

13. IL CARBONIO ORGANICO NEL LAGO MAGGIORE: TENDENZA EVOLUTIVA, ORIGINE E CARATTERISTICHE QUALITATIVE

Cristiana Callieri, Mario Contesini, Roberto Bertoni

13.1. TOC (Total Organic Carbon)

La concentrazione di Carbonio Totale Organico è la variabile che meglio illustra l'evoluzione trofica del Lago Maggiore. Essa è, infatti, la variabile che sintetizza il risultato di tutte le attività di produzione e consumo di sostanza organica in lago ed include la frazione di origine alloctona, al netto di quanto per sedimentazione viene segregato al fondo della cuvetta lacustre.

Per permettere l'esame dell'evoluzione temporale della concentrazione di TOC nella figura 13.1. si sono messi in grafico le concentrazioni medie negli strati epilimnico ed ipolimnico misurate nel corso delle ricerche sviluppate nel precedente quinquennio 2008-2012 (ombreggiate in figura) e del triennio 2013-2015 appena concluso.

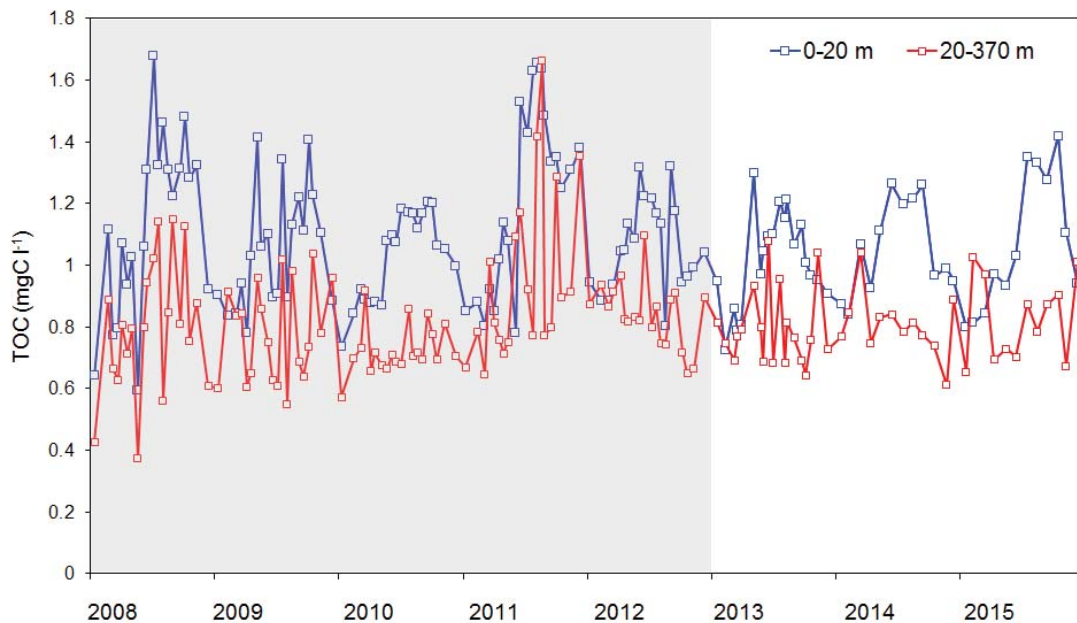


Fig. 13.1. Concentrazioni medie epilimniche ed ipolimniche di TOC misurate nel quinquennio 2008-2012 (ombreggiate) e nel triennio 2013-2015.

