



UN MONDO D'ACQUA IN ALTA QUOTA

*Le acque del Parco Nazionale dello Stelvio,
un laboratorio a cielo aperto per lo studio
dei cambiamenti climatici*

SUADE SUADE *Stelvio*

Stations at High Altitude for Research on the Environment

PROGETTO SOSTENUTO DA REGIONE LOMBARDIA

UN MONDO D'ACQUA IN ALTA QUOTA

Le acque del Parco Nazionale
dello Stelvio, un laboratorio a cielo aperto
per lo studio dei cambiamenti climatici

Anno di pubblicazione 2013

Editore
Associazione Comitato Ev-K2-CNR

Coordinamento e supervisione
Angela Boggero

Testi
Angela Boggero, Michela Rogora,
Simona Musazzi, Silvia Zaupa, Andrea Lami
(CNR – Istituto per lo Studio
degli Ecosistemi, Verbania)
Franco Salerno, Licia Guzzella,
Sara Gambelli, Nicolas Guyennon,
Gaetano Viviano, Sudeep Thakuri
e Gianni Tartari
(CNR – Istituto di Ricerca sulle Acque, Brugherio)

Fotografie
Martina Austoni,
Gabriele A. Tartari,
Gianfranco Varini
Marianna Polidoro
Archivio Fotografico CNR-ISE

Progetto grafico ed impaginazione
ACTIVE MKT

SHARE STELVIO è un progetto pilota afferente
al programma di monitoraggio ambientale SHARE
che è stato finanziato da Regione Lombardia
e gestito da FLA (Fondazione Lombardia per
l'Ambiente) ed EvK2CNR

In copertina
Lago Seroti Inferiore

indice	Perché questo volume?	5
	Non solo laghi: le acque del Parco Nazionale dello Stelvio	7
	Laghi alpini questi sconosciuti	8
	Chiare, fresche e dolci acque	9
	È cambiato il clima nell'ultimo secolo?	12
	<i>Fa più caldo o più freddo?</i>	13
	<i>Piove di più o di meno?</i>	14
	I laghi alpini, sentinelle dei cambiamenti globali	16
	Box 1 Le proprietà chimico fisiche dell'acqua	17
	Come sono cambiati i laghi negli ultimi 50 anni	18
	Box 2 Un inquinamento che arriva da lontano	21
	Diversi gli ambienti, le tematiche e le metodologie: il campionamento	22
	Le acque del Parco: aspetti chimici	24
	<i>Uno sguardo sull'ignoto: variabilità spaziale</i>	24
	<i>Uno sguardo sull'ignoto: variabilità temporale</i>	26
	Box 3 Ad ognuno il suo colore	27
	I sedimenti: trappole dell'inquinamento	28
	<i>Composti organici e fonti di inquinamento</i>	29
	<i>Lo stato di contaminazione dei laghi</i>	32
	Biodiversità e conservazionismo	35
	Box 7 Biomonitoraggio	36
Mondo nascosto: aspetti biologici	37	
<i>Macroinvertebrati, conoscerli per amarli!</i>	37	
<i>Laghi e litorali</i>	39	
<i>Lago Bianco fra passato e presente</i>	40	
Box 8 Chironomidi	41	
Box 9 Oligocheti	42	
Box 10 Cose dell'altro mondo: la rigenerazione	44	
<i>Senso unico - In & ...</i>	45	
<i>Senso unico - ...Out</i>	45	
Box 11 Scelte di vita	46	
Box 12 Contro corrente: adattamenti all'acqua che scorre	47	
<i>L'infinitamente piccolo</i>	48	
Box 13 Diatomee in movimento	50	
Box 14 Piccole, ma non troppo	51	
<i>Osservando al microscopio</i>	52	
Bibliografia	54	
Il catasto	58	
La carta d'identità dei laghi dello Stelvio	61	
Schede dei laghi	62	

Perché questo volume?

Boggero A. e A. Lami

Una peculiarità degli ambienti di acqua dolce è quella di essere caratterizzati dalla presenza di organismi di dimensioni microscopiche, ma l'infinitamente piccolo è sempre stato un elemento negletto dell'ecosistema, poco studiato e quindi spesso sottostimato.

Tra gli organismi che popolano gli ambienti acquatici, oltre alle alghe che rappresentano il primo livello della rete trofica, un ruolo importante è rivestito dai macroinvertebrati, che hanno popolamenti caratteristici a seconda degli ambienti in cui vivono. In particolare, i corsi d'acqua sono rappresentati principalmente da Insetti ed i laghi da Insetti e vermi Oligocheti. In tali ambienti, questi gruppi ecologici rappresentano spesso un elemento importante come diversità di specie, come numero di organismi, ma rivestono anche un ruolo fondamentale nelle reti trofiche dei sistemi in cui vivono dove svolgono anche una funzione di bioindicatori in grado di integrare informazioni di diversa provenienza.

Se poi si parla di ambienti d'acqua in alta quota, a maggior ragione, è importante comprendere le ragioni della loro presenza e risulta necessaria una loro descrizione, in quanto vivono in sistemi pressoché incontaminati, dove aspre condizioni ambientali limitano lo sviluppo della flora e della fauna.

Oltre a ciò, l'esistenza di un Parco Nazionale che si pone come obiettivo la tutela dell'ecosistema - dà un ulteriore stimolo allo studio di questi ambienti, sia dal punto di vista descrittivo geografico e morfologico, che da un punto di vista chimico-biologico. Questo volume quindi, intraprende un cammino virtuale con il lettore-escursionista, prendendo in considerazione gli ambienti d'acqua dolce del Parco (laghi e corsi d'acqua), di cui viene data una descrizione il più possibile divulgativa, ma contemporaneamente fornendo spunti scientifici di facile comprensione, ampliando temi affrontati dai mass-media a tutti i livelli (televisione, internet, giornali e riviste, ecc).

Il cammino virtuale parte da una breve escursione su tali ambienti per farci capire come si sono formati e qual è il livello qualitativo delle loro acque. Il percorso prosegue poi approfondendo il discorso sul perché vengono considerati importanti per svolgere attività di ricerca, quali sono gli elementi faunistici e floristici peculiari e perché è rilevante conoscere a fondo macroinvertebrati e Diatomee, come sono distribuiti nei sistemi in studio e quale indicazione forniscono sulla qualità delle acque del Parco.

Il tragitto si chiude, infine, con una serie di schede che illustra la distribuzione geografica dei principali laghi del Parco, le loro caratteristiche geografiche e morfologiche, ed infine aspetti di geo-litologia e di chimica di base. Lo scopo di questo volume è quindi quello di sensibilizzare il pubblico che frequenta il Parco, ma anche ricercatori e cittadini, su ambienti di pregio naturalistico, su problemi di rilevante interesse quali l'acqua, il suo sfruttamento e la sua gestione, l'uso sostenibile delle risorse naturali, la conoscenza e la conservazione della biodiversità, contribuendo quindi anche all'arresto della perdita di biodiversità e favorendo una maggiore consapevolezza da parte dell'opinione pubblica su tali problematiche.

