno, prodotte dal cianobatterio *Planktothrix rubescens*, erano frequenti in passato, quando il lago verteva su condizioni di eutrofia. Tuttavia, nel 2019 lo sviluppo di questa specie è stato particolarmente abbondante, e a fine dicembre sono tornate a manifestarsi delle estese fioriture superficiali, nonostante il Lago di Lugano abbia parzialmente raggiunto gli obiettivi di risanamento. Per comprendere il fenomeno e i fattori ambientali coinvolti è stata analizzata la distribuzione spaziale di *P. rubescens* nel 2019. I risultati dimostrano come questa specie si sia sviluppata maggiormente nel periodo di massima stratificazione negli strati metalimnetici e a ridosso della zona eufotica, trovando le condizioni di luce e nutrienti ottimali per la sua crescita. La comparsa delle fioriture è stata determinata dagli eventi che precedono la circolazione invernale del lago, quando il progressivo raffreddamento degli strati superficiali ha spinto lo strato mescolato in profondità, permettendo ai cianobatteri di raggiungere la superficie. Considerata l'abilità di *P. rubescens* di produrre cianotossine, che possono ostacolare lo sfruttamento delle risorse idriche, il monitoraggio continuo di questa specie e uno studio approfondito sui fattori ambientali determinanti per la sua crescita risultano fondamentali per una gestione efficace del lago.

Parole chiave: cianobatteri, cianotossine, eutrofizzazione, fioriture algali, fitoplancton

Algal blooms in Lake Lugano

Abstract: In Lake Lugano, reddish-brown colored algal blooms, produced by the cyanobacteria *Planktothrix rubescens*, were frequent in the past, when the lake was eutrophic. However, in 2019, the development of this species was impressive and surface algal blooms appeared at the end of December, even though Lake Lugano has been partly restored. Here, the spatial distribution of *P. rubescens* during the 2019 was analyzed to gain understanding of the factors involved. The results show that this species reached the highest abundance during the period of maximum stratification, in the metalimnion and just below the euphotic zone, where favorable light and nutrient conditions supported its growth. Algal blooms were determined by the events preceded the winter circulation, when the expansion of the mixed layer, due to the increasing of surface waters cooling, carried cyanobacteria up to the surface. Given the ability of *P. rubescens* to produce cyanotoxins, further monitoring of this species and research into the environmental factors promoting its growth are necessary for an effective management of the lake.

Keywords: algal blooms, cyanobacteria, cyanotoxins, eutrophication, phytoplankton

INTRODUZIONE

Gli ecosistemi acquatici sono tra i più sensibili ai cambiamenti di origine antropica, come eutrofizzazione ed innalzamento delle temperature. In questo contesto i cianobatteri sono favoriti rispetto al resto del fitoplancton grazie alle loro caratteristiche eco-fisiologiche di adattamento. Il loro eccessivo sviluppo può dare origine a delle fioriture superficiali che creano delle condizioni ambientali sfavorevoli per il resto del fitoplancton, sottraendo nutrienti e riducendo la luminosità sulla colonna d'acqua. Inoltre possono provocare disagi allo sfruttamento idrico delle acque lacustri, a causa della produzione di sostanze maleodoranti (Bowmer et al. 1992) e tossine (Codd et al. 2005). Nel Lago di Lugano le fioriture di colore rosso-bruno prodotte dalla specie filamentosa *Planktothrix rubescens*, che deve il suo carat-

teristico colore ad un pigmento fotosintetico (ficoeritrina), sono state osservate in diverse occasioni ed erano frequenti intorno agli anni '60 durante la fase di eutrofizzazione (Polli & Simona 1992). Questa specie, tipica dei laghi peri-alpini profondi mesotrofi (Reynolds et al. 2002), è stata monitorata nel Lago di Lugano a partire dai primi anni '80, nel contesto delle ricerche promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS). Nel 2019 lo sviluppo di *P. rubescens* è stato particolarmente abbondante, e da fine dicembre si sono manifestate delle estese fioriture superficiali in entrambi i bacini, nonostante lo stato trofico del lago sia stato parzialmente risanato. In questo lavoro è stato analizzato il fenomeno e le sue possibili cause, interpretando la distribuzione verticale di *P. rubescens* nel corso del 2019 in funzione dei principali fattori ambientali che ne determinano lo sviluppo.

