

RICERCHE LIMNOLOGICHE SUI LAGHI DI REVINE

Attività svolte nel 2002 sui laghi di Santa Maria e Lago

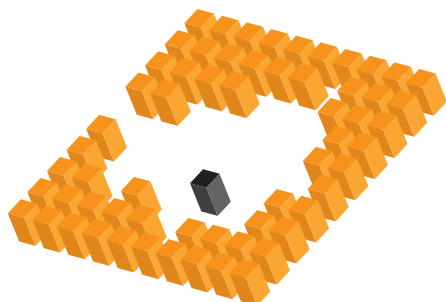


Gli Autori

Paolo Cordella
Nico Salmaso
Marco Carrer
Sandro Meneghini
Gemma Caterina

La Provincia

Carlo Rapicavoli
Paola Camuccio
Massimo Danieli
Ornella De Ros
Stefano Piol



Il Presidente





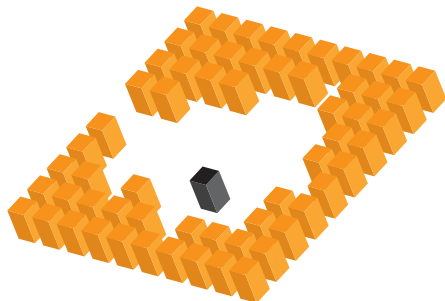
I due laghi di Revine (di Lago e di Santa Maria) costituiscono uno dei più interessanti sistemi naturali della provincia di Treviso. Essi sono stati negli anni assai studiati da vari punti di vista: ecologico, idraulico, geologico. Le informazioni presenti in letteratura, tuttavia, risultavano essere scarse, frammentarie e soprattutto riferite ad osservazioni discontinue nel tempo.

L'importanza strategica dei due laghi è fortissima per lo sviluppo socio-economico del nostro territorio.

La Provincia ha inteso, pertanto, approfondire le conoscenze sull'intero sistema dei due laghi, al fine di accertarne la qualità, gli elementi di degrado e le possibilità di recupero e valorizzazione ambientale, anche al fine di renderli maggiormente fruibili dalla popolazione, residente e non.

La ricerca è stata svolta in stretta collaborazione con il Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova e con l'Associazione Sist.Eco, e con questa pubblicazione vengono presentati i risultati di un intero anno di monitoraggio e lavoro, con l'auspicio che possano essere d'aiuto a quanti vogliono conoscere e gestire al meglio il nostro territorio.

il Presidente della Provincia di Treviso
Luca Zaia



L'Assessore





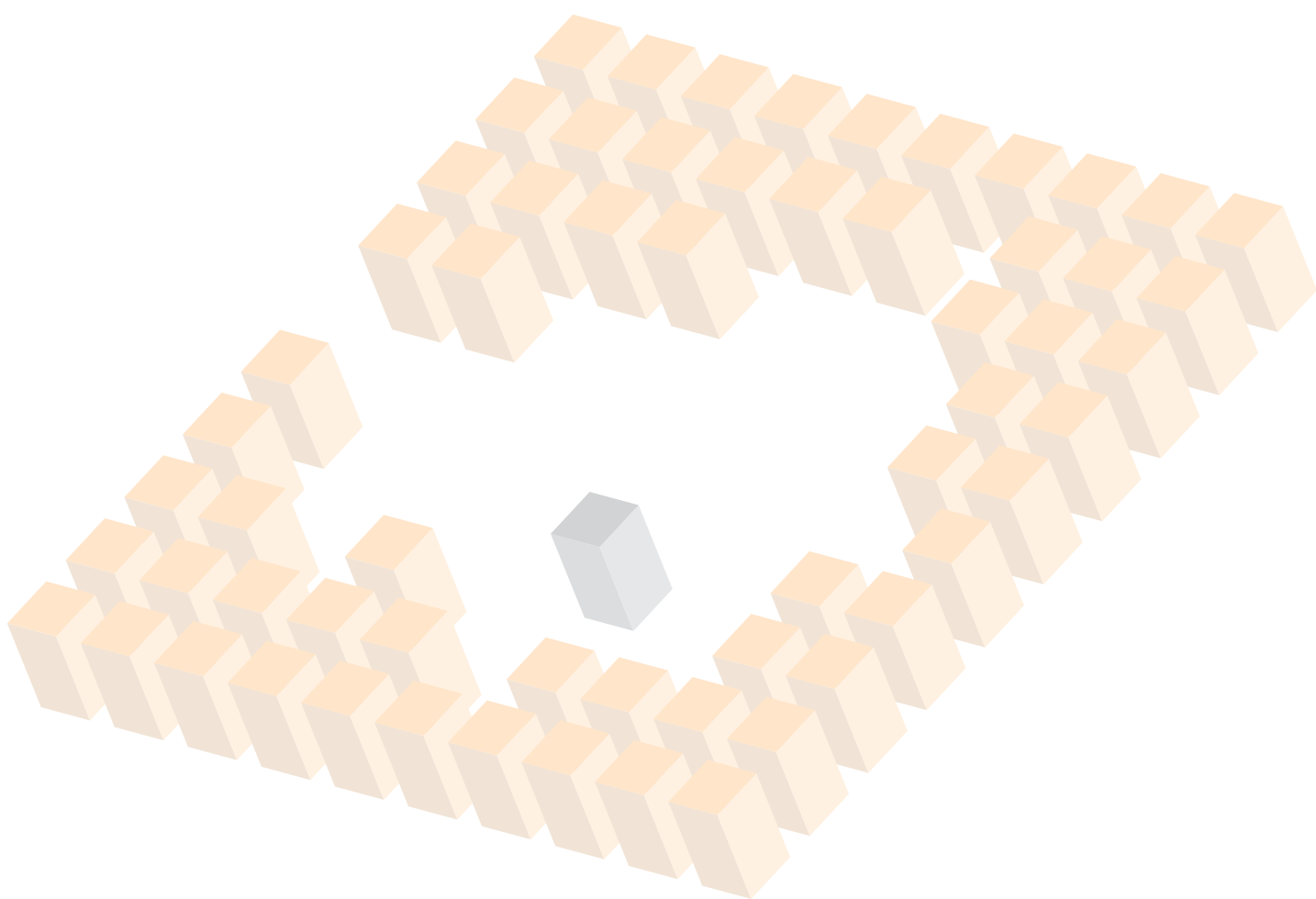
La valenza ecologica dei due laghi di Revine è evidente. Si tratta di ambienti naturalmente eutrofici nei quali lo stato di compromissione di origine antropica è elevato.

Pertanto la Provincia ha ideato e realizzato, in collaborazione con il Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova e l'Associazione Sist-Eco, la ricerca sui Laghi di Revine.

Il lavoro capillare che è stato eseguito, con campionamenti frequenti dell'acqua lacustre a diverse profondità è solo l'inizio di un programma di ricerca volto ad approfondire anche gli aspetti idraulici, idrogeologici, vegetazionali, di chimica dei sedimenti. E' infatti solo grazie ad un'analisi completa ed interdisciplinare che si possono gettare le basi per una valutazione quanto più possibile razionale e corretta delle strategie da adottare per il nostro territorio.

Ringrazio quindi gli Autori per il lavoro realizzato, che segna una tappa fondamentale per una più approfondita e scientifica conoscenza dei due laghi.

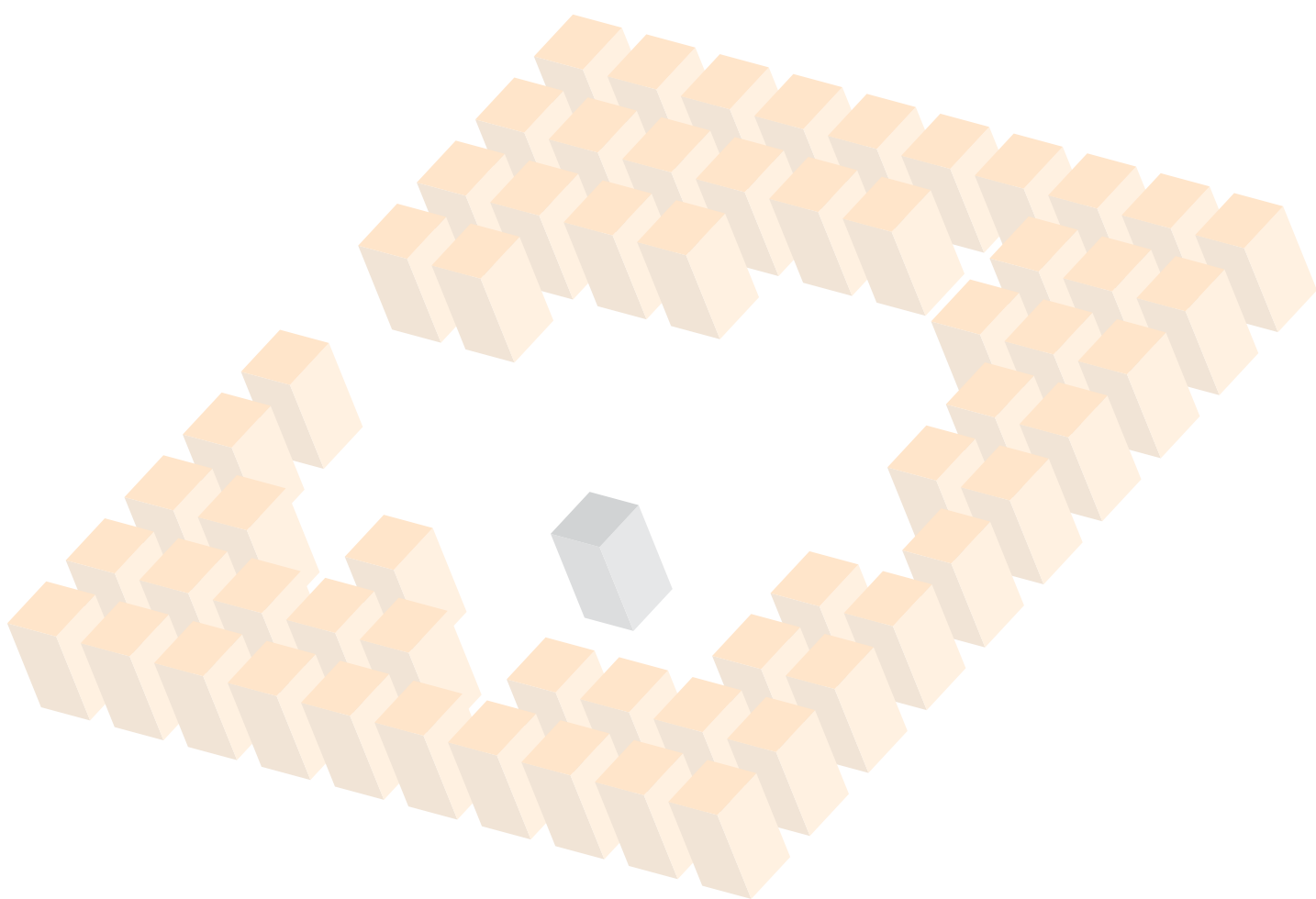
I'Assessore alle Politiche Ambientali
Leonardo Muraro



INDICE

1. Introduzione	pag. 88
<i>di P. Cordella</i>	
1.1. Inquadramento geografico	pag. 88
1.2. Lineamenti geomorfologici	pag. 88
1.3. Assetto idraulico e idrogeologico	pag. 88
1.4. Morfometria dei laghi	pag. 88
2. Ricerche limnologiche sui laghi di Revine: risultati ottenuti nel corso delle indagini svolte nel 2002	pag. 88
<i>di N. Salmaso, M. Carrer, G. Caterina, S. Meneghini e P. Cordella</i>	
2.1. Caratteristiche della ricerca	pag. 88
2.1.1. Punti campionati e calendario delle uscite	
2.1.2. Misure sul campo e modalità di campionamento	
2.1.3. Analisi di laboratorio	
2.1.4. Modalità di presentazione dei risultati	
2.2. Variazioni relative del livello dei laghi	pag. 88
2.3. Caratteristiche fisiche e chimiche generali delle acque superficiali e profonde	pag. 88
2.3.1. Temperatura	
2.3.2. pH	
2.3.3. Conducibilità	
2.3.4. Ossigeno disciolto	
2.4. Composizione chimica delle acque	pag. 88
2.4.1. Composti dell'azoto	
2.4.2. Fosforo	
2.4.3. Silice	
2.4.4. Ca, Mg, N, K	
2.4.5. Solfati e solfuri	
2.5. Fitoplancton, particolato sospeso e trasparenza delle acque	pag. 88
2.5.1. Clorofilla a	
2.5.2. Evoluzione della comunità fitoplanctonica	
2.5.3. Peso secco e torbidità	
2.5.4. Trasparenza delle acque	
2.6. Classificazione trofica	pag. 88
3. Conclusioni	pag. 88
<i>di P. Cordella e N. Salmaso</i>	
3.1. Lavoro svolto	pag. 88
3.2. Carenze conoscitive	pag. 88
3.3. Compiti da eseguire	pag. 88
3.4. Linee generali di gestione	pag. 88
4. Bibliografia	pag. 88
5. Appendice	pag. 88
<i>di G. Caterina</i>	
Raccolta commentata delle indagini ecologiche e ambientali pregresse condotte sui laghi di Revine (con CD allegato).	





1. Introduzione

I laghi sono ecosistemi che svolgono un insieme di funzioni complesse e importanti per la qualità dell'ambiente. Alcune caratteristiche di un lago vengono immediatamente percepite da chiunque, senza bisogno di studio o spiegazioni: il fatto che esso caratterizza il paesaggio, che le sue acque possono essere utilizzate a vari scopi, che attorno e su di esso si possono svolgere attività sportive e legate al tempo libero. Lo studio scientifico del lago va oltre queste osservazioni immediate; ne valuta aspetti morfologici ed idraulici, chimico fisici e biologici, e tende ad ampliare l'osservazione, considerandone anche l'interazione col bacino tributario.

L'ecosistema lago rappresenta per il territorio che lo comprende un'importante risorsa da utilizzare con attenzione. Una componente ambientale di questo tipo richiede una conoscenza articolata delle sue caratteristiche; i punti di vista geografici e geologici, idraulici, chimico-fisici e biologici vanno integrati in una visione complessiva. Considerando l'aspetto idraulico, il lago è un serbatoio che contiene una massa liquida in collegamento con il reticolo idrico superficiale, con le acque sotterranee, con l'atmosfera; con questi comparti ha continui scambi. E' nota l'influenza sul clima, dato che il corpo idrico agisce come volano termico in rapporto con l'ambiente circostante. Dal punto di vista dell'igiene ambientale, i processi biologici e chimico-fisici che vi si svolgono fanno sì che il lago sia un grande depuratore naturale, capace di influenzare la qualità delle acque del bacino idrografico che lo comprende.

Le indagini scientifiche sui laghi hanno come momento fondamentale le operazioni sul campo: l'esecuzione di misure e la raccolta di campioni. Tale lavoro condiziona il risultato complessivo dello studio; va quindi svolto sulla base di un impianto solido e con tecniche collaudate. In tale ambito assume particolare importanza operare a diverse profondità, perché un lago, quanto più è profondo, tanto più si struttura lungo un asse verticale evidenziando lungo di esso condizioni molto diverse. Nello studio vanno considerate le modificazioni che il lago subisce nell'arco dell'anno; esse sono legate ai ritmi climatici stagionali che condizionano le caratteristiche chimiche e biologiche delle acque. E' evidente come la comprensione della natura di un lago e dei meccanismi in esso attivi derivino da studi di natura multidisciplinare, attenti alla corretta metodologia di misura e campionamento, basati sull'analisi delle variabili fondamentali e volti a valutarne le modificazioni nel tempo.

Le considerazioni qui svolte sintetizzano le basi concettuali della limnologia – la scienza delle acque interne. Su queste basi ci siamo mossi per ideare e svolgere la ricerca sui Laghi di Revine che la Provincia di Treviso ha voluto e finanziato. Questo volume rende conto del primo studio limnologico complessivo, articolato su campionamenti mensili nell'arco di un anno solare, volto ad individuare le caratteristiche fondamentali dei bacini e a delineare i tratti generali del loro funzionamento. E' solo a partire da queste conoscenze che si possono individuare le linee di una corretta gestione e salvaguardia dei nostri bacini. L'aumento della cultura ambientale degli ultimi anni fa sì che buona parte degli amministratori sia consapevole della necessità della solida conoscenza ecologica di un ambiente prima di decidere se e come effettuare interventi di manutenzione e recupero. Facendo un parallelo in campo medico, è noto che le fasi di anamnesi e diagnosi devono precedere la messa in atto di una terapia o l'esecuzione di un'operazione chirurgica.

1.1. Inquadramento geografico

I Laghi di Revine sono compresi nei territori dei comuni di Revine Lago e Tarzo, siti nella parte NE della Provincia di Treviso. L'area di pertinenza è contenuta nell'elemento 084031 - Lago - della C.T.R. del Veneto, scala 1: 5000.

I laghi si trovano in un solco vallivo, denominato "Valmareno" o più usualmente "La Vallata", che deriva da una diramazione verso WSW, a monte di Serravalle, della Valle Lapisina; quest'ultima rappresenta il ramo minore, diretto a sud, della Valle del Piave. La Vallata è compresa tra Longhere e Follina, è molto pianeggiante e regolare (AA. VV., 1978).

La direzione della valle è ENE – WSW, con il fianco sinistro formato da una cresta regolare che raggiunge i 500-600 m di quota, mentre quello destro (dorsale M. Visentin-Cesen) raggiunge i 1200-1300 m. Il fondovalle si trova a quote di 224-235 m s.l.m., è occupato dai due laghi di Santa Maria (NE) e di Lago (NO) che hanno superficie posta a 223-224 m s.l.m (Foto 1). Emissario comune è "La Tajada" che dal L. di Lago versa nel F. Soligo (Comune di Revine Lago, 1996).



Foto 1. Il lago di Lago visto dal versante orientale della Valmareno.
Sullo sfondo il paese di Lago e parte della dorsale M. Visentin-Cesen.

1.2. Lineamenti geomorfologici

Strutturalmente la valle presenta una piega anticlinale asimmetrica nota col nome di flessura Bassano-Valdobbiadene (AA. VV., 1978). L'asimmetria della valle è dovuta alla diversità di litologia e assetto strutturale dei due fianchi. A destra si trovano strati calcarei di età cretacea con giacitura sub-orizzontale al culmine, che si immergono verso S-SE con pendenza di 30°-40° a franapoggio. Il fianco sinistro ha giacitura degli strati a reggipoggio con inclinazione di 50°-70°. Il versante destro è caratterizzato dalle forme carsiche e tipiche delle stratificazioni calcaree. Il versante sinistro è caratterizzato dall'alternanza di creste strutturali, impostate su terreni più resistenti (arenarie) e depressioni in strati più erodibili (marne). Sul fondovalle si trovano depositi morenici, più compatti a destra e poco cementati a sinistra (Provincia di Treviso, Assessorato alla Pianificazione Territoriale, 1995). Durante la glaciazione würmiana, compresa circa tra 90000 e 10000 anni fa, le valli del Piave erano ricoperte dalle lingue glaciali che erodevano le rocce affioranti, conferendo loro una forma tipi-

camente a U. Il ramo del ghiacciaio del Piave che occupava la valle del Soligo durante la glaciazione è stato agente erosivo e di trasporto del materiale detritico poi depositato durante il suo ritiro dando luogo agli accumuli morenici che contornano i nostri laghi.

1.3. Assetto idraulico e idrogeologico

Il bacino imbrifero dei laghi di Revine appartiene al F. Soligo, affluente del Piave; questo bacino confina a E con quello del T. Pavei-Sora, afferente al Meschio e quindi al Livenza. Lo spartiacque tra il T. Sora e il T. Soligo a WNW di Revine è assai incerto data la morfologia pianeggiante del fondovalle. Il bacino idrologico dell'alto Soligo è delimitato a nord dalla dorsale del Col Visentin, ad est dal citato spartiacque che passa presso l'abitato di Revine, a sud dalle colline di Tarzo. I collettori idrici del versante nord hanno ampia variabilità stagionale di immagazzinamento e trasporto con forti escursioni di portata tra la morbida e la magra. L'alimentazione è legata strettamente all'apporto meteorico più che a quello sorgivo (Comune di Revine Lago, marzo 1997). Le sorgenti nel versante N sono scarse, poste ad alte quote (950-1000 m) ed hanno la consistenza di stillicidi. Il versante S è più ricco sia di piccole sorgenti che di acqua. Tipiche sorgenti carsiche, intermittenti, sono quelle di Piovesan e Piaveson (AA. VV., 1978). Si tratta di due corti torrenti, attivi (ma con grandi portate) solo quando le relative sorgenti carsiche poste ai piedi del versante N versano notevoli quantità d'acqua. Il primo si immette nel Lago di Lago (Comune di Revine Lago, 1996). Le due sorgenti sono capaci di passare da 0 a 1000-2000 l s⁻¹ di portata in concomitanza di periodi piovosi di particolare intensità e durata, con un decremento rapido della portata dopo qualche giorno (Comune di Revine Lago, marzo 1997).

A fondovalle la rete carsica è sepolta dalla copertura detritica; in occasione di precipitazioni prolungate ne scaturiscono copiose venute d'acqua.

L'emissario "La Tajada" è il risultato di un antico intervento di bonifica dell'area; alla fine degli anni '80 è stato pulito e risagomato, ed è sempre attivo (Comune di Revine Lago, 1996).