Non solo laghi: le acque del Parco Nazionale dello Stelvio

Boggero A.

L'acqua costituisce un ponte fra terra, ghiacciai e cielo: si origina dal cielo e dai ghiacciai e scorre sulla terra colmando torrenti, che si intersecano fra loro dando luogo a vere e proprie reti d'acqua a lento scorrimento, e laghi.

Nel Parco dello Stelvio, questi processi sono particolarmente evidenti e il paesaggio che ne risulta è mutevole e incostante: le acque, infatti, variano nel loro corso e nella presenza.

In tarda primavera, al disgelo, contribuiscono alla formazione di torrenti in grado di trascinare a valle anche i piccoli organismi che li popolano. Sotto l'azione dello scioglimento dei ghiacciai, infatti, la massa d'acqua coinvolta è diversa nelle diverse ore del giorno: massima quando il sole è alto nel cielo e scalda maggiormente, minima all'imbrunire e durante

la notte con l'abbassarsi delle temperature. In seguito a tale variabilità, a volte si vedono affiorare isole nella corrente, talaltra le stesse isole vengono sommerse dal torrente in piena.

Tale fenomeno prosegue per tutta l'estate ed inizia a diminuire con l'autunno, quando si assiste ad una diminuzione della presenza d'acqua dovuta al diminuire dello scioglimento del fronte glaciale e alla forte evaporazione che tende ad asciugare l'alveo dei torrenti che non contribuiscono più a colmare i laghi, provocandone una diminuzione di profondità e causando dei periodi secchi nell'alveo dei torrenti.

I laghi svolgono svariate funzioni: dosano la portata dei corsi d'acqua, regolano il clima delle aree limitrofe e costituiscono una fonte di svago per i turisti.

La maggior parte di essi si è originata per escavazione glaciale o per accumulo di materiale morenico e sono distribuiti a grappolo ad alta quota.



Laghi alpini, questi sconosciuti

Rogora M.

I laghi alpini d'alta quota si trovano per lo più in aree scarsamente popolate e contraddistinte da spiccata naturalità, spesso inserite in zone soggette a vincoli ambientali.

La maggior parte è situata al di sopra dei 1500 m s.l.m., con massima frequenza tra 1800 e 2500 m. Soggetti a condizioni climatiche estreme, spesso difficilmente accessibili, posti in zone remote, circondati e abitati da flora e fauna particolari, hanno da sempre affascinato gli studiosi dei laghi per queste loro caratteristiche un po' esotiche.



I laghi alpini sono generalmente piccoli, e hanno reti trofiche più semplici di quelle dei laghi di pianura, fortemente influenzate da fattori ambientali, fisici e chimici. I laghi di montagna sono pertanto, a ragione, considerati "laboratori naturali" particolarmente adatti per lo sviluppo di ricerche ecologiche di base e di monitoraggio degli effetti delle pressioni antropiche e dei cambiamenti globali sulle biocenosi e sulla biodiversità. Gli scienziati si sono interessati ai laghi alpini già dalla fine del XIX sec. In Italia in particolare, i primi studi sui laghi alpini sono stati quelli di Pietro Pavesi alla fine del 1800. Agli inizi del 1900, Rina Monti, una studentessa di Pavesi, per prima si occupò delle relazioni tra le caratteristiche dei laghi e dei loro bacini e le comunità biologiche che li popolavano. In seguito, negli anni '20 e '30, altri ricercatori proseguirono gli studi limnologici in diverse aree alpine, dalla Val Sesia alle Valli del Trentino-Alto Adige. Dagli anni '50 sono state effettuate estese campagne di campionamento, comprendenti alcune centinaia di laghi alpini, grazie anche alla collaborazione con il Club Alpino Italiano.

A grandi linee, le attività di ricerca sui laghi d'alta quota possono essere suddivise in tre periodi principali:

- **(1938-1951):** utilizzo dei laghi alpini per capire le connessioni tra i processi chimici e biologici che avvengono nel lago e le caratteristiche del bacino imbrifero.
- **(1951-1983):** utilizzo dei laghi alpini come laboratori naturali per la veri-

fica di teorie ecologiche e per ricerche sulla distribuzione degli organismi acquatici.

• **(1984-oggi):** presa di coscienza dell'inquinamento dei laghi alpini a causa del trasporto a lunga distanza degli inquinanti atmosferici (acidificazione, apporto di metalli pesanti e inquinanti organici); verifica della risposta dei laghi alpini e dei loro organismi a queste forme di inquinamento ed ai cambiamenti globali. Negli ultimi anni, i laghi d'alta quota sono stati spesso inseriti come siti di studio nell'ambito di programmi di ricerca e di monitoraggio nazionale ed europeo con notevole importanza per le comunità locali: infatti, pur non essendo interessati da sorgenti dirette di disturbo antropico, sono comunque soggetti alla deposizione di inquinanti atmosferici trasportati con le masse d'aria dalle zone industrializzate e urbanizzate ed all'impatto dei cambiamenti climatici.

Gli ecosistemi acquatici alpini rappresentano inoltre possibili siti di accumulo (*sink*) per gli inquinanti (metalli pesanti, microinquinanti organici) e per i nutrienti che possono essere rilasciati dai ghiacciai a seguito del riscaldamento climatico; di conseguenza possono rappresentare una sorgente secondaria di tali composti per ecosistemi posti a quote inferiori, quali corsi d'acqua e laghi subalpini, con implicazioni importanti per la qualità delle acque ed il loro utilizzo. Ecosistemi relativamente semplici come i laghi d'alta quota rappresentano inoltre uno strumento fondamentale nello studio della resistenza e resilienza alle perturbazioni antropiche, così come nella messa a punto di strumenti di mitigazione degli impatti. I piani di tutela e gestione delle aree protette, e più in generale gli sforzi di conservazione non possono prescindere da una conoscenza approfondita della diversità biologica di questi ambienti, che a tutt'oggi si presenta frammentaria e limitata ad alcune componenti biotiche o ad alcune aree geografiche.

Chiare, fresche e dolci acque

Rogora M.

Da un punto di vista strettamente idrologico, i laghi sono masse d'acqua raccolte in depressioni della superficie terrestre non alimentate dal mare. La parte di territorio che circonda il lago, e che grazie alla sua pendenza fa da imbuto di raccolta delle acque piovane, ne costituisce il *bacino imbrifero* (o *idrografico*). Il limite del bacino imbrifero è lo spartiacque, spesso identificabile sul terreno con la cresta delle montagne, per cui le acque che cadono entro lo spartiacque vengono convogliate al lago. Il bacino imbrifero influisce enormemente sugli ecosistemi acquatici: la sua superficie determina il volume delle acque raccolte, la sua composizione mineralogica influenza il chimismo di base dei laghi, la sua copertura vegetale influisce nella ripartizione delle acque di ruscellamento e di evapotraspirazione. Quest'ultima rappresenta la quantità d'acqua che passa allo stato di vapore per effetto congiunto della traspirazione delle piante e dell'evaporazione dal terreno. Le acque drenate si caricano poi di sostanze organiche ed inorganiche e di inquinanti in funzione dell'uso prevalente (agricolo, industriale, urbano) del territorio attraversato.

