

# Mappatura del livello di ossigeno disciolto nelle acque del lago d'Iseo

Poiché i laghi sono per loro natura elementi di accumulo dei bacini idrografici che sottendono, non deve stupire che il lago di Iseo, nel corso del XX secolo, abbia seguito il destino della maggior parte degli altri laghi dell'arco alpino, riflettendo l'aumentato livello di benessere e di fervore delle attività antropiche nel bacino di monte in un incrementato livello di concentrazione delle sostanze nutritive, quali i composti del fosforo e dell'azoto, disciolte nelle sue acque. Esito di tale evoluzione è stato il rapido raggiungimento, nell'arco di alcuni decenni, di una condizione di eutrofizzazione, una delle cui più importanti manifestazioni è l'alterata distribuzione dell'ossigeno disciolto nella colonna d'acqua. Tale alterazione è evidenziata nelle mappe mostrate in questo poster che visualizza i risultati di uno studio unico nel suo genere, con il quale si è inteso fotografare la situazione dell'attuale contenuto di ossigeno disciolto nelle acque del nostro lago, quale stimolo e ausilio ad un percorso di recupero che possa riportarlo, nei prossimi decenni, alle sue condizioni originarie.

L'immagine più prossima a quella che possiamo ritenere essere stata la situazione "naturale" del lago di Iseo è restituita da uno studio del 1967 (Bonomi e Gerletti, 1967), nel corso del quale furono per la prima volta condotte misure di vari parametri chimico-fisici, tra cui l'ossigeno disciolto e il contenuto in fosforo ortofosfato, a 10 diverse profondità giungendo fino al fondo del lago. Le misure furono effettuate a due riprese, nel maggio e novembre 1967. La situazione che emerge da tali misure è quella di un lago oligotrofico dove tuttavia iniziavano a comparire alcuni sintomi di un inquinamento organico che si manifesterà chiaramente nei decenni successivi. In particolare, gli strati profondi presentavano una saturazione di ossigeno dell'ordine del 70-80% (si vedano i dati originali in Figura 7) mentre il confronto tra le due serie di misure porta a calcolare, nello strato tra 100 e 200 metri e a distanza di sei mesi, un consumo di ossigeno per mineralizzazione della sostanza organica presente di circa 0.1 mg/litro/mese. Per quanto il quadro chimico-fisico fosse complessivamente positivo, gli Autori si chiesero se fossero di fronte a primi segni di un processo di eutrofizzazione: in tale direzione pesava l'elevato contenuto di nitrati e soprattutto la presenza di una abbondante fauna macrobentonica. Può essere significativo ricordare la frase terminale delle conclusioni del lavoro citato:

*E' quindi ragionevole attendersi che il lago d'Iseo presenti in un futuro relativamente prossimo le ormai classiche modificazioni chimiche e biologiche che si sono verificate in altri laghi; è da sperare che si possa su questo lago, quanto prima, svolgere una serie di ricerche che permettano di documentare l'evoluzione trofica, fornendo nel contempo le indicazioni utili a pianificare una difesa delle caratteristiche naturali di questo lago.*

I risultati mostrati in queste mappe evidenziano la correttezza della predizione degli Autori citati e richiamano alla necessità ormai improrogabile di operare a difesa delle caratteristiche di naturalità del lago.

Le mappe seguenti evidenziano i risultati ottenuti nel corso di una campagna condotta nel corso del luglio 2012, mediante utilizzo di una sonda multiparametrica, in grado di misurare fino alle massime profondità del lago la temperatura, il contenuto di ossigeno disciolto, la conducibilità, la torbidità e il contenuto di clorofilla A. Nell'arco di un periodo il più possibile ristretto (4 giorni), si veda la cronologia e la localizzazione delle misurazioni effettuate in Figura 1, caratterizzato dal punto di vista meteorico come mostrato in Figura 3, sono state condotte misure in oltre 170 punti del lago, allo scopo precipuo di verificare la distribuzione verticale dell'ossigeno disciolto nonché la sua uniformità areale. Le misure sono state condotte fino al fondo (si vedano le profondità nella batimetria di Figura 2), in modo da poter documentare il contenuto dell'ossigeno disciolto in prossimità dei sedimenti. In Figura 4 vengono rappresentati alcuni profili di ossigeno e temperatura in alcuni punti rappresentativi del lago. I dati misurati nelle 170 verticali sono stati interpolati spazialmente, a profondità fissata, mediante un algoritmo di kriging, al fine di costruire le mappe continue dei parametri mostrate nelle Figure successive. In Figura 5a è rappresentata la distribuzione di ossigeno medio sulla colonna d'acqua, mentre la mappa in Figura 5b mostra la concentrazione media di ossigeno disciolto negli ultimi 10 m di colonna d'acqua al di sopra del fondo. Questa carta evidenzia subito come gran parte del lago subisca il fenomeno dell'anossia, limitando la possibilità di una riproduzione naturale ad esempio dei coregoni a causa di un elevato consumo di ossigeno dei sedimenti a seguito della decomposizione della sostanza organica, che causerebbe la morte per soffocamento delle uova deposte da tali pesci.