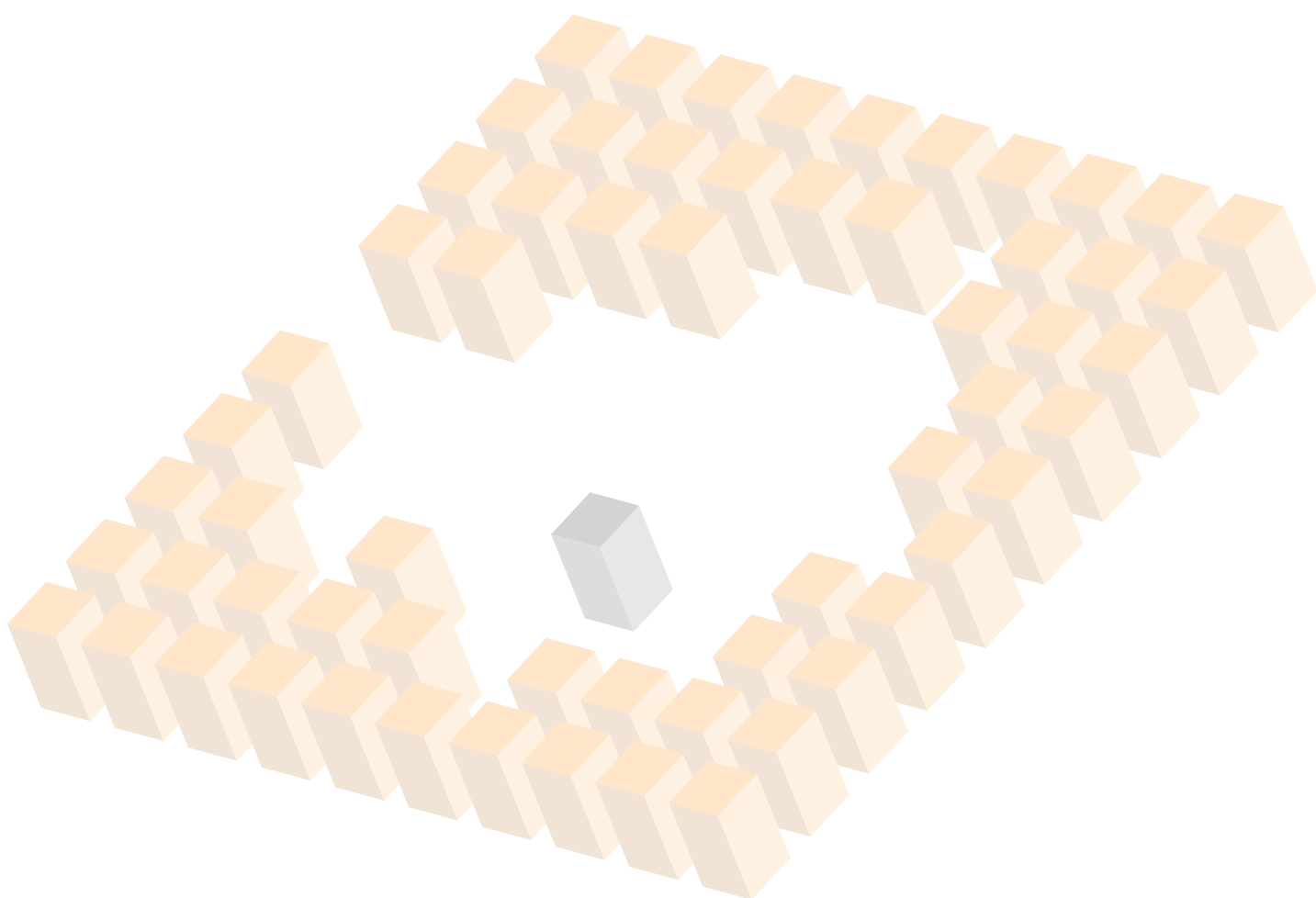
1.4. Morfometria dei laghi

I laghi di Revine sono gli attuali rappresentanti di un più vasto sistema lacustre che occupava fino agli inizi del XV secolo l'intera vallata che si estende da Gai a Longhere. Le modificazioni morfometriche che nel tempo hanno portato alla situazione attuale non vengono considerate in questa sede; consideriamo i dati di Zaniol e Toniolo, che risalgono ai primi anni del 900, come aventi un valore puramente storico. Le batimetrie attualmente disponibili sono state realizzate da Tecneco (1985), e da Cecchetti, per conto della Comunità Montana, alla fine degli anni 80. Ai fini di questo studio è sufficiente evidenziare pochi dati approssimati, ricavati dai due lavori più recenti o valutati dalla relativa cartografia (Tab. 1). In assenza di un chiaro riferimento della quota considerata zero idrometrico, di una carta batimetrica con isobate dettagliate e planimetrabili, proporre dati con maggior numero di cifre significative servirebbe solo a dare un'impressione di precisione, in realtà infondata.

Va tuttavia sottolineato – e verrà ribadito in sede conclusiva – che una aggiornata batimetria e morfometria dei laghi, connesse ad uno studio idrogeologico ed idraulico, sono operazioni di cui c'è un'urgente esigenza.

	S. Maria	Lago
Superficie (Km ²)	0,3	0,5
Volume (m ³ x10 ⁶)	1,5	3,0
Profondità massima (m)	8,0	11,0

Tab. 1. Principali caratteristiche morfometriche dei laghi di Revine.



2. Ricerche limnologiche sui laghi di Revine: risultati ottenuti durante le indagini svolte nel 2002

2.1. Caratteristiche della ricerca

2.1.1. Punti campionati e calendario delle uscite

I campionamenti e le misure sul campo sono stati eseguiti in corrispondenza delle zone di massima profondità dei due laghi, identificate sulla base delle più recenti batimetrie realizzate dalla Tecneco (1980) e dalla Regione del Veneto - Ufficio del Genio Civile di Treviso (1991). Oltre alle due zone di “centro lago” un ulteriore punto di prelievo è stato individuato in corrispondenza dell'emissario, subito dopo la sua uscita dal Lago di Lago. Le mappe elaborate dalla Tecneco - con la localizzazione delle zone campionate nel corso della presente ricerca - sono riportate nelle figure 1a e 1b.

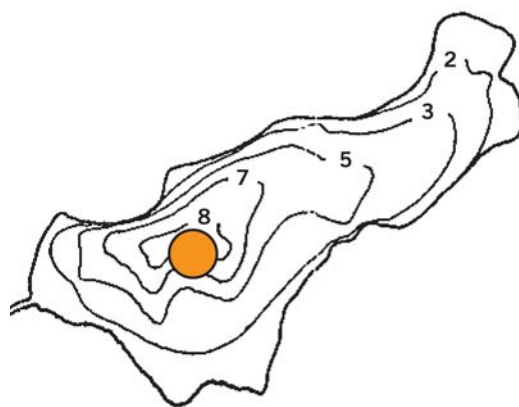


Fig. 1a. Mappa batimetrica del Lago di Santa Maria e ubicazione della zona di prelievo

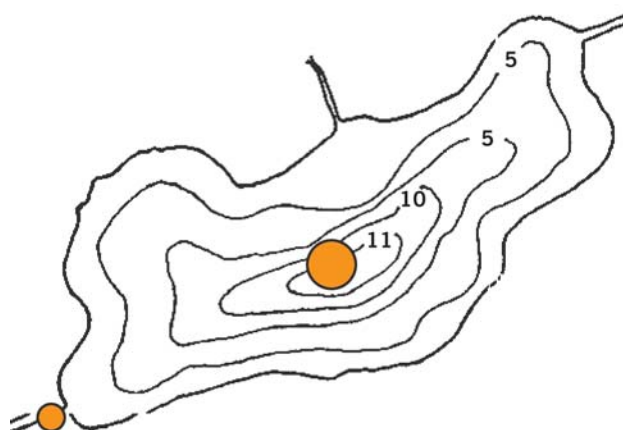


Fig. 1b. Mappa batimetrica del Lago di Lago e ubicazione delle zone di prelievo a “centro lago” e sull'emissario.

La misurazione dei parametri chimici e fisici sul campo e la raccolta di campioni per le analisi chimiche e biologiche nei due laghi sono state eseguite contemporaneamente da due squadre di operatori, a bordo di due piccole imbarcazioni a remi. Le uscite sono state effettuate nell'arco di una giornata (generalmente dalle 9,30 alle 14,30).

La programmazione dell'attività ha previsto lo svolgimento di 13 uscite distanziate, in genere, di quattro settimane l'una dall'altra. L'uscita del 3 dicembre risulta posticipata di una settimana rispetto al calendario originale a causa della forte pioggia e dell'elevato livello dei laghi riscontrati nella mattina del 26 novembre, tali da impedire lo svolgimento delle attività in piena sicurezza.

Nel Lago di Lago i prelievi e le misure sono stati eseguiti in tutte le date programmate; a gennaio, a causa di una spessa copertura di ghiaccio (ca. 15-20 cm), i prelievi sono stati però eseguiti in un punto (con un fondale di 6-7 m) compreso tra la zona di prelievo di centro lago e la riva occidentale. In questa occasione il punto da campionare (individuato in corrispondenza di un buco sul ghiaccio lasciato libero da una boa) è stato raggiunto a piedi, mentre l'emissario è stato campionato più a valle (Foto 2 e 3).



Foto 2. Copertura ghiacciata del lago di Lago (litorale sud-occidentale, 29 gennaio 2002).



Foto 3. La Tajada, emissario del lago di Lago (29 gennaio 2002).

Nel Lago di Santa Maria, a gennaio, la copertura ghiacciata era molto irregolare, con ampie zone di acqua libera, e con condizioni comunque tali da impedire sia il campionamento con la barca sia a piedi. In questa occasione ci si è limitati alla raccolta di un campione di superficie in prossimità della riva.

Lo schema con i punti campionati e il calendario delle uscite è riportato nella Tab. 2.

Le analisi effettuate nel corso dell'indagine hanno compreso la determinazione delle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque e la caratterizzazione della comunità fitoplanctonica.

	S. Maria	Lago	Emissario
29 gennaio 2002	• ⁽¹⁾	•	•
26 febbraio 2002	•	•	•
26 marzo 2002	•	•	•
22 aprile 2002	•	•	•
21 maggio 2002	•	•	•
18 giugno 2002	•	•	•
16 luglio 2002	•	•	•
06 agosto 2002	•	•	•
02 settembre 2002	•	•	•
01 ottobre 2002	•	•	•
29 novembre 2002	•	•	•
03 dicembre 2002	•	•	•
17 dicembre 2002	•	•	•

Tab. 2. Punti campionati e calendario delle uscite.

⁽¹⁾ Prelievi effettuati in prossimità del litorale occidentale, a causa della presenza di una parziale copertura ghiacciata.

2.1.2. Misure sul campo e modalità di campionamento

Le misure di temperatura e ossigeno disciolto sulla colonna d'acqua delle due stazioni a centro lago sono state effettuate utilizzando una piccola sonda multiparametrica WTW, con cavo da 12 m, attrezzata appositamente per le rilevazioni su questi due bacini. Prima dell'inizio dell'acquisizione dei dati, la sonda dell'ossigeno è stata sottoposta a calibrazione in aria.

In questa sede i dati rilevati dalla sonda sono stati utilizzati per ottenere i profili di temperatura e ossigeno lungo la colonna d'acqua (riportati nelle figure da 3 a 6). I valori di ossigeno disciolto (concentrazione e % di saturazione) nei grafici riportanti gli andamenti temporali per livello campionato (figure 16-21) si riferiscono invece a quelli ottenuti in laboratorio per via titolometrica su campioni fissati sul campo. I valori di pH e conducibilità (a 20 °C) riportati sono quelli rilevati sul campo, per mezzo di strumentazione WTW. Immediatamente prima di ogni serie di misure gli elettrodi del pH sono stati calibrati con tamponi a 4 e 7 unità.

Nei due laghi le rilevazioni sono state effettuate dalla superficie fino alla massima profondità, pari a circa 6-8 m (Santa Maria) e 9-11 m (Lago). Le differenze di profondità massima rilevate nel corso delle uscite sono state causate dalle variazioni di livello dei laghi e (in minima parte) da piccole variazioni di posizionamento nei punti di prelievo a centro lago. Nell'emissario i prelievi sono stati eseguiti esclusivamente nello strato superficiale.

La trasparenza è stata stimata, con l'ausilio di un batiscopio, con un disco di Secchi di 20 cm di diametro.

Nonostante l'assenza di un idrometro, in ogni uscita sono state rilevate le variazioni di livello dei laghi rispetto a dei punti fissi individuati nel corso di una uscita preliminare svolta nel novembre 2001. In questo modo è possibile fornire dei dati attendibili solo sulle variazioni relative di livello nell'ambito delle 13 uscite svolte, senza la possibilità di dare indicazioni sulle variazioni di quota rispetto ad uno zero idrometrico prefissato.

La determinazione dei parametri chimici e biologici è stata effettuata su campioni discreti raccolti con una bottiglia Niskin di 50 cm di lunghezza e 5 litri di capacità. La rilevazione completa delle variabili chimiche, fisiche e biologiche (clorofilla a e peso secco) è stata eseguita a tre profondità discrete (superficie, 4 m e a 1 m dal fondo); limitatamente al fitoplancton, le determinazioni sono state eseguite unicamente alle profondità di 0 e 4 m, all'interno, quindi, dello strato produttivo (zona eufotica). Ulteriori campioni per la rilevazione di pH e conducibilità sono stati raccolti a 2 m (Santa Maria e Lago), e a 6 e 8 m (Lago).

2.1.3. Analisi di laboratorio

Il peso secco (a 105 °C) e la frazione organica (a 550 °C) sono stati determinati filtrando aliquote di campione variabili da 0,3 a 1,8 litri su filtri in fibra di vetro Whatman GFC previamente trattati in muffola (a 550 °C) e pesati. La filtrazione è stata preceduta dalla rimozione delle particelle più grossolane (perlopiù zooplancton od occasionale detrito organico) mediante l'utilizzo di retini con maglie da 200 µm.

La caratterizzazione delle comunità fitoplanctoniche ha compreso la rilevazione di numerose variabili utili per la quantificazione della biomassa totale (clorofilla e feofitina a) e per l'identificazione e stima delle abbondanze fitoplanctoniche suddivise per singole specie, classi e comunità. Le tecniche utilizzate per la fissazione dei campioni, osservazione microscopica, conteggio delle cellule algali e quantificazione dei pigmenti fotosintetici sono descritte in Lund et al. (1958), Saraceni & Ruggiu (1974) e Salmaso (2002).

Le analisi chimiche e fisiche effettuate in laboratorio sui campioni raccolti hanno compreso la determinazione dell'ossigeno disciolto (metodo di Winkler), dei nutrienti algali (azoto nitrico, ammoniacale e nitroso, fosforo ortofosfato e totale e silice reattiva), degli ioni principali o di maggiore interesse (calcio, magnesio, sodio, potassio, solfati e solfuri) e la stima dei livelli di torbidità (in unità nefelometriche). Le metodiche analitiche utilizzate nella presente indagine hanno seguito i criteri riportati in APHA et al. (1995).

Lo schema riassuntivo dei prelievi, delle misure svolte sul campo e delle analisi eseguite in laboratorio è riportato in Tab. 3. L'elenco completo delle variabili rilevate e le unità di misura sono riportati nella Tab. 4.

S. Maria	Temp.-O ₂ (Profili sonda)	O ₂ Winkler	Disco di secchi	Peso secco e torbidità	Pigmenti fotosintesi	Fitoplancton	Ph e conducibilità	Chimica
0 m	•	•	•	•	•	•	•	•
2 m	•						•	
4 m	•	•		•	•	•	•	•
Fondo	•	•		•	•	•	•	•

Lago	Temp.-O ₂ (Profili sonda)	O ₂ Winkler	Disco di secchi	Peso secco e torbidità	Pigmenti fotosintesi	Fitoplancton	Ph e conducibilità	Chimica
0 m	•	•	•	•	•	•	•	•
2 m	•						•	
4 m	•	•		•	•	•	•	•
6 m	•						•	
8 m	•						•	
Fondo	•	•		•	•	•	•	•

Emissario	Temp.-O ₂ (Profili sonda)	O ₂ Winkler	Disco di secchi	Peso secco e torbidità	Pigmenti fotosintesi	Fitoplancton	Ph e conducibilità	Chimica
0 m	•			•	•	•	•	•

Tab. 3. Schema riassuntivo dei livelli campionati, delle misure svolte sul campo e delle analisi effettuate sui campioni raccolti nelle tre stazioni campionate.

Codice	Parametro	Unità di misura
Temp.	Temperatura	°C
pH	PH	unità pH
Cond.	Conducibilità	μS cm ⁻¹ (20°C)
O.D.	Ossigeno disciolto	mg l ⁻¹
S.O.D	% di saturaz. O.D.	%
Chl a	Clorofilla α	μg l ⁻¹
Phe a	Feofitina α	μg l ⁻¹
P.S.Vol.	Peso secco – Fraz. organica	mg l ⁻¹
P.S.Fix.	Peso secco – Fraz. inorganica	mg l ⁻¹
Torb.	Torbidità, unità nefelometriche	NTU
Trasp.	Disco di Secchi	m
N-NO ₃	Azoto nitrico	μg N l ⁻¹
N-NH ₄	Azoto ammoniacale	μg N l ⁻¹
N-NO ₂	Azoto nitroso	μg N l ⁻¹
P-PO ₄	Fosforo reattivo	μg P l ⁻¹
P-tot	Fosforo totale	μg P l ⁻¹
Si	Silice reattiva (Si)	μg Si l ⁻¹
Ca	Calcio	mg l ⁻¹
Mg	Magnesio	mg l ⁻¹
Na	Sodio	mg l ⁻¹
K	Potassio	mg l ⁻¹
SO ₄	Solfati	mg l ⁻¹
S ²⁻	Solfuri	mg l ⁻¹

Tab. 4. Variabili rilevate e unità di misura.

2.1.4. Modalità di presentazione dei dati

Le concentrazioni medie e le deviazioni standard dei singoli parametri chimici, fisici e biologici determinati nei diversi livelli campionati sono riportate nelle tabelle 5a e 5b.

Le variazioni del livello dei laghi sono riportate nella Fig. 2. I profili di temperatura e O₂ disciolto rilevati dalla superficie fino alle massime profondità nelle due stazioni di centro lago sono rappresentati nelle figure da 3 a 6; le rilevazioni si riferiscono a quattro date rappresentative delle situazioni tardo invernale (26 febbraio), estiva (6 agosto), autunnale (1 ottobre) e tardo autunnale (3 dicembre). In questo gruppo di grafici i valori si riferiscono a misure ottenute con la sonda WTW.

Nelle figure da 7 a 21 sono riportati, per le due stazioni di centro lago, gli andamenti temporali della temperatura, pH, conducibilità e ossigeno disciolto. L'andamento temporale delle concentrazioni epilimnetiche dei nutrienti algali e dei solfuri è riportato nelle figure da 22 a 38, mentre l'evoluzione dei pigmenti fotosintetici (clorofilla a e feofitina a), delle densità fitoplanctoniche e del peso secco (frazione organica e residuo fisso) è riportata nelle figure da 39 a 61. I valori di trasparenza (stimati col disco di Secchi) sono riportati nella Fig. 62. Quando disponibili, i grafici relativi allo strato superficiale ("0 m") riportano anche le determinazioni effettuate sui campioni raccolti nell'emissario.

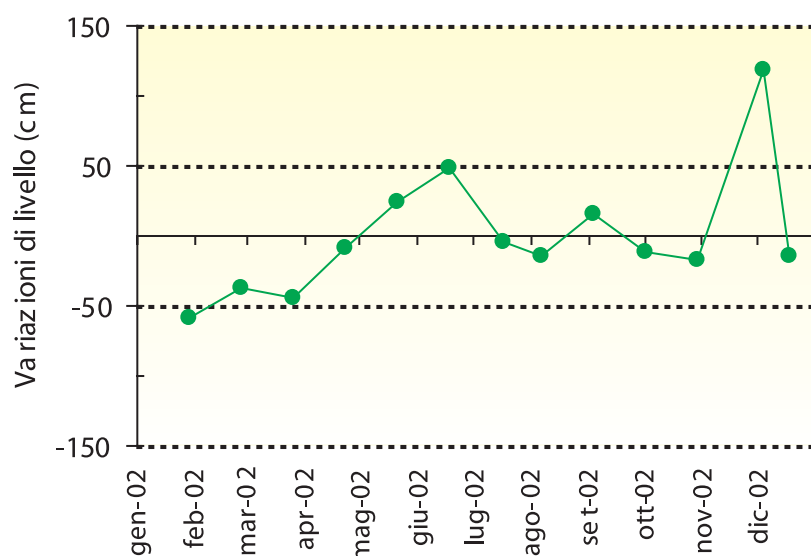


Fig. 2. Variazioni di livello rilevate nel Lago di Santa Maria

2.2. Variazioni relative del livello dei laghi

Per semplicità, data la pressoché completa corrispondenza degli andamenti relativi nei due laghi, la Fig. 2 riporta le variazioni di livello rilevate nel solo Lago di Santa Maria. Da gennaio a giugno i laghi hanno progressivamente aumentato il loro livello di circa 1 m. A maggio sono cadute abbondanti piogge, tali da far tracimare i laghi nella prima settimana del mese. Tale evento non è stato documentato, in quanto a maggio le uscite sono state effettuate circa 15 giorni dopo. Il massimo livello dei laghi, circa 1,8 m più elevato rispetto a gennaio, è stato rilevato a cavallo tra novembre e dicembre. In questo periodo i due laghi hanno subito continue tracimazioni, inondando le rive e gran parte della campagna ai lati della Tajada (Foto 4-6).

		Temp °C	pH	Cond. μS cm ⁻¹	O.D. mg l ⁻¹	S.O.D. %	Chl a μg l ⁻¹	Phe a μg l ⁻¹	P.S. Vol. mg l ⁻¹	P.S. Fix. mg l ⁻¹	Torb. NTU	Trasp. m
S. Maria	0 m	Media Dev. St.	15,3 7,9	8,08 0,31	263 22	8,6 2,6	21,4 14,7	6,3 4,6	3,8 2,3	1,7 1,0	4,7 3,8	1,7 0,6
	2 m	Media Dev. St.	15,6 6,6	8,02 0,31	266 20							
	4 m	Media Dev. St.	13,8 4,9	7,81 0,30	276 13	6,1 3,2	19,5 11,2	12,3 8,9	4,0 2,2	2,0 0,9	5,5 3,7	
	Fondo	Media Dev. St.	11,9 3,3	7,62 0,34	288 16	4,7 3,6	14,9 11,5	12,1 9,0	4,5 2,7	3,5 2,2	7,0 4,7	
Lago	0 m	Media Dev. St.	15,3 7,5	8,12 0,26	258 14	9,6 1,6	6,8 4,8	2,2 1,1	2,2 1,5	0,9 0,8	2,3 1,3	2,8 1,1
	2 m	Media Dev. St.	14,5 7,0	8,13 0,26	258 15							
	4 m	Media Dev. St.	12,7 5,1	8,03 0,19	261 11	9,6 1,9	8,1 6,1	2,4 1,4	2,5 1,8	0,9 0,9	2,3 1,4	
	6 m	Media Dev. St.	12,0 3,3	7,79 0,22	266 6							
	8 m	Media Dev. St.	11,0 2,8	7,60 0,28	273 10							
Emissario	Fondo	Media Dev. St.	10,1 3,1	7,48 0,30	281 13	3,5 3,8	4,2 3,1	4,0 2,4	3,1 2,3	3,0 2,2	8,4 7,4	
	0 m	Media Dev. St.	8,4 5,4	8,14 0,26	254 21	6,5	6,6 4,6	2,3 1,4	2,3 1,5	1,2 1,1	2,4 1,3	

Tab. 5a. Valori medi e deviazioni standard dei principali parametri chimici, fisici e biologici.



S. Maria	0 m	Media	N-NO ₃ µg N l ⁻¹	N-NH ₄ µg N l ⁻¹	N-NO ₂ µg N l ⁻¹	P-PO ₄ µg P l ⁻¹	P-tot µg P l ⁻¹	Si mg l ⁻¹	Ca mg l ⁻¹	Mg mg l ⁻¹	Na mg l ⁻¹	K mg l ⁻¹	SO ₄ mg l ⁻¹	S ²⁻ mg l ⁻¹
		Dev. St.	127 151	174 138	17 16	10 14	74 86	2,2 0,6	32,2 1,0	11,6 0,3	2,0 0,2	1,6 0,1	10,6 1,4	0,0 0,0
	4 m	Media Dev. St.	154 186	316 150	16 16	13 16	93 112	2,4 0,5	32,2 1,1	11,6 0,3	2,0 0,2	1,7 0,2	10,1 1,2	0,1 0,1
Lago	Fondo	Media Dev. St.	173 226	428 380	16 21	48 73	134 145	2,6 0,4	32,2 1,1	11,6 0,3	2,0 0,2	1,7 0,1	9,4 1,7	0,2 0,3
	0 m	Media Dev. St.	355 403	101 67	16 12	8 16	42 38	1,8 0,8	37,9 4,0	11,6 0,3	1,4 0,1	1,7 0,2	8,6 1,7	0,0 0,0
	4 m	Media Dev. St.	445 471	106 65	14 11	7 11	44 35	1,9 0,7	37,8 4,1	11,6 0,4	1,4 0,1	1,7 0,2	8,6 1,6	0,0 0,0
Emissario	Fondo	Media Dev. St.	299 336	715 717	11 8	74 131	181 281	2,3 0,8	38,2 4,1	11,7 0,3	1,5 0,1	1,7 0,2	7,9 1,7	0,1 0,2
	0 m	Media Dev. St.	346 388	120 102	14 8	9 13	48 46	1,8 0,7	37,9 4,0	11,6 0,3	1,4 0,1	1,7 0,2	8,8 1,6	0,0 0,0

Tab. 5b. Valori medi e deviazioni standard dei principali parametri chimici, fisici e biologici.