L'ubicazione geografica determina in buona parte il comportamento fisico dei laghi: nei laghi alpini i livelli d'acqua più alti si verificano nella tarda

primavera o in estate, quando si sciolgono le nevi. Nei laghi d'alta quota, la trasparenza è in genere inferiore a quella delle acque marine per una maggiore quantità di materiale in sospensione, ma è comunque elevata se si pensa che in molti di essi si riesce a vederne il fondo. La temperatura dipende da quella delle acque di alimentazione ed è in relazione con la latitudine e con l'altezza, ma può essere influenzata notevolmente da cause locali.

Il *tempo teorico di ricambio* rappresenta il rapporto tra il volume del lago e la massa d'acqua che defluisce attraverso l'emissario in un anno. Il tempo di ricambio è quindi un indice della capacità del lago di smaltire attraverso l'emissario parte degli inquinanti che giungono dal bacino. I tempi di ricambio dei laghi d'alta quota sono in genere dell'ordine di giorni o mesi, ovvero il ricambio totale delle acque avviene più volte durante l'anno. I sistemi lacustri devono essere considerati, da un punto di vista chimico, come dei sistemi aperti in grado di interagire con l'atmosfera sovrastante, con le rocce con cui sono in contatto e con gli apporti idrici sotterranei e superficiali. I gas presenti nell'atmosfera, in particolare l'ossigeno e l'anidride carbonica, diffondono nell'acqua secondo la legge di Henry, in base alla quale la concentrazione di un gas disciolto è proporzionale alla sua pressione parziale sulla superficie del liquido, per mezzo di una costante (k), detta costante di Henry. La concentrazione dei gas disciolti diminuisce con l'aumentare della temperatura ed è influenzata dai processi chimici e biologici che avvengono nel mezzo acquoso.

Le fonti che assicurano un adeguato approvvigionamento di anidride carbonica (CO₂) alle acque di un lago, oltre allo scambio con l'atmosfera, sono gli apporti meteorici, in quanto la pioggia si arricchisce di CO₂ durante il suo tragitto atmosferico, ed i processi respiratori degli organismi. La CO₂ sciolta nell'acqua tende ad idratarsi, formando acido carbonico (H₂CO₃), il quale a sua volta si dissocia dando origine, per perdita di un idrogenione (H⁺), allo ione bicarbonato (HCO₃⁻) e successivamente, perdendo il secondo idrogenione, allo ione carbonato (CO₃²⁻). Il complesso di queste reazioni chimiche, ciascuna regolata da una costante di equilibrio, prende il nome di equilibrio di carbonati e bicarbonati. Quest'ultimo determina il valore di pH delle acque ad una data temperatura (generalmente compreso tra 7 e 9 unità) e lo mantiene costante, impedendo cioè brusche variazioni indotte da sostanze acide o basiche: questo fenomeno prende il nome di *effetto tampone*. Nell'ecosistema, questi ioni e il loro equilibrio rivestono un ruolo fondamentale, in quanto rappresentano la fonte di carbonio che, assimilata dalle alghe attraverso il processo di fotosintesi, alimenterà tutta la catena trofica.

L'acqua, oltre ai gas, è in grado di solubilizzare sostanze polari o polarizzabili sia di natura organica che inorganica. Come effetto della capacità solvente dell'acqua, il contenuto salino di un'acqua naturale è altamente variabile e dipende da fenomeni di interazione con l'atmosfera, di drenaggio attraverso i terreni circostanti e di scambio con i sedimenti interni al corpo d'acqua. A controllare la composizione delle acque naturali

sono quindi le rocce e i suoli presenti nel bacino imbrifero, le precipitazioni atmosferiche, i processi di cristallizzazione-evaporazione ed i processi biologici all'interno del corpo d'acqua (produzione-respirazione). I laghi alpini d'alta quota, a causa delle ridotte dimensioni, delle elevate pendenze dei bacini che riducono il contatto tra acque di scorrimento e superficie del bacino, della presenza limitata di suoli e vegetazione nel bacino, presentano in genere un basso contenuto di sali disciolti rispetto ai laghi di pianura. I principali costituenti ionici delle acque sono i cationi (ioni positivi) dei metalli alcalini ed alcalino terrosi come calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺) e potassio (K⁺), e gli anioni (ioni negativi) quali i carbonati (CO₃²⁻) ed i bicarbonati (HCO₃⁻), i solfati (SO₄²⁻) ed in minor misura i nitrati (NO₃⁻) e i cloruri (Cl⁻). In base al contenuto salino, le acque naturali si classificano in due categorie: acque leggere, con bassa salinità derivante di solito da drenaggio attraverso rocce ignee (scarsamente solubili), ed acque dure, contenenti alte concentrazioni di metalli alcalini ed alcalino terrosi, derivanti dal drenaggio attraverso depositi calcarei (solubili).

Le acque naturali, il cui spettro ionico è determinato principalmente dalle rocce del bacino di drenaggio, sono tipicamente ricche di calcio e bicarbonato, quindi il rapporto tra i diversi ioni risulta il seguente: Ca²⁺ > Mg²⁺ ≥ Na⁺ > K⁺ per i cationi; HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻ per gli anioni.

È da notare come, tra gli anioni, i nitrati possono raggiungere concentrazioni abbastanza elevate (30-40 µeq L⁻¹) in alcuni laghi alpini. I nitrati provengono per lo più dalle deposizioni atmosferiche che, nel Nord Italia come in altre aree fortemente antropizzate, ne sono particolarmente ricche a causa delle emissioni in atmosfera degli ossidi di azoto. Nei laghi alpini d'alta quota il trasporto a lungo raggio dalle regioni di pianura, sede delle principali sorgenti di emissione, è quindi il fattore principale che determina la presenza dei nitrati nelle acque. In assenza di questi apporti (*input*), la componente di azoto maggiormente significativa è rappresentata invece dall'azoto organico, la cui presenza nelle acque è dovuta principalmente a sostanze di origine animale e vegetale, quali amminoacidi e proteine.

Oltre agli ioni principali, nelle acque lacustri assumono particolare importanza altri composti inorganici, comunemente identificati come nutrienti perché utilizzati nel metabolismo di alghe e microrganismi.