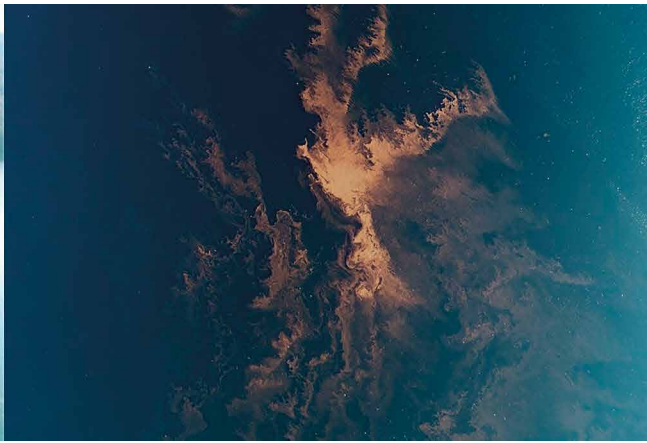


Figura 1: Foto aeree con drone della fioritura algale osservata il 7.1.2020 nel bacino nord del Lago di Lugano, tra Castagnola e Caprino (estensione della fioritura ca. 100 m).

MATERIALI E METODI

Il Lago di Lugano è un lago profondo a sud delle alpi diviso in due bacini principali, nord e sud, da un ponte-diga costruito su una morena glaciale. I dati sono stati raccolti in due stazioni monitorate nell'ambito delle ricerche della CIP AIS, in prossimità dei punti più profondi del bacino nord, a Gandria (285 m), e del bacino sud, a Melide (85 m). Durante la seconda metà del secolo scorso il Lago di Lugano ha subito un forte processo di eutrofizzazione, culminato negli anni '70-'80, che ha portato il bacino nord all'eutrofia e il bacino sud all'ipertrofia. Grazie alle opere di risanamento attuate, il carico esterno di fosforo è diminuito e il bacino nord ha raggiunto condizioni di mesotrofia e il bacino sud di eutrofia (Lepori and Roberts 2017; Lepori et al. 2018).

I dati presentati sono stati raccolti da gennaio a dicembre 2019 due volte al mese. Oltre al campionamento del plancton è stato effettuato un profilo di ficocianina, un pigmento fotosintetico caratteristico dei cianobatteri, con un fluorimetro Trilux (Chelsea Technologies Group). I profili di ficocianina nello strato 0-40 m, ottenuti tramite misura dell'emissione di fluorescenza della clorofilla dopo eccitazione a 610 nm, sono stati integrati su un anno e rappresentati mediante una contour map con il software SURFER® v.9 (Golden Software, Inc.). La ficocianina (espressa in $\mu\text{g L}^{-1}$ di clorofilla-a) è stata usata come indice della biomassa di *P. rubescens*, assumendo che abbia rappresentato più del 75% dei cianobatteri in entrambe le stazioni nel corso del 2019. Questa assunzione è avvalorata dai conteggi del fitoplancton (dati non mostrati) salvo per i mesi di luglio, a Gandria, e maggio-giugno, a Melide.

Nelle stesse stazioni sono stati misurati dei profili di temperatura e luce, con sonda multiparametrica Ocean Seven 316s CTD (Idronaut), da cui sono stati calcolati la profondità eufotica (Zeu 1% penetrazione della luce) ed il metalimnio, lo strato di transizione tra lo strato rimescolato di superficie e lo strato profondo (R, rLakeAnalyzer; Winslow et al. 2015).