Foto 4. Innalzamento del livello delle acque nel Lago di Santa Maria dopo le abbondanti piogge cadute tra novembre e dicembre (sponda occidentale, 3 dicembre 2002).



Foto 5. Tracimazione delle acque lungo la sponda occidentale del Lago di Lago (3 dicembre 2002).



Foto 6. Straripamento dell'emissario del Lago di Lago (Tajada, 3 dicembre 2002). La condizione dell'emissario in una situazione di "normale" livello delle acque lacustri è esemplificata nella foto 3.

2.3. Caratteristiche fisiche e chimiche generali delle acque superficiali e profonde

2.3.1. Temperatura

I profili verticali di temperatura rilevati nell'intera colonna d'acqua dei due laghi sono riportati nelle figure 3 e 4. Nei due laghi la stratificazione termica ha avuto inizio a partire dai mesi primaverili (marzo). A Santa Maria, agli inizi di ottobre, il lago era già prossimo alla completa circolazione delle acque, presentando solo un sottile strato, di circa 1 m, ancora separato dalla colonna d'acqua soprastante (Fig. 3). Nel Lago di Lago, nella stessa data, è stata invece riscontrata ancora una stratificazione termica, con un evidente termoclino persistente attorno ai 7 m di profondità (Fig. 4).

I minori valori di temperatura dell'acqua sono stati misurati nel corso della prima uscita (figure 7-9). A gennaio la superficie dei due laghi presentava una estesa copertura di ghiaccio, la quale raggiungeva il suo massimo spessore (attorno ai 35 cm, a Lago) verso la metà del mese. Nel corso dell'uscita del 29 gennaio, a causa anche di alcune sporadiche piogge, la copertura ghiacciata si stava lentamente riducendo (a partire dalle rive), presentando però, a Lago, uno spessore (15-20 cm) ancora sufficiente a sostenere il peso degli operatori deputati ai prelievi (Foto 2). E' da notare che, a fronte della copertura ghiacciata, la temperatura dell'acqua sottostante presentava valori tra 3,6 e 4,1 °C su tutta la colonna. Il massimo riscaldamento delle acque è stato osservato a Santa Maria verso la metà di giugno (28 °C nello strato superficiale) (Fig. 7). In prossimità del fondo di Lago di Lago, per il quale sono disponibili rilevazioni complete anche a gennaio, le variazioni annuali della temperatura sono più contenute, e comprese tra 4,2 e 13,1 °C (Fig. 9).

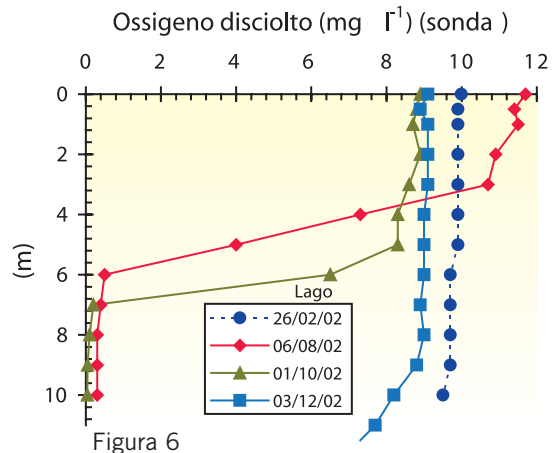
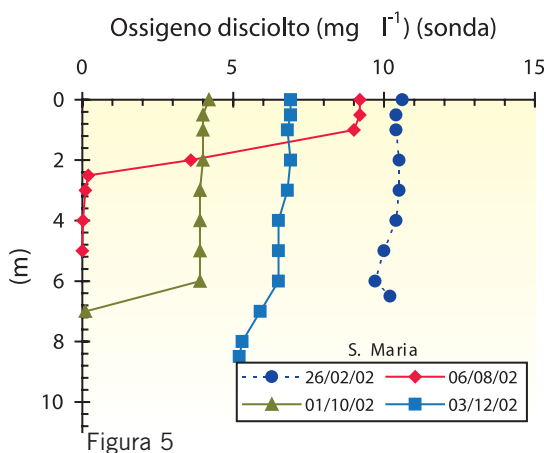
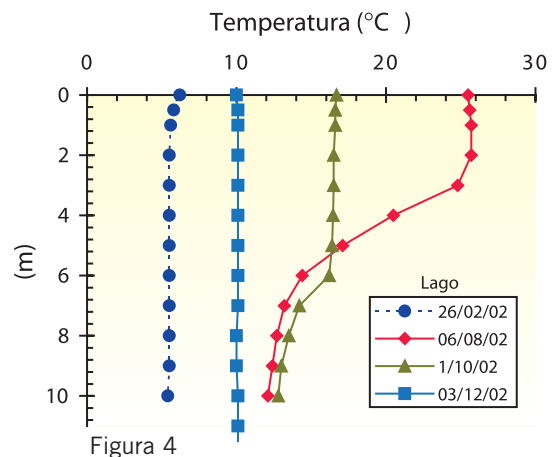
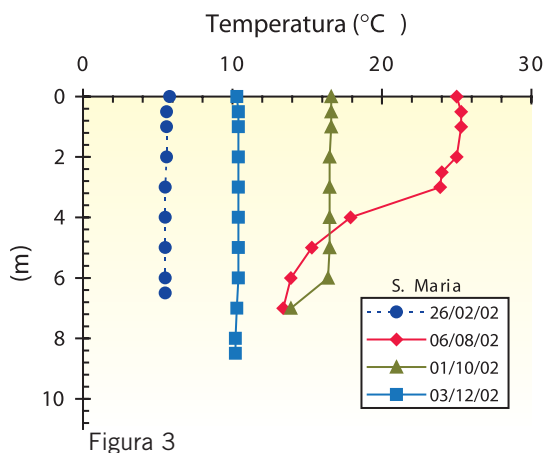


Figure 3-6. Profili verticali di temperatura e ossigeno disciolto rilevati con la sonda multiparametrica.

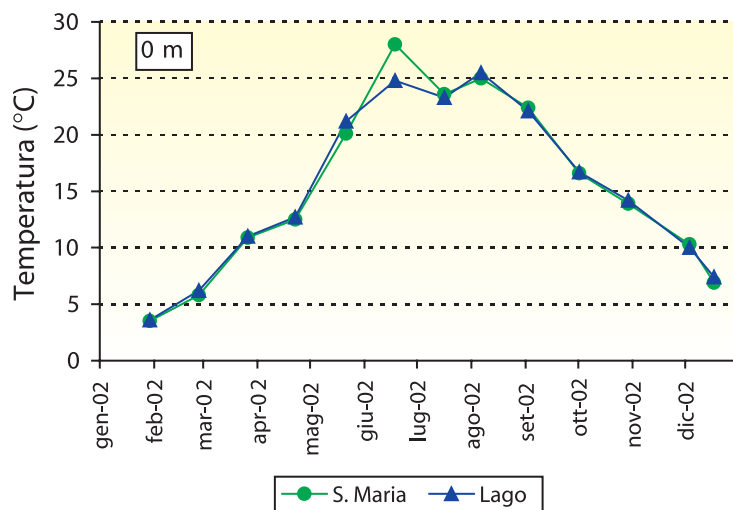


Figura 7

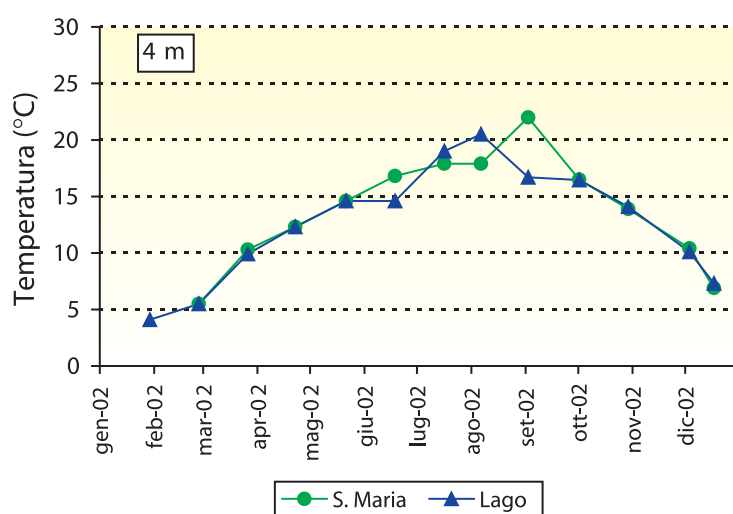


Figura 8

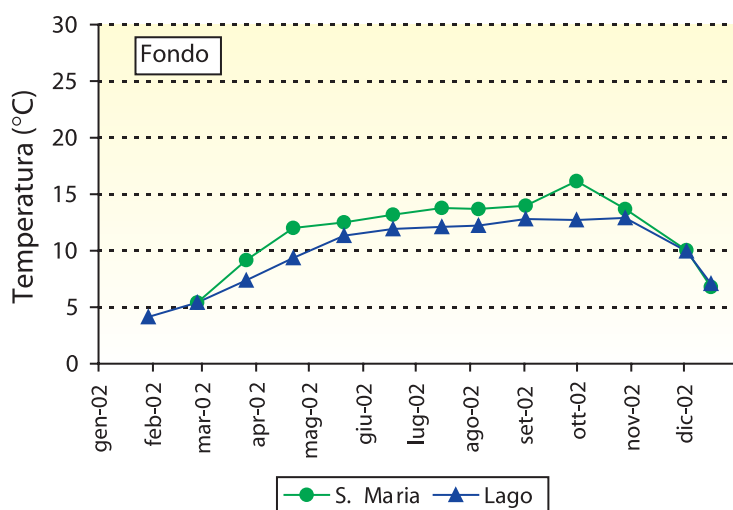


Figura 9

Figure 7-9. Variazioni temporali della temperatura.

2.3.2. pH

Il pH ha presentato valori compresi tra 7,0 e 8,6 (figure 10-12). Negli strati superficiali l'andamento è stato piuttosto irregolare, con i massimi valori misurati nei mesi tardo primaverili. A Santa Maria il pH rilevato a 4 m e al fondo ha subito una evidente diminuzione nel corso della stratificazione termica, e un graduale recupero con il progressivo mescolamento autunnale. A causa della maggiore profondità, nel Lago di Lago tale diminuzione è stata riscontrata solo nello strato in prossimità del fondo. I valori di pH rilevati nell'emissario hanno seguito solo parzialmente quelli misurati a centro lago. A ciò ha contribuito la forte presenza delle macrofite, le quali possono influenzare il pH sia positivamente, attraverso i processi fotosintetici, sia negativamente, attraverso la loro successiva decomposizione una volta ultimata la fase di crescita vegetativa.

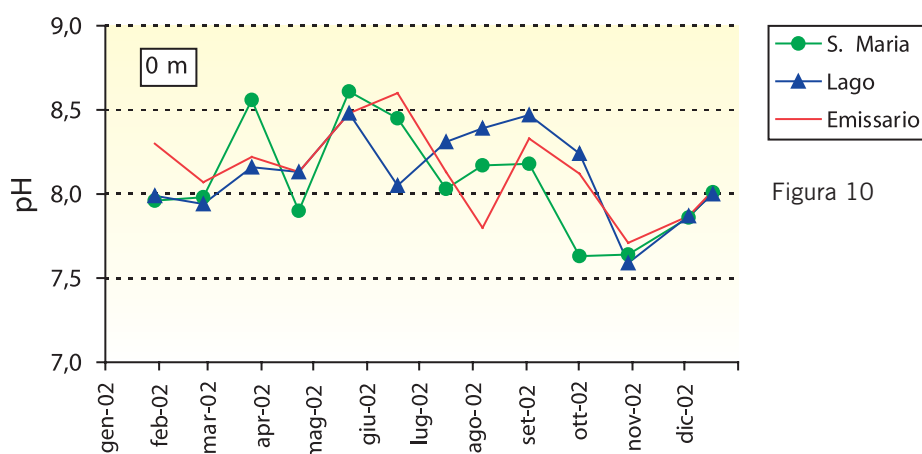


Figura 10

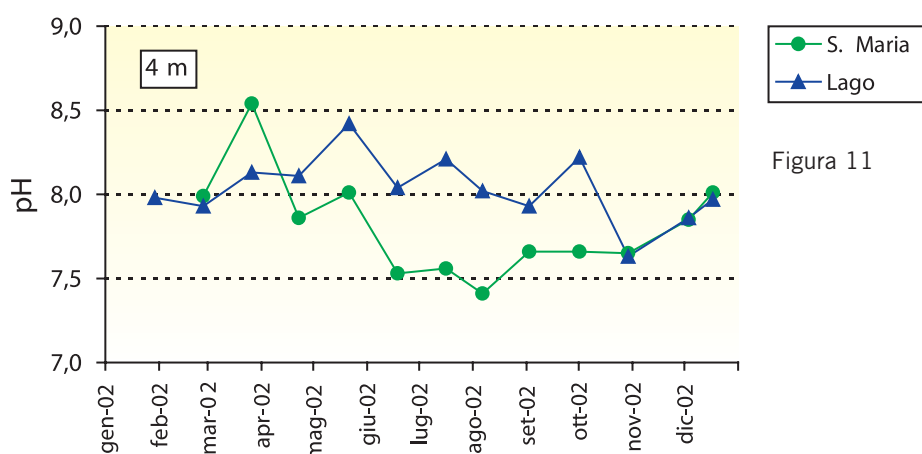


Figura 11

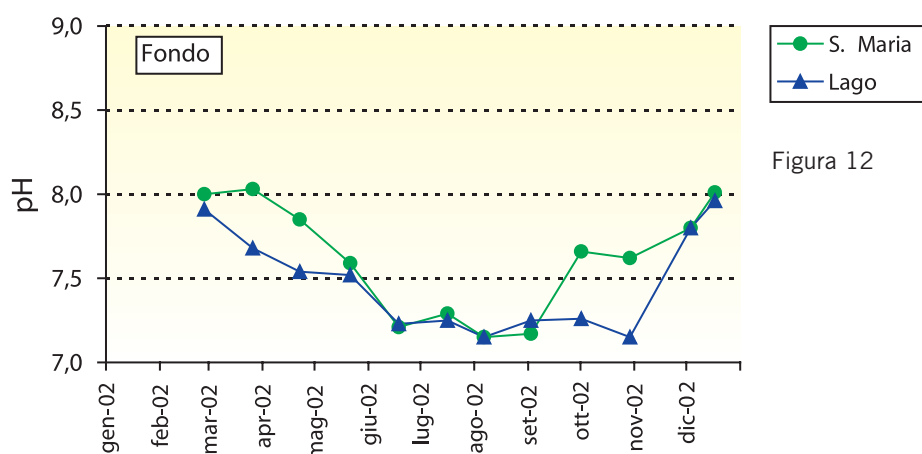


Figura 12

Figure 10-12. Variazioni temporali del pH.

2.3.3. Conducibilità

In superficie la conducibilità ha mostrato una graduale diminuzione, dai valori tardo primaverili (tra 260-280 $\mu\text{S cm}^{-1}$) ai valori minimi di agosto (220 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 229 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a Santa Maria e Lago, rispettivamente) (Fig. 13). Negli strati in prossimità del fondo, in particolare a S. Maria, è stato osservato invece un aumento della conducibilità, con un andamento dei valori paragonabile a quello rilevato in superficie solo a partire da ottobre, subito dopo cioè l'inizio dei processi di mescolamento autunnali (Fig. 15). Le conducibilità rilevate nell'emissario hanno presentato valori del tutto confrontabili con quelli rilevati a centro lago, con l'eccezione di gennaio (Fig. 13), caratterizzato da un valore molto più basso rispetto al range complessivo. In questo mese, infatti, le acque in prossimità delle rive hanno subito un effetto di diluizione da parte di acqua superficiale proveniente dal disgelo delle coltri ghiacciate.

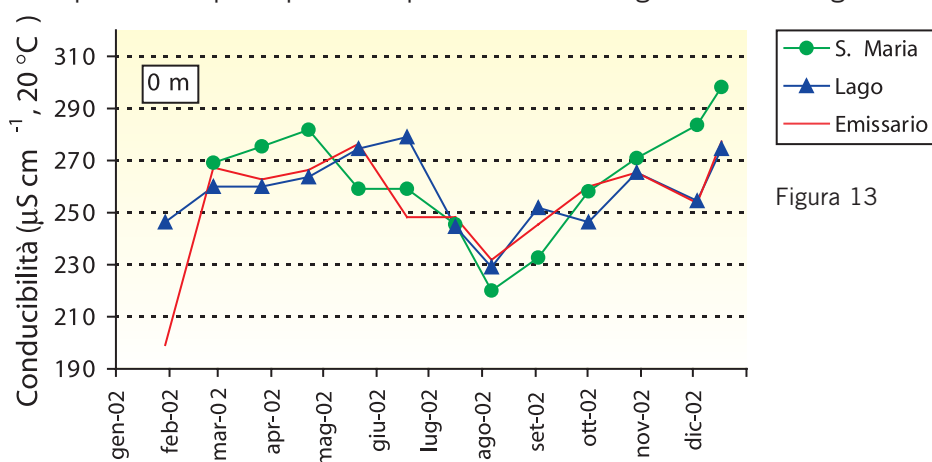


Figura 13

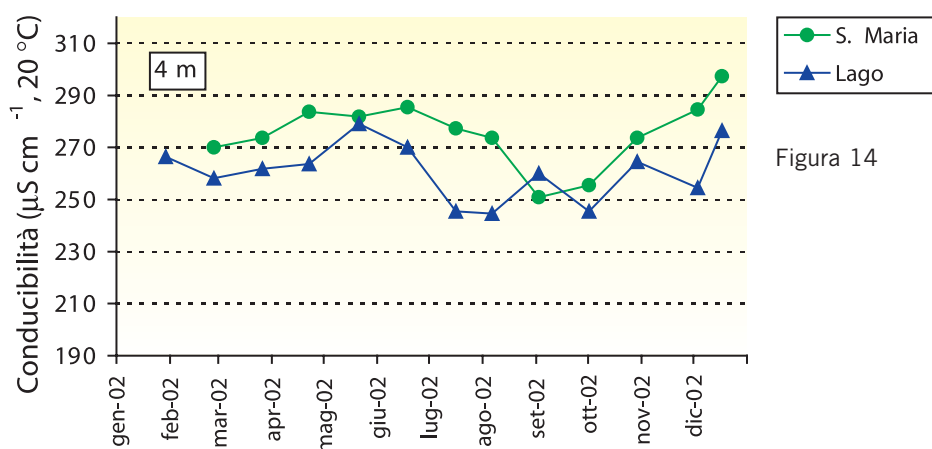


Figura 14

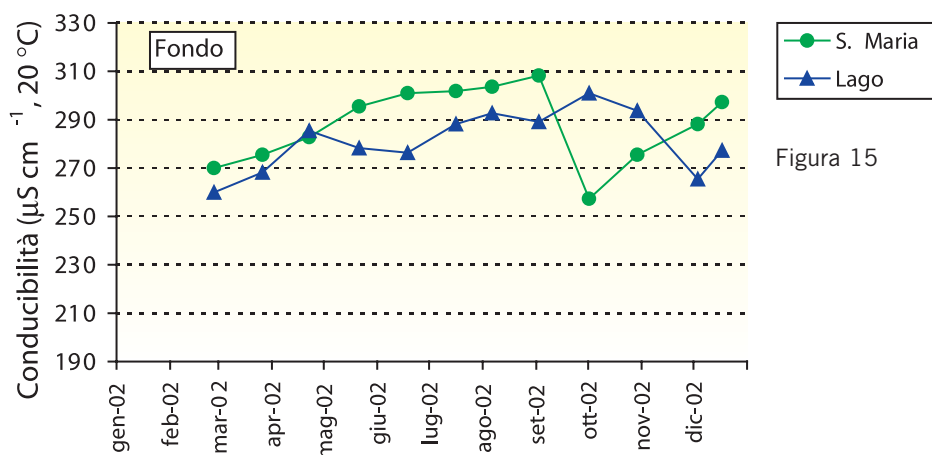


Figura 15

Figure 13-15. Variazioni temporali della conducibilità.