Il silicio, sotto forma di silice (SiO₂), è un elemento importante soprattutto per le Diatomee, un gruppo di alghe che utilizzano questo elemento per la formazione del loro frustulo (vedi cap. **L'infinitamente piccolo**), regolandone quindi la concentrazione in soluzione. La silice in un lago presenta delle fluttuazioni stagionali evidenti, in relazione alle fioriture di questo gruppo algale. Il fosforo, nelle sue forme altamente ossidate, come l'ortofostato (PO₄³⁻), partecipa attivamente ai cicli biologici fungendo da nutriente per gli organismi lacustri. Il fosforo presenta, come la silice, variazioni stagionali e spaziali all'interno di un lago: negli strati superficiali, dove hanno luogo i processi fotosintetici, diminuisce in corrispondenza dei periodi di massimo sviluppo algale; in estate aumenta

nelle acque più profonde a causa della sedimentazione delle spoglie degli organismi (vegetali o animali) provenienti dagli strati superficiali. L'azoto, nelle forme di nitrati (NO_3^-), nitriti (NO_2^-), ione ammonio (NH_4^+) e azoto organico, è un elemento nutritivo essenziale per la vita di molti organismi. Le dinamiche dell'azoto in un lago sono legate, come quelle del fosforo, ai processi biologici e quindi all'assimilazione da parte di alghe e batteri. Il passaggio da una forma all'altra di azoto è regolato prevalentemente da microrganismi.

La produzione in un lago viene controllata dalla disponibilità di sali nutritivi. In particolare, è l'elemento presente in quantità minore rispetto al fabbisogno algale a limitare la produzione. Nei laghi, in genere, l'elemento limitante è il fosforo. A seconda del contenuto in nutrienti, un lago viene classificato in diversi *stati trofici*, che vanno dalla oligotrofia (pochi nutrienti e bassa produttività algale) all'eutrofia (lago molto produttivo ricco in nutrienti), passando per una condizione intermedia di mesotrofia. Lo stato trofico ha riflessi importanti sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di un lago e sulla composizione delle biocenosi che lo popolano.

È cambiato il clima nell'ultimo secolo?

Salerno F., Gambelli S., Guyennon N., Viviano G., Thakuri S. e G. Tartari

Di recente l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) ha pubblicato uno studio sull'impatto del cambiamento del clima nelle Alpi (EEA, 2009). Questo report può essere considerato un robusto riferimento per valutare l'impatto del cambiamento del clima sulle risorse idriche delle Alpi. Sappiamo che a livello globale la temperatura è aumentata di $0,74 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,18 \text{ }^\circ\text{C}$ negli ultimi 100 anni (1906-2005). Nello stesso secolo l'Europa, in modo analogo ha subito un aumento di temperatura di $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ principalmente in inverno (Alcamo *et al.*, 2007). Il cambiamento del clima sulle Alpi negli ultimi 250 anni è stato più specificatamente studiato da Auer e collaboratori (2007) che hanno evidenziato un aumento di temperatura di $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ nel XX secolo, con due picchi, uno intorno agli anni '50 e l'altro a partire dagli anni '70 e tuttora in corso. Il lavoro osserva, inoltre, una lieve tendenza verso un aumento delle precipitazioni sulla regione Nord-alpina e una diminuzione sul versante a Sud.

I modelli climatici regionali prevedono per il futuro un continuo aumento delle temperature per le Alpi fino alla fine del XXI secolo, incrementi compresi tra $+2,6 \text{ }^\circ\text{C}$ e $+3,9 \text{ }^\circ\text{C}$, con un'accelerazione nella seconda metà del secolo. I cambiamenti nelle precipitazioni sono, invece, più moderati in termini di totale annuo, ma mostrano significative variazioni stagionali, soprattutto una diminuzione delle precipitazioni estive accompagnate, nella maggior parte delle regioni, da un incremento in primavera e in inverno. Le precipitazioni in inverno, a causa dell'incremento di temperatura, cadono sempre più sotto forma di pioggia, con un conseguente minor numero di giorni con copertura nevosa. Questi cambiamenti nella copertura nevosa e soprattutto la maggiore frequenza di precipitazioni liquide determinerà, probabilmente, un aumento di scorrimento superfi-

ciale in inverno e una diminuzione in estate.

Al fine di individuare una possibile relazione tra i cambiamenti climatici e le variazioni morfologiche dei laghi presenti nel Parco, in questo studio sono stati analizzati i dati mensili di temperatura e precipitazione della stazione meteorologica di proprietà dell'ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente), installata a Bormio alla quota di 1225 m s.l.m. I dati sono stati analizzati mediante il test Sequential Mann-Kendall (SMK) per identificare la presenza di eventuali andamenti in aumento o in diminuzione (trend). I valori di trend sono stati divisi per mese e per anno in una griglia colorata, dove i colori caldi rappresentano un trend positivo, mentre quelli freddi rappresentano un trend negativo.

Fa più caldo o più freddo?

La figura 1, che mette in evidenza come è cambiata la temperatura, è formata da due grafici: a) e b). Il grafico in alto (Fig. 1a) rappresenta l'andamento annuale delle temperature. Nel periodo di studio si osserva che la temperatura media annua varia da un minimo di $4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ nel 1956, ad un massimo di $8,9 \text{ }^\circ\text{C}$ nel 2002. La griglia in basso (Fig. 1b) rappresenta, invece, l'andamento delle temperature per ciascun mese. I colori sui toni freddi (blu) indicano che in quei mesi si è registrata una tendenza alla diminuzione della temperatura.

Al contrario i toni caldi (rosso) segnalano che è stata registrata una tendenza all'aumento rispetto alla media del periodo.

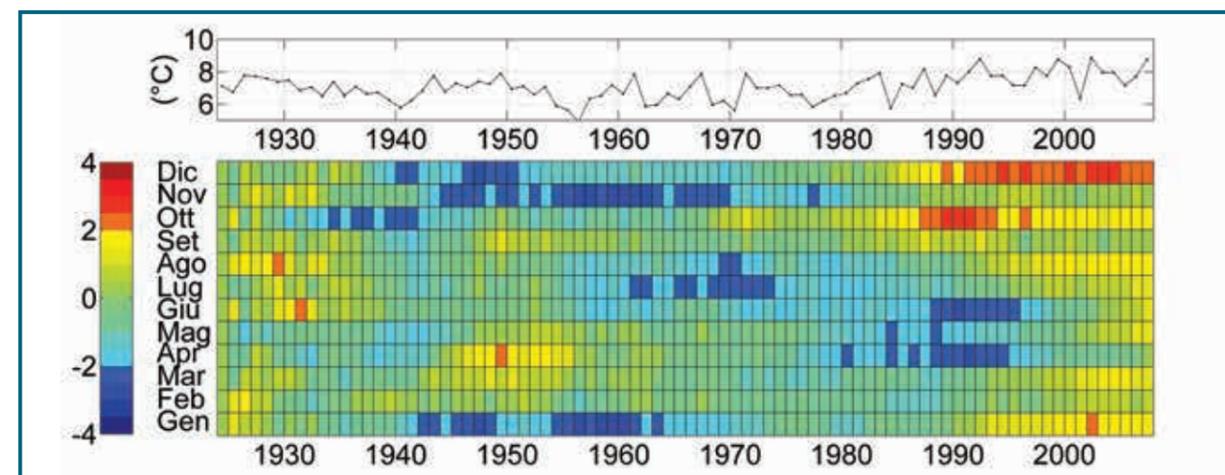


Fig. 1 - a) Temperatura media annuale ($^\circ\text{C}$); b) andamento mensile delle temperature secondo il Test di Mann-Kendall. A sinistra la scala di significatività del trend: valori maggiori di +2 oppure minori di -2 indicano che il trend è significativo.