Dal suo esame emerge chiaramente che il TOC ha mostrato, dal 2012 ad oggi, una stabilità temporale maggiore rispetto agli anni precedenti. Il 2008, il 2009 e il 2011 furono, infatti, caratterizzati da occasionali picchi estivi di concentrazione di TOC tali da far ipotizzare l'inizio di un processo peggiorativo della qualità delle acque lacustri pur non arrivando a determinare concentrazioni medie annue superiori all'obiettivo-limite di 1 mg L^{-1} . Tale fenomenologia non si è riproposta nell'ultimo triennio permettendo di confermare la persistenza della condizione di oligotrofia del Lago

Maggiore. Sarebbe interessante individuare la causa o le concause, ivi incluse le peculiarità climatiche di quegli anni, dei picchi di concentrazione di TOC sopra ricordati. Purtroppo l'elevatissimo numero di variabili in gioco rende difficile una tale analisi soprattutto in assenza, fortunatamente, di macroscopici fenomeni di inquinamento. La lunga serie temporale di dati fin qui acquisita ha comunque permesso di iniziare l'analisi congiunta di molte variabili con tecniche di calcolo (*genetic programming*) che, prescindendo dai vincoli della statistica parametrica, potranno portare alla formulazione di modelli capaci di dar conto anche di variazioni occasionali come quelle sopra menzionate per il TOC (Bertoni *et al.*, 2016).

13.2. TEP (Transparent Exopolymeric Particles)

A partire dal 2013 inoltre, lo studio del TOC si è ampliato includendo anche la valutazione delle sue caratteristiche qualitative. In particolare si è studiata, su base stagionale, la dinamica delle particelle esopolimeriche trasparenti (TEP, Transparent Exopolymeric Particles) responsabili della componente mucillaginosa della TOC lacustre che, prodotta talvolta in modo massivo dall'attività algale, può interferire con le attività di pesca o può determinare la formazione di masse flottanti superficiali. Il TEP costituisce anche la frazione particellata del EPS (Extracellular Polymeric Substance) ed ha una grande importanza nel ciclo del carbonio organico negli ambienti acquatici (Passow, 2002, de Vicente *et al.*, 2010). Infine la qualità delle acque lacustri può essere ridotta per la proprietà del TEP di indurre formazione di schiume e di costituire punti di accumulo di nanoparticelle, batteri e virus.

Durante i tre anni di ricerca i campioni sono stati prelevati nella stazione di massima profondità (Ghiffa) a 10 profondità: superficie, 5, 10, 15, 20, 50, 100, 200, 300, e 350 metri ed inoltre si è analizzato un campione integrato 0-20 m per caratterizzare la zona epilimnetica ed uno 20-350 m per quella ipolimnetica.

Le concentrazioni massime di TEP nel Lago Maggiore nel corso del triennio 2013-2015 sono state misurate nella zona eufotica epilimnetica (0-20 m, massimo: 332 $\mu\text{g L}^{-1}$) nel periodo estivo (Fig. 13.2) in particolare nel 2014. Tali concentrazioni diminuiscono notevolmente nella zona ipolimnetica (20-350 m) dove vengono anche misurati valori prossimi allo zero. Nel campione integrato della zona epilimnetica ed ipolimnetica il TEP varia tra 13 e 332 $\mu\text{g L}^{-1}$ e tra 0 e 123 $\mu\text{g L}^{-1}$, rispettivamente, nei tre anni. La concentrazione media di TEP nella zona trofogenica è mediamente 5 volte superiore a quella dello strato 20-350 m, indicando così che il TEP prodotto viene anche in alta percentuale utilizzato o mineralizzato nella stessa zona epilimnetica.

Le percentuali di TEP sul totale del carbonio organico (TOC) varia tra 0.6 e 26% e 0 e 16% nello strato epi ed ipolimnetico rispettivamente. Questo risultato indica una importanza di questa frazione anche considerando un campione integrato. Analisi statistiche approfondite (Linear Mixed Effect Models) hanno mostrato che tra diversi parametri limnologici valutati quello che sembra determinare le concentrazioni di TEP sia il popolamento fitoplanctonico, stimato come concentrazione di clorofilla *a* (Callieri *et al.* sottomesso). Anche dal confronto grafico di TEP e clorofilla *a* (Fig. 13.3 e 13.4) si nota la stretta relazione tra le due variabili. Tuttavia nel luglio del 2015 si è misurata una concentrazione di TEP inferiore a quella del 2014, ma con concentrazioni di clorofilla più elevate, ad indicare una presenza di specie algali con minore produzione di escreti polisaccaridici o un importante effetto di altri popolamenti (ad esempio picocianobatteri), anche essi legati in modo significativo al