2.3.4. Ossigeno disciolto

L'evoluzione temporale dell'ossigeno disciolto (in concentrazioni assolute e % di saturazione) è riportata nelle figure da 16 a 21. Nello strato superficiale le concentrazioni di ossigeno nelle due stazioni di centro lago sono variate tra 4,2 e 13,5 mg l⁻¹, cui sono corrisposte percentuali di saturazione del 44 e 153% (figure 16 e 19). A 4 m le condizioni di ossigenazione a Lago potevano essere considerate ancora soddisfacenti, con percentuali di saturazione superiori o prossime, in genere, al 60%; al contrario, il Lago di S. Maria ha presentato una evidente diminuzione dell'O₂ già a questa profondità, con concentrazioni < 3 mg l⁻¹ e percentuali di saturazione attorno al 30% da giugno ad agosto (figure 17 e 20). Nei campioni prelevati a 1 m dal fondo le concentrazioni di ossigeno a Lago hanno presentato valori pari o prossimi allo zero analitico per un periodo di

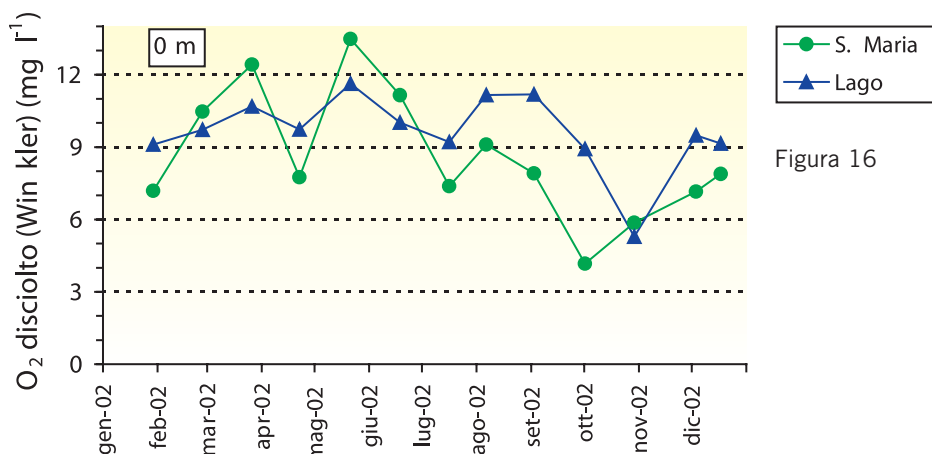


Figura 16

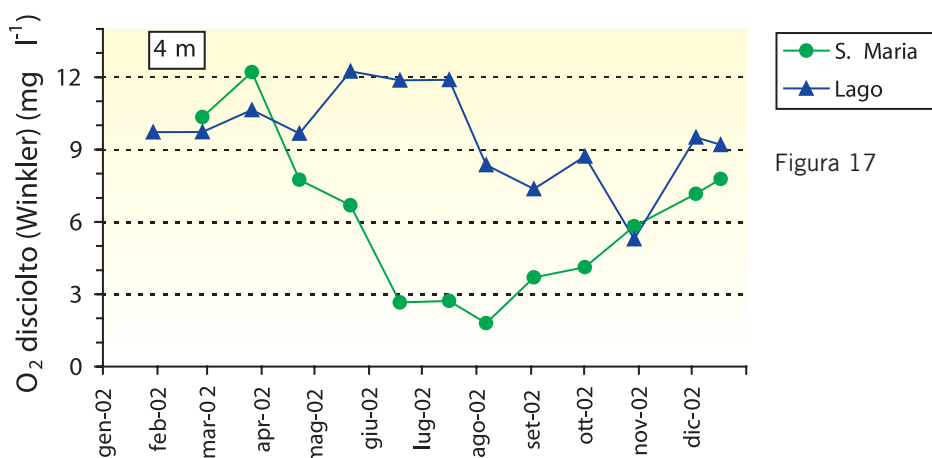


Figura 17

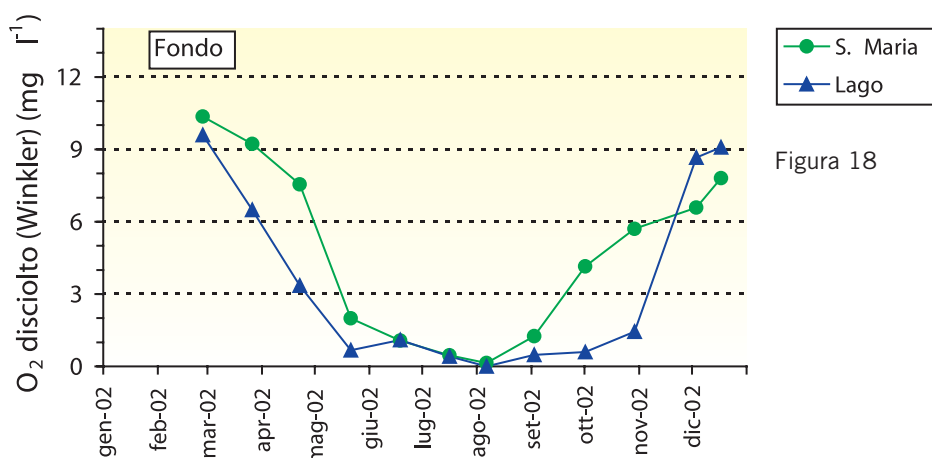


Figura 18

Figure 16-18. Variazioni temporali dell'ossigeno disciolto.

circa 5 mesi (tra maggio e la prima metà di ottobre). In prossimità del fondo di Santa Maria concentrazioni di ossigeno di poco inferiori a 1 mg l^{-1} hanno interessato invece, a causa della minore profondità, un periodo più limitato (luglio-agosto) (figure 5, 6; 18, 21).

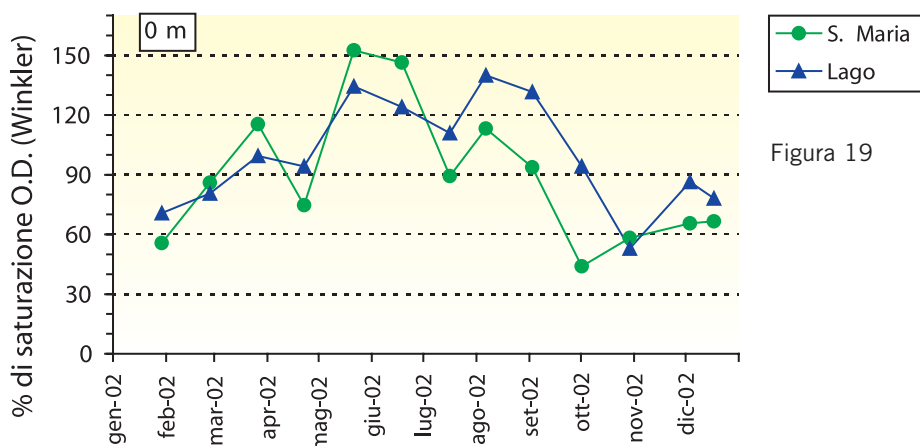


Figura 19

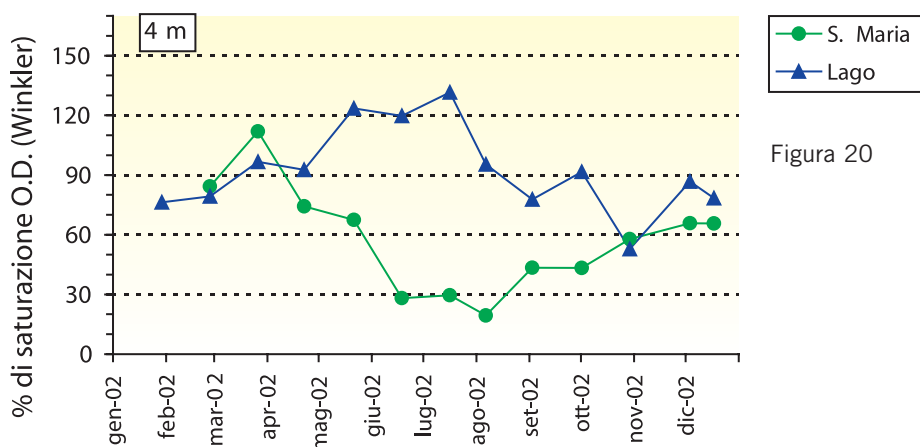


Figura 20

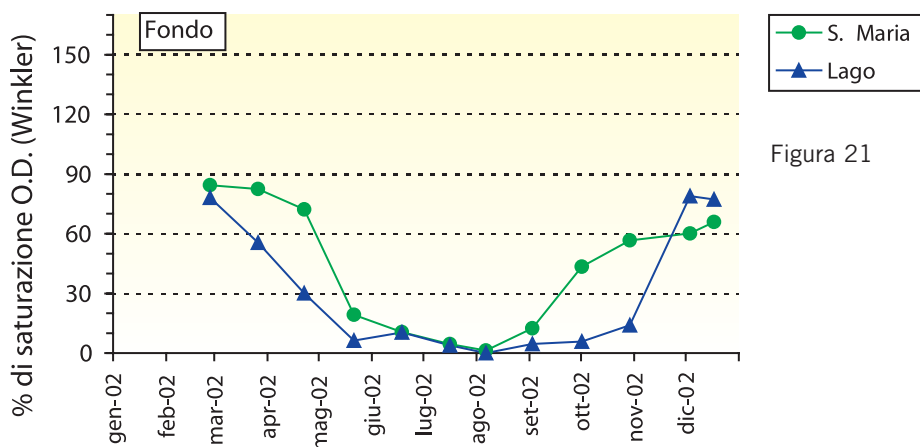


Figura 21

Figure 19-21. Variazioni temporali della percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto.

2.4. Composizione chimica delle acque

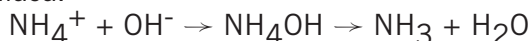
2.4.1. Composti dell'azoto

Azoto nitrico. Nei due laghi le diverse componenti disciolte dell'azoto inorganico hanno presentato notevoli differenze nello sviluppo temporale. Ciò è apparso particolarmente evidente nel caso dell'azoto nitrico (figure 22-24), il quale ha mostrato un notevole picco di concentrazione nei campioni raccolti a Lago il 21 maggio; tale picco è risultato particolarmente evidente a 0 e 4 m (tra 1300 e 1700 $\mu\text{g N l}^{-1}$), presentando però valori più contenuti nelle acque in prossimità del fondo (ca. 800 $\mu\text{g N l}^{-1}$). A Santa Maria l'aumento è stato più contenuto (non oltre 800 $\mu\text{g N l}^{-1}$) e limitato ai livelli campionati più profondi (4 m e fondo). Tra metà estate e inizio autunno (giugno-ottobre a Santa Maria, e agosto-ottobre a Lago) in entrambi i bacini sono state raggiunte concentrazioni superficiali molto basse di N-NO_3 , vicine al limite di rilevabilità. Nel complesso, il contenuto di N-NO_3 nei due laghi è molto differente, con concentrazioni mediamente doppie a Lago, in tutti i livelli campionati (Tab. 5b). Ciò può essere giustificato sia dalla diversità degli apporti di inquinamento agricolo sia dalla differente velocità con le quali i nutrienti nei due laghi sono trasformati dalle comunità biologiche.

Azoto ammoniacale. Tra 0 e 4 m l'azoto ammoniacale ha presentato valori compresi tra il limite di rilevabilità e poco più di 500 $\mu\text{g N l}^{-1}$ (figure 25-27). La diminuzione di questo composto (con valori inferiori a 30 $\mu\text{g N l}^{-1}$) nello strato superficiale è stata documentata nel periodo tra maggio e inizio agosto. I valori più elevati di ammonio sono stati rilevati in prossimità del fondo in agosto (Santa Maria, ca. 1500 $\mu\text{g N l}^{-1}$) e tra settembre e i primi di ottobre (Lago, 1950-2160 $\mu\text{g N l}^{-1}$).

L'aumento dell'azoto ammoniacale è rimasto perlopiù localizzato nel fondo dei due laghi, durante i periodi di ipossia e anossia. In condizioni anaerobiche prolungate può avere luogo infatti un consistente rilascio di azoto ammoniacale per trasformazione dalla sostanza organica in decomposizione. L'ammonio può poi diffondere verso gli strati superiori con una velocità legata ai naturali fenomeni di rimescolamento delle acque. Tale processo è sembrato maggiormente favorito nel Lago di Santa Maria, a causa della minore profondità dei fondali (figure 25 e 26).

Con elevate concentrazioni di azoto ammoniacale si possono formare anche significative quantità di ammoniaca:



L'ammoniaca indissociata NH_3 (la cui formazione è favorita da elevati valori di pH ed elevate temperature) è tossica per molti organismi acquatici, e in particolare per i pesci.

La direttiva 78/659 della Comunità Economica Europea, recepita in Italia con il Decreto Legislativo n. 130 del 25 gennaio 1992 (Qualità delle acque dolci che richiedono protezione o miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci), ha individuato, come valore limite da non superare, o soglia di tossicità, 0,025 mg l^{-1} di ammoniaca indissociata sia per le acque a vocazione salmonicola sia per quelle a vocazione ciprinicola.

Utilizzando le concentrazioni di azoto ammoniacale e i corrispondenti valori di temperatura e pH rilevati nelle zone più profonde nel corso delle uscite di luglio, agosto, settembre e ottobre, è stato possibile stimare le concentrazioni di ammoniaca indissociata presenti nei laghi di Santa Maria e Lago. I risultati sono riassunti nella Tab. 6. L'ammoniaca indissociata ha presentato concentrazioni elevate solo in alcune occasioni, raggiungendo o superando 0,01 mg l^{-1} il 2 settembre a Santa Maria (4 m), e il 2 settembre e l'1 ottobre a Lago (acque in prossimità del fondo). E' da sottolineare che, nelle condizioni rilevate nel corso del 2002, i livelli di ammoniaca sono sempre rimasti al di sotto della soglia di tossicità considerata a causa soprattutto dei limitati valori di pH, sempre inferiori rispettivamente a 7.7 e a 7.3 in prossimità dei fondali di Santa Maria e Lago.

	S. Maria	4 m	Fondo	Lago	4 m	Fondo
16 luglio		0,003	0,005		0,002	0,004
08 agosto		0,006	0,006		0,007	0,005
02 settembre		0,011	0,000		0,003	0,010
01 ottobre		0,007	0,007		0,004	0,011

Tab. 6. Concentrazioni di ammoniaca indissociata (mg l^{-1}).

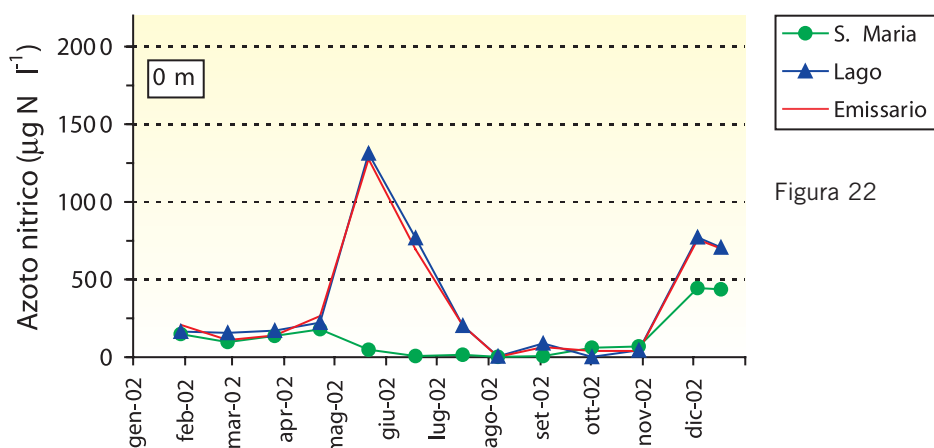


Figura 22

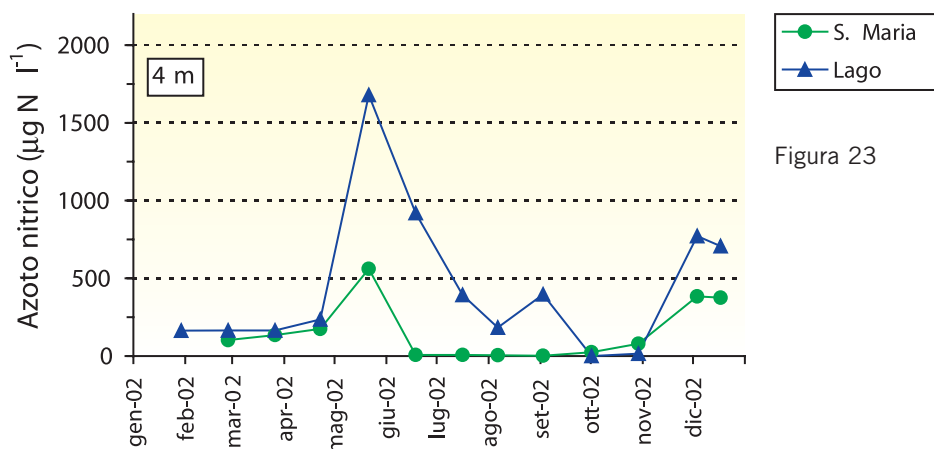


Figura 23

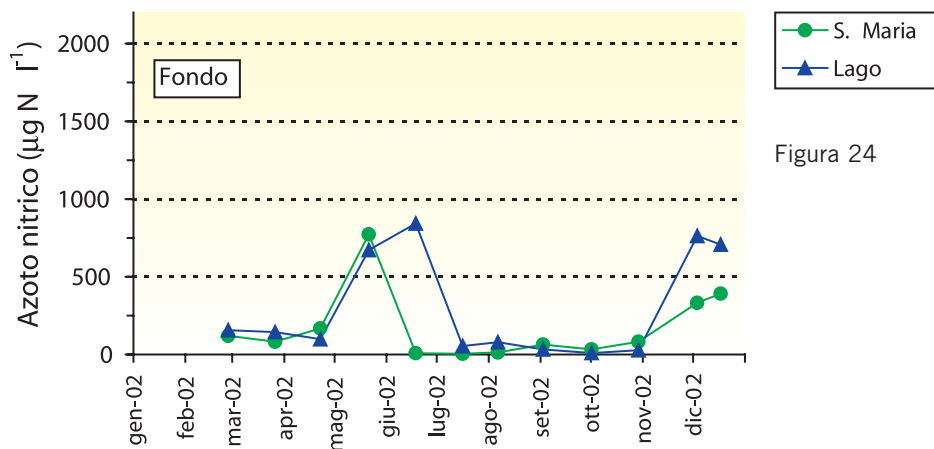


Figura 24

Figure 22-24. Variazioni temporali dell'azoto nitrico.

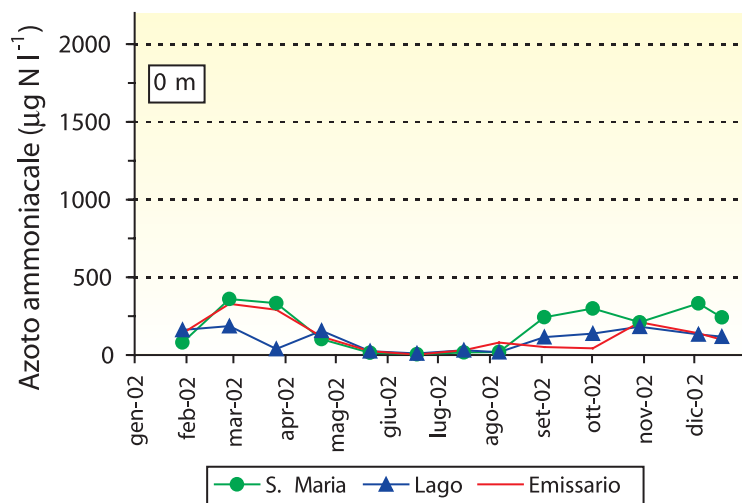


Figura 25

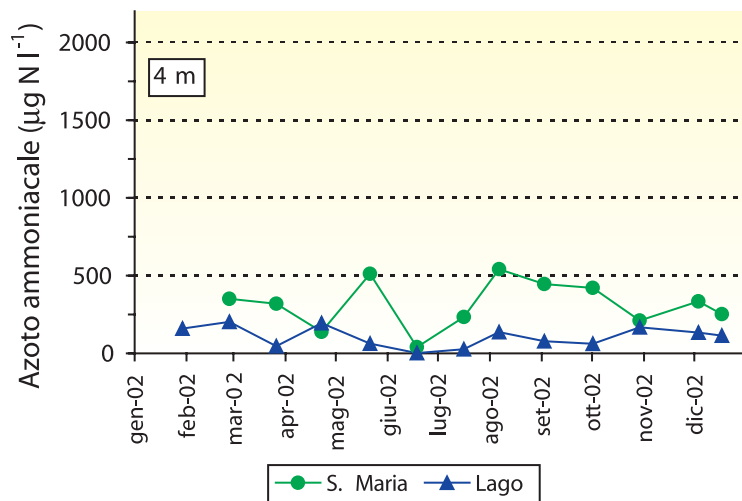


Figura 26

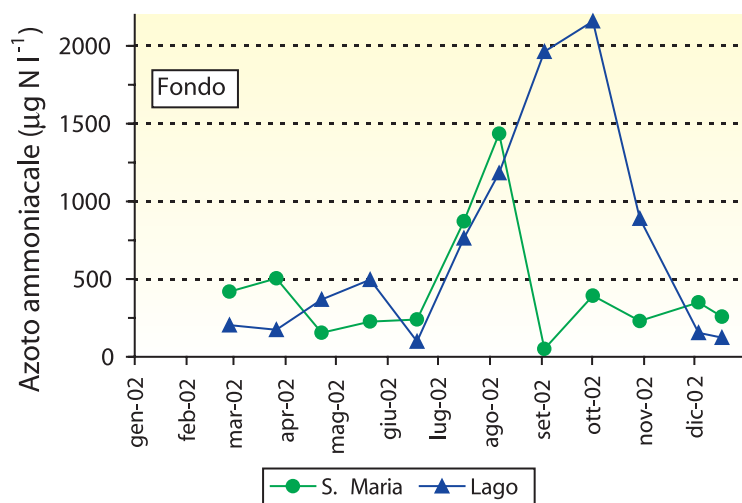


Figura 27

Figure 25-27. Variazioni temporali dell'azoto ammoniacale.

Azoto nitroso. Rispetto alle altre due componenti l'azoto nitroso ha presentato concentrazioni molto più basse e mai superiori a $80 \mu\text{g N l}^{-1}$ (figure 28-30). Negli strati superficiali, le più basse concentrazioni di nitriti ($< 20 \mu\text{g N l}^{-1}$) sono state misurate nel corso dei mesi più caldi, tra giugno e settembre.

Le ragioni all'origine delle discrepanze osservate nell'andamento dei nitrati (e, in parte, di NH_4 e NO_2) nei campioni prelevati a 0 e 4 m presentano alcune difficoltà di interpretazione, dovute all'assenza di informazioni precise circa l'origine e la dinamica degli afflussi superficiali e profondi nei due laghi. Il picco di nitrati rilevato a Lago il 21 maggio è stato osservato in un periodo di aumentato afflusso idrico nei due laghi, così come documentato dall'aumento del loro livello (Fig. 2). E' da notare che, nelle prime settimane di maggio (un periodo non interessato dai campionamenti programmati e dalle misure di livello), i due laghi hanno subito un forte afflusso di acqua, subendo parziali tracimazioni (cf. 2.2). Questi eventi piovosi potrebbero avere provocato, come di solito avviene, il rilascio di notevoli quantità di nutrienti per dilavamento delle aree agricole circostanti. Comunque, ciò che rimane da spiegare è perché nei due laghi siano stati osservati effetti differenti in risposta a questi eventi.

Ci sono diversi fattori che potrebbero contribuire alle differenze osservate, inclusi un differente rilascio di nutrienti dai bacini imbriferi dei laghi di Santa Maria e Lago e l'impatto derivante dall'afflusso di acqua proveniente da sorgenti intermittenti, attive durante periodi piovosi di particolare intensità (quali il T. Piovesan, affluente occasionale del Lago di Lago). Inoltre, questi due laghi, essendo caratterizzati da un diverso grado di produttività (sez. 2.6), possono convertire in modo differente i nutrienti inorganici in biomassa vivente. Infine, come sarà sottolineato nella sezione conclusiva, molte evidenze suggeriscono come i due laghi possano essere soggetti a differenti apporti (non quantificati) di acque di falda.

L'aumento dell'azoto ammoniacale e la diminuzione dei nitrati sul fondo dei due laghi è stato determinato dallo sviluppo di condizioni riducenti e basse concentrazioni di O_2 . L'aumento di N-NH_4 nelle acque di fondo del Lago di Santa Maria è apparso però più limitato nel tempo. La causa di questa differenza può essere ricercata nella minore profondità dei fondali di Santa Maria, e quindi nella minore durata del periodo interessato da condizioni di stratificazione termica e ipossia rispetto a Lago (cf. figure 18 e 21).

I nitrati nell'emissario hanno presentato un andamento coincidente con quello rilevato a centro lago (Fig. 22). Al contrario, pur presentando gli stessi intervalli di concentrazione, l'azoto ammoniacale e nitroso hanno mostrato andamenti talvolta discordanti da quelli rilevati a centro lago (figure 25 e 28).

Nello strato superficiale, la diminuzione dei composti di azoto inorganico disciolto ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) ha raggiunto concentrazioni potenzialmente limitanti per lo sviluppo algale specialmente nel Lago di Santa Maria (tra 10 e $80 \mu\text{g N l}^{-1}$ nel periodo tra maggio e agosto). E' da osservare che, in corrispondenza delle minori concentrazioni di azoto inorganico disciolto, è stato osservato un notevole aumento dei cianobatteri azotofissatori nei due laghi. Tale aumento - dovuto ad *Anabaena* e *Aphanizomenon* (sez. 2.5.2) - è risultato particolarmente evidente a Santa Maria.