Dal 1930 al 1990 si notano diverse cellette azzurro/blu, ossia in quegli anni, e per tutti i mesi dell'anno, si è registrata una tendenza negativa (faceva più freddo), al contrario nei mesi primaverili degli anni '50 si osserva un lieve aumento della temperatura. Comunque il vero aumento della temperatura si registra a partire dai primi anni '90.

Da quegli anni le cellette diventano sempre più gialle e arancioni, con i mesi invernali più rossi dei mesi estivi, che comunque appaiono gialli e quindi più caldi anch'essi rispetto alla media. I mesi freddi, quindi, sono stati quelli che si sono riscaldati di più negli ultimi 20 anni.

Dal 1924 al 2007 l'aumento di temperatura per l'intero periodo è risultato di $0,014 \text{ }^\circ\text{C}$ all'anno, ossia circa $1,4 \text{ }^\circ\text{C}$ in 100 anni, mentre dal 1992 (anno

in cui si passa da un trend negativo a un trend positivo) al 2007 l'aumento è stato pari a $0,036\text{ }^{\circ}\text{C}$ all'anno, ossia la temperatura è aumentata di $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 15 anni, con un incremento di ben tre volte superiore rispetto al periodo precedente.

I risultati ottenuti possono essere confrontati con quelli ottenuti nello studio relativo al cambiamento del clima su tutto l'arco alpino di Auer e collaboratori (2007), giungendo ad affermare che nel XX secolo nel Parco Nazionale dello Stelvio si è osservato un incremento di temperatura analogo a quello dell'intero arco alpino, con aumenti localizzati prevalentemente nel periodo invernale.

Piove di più o di meno?

L'analisi delle precipitazioni è stata condotta in modo analogo a quella delle temperature, come mostra l'evoluzione del regime delle precipitazioni per il periodo 1926-2007 (Fig. 2).

Le precipitazioni medie annuali (Fig. 2a) variano da un minimo di 466 mm a^{-1} nel 1943 ad un massimo di 1450 mm a^{-1} , raggiunto alla fine degli anni '50. Nel grafico in basso (Fig. 2b) è invece rappresentato l'andamento delle precipitazioni per ciascun mese del periodo considerato.

Per mantenere l'analogia con le temperature, i colori con toni freddi (blu) dicono che in quei mesi si è registrata una tendenza alla diminuzione delle precipitazioni.

Al contrario i toni caldi (rosso) mostrano una tendenza all'aumento.

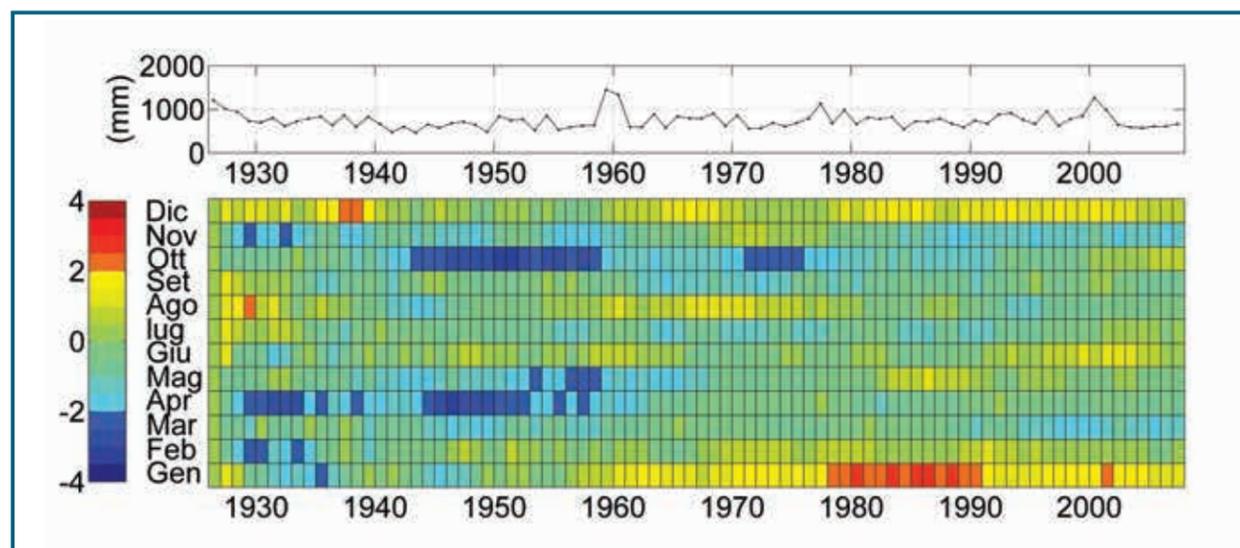


Fig. 2 - a) Precipitazioni medie annuali (mm a^{-1}); b) andamento mensile delle precipitazioni secondo il Test di Mann-Kendall. A sinistra la scala di significatività del trend: valori maggiori di +2 oppure minori di -2 indicano che il trend è significativo.

Gli anni dal '40 al '60 mostrano cellette azzurro/blu, ossia in quegli anni, e per molti mesi dell'anno, si è registrata una tendenza negativa (pioveva e nevicava meno). Per i restanti periodi non si osservano, invece, rilevanti differenze se non un aumento di precipitazioni nei mesi di gennaio e febbraio. In generale comunque, se consideriamo tutto il periodo 1926-2007, si registra un trend in aumento di soli $3,6\text{ mm}$ al decennio, ossia un aumento decisamente non significativo.

Per quanto riguarda un confronto con l'andamento delle precipitazioni

a scala alpina, è di fondamentale importanza tenere conto del fatto che questo parametro meteorologico varia notevolmente a livello regionale e stagionale.

In generale, sappiamo che la serie annuale di precipitazioni cumulate relative a tutto il territorio italiano, dal 1961 al 2006, non evidenzia segnali significativi di cambiamento.

Infatti, durante questo periodo, nel Nord Italia, si ha una riduzione delle precipitazioni pari solamente a $-1,47\text{ mm a}^{-1}$ (Toreti *et al.*, 2009), mentre per il Parco Nazionale dello Stelvio, durante lo stesso periodo di osservazione, non si è registrato alcun trend ($+0,3\text{ mm a}^{-1}$).

Vale la pena infine osservare che anche Brugnara e collaboratori (2012), che hanno effettuato un'analisi ad alta risoluzione del trend di precipitazioni nel corso del secolo scorso (1922-2009) nelle Alpi centrali (precisamente in Trentino-Alto Adige), ossia in una zona di transizione tra il clima dei versanti meridionali (maggiormente influenzati dal Mar Mediterraneo) e settentrionali (con influenza maggiore dell'Oceano Atlantico) delle Alpi, hanno evidenziato una debole diminuzione delle precipitazioni totali nell'arco di tutto il periodo di studio (dell'ordine di $1,0\text{-}1,5\%$ per decade), statisticamente significativo solo su scala regionale e solo in primavera.

