

Capitolo 4

L'ambiente lacustre



Il capitolo, nel presentare il quadro limnologico del bacino lacustre, si articola in diversi contributi di studio, strettamente raccordati tra loro per quanto riguarda l'attività di indagine e l'obiettivo di una migliore comprensione delle interazioni tra fattori ambientali e comunità biotica.

Limnologia fisica e chimica lacustre, fitoplancton, macrofite, zooplancton, popolamenti zoobentonici, popolamenti ittici e considerazioni d'insieme costituiscono l'argomento di tali contributi.

Alcune linee guida rappresentano il filo conduttore dei lavori:

- *un approccio multidisciplinare e protocolli ben definiti di prelievo e di analisi, per superare la frammentarietà e la settorialità di molte indagini del passato;*
- *un periodo d'indagine pluriennale per studiare la variabilità interannuale dell'andamento limnologico, variabilità che è considerata sempre più importante per comprendere un lago nel breve-medio periodo;*
- *l'approfondimento delle peculiarità limnologiche della Baia Rossa, per valutarne l'eventuale ruolo primario nel fenomeno dell'arrossamento e della sua scomparsa;*
- *il confronto con i dati del passato, per cogliere aspetti evolutivi nelle caratteristiche limnologiche del bacino nell'arco dell'ultimo secolo.*

Fisica e chimica delle acque del Lago di Tovel (Trentino, Alpi centrali)

Flavio CORRADINI* & Adriano BOSCAINI

Dipartimento Valorizzazione delle Risorse Naturali, Istituto Agrario di San Michele all'Adige, I-38010 San Michele all'Adige (TN)

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: flavio.corradini@iasma.it

RIASSUNTO - *Fisica e chimica delle acque del Lago di Tovel (Trentino, Alpi centrali)* - Sono presentati e discussi i risultati di tre anni di studio (2002-2004) sulle principali caratteristiche fisiche e chimiche del Lago di Tovel, peraltro studiato da tempo. È stata dedicata particolare attenzione alla variabilità interannuale fra i due diversi sottobacini in cui il lago stesso può essere suddiviso: quello Principale, più esteso e profondo, e quello di SW, chiamato Baia Rossa per gli arrossamenti estivi a cui è stato soggetto fino al 1964. Le proprietà termiche, in particolare, hanno permesso di distinguere nettamente i due sottobacini. Nel Bacino Principale è stata confermata una certa anormalità limnologica, per la mancanza di un epilimnio ben definito durante la stratificazione termica estiva. La Baia Rossa è invece caratterizzata da un elevato salto termico estivo in pochi metri di profondità, con un ipolimnio costituito da acque fredde, a temperatura pressoché costante quasi tutto l'anno, continuamente alimentate da sorgenti sotterranee e fluenti verso il bacino profondo, senza rimescolamenti con le acque soprastanti. È stata confermata l'oligotrofia del lago, con il fosforo fattore limitante, e la buona trasparenza delle sue acque, rilevando per esse con il Disco di Secchi un valore massimo di 21 m, mai osservato in precedenza. È stata parimenti superata la visione che classificava il lago come meromittico, rilevando fra il resto nella primavera 2002 un totale rimescolamento delle sue acque. A fronte di una marcata diversità nei tre anni delle caratteristiche termiche, soprattutto estive, quelle idrochimiche hanno invece mostrato una scarsa variabilità interannuale, con l'eccezione della silice reattiva. Il confronto con il passato, soprattutto con il periodo dell'arrossamento, per la scarsità o mancanza di dati pregressi fornisce solo indicazioni, che non evidenziano cambiamenti dello stato trofico del lago nel suo complesso. Nulla si può dire invece a tale proposito per la Baia Rossa la quale, peraltro, per le sue peculiarità termiche e idrologiche (è il recettore diretto di gran parte delle acque immissarie) e le sue ridotte dimensioni si rivela particolarmente sensibile a modifiche ambientali o di utilizzo che potrebbero aver interessato il bacino sotteso.

SUMMARY - *Physical and chemical characteristics of Lake Tovel (central Alps)* - Three years of data (2002-2004) on the major physical and chemical characteristics of Lake Tovel are presented. Particular attention is given to inter-annual variability in the lake's two basins: the larger, deeper NE basin and the smaller, shallower SW basin also known as the Red Bay because of the red blooms which were a common occurrence until 1964. The two basins have very distinctive thermal profiles. The main NE basin does not have a well defined summer epilimnion, while the Red Bay with its 4 m depth is characterised by marked temperature differences between the epilimnion and the hypolimnion. Because of inflow from isothermal underground springs, this hypolimnion has very cold waters all year round which do not mix with the overlying layers. The oligotrophic status of the lake has been confirmed along with phosphorous as the limiting factor. Water clarity is always high with a maximum value for Secchi disk of 21m, a new record for the lake. Past thermal classification of the lake as meromitic is outdated, with a complete turnover of the lake in spring 2002. In contrast to marked annual changes in the thermal profiles during the three year study period, the hydrochemistry of the lake showed very little inter-annual variability, the only exception being reactive silica. Comparison with past data, especially during the red bloom period for which few chemical data are available, tend to indicate no significant changes in the lake's trophic status as a whole. The same can not be said for the Red Bay for the total lack of data. The bay, moreover, because of its thermal and hydrological peculiarities (it receives almost all of the inflow to the lake) and its small size, is particularly sensitive to changes both to the environment and in its catchment area.

Parole chiave: progetto SALTO, Lago di Tovel, idrochimica lacustre, stratificazione termica

Key words: SALTO project, Lake Tovel, lacustrine hydrochemistry, thermal stratification

1. INTRODUZIONE

Gli aspetti essenziali delle caratteristiche fisiche e chimiche delle acque del Lago di Tovel sono conosciuti ormai da anni e non sono sostanzialmente cambiati nell'ultimo ventennio (Paganelli 1992; Corradini *et al.* 2001). L'occasione di uno studio di approfondimento fornita dal progetto SALTO (Borghi *et al.* 2006), nel cui ambito questo lavoro trova collocazione e finanziamento, ha permesso pertanto di andare oltre l'implementazione temporale del database della chimica e fisica lacustre avviato dall'Istituto Agrario a partire dal 1995 (ISMA 1996, 1997, 1998; IASMA 2000; dati non pubblicati). Ha fornito infatti la possibilità di indagare in dettaglio le caratteristiche delle acque lacustri, sia in termini di evoluzione nell'arco di tre annate consecutive, sia di distribuzione orizzontale, oltre che verticale come è stata finora consuetudine d'indagine. La baia di sud ovest, la così detta Baia Rossa, sede d'innescio e di sviluppo delle fioriture algali che hanno reso famoso il lago con i suoi arrossamenti, non è stata infatti in passato indagata più di tanto nella sua specificità. Questo soprattutto in relazione a possibili condizioni limnologiche direttamente connesse con le cause dell'arrossamento, magari superando la visione di Baldi (1938) che vedeva la baia come sede di accumuli passivi dell'alga responsabile. Focalizzare l'attenzione sulla Baia Rossa risultava quindi interessante, in quanto

non è da escludere che proprio essa in passato sia stata soggetta a temporanei cambiamenti idrochimici significativi, irrilevanti invece per l'intero bacino. Si pensi in particolare alle concentrazioni di nutrienti e alla loro influenza sulla rete trofica. L'approfondimento di tali aspetti è fra gli obiettivi del presente lavoro.

2. AREA DI STUDIO

Il Lago di Tovel è situato in Trentino, nel Parco Naturale Adamello Brenta, a 1178 m s.l.m. (quota di massimo invaso), con un attuale livello di sfioro a 1177 m.

Le caratteristiche principali sono così sintetizzate: $A = 382\,450\text{ m}^2$ (Baldi 1941), $V = 7\,367\,610\text{ m}^3$ (Baldi 1941), $z_m = 39\text{ m}$, superficie del bacino idrogeologico: $A_B \cong 20\text{ km}^2$ (Borsato & Ferretti 2006), $A_B/A \cong 50$.

Planimetria e batimetria sono riportate in figura 1 (Baldi 1941, modificato) insieme alle delimitazioni da noi arbitrariamente definite per il bacino di sud ovest, la Baia Rossa. Nella vasta letteratura sul lago non esiste, infatti, una delimitazione univoca di detta baia. Lo stesso Baldi (1941) fornisce indifferentemente due delimitazioni diverse, l'una corrispondente alla linea rossa continua della figura 1, l'altra per qualche verso approssimabile a quella tratteggiata, non attribuendo pertanto particolare significato alla definizione esatta

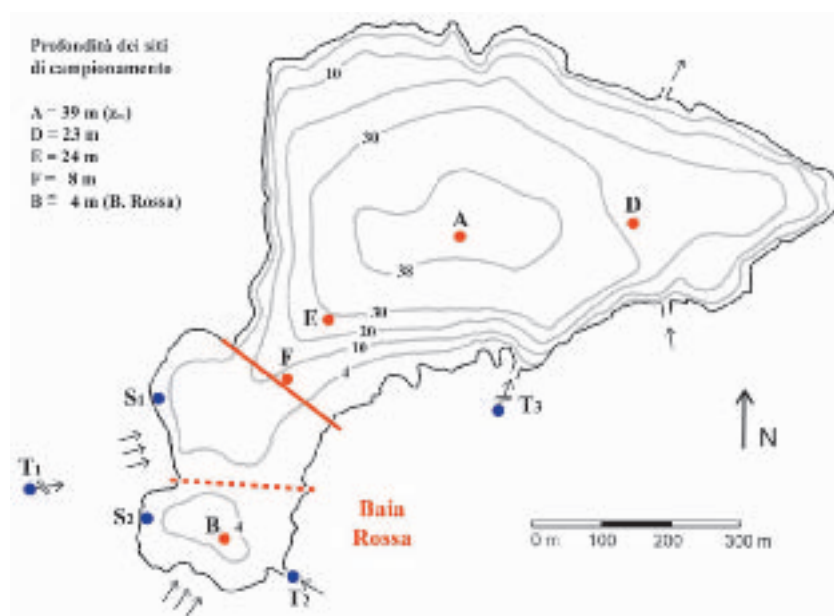


Fig. 1 - Lago di Tovel: batimetria e stazioni di rilevamento e prelievo. Bolli rossi: siti lacustri, bolli blu: acque immissarie. S_n : sorgenti sublacuali; T_1 : Rio S. Maria Flavona; T_2 : sorgente Roccione; T_3 : Rio Rislà o di Val Strangola. Linea rossa tratteggiata: delimitazione Baia Rossa; linea rossa continua: delimitazione Baia Rossa estesa (Baldi 1941).

Fig. 1 - Lake Tovel: bathymetry and studying and sampling sites. Red dots: lake sites; blue dots: tributary waters. S_n : sublacual springs; T_1 : S. Maria Flavona stream; T_2 : Roccione spring; T_3 : Rislà stream. Broken red line: Red Bay limit; unbroken red line: extended Red Bay limit.

dei suoi confini. Solo la parte con estensione più limitata, alla quale nel testo ci si riferirà con il termine Baia Rossa, può a rigore essere considerata, per la sua morfometria, un sottobacino distinto da quello principale; alla sua estensione più ampia, quando necessario, ci si riferirà di seguito con il termine di Baia Rossa estesa.

Per una descrizione più completa dell'ambiente lacustre si rimanda a Paganelli *et al.* (1988), a ISMA (1998) e a Tomasi (2004), mentre un inquadramento più generale dell'area, esteso anche agli aspetti idrogeologici dell'intera vallata, è presentato da Ferretti & Borsato (2006a, 2006b).

3. METODI

I dati meteorologici sono stati attinti dal database della stazione meteorologica di Tovel, gestita dall'Istituto Agrario di San Michele all'Adige (www.iasma.it/meteo.html).

Le stazioni di rilevamento e di prelievo sono indicate in figura 1.

Le superfici della baia di sud ovest (Baia Rossa) nelle sue diverse estensioni sono state calcolate tramite un programma GIS (ArcView 3.2), utilizzando la carta tecnica in scala 1:10.000 della Provincia Autonoma di Trento, mentre per il calcolo dei volumi ci si è basati su profondità medie di 2,6 m per l'area più estesa e di 2 m per quella ridotta.

L'indagine limnologica è stata condotta fra il novembre 2001 e il novembre 2004.

I dati di temperatura, ossigeno disciolto e potenziale redox sono stati rilevati tramite sonda multiparametrica *Hydrolab DS4a*, con misure effettuate fra le 10 e le 12 del mattino (ora solare) ad ogni metro di profondità nel Bacino Principale e a ogni mezzo metro nella Baia Rossa. Alcuni dati di temperatura sono stati inoltre rilevati con frequenza oraria tramite acquisitori *StowAway TidbiT* della ONSET Computer Corporation, USA. I contenuti di ossigeno disciolto sono presentati in percentuale del suo valore di saturazione con l'intento di evidenziare la situazione dell'elemento in relazione al rapporto fra consumi/perdite e produzione/apporti.

I campioni d'acqua del lago per le analisi chimiche sono stati prelevati con bottiglia Ruttner (due litri) alle profondità di metri 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e a circa mezzo metro dal fondo, compatibilmente con la profondità massima di ogni stazione.

La frequenza di rilevazione e di prelievo nella stazione di massima profondità (A) e in Baia Rossa (B), non sempre uguale nei tre anni di studio, è stata almeno quindicinale da giugno a tutto settembre e almeno mensile in aprile, maggio, ottobre e novembre; nel periodo invernale con la superficie sempre ghiacciata si è effettuato almeno un campionamento, limitatamente

al punto A essendo la Baia Rossa asciutta. Negli altri punti (D, E e F) l'attività di prelievo si è limitata al 2002, con la stessa frequenza del punto A.

I prelievi delle acque immissarie sono stati eseguiti nel 2002 e 2003, con frequenza prevalentemente quindicinale da fine aprile/inizio maggio a fine novembre.

Prelievi, trattamenti, trasporto, conservazione ed analisi di laboratorio dei campioni d'acqua sono stati eseguiti facendo riferimento a prescrizioni e metodi standard (IRSA-CNR 1994, III-CNR 1997, APHA 1998). In particolare, sono state determinate in laboratorio le seguenti variabili: pH a 20 °C, conducibilità elettrica specifica a 20 °C, alcalinità, torbidità (NTU), fosforo reattivo solubile, fosforo totale, azoto nitrico, ammonico e totale, silice reattiva solubile, anioni degli acidi forti (solfato e cloruro), cationi metallici di base (calcio, magnesio, sodio e potassio), isotopo stabile 18 dell'ossigeno. La filtrazione dei campioni, quando richiesta, è stata effettuata con filtri Millipore 0,45 µm. I campioni per le analisi in cromatografia ionica sono stati invece prefiltrati con Millipore 0,2 µm. Le tecniche analitiche adottate e la strumentazione utilizzata sono riportate in tabella 1. La qualità dei risultati analitici è stata perseguita: a) per quanto riguarda la precisione dei dati con l'inserimento e la ripetizione di campioni di riferimento in ogni serie di determinazioni e con l'adozione di relative carte di controllo; b) per quanto riguarda la loro accuratezza con l'uso di materiali certificati (NIST) e con la partecipazione a *test ring* di intercalibrazione su acque naturali.