Il monitoraggio delle fioriture algali è stato integrato da riprese aeree con drone Phantom 4 DJI per valutarne l'estensione. In occasione della fioritura osservata nel bacino sud è stato raccolto un campione superficiale e

i cianobatteri sono stati identificati a livello di specie e quantificati al microscopio invertito secondo il metodo Utermöhl (Utermöhl 1958).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Alla fine del mese di dicembre nel 2019 hanno iniziato a manifestarsi delle lievi fioriture algali superficiali di colore rosso-bruno nel bacino nord, che hanno assunto un'evidente portata ad inizio gennaio 2020. Un'ampia fioritura è stata osservata il 7.1.2020 a centro lago, tra Castagnola e Caprino (Fig. 1). La sua presenza è perdurata per giorni e un'altra fioritura di simile portata è stata osservata il 21.1.2020 nel bacino sud, tra Melide e Bissonne (Fig. 2). L'analisi a microscopio del campio-

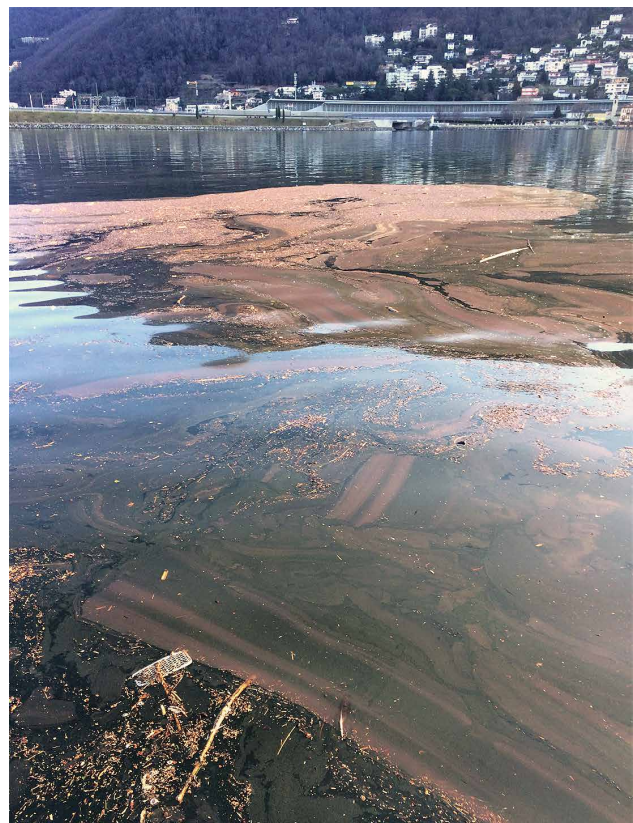


Figura 2: Fioritura algale osservata il 21.1.2020 nel bacino sud del Lago di Lugano, tra Melide e Bissonne.

ne raccolto da quest'ultima ha confermato come fosse prodotta dal cianobatterio *P. rubescens* (Fig. 3) e la sua densità è risultata di ca. $135'500$ cellule mL^{-1} .

La colorazione delle acque superficiali di un colore rosso-bruno è un fenomeno ben conosciuto nel Lago di Lugano. *P. rubescens*, volgarmente nota come “alga rossa”, fu trovata nel plancton per la prima volta nel novembre 1945 nel golfo di Lugano (Jaag 1964). La prima fioritura è stata segnalata già nel 1949, ma solo dal 1954, sfruttando la maggiore disponibilità di nutrienti, questa specie si è stabilizzata con densità consistenti, sviluppandosi soprattutto nei mesi primaverili ed autunnali (Jaag & Märki 1968). La sua dominanza è rimasta costante fino ai primi anni '80, una fase in cui complessivamente i cianobatteri costituivano in media il 95% del fitoplancton, per poi calare drasticamente con l'attuazione delle opere di risanamento (Polli & Simona 1992). Seppur con densità inferiori rispetto al passato, la dominanza di *P. rubescens* è stata osservata anche recentemente, nonostante il ritorno alla mesotrofia (bacino nord). Prediligendo condizioni di mesoeutrofia, *P. rubescens* è infatti in grado di svilupparsi anche durante il processo di oligotrofizzazione (Ernst et al. 2009). Tuttavia nel lago di Lugano l'estensione spaziale e temporale delle fioriture verificatesi tra fine 2019 e inizio 2020 è stata inconsueta.