Nel caso del Parco, come già affermato, il leggero aumento non pare essere significativo e non modifica il giudizio di stazionarietà delle precipitazioni.

I laghi alpini, sentinelle dei cambiamenti globali

Rogora M.



Il ruolo dei laghi alpini come indicatori ambientali è stato messo in evidenza soprattutto dalle ricerche svolte a partire dagli anni '80 nell'ambito di progetti finanziati dall'Unione Europea, aventi come oggetto di studio ambienti lacustri collocati in aree montuose o remote di tutta Europa (Alpi, Monti Tatra, Pirenei, Groenlandia).

Gli studi hanno evidenziato come, pur essendo collocati in aree remote, non interessate da disturbo antropico diretto, i laghi alpini possono essere interessati da fenomeni di inquinamento attraverso le deposizioni atmosferiche.

Nel caso dell'Italia si è visto per esempio come una percentuale non trascurabile di laghi alpini fosse da considerare suscettibile all'*acidificazione*. Le indagini paleolimnologiche dei sedimenti sono risultate particolarmente utili in tal senso, consentendo una ricostruzione dell'evoluzione passata degli ambienti e delle loro risposte ai fattori di stress.

Dagli studi sui laghi remoti è emerso inoltre come i metalli in tracce e gli inquinanti organici tendano ad accumularsi facilmente lungo i diversi livelli della catena trofica e questo in misura più accentuata nelle regioni fredde e in alta quota. Anche l'innalzamento di temperatura, che risulta particolarmente accentuato per la regione Alpina, è un fattore importante nel determinare le variazioni nella chimica e biologia di questi laghi.

Gli ecosistemi acquatici alpini rappresentano infatti possibili siti di accumulo per gli inquinanti che

possono essere rilasciati dai ghiacciai a seguito del riscaldamento climatico.

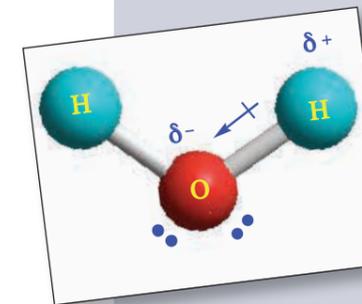
Il ruolo di tali ecosistemi come risorsa idrica rende necessaria l'adozione di un particolare regime di gestione, non essendo attualmente tutelati dalla Direttiva Quadro sulle Acque.

box 1

Le proprietà chimico fisiche dell'acqua

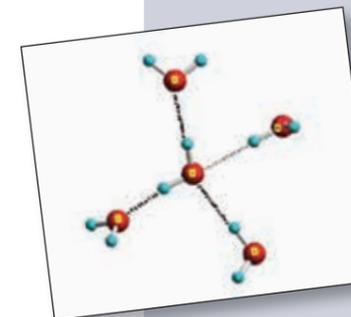
Rogora M.

L'acqua è l'essenza della vita sulla terra ed è alla base della composizione chimica di ogni essere vivente.



Essa regola anche il metabolismo di un lago, con le sue particolari proprietà di densità, di alta capacità termica e di comportamento nei diversi stati di aggregazione (liquido, solido e gassoso). La ragione delle proprietà uniche dell'acqua è da ricercare principalmente nella sua struttura molecolare.

Nella molecola d'acqua si hanno due legami fortemente polarizzati a causa della differente elettronegatività dei due atomi impegnati nel legame, che vedono rispettivamente una parziale carica negativa sull'ossigeno (δ^-) e due parziali cariche positive sui nuclei d'idrogeno (δ^+).



La polarizzazione del legame porta alla formazione di un dipolo elettrico che genera interazioni intermolecolari (cioè tra molecole adiacenti).

L'interazione nella molecola d'acqua è detta legame ad idrogeno.

Nello stato solido (ghiaccio) le molecole si orientano in maniera ordinata a formare una struttura tetraedrica piramidale in cui una molecola centrale di acqua si coordina, mediante legami ad idrogeno, a quattro molecole d'acqua.

La particolarità del ghiaccio è che la distanza intermolecolare è maggiore che nello stato liquido, il che comporta che la densità della fase solida sia minore di quella della fase liquida.

Il massimo di densità (1 g mL^{-1}) si raggiunge a $3,98 \text{ }^\circ\text{C}$, alla pressione di 1 atm. Al di sotto di questa temperatura la densità torna a diminuire fino a quando viene raggiunto il punto di congelamento a $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

La conseguenza più importante di questo fenomeno è che il ghiaccio galleggia sull'acqua e che, in un lago ghiacciato in superficie, la temperatura del corpo d'acqua sottostante si mantiene pressoché costante, per effetto della bassa conduttività termica del ghiaccio stesso che ne riduce le perdite di calore verso l'atmosfera.

La densità dell'acqua varia, oltre che con la temperatura, anche con la pressione ed il contenuto salino; infatti, cresce con l'aumento della pressione (in un corpo idrico l'incremento è di 1 atm ogni 10 m di profondità) e con l'aumento del peso specifico delle sostanze disciolte.

I legami ad idrogeno, che s'instaurano tra le molecole, sono responsabili anche dell'elevato calore specifico dell'acqua, ossia la quantità di calore da fornire ad un grammo di acqua affinché la sua temperatura aumenti di $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

L'elevata capacità termica dell'acqua spiega perché vicino ad un lago di cospicue dimensioni non si verificano forti escursioni termiche e perché corpi idrici estesi siano in grado di cedere all'atmosfera elevate quantità di calore accumulate durante i periodi caldi.

Le forti interazioni intermolecolari presenti nell'acqua ne influenzano anche la viscosità, ovvero la resistenza che il mezzo oppone ai moti al suo interno, che risulta essere particolarmente elevata (775 volte quella dell'aria).

Come sono cambiati i laghi negli ultimi 50 anni

Salerno F., Gambelli S., Viviano G., Thakuri S. e G. Tartari

Nel capitolo intitolato **Il catasto** viene descritta l'attività di censimento dei laghi, aventi superficie maggiore di 800 m², presenti nel settore lombardo del Parco Nazionale dello Stelvio in quattro periodi temporali diversi compresi tra il 1954 e il 2007. In totale i laghi individuati sono: 116 nel 1954, 130 nel 1982, 107 nel 2003 e 116 nel 2007.

Osservando queste variazioni, possiamo parlare di impatto del cambiamento del clima?

Per rispondere a questa domanda abbiamo a disposizione l'analisi climatica descritta nel capitolo **È cambiato il clima nell'ultimo secolo?**

Sappiamo che le Alpi sono delle importanti 'torri d'acqua' che svolgono un ruolo fondamentale per l'accumulo e il rilascio di acqua dolce per gran parte d'Europa.