TEP. E' noto che differenti specie algali possono produrre TEP più ricco in fucosio o mannosio/galattosio con diverse resistenze alla degradazione (Passow, 2002). Nel Lago Maggiore la più alta produzione di TEP avviene in tarda estate quando i cianobatteri e i grandi dinoflagellati sono presenti.

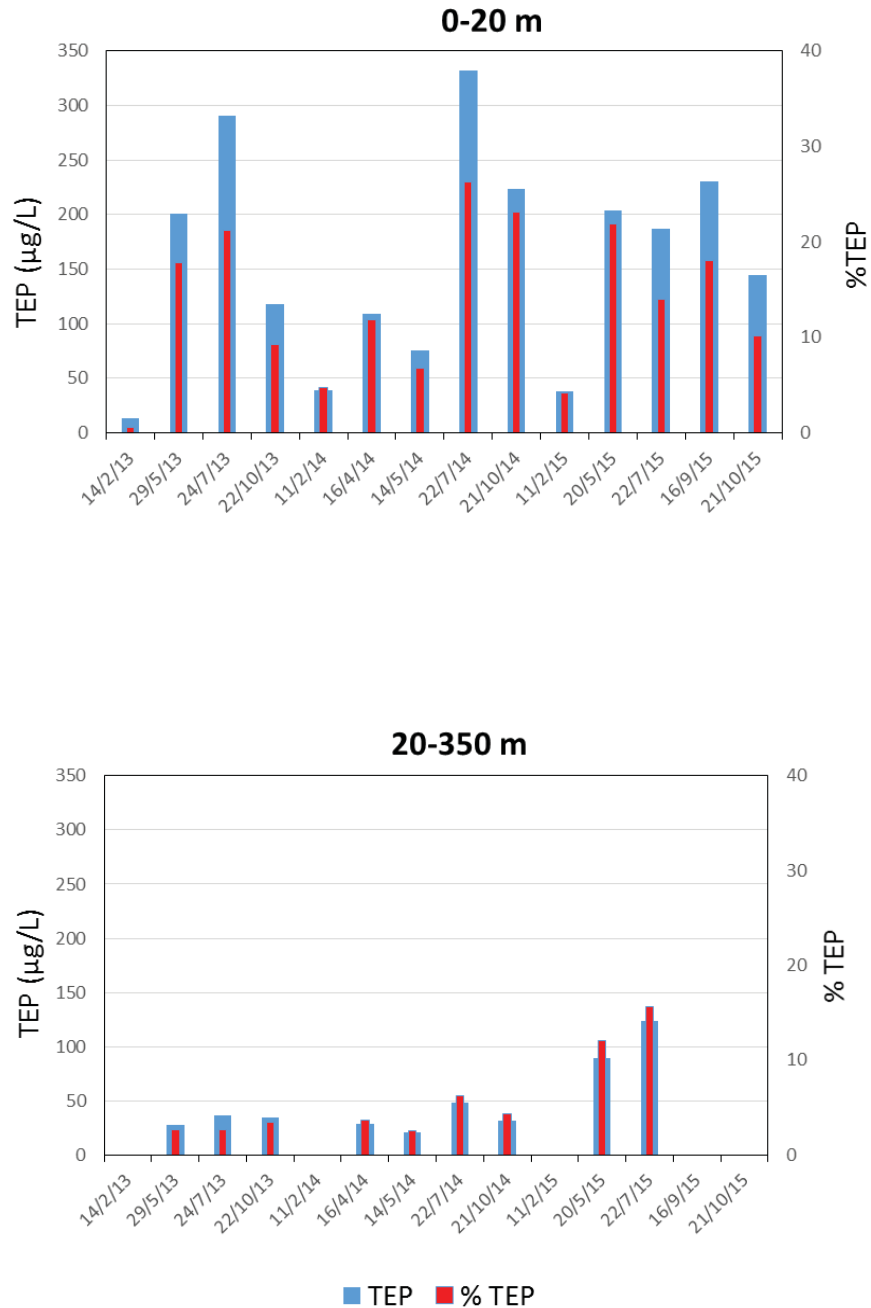


Fig. 13.2. Variazioni della concentrazione di TEP (azzurro) e della sua percentuale sul TOC (rosso) nel