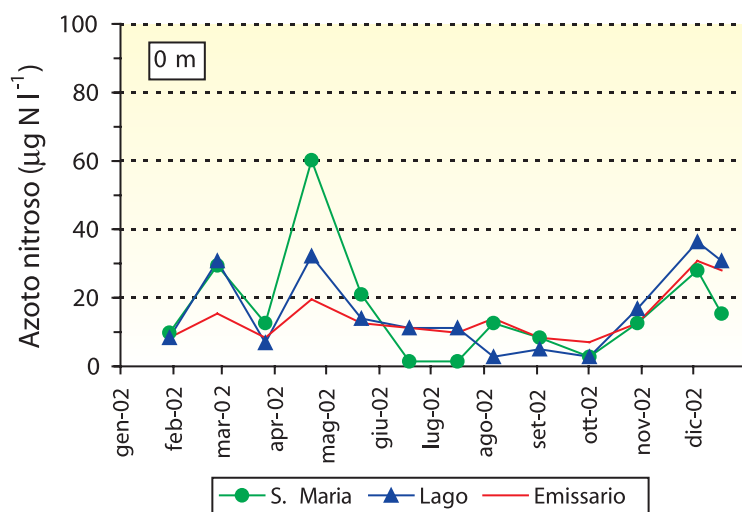


Figura 28

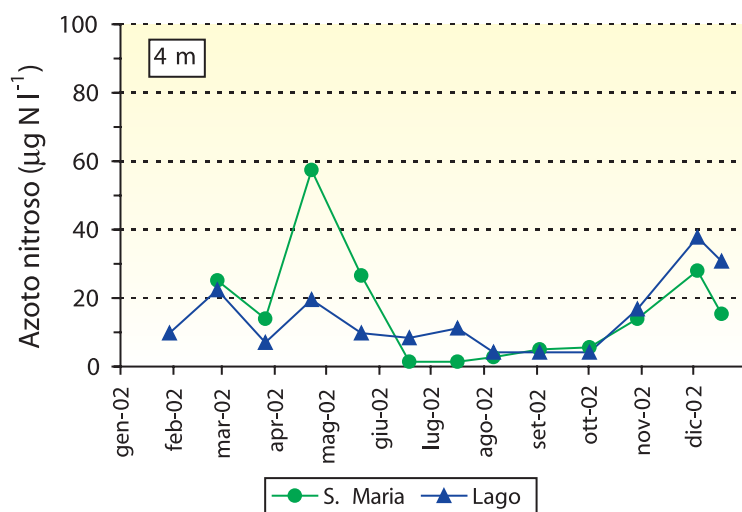


Figura 29

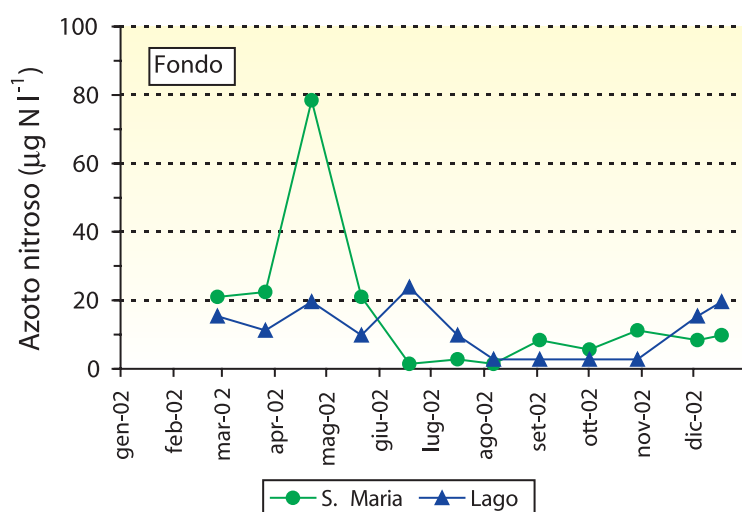


Figura 30

Figure 28-30. Variazioni temporali dell'azoto nitroso.

2.4.2. Fosforo

Se si esclude la presenza di un modesto picco ($12 \mu\text{g P l}^{-1}$ a 0 m) rilevato il 18 giugno a Lago, le concentrazioni di fosforo reattivo rilevate in superficie e a 4 m tra gennaio e luglio sono sempre state inferiori a 4 (Lago) e $10 \mu\text{g P l}^{-1}$ (Santa Maria) (figure 31-33). Le concentrazioni più elevate sono state rilevate tra fine estate e metà autunno in corrispondenza del fondo sia a Santa Maria (6 agosto, $250 \mu\text{g P l}^{-1}$) sia a Lago (1 ottobre, $405 \mu\text{g P l}^{-1}$) (Fig. 33). Negli strati superficiali e a 4 m è stato osservato un aumento del fosforo reattivo (fino a 47 e $48 \mu\text{g P l}^{-1}$ a Santa Maria e Lago, rispettivamente) all'incirca coincidente, come periodo, con quello rilevato a 1 m dal fondo.

Nel complesso, considerando i tre livelli campionati, l'andamento del fosforo totale è risultato strettamente correlato con quello del fosforo reattivo (figure 34-36). Le concentrazioni più elevate sono state misurate in prossimità del fondo, tra agosto e ottobre (fino a ca. 450 e $900 \mu\text{g P l}^{-1}$ a Santa Maria e Lago, rispettivamente). In questo stesso periodo le concentrazioni di P-totale negli strati superficiali hanno raggiunto i loro massimi valori stagionali, pari a poco meno di $300 \mu\text{g P l}^{-1}$ (Santa Maria) e poco più di $100 \mu\text{g P l}^{-1}$ (Lago). Se si escludono i bassi valori rilevati sotto la copertura ghiacciata ($5 \mu\text{g P l}^{-1}$ in gennaio), le concentrazioni di P-totale negli strati superficiali dei due laghi tra febbraio e giugno hanno presentato invece una variabilità estremamente ridotta (tra 10 e $35 \mu\text{g P l}^{-1}$). Le medie annuali di fosforo totale nello strato produttivo (0-4 m) a Santa Maria e Lago sono uguali, rispettivamente, a 80 e $43 \mu\text{g P l}^{-1}$; le corrispondenti medie, calcolate sull'intera colonna d'acqua (superficie-fondo) sono uguali a 95 e $85 \mu\text{g P l}^{-1}$.

Il consistente aumento di fosforo rilevato soprattutto in prossimità del fondo verso la fine dei mesi estivi potrebbe essere posto in relazione - assumendo l'assenza di significativi input esterni - a un rilascio di nutrienti da parte dei sedimenti dopo la formazione di condizioni anossiche. Schematicamente: in presenza di O_2 il fosforo è in grado di legarsi con il ferro (Fe^{3+}), depositandosi nei sedimenti. Il complesso, viceversa, tende a dissociarsi in presenza di basse concentrazioni di O_2 . Quando l'ipolimnio diviene anossico, i complessi di fosfato ferrico che si depositano lungo la colonna d'acqua o in prossimità dei sedimenti si dissociano, liberando fosforo. L'aumento dei composti di P al fondo avrebbe influenzato, con il progredire del mescolamento tardo estivo ed autunnale, anche le concentrazioni negli strati soprastanti (come suggerito dall'aumento delle concentrazioni rilevate nei campioni raccolti a 4 m e in superficie; figure 31-32 e 34-35).

2.4.3. Silice

Nei tre livelli campionati dei due laghi le concentrazioni di silice sono variate tra 1,0 e $3,4 \text{ mg Si l}^{-1}$. I valori più bassi di Si sono stati rilevati negli strati trofogenici subito dopo l'inizio della stratificazione termica e lo sviluppo delle diatomee primaverili ed estive. Comunque, nonostante l'attivo consumo, le concentrazioni invernali, prima dello sviluppo delle diatomee, sono apparse sufficientemente alte ($1,5\text{-}3 \text{ mg Si l}^{-1}$) da garantire un pool sufficiente di silice per tutto il periodo vegetativo.

2.4.4. Calcio, magnesio, sodio e potassio

Le concentrazioni medie e la deviazione standard del calcio, magnesio, sodio e potassio sono riportate nella Tab. 5b.

Nel Lago di Santa Maria questi quattro ioni, nei tre livelli campionati, hanno presentato un intervallo di variazione compreso tra $30\text{-}33 \text{ mg l}^{-1}$ (Ca), $11\text{-}12 \text{ mg l}^{-1}$ (Mg), $1,8\text{-}2,3 \text{ mg l}^{-1}$ (Na) e $1,4\text{-}1,9 \text{ mg l}^{-1}$ (K). I corrispondenti intervalli rilevati a Lago sono pari a $34\text{-}49 \text{ mg l}^{-1}$ (Ca), $11\text{-}13 \text{ mg l}^{-1}$ (Mg), $1,3\text{-}1,7 \text{ mg l}^{-1}$ (Na) e $1,4\text{-}1,9 \text{ mg l}^{-1}$ (K).

In tutti i livelli campionati le concentrazioni medie annuali del calcio sono apparse leggermente più elevate a Lago (38 mg l⁻¹) che a Santa Maria (32 mg l⁻¹). Le concentrazioni medie annuali degli altri ioni hanno presentato solo leggere differenze (Na) o valori coincidenti (K, Mg) (Tab. 5b).

Tali differenze (seppur minime) nelle concentrazioni di questi ioni suggeriscono l'esistenza di una fonte diversa di alimentazione per i due laghi.

Le concentrazioni medie annuali del Ca, Mg, Na e K nell'emissario hanno presentato valori pressoché equivalenti a quelli calcolati per la stazione di centro lago di Lago (0 m).

2.4.5. Solfati e solfuri

Nei tre livelli campionati di Santa Maria e Lago i solfati hanno presentato concentrazioni comprese rispettivamente tra 7-12 e 5-10 mg l⁻¹. Le massime concentrazioni di questo composto sono state osservate nei mesi invernali. Nel periodo estivo, invece, i solfati hanno presentato una progressiva diminuzione, maggiormente evidenziabile nei livelli più profondi.

In superficie i solfuri hanno sempre presentato valori vicini al limite di rilevabilità. A 4 m e a 1 m dal fondo i solfuri hanno mostrato un significativo aumento nei mesi tra luglio e settembre, in concomitanza con la formazione di condizioni ipossiche o anossiche (figure 37-38).

La presenza di elevate concentrazioni di solfuri, durante prolungate situazioni di anossia e bassi valori di pH, può portare alla formazione della specie chimica indissociata H₂S (acido solfidrico) secondo l'equilibrio:



La forma chimica H₂S è altamente tossica per le forme viventi anche se i limiti di tossicità possono essere diversi da organismo a organismo. Per i pesci si possono prendere come riferimento i valori limite consigliati per i salmonidi (0,05 mg l⁻¹) e i ciprinidi (0,3 mg l⁻¹). Partendo dalle concentrazioni dello ione solfuro e dai corrispondenti valori di pH, nella Tab. 7 sono state riportate le stime delle concentrazioni di acido solfidrico indissociato nel periodo compreso tra luglio e l'inizio di ottobre. In prossimità del fondo, da luglio a settembre, il Lago di Santa Maria presenta concentrazioni di H₂S molto elevate, arrivando al limite di 0,5 mg l⁻¹ in agosto. A 4 m la presenza di questo inquinante, pur presentando concentrazioni tali da non essere tossico, costituisce un motivo di preoccupazione, vista la massa d'acqua potenzialmente interessata. Nel Lago di Lago la presenza di acido solfidrico è stata riscontrata solamente nella parte più profonda. A causa della costante ossigenazione dei livelli superiori dei due laghi tale inquinante è risultato assente negli strati campionati tra 0 e 4 m.

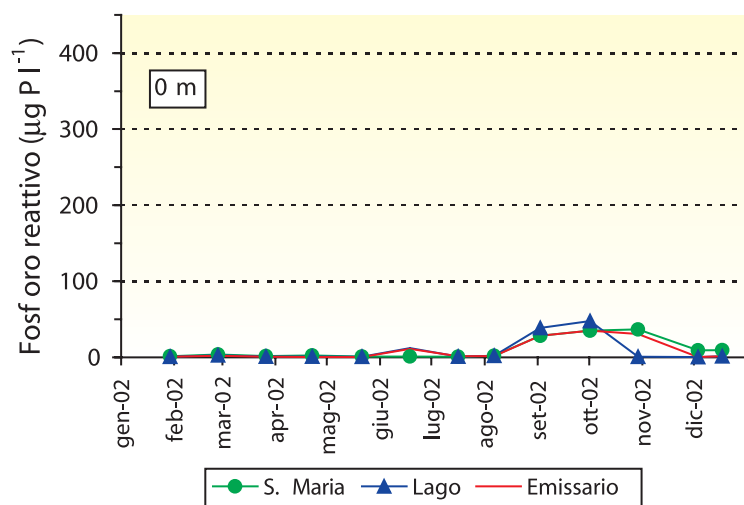


Figura 31

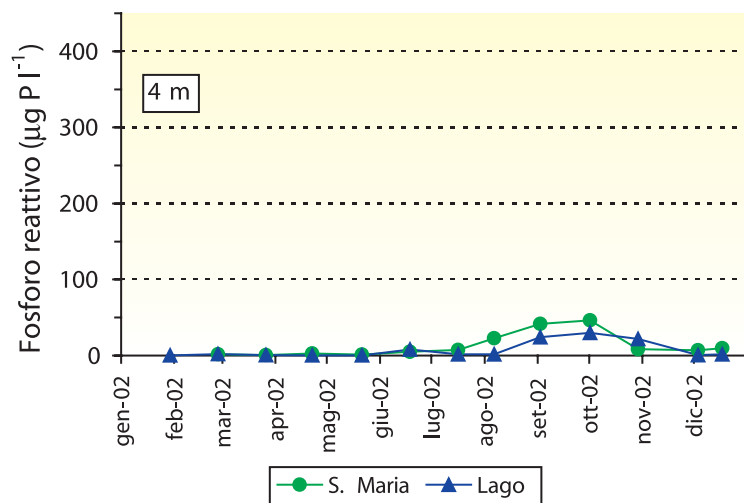


Figura 32

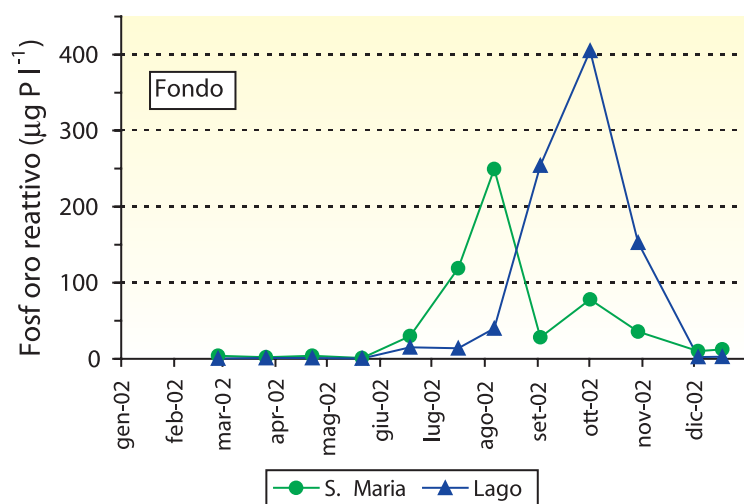


Figura 33

Figure 31-33. Variazioni temporali del fosforo reattivo.

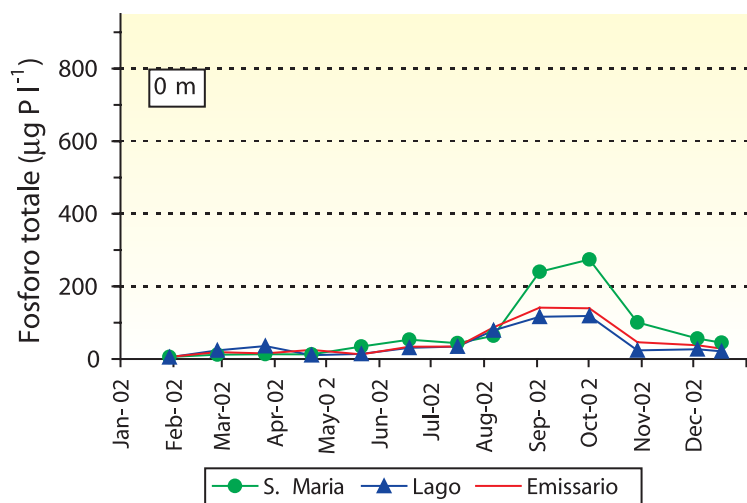


Figura 34

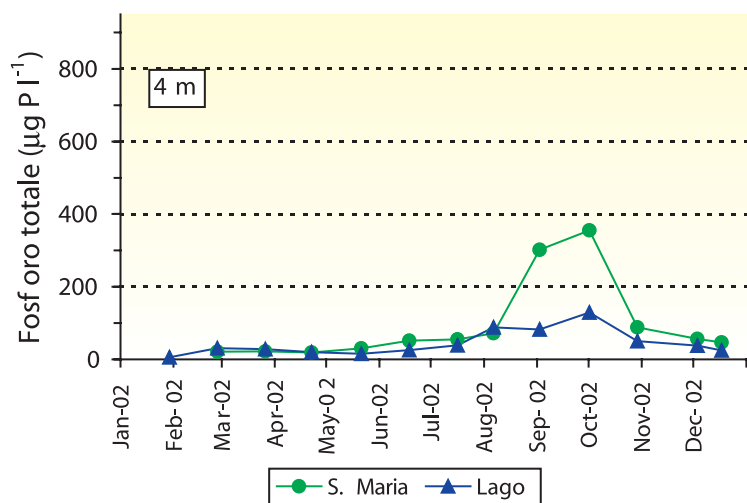


Figura 35

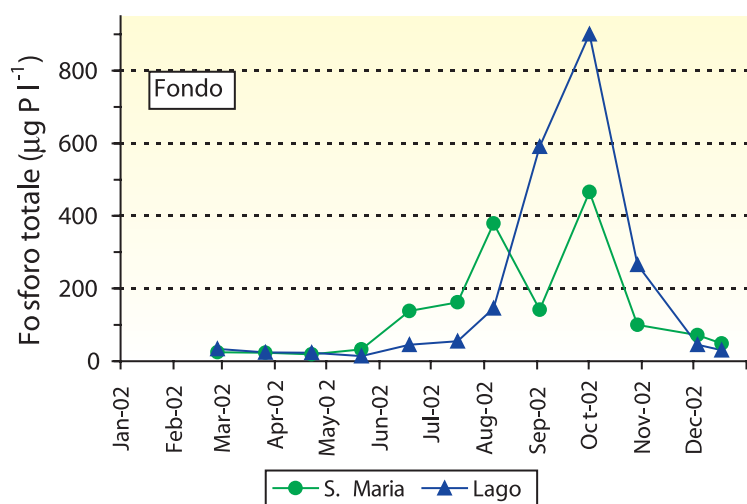


Figura 36

Figure 34-36. Variazioni temporali del fosforo totale.

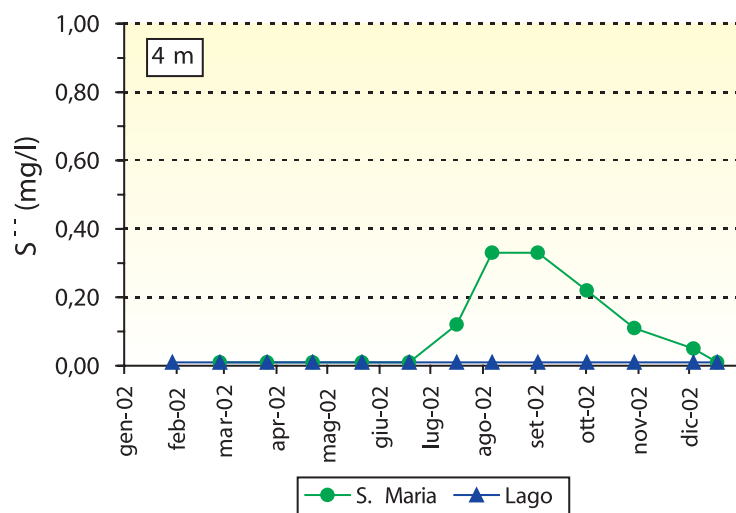


Figura 37

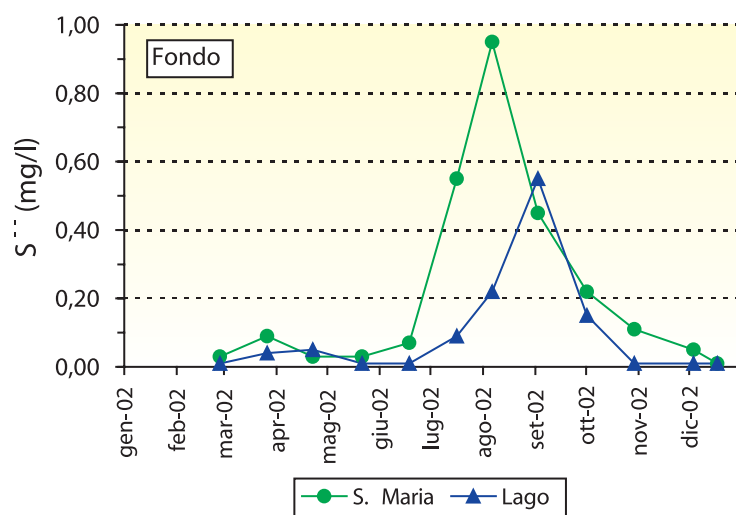


Figura 38

Figure 37-38. Variazioni temporali dei solfuri.

2.5. Fitoplancton, particolato sospeso e trasparenza delle acque

2.5.1. Clorofilla a

Nel Lago di Santa Maria le concentrazioni di clorofilla a nello strato superficiale, a 4 m e a 1 m dal fondo sono variate tra 1,5 e 50 $\mu\text{g l}^{-1}$. A Lago i corrispondenti valori sono rimasti compresi tra poco meno di 1 e 17 $\mu\text{g l}^{-1}$ (figure 39-41).

Nel Lago di Santa Maria è stato possibile individuare almeno tre periodi caratterizzati dallo sviluppo di elevate biomasse fitoplanctoniche, coincidenti con i mesi tardo-invernali (febbraio e marzo), estivi (luglio e agosto) e autunnali (ottobre). Questi tre periodi di elevata crescita algale sono stati determinati dallo sviluppo di differenti gruppi algali (sez. 2.5.2).

Nel Lago di Lago le variazioni della biomassa fitoplanctonica sono apparse più regolari. Le concentrazioni minime di clorofilla a sono state osservate nei mesi più freddi, mentre nel corso dell'estate si è assistito a un progressivo aumento delle biomasse fitoplanctoniche, con i valori più elevati misurati tra luglio e la prima metà di ottobre.

La feofitina a ha presentato le concentrazioni più elevate in prossimità del fondo (figure 42-44). Ciò è dovuto alla forte presenza di pigmenti fotosintetici in fase di degradazione negli strati d'acqua non raggiunti da intensità luminose sufficienti per l'attivazione dei processi fotosintetici.