La trasparenza al Disco di Secchi è stata misurata con un disco di 30 cm di diametro.

Le misure di attenuazione in acqua della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, 400-700 nm) incidente in superficie sono state eseguite tramite un Underwater Quantum Sensor *LI-192SA* abbinato al datalogger *LI-1400 della LI-COR*.

Le isoplete delle variabili presentate sono state elaborate con il programma Surfer version 8.00 (Golden Software, Inc.).

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Le tre annate di studio sono state caratterizzate da andamenti meteorologici alquanto diversi (Eccel 2006). Le precipitazioni estive in particolare si discostano dai valori medi, con piovosità elevate nel 2002 e molto basse nel 2003 (Fig. 2). Tale accentuata diversità, ovviamente casuale, è interessante in quanto, per la stretta connessione fra piovosità e ricambio idrologico del lago (Borsato & Ferretti 2006), è presumibile che si sia riflessa sulla variabilità interannuale delle caratteristiche fisiche e chimiche del lago, o perlomeno di alcune di esse, dando origine ad andamenti annuali ben diversificati e ad un quadro complessivo di conoscenze più ampio e articolato. Anche il fenomeno

Tab. 1 - Tecniche analitiche e strumentazione di laboratorio, Laboratorio di idrochimica dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige.

Tab. 1 - Laboratory analytical techniques and instrumentation, Hydrochemistry Laboratory of Istituto Agrario di San Michele all'Adige.

Parametro analitico	Descrizione
pH	Per potenziometria con pHmetro <i>CRISON pH 0.01</i> , con elettrodo <i>CRISON 52-21</i> .
Torbidità	Per torbidimetria a 440 nm, con spettrofotometro <i>Varian – Cary 50 bio</i> e cuvette da 5 cm. Metodo IRSA 2120.
Conducibilità	Per conduttometria con conduttimetro <i>CRISON MICROCM 2002</i> , abbinato ad elettrodo <i>CRISON 59-921</i> .
Alcalinità	Per titolazione potenziometrica a punto finale pH 4.5, con pHmetro titolatore automatico <i>CRISON COMPACT TITRATOR Version VI</i> .
Fosforo reattivo e totale	Per spettrofotometria visibile a 885 nm, con spettrofotometro <i>Varian – Cary 50 bio</i> e cuvette da 3 cm. Metodo al blu di molibdeno e acido L-ascorbico. Per il fosforo totale si effettua una mineralizzazione acida con persolfato di potassio. Limiti di detezione rispettivamente di 1 e 2 $\mu\text{g l}^{-1}$. Limiti di quantificazione rispettivamente di 2 e 4 $\mu\text{g l}^{-1}$. Metodo IRSA 4090.
Azoto nitrico	Per cromatografia ionica con cromatografo <i>DIONEX 320</i> , colonna <i>AS 14 A</i> . Limite di quantificazione 30 $\mu\text{g l}^{-1}$.
Azoto ammoniacale	Per spettrofotometria visibile a 647 nm, con spettrofotometro <i>Varian – Cary 50 bio</i> . Metodo al blu indofenolo con sodio salicilato (Verdouw <i>et al.</i> 1978). Limite di quantificazione 20 $\mu\text{g l}^{-1}$.
Azoto totale	Per spettrofotometria UV a 220 nm, con spettrofotometro <i>Varian – Cary 50 bio</i> , dello ione nitrato dopo mineralizzazione/ossidazione alcalina con persolfato di potassio. Limite di quantificazione 50 $\mu\text{g l}^{-1}$.
Silice reattiva (SiO_2)	Per spettrofotometria visibile a 650 nm, con spettrofotometro <i>Varian – Cary 50 bio</i> . Metodo al blu di molibdeno con riducente acido L-ascorbico. Metodo IRSA 4110. Limite di quantificazione 0,1 mg l^{-1} .
Solfati, cloruri e fluoruri	Per cromatografia ionica con cromatografo <i>DIONEX 320</i> , colonna <i>AS 14 A</i> . Limiti di quantificazione 50 $\mu\text{g l}^{-1}$.
Ioni Ca, Mg, Na e K	Per cromatografia ionica con cromatografo <i>DIONEX 320</i> , colonna <i>CS 12 A</i> . Limiti di quantificazione 50 $\mu\text{g l}^{-1}$.
$\delta 18\text{O}$ vs V-SMOW	Per spettrometria di massa isotopica con spettrometro <i>VGISOGAS Sirall</i> . Metodo per equilibrizzazione. Incertezza di misura 0,15%.

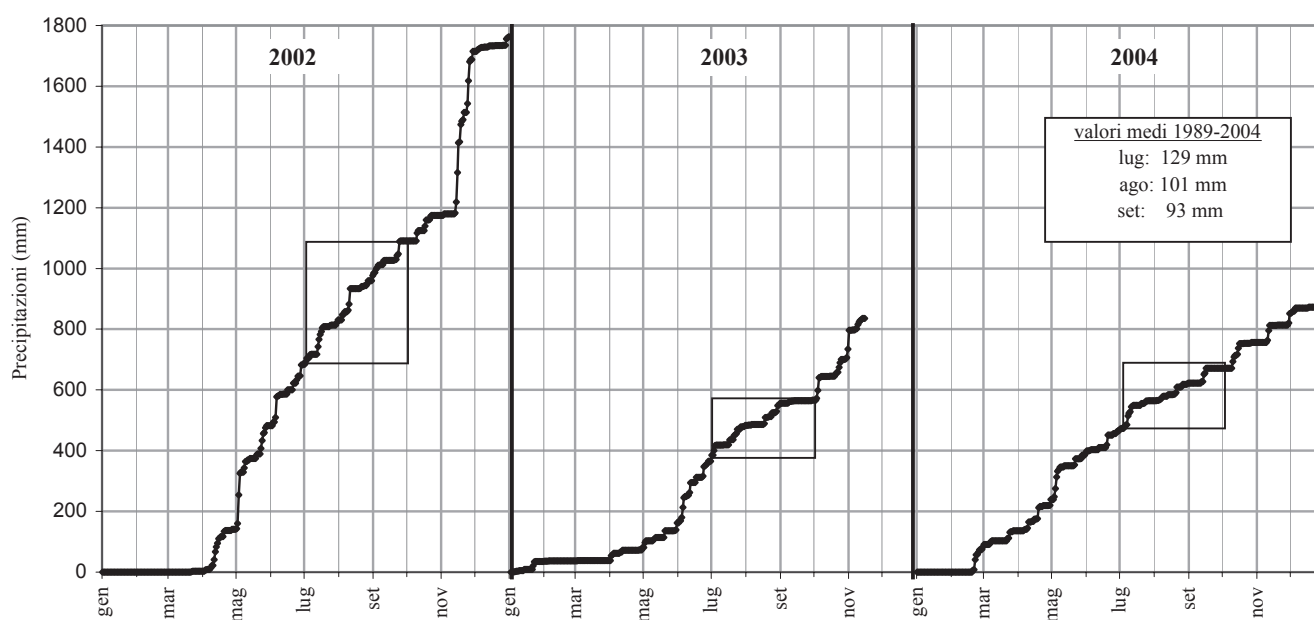


Fig. 2 - Precipitazioni cumulate nel periodo di studio e media dei valori estivi degli ultimi 16 anni rilevate presso la stazione idrometrica di Tovel.

Fig. 2 - Cumulative precipitations in the period of study and summer average values of last 16 years detected in Tovel hydrometric station.

Tab. 2 - Superfici e volumi del Lago di Tovel e della baia di sudovest (Baia Rossa).

Tab. 2 - Area and volume of Lake Tovel and SW bay (Red Bay).

	superficie (m ²)		volume (m ³)	
Lago intero	380 10 ³	(100%)	7370 10 ³	(100%)
B.Rossa estesa	61 10 ³	(16,0%)	160 10 ³	(2,2%)
B. Rossa	24 10 ³	(6,3%)	48 10 ³	(0,7%)

dell'arrossamento, peraltro, che si manifestava con maggiore intensità nelle estati calde e siccitose, era condizionato dalle condizioni meteorologiche estive (Flaim *et al.* 2006).

Superfici e volumi della Baia Rossa, calcolati dagli autori per le due diverse estensioni di figura 1, sono presentati in tabella 2. Ai dati va comunque attribuito un valore indicativo, sia per l'incostanza del livello del

lago che ne determina una continua e discreta variabilità, sia per la mancanza di misure batimetriche di dettaglio necessarie per l'esatta valutazione dei volumi. Agli autori interessa evidenziare con qualche numero le ridotte dimensioni della Baia Rossa rispetto a quelle dell'intero lago: meno di un sesto per la superficie, solo una/due unità percentuali per il volume.

Con una serie di misure, effettuate pressoché in contemporanea lungo profili verticali in diversi punti dell'intero bacino (A, B, D, E e F) in sei giornate comprese fra metà giugno e metà settembre del 2002, casuali per le condizioni meteorologiche, si è cercato di valutare ai vari livelli di profondità la omogeneità orizzontale delle caratteristiche fisiche e chimiche delle acque durante il periodo di stratificazione termica estiva del lago. In figura 3 sono presentati i risultati ottenuti per la temperatura, l'ossigeno disciolto e la concentrazione di silice reattiva in due delle sei giornate indagate. Distribuzioni simili si sono osservate per i risultati, qui non riportati, ottenuti nelle altre quattro giornate. La buona e costante sovrapposibilità

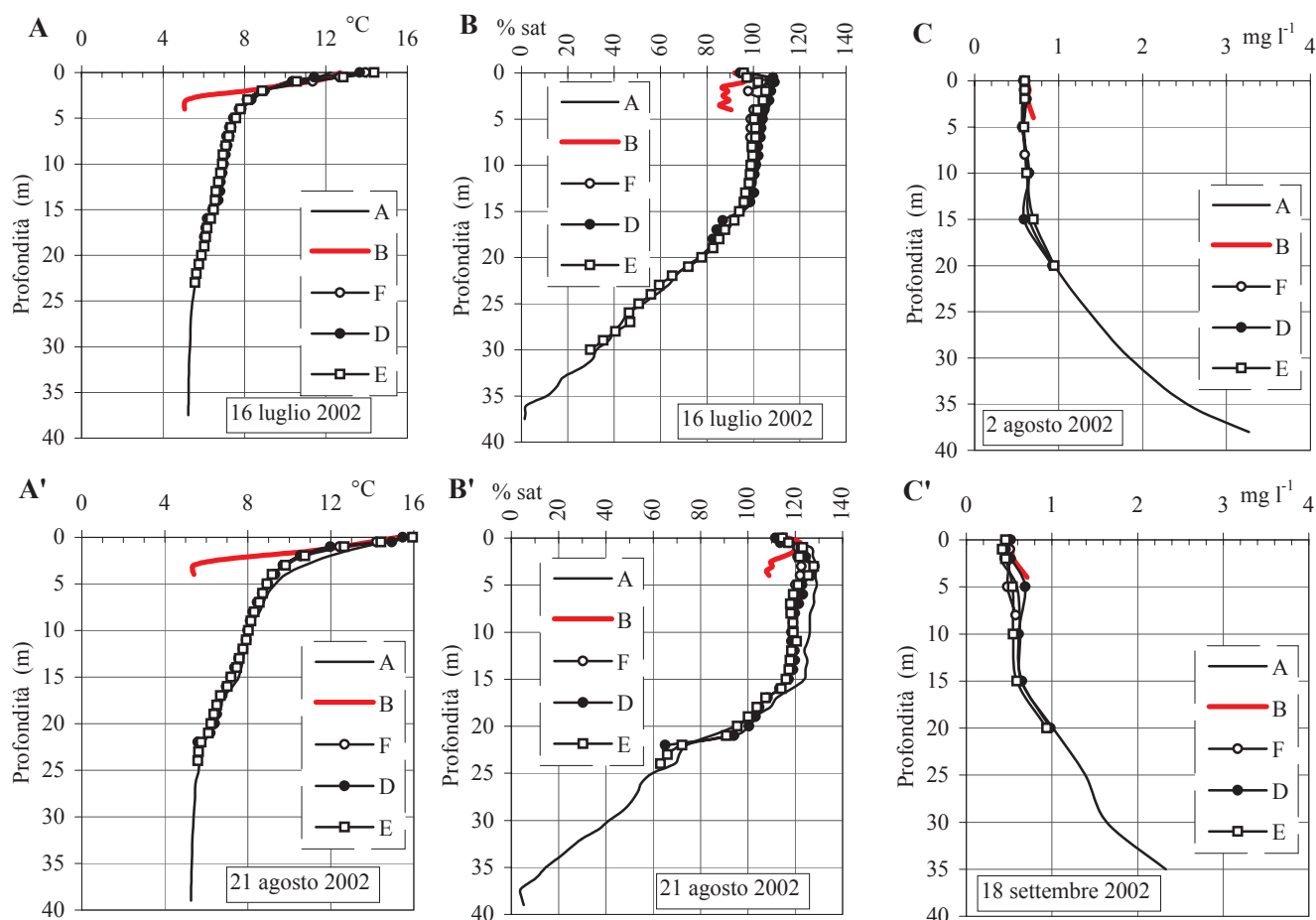


Fig. 3 - Estate 2002: profili di temperatura (A, A₁), di ossigeno disciolto (B, B₁) e di silice reattiva (C, C₁) nelle stazioni d'indagine.

Fig. 3 - Summer 2002: temperature (A, A₁), dissolved oxygen (B, B₁) and reactive silica profiles (C, C₁) in the stations of study.

degli andamenti verticali delle variabili fisiche nei diversi punti del lago con la netta distinzione del punto B (Baia Rossa) indica e rafforza la visione del lago distinto in due sottobacini, la cui separazione su base morfologica trova così riscontro anche in altre caratteristiche. È la distribuzione verticale della temperatura il carattere che maggiormente permette di distinguere i due bacini, con un salto termico fra superficie e profondità che nella Baia Rossa, in soli due-tre metri, corrisponde a quello che nel bacino più profondo si osserva in più di 25 m. Anche l'ossigeno disciolto mostra distribuzioni verticali non sovrapponibili nei due bacini, mentre per le caratteristiche chimiche, di cui si presenta solo il quadro della silice, non si sono osservate differenze evidenti.

La distribuzione dei valori di temperatura nel bacino più piccolo (Baia Rossa) è stata valutata più in dettaglio su una sezione verticale dello stesso a metà pomeriggio di una giornata di sole estiva (Fig. 4), con una griglia di rilevamento di maglia 0,5 m per la profondità e 10 m di distanza tra i punti. Zone strettamente riparie a parte, la stratificazione termica si è presentata omogeneamente distribuita. Sembra sostanzialmente corretto, quindi, considerare le stazioni A e B come rappresentative dei due bacini ai fini dei rilevamenti e dei prelievi, come è stato fatto nel periodo d'indagine e spesso anche in passato.