campione integrato 0-20 m (pannello superiore) e 20-350 m (pannello inferiore), nel Lago Maggiore dal 2013 al 2015.

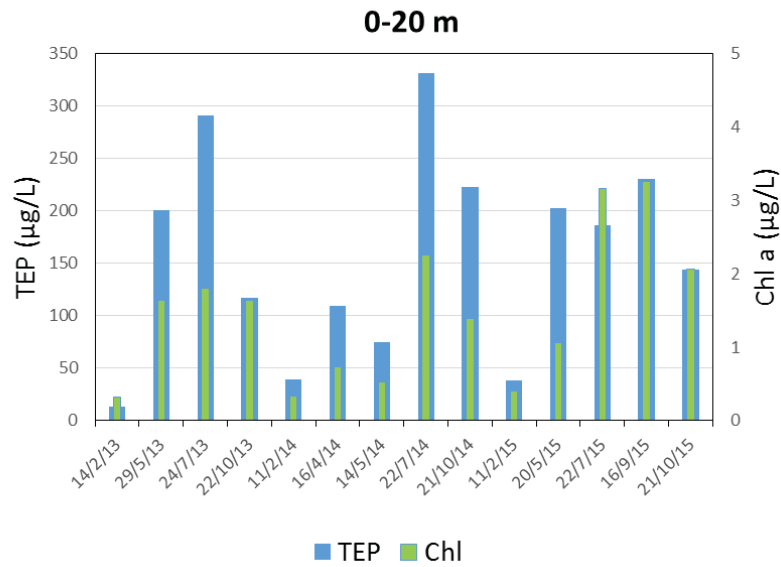


Fig. 13.3. Variazioni della concentrazione di TEP (azzurro) e di quella di clorofilla (verde) nel campione integrato 0-20 m, nel Lago Maggiore dal 2013 al 2015.

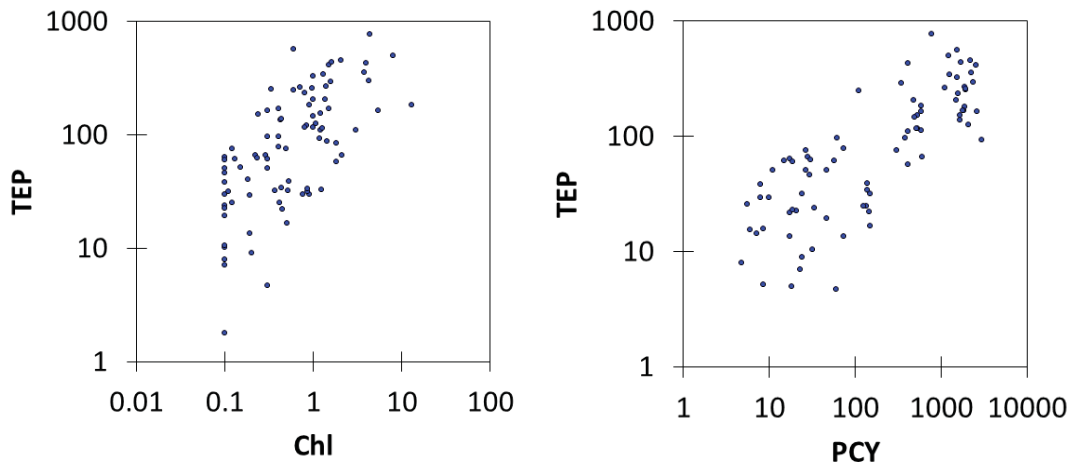


Fig. 13.4. Relazioni tra TEP e chlorofilla *a* e TEP e numero di picocianobatteri.