La drastica diminuzione dei valori di biomassa algale nei prelievi di dicembre è stata determinata, oltre che dalla riduzione delle condizioni favorevoli allo sviluppo del fitoplancton (diminuzione della durata del giorno e dell'intensità della luce, diminuzione della temperatura) anche dall'evento di piena avvenuto tra fine novembre e inizio dicembre (sez. 2.2; foto 4-6), il quale ha prodotto, oltre a una drastica diluizione delle concentrazioni di nutrienti algali, anche un rapido dilavamento delle cellule fitoplanctoniche.

Le concentrazioni di clorofilla a e feofitina a rilevate nell'emissario hanno presentato andamenti temporali del tutto comparabili con quelli rilevati a 0 m nella stazione di centro lago (figure 39 e 42).

Le concentrazioni medie annuali di clorofilla a negli strati produttivi (operativamente compresi tra 0 e 4 m) dei laghi di Santa Maria e Lago sono uguali, rispettivamente, a 19,7 e 7,5 $\mu\text{g l}^{-1}$.

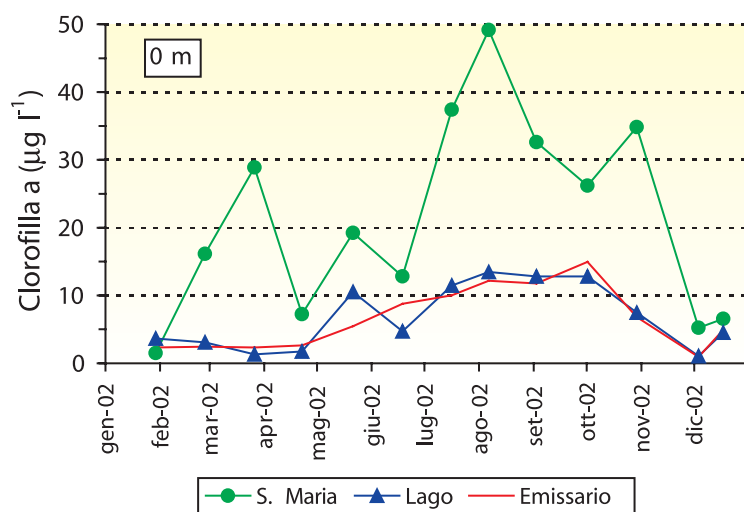


Figura 39

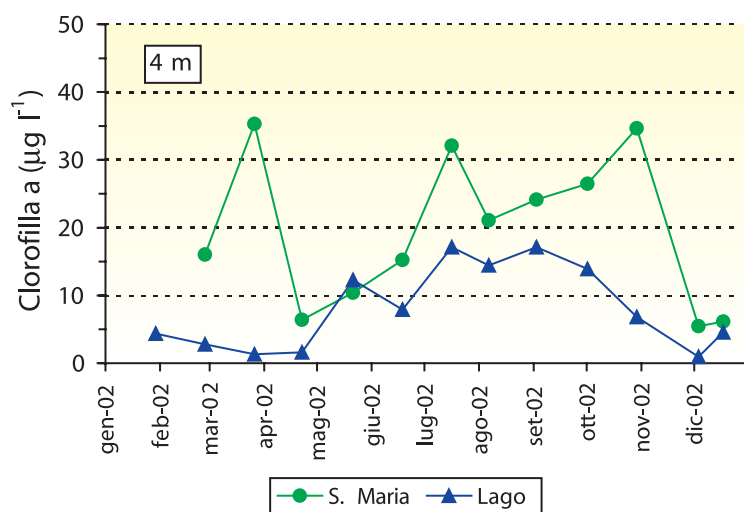


Figura 40

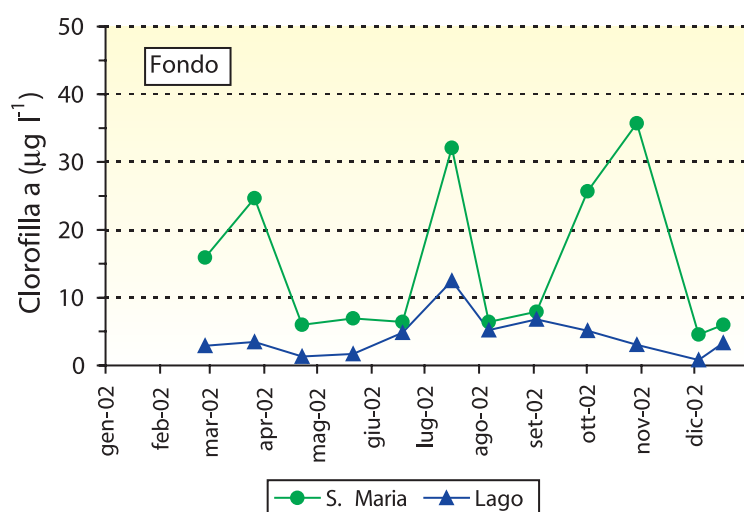


Figura 41

Figure 39-41. Variazioni temporali della clorofilla a.

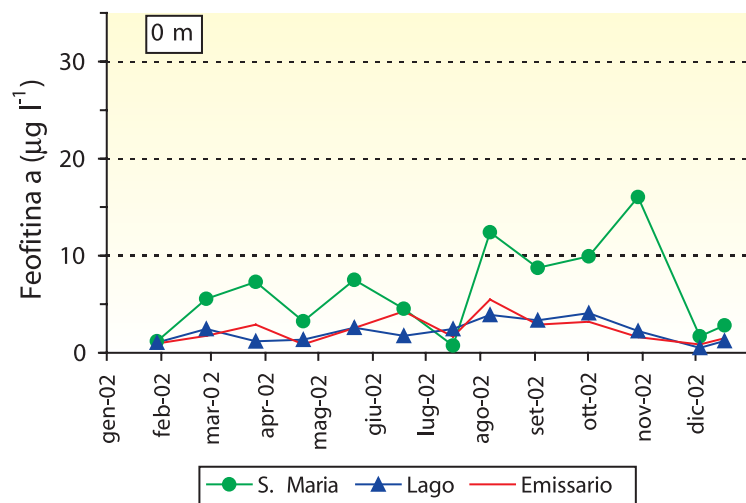


Figura 42

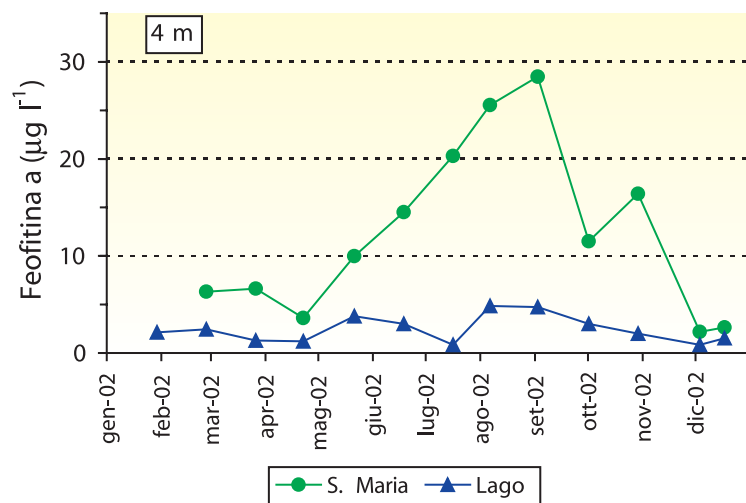


Figura 43

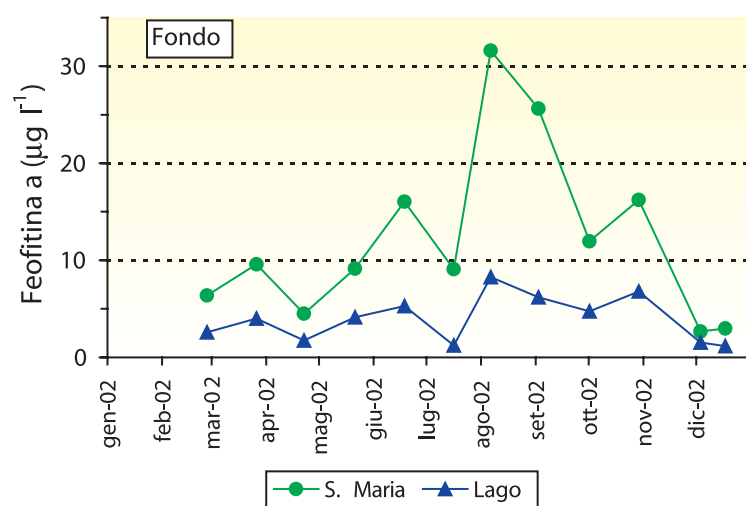


Figura 44

Figure 42-44. Variazioni temporali della feofitina a.

2.5.2. Evoluzione della comunità fitoplanctonica

Le osservazioni microscopiche svolte sui campioni raccolti nei laghi di Santa Maria e Lago hanno permesso di documentare la presenza di una ricca comunità fitoplanctonica, rappresentata da circa 120 taxa. Questo numero è, comunque, decisamente sotto-stimato, in quanto, nel caso di alcune specie rare od occasionali, non si è provveduto ad approfondire ulteriormente l'indagine tassonomica fino al livello di specie; analogamente, nel caso di molti frustoli di diatomee perlopiù litoranee o ticopelagiche (specie cioè solo apparentemente planctoniche, in quanto staccate meccanicamente dai substrati dove erano originariamente attaccate) in fase di conteggio i diversi taxa sono stati raggruppati a livello generico (p. es. *Cymbella*, *Cocconeis* e *Achnanthes*).

La Tab. 8 riporta l'elenco delle specie dominanti rilevate nei due laghi di Revine. I taxa elencati hanno presentato, almeno in una occasione, picchi di densità e/o biovolume superiori a 2000 cell. ml⁻¹ e 200 mm³ m⁻³, rispettivamente. Prima dell'analisi, al fine di evidenziare l'importanza di precisi gruppi funzionali, alcune specie sono state raggruppate assieme a livello generico (p. es. le numerose colonie di *Aphanothece* e *Aphanocapsa*). In termini di dominanza assoluta, nella Tab. 8 i due gruppi algali maggiormente rappresentati sono costituiti dai cianobatteri e dalle cloroficee (17 e 14 taxa, rispettivamente). Le crisoficee, diatomee e criptoficee sono rappresentate da 4-6 taxa, mentre, in termini di biovolume, le dinoficee sono rappresentate solamente dai grandi *Ceratium furcoides*. Nella Tab. 8 non compaiono le euglenoficee; le specie appartenenti a questo gruppo (comprese nei generi *Euglena*, *Phacus* e *Trachelomonas*) hanno sempre presentato densità e biovolumi inferiori ai limiti considerati. Tra le dominanti non sono state considerate le specie indeterminate, le quali sono risultate essenzialmente costituite da ultraplankton (microflagellate e cellule di forma sferoidale, di piccole dimensioni, attorno a 2-4 µm) e da flagellate (con dimensioni molto variabili, in genere tra 5-10 µm).

Le figure 45-46 e 47-48 riportano l'evoluzione temporale delle densità del fitoplancton rilevate nei due strati (0 e 4 m) campionati nei laghi di Santa Maria e Lago, rispettivamente. Nei grafici è stata considerata la distinzione tra la componente determinabile e quella costituita dall'ultraplankton e dalle flagellate. A causa delle elevate differenze riscontrate nell'abbondanza numerica delle due componenti (dovute, come vedremo, ad un elevato sviluppo di cianobatteri coloniali), le densità dalla componente determinabile e dell'ultraplankton/flagellate sono state riportate su due scale differenti. Nei due laghi, e nei due livelli esaminati, la componente determinabile ha presentato andamenti temporali comparabili, con valori massimi di densità totale rilevati nel corso dei mesi estivi e autunnali (tra giugno e ottobre/novembre). Tuttavia, come avremo modo di vedere nei successivi paragrafi, in alcune date questa omogeneità nello sviluppo del fitoplancton nei due laghi è stata solo apparente, a causa di sostanziali differenze rilevate a livello di gruppi algali diversi dai cianobatteri. Se si esclude il prelievo di gennaio, l'ultraplankton presenta, mediamente, densità più elevate a Santa Maria. Le flagellate hanno sempre costituito una frazione relativamente poco abbondante nell'ambito dell'intera comunità.

In tutti livelli esaminati i cianobatteri hanno costituito il gruppo numericamente più abbondante (figure 49-52); rispetto a questo gruppo, e al fine di evidenziarne in dettaglio l'evoluzione temporale, le densità delle altre classi algali nelle figure 49-52 sono state riportate su una scala separata.

Le elevate densità dei cianobatteri nei mesi estivi e autunnali sono state determinate in gran parte da un forte sviluppo di colonie di *Aphanothece* e *Aphanocapsa*. Le specie identificate appartenenti a questi due generi erano costituite da numerosissime cellule di piccole dimensioni (in genere attorno a 1 µm di diametro). A causa delle limitate dimensioni cellulari, l'importanza di queste colonie deve essere comunque valutata criticamente, evitando cioè il rischio di sovrastimare la loro importanza nell'ambito dell'intera comunità. Altri cianobatteri che si sono sviluppati con densità elevate, specialmente a Santa Maria, sono costituiti da *Merismopedia tenuissima*, *Pseudanabaena* sp. e da

		Taxon	
		Densità > 2000 cell. ml ⁻¹	Biovolume > 200 mm ³ m ⁻³
CIANOBATTERI	Anabaena viguieri/planctonica	•	•
	Aphanizomenon gracile	•	•
	Aphanothece/Aphanocapsa spp.	•	•
	cf. Lemmermaniella sp.	•	
	cf. Radiocystis sp.	•	
	Limnotrichoideae ind.	•	
	Merismopedia tenuissima	•	•
	Microcystis aeruginosa	•	•
	Microcystis cf. smithii	•	
	Microcystis sp.	•	•
	Oscillatoriales ind.	•	•
	Planktolyngbya limnetica	•	
	Pseudanabaena sp.	•	•
	Snowella aracnoidea	•	
	Snowella cf. lacustris	•	
	Synechococcoideae	•	•
	Woronichinia spp.	•	
CHLOROPHYCEAE	Ankistrodesmus cf. spiralis		•
	Chlorococcales	•	•
	Closterium acutum		•
	Closterium pronum		•
	Crucigenia cf. tetrapedia	•	•
	Crucigenia sp.	•	
	Dictyosphaerium cf. sphagnale	•	•
	Geminella cf. minor		•
	Kirchneriella contorta	•	
	Monoraphidium minutum	•	
	Scenedesmus spp.	•	•
	Staurastrum sp.		•
	Tetraedron minimum		•
	Ulotrichales	•	•
CHLOROPHYCEAE	Dinobryon bavaricum	•	•
	Mallomonas akrokomos v. parvula	•	•
	Mallomonas spp.		•
	Ochromonadaceae	•	•
BACILLARIOPHYCEAE	Asterionella formosa		•
	Aulacoseira ambigua/granulata		•
	Cyclotella spp.	•	•
	Cymbella sp.		•
	Synedra acus		•
	Synedra ulna		•
DINOPHYCEAE	Ceratium furcoides		•
CRYPTOPHYCEAE	Cryptomonas cf. reflexa		•
	Cryptomonas cf. rostratiformis		•
	Cryptomonas ovata		•
	Plagioselmis nannoplanctica	•	•

Tab. 8. Elenco delle specie dominanti in densità e/o biovolume identificate nei laghi di Revine nel corso del 2002 (spiegazioni nel testo).

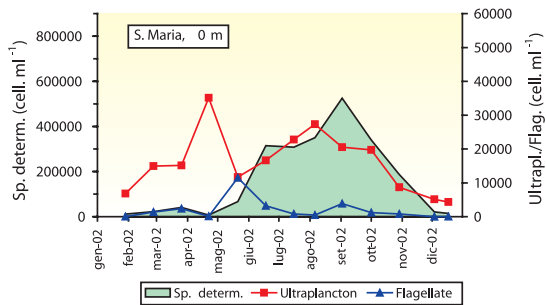


Figura 45

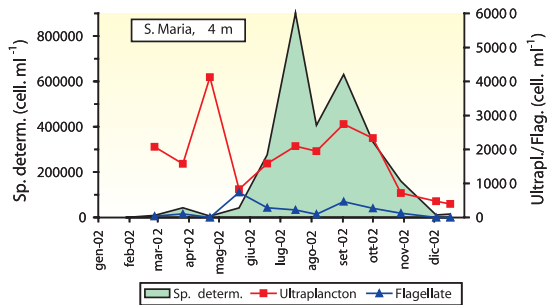


Figura 46

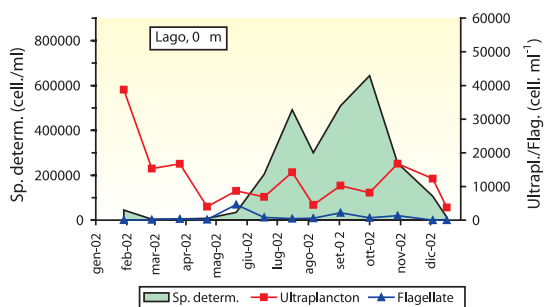


Figura 47

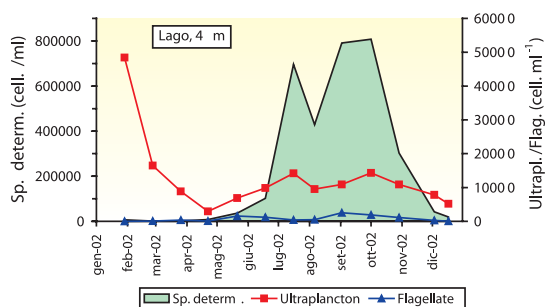


Figura 48

Figure 45-48. Variazioni temporali delle densità fitoplanctoniche suddivise per componente determinabile, ultraplankton e flagellate.

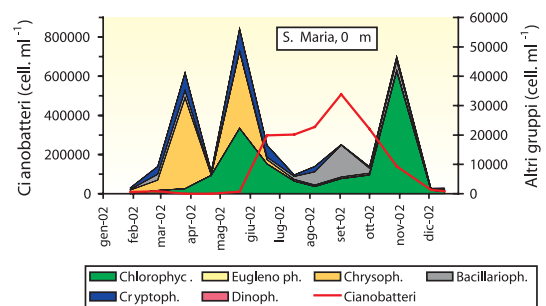


Figura 45

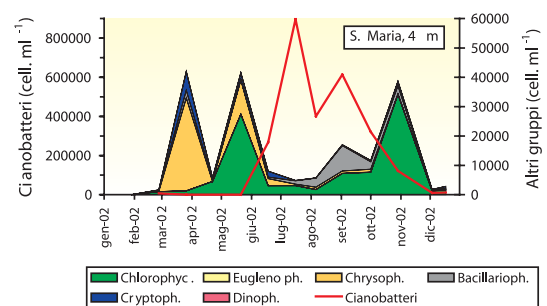


Figura 46

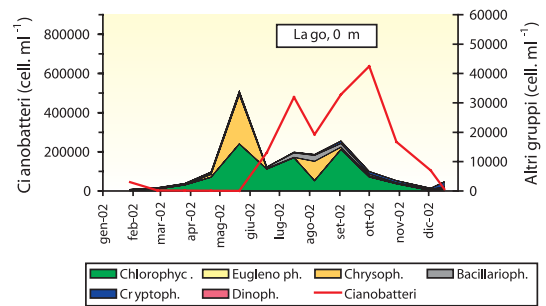


Figura 47

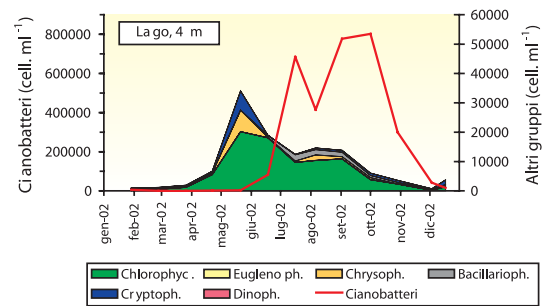


Figura 48

Figure 49-52. Variazioni temporali delle densità fitoplanctoniche suddivise per gruppi algali.

sottili filamenti ascrivibili alle Oscillatoriales. Sempre nell'ambito di questo gruppo è apparso particolarmente significativo l'aumento delle Nostocales tra luglio e ottobre, specialmente nel Lago di Santa Maria. Elemento distintivo delle Nostocales è la capacità di fissare l'azoto atmosferico in azoto organico. I cianobatteri appartenenti a questo ordine possono contare quindi su di una riserva supplementare di questo elemento rispetto agli altri organismi fotosintetici. Nei due laghi di Revine il massimo sviluppo delle Nostocales (costituite da *Anabaena viguieri*/planctonica e *Aphanizomenon gracile*) è avvenuto in concomitanza con il raggiungimento delle minime concentrazioni di azoto inorganico negli strati produttivi (sez. 2.4.1). I restanti cianobatteri elencati nella Tab. 8 comprendono numerose Chroococcales (*Microcystis*, *Snowella*, *Woronichinia*, *Radiocystis*, *Lemmermaniella*, *Synechococcoideae*) e due Oscillatoriales (*Planktolyngbya* limnetica, *Limnotrichoideae*) presenti sempre nel corso dei mesi estivi e/o autunnali.

Le rimanenti classi algali hanno sempre presentato, complessivamente, densità inferiori a 60000 cell. ml⁻¹. I gruppi che hanno raggiunto le densità più elevate sono rappresentati dalle crisoficee e dalle cloroficee e, limitatamente al Lago di Santa Maria, dalle diatomee (figure 49-52). In genere, lo sviluppo della comunità nei due laghi ha presentato caratteristiche paragonabili nei due strati campionati (0 e 4 m).

Le crisoficee a Santa Maria hanno presentato due distinti picchi di densità, dovuti a un cospicuo sviluppo di *Dinobryon bavaricum* in marzo, e a numerose cellule ascrivibili alle Ochromonadaceae (*Ochromonas* sp.?) in maggio. Nel Lago di Lago lo sviluppo di *Dinobryon* in marzo è stato decisamente inferiore rispetto a quanto rilevato nel Lago di Santa Maria, mentre le Ochromonadaceae si sono sviluppate in modo significativo anche in agosto. In entrambi i laghi particolare rilevanza, specie in alcune date, hanno assunto anche numerose specie di *Mallomonas*.

Nel Lago di Santa Maria le cloroficee hanno presentato il loro massimo sviluppo immediatamente prima e dopo i massimi di densità estivi e autunnali dei cianobatteri (figure 49-50). In entrambi i casi le maggiori densità sono state determinate da un preponderante sviluppo di Chlorococcales, costituite da forme difficilmente classificabili tra maggio e giugno (colonie con cellule sferiche), e da *Crucigenia* spp. e *Scenedesmus* spp. verso la fine di ottobre. Rilevante importanza ha assunto, soprattutto per il loro maggiore biovolume specifico, l'elevato sviluppo delle coniugatoficee nei mesi autunnali (*Closterium acutum* e *C. pronum*). Rispetto a Santa Maria l'evoluzione temporale delle cloroficee nel Lago di Lago si è distinta per uno sviluppo significativo anche nei mesi estivi (dovuto a numerose Chlorococcales, tra cui *Kirchneriella contorta*) e per l'assenza del picco autunnale (figure 51-52). Altre cloroficee dominanti elencate nella Tab. 8 comprendono i generi *Ankistrodesmus*, *Dictyosphaerium*, *Geminella*, *Kirchneriella*, *Monoraphidium*, *Staurastrum* e *Tetraedron*.