In figura 5 è presentata la distribuzione della temperatura nelle acque del Bacino Principale per l'intero periodo di studio, mentre in figura 6 sono riportati alcuni profili verticali estivi. La maggiore variabilità fra un anno e l'altro si osserva negli strati più vicini alla superficie e nei periodi estivi. È nel 2003 nel triennio studiato, con l'estate più calda e seccata e con l'abbassamento del livello del lago al di sotto della soglia di sfioro a partire da inizio agosto (Borsato & Ferretti 2006), che si manifesta il maggiore riscaldamento del-

le acque fino a 10-15 m di profondità, con temperature in superficie che superano i 20 °C e superiori di circa 5 °C a quelle dell'anno precedente. Anche nel 2004 è con l'abbassamento del livello al di sotto della soglia di sfioro (a fine agosto) che il riscaldamento estivo delle acque coinvolge in modo più marcato anche i livelli meno superficiali.

Le acque di profondità, invece, al di sotto dei 30 m presentano variazioni minime, inferiori al grado centigrado, sia fra le stagioni che fra le annate. Interessante notare come nel 2002, l'annata decisamente più piovosa e con il minor riscaldamento delle acque di superficie, la temperatura delle zone profonde si presenta all'opposto, dalla primavera in poi, leggermente più elevata rispetto ai due anni seguenti, con differenze di circa mezzo grado centigrado (5,3 contro 4,8 °C). Ciò è probabilmente riconducibile al veloce e intenso ricambio delle acque lacustri, a seguito delle elevate precipitazioni di inizio maggio, che nel 2002 ha interessato eccezionalmente il lago fino ai suoi strati più profondi apportandovi, con il rivolgimento primaverile, acque relativamente più calde.

Il quadro delle isoplete della temperatura permette inoltre di ottenere, seppure indirettamente, informazioni su movimenti e rivolgimenti delle acque. Nei mesi autunnali, ad esempio, i tratti verticali delle isoterme, a partire dalla superficie, forniscono chiare indicazioni sull'innescò, l'evoluzione e l'estensione dei rivolgimenti delle acque di fine anno. Diversamente, la pressoché costante presenza estiva di un gradiente, a partire dalla superficie, nella distribuzione verticale della temperatura, evidente nei profili di figura 6, conferma invece quanto già riportato da Corradini *et al.* (2001) sulla mancanza di un epilimnio ben definito, il che differenzia la stratificazione termica estiva di Tovel da quella tipica dei laghi naturali della regione (ISMA 1996, 1997, 1998; IASMA 2000). L'azione

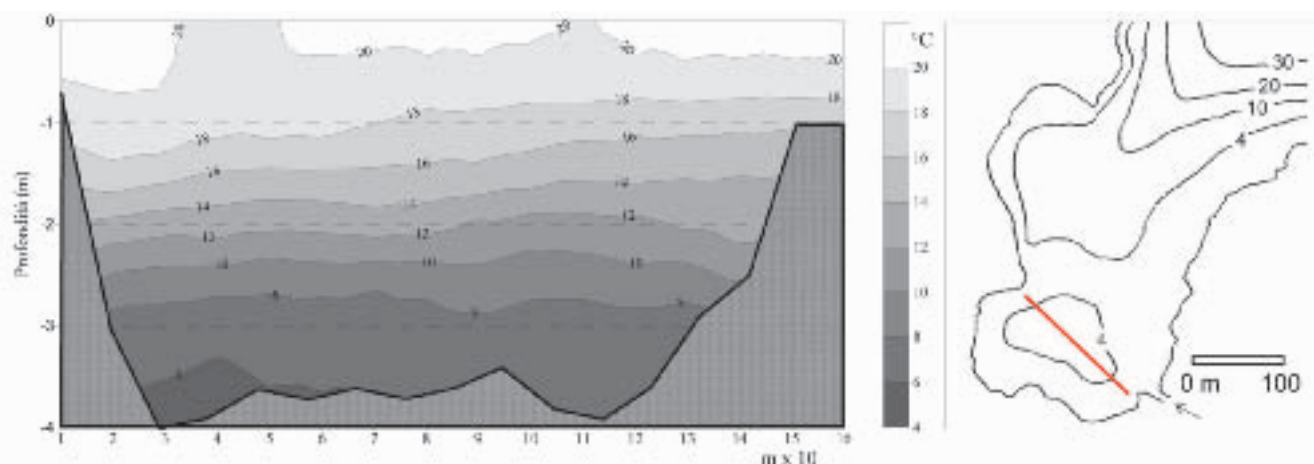


Fig. 4 - Distribuzione della temperatura in una sezione verticale della Baia Rossa.
Fig. 4 - Distribution of temperature on a vertical section of Red Bay.

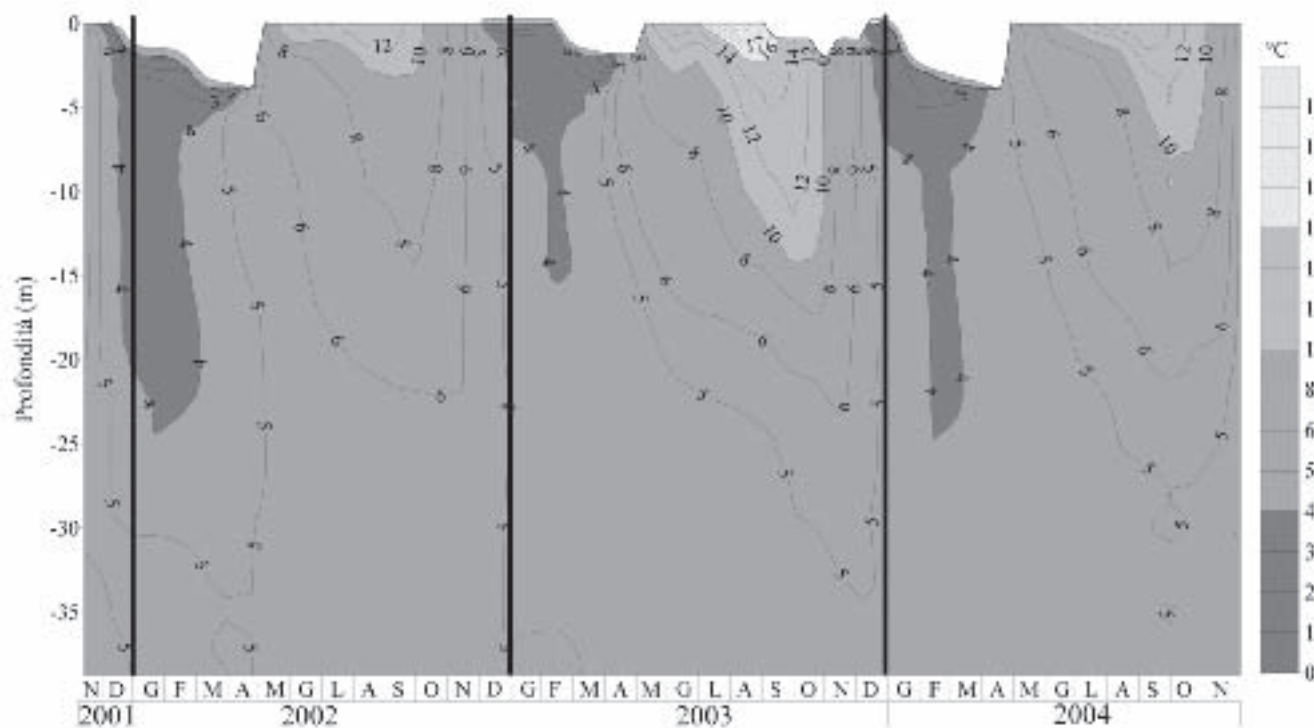


Fig. 5 - Lago di Tovel. Isoplete della temperatura nel Bacino Principale.

Fig. 5 - Lake Tovel. Isotherms of temperature in the Main Basin.

delle brezze che caratterizzano la vallata nei periodi estivi non sembra riuscire a formare uno strato superficiale delle acque termicamente omogeneo e di spessore consistente, almeno di qualche metro, come avviene in altri laghi.

È comunque nei primi metri dalla superficie che le acque subiscono i maggiori riscaldamenti. Un quadro più articolato del loro comportamento termico estivo in

tale strato è presentato in figura 7, insieme al parallelo andamento di alcune variabili meteorologiche, quali la temperatura dell'aria e le precipitazioni, mentre in figura 8 ne viene approfondito l'andamento circadiano in due giornate tipo, una di sole, l'altra parzialmente piovosa. A livello di superficie la temperatura media giornaliera dell'acqua segue l'andamento di quella dell'aria pur con una certa inerzia. Già a poco più di

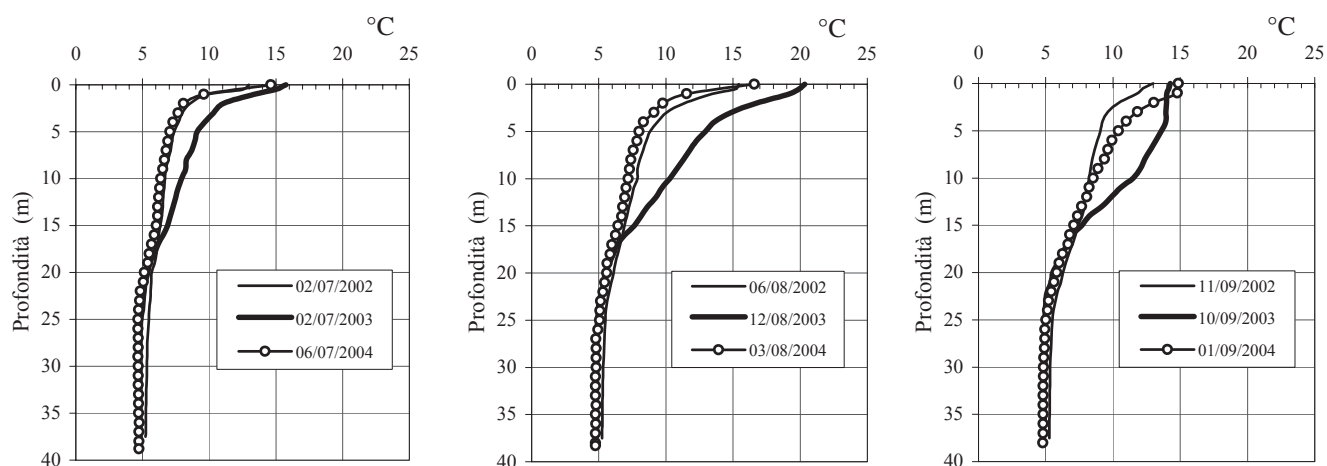


Fig. 6 - Lago di Tovel. Profili verticali di temperatura in tre giornate differenti dei mesi di luglio, agosto e settembre dei tre anni di studio.

Fig. 6 - Lake Tovel. Temperature vertical profiles of three different days of July, August and September in the three years of study.

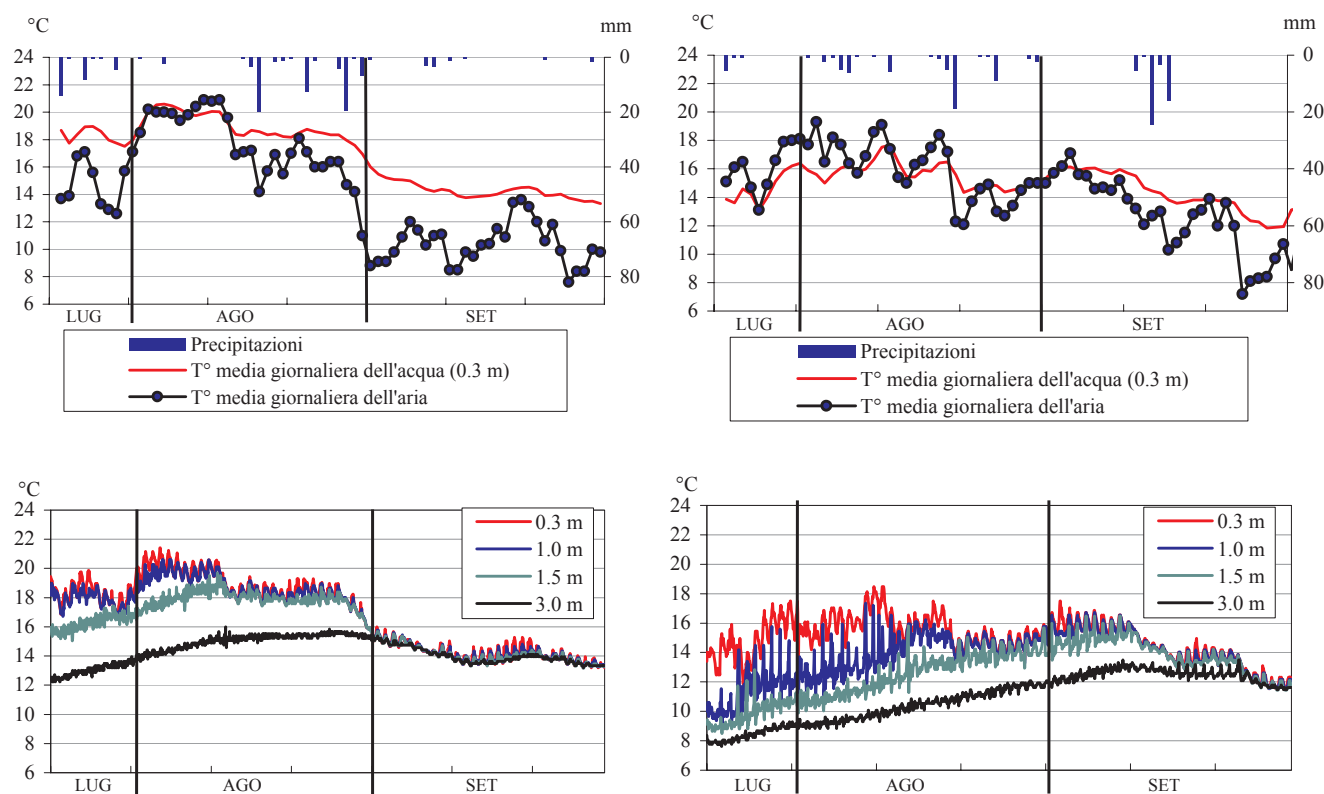


Fig. 7 - Lago di Tovel, Bacino Principale. Precipitazioni, temperatura dell'aria e temperature degli strati d'acqua superficiali nel corso delle estati 2003 (sinistra) e 2004 (destra).

Fig. 7 - Lake Tovel, Main Basin. Atmospheric precipitations, air temperatures and water temperatures of surface layers of summer months in 2003 (left) and 2004 (right) years.

un metro di profondità, però, la temperatura segue prevalentemente la tendenza stagionale, caratterizzata da oscillazioni a più lungo periodo, evidenziando nei periodi più caldi e siccitosi l'assenza di un diretto mescolamento con lo strato appena superiore. A tre metri tale comportamento è ancora più netto. Fino a tale profondità e anche oltre si osservano tuttavia piccole oscillazioni nell'arco circadiano, con massimi di temperatura a metà / tardo pomeriggio, più attenuate nei giorni di pioggia. È utile ricordare che nelle due estati, a cui si fa riferimento in figura 7, il livello del lago si abbassa sotto la soglia di uscita, con forte rallentamento del ricambio idrologico, rispettivamente a partire da fine luglio e fine agosto (Borsato & Ferretti 2006).