Le due mappe successive illustrano come la riduzione di ossigeno possa influenzare il popolamento ittico del lago, con particolare riferimento alla famiglia dei salmonidi, rappresentata nel nostro lago da trote e coregoni. I coregoni richiedono un minimo livello di ossigeno stimabile in 4 mg/l mentre per le trote tale valore si può stimare in 6 mg/l. Poiché la riduzione dell'habitat ideale per questa famiglia di pesci, è operata congiuntamente dalla crescita della temperatura e dall'abbassamento dei livelli di ossigeno, in Figura 6a e 6b si mostrano le mappe raffiguranti la frazione della colonna d'acqua caratterizzata contemporaneamente da una temperatura  $\leq 20^\circ\text{C}$  e da una concentrazione di ossigeno disciolto rispettivamente  $\geq 4$  mg/l (6a) e  $\geq 6$  mg/l (6b).

Poiché i laghi eutrofici soffrono di calo dell'ossigeno ipolimnico nel periodo estivo-invernale, le misure sono state ripetute, limitatamente al canale di Sale Marasino, nell'Ottobre del 2012, al fine di determinare il tasso di deossigenazione delle acque del lago. Le Figure 8 e 9 mostrano comparativamente la mappatura dell'ossigeno medio in tutta la colonna d'acqua e negli ultimi 10 metri dal fondo nei due periodi; da tale confronto si evince la significativa decrescita dei valori di ossigeno, evidente in Figura 9a dove si mostrano i diversi profili misurati in questa zona nei due periodi.

Da tali profili si possono desumere alcune interessanti osservazioni. Poiché uno degli effetti più evidenti dell'eutrofizzazione è la forte crescita algale nella zona fotica superficiale del lago, cui fa seguito l'espletamento della funzione fotosintetica, i profili del luglio 2012 mostrano in prossimità del termoclinio un massimo dell'ossigeno disciolto, con valori di sovrassaturazione. A bilanciare tale fenomeno, segue nel periodo autunnale un marcato deficit che deriva dalla mineralizzazione aerobica della biomassa algale in fase di sedimentazione, confinata da un termoclinio in fase di abbassamento.

Al fine di estrapolare le mappe misurate ai mesi successivi dell'anno può essere utile calcolare il consumo di ossigeno ipolimnico. A tale scopo, in corrispondenza di ogni profondità ed operando su di un profilo medio, è stato calcolato il consumo di ossigeno in mg/litro/giorno dalle diverse profondità,  $\text{HOC}(z) = [\text{O}_2(t_2, z) - \text{O}_2(t_1, z)] / (t_2 - t_1)$ , dove  $t_2$  e  $t_1$  rappresentano gli istanti temporali, in giorni, delle due campagne di misura. Il risultato è mostrato in Figura 9b. A titolo di esempio, qualora si supponga tale risultato rappresentativo per l'intero lago, è possibile stimare che le mappe di ossigeno a fine dicembre, prima della circolazione invernale, forniscano concentrazioni inferiori a quelle mostrate di circa 2.5 mg/l. Infine, ricorrendosi al lavoro di Bonomi e Gerletti, può essere interessante ricavare la stessa funzione anche dai dati del 1967. Tale curva è mostrata in Figura 9b, ed evidenzia come il consumo specifico di ossigeno fosse all'epoca circa 1/6 dell'attuale.