Le diatomee si sono sviluppate con numerose *Cyclotella* spp. soprattutto nel Lago di Santa Maria, in estate. Le altre diatomee dominanti riportate in Tab. 8 sono costituite da specie di grandi dimensioni (*Asterionella*, *Aulacoseira* e *Synedra*).

Le dinoficee e le criptoficee elencate in Tab. 8 si sono sviluppate con minori densità rispetto alle altre specie dominanti (inferiori a 100 cell. ml⁻¹ nel caso delle dinoficee); d'altra parte, a causa delle loro cospicue dimensioni (particolarmente *Ceratium*), queste due componenti hanno presentato una notevole importanza in termini di biomassa (cf. Tab. 8).

2.5.3. Peso secco e torbidità

I valori di peso secco (frazione organica più residuo fisso) nei laghi di Santa Maria e Lago sono variati rispettivamente tra poco più di 1 e 16 mg l⁻¹, e tra 0,9 e 11,3 mg l⁻¹. La frazione organica del peso secco (figure 53-55) ha mostrato una stretta dipendenza dall'evoluzione della biomassa fitoplanctonica, misurata come clorofilla a. In particolare, negli strati produttivi (0 e 4 m) queste due variabili hanno presentato una forte dipendenza lineare ($r^2=0,79$; $P<0,01$).

In genere, negli strati tra 0 e 4 m la frazione inorganica del peso secco ha presentato valori meno elevati rispetto alla componente organica. A causa della maggiore influenza dei sedimenti, le frazioni inorganica e organica in prossimità del fondo sono state invece rilevate spesso con valori comparabili (figure 56-58).

Tra 0 e 4 m i valori di torbidità hanno mostrato un progressivo aumento verso i mesi estivi sia a Santa Maria sia a Lago (figure 59-61). Le torbidità più elevate rilevate a Santa Maria sono da mettere in relazione con il maggiore sviluppo di biomassa algale rispetto a Lago. Analogamente a quanto osservato per la frazione inorganica del peso secco, l'aumento della torbidità nei campioni di fondo raccolti nei due laghi potrebbe essere dovuto all'effetto dei sedimenti sull'acqua immediatamente sovrastante il fondo, effetto che prevarrebbe sulle altre cause (particellato algale in sedimentazione).

In modo del tutto analogo a quanto osservato per i pigmenti fotosintetici, le concentrazioni di peso secco/sostanza organica e i valori di torbidità rilevati nell'emissario hanno presentato andamenti temporali pienamente confrontabili con quelli rilevati nella zona pelagica del Lago di Lago (figure 53 e 59). Gli andamenti della frazione inorganica del peso secco, invece, hanno presentato alcune differenze nelle due stazioni esaminate (Fig. 56).

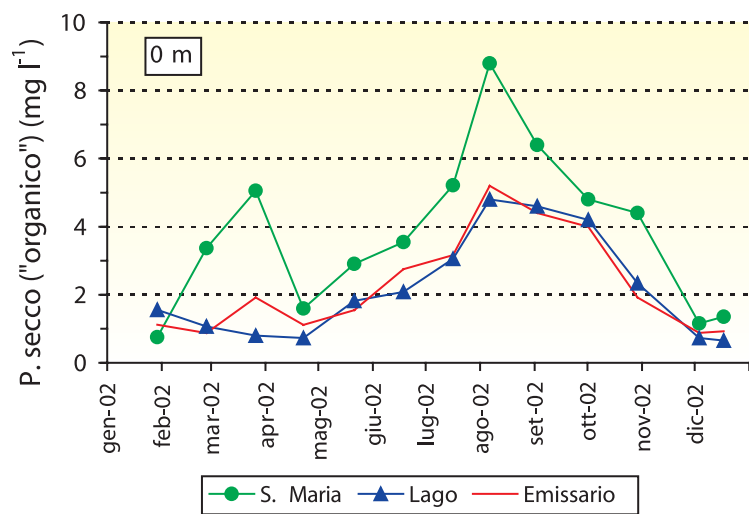


Figura 53

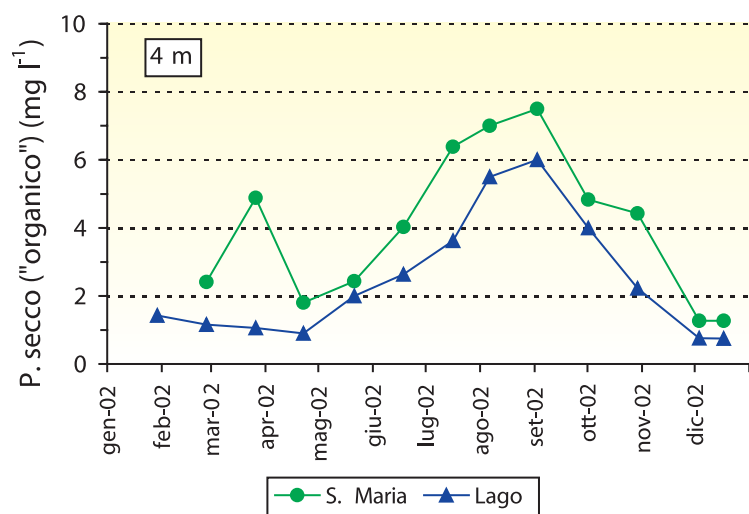


Figura 54

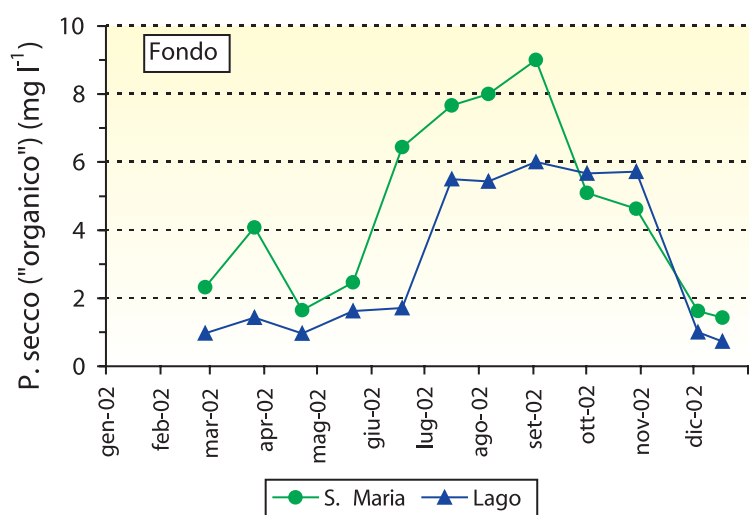


Figura 55

Figure 53-55. Variazioni temporali della frazione "organica" del peso secco.

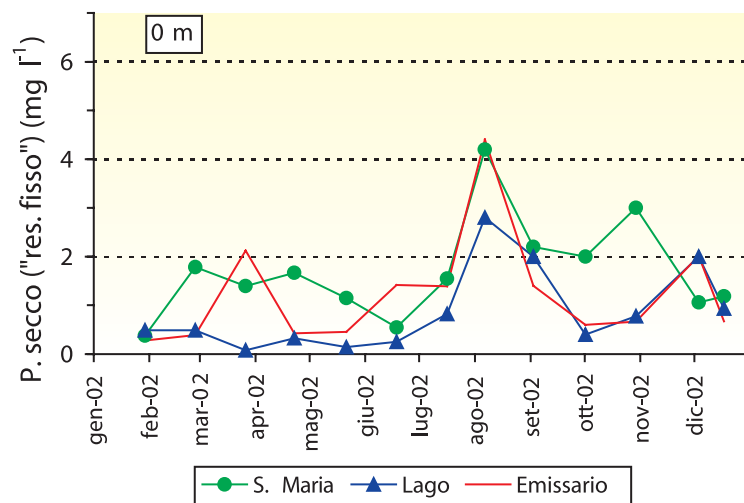


Figura 56

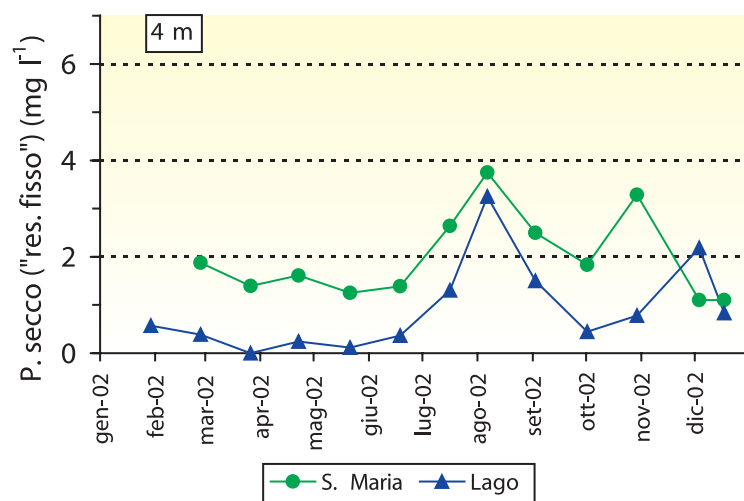


Figura 57

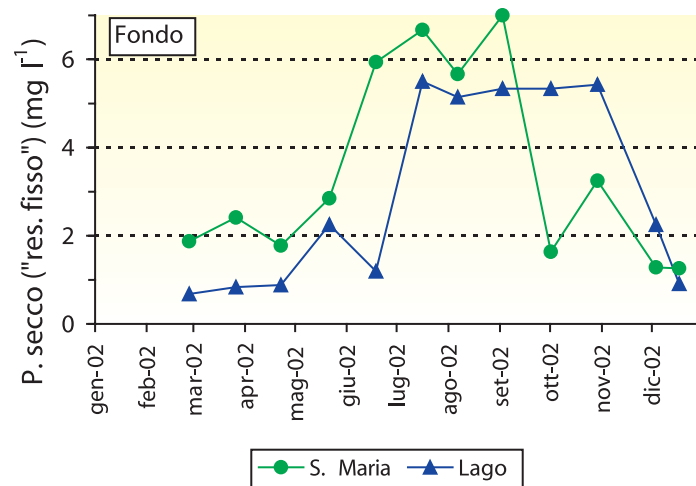


Figura 58

Figure 56-58. Variazioni temporali della frazione "inorganica" del peso secco (residuo fisso a 550 °C).

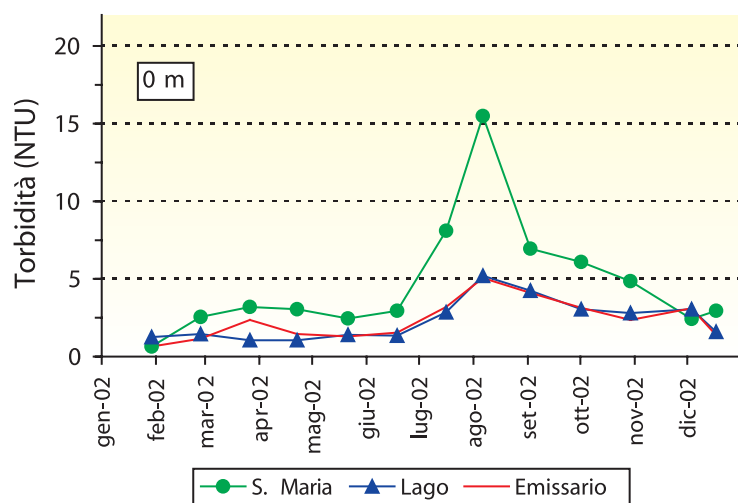


Figura 59

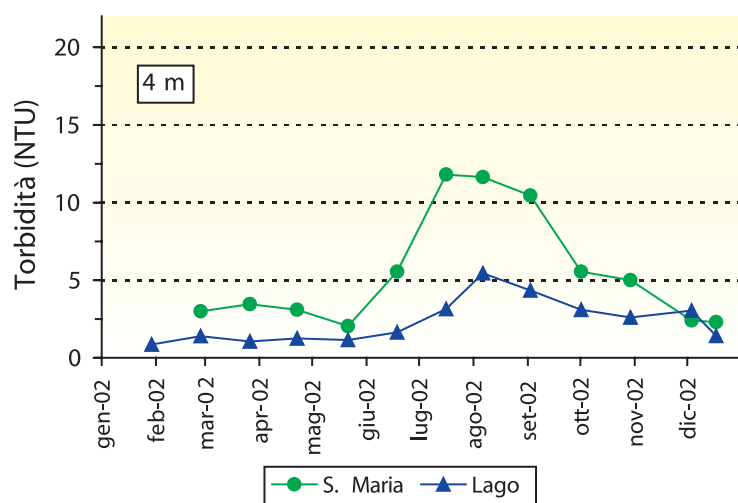


Figura 60

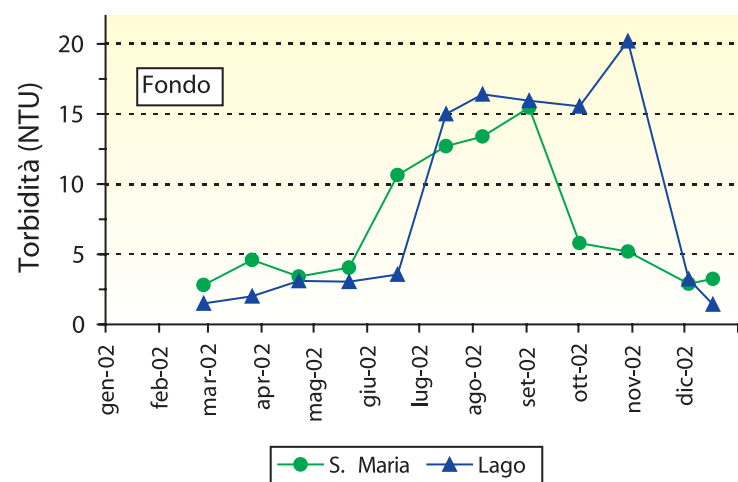


Figura 61

Figure 59-61. Variazioni temporali della torbidità.

2.5.4. Trasparenza delle acque

Le misure eseguite con il disco di Secchi a Santa Maria e a Lago sono variate, rispettivamente, tra 1,0 e 2,0 m, e tra 1,5 e 5,0 m. Nei due bacini le minori trasparenze sono state rilevate nei mesi tardo estivi e autunnali, tra giugno/luglio e novembre (Fig. 62). Le trasparenze più elevate sono state riscontrate nei mesi più freddi, in coincidenza con il limitato sviluppo algale (figure 39-41 e 45-48). I livelli di trasparenza delle acque hanno mostrato una stretta dipendenza sia dall'abbondanza fitoplanctonica sia dalla frazione organica del peso secco rilevate in superficie. Previa linearizzazione dei dati mediante trasformazione logaritmica, le regressioni lineari tra i valori del disco di Secchi da una parte, e i valori di clorofilla *a*, densità fitoplanctonica e peso secco (fraz. organica) dall'altra forniscono risultati sempre altamente significativi ($r^2=0,70$, $0,52$ e $0,72$, rispettivamente; $P<0,01$). Nel caso del particolato sospeso, l'inclusione nell'analisi di regressione anche del residuo fisso (cioè della componente inorganica) incrementa di circa il 10% la varianza spiegata rispetto alla regressione effettuata con la sola componente organica ($r^2=0,81$, $P<0,01$).

Su base annuale i valori medi del disco di Secchi nei due laghi sono uguali a 1,7 e 2,8 m (Santa Maria e Lago, rispettivamente).

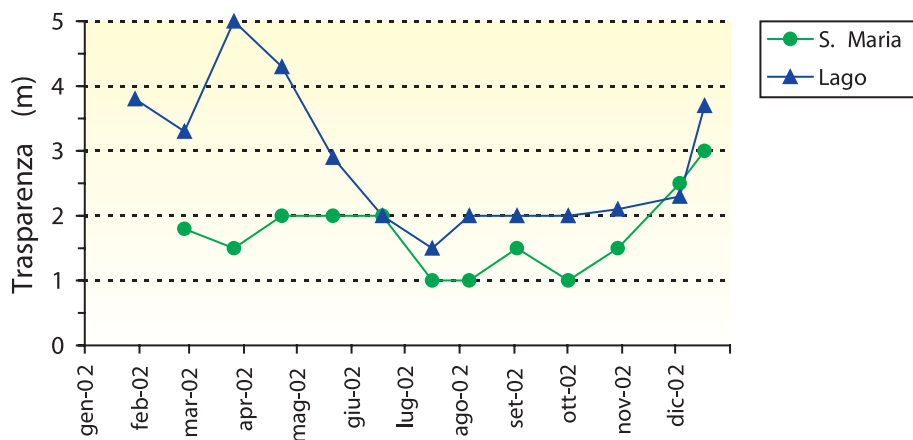


Fig. 62. Variazioni temporali dei valori del disco di Secchi.

2.6. Classificazione trofica

Nella Tab. 9 sono stati riportati i parametri utilizzati dall'OECD (1982) per la classificazione trofica dei corpi lacustri, e cioè i valori medi annuali di fosforo totale (in questo caso calcolati sia per lo strato produttivo sia per l'intero volume d'acqua), i valori medi e massimi annuali di clorofilla a e i valori medi e minimi annuali di trasparenza (disco di Secchi). I parametri presi in considerazione confermano l'elevato stato trofico dei due laghi di Revine. Tuttavia, mentre il Lago di Santa Maria presenta condizioni di piena eutrofia, il Lago di Lago può essere considerato in condizioni al limite inferiore dell'eutrofia.

			S. Maria	Lago
P-tot $\mu\text{g P l}^{-1}$	Media annuale	0 - 4 m	80	43
P-tot $\mu\text{g P l}^{-1}$	Media annuale	0 m - Fondo	95	85
Chl a $\mu\text{g l}^{-1}$	Media annuale	0 - 4 m	19,7	7,5
Chl a $\mu\text{g l}^{-1}$	Massimo annuale	0 - 4 m	35,1	15,0
Trasp. m	Media annuale		1,7	2,8
Trasp. m	Minimo annuale		1,0	1,5

Tab. 9. Parametri utilizzati dall'OECD (1982) per la classificazione trofica dei laghi.

La condizione di grave compromissione del Lago di Santa Maria è confermata da un'ulteriore osservazione svolta il 27 novembre 2001, in occasione di un'uscita effettuata allo scopo di mettere a punto la strumentazione da utilizzare per la campagna di rilievi del 2002. In quella occasione il lago presentava una intensa colorazione verde, dovuta a un forte sviluppo di cloroficee (*Closterium* spp.). Nei campioni raccolti alla superficie e a 6 m furono misurate concentrazioni di clorofilla a molto alte, tra 80 e 95 $\mu\text{g l}^{-1}$, tipiche di condizioni ipertrofiche. Tali risultati sottolineano l'elevata variabilità con cui può svilupparsi, da un anno all'altro, la comunità fitoplanctonica in un bacino caratterizzato da un elevato livello trofico. Più in generale, le variazioni nello sviluppo algale nei bacini eutrofici ricadono in un intervallo molto più ampio se confrontate con quelle osservate in bacini di livello trofico tendente verso l'oligotrofia o la mesotrofia (p. es. i laghi profondi sudalpini; Salmaso, 2000).

La corretta interpretazione del livello trofico, ai fini di una successiva formulazione di proposte volte al mantenimento o al miglioramento di un determinato livello qualitativo delle acque dei laghi di Revine, richiede la conoscenza sia dei carichi di nutrienti (P e N) sia della quantità di acqua affluita e defluita dagli stessi (e quindi dei tempi di ricambio delle acque) (OECD, 1982; Harper, 1992). Inoltre, in considerazione delle elevate quantità di fosforo e azoto riscontrate al fondo durante la massima stratificazione estiva e in condizioni di ipossia, una corretta interpretazione dei fattori agenti sul livello trofico dei laghi deve tenere in debita considerazione anche la valutazione dei carichi di nutrienti originati internamente. L'assenza di queste informazioni rende del tutto inapplicabili i modelli sviluppati per la definizione dei carichi di nutrienti che un lago può sostenere per rimanere entro una determinata categoria trofica.

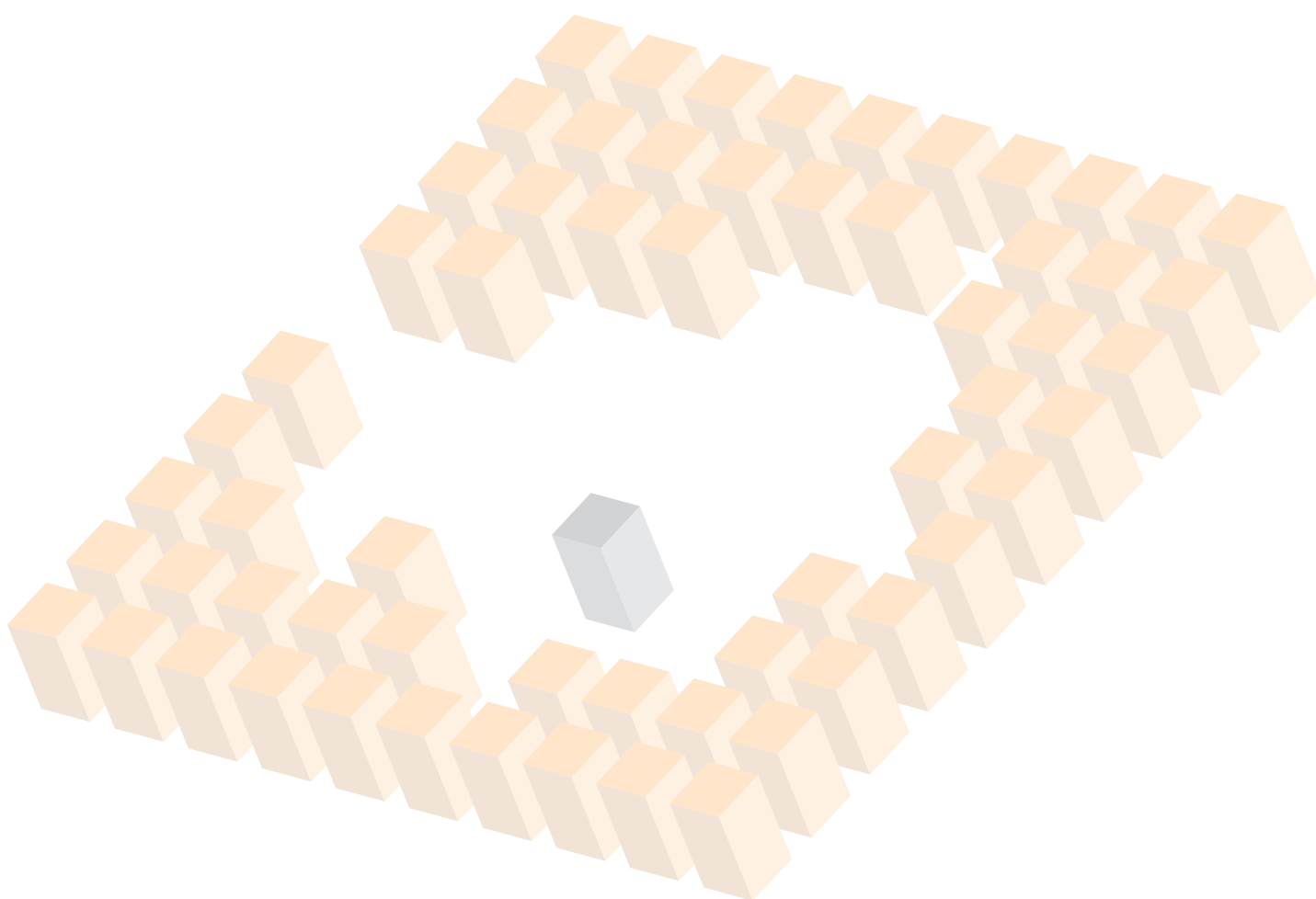
Al momento attuale, pertanto, i punti critici che impediscono una valutazione precisa del sistema consistono nella mancanza di informazioni accurate circa la provenienza, qualità e quantità degli afflussi di acqua sia "naturale" (di dilavamento e sotterranea) sia di origine esclusivamente antropica (reflui civili), e nell'assenza di stime quantitative sull'effettivo rilascio areale annuo di nutrienti dal fondo dei due bacini e – possibilmente - dalla decomposizione delle macrofite.