Un confronto con il passato, con il periodo dell'arrossamento del lago, fra profili verticali di temperatura di estati rispettivamente piovose e siccitose è presentato in figura 9. Al pari di altri analoghi recenti confronti (Corradini *et al.* 2001), anch'esso non sembra evidenziare particolari differenze fra i periodi *pre* e *post* 1965, tali da fare ipotizzare eventuali connessioni fra il venir meno dell'arrossamento e un diverso riscaldamento delle acque del lago, almeno nel loro insieme. Una specifica attenzione alle acque di super-

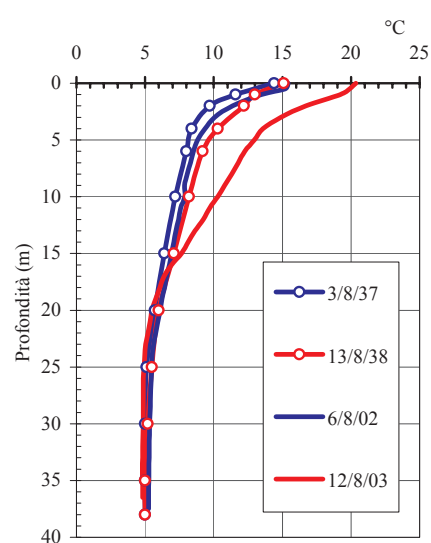


Fig. 9 - Lago di Tovel. Profili verticali della temperatura in agosto in quattro diverse annate: confronto fra estati siccitose (linee rosse) e piovose (linee blu) di anni con e post arrossamento.

Fig. 9 - Lake Tovel. Vertical temperature profiles in August of four different years: comparison among dry (red lines) and rainy (blue lines) summers in years with and without reddening.

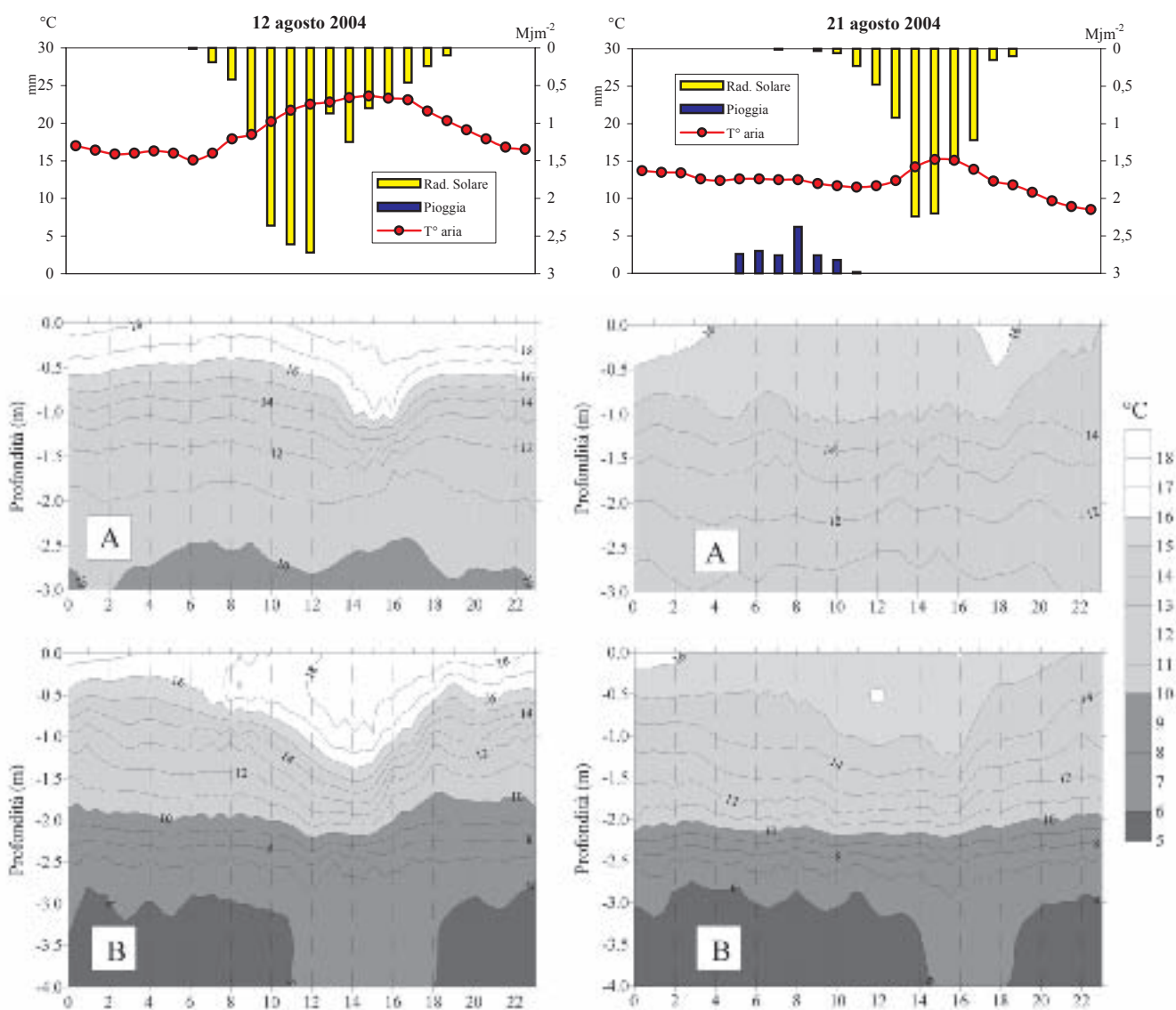


Fig. 8 - Lago di Tovel. Radianza, pioggia, temperatura media oraria dell'aria e distribuzione circadiana della temperatura nei primi metri di profondità nel Bacino Principale (A) e nella Baia Rossa (B) in due giornate estive.
 Fig. 8 - Lake Tovel. Radiance, rain, hour average temperature and circadian distribution in the first meters of depth in the Main Basin (A) and in Red Bay (B) in two summer days.

ficie, come argomentato da Paganelli (1992), potrebbe sicuramente essere più efficace al fine del confronto, ma mancano dati di dettaglio. Non si intravede tuttavia la ragione di una diversità di comportamento termico solo in superficie fra i due periodi, *pre* e *post*, senza riflessi nel comportamento degli strati subito sottostanti.

La figura 10 presenta la distribuzione dell'ossigeno disciolto nelle acque del Bacino Principale nei tre anni di studio, mentre alcuni profili verticali estivi della variabile sono riportati in figura 11. La zona di sovrassaturazione arriva ad estendersi fino a 15-20 metri di profondità, a seconda delle stagioni e delle annate, con i valori più elevati, fra 120 e 140% della

saturation, nei periodi estivi e soprattutto quando il ricambio idrologico è minimo, con il livello del lago sotto la soglia di uscita, come nel 2003 e 2004. In quanto a presenza, intensità ed estensione della sovrassaturazione, si osserva nel triennio un ambito di variabilità in cui trovano buona collocazione anche le situazioni descritte in passato, sia quelle degli anni più recenti, rilevate con regolarità a partire dal 1995 (ISMA 1996, 1997, 1998; IASMA 2000; Corradini et al. 2001; dati archivio IASMA), sia quelle antecedenti, più occasionali, presentate o riprese da Paganelli (1992), alcune delle quali risalgono al periodo dell'arrossamento.

Una zona di sovrassaturazione dell'ossigeno bene

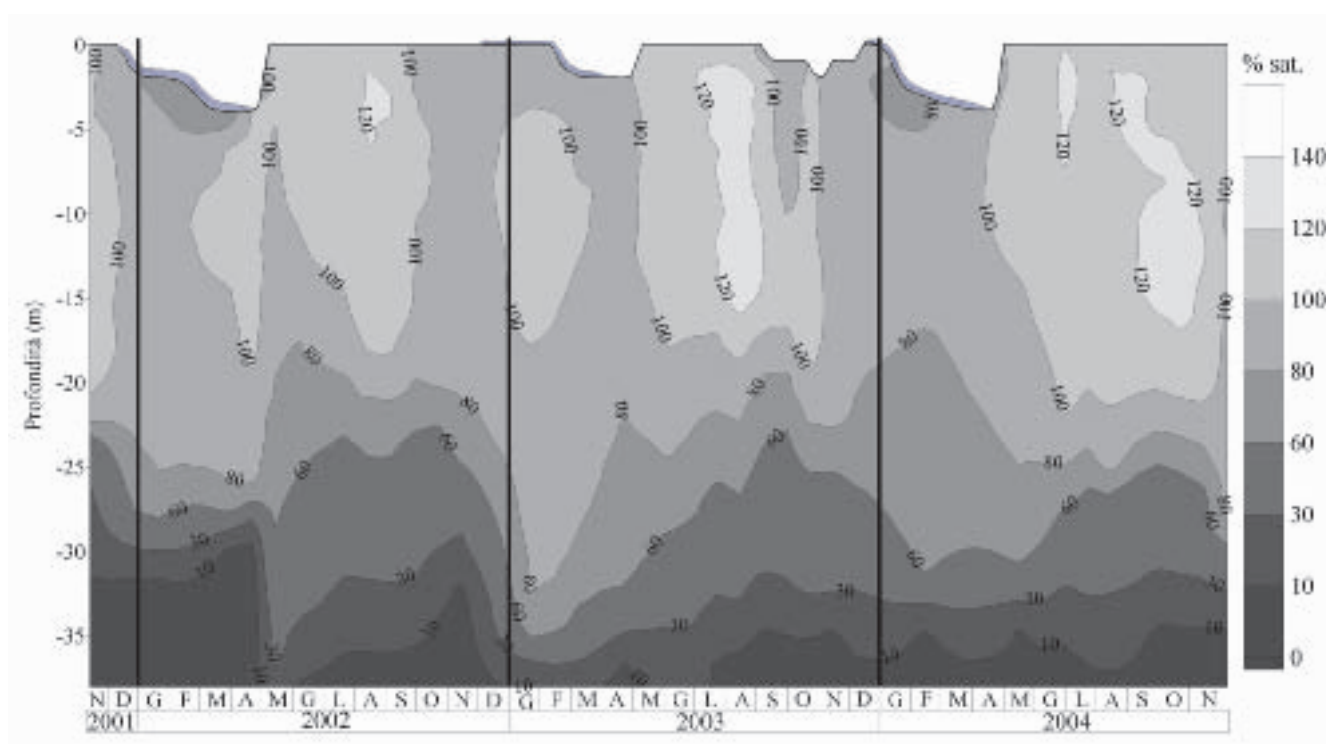


Fig. 10 - Lago di Tovel. Isoplete dell'ossigeno disciolto, espresso come percentuale di saturazione, nel Bacino Principale.
 Fig. 10 - Lake Tovel. Isopeles of dissolved oxygen, as percentage saturation, in the Main Basin.

svilupata in profondità, soprattutto in estate, essendo direttamente connessa all'attività fotosintetica del fitoplancton presuppone una buona trasparenza delle acque e una buona penetrazione della luce.

I valori medi mensili della trasparenza delle acque, con minimi e massimi, rilevati con il Disco di Secchi nei tre anni, sono presentati in figura 12. Non si osser-

vano andamenti annuali ben definiti: se mediamente infatti la trasparenza può considerarsi buona, si assiste a oscillazioni piuttosto ampie, con valori estremi da poco meno di 4 m a oltre 21 m, quest'ultimo il più alto in assoluto finora rilevato nel lago. La minor trasparenza sembra corrispondere a periodi di intenso afflusso e ricambio delle acque, mentre i valori più alti

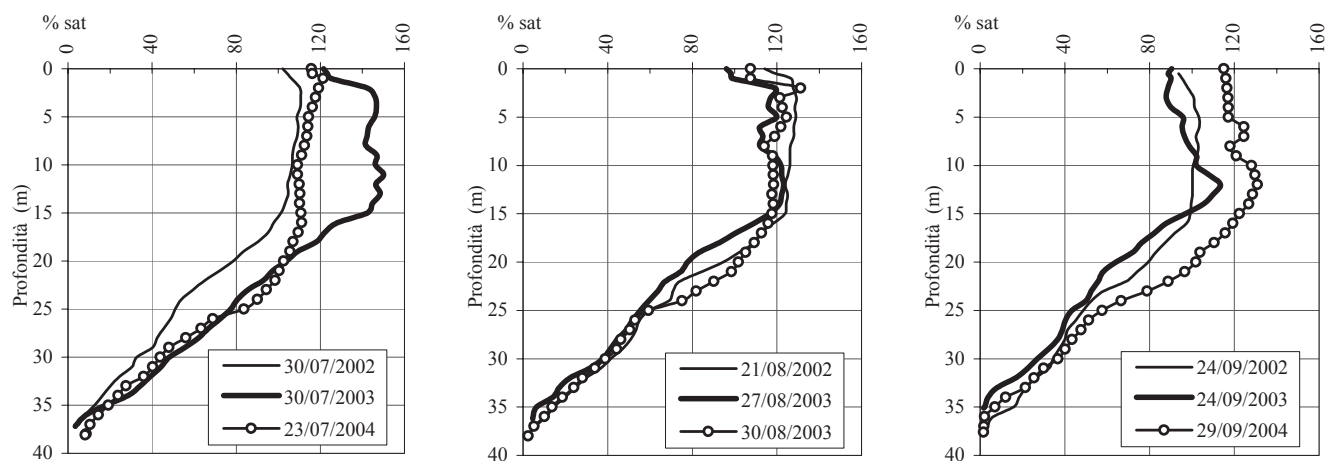


Fig. 11 - Lago di Tovel. Profili verticali di ossigeno disciolto espresso come percentuale di saturazione in tre diverse giornate di luglio, agosto e settembre nei tre anni di studio.

Fig. 11 - Lake Tovel. Vertical profiles of dissolved oxygen's percentage saturation detected in July, August and September of the three years of study.

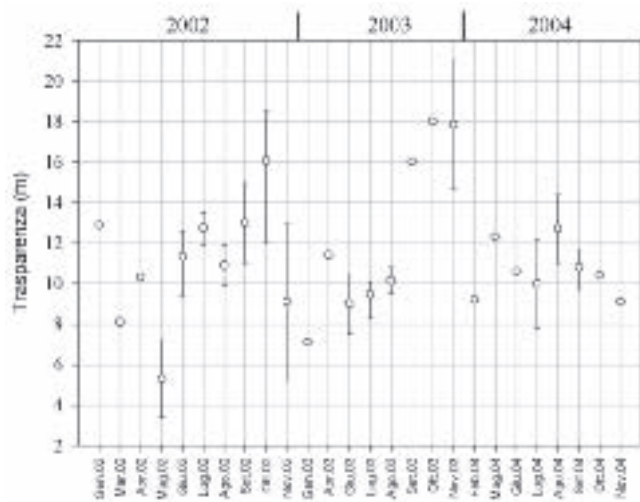


Fig. 12 - Trasparenza col disco di Secchi: medie mensili, con minimi e massimi, nei tre anni di studio.