Le risorse idriche delle Alpi sono, infatti, "memorizzate" in ghiacciai, laghi e acque sotterranee e tutti i grandi fiumi hanno le loro sorgenti in montagna.

Dal momento che il ciclo idrologico delle Alpi è influenzato dai cambiamenti climatici e dai conseguenti regimi stagionali delle precipitazioni, gli ambienti alpini lacustri appaiono, estremamente sensibili.

A causa del riscaldamento globale si modifica il grado di stoccaggio nei ghiacciai e la disponibilità di acqua che alimenta i corpi lacustri viene alterata. Quale sia l'effetto del cambiamento climatico sui sistemi acquatici alpini è ancora poco ben studiato.

Comunque i cambiamenti del regime idrico dovuti all'aumento delle temperature, che prevedono un maggior scorrimento superficiale a ini-

zio primavera e la riduzione delle precipitazioni estive, possono avere un effetto pronunciato sulla biodiversità. In figura 3 è riportata la distribuzione delle quote dei laghi nel Parco Nazionale dello Stelvio. Possiamo osservare che i laghi hanno una quota media intorno ai 2600 m e sono compresi tra una quota minima di 2200 m e una massima di 3200 m.

La figura 3 mostra la distribuzione della superficie lacustre, con un valore medio prevalente di circa 1500 m², mentre i laghi di maggiori dimensioni raggiungono 7ha (70000 m²) di estensione (Lago Nero - OGL 25). L'analisi delle differenze di superficie e di numero dei laghi nei quattro periodi a partire dal 1954 (Fig. 4 alto) mostra che la differenza più rilevante cade tra il 1954 e il 2003, periodo nel quale le superfici dei laghi sono diminuite.

Tale diminuzione potrebbe essere dovuta all'estate considerevolmente calda del 2003 che ha aumentato l'evaporazione lacustre, associata a basse precipitazioni registrate nel medesimo anno. Nel 2007 si assiste, invece, a un aumento delle superfici che porta la differenza 1954-2007 al -5,9%.

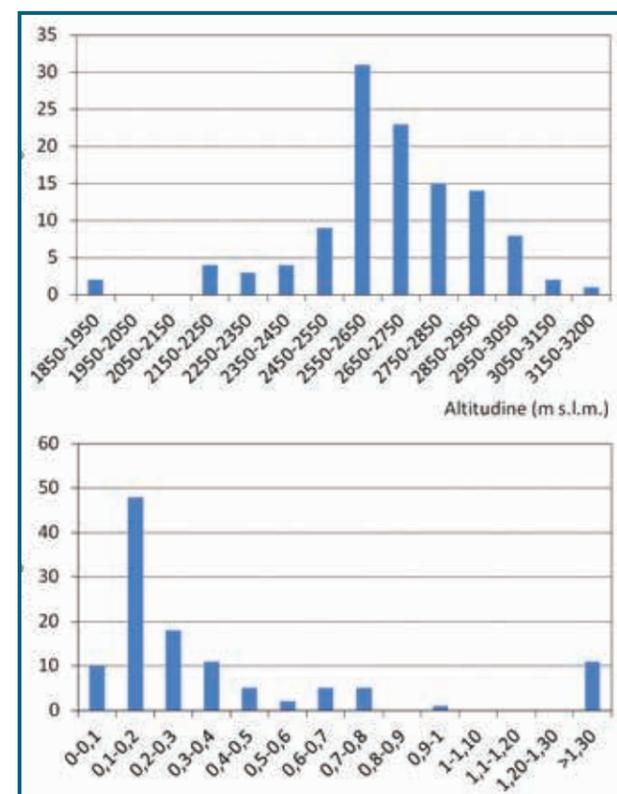


Fig. 3 - Alto: Altitudine dei laghi; basso: dimensioni dei laghi espresse in ettari (10⁴ m²).

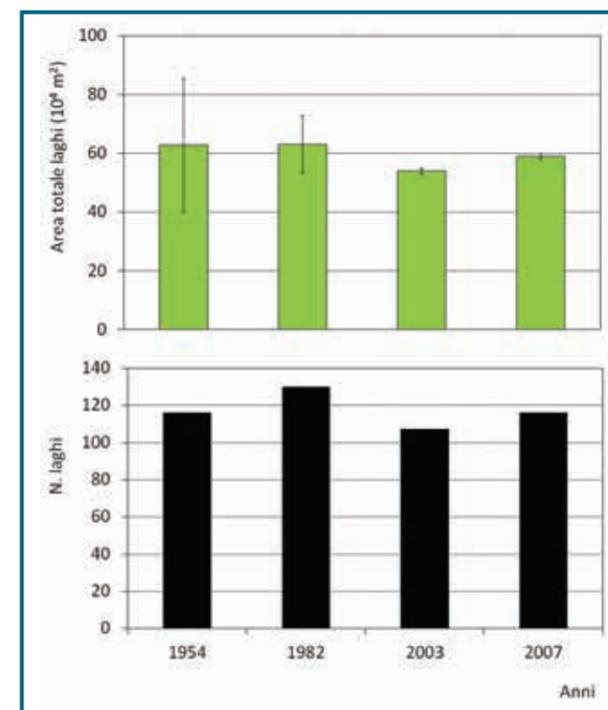


Fig. 4 - Alto: evoluzione delle superfici dei laghi espresse in ettari. Le barre verticali rappresentano l'incertezza associata alla misura; basso: evoluzione del numero di laghi in quattro diversi periodi temporali.

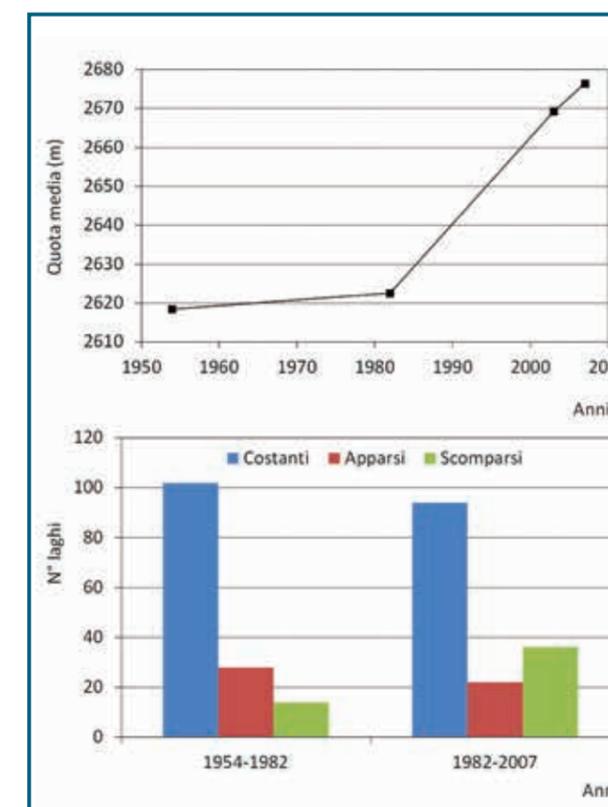


Fig. 5 - Alto: Quota media dei laghi in diversi periodi storici; basso: Numero di laghi apparsi, scomparsi e costanti nei diversi periodi storici.