I dettagli dei profili verticali del TEP nel Lago Maggiore sono presentati nella Fig. 13.5 per il triennio in esame. Si noter  che nel 2014 e 2015 sono stati aggiunti ulteriori profili rispetto ai quattro programmati per dettagliare meglio le dinamiche del TEP. Si vede molto chiaramente che mentre nel 2013 le concentrazioni si mantengono al disotto dei $400 \mu\text{g L}^{-1}$ nel 2014 si assiste ad un aumento soprattutto in luglio ma anche in ottobre. A differenza dei valori integrati, con i campioni discreti si possono osservare meglio i picchi di produzione e definire da quali profondit  siano generati:

generalmente il massimo si trova tra i 10 ed i 20 metri. Il valore massimo di concentrazione di TEP è stato di $776 \mu\text{g L}^{-1}$ misurato nel 2014, a 10 m e corrispondente al 56% del TOC.

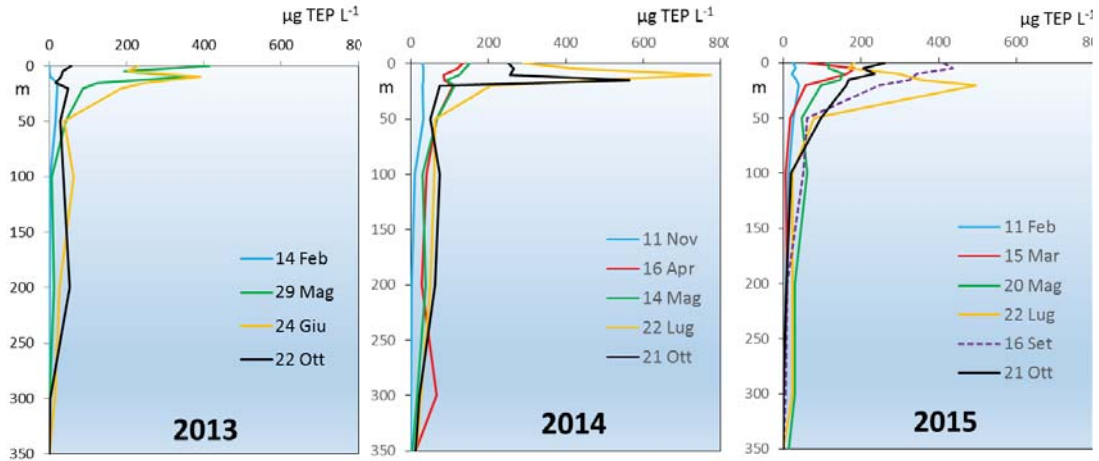


Fig. 13.5. Profili verticali del TEP in 10 profondità nel triennio 2013-2015, nel Lago Maggiore.

In conclusione, si può dire che il TEP nel Lago Maggiore è una frazione importante del TOC, che può arrivare anche al 56% della concentrazione di carbonio organico totale. Il TEP è significativamente correlato alla concentrazione di clorofilla ad al numero di picocianobatteri e la sua produzione è massima nei primi 20 m nel periodo estivo.