La distribuzione spazio-temporale della ficocianina nel 2019 mostra come, in entrambi i bacini, lo sviluppo di *P. rubescens* sia iniziato nel periodo di stratificazione e culminato al termine dell'estate (Fig. 4). Questa specie ha proliferato negli strati prossimi al metalimnio e appena al di sotto della zona eufotica (10-20 m), in cui le condizioni di temperatura ($9.9\text{-}13.9^\circ\text{C}$) e di luminosità ($3.5\text{-}26.4 \mu\text{mol s}^{-1}$) sono state ideali per la sua crescita. In questa specie la fotosintesi avviene fino a valori di intensità luminosa di $3\text{-}4 \mu\text{mol s}^{-1}$ (Walsby & Schanz 2002), pertanto lo strato a ridosso della zona eufotica presenta ancora condizioni ottimali. Inoltre nel metalimnio la competizione con il resto del fitoplancton è inferiore e può sfruttare la maggiore disponibilità di nutrienti rispetto agli strati più superficiali (Dokulil & Teubner 2012). Nel recupero dall'eutrofizzazione, pertanto *P. rubescens* potrebbe essere favorita da una mag-

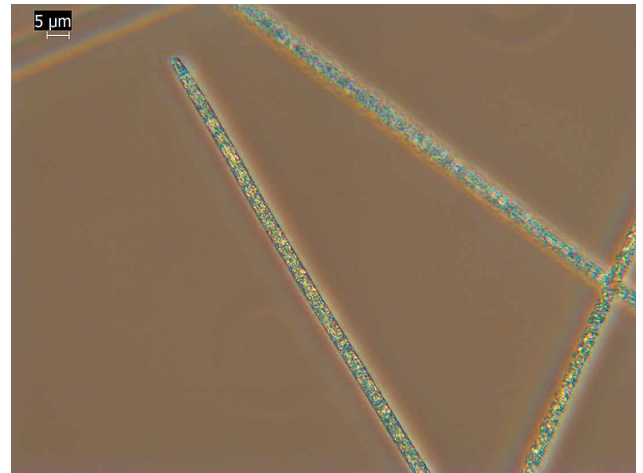


Figura 3: Il cianobatterio *Planktothrix rubescens* al microscopio ottico.

giore trasparenza per riduzione del fitoplancton eucariotico (Jaquet et al. 2005).

In autunno, con il graduale raffreddamento degli strati superficiali, diminuisce la differenza di temperatura e di densità rispetto agli strati sottostanti e lo strato rimescolato si espande sempre più in profondità. Con l'erosione del metalimnio la popolazione di *P. rubescens* è stata ridistribuita sulla colonna d'acqua, e in seguito, grazie alla sua capacità di regolare il galleggiamento in funzione dell'intensità luminosa (Walsby & Schanz 2002), ha raggiunto la superficie. Questa migrazione verticale è osservabile nelle immagini catturate dal drone (Fig. 1), che ha permesso di cogliere le dinamiche della popolazione anche al di sotto della superficie durante le fasi di consolidamento della fioritura. Oliver et al. (2012) hanno osservato che la galleggibilità dipende inoltre dalla disponibilità di nutrienti. Durante precipitazioni intense, può aumentare l'apporto di nutrienti al lago tramite il dilavamento del terreno e l'attivazione degli sfioratori di piena, che riversano reflui non depurati. Le abbondanti precipitazioni verificatesi nel periodo tardo-autunnale (Lugano, MeteoSvizzera) potrebbero aver fornito i nutrienti necessari per sostenere lo sviluppo di *P. rubescens* negli strati più superficiali favorendo la formazione delle fioriture. Questo