Questo lavoro è stato reso possibile da un finanziamento della Comunità Montana dei Laghi Bergamaschi, nell'ambito della Legge Regionale 25/2007. I dati sono stati misurati ed elaborati dal Prof. Ing. Marco Pilotti e dall'Ing. Giulia Valerio della Facoltà di Ingegneria della Università degli Studi di Brescia.

Riferimenti Bibliografici essenziali:  
Bonomi, G. & M. Gerletti. 1967. Il Lago d'Iseo: primo quadro limnologico generale (termica, chimica, plancton e benton profondo). Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 22: 149-175.

Prof. Marco Pilotti, Dr. Giulia Valerio  
Dipartimento DICATAM  
Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi Brescia

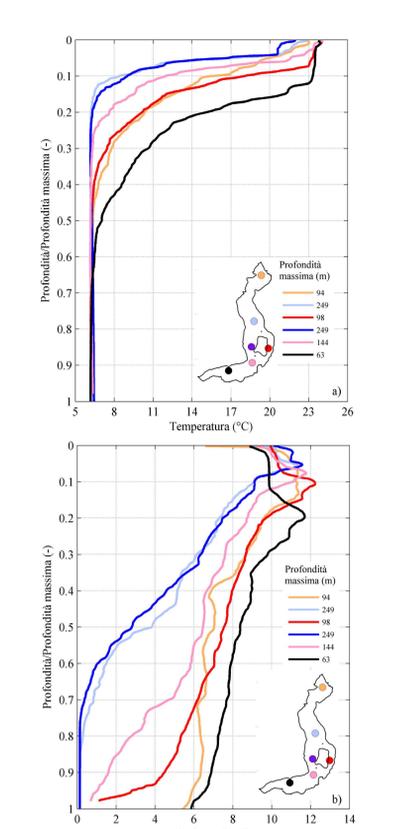
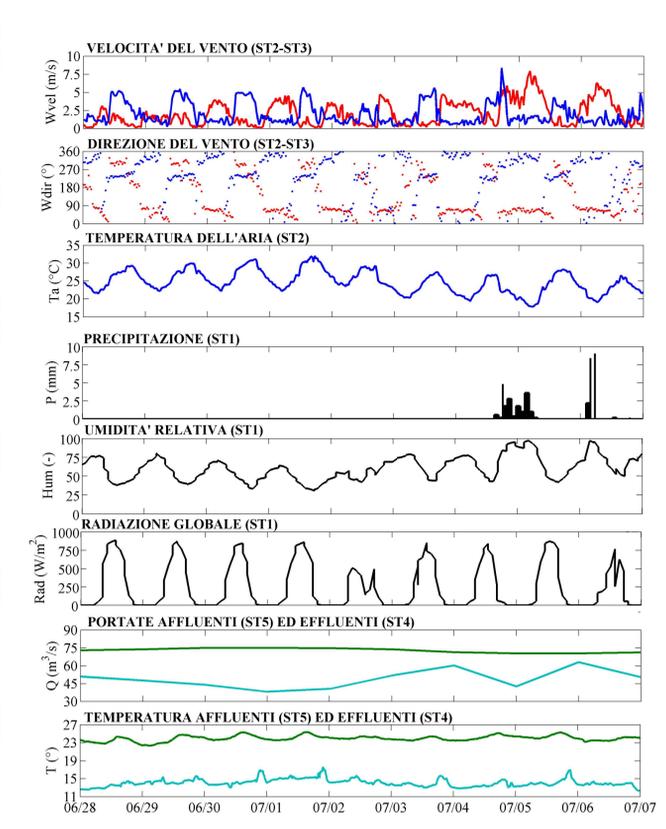
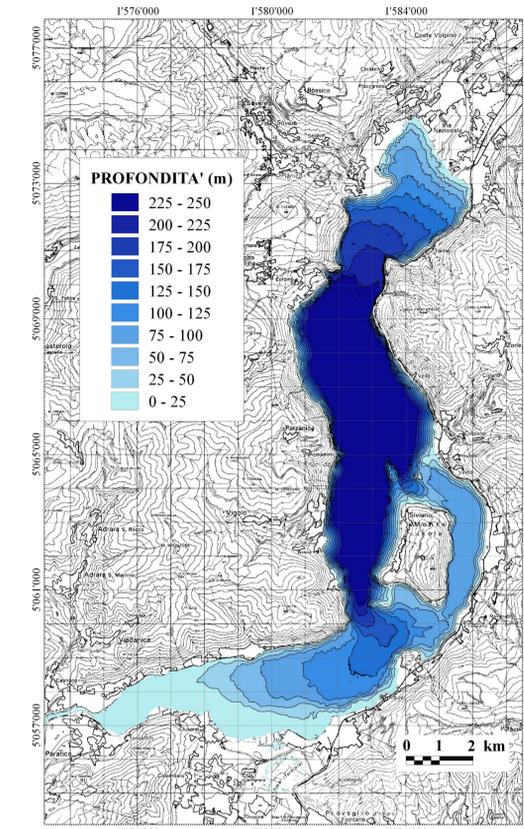
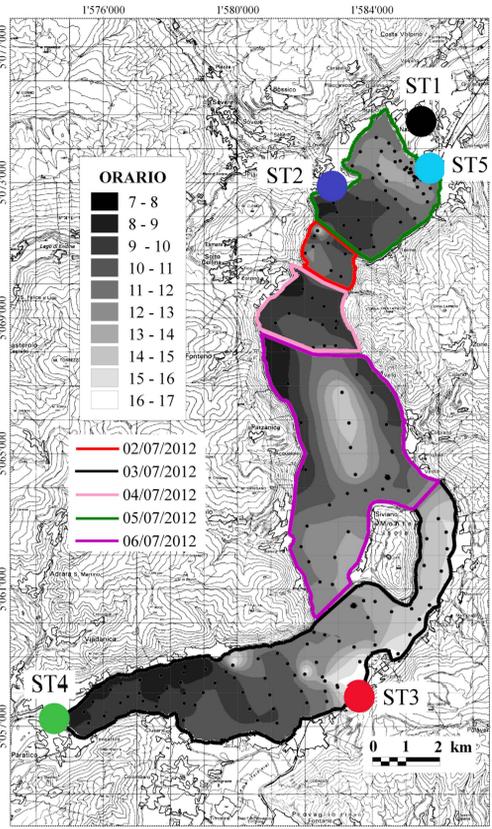