13.3. CDOM (Chromophoric Dissolved Organic Matter)

Come già detto, la stima dell'abbondanza relativa di CDOM (Chromophoric Dissolved Organic Matter) con la tecnica dello Slope Ratio permette di valutare qualitativamente se nel complesso del Carbonio Organico Totale prevale la componente autoctona o quella terrigena alloctona. Per offrire una valutazione sintetica per il triennio, si sono messi a confronto nella figura 13.6 i profili verticali medi del triennio dei valori di Slope Ratio (a sinistra) e della concentrazione di TOC (a destra).

Dal suo esame emerge chiaramente la stagione di massima produzione è caratterizzata da concentrazioni più elevate di TOC e dai valori di slope ratio più elevati, indicativi dell'origine autoctona della sostanza organica. Nel periodo invernale invece i valori dello slope ratio sono inferiori all'unità. In altre parole, in quella stagione il TOC, che è presente in basse concentrazioni, è prevalentemente costituito da CDOM residuo dall'input alloctono. Questa prima valutazione qualitativa del pool di carbonio organico nel Lago Maggiore ne conferma l'origine autoctona quando il TOC è più abbondante. La tecnica dello slope ratio è senz'altro utile per tracciare, anche in un sistema con bassa concentrazione di CDOM, la presenza di questo materiale. Essa potrà quindi essere utilizzata per monitorare anomali sversamenti di

sostanze organiche alloctone in lago. E' interessante ad esempio notare un picco dello slope ratio ai 20 m in inverno abbastanza anomalo.

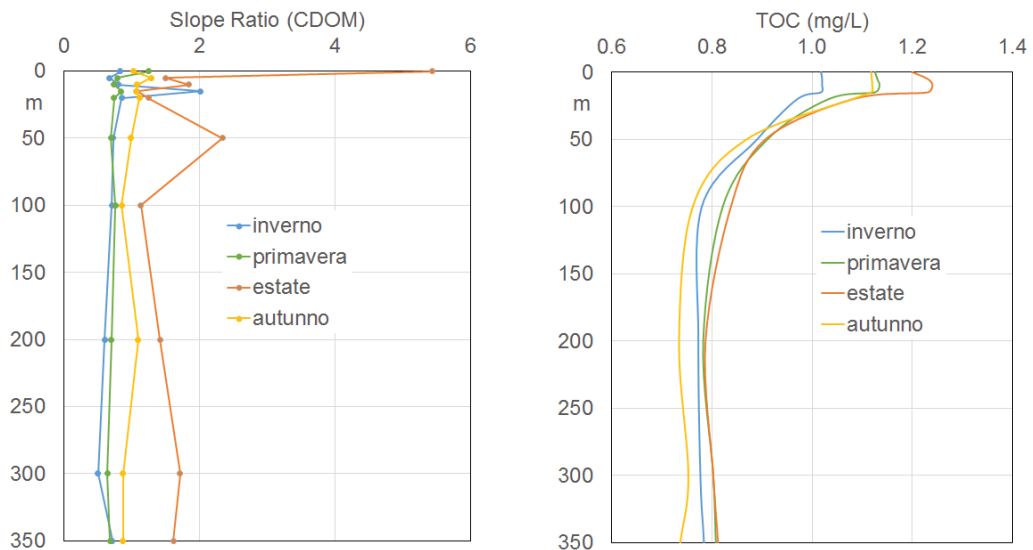


Fig. 13.6 Profili verticali medi triennali dei valori di Slope Ratio (a sinistra) e della concentrazione di TOC (a destra). Periodo 2013-2015.

Bibliografia

- Bertoni R., M. Bertoni, G. Morabito, M. Rogora, C. Callieri. 2016. A non-deterministic approach to forecasting the trophic evolution of lakes. *J. Limnol.* 75(s1): 242-252.
- Callieri C, M. Contesini, D. Fontaneto, R. Bertoni. (submitted to *Inland Waters*). Transparent exopolymer particles (TEP) are driven by chlorophyll *a* and mainly confined to epilimnion, in a deep subalpine lake.
- Passow U. 2002. Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. *Prog Oceanogr* 55:287–333.