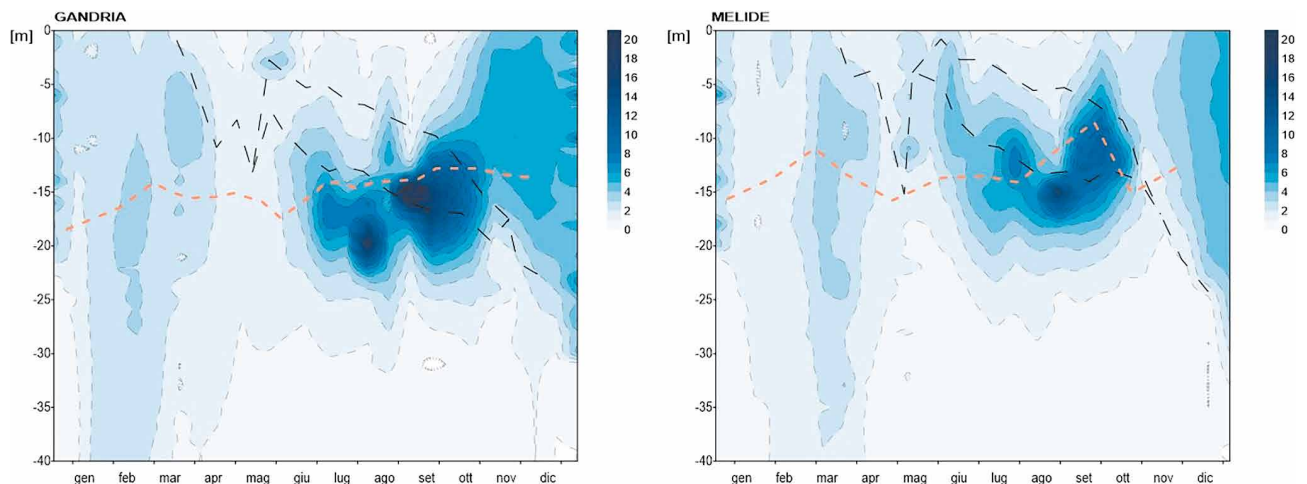


Figura 4: Distribuzione spaziale della ficocianina determinata con Trilux (clorofilla-a eq, $\mu\text{g L}^{-1}$), metalimnio (area compresa tra le linee nere) e profondità eufotica (linea arancione) nei primi 40 m del Lago di Lugano, nelle stazioni di Gandria e Melide da gennaio a dicembre 2019.

è particolarmente evidente nella stazione di Melide (Fig. 4), dove l'andamento della ficocianina suggerisce che, dopo un calo in novembre, il rifornimento di nutrienti associato a una maggiore disponibilità di luce negli strati superficiali abbia permesso un'ulteriore crescita di *P. rubescens* nel mese di dicembre.

In superficie i cianobatteri vanno incontro a un graduale processo di degradazione per l'esposizione diretta alla radiazione solare. Questo fenomeno porta al consumo di ossigeno disciolto e a un potenziale rilascio di cianotossine. *P. rubescens* è in grado di produrre microcistine (epatotossine), che oltre provocare insufficienza epatica nell'uomo a concentrazioni elevate, possono causare danni anche a basse dosi con un effetto cronico da accumulo (Wood et al. 2006). Queste tossine possono indurre effetti avversi anche nei pesci e nello zooplancton (Sotton et al. 2014). Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, la potenziale produzione di cianotossine impone un'adeguata valutazione del rischio per le acque soggette a fioriture di cianobatteri (Bartram, & Chorus 1999). La densità di *P. rubescens* misurata in occasione della fioritura nel bacino sud è al di sopra dei limiti per la balneazione imposti dalla direttiva europea 2006/7/EC nelle aree litorali o interessate da sport acquatici ($>100'000$ cellule mL⁻¹). La formazione di fioriture nei mesi invernali non rappresenta un rischio per la popolazione, poiché al di fuori del periodo di balneazione, tuttavia pone potenziali problemi a livello ecologico e per l'approvvigionamento di acqua potabile. Vista la mancanza di studi sulla tossicità di *P. rubescens* nel Lago di Lugano e il crescente uso delle acque del lago a scopo potabile e ricreativo, è necessaria una corretta comprensione del fenomeno.