Fig. 12 - Secchi disk transparency: monthly averages with minimum and maximum in the three years of study.

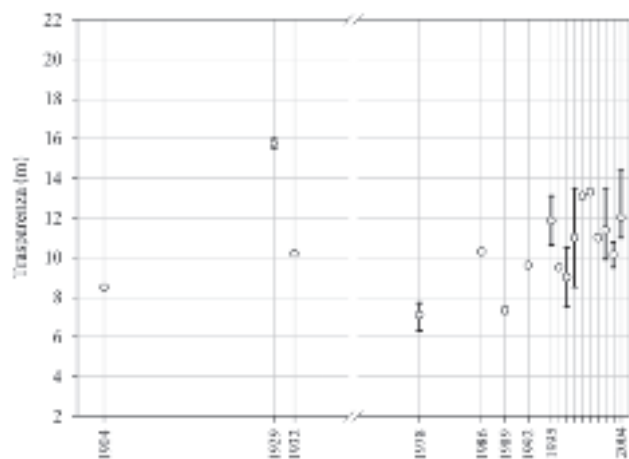


Fig. 13 - Trasparenza col disco di Secchi: medie, con minimi e massimi, dei valori rilevati annualmente fino ad oggi nel periodo estivo 1 ago-8 set.

Fig. 13 - Secchi disk transparency: averages with minimum and maximum of values detected yearly till today in summer period 1 Aug-8 Sep.

si riscontrano in autunno, dopo forte raffreddamento delle acque e scarsa piovosità. Il confronto fra i valori estivi (agosto più inizio settembre) fino ad oggi rilevati non evidenzia cambiamenti significativi nel corso dell'ultimo secolo (Fig. 13), ma i dati del passato sono pochi e conferiscono a tale affermazione un valore solo indicativo.

In figura 14 sono riportati alcuni andamenti di attenuazione verticale della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) incidente in superficie. I profili sono stati

rilevati nel 2002 in tre diversi mesi, rispettivamente in gennaio, alle 15,20 con il lago in ombra e sotto uno strato di ghiaccio di 50 cm non coperto di neve, in giugno, alle 15,50 in pieno sole, e in luglio, alle 13 in una giornata con cielo coperto. Malgrado la diversità delle condizioni stagionali e meteorologiche i corrispondenti coefficienti medi di attenuazione (K_{dPAR}), calcolati sui primi 25 m di profondità con la legge di Lambert-Bouguer (Kirk 1994), sono risultati sostanzialmente simili, con valori piuttosto bassi (0,181 / 0,192 / 0,181), indice di buona trasparenza, confermata peraltro dai corrispondenti valori parallelamente rilevati con il Disco di Secchi: 12,9 / 11,4 / 12,4 m. Con tali valori di K_{dPAR} Tovel presenta caratteristiche ottiche generalmente evidenziate da laghi alpini situati in una fascia altitudinale più elevata, compresa fra i 1600 e 1800 m s.l.m. (Laurion *et al.* 2000). Sempre sulla base delle misure di attenuazione riportate, la zona fotica (Kirk 1994) si estende a Tovel fino a 21-24 m di profondità.

Sebbene il lago in passato sia stato inquadrato come meromittico (Paganelli 1992; Corradini *et al.* 2001), con uno strato di acque di fondo di circa sei metri non coinvolto nei processi di ricambio, le osservazioni di questi tre anni di studio portano a rivedere tale classificazione. È soprattutto nella primavera del 2002 che agli inizi di maggio, a seguito di forti piogge accompagnate da un marcato scioglimento delle nevi invernali, si assiste in pochi giorni a un intenso fenomeno di ricambio e rivolgimento delle acque, che

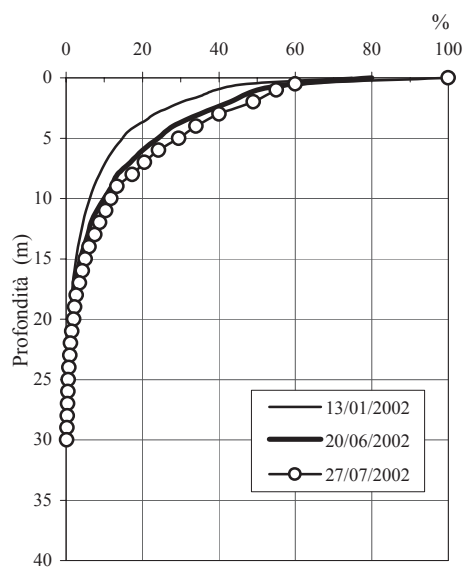


Fig. 14 - Lago di Tovel. Profili verticali della trasmissione in acqua della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), incidente in superficie, in tre diverse giornate.

Fig. 14 - Lake Tovel. Vertical percentage transmission in water of surface incident photosynthetically active radiation (PAR) in three different days.

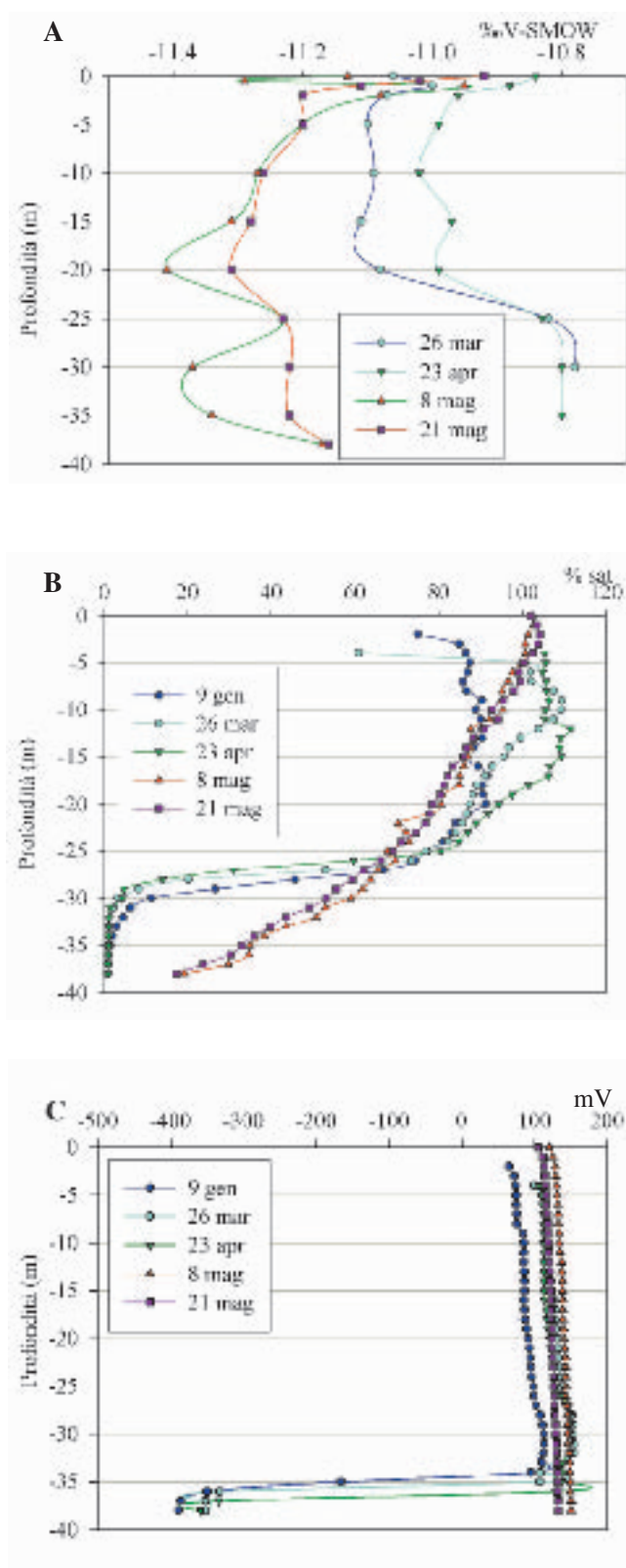


Fig. 15 - Profili verticali di: (A) isotopo stabile ^{18}O , (B) ossigeno disciolto come % della saturazione e (C) potenziale Redox, prima e dopo il rivolgimento primaverile delle acque nel 2002.

Fig. 15 - Vertical profiles of: (A) isotope ^{18}O , (B) dissolved Oxygen as % of saturation and (C) Redox potential, before and after spring water overturning in 2002.

interessa tutto il lago fino in profondità. Esso è ben evidenziato, in particolare, dall'evoluzione stagionale di alcune variabili, presentate in figura 15: (A) l'isotopo stabile dell'ossigeno a peso atomico 18, (B) l'ossigeno disciolto e (C) il potenziale Redox. Per ciascuna di esse si osserva infatti una buona sovrapposibilità, soprattutto in profondità, dei profili verticali rispettivamente fino al 23 aprile e a partire dall'8 maggio, con un netto cambiamento fra le due date a seguito di circa 200 mm di pioggia e dell'innalzamento del livello lacustre di quasi 4 m. La buona ossigenazione delle acque di fondo ed il forte innalzamento del potenziale Redox, che si livella ai valori dell'intera colonna, sono cambiamenti che per l'intensità e la velocità con cui si sono manifestati, implicano processi convettivi di mescolamento fra le acque di fondo con quelle degli strati superiori. Inoltre, la differenza nel contenuto dell'isotopo 18 dell'ossigeno che si osserva fra i due periodi lungo tutta la colonna, con la netta separazione dei due gruppi di profili e una distanza tra essi superiore alla precisione analitica del parametro, implica accanto a processi di mescolamento anche un consistente ricambio delle acque dell'intero lago con apporti esterni di evidenti caratteristiche diverse.

Più attenuato, più lento e non completo risulta il coinvolgimento delle acque profonde nei processi di rivolgimento e ricambio dei due anni successivi, probabilmente per la mancanza di eventi meteorologici determinanti. L'intensità, la velocità e l'estensione di tali processi cambia di anno in anno, sia in primavera che in autunno, per cui, anche sulla base di osservazioni di annate precedenti al presente studio (archivio IASMA, dati non pubblicati), viene da concludere che per Tovel è difficile indicare una situazione di meromissia, con un monimolinio di spessore definito. Si può piuttosto parlare di una certa difficoltà per il lago nel raggiungere annualmente il pieno rivolgimento delle sue acque, con condizioni solo di apparente e non costante stratificazione di quelle profonde.

In figura 16 è presentata in sintesi, sotto forma di isoplete e in analogia a quanto visto per il Bacino Principale, la distribuzione delle temperature nella Baia Rossa, che è stata studiata nella sua specificità. La baia va sostanzialmente a secco durante l'inverno, rimanendo comunque normalmente coperta da ghiaccio e neve, e si rigenera ex novo ogni primavera con l'inizio del disgelo, verso la fine di aprile. Si osserva anche per essa una ampia variabilità interannuale nella evoluzione delle sue temperature. Come già osservato, a commento della figura 3, la baia si distingue dal resto del lago soprattutto per il pronunciato salto termico verticale che le sue acque presentano in pochissimi metri di profondità (non più di tre) e che arriva a superare i $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ nei periodi più caldi. È interessante osservare, in particolare, la presenza costante di uno strato di fondo di acque fredde, termicamente omogeneo e con temperature

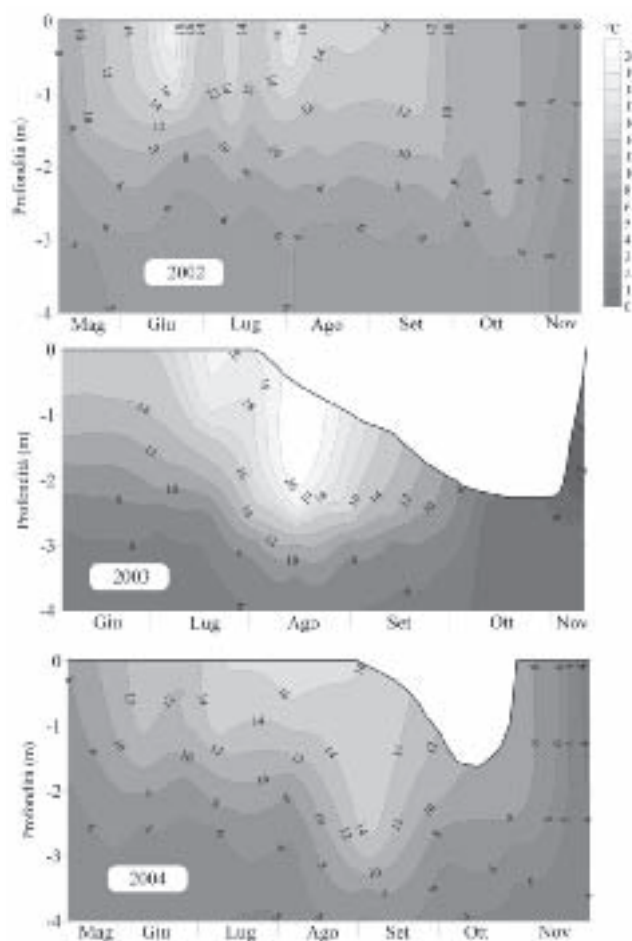


Fig. 16 - Lago di Tovel. Isoplete della temperatura nella Baia Rossa.

Fig. 16 - Lake Tovel. Isopleths of temperature in the Red Bay.

seconda degli anni e dei periodi. Tale strato, pur soggetto a piccole oscillazioni termiche circadiane, non sembra avere mai scambi convettivi con le acque sovrastanti, anche nei periodi di abbassamento del livello del lago e di forte riscaldamento delle acque superficiali. Esso, sicuramente generato e alimentato dalle numerose sorgenti sublacuali che tramite la Baia Rossa alimentano l'intero lago, può pertanto essere immaginato come un flusso costante d'acqua che scorre lentamente sul fondo in maniera laminare, sottostando quasi indisturbato agli strati superiori, conferendo così alla baia un peculiare assetto idrologico e termico, alquanto originale. Queste sono le condizioni che meglio sembrano caratterizzare la Baia Rossa, distinguendola dal resto del lago. Per altri aspetti, invece, essa presenta caratteristiche piuttosto uniformi nella loro distribuzione verticale. Le sue acque sono sempre ben ossigenate, con concentrazioni spesso superiori a quelle di saturazione. I potenziali Redox sono sempre positivi, con valori uniformi lungo la colonna, mentre la trasparenza con il Disco di Secchi raggiunge sempre il fondo.