Se si escludono le basse concentrazioni rilevate a gennaio sotto la copertura ghiacciata, i valori più bassi di fosforo totale rilevati negli strati trofogenici (tra 10 e 35 $\mu\text{g P l}^{-1}$ tra febbraio e giugno) sono tipici di laghi con caratteristiche mesotrofe. Al contrario, il contenuto di P nei mesi tardo estivi e autunnali appare tipico di condizioni eutrofiche e ipereutrofiche. Se confrontate con le concentrazioni di P estivo, le concentrazioni di azoto inorganico disciolto sono piuttosto basse, suggerendo la possibilità, per molte specie algali, di svilupparsi in condizioni di azoto-limitazione. I periodi di scarsa disponibilità di azoto inorganico hanno visto un significativo sviluppo di cianobatteri azotofissatori.

Uno degli effetti più evidenti e conosciuti dell'eutrofizzazione è costituito dall'eccessivo consumo estivo di ossigeno ipolimnetico. Nel corso della stratificazione termica - e quindi in condizioni di assenza di scambi con l'atmosfera - le riserve di ossigeno negli strati più profondi di un lago possono venire velocemente consumate a seguito di un eccessivo apporto di sostanza organica autoctona (prodotta all'interno del bacino lacustre, da parte del fitoplancton e macrofite) o alloctona (proveniente dall'esterno, per es. da affluenti fortemente inquinati da scarichi civili). Nel caso dei laghi di Santa Maria e Lago il consumo di ossigeno sembra in gran parte derivare dall'alta quantità di sostanza organica di origine fitoplanctonica proveniente dagli strati trofogenici; in minor misura, anche la mineralizzazione delle macrofite alla fine del periodo vegetativo potrebbe contribuire al deficit di ossigeno osservato. La riduzione dell'ossigeno ipolimnetico nei due laghi ha conseguenze estremamente negative sia per l'ambiente chimico che per i potenziali effetti sulle comunità biologiche. Nella sez. 2.4.2 è stato sottolineato come l'instaurarsi di condizioni anossiche possa portare ad un aumento del rilascio di P dai sedimenti; ciò può determinare un effetto a spirale, causando un aggravamento delle condizioni trofiche dei bacini. A causa del minore volume dell'ipolimnio e delle minori riserve di ossigeno disponibili per la degradazione della sostanza organica proveniente dagli strati trofogenici, il Lago di Santa Maria presenta una maggiore vulnerabilità rispetto alla comparsa di condizioni ipossiche e anossiche. Nel corso della presente ricerca una evidente condizione di ipossia nel bacino più piccolo, con concentrazioni di O_2 inferiori a 3 mg l^{-1} tra giugno e agosto, è stata evidenziata già a 4 m di profondità. A queste concentrazioni molte specie di pesci iniziano a subire un rallentamento delle loro attività vitali.

La formazione di condizioni riducenti nell'ipolimnio dei due laghi ha avuto profonde conseguenze sulla speciazione chimica dei composti dell'azoto e dello zolfo nel corso della massima stratificazione estiva. Le basse concentrazioni ipolimnetiche di ossigeno, associate a un aumento delle concentrazioni di ammoniaca e acido solfidrico, sono in grado di precludere lo sviluppo ottimale della vita acquatica. Nel corso del presente studio, comunque, le concentrazioni minime di O_2 nei campioni di superficie hanno raggiunto valori attorno a 4 mg l^{-1} (Santa Maria) e 5 mg l^{-1} (Lago), mentre le concentrazioni di NH_3 e H_2S sono sempre rimaste largamente al di sotto dei limiti considerati pericolosi. D'altra parte, non è da escludere che, in particolari anni caratterizzati da condizioni di spiccata anossia estiva al fondo e successiva omogeneizzazione autunnale dei laghi, rilevanti situazioni di ipossia, associate a concentrazioni misurabili di composti tossici, possano interessare anche ampi strati di acqua in prossimità della superficie.

A conclusione di questa sezione è necessario sottolineare pertanto la forte predisposizione di questi laghi a sviluppare elevate quantità di sostanza organica di origine algale. Ciò è dovuto alla loro limitata profondità, all'assenza di un immissario in grado di garantire un costante afflusso di acqua con concentrazioni di fosforo e azoto accettabili e alla formazione di carichi interni di nutrienti (dovuti al rilascio dai sedimenti e alla degradazione tardo estiva e autunnale delle macrofite). In questo quadro generale, situazioni di elevato livello trofico potranno mantenersi tali anche in presenza di moderati o bassi carichi alloctoni di nutrienti. Ferma rimane, comunque, la necessità di acquisire in futuro informazioni attendibili sul bilancio idrico e sulla natura e quantità dei carichi di fosforo e azoto.



3. CONCLUSIONI

3.1. Lavoro svolto

L'attività sui laghi di Revine si proponeva di realizzare una descrizione complessiva delle caratteristiche dei bacini mediante uno studio annuale con metodiche moderne. Al termine del lavoro si è raggiunto l'obiettivo della descrizione dei fattori fisici e biologici che interagiscono determinando le peculiarità ambientali di questi corpi idrici. E' importante aver documentato i valori medi dei vari parametri e il loro intervallo di variazione nel ciclo annuale: si tratta di informazioni di riferimento per valutare le eventuali modifiche in atto nei bacini. In futuro sarà possibile confrontare le situazioni che si verificano in quel dato momento con la situazione relativa al corrispondente periodo del 2002; sarà immediato valutare se si è avuto un cambiamento significativo, documentare eventuali peggioramenti o, è sperabile, miglioramenti delle condizioni delle acque. Si potranno quantificare i cambiamenti, e si avranno le basi per individuarne le cause. Questo rappresenta un punto fermo nella storia dello studio di questi laghi.

3.2. Carenze conoscitive

Non va trascurato il fatto che le informazioni morfometriche ed idrologiche attualmente disponibili sono insufficienti. Entità e distribuzione nel tempo della quantità d'acqua invasata e dei suoi scambi con i comparti circostanti rappresentano dati di enorme importanza per la comprensione del metabolismo lacustre: i processi chimici e biologici in atto nel bacino sono, infatti, influenzati dalle condizioni fisiche della massa idrica in cui si svolgono. E' abbastanza intuitivo il fatto che i meccanismi ecologici di un lago possono diversificarsi, a parità di volume invasato, in base al tempo di residenza delle acque; ovvero, utilizzando termini più immediati, a seconda della vivacità del ricambio idrico. Se si fissa l'attenzione sul differente aspetto che può assumere una massa d'acqua stagnante, e la stessa massa in cui l'acqua sia invece in movimento, chiunque riesce ad immaginare visivamente le due situazioni che ne risultano. Il rinnovo delle acque è una delle proprietà caratterizzanti un corpo idrico. Ogni valutazione funzionale relativa ai laghi - carichi inquinanti, livello trofico, capacità di autodepurazione - ha come base indispensabile una aggiornata conoscenza della situazione idrologica dei bacini.

3.3. Compiti da eseguire

La conoscenza dei flussi idrici tra bacini, falda, reticolo superficiale e atmosfera permette di realizzare un bilancio idrologico, strumento concettuale che inquadra i vari contributi all'idrologia dei bacini. Per raggiungere questo obiettivo nei Laghi di Revine bisogna porre rimedio a qualche carenza. Manca una batimetria aggiornata, a partire dalla quale siano possibili valutazioni delle variazioni di volume d'acqua invasato sulla base di misure di livello idrometrico. Si dovrà anche disporre di una valutazione qualitativa e quantitativa degli scambi idrici tra l'acqua sotterranea e i laghi. I due laghi sono in continuità con la falda e tra laghi e falda si può avere scambio d'acqua in entrambi i sensi. La misura di questi scambi può essere ottenuta con studi idro-

geologici finalizzati. Sulla base di queste informazioni, e considerando il deflusso complessivo attraverso la Tajada, sarà possibile costruire un bilancio idrologico ragionevolmente preciso. In attesa di queste realizzazioni, un continuo rilievo dei livelli dei laghi e della portata della Tajada è un'esigenza minimale e primaria.

3.4. Linee generali di gestione

Il Veneto ha diversi bacini artificiali, ma pochi laghi completamente naturali: se escludiamo la parte veneta del Garda, i più importanti corpi idrici naturali sono costituiti dai soli laghi di Alleghe, Misurina, Fimon e Revine (Santa Maria e Lago). Già questo fatto dovrebbe evidenziare l'importanza della loro tutela. La corretta gestione ambientale si fonda sulla conoscenza ecologica; non si mette mai abbastanza in guardia dell'imprevedibilità delle conseguenze di interventi di modifica non basati su conoscenze sicure. Per questo, anche se il presente studio non ha affrontato aspetti gestionali, merita svolgere alcune considerazioni generali valide per i laghi poco profondi, quali i nostri.

In questi laghi assume grande rilevanza il carico interno, cioè la capacità dei sedimenti di rifornire di nutrienti algali il corpo idrico. Si può avere un innalzamento del livello trofico dovuto non a carichi provenienti dalle acque superficiali che si immettono nel lago, ma derivante appunto da un rilascio interno al lago. Ciò avviene nei periodi di assenza di ossigenazione al fondo: combattere l'anossia delle zone profonde è evidentemente la strategia migliore per limitare questo rilascio.

Va anche ricordato il ruolo delle macrofite, le quali assumono importanza nel consumo e riciclo dei composti di fosforo e azoto e nella diversificazione dell'ambiente lacustre, costituendo una zona di rifugio per molti organismi viventi. La biomassa vegetale delle macrofite emerse e sommerse (sia nella fase di crescita vegetativa che nella successiva degradazione) è un comparto dell'ecosistema per il quale il calcolo dei flussi di nutrienti è indispensabile. La conoscenza di questi dati e la comprensione delle dinamiche dei carichi di nutrienti sono il fondamento di una consapevole programmazione di interventi gestionali.

Da un punto di vista generale si può delineare una strategia di conservazione basata sullo stretto controllo degli scarichi a lago ed una corretta gestione delle macrofite di riva. In questo quadro sono raccomandabili per questi ambienti una serie di utilizzazioni, quali l'osservazione naturalistica (sia in un quadro didattico scolastico che nell'ambito di un turismo ecologico), attività controllate di pesca e navigazione senza motore, un impiego oculato per la balneazione.

Quella indicata è una linea prudente di conservazione e tutela. Più complesso e articolato, ed al di fuori dei limiti di questo lavoro, è l'atteggiamento da adottare volendo intraprendere azioni di miglioramento, nel quadro di un abbassamento del livello trofico. Non si deve sottovalutare l'estrema complessità dei meccanismi attivi in laghi di questo tipo, e la grande cautela con la quale è consigliabile intervenire con manipolazioni od opere su questi ambienti. Va ricordato che in ogni caso andranno individuati obiettivi realistici, che le condizioni di partenza e di arrivo andranno documentate su base quantitativa (misure precise su variabili significative). Decidendo di intervenire su un bene ambientale di questa importanza non si dovrà tollerare alcuna genericità negli obiettivi o approssimazione nelle modalità operative. Si tratterà di effettuare studi finalizzati, che dovranno partire da un sicuro bilancio idrologico, individuare diverse ipotesi operative e considerarne infine comparativamente costi e benefici. Dal punto di vista pratico serviranno indicazioni operative e relative procedure, da mettere a punto in funzione delle risorse disponibili e del coinvolgimento e consenso delle comunità locali.

AA. VV., 1978. Revine Lago. Ed. Cassa Rurale ed Artigiana delle Prealpi Ca Ri Prealpi Trevigiane, Regione Veneto. Preganziol, pp.278.

APHA, AWWA & WEF., 1995. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th edn, American Public Health Association, Washington.

Comune di Revine Lago, 1996. **Studio geologico per la formulazione della variante al P.R.G. Vigente. Relazione, Tavv. 10.1 – carta geomorfologica, 10.9 – carta delle penalità ai fini edificatori, 10.2 – carta geolitologica, 10.4 – carta idrogeologica**. A cura del Dott. Geol. Tomio E.

Comune di Revine Lago, marzo 1997. **Studio delle risorse idriche del territorio comunale. 1° fase – Individuazione delle risorse**. A cura dello Studio Geologico Veneto.

Harper, D.M. (1992). **Eutrophication of freshwaters**. Chapman & Hall, London, 327 pp.

Lund, J.W.G., C. Kipling & E.D. Le Cren, 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia** 11: 143-170.

OECD. 1982. **Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control**. OECD, Paris: 154 pp.

Provincia di Treviso, Assessorato alla Pianificazione Territoriale, 1995. Comunità Montana delle Prealpi Trevigiane, Comuni di Cison di Valmarino, Revine Lago e Tarzo. Legge 08.06.90, n. 142 – Legge Regionale 27.06.85, n. 61. **Piano di settore ambientale e paesaggistico dei laghi di Revine e di Tarzo. Relazione fase A**. Progettista Arch. M. Mamoli.

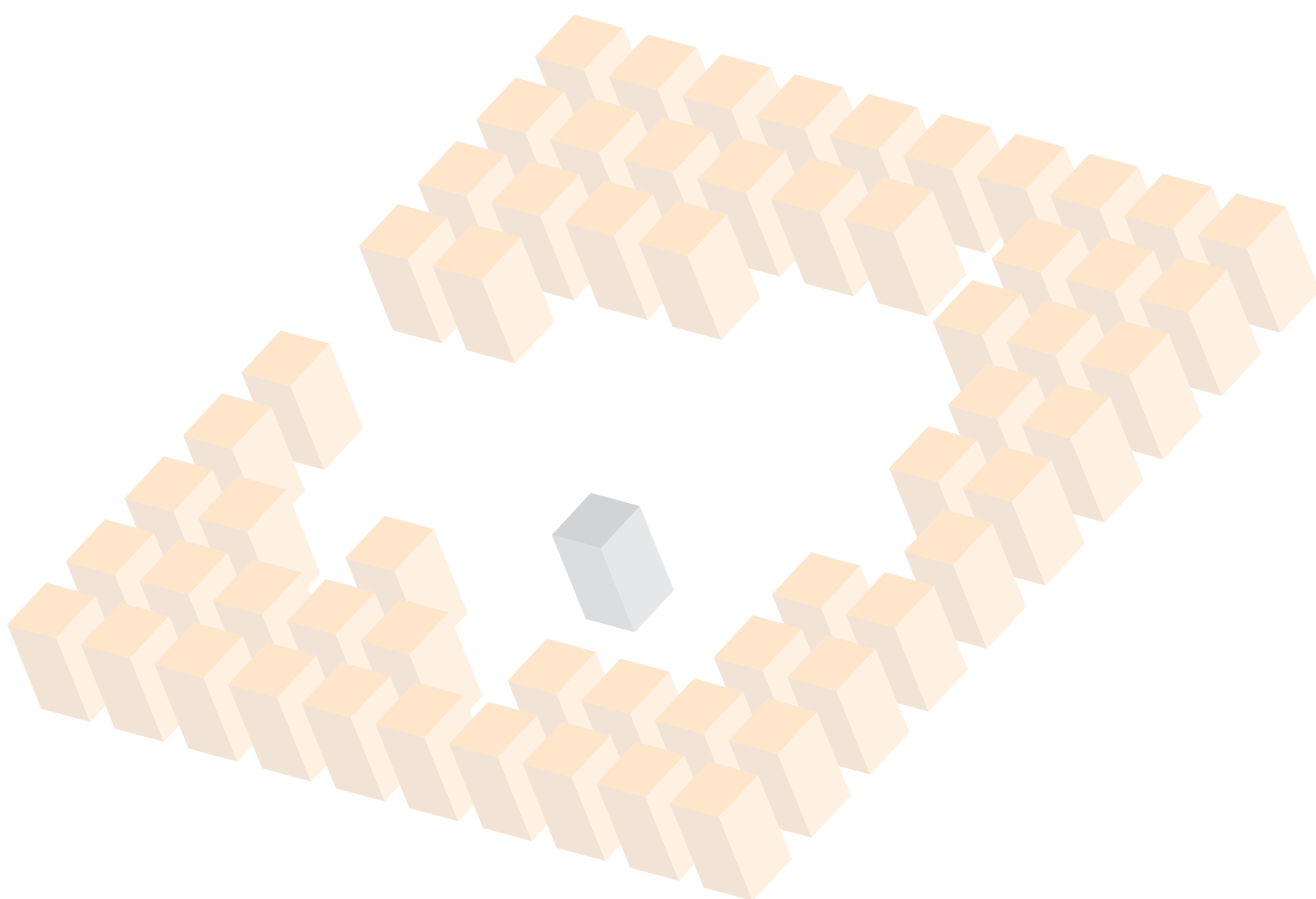
Regione del Veneto – Ufficio del Genio Civile di Treviso, 1991. Progetto Montagna L.R. 6 giugno 1983 n. 29. Perizia n. 305 del 20/11/1991. **Lavori di risanamento, valorizzazione e tutela dei laghi di Revine. Abbattimento del carico organico e riduzione del volume dei fanghi nel lago di S. Maria**. Perizia di variante alla perizia n. 167 del 22/09/87. Relazione illustrativa e Batimetria: sezioni trasversali e longitudinale A-A.

Salmaso, N., 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. **Hydrobiologia** 438: 43-63.

Salmaso, N., 2002. Ecological patterns of phytoplankton assemblages in Lake Garda: seasonal, spatial and historical features. **J. Limnol.** 61: 95-115.

Saraceni, C. & D. Ruggiu, 1974. Techniques for sampling water and phytoplankton. In R.A. Vollenweider (ed.), **A Manual on methods for measuring Primary Production in Aquatic Environments**. IBP Handbook 12, Blackwell, Oxford: 5-7.

Tecneco S.p.a. (Gruppo ENI), 1980. **Studio ambientale dei Laghi di Revine, finalizzato alla soluzione dei problemi di esondazione e di eutrofizzazione**.



Raccolta commentata delle indagini ecologiche e ambientali pregresse condotte sui laghi di Revine (con CD allegato)

Ogni epoca ha avuto un suo modo di leggere l'ambiente, ha avuto occhi diversi per osservarlo e ha avuto strumenti diversi per analizzarlo. Ha avuto soprattutto una sensibilità culturale diversa: la percezione dello spazio e della vita che ci circonda cambia continuamente in relazione al nostro rapporto con la natura.

Anche nella scienza non c'è mai un'obiettività totale nel descrivere ciò che i sensi, anche attraverso dispositivi sofisticati, percepiscono. L'intenzionalità in ciò che si cerca di ottenere guida la selezione delle informazioni, sceglie gli aspetti da valorizzare, quelli da deprimere.

Rileggendo gli scritti che interessano i laghi di Revine, si colgono le atmosfere del passato, affiorano le radici culturali delle fonti e si rievocano i contesti dei diversi momenti storici. La letteratura "ambientale" riguardante questi piccoli ma peculiari laghi non è molto vasta, ha una storia di appena un secolo, tuttavia queste sfumature sono ben delineate.

L'intenzione di questa raccolta è duplice: da un lato valorizzare tutto il lavoro svolto nel passato e ricomporre come in un collage il quadro complessivo delle informazioni che descrivono i laghi, individuando i "tasselli mancanti" a completarlo; dall'altro, rileggere le notizie raccolte con un approccio ecologico, che vede importanti e correlati, nel funzionamento dell'ecosistema, tutti i ruoli e tutte le componenti. Lo sforzo è stato soprattutto quello di comprendere la comparabilità, la sovrapposizione, la complementarità di notizie disperse in atti risalenti a tempi anche lontani e di natura molto differente.

L'esame della bibliografia ha consentito, in sintesi:

- di riassumere la globalità delle conoscenze, valutando i livelli di approfondimento delle varie indagini e identificandone il valore informativo attuale;
- di individuare i settori di indagine che mancano ancora di un sufficiente approfondimento e che quindi richiederanno ulteriori ricerche, in relazione agli obiettivi futuri di analisi e miglioramento ambientale.

I documenti esaminati sono di varia tipologia:

- testi ed articoli di natura scientifica, didattica o divulgativa;
- documenti amministrativi che tracciano l'iter e le motivazioni di particolari interventi sul territorio;
- documenti di pianificazione e progettuali che presentano studi approfonditi sul sito specifico;
- rilevamenti, censimenti, statistiche;
- certificati analitici delle matrici ambientali;
- carte tematiche.

In queste fonti bibliografiche si riconosce, in base ai contenuti prevalenti, un'impronta storica, gestionale o scientifica.

Gli aspetti storici riguardano:

1. le vicende politiche delle epoche passate;
2. lo sviluppo culturale ed economico e le modificazioni del territorio;
3. la scoperta e le ricerche nei siti archeologici.

Riguardo agli aspetti gestionali, le problematiche affrontate sono state essenzialmente le seguenti:

4. la soluzione dei problemi di esondazione;
5. la costruzione di reti tecnologiche (fognatura, acquedotto ecc.);
6. l'uso delle acque (pesca, balneabilità, impianto remiero ecc.);
7. la protezione ambientale e l'eco-turismo;
8. la pianificazione territoriale e urbanistica.

Gli aspetti prettamente scientifici riguardano lo studio dell'ambiente in quanto altamente significativo dal punto di vista limnologico e naturalistico, comprendendo:

9. la qualità delle acque e dei sedimenti;
10. le comunità acquatiche e le piante riparie;
11. gli aspetti geologici e vegetazionali del bacino imbrifero.

Non è raro che indagini di contenuto scientifico nascano da esigenze gestionali da risolvere, e che quindi siano contenute entro strumenti di Piano o Progetti specifici. La bibliografia viene presentata in varie chiavi di lettura, che hanno dato origine ai diversi documenti consultabili nel CD in allegato. Si tratta in primo luogo di una sintesi delle conoscenze attuali sui laghi di Revine, che si presenta come un resoconto delle ricerche, delle valutazioni e delle strategie di intervento descritte nei vari testi consultati, riassunti e raggruppati per settore ambientale. Si è cercato inoltre di ripercorrere le varie fasi in cui si sono realizzate le indagini commentando i contenuti e gli obiettivi dei maggiori titoli della bibliografia. Sono presenti numerose immagini che derivano dai documenti originali dei vari autori o da loro copie fotostatiche, poi acquisite in scansione: fotografie, grafici, tabelle, che inserite in un contesto globale acquistano un valore particolarmente significativo.