Figura 1. Cronologia e localizzazione delle misurazioni effettuate; le linee racchiudono le aree di lago oggetto delle misure nei diversi giorni mentre la cartina a scala di grigi rappresenta le ore in cui è avvenuta la misurazione; i puntini neri indicano la posizione esatta dei profili misurati mentre i pallini colorati rappresentano le stazioni meteorologiche utilizzate per caratterizzare le condizioni climatiche nel periodo di misura (si veda Figura 3).

Figura 2. Carta batimetrica del lago d'Iseo (Dati: Regione Lombardia; elaborazione Pilotti e Valerio)

Figura 3. Condizioni meteorologiche misurate presso le stazioni presenti in prossimità del lago (i colori fanno riferimento ai simboli di Figura 1) e caratterizzanti il periodo di misura

Figura 4. Profili verticali della temperatura (°C) e dell'ossigeno disciolto (mg/l) misurati in alcuni punti di campionamento. La scala verticale rappresenta la profondità adimensionalizzata alla profondità del fondale nel punto di interesse.

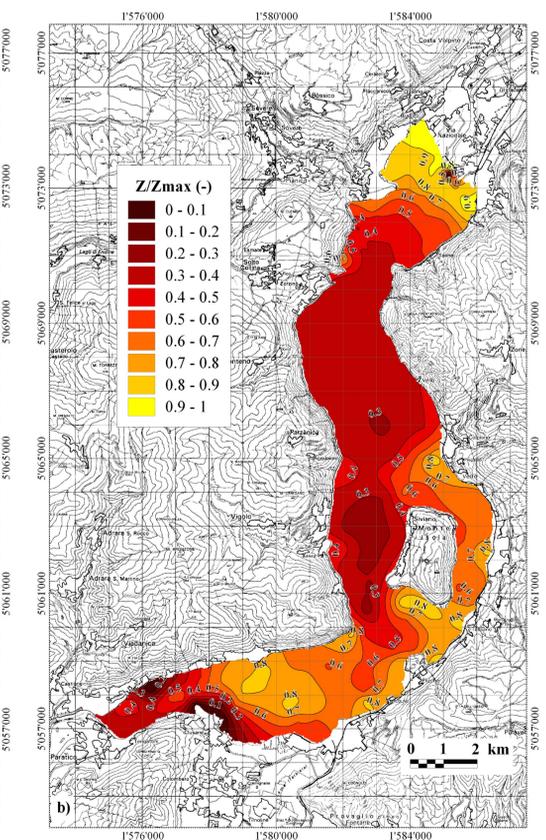
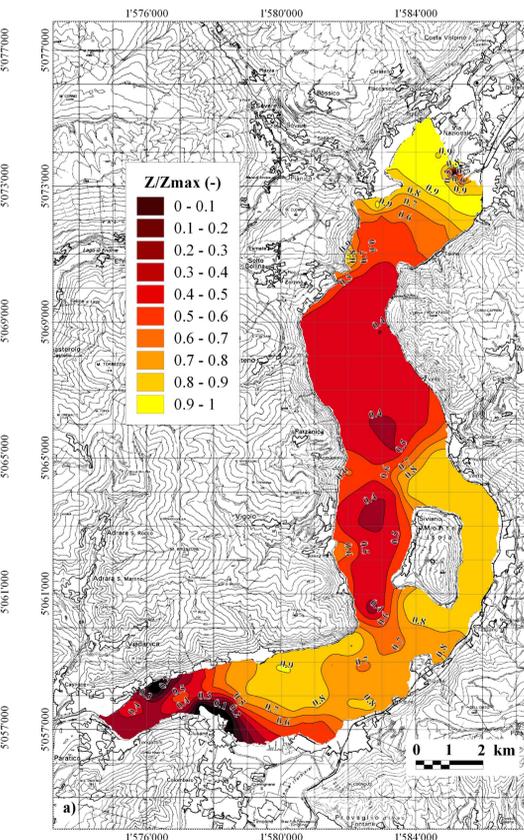
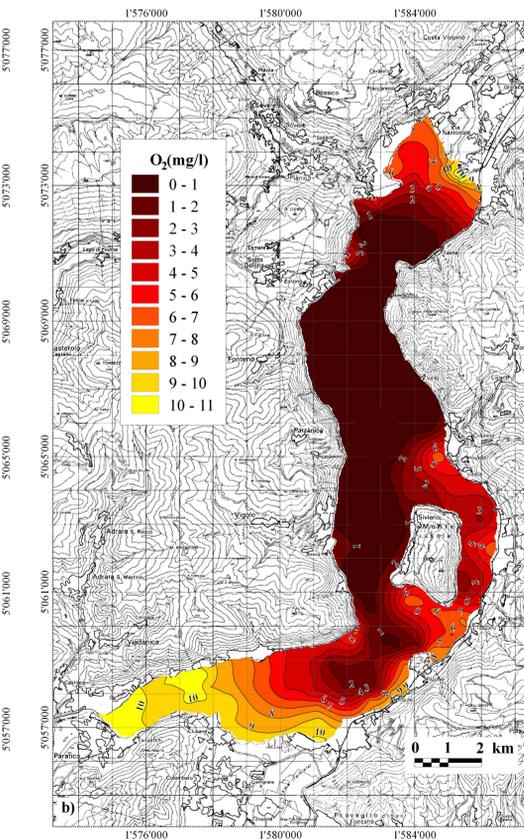
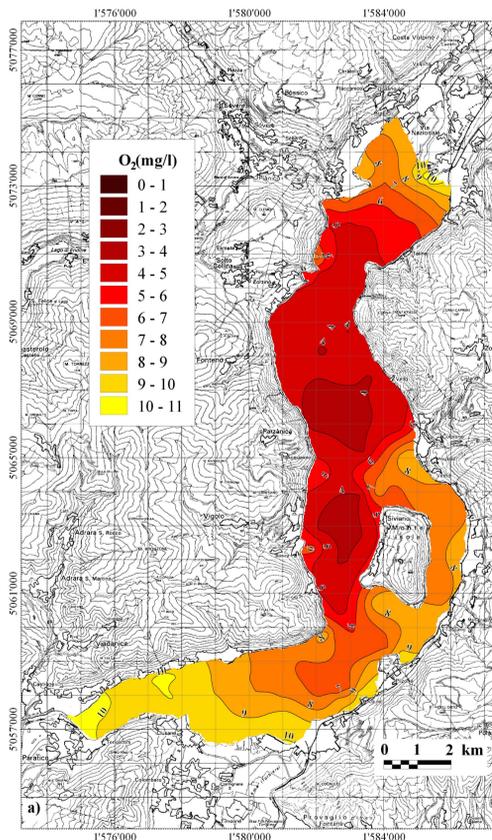


Figura 5. Distribuzione spaziale della concentrazione media di ossigeno disciolto nell'intera colonna d'acqua (a) e negli ultimi 10 metri in prossimità del fondo (b).