Passando a considerare le caratteristiche idrochimiche del Lago di Tovel, il quadro generale ricavato dai tre anni di studio non varia sostanzialmente da quello già descritto negli ultimi venti – venticinque anni (Paganelli 1992, Corradini *et al.* 2001). Le acque, di media mineralizzazione, con una conducibilità specifica di circa $180 \mu\text{S cm}^{-1}$ al rivolgimento primaverile, sono dominate e tamponate nella loro composizione ionica dal complesso bicarbonato-calcio-magnesio, la cui distribuzione percentuale è schematizzata in figura 19. Viene altresì confermata l'oligotrofia del lago, con il fosforo come elemento limitante (concentrazione media nella zona trofica: $P_{\text{totale}} < 5 \mu\text{g l}^{-1}$) e con una discreta disponibilità di azoto nitrico ($350\text{-}400 \mu\text{g l}^{-1}$).

intorno ai $5\text{-}6 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figg. 17, 18), il cui spessore, nel punto di prelievo, di rado scende sotto il metro, a

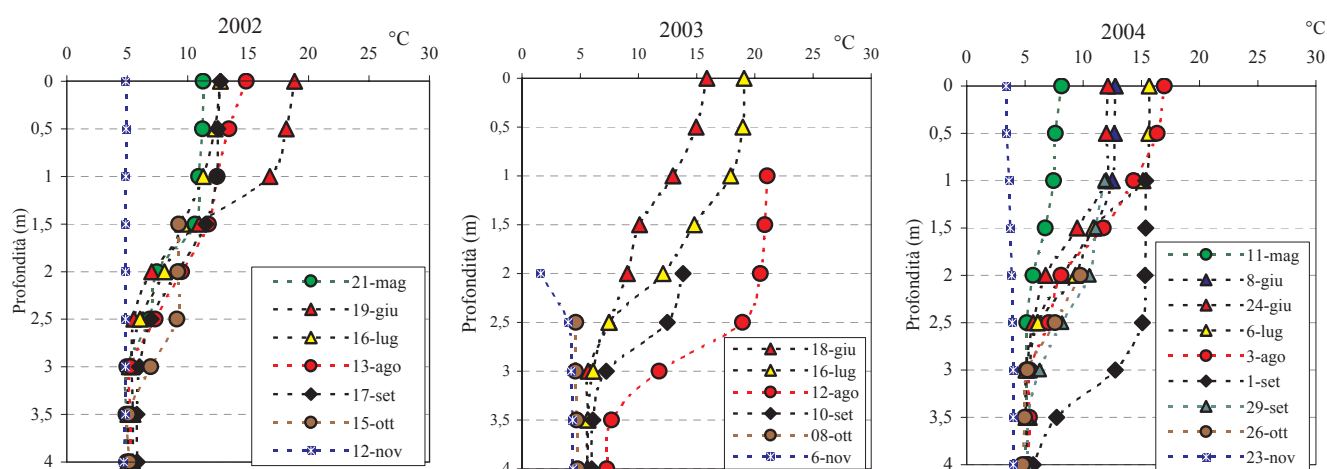


Fig. 17 - Baia Rossa: profili verticali della temperatura su base mensile nei tre anni.

Fig. 17 - Red Bay: vertical temperature monthly profiles in the three years.

Alcuni profili verticali delle principali variabili, rilevati nella zona di massima profondità nei mesi d'agosto dei tre anni, in un periodo quindi di avanzata stratificazione termica, sono riportati in figura 20. Gli andamenti non evidenziano grande variabilità interannuale e nel loro insieme sono in sintonia con la distribuzione delle caratteristiche fisiche sopra riportata e riflettono situazioni tipiche di un lago oligotrofico e ben ossigenato.

Un quadro riassuntivo dei dati chimici ottenuti è presentato nelle tabelle 3 e 4. Per il Bacino Principale

sono sintetizzati tramite le medie, per ciascun anno, i valori (con rilievi ogni di 5 m) dei primi venti metri di profondità, cioè sostanzialmente della zona fotica, accanto a quelli (media di due rilievi a 35 m e a 1 m dal fondo) dello strato più profondo, poco coinvolto nei processi di ricambio delle acque. Per la Baia Rossa si portano a confronto invece i valori medi di superficie (0-0,5-1 m di profondità) con quelli rilevati a 30 cm dal fondo. In entrambi i bacini, per quasi tutti i parametri si osserva nel corso dei tre anni una sostanziale

Tab. 3 - Lago di Tovel. Caratteristiche idrochimiche del Bacino Principale. Valori medi \pm dev st.

Tab. 3 - Lake Tovel. Hydrochemical characteristics of Main Basin. Mean values \pm st dev.

Zona fotica (0 ÷ 20 m)	2002		2003		2004		2002 ÷ 2004	
Parametro	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max
pH a 20°C	8,14 \pm 0,09	7,88 ÷ 8,41	8,29 \pm 0,12	7,97 ÷ 8,58	8,16 \pm 0,17	7,85 ÷ 8,51	8,20 \pm 0,14	7,85 ÷ 8,58
Conduttività (μ S cm ⁻¹)	180 \pm 8	160 ÷ 202	177 \pm 11	165 ÷ 200	178 \pm 12	158 ÷ 196	179 \pm 10	158 ÷ 202
Alcalin. (CaCO ₃ mg l ⁻¹)	104 \pm 5	92 ÷ 114	102 \pm 7	94 ÷ 117	103 \pm 6	94 ÷ 113	103 \pm 6	92 ÷ 117
N-NO ₃ (μ g l ⁻¹)	387 \pm 55	270 ÷ 510	346 \pm 37	300 ÷ 450	382 \pm 63	119 ÷ 556	372 \pm 55	119 ÷ 556
N-NH ₃ (μ g l ⁻¹)	< 20	< 20 ÷ 60	< 20	< 20 ÷ 80	< 20	< 20 ÷ 81	< 20	< 20 ÷ 81
Ntot (μ g l ⁻¹)	445 \pm 50	330 ÷ 640	419 \pm 46	350 ÷ 709	441 \pm 61	358 ÷ 619	435 \pm 53	330 ÷ 709
P-PO ₄ (μ g l ⁻¹)	1 \pm 0,9	< 1 ÷ 5	1 \pm 0,9	< 1 ÷ 3	1 \pm 0,6	< 1 ÷ 3	1 \pm 0,8	< 1 ÷ 5
Ptot (μ g l ⁻¹)	4 \pm 2,7	< 2 ÷ 11	3 \pm 1,1	< 2 ÷ 7	3 \pm 1,0	< 2 ÷ 7	4 \pm 2,0	< 2 ÷ 11
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	0,67 \pm 0,20	0,34 ÷ 1,42	0,35 \pm 0,21	0,05 ÷ 0,92	0,55 \pm 0,23	0,166 ÷ 1,18	0,53 \pm 0,25	0,05 ÷ 1,42
SO ₄ (mg l ⁻¹)	1,72 \pm 0,15	1,50 ÷ 2,11	1,68 \pm 0,22	1,36 ÷ 2,49	1,60 \pm 0,39	1,11 ÷ 4,51	1,68 \pm 0,26	1,11 ÷ 4,51
Cl (mg l ⁻¹)	0,33 \pm 0,10	0,16 ÷ 0,75	0,35 \pm 0,10	0,15 ÷ 0,83	0,25 \pm 0,09	0,06 ÷ 0,51	0,31 \pm 0,22	0,06 ÷ 0,83
Ca (mg l ⁻¹)	28,8 \pm 1,5	25,5 ÷ 31,9	28,7 \pm 2,4	24,7 ÷ 34,3	28,6 \pm 1,9	25,5 ÷ 32,6	28,8 \pm 1,9	24,7 ÷ 34,3
Mg (mg l ⁻¹)	8,31 \pm 0,45	6,98 ÷ 9,30	8,08 \pm 0,78	6,74 ÷ 9,66	8,22 \pm 0,57	7,08 ÷ 9,31	8,22 \pm 0,6	6,74 ÷ 9,66
Na (mg l ⁻¹)	0,16 \pm 0,04	0,07 ÷ 0,35	0,19 \pm 0,05	0,13 ÷ 0,38	0,12 \pm 0,08	< 0,05 ÷ 0,25	0,16 \pm 0,06	< 0,05 ÷ 0,38
K (mg l ⁻¹)	0,14 \pm 0,03	0,08 ÷ 0,24	0,18 \pm 0,06	0,08 ÷ 0,37	0,21 \pm 0,07	< 0,05 ÷ 0,35	0,17 \pm 0,06	< 0,05 ÷ 0,37

Zona di fondo (35÷38 m)	2002		2003		2004		2002 ÷ 2004	
Parametro	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max
pH a 20°C	7,66 \pm 0,13	7,30 ÷ 7,87	7,66 \pm 0,10	7,52 ÷ 7,95	7,57 \pm 0,09	7,36 ÷ 7,69	7,64 \pm 0,12	7,30 ÷ 7,95
Conduttività (μ S cm ⁻¹)	217 \pm 8	203 ÷ 237	213 \pm 9	185 ÷ 235	217 \pm 7	206 ÷ 240	216 \pm 8	185 ÷ 240
Alcalin. (CaCO ₃ mg l ⁻¹)	127 \pm 5	118 ÷ 137	123 \pm 5	115 ÷ 140	125 \pm 3	120 ÷ 131	125 \pm 5	115 ÷ 140
N-NO ₃ (μ g l ⁻¹)	242 \pm 115	< 30 ÷ 510	352 \pm 110	< 30 ÷ 450	299 \pm 83	49 ÷ 399	293 \pm 114	< 30 ÷ 510
N-NH ₃ (μ g l ⁻¹)	253 \pm 240	< 20 ÷ 984	108 \pm 148	< 20 ÷ 607	146 \pm 84	< 20 ÷ 330	177 \pm 188	< 20 ÷ 984
Ntot (μ g l ⁻¹)	595 \pm 280	410 ÷ 1260	562 \pm 92	460 ÷ 800	499 \pm 57	335 ÷ 606	555 \pm 181	335 ÷ 1260
P-PO ₄ (μ g l ⁻¹)	1 \pm 0,8	< 1 ÷ 3	2 \pm 1,4	< 1 ÷ 5	2 \pm 1,2	< 1 ÷ 5	1 \pm 1,2	< 1 ÷ 5
Ptot (μ g l ⁻¹)	7 \pm 4,4	< 2 ÷ 19	9 \pm 4,6	3,5 ÷ 20	8 \pm 3,6	3,6 ÷ 18	8 \pm 4,2	< 2 ÷ 20
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	3,20 \pm 1,28	1,65 ÷ 6,97	3,28 \pm 1,14	1,33 ÷ 6,47	3,51 \pm 0,90	1,31 ÷ 5,90	3,32 \pm 1,13	1,31 ÷ 6,97
SO ₄ (mg l ⁻¹)	2,02 \pm 0,41	0,60 ÷ 2,37	2,03 \pm 0,13	1,75 ÷ 2,28	2,13 \pm 0,35	1,49 ÷ 3,25	2,05 \pm 0,33	0,60 ÷ 3,25
Cl (mg l ⁻¹)	0,34 \pm 0,08	0,22 ÷ 0,58	0,38 \pm 0,13	0,25 ÷ 0,91	0,35 \pm 0,11	0,20 ÷ 0,66	0,36 \pm 0,11	0,20 ÷ 0,91
Ca (mg l ⁻¹)	35,1 \pm 1,3	33,2 ÷ 38,5	35,8 \pm 1,8	32,5 ÷ 39,0	35,1 \pm 1,3	33,1 ÷ 37,8	35,3 \pm 1,5	32,5 ÷ 39,0
Mg (mg l ⁻¹)	9,56 \pm 0,29	8,94 ÷ 10,1	9,06 \pm 0,79	8,03 ÷ 10,2	9,51 \pm 0,31	8,97 ÷ 10,0	9,42 \pm 0,51	8,03 ÷ 10,2
Na (mg l ⁻¹)	0,19 \pm 0,04	0,13 ÷ 0,28	0,19 \pm 0,04	0,14 ÷ 0,29	0,15 \pm 0,07	0,05 ÷ 0,25	0,18 \pm 0,05	0,05 ÷ 0,29
K (mg l ⁻¹)	0,24 \pm 0,06	0,16 ÷ 0,38	0,25 \pm 0,06	0,15 ÷ 0,37	0,29 \pm 0,06	0,09 ÷ 0,37	0,26 \pm 0,06	0,09 ÷ 0,38

stabilità dei valori medi presentati. Una omogeneità di valori si osserva, inoltre, fra la zona fotica del bacino profondo e l'intero profilo verticale della Baia Rossa. Si differenziano invece le acque degli strati profondi del Bacino Principale, a conferma dei diversi processi idro-biochimici in cui esse sono coinvolte. Da notare la sostanziale omogeneità dei dati medi idrochimici fra i diversi livelli della Baia Rossa che, se non fosse per la netta stratificazione termica estiva vista sopra, farebbe ipotizzare un continuo mescolamento anche

in senso verticale delle sue acque, il che, come visto, nella stagione calda non avviene.

Un parametro tuttavia, la silice reattiva, fa eccezione alla sostanziale bassa variabilità interannuale dei dati medi. Essa è l'unica variabile idrochimica per la quale si osservano significative differenze nei valori medi sia fra i diversi anni (con l'eccezione della zona ipolimnica del Bacino Principale), sia fra le diverse zone e profondità del lago indagate. La silice presenta anche una marcata variabilità intraan-

Tab. 4 - Lago di Tovel. Caratteristiche idrochimiche della Baia Rossa. Valori medi \pm dev st.

Tab. 4 - Lake Tovel. Hydrochemical characteristics of Red Bay. Mean values \pm st dev.