La presenza di condizioni fisiche ottimali per la crescita di *P. rubescens* e l'apparente mancanza di eventi eccezionali che potrebbero averne indotto un eccessivo sviluppo suggeriscono che il fenomeno delle fioriture algali nel periodo tardo autunnale-invernale potrebbe ripresentarsi in futuro. Studi più approfonditi su un arco temporale maggiore potranno chiarire i fattori chiave nello sviluppo di questa specie, permettendo di ottimizzare i piani di risanamento. Inoltre, le tecnologie innovative, come i sistemi aerei a pilotaggio remoto che offrono una migliore risoluzione spaziale, potranno essere affiancate alle attuali misure di gestione per prevenire e mitigare gli effetti delle fioriture algali.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento alle persone che hanno contribuito alle ricerche della CIPAIS, in particolare a Fabio Lepori, Diego Copetti e Filippo Schenker per la rilettura critica del testo.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Bartram J. & Chorus I. 1999. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, published on behalf of the World Health Organization, New York.

- Bowmer K.H., Padovan A., Oliver R.L., Korth W. & Ganf G.G. 1992. Physiology of geosmin production by *Anabaena circinalis* isolated from the Murrumbidgee River, Australia. *Water Science and Technology*, 25: 259-67.
- Codd G.A., Morrison L.F. & Metcalf J.S. 2005. Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. *Toxicology and applied pharmacology*, 203(3): 264-272.
- Dokulil M.T. & Teubner K. 2012. Deep living *Planktothrix rubescens* modulated by environmental constraints and climate forcing. *Hydrobiologia*, 698: 29-46.
- Ernst B., Hoeger S.J., O'Brien E. & Dietrich D.R., 2009. Abundance and toxicity of *Planktothrix rubescens* in the pre-alpine Lake Ammersee, Germany. *Harmful Algae* 8: 329-342.
- Jaag O. 1964. Planktologische Untersuchungen am Luganersee. EAWAG/Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. EAWAG-Aufr. 3500.
- Jaag O. & Märki E. 1968. Recent developments and present-day situation in relation to the Lago di Lugano and its tributaries. In: *Eutrophication in large lakes and impoundments*. OECD, Uppsala Symposium; May 1968.
- Jaquet S.J., Briand F., Leboulanger C., Avois-Jacquet C., Oberhaus L., Tassin B., Vinçon-Leite B., Paolini G., Druart J.C., Anneville O. & Humbert J.F. 2005. The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae*, 4: 651-72.
- Lepori F. & Roberts J.J. 2017. Effects of internal phosphorus loadings and food-web structure on the recovery of a deep lake from eutrophication. *Journal of Great Lakes Research*, 43: 255-264.
- Lepori F., Bartosiewicz M., Simona M. & Veronesi M. 2018. Effects of winter weather and mixing regime on the restoration of a deep perialpine lake (Lake Lugano, Switzerland and Italy). *Hydrobiologia*, 824: 229-242.
- Oliver R.L., Hamilton D.P., Brookes J.D. & Ganf G.G. 2012. Physiology, blooms and prediction of planktonic cyanobacteria. In: *Ecology of cyanobacteria II*. Springer, Dordrecht, pp. 155-194.
- Polli B. & Simona M. 1992. Qualitative and quantitative aspects of the evolution of the planktonic populations in Lake Lugano. *Aquatic sciences*, 54(3-4): 303-320.
- Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L. & Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24: 417-428.
- Sotton B., Guillard J., Anneville O., Maréchal M., Savichtcheva O. & Domaizon I. 2014. Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food web: evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. *Science of Total Environment*, 466-467: 152-163.
- Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik: Mit 1 Tabelle und 15 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 9: 1-38.
- Walsby A.E. & Schanz F., 2002. Light-dependent growth rate determines changes in the population of *Planktothrix rubescens* over the annual cycle in Lake Zurich, Switzerland. *New Phytologist*, 154: 671-687.
- Winslow L., Read J., Woolway R., Brenttrup J., Leach T. & Zwart J. 2015. rLakeAnalyzer: Package for the analysis of lake physics. R package version, 1(6).
- Wood R. 2016. Acute animal and human poisonings from cyanotoxin exposure—a review of the literature. *Environment international*, 91: 276-282.