Figura 6. Frazione di colonna d'acqua caratterizzata contemporaneamente da una temperatura inferiore a 20°C e da una concentrazione di ossigeno disciolto superiore a 4 mg/l (a) e 6 mg/l (b), valori indicatori dell'habitat minimo richiesto dai coregoni (a) e dalle trote (b).

Prof. m	Temp. °C		mg O <sub>2</sub> /l		µg P(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> /l	
	V	XI	V	XI	V	XI
0	13.1	10.6	11.9	10.1	1	0
5	11.1	10.6	12.2	10.2	0	0
10	9.4	10.6	12.0	10.3	0	1
20	8.3	10.5	10.9	10.4	0	1
30	7.5	8.7	10.6	8.3	0	1
60	6.0	6.0	10.0	9.3	0	6
100	5.85	5.8	9.7	9.1	6	4
150	5.75	5.7	9.5	9.0	1	8
200	5.75	5.75	9.1	8.5	8	12
245-7	5.75	5.75	8.2	7.8	30	15

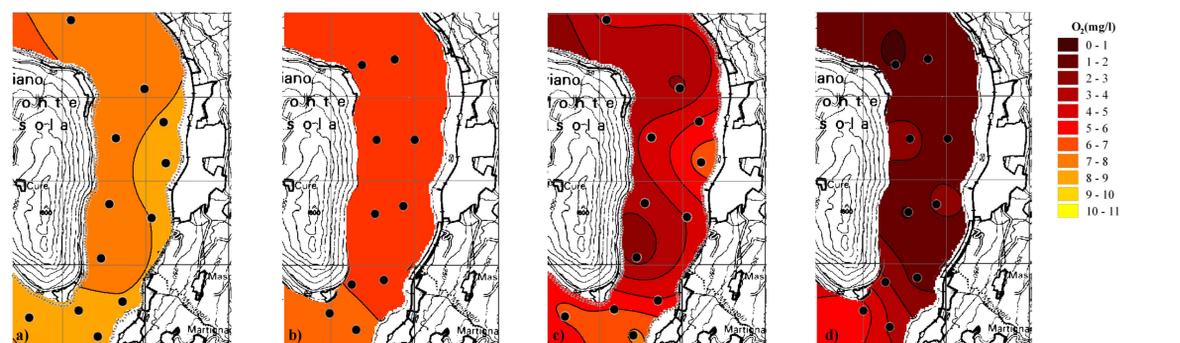


Figura 7. Profili verticali di temperatura, ossigeno e fosforo ortofosfato misurati il 15/5/1967 (a) e il 28/11/1967 (b).

Figura 8. Confronto fra la distribuzione dell'ossigeno medio su tutta la colonna d'acqua (a,b) e negli ultimi 10 metri in prossimità del fondo (c,d) misurati nel canale di Sale Marasino il 3/7/2012 (a,c) e il 4/10/2012 (b,d).

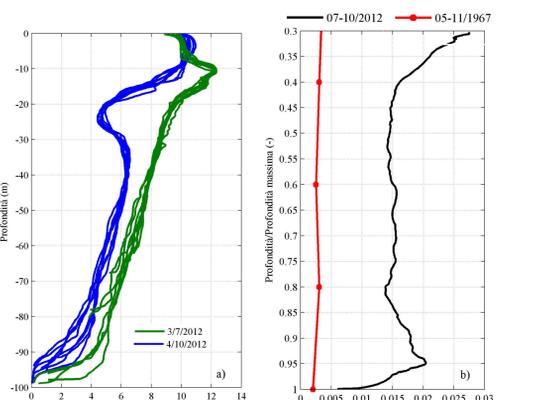


Figura 9. Profili di ossigeno misurati nel canale di Sale Marasino a Luglio e Ottobre 2010 (a) e corrispondente tasso giornaliero di consumo dell'ossigeno desunto dai profili medi dei due periodi (b). La linea rossa indica il tasso di consumo dell'ossigeno stimato sulla base dei profili misurati nel 1967.