Strato superf. (0 ÷ 1 m)	2002		2003		2004		2002 ÷ 2004	
Parametro	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max
pH a 20°C	8,15 \pm 0,07	8,00 ÷ 8,29	8,21 \pm 0,13	8,00 ÷ 8,37	8,08 \pm 0,20	7,73 ÷ 8,30	8,15 \pm 0,13	7,73 ÷ 8,37
Conducibilità (μ S cm ⁻¹)	174 \pm 6	159 ÷ 184	169 \pm 5	165 ÷ 180	172 \pm 10	163 ÷ 193	172 \pm 7	159 ÷ 193
Alcalin. (CaCO ₃ mg l ⁻¹)	100 \pm 4	92 ÷ 107	96 \pm 3	93 ÷ 104	99 \pm 7	88 ÷ 112	99 \pm 5	88 ÷ 112
N-NO ₃ (μ g l ⁻¹)	406 \pm 28	370 ÷ 470	373 \pm 54	309 ÷ 465	381 \pm 63	319 ÷ 506	389 \pm 48	309 ÷ 506
N-NH ₃ (μ g l ⁻¹)	< 20	< 20 ÷ 31	< 20	< 20 ÷ 64	23 \pm 18	< 20 ÷ 66	< 20	< 20 ÷ 66
Ntot (μ g l ⁻¹)	497 \pm 43	430 ÷ 560	458 \pm 69	369 ÷ 620	450 \pm 40	386 ÷ 513	470 \pm 56	369 ÷ 620
P-PO ₄ (μ g l ⁻¹)	1 \pm 0,9	< 1 ÷ 3	1 \pm 1,1	< 1 ÷ 3	1 \pm 0,7	< 1 ÷ 3	1 \pm 0,9	< 1 ÷ 3
Ptot (μ g l ⁻¹)	4 \pm 3,0	< 2 ÷ 11	4 \pm 0,9	2 ÷ 6	4 \pm 1,4	3 ÷ 8	4 \pm 2,1	< 2 ÷ 12
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	0,58 \pm 0,15	0,32 ÷ 0,81	0,34 \pm 0,23	0,08 ÷ 0,71	0,44 \pm 0,19	0,24 ÷ 0,77	0,47 \pm 0,21	0,08 ÷ 0,81
SO ₄ (mg l ⁻¹)	1,69 \pm 0,16	1,53 ÷ 2,19	1,60 \pm 0,14	1,38 ÷ 1,86	1,65 \pm 0,75	1,25 ÷ 3,60	1,65 \pm 0,38	1,25 ÷ 3,60
Cl (mg l ⁻¹)	0,28 \pm 0,09	0,18 ÷ 0,50	0,37 \pm 0,15	0,21 ÷ 0,75	0,20 \pm 0,09	0,12 ÷ 0,42	0,29 \pm 0,13	0,12 ÷ 0,75
Ca (mg l ⁻¹)	27,1 \pm 0,5	26,1 ÷ 27,7	28,3 \pm 0,6	27,2 ÷ 29,3	26,5 \pm 1,6	23,8 ÷ 28,2	27,3 \pm 1,3	23,8 ÷ 29,3
Mg (mg l ⁻¹)	7,80 \pm 0,34	7,20 ÷ 8,28	8,34 \pm 0,45	7,44 ÷ 9,18	7,66 \pm 0,93	6,75 ÷ 8,96	7,93 \pm 0,69	6,75 ÷ 9,18
Na (mg l ⁻¹)	0,16 \pm 0,02	0,14 ÷ 0,21	0,16 \pm 0,02	0,13 ÷ 0,20	0,16 \pm 0,04	0,12 ÷ 0,27	0,16 \pm 0,03	0,12 ÷ 0,27
K (mg l ⁻¹)	0,14 \pm 0,03	0,10 ÷ 0,20	0,14 \pm 0,03	0,11 ÷ 0,20	0,16 \pm 0,05	0,09 ÷ 0,28	0,15 \pm 0,04	0,09 ÷ 0,28

0,5 m dal fondo	2002		2003		2004		2002 ÷ 2004	
Parametro	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max	media	min ÷ max
pH a 20°C	8,07 \pm 0,07	7,95 ÷ 8,19	8,14 \pm 0,09	7,96 ÷ 8,28	8,06 \pm 0,14	7,85 ÷ 8,36	8,08 \pm 0,10	7,85 ÷ 8,36
Conducibilità (μ S cm ⁻¹)	173 \pm 8	161 ÷ 18,5	165 \pm 4	160 ÷ 171	165 \pm 13	151 ÷ 195	169 \pm 10	151 ÷ 195
Alcalin. (CaCO ₃ mg l ⁻¹)	100 \pm 5	92 ÷ 107	94 \pm 2	91 ÷ 98	96 \pm 8	87 ÷ 113	97 \pm 6	87 ÷ 113
N-NO ₃ (μ g l ⁻¹)	425 \pm 50	350 ÷ 550	384 \pm 42	330 ÷ 477	404 \pm 47	351 ÷ 525	406 \pm 49	330 ÷ 550
N-NH ₃ (μ g l ⁻¹)	< 20	< 20 ÷ 20	< 20	< 20 ÷ 41	< 20	< 20 ÷ 34	< 20	< 20 ÷ 41
Ntot (μ g l ⁻¹)	468 \pm 39	430 ÷ 570	452 \pm 72	390 ÷ 627	432 \pm 70	357 ÷ 618	449 \pm 62	357 ÷ 627
P-PO ₄ (μ g l ⁻¹)	1 \pm 0,7	< 1 ÷ 3	1 \pm 0,9	< 1 ÷ 3	2 \pm 1,2	< 1 ÷ 5	1 \pm 0,9	< 1 ÷ 5
Ptot (μ g l ⁻¹)	4 \pm 2,5	< 2 ÷ 9	6 \pm 4,0	2 ÷ 15	6 \pm 3,8	3 ÷ 16	5 \pm 3,6	< 2 ÷ 16
SiO ₂ (mg l ⁻¹)	0,68 \pm 0,09	0,47 ÷ 0,83	0,53 \pm 0,15	0,21 ÷ 0,70	0,61 \pm 0,15	0,35 ÷ 0,85	0,61 \pm 0,14	0,21 ÷ 0,85
SO ₄ (mg l ⁻¹)	1,69 \pm 0,18	1,54 ÷ 2,26	1,58 \pm 0,10	1,44 ÷ 1,72	1,45 \pm 0,21	0,99 ÷ 1,66	1,58 \pm 0,20	0,99 ÷ 2,26
Cl (mg l ⁻¹)	0,27 \pm 0,07	0,18 ÷ 0,42	0,33 \pm 0,08	0,21 ÷ 0,53	0,23 \pm 0,10	0,14 ÷ 0,49	0,27 \pm 0,08	0,14 ÷ 0,49
Ca (mg l ⁻¹)	27,3 \pm 1,3	25,8 ÷ 29,2	25,8 \pm 1,0	24,7 ÷ 27,5	25,9 \pm 2,7	22,6 ÷ 32,0	26,4 \pm 1,9	22,6 ÷ 32,0
Mg (mg l ⁻¹)	8,32 \pm 0,48	7,39 ÷ 9,26	8,07 \pm 0,94	7,00 ÷ 9,35	7,99 \pm 0,59	7,06 ÷ 9,20	8,15 \pm 0,66	7,00 ÷ 9,35
Na (mg l ⁻¹)	0,17 \pm 0,03	0,13 ÷ 0,25	0,19 \pm 0,04	0,14 ÷ 0,25	0,10 \pm 0,08	< 0,05 ÷ 0,21	0,15 \pm 0,06	< 0,05 ÷ 0,25
K (mg l ⁻¹)	0,13 \pm 0,02	0,11 ÷ 0,17	0,19 \pm 0,04	0,11 ÷ 0,24	0,21 \pm 0,07	< 0,05 ÷ 0,28	0,17 \pm 0,06	< 0,05 ÷ 0,28

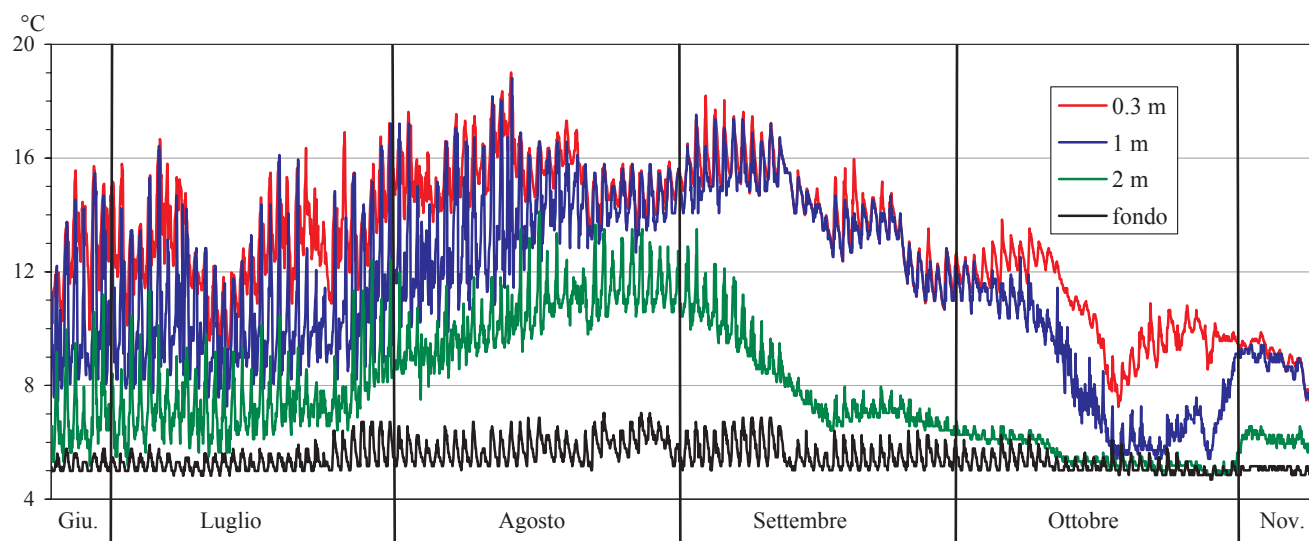


Fig. 18 - Baia Rossa: fluttuazioni giornaliere della temperature a differenti profondità, estate-autunno 2004.

Fig. 18 - Red Bay: daily temperature fluctuations at different depth, summer-autumn 2004.

nuale nel corso delle stagioni, bene evidenziata dalla carta delle isoplete della concentrazione (Fig. 21), variabilità che appare invece meno rilevante ed interessante, quando non assente, per le altre variabili, i cui valori non sono riportati. La variabilità della silice va decisamente messa in relazione al ruolo di nutriente essenziale che essa riveste per le diatomee, gruppo che domina la comunità fitoplanctonica del lago (Corradini *et al.* 2001, Tolotti *et al.* 2006).

Gli altri due principali nutrienti per lo sviluppo algale, il fosforo-ortofosfato e l'azoto nitrico, non presentano a Tovel grandi variazioni stagionali di concentrazione, il primo sempre a valori minimi nel suo ruolo di elemento limitante, il secondo sempre in condizioni di relativa abbondanza rispetto alle quantità assimilate dalla biomassa. Solamente la si-

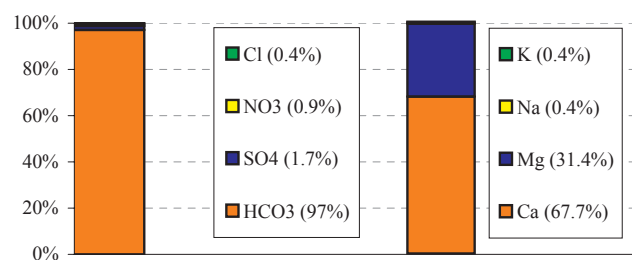


Fig. 19 - Idrochimica di base del Lago di Tovel. Distribuzione % degli ioni principali (eq l⁻¹). Concentrazione totale di riferimento (anioni + cationi): 4,50 meq l⁻¹.

Fig. 19 - Basic hydrochemistry of Lake Tovel. Water % ionic distribution (eq l⁻¹). Reference total concentration (anions + cations): 4.50 meq l⁻¹.

lice reattiva, probabilmente per la sua buona ma non elevata concentrazione media nelle acque immissarie (0,8 µg l⁻¹), riesce a fornire interessanti indicazioni sulla dinamica di un nutriente nel suo equilibrio tra consumi ed apporti. Per essa si osservano marcati ed estesi cali di concentrazione nella tarda estate 2004 e soprattutto nell'estate 2003, quando negli strati superficiali il contenuto si abbassa a valori limitanti per le diatomee (0,1 µg l⁻¹) (Wetzel 2001). Tali periodi corrispondono a piovosità minime, con riduzione degli afflussi idrici al lago e minori apporti in valore assoluto del nutriente stesso, considerata la sua concentrazione sostanzialmente costante nelle acque immissarie (Borsato *et al.* 2006). Si ipotizza pertanto che il calo di concentrazione estiva della silice che si osserva in certe annate non sia solamente o necessariamente dovuto a maggiori assunzioni da parte della biomassa nei corrispondenti periodi, quanto piuttosto da imputare anche al mancato ricambio nel lago del nutriente. È nella Baia Rossa che si osservano le sue riduzioni più accentuate nelle estati siccitose, soprattutto in prossimità della superficie ma anche nello strato di fondo caratterizzato da acque fredde, zona di afflusso diretto delle acque afferenti al lago e sede pure essa di attività fotosintetica. È questa parte del lago che si rivela più sensibile al cambiamento idrologico che agisce sulle acque che lo alimentano.

Appare d'altronde ragionevole che sia proprio la Baia Rossa, per le sue ridotte dimensioni e per l'essere recettrice di gran parte delle acque immissarie, a riflettere per prima e con maggiore intensità, se non da sola, eventuali cambiamenti ambientali, naturali o antropici, che dovessero interessare il bacino sotteso.

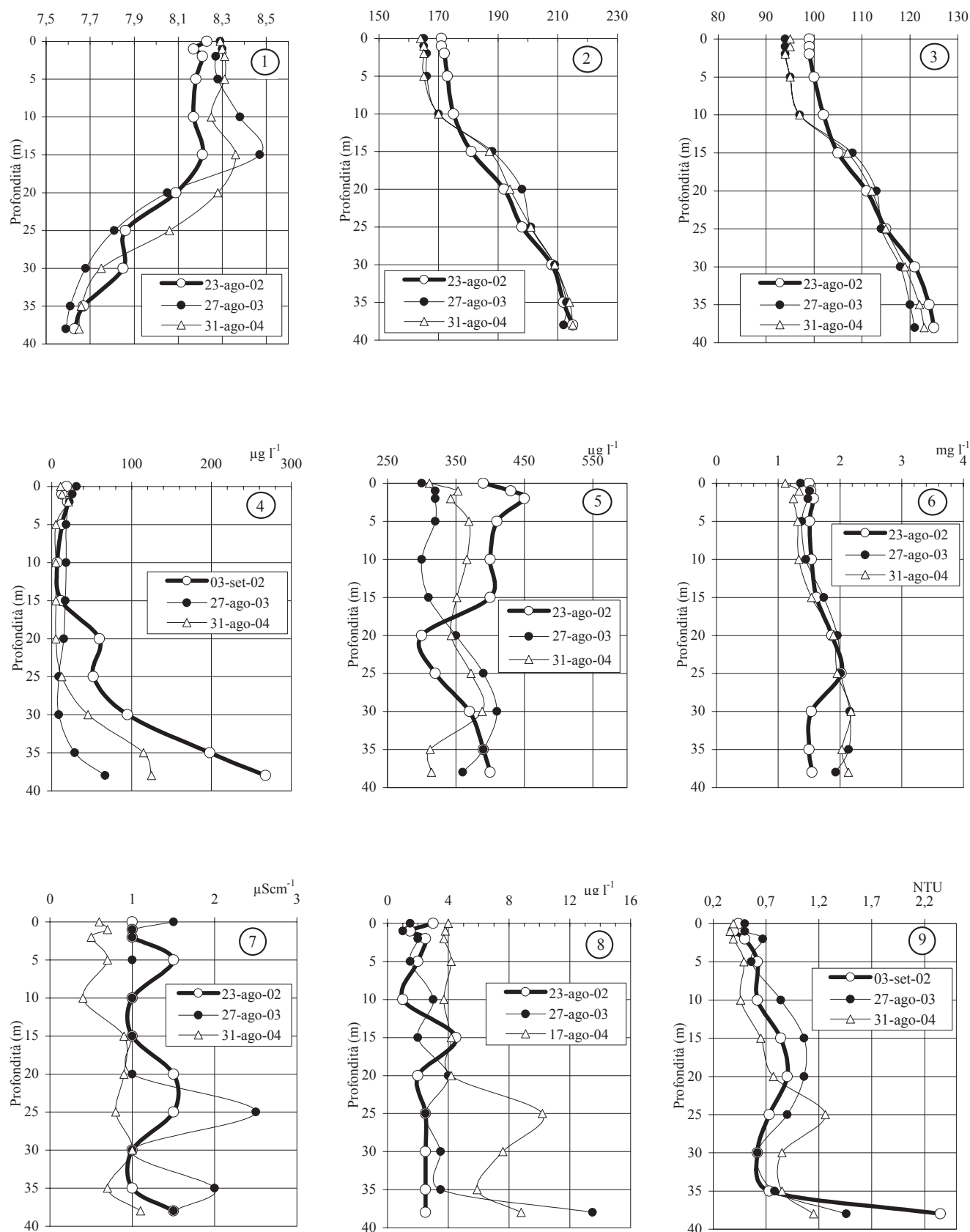


Fig. 20 - Profili verticali di giornate d'agosto nei tre anni di studio di alcune variabili idrochimiche. 1 = pH; 2 = conducibilità elettrica specifica; 3 = alcalinità (CaCO₃); 4 = N-NH₄; 5 = N-NO₃; 6 = ione solfato; 7 = P-PO₄; 8 = P totale; 9 = torbidità.
 Fig. 20 - Vertical profiles detected in August days of some hydrochemical variables in the three years of study. 1 = pH; 2 = conductivity; 3 = alkalinity (CaCO₃); 4 = NH₄-N; 5 = NO₃-N; 6 = SO₄²⁻ ion; 7 = PO₄-P; 8 = total P; 9 = turbidity.

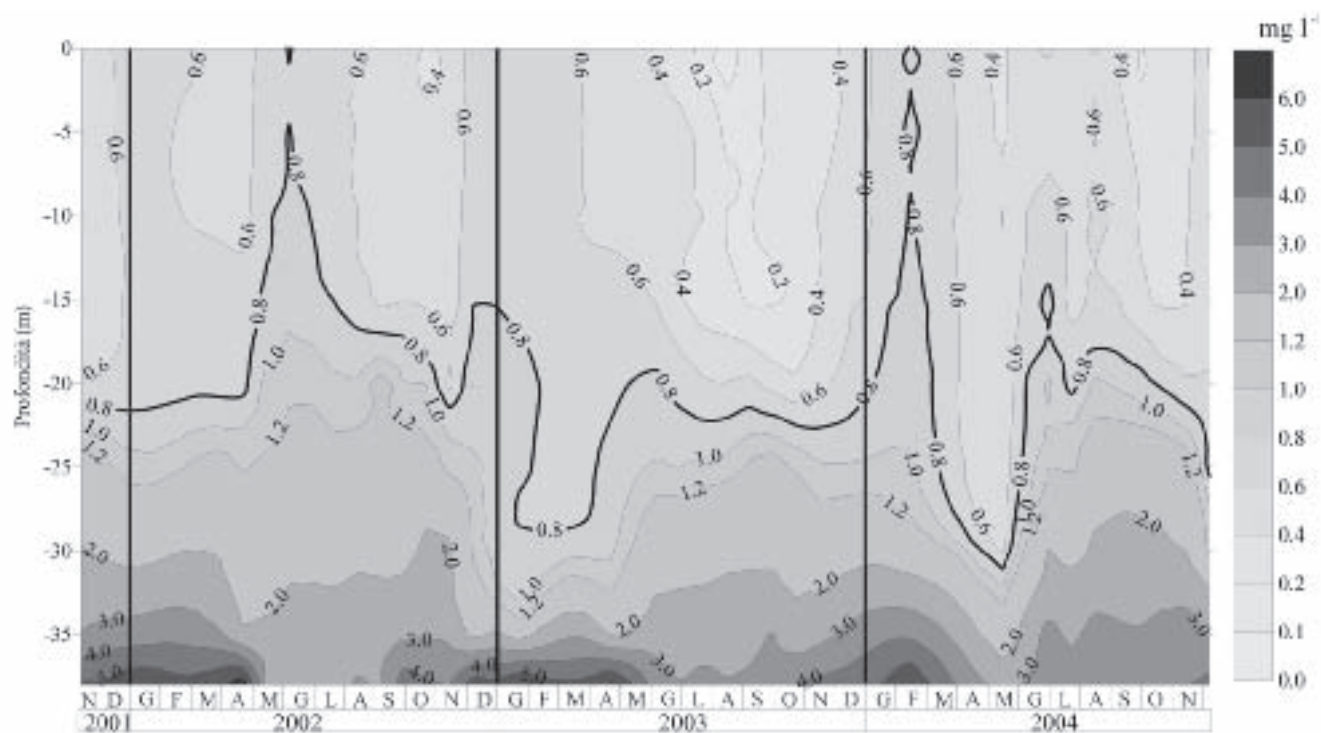


Fig. 21 - Lago di Tovel. Isoplete della silice reattiva (mg l^{-1}) nel bacino principale. Il valore della linea in grassetto ($0,8 \text{ mg l}^{-1}$) corrisponde a quello medio delle acque immissarie.

Fig. 21 - Lake Tovel. Isopleths of reactive silica (mg l^{-1}) in the main basin. The bold line value ($0,8 \text{ mg l}^{-1}$) corresponds with the mean one of inlet waters.

Un sommario confronto fra idrochimica del lago e quella dei suoi immissari, quest'ultima sintetizzata con i valori medi in tabella 5 e in parte approfondita da Borsato *et al.* (2006), evidenzia differenze coerenti con i processi chimici e biologici cui sono soggette le acque lacustri, differenze peraltro non elevate, in sintonia con l'oligotrofia del lago. È sempre nelle concentrazioni medie della silice reattiva che si osservano le maggiori differenze percentuali, seguite dai valori dell'azoto nitrico, dell'alcalinità, del calcio e conseguentemente della conducibilità. Il basso contenuto di fosforo nelle acque che alimentano il lago, fattore decisamente limitante della sua biocenosi, è caratteristico di territori a prevalente copertura boschiva o di alta montagna a bassissimo livello di antropizzazione (Omernik 1977, Cantonati *et al.* 2005).

Per quanto riguarda il confronto con le caratteristiche chimiche del passato non si può che riconfermare quanto già riportato e discusso da Corradini *et al.* (2001). L'assenza pressoché totale di dati idrochimici relativi al periodo dell'arrossamento, in particolar modo per i nutrienti algali, impedisce qualsiasi considerazione comparativa. Anche per quanto riguarda gli anni subito successivi alla scomparsa del fenomeno per i quali sono disponibili i primi dati, il confronto non può che essere indicativo, per l'occasionalità dei

Tab. 5 - Caratteristiche idrochimiche degli immissari del Lago di Tovel. Valori medi \pm dev st.

Tab. 5 - Hydrochemical characteristics of Lake Tovel's inlets. Mean values \pm st dev.

Parametro	2002 ÷ 2003	
	media	min ÷ max
pH a 20°C	$8,08 \pm 0,19$	$7,33 \div 8,71$
Conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	187 ± 23	$123 \div 239$
Alcalin. ($\text{CaCO}_3 \text{ mg l}^{-1}$)	107 ± 15	$70 \div 151$
N- NO_3 ($\mu\text{g l}^{-1}$)	446 ± 104	$190 \div 820$
N- NH_3 ($\mu\text{g l}^{-1}$)	< 20	$< 20 \div 164$
Ntot ($\mu\text{g l}^{-1}$)	452 ± 181	$240 \div 870$
P- PO_4 ($\mu\text{g l}^{-1}$)	$3 \pm 2,5$	$< 1 \div 21$
Ptot ($\mu\text{g l}^{-1}$)	5 ± 4	$< 2 \div 24$
SiO_2 (mg l^{-1})	$0,81 \pm 0,14$	$0,55 \div 1,23$
SO_4 (mg l^{-1})	$2,03 \pm 0,67$	$1,14 \div 6,42$
Cl (mg l^{-1})	$0,35 \pm 0,19$	$0,01 \div 1,00$
Ca (mg l^{-1})	$30,7 \pm 4,11$	$19,0 \div 40,7$
Mg (mg l^{-1})	$8,32 \pm 0,87$	$5,78 \div 10,3$
Na (mg l^{-1})	$0,18 \pm 0,04$	$0,10 \div 0,32$
K (mg l^{-1})	$0,15 \pm 0,05$	$0,08 \div 0,31$

dati, per la mancanza di riferimenti sui metodi analitici o sulle modalità di campionamento e anche, talvolta, per la relativa inaffidabilità delle tecniche analitiche. Completamente assenti sono comunque dati riguardanti la Baia Rossa.

5. CONCLUSIONI

I tre anni di osservazioni e di studio hanno confermato e rafforzato per il Lago di Tovel quella visione di lago oligotrofico e trasparente, espressione anche in senso chimico e fisico di un territorio alpino dolomitico di media-alta montagna in buon equilibrio con un ambiente a bassa antropizzazione. La grossa mole di dati raccolti ha indubbiamente fornito un prezioso e dettagliato contributo alla conoscenza della limnologia lacustre, consentendo di evidenziarne, pur nell'ambito di una sostanziale stabilità di fondo, una marcata variabilità interannuale di alcune caratteristiche, quali soprattutto quelle termiche, che sono risultate strettamente dipendenti dall'andamento meteorologico delle singole annate.

La mancanza di un epilimnio estivo differenzia il lago dal tipico assetto termico dei laghi temperati ed evidenzia caratteristiche idrologiche peculiari. È stato rivisto quell'inquadramento termico del lago che in passato aveva portato a classificarlo come meromittico.

Di potenziale rilevanza per la comprensione del fenomeno dell'arrossamento e della sua scomparsa possono essere le caratteristiche termiche e idrologiche della Baia Rossa. Nei periodi di stratificazione termica, che in pochi metri arriva a presentare salti fino a 15 °C, il sottile ma ben definito strato di acque fredde sul fondo, rinnovato in continuo dalle sorgenti sublacuali della baia, sembra scorrere più o meno lentamente alimentando il Bacino Principale, scivolando sotto il metalimnio a pochi metri di profondità e ben irradiato dalla luce solare. Tale assetto, le dimensioni alquanto ridotte della baia e il suo essere recettiva di gran parte delle acque immissarie del lago, rendono la Baia Rossa particolarmente sensibile a qualsiasi cambiamento ambientale del territorio sotteso che abbia effetti sulle acque superficiali.

La comparazione con il passato, soprattutto con il periodo degli arrossamenti, per la scarsità di dati di confronto fornisce solo poche indicazioni, che per il Bacino Principale non sembrano evidenziare cambiamenti o tendenze di cambiamento. Nulla però si può invece dire o escludere per la Baia Rossa.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Federica Fiamingo, Damaso Calliari, Vigilio Pinamonti e Gino Leonardi per la

collaborazione nell'attività di rilievo in campo e di campionamento, Claudio Sansoni e Milva Tarter per lo svolgimento delle analisi chimiche di laboratorio e Simone Degasperì per entrambi i ruoli.

BIBLIOGRAFIA

- A.P.H.A., 1998 - *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed., APHA, AWWA, WEF. Washington D.C..
- Baldi E., 1938 - Relazione preliminare sulle ricerche al Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat.*, 19 (3): 245-339.
- Baldi E., 1941 - Ricerche idrobiologiche sul Lago di Tovel. *Mem. Museo St. Nat. Venezia Trid.*, 6: 1-297.
- Borghì B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G., 2006 - Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel - Progetto SALTO (2001-2004). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 1-4.
- Borsato A. & Ferretti P., 2006 - Monitoraggio idrometrico del Lago di Tovel e del suo bacino. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 205-223.
- Borsato A., Corradini F. & Ferretti P., 2006 - Idrochimica e monitoraggio idrogeologico degli afflussi e deflussi del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 241-246.
- Cantonati M., Corradini F. & Lazzara M., 2005 - *I laghi di alta montagna del bacino del Fiume Avisio (Trentino orientale). Caratteristiche chimico e fisiche*. Museo Tridentino di Scienze Naturali Trento: 158 pp. (Monografie del Museo Tridentino di Scienze Naturali, 3).
- Corradini F., Flaim G. & Pinamonti V., 2001 - Five years of limnological observations on Lake Tovel (1995-1999): some considerations and comparisons with past data. *Atti Ass. It. Ocean. Limn.*, 14: 209-218.
- Eccel E., 2006 - Climatologia del Lago di Tovel nel periodo di indagine del Progetto SALTO (2001-2004) e considerazioni sulle tendenze climatiche. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 259-263.
- Ferretti P. & Borsato A., 2006a - Geologia e geomorfologia della Valle e del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 173-187.
- Ferretti P. & Borsato A., 2006b - Studio idrologico della Valle e del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 189-203.
- Flaim G., Corradini F., Borsato A., Ferretti P., Obertegger U. & Borghi B., (2006) - The importance of hydraulic conditions in determining ecological equilibrium in an alpine lake: Lake Tovel (Trentino-Italy). *Verh. Int. Ver. Limnol.*, in press.
- IASMA, 2000 - *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino. Rapporto 1998*. Istituto Agrario di S. Michele a/Adige: 94 pp.
- III-CNR, 1997 - Metodologie analitiche e controlli di qualità nel laboratorio chimico dell'Istituto Italiano di Idrobiologia. *Documenta Ist. Ital. Idrobiol.*, 60: 160 pp.

- IRSA-CNR, 1994 - Metodi analitici per le acque. Istituto di Ricerca sulle Acque, Roma. Quaderni, 100: 342 pp.
- ISMA, 1996 - *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino. Rapporto 1995*. Istituto Agrario di S. Michele a/Adige, 112 pp.
- ISMA, 1997 - *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino. Rapporto 1996*. Istituto Agrario di S. Michele a/Adige, 176 pp.
- ISMA, 1998 - *Caratteristiche limnologiche dei laghi del Trentino. Rapporto 1997*. Istituto Agrario di S. Michele a/Adige, 144 pp.
- Kirk J.T.O., 1994 - *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, New York, USA, 525 pp.
- Laurion I., Ventura M., Catalan J, Psenner R. & Sommaruga R., 2000 - Attenuation of ultraviolet radiation in mountain lakes. Factors controlling the among- and within-lake variability. *Limnol. Oceanogr.*, 45 (6): 1274-1288.
- Omernik J.M., 1977 - EPA 600/3-77-105. In *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. 1993. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 548 pp.
- Paganelli A., Miola A. & Cordella P., 1988 - Il Lago di Tovel (Trentino) e la circolazione delle sue acque. *Riv. Idrobiol.*, 27: 363-376.
- Paganelli A., 1992 - Lake Tovel (Trentino): limnological and hydrobiological aspects. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 50: 225-257.
- Tolotti M., Calliari D. & Corradini F., 2006 - Variabilità interannuale del fitoplancton del Lago di Tovel (Trentino, Italy). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: XX_XX.
- Tomasi G., 2004 - *I trecento laghi del Trentino*. Temi Editrice, Trento, 536 pp.
- Verdouw H., Van Echteld C. & Dekkers E., 1978 - Ammonia determination based on indophenol formation with sodium salicylate. *Wat. Res.*, 12: 399-402.
- Wetzel R.G., 2001 - *Limnology*. Academic Press, San Diego, California, 1006 pp.