Dai risultati ottenuti si può affermare, comunque, che in termini di superficie totale non si assiste a nessun rilevante cambiamento negli ultimi 50 anni. Le lievi variazioni registrate sono da associare alla variabilità delle condizioni meteorologiche degli anni in cui si disponeva di foto aeree.

La figura 4 conferma queste affermazioni. Il numero minimo di laghi si ha nel 2003 e il massimo nel 1982, mentre il numero totale dei laghi tra il 1954 e il 2007 risulta essere lo stesso.

Tra il 1954 e il 2007 non sono, quindi, avvenute modifiche nella popolazione lacustre legate al cambiamento del clima, né in termini di superficie né in termini di numero. In controtendenza, invece, è il risultato che si osserva in figura 5 nella quale si riporta la quota media dei laghi in differenti anni. A partire dal 1982 si assiste a un rilevante innalzamento della quota media dei laghi, che raggiunge i +55m nel periodo di osservazione. Nel periodo 1954-1982 la quota presenta solo un leggero aumento, mentre una forte variazione si osserva nel periodo successivo (1982-2007), durante il quale si osserva anche una forte variazione di temperatura.

Questo innalzamento potrebbe essere dovuto alla scomparsa di laghi a quote inferiori, accompagnata dalla comparsa di laghi a quote superiori.

Per analizzare il fenomeno si è deciso di valutare le dinamiche di comparsa/scomparsa dei laghi nei periodi analizzati. Prima di discutere questi risultati, le variazioni sono state per semplicità aggregate nei due periodi che hanno mostrato le maggiori differenze (1954-1982 e 1982-2007 - Fig. 5).

Si è già affermato in precedenza che il numero di laghi nel periodo di osservazione è costante, ma si osserva che le dinamiche di formazione e scomparsa sono diverse tra loro.

Prima del 1982 il numero dei nuovi laghi è maggiore di quelli scomparsi, mentre nel secondo periodo il numero di laghi scomparsi è decisamente più elevato.

Nel complesso, però, le variazioni assolute di numero di ambienti non evidenziano di per sé un cambiamento rilevante.

Diversamente dal numero, più interessante è certamente il fenomeno dell'innalzamento della quota media dei laghi registrato a partire dal 1982.

Questo aumento è dovuto alla comparsa di ben 22 la-

box 2

Un inquinamento che arriva da lontano

Rogora M.

Pur non essendo interessati da disturbo antropico diretto, come quello derivante da scarichi urbani ed industriali, o da attività agricole e zootecniche, i laghi alpini d'alta quota sono comunque soggetti alla deposizione di inquinanti atmosferici trasportati con le masse d'aria dalle zone industrializzate ed urbanizzate situate più a valle.

L'acidificazione è un esempio di inquinamento derivante dal trasporto a lunga distanza di inquinanti, principalmente composti di zolfo e azoto, insieme alle masse d'aria.

L'acidificazione consiste in una progressiva riduzione del pH e dell'alcalinità delle acque, e nel rilascio in soluzione di metalli pesanti come l'alluminio, a causa di un incremento di acidità che nel caso dei laghi alpini è rappresentato dalle deposizioni atmosferiche, per questo definite *piogge acide*.

Le variazioni chimiche indotte dall'acidificazione sono importanti perché rendono i laghi inospitali per la maggior parte delle comunità biologiche.

L'acidificazione interessa le acque caratterizzate da una bassa capacità tampone, ovvero una limitata capacità di neutralizzare

gli apporti acidi. Questa caratteristica è tipica per esempio dei laghi che si trovano in bacini a composizione geolitologica acida. I suoli, generalmente assenti o di limitato spessore, l'elevata pendenza, il basso rapporto tra superficie del bacino e del lago, il basso tempo di ricambio delle acque sono tutti fattori che, ostacolando i processi di dilavamento delle rocce e dei suoli del bacino, concorrono a incrementare la sensibilità degli ambienti lacustri all'acidificazione.

Come risposta alla riduzione di carichi acidi di origine atmosferica che si è verificata negli ultimi 20-25 anni, grazie soprattutto alla riduzione delle deposizioni atmosferiche di solfati, i laghi dell'arco alpino maggiormente sensibili all'acidificazione, hanno mostrato segnali di recupero, già a partire dagli anni '90.

Questa tendenza è destinata ad attivare processi di recupero biologico, favorendo la ricolonizzazione di specie sensibili all'acidificazione.

Il trasporto atmosferico a lunga distanza, dalle pianure ai laghi in alta quota, può interessare anche altri inquinanti, tra cui i metalli pesanti e i composti organici di sintesi.

Sulle Alpi appare evidente l'arricchimento in azoto delle acque: questo processo è dovuto alle elevate emissioni di composti dell'azoto, sotto forma di ossidi (NO_x) e ammoniaca (NH_3), conseguenza del traffico veicolare, delle industrie e delle attività agricole e zootecniche in aree molto antropizzate come la Pianura Padana.

ghi nuovi con una quota media di oltre 2900 m s.l.m. La comparsa di questi ambienti è un chiaro effetto del processo di deglaciazione avvenuto in seguito all'aumento delle temperature a partire dal 1985.

Questi nuovi laghi, infatti, si caratterizzano anche per un'orientazione prevalente del bacino verso Sud-Ovest, significativamente diversa rispetto agli altri laghi, e sono altresì collocati lungo i versanti Est della porzione lombarda del Parco Nazionale dello Stelvio, in corrispondenza dell'ubicazione della maggior parte dei ghiacciai e dei nevai. Si osserva, inoltre, che i laghi scomparsi in quest'ultimo periodo sono molto numerosi, oltre il doppio rispetto al periodo precedente (36 rispetto a 14).

La mappa (Fig. 6) riporta le variazioni descritte dal 1982 al 2007 nella popolazione lacustre. I laghi di nuova formazione sono tutti collocati a Est del Parco, prevalentemente con bacini esposti a Sud-Ovest, a quote più elevate ed in corrispondenza dell'ubicazione della maggior parte

dei ghiacciai e dei nevai (considerando la digitalizzazione dei ghiacciai nel 2007). I laghi scomparsi sono collocati, invece, a quote più basse rispetto ai laghi presenti in entrambe le date.

La causa di questo fenomeno, non avendo osservato variazioni significative del regime pluviometrico, può essere quindi attribuita con ragionevole certezza all'aumento di temperatura. Ma quindi l'aumento di temperatura ha modificato i laghi? I risultati ottenuti dicono di sì e permettono di formulare un chiaro scenario. Si stanno formando numerosi nuovi ambienti a ridosso dei ghiacciai in scioglimento, mentre i laghi a quota più bassa incominciano a scomparire. Nel Parco è quindi evidente l'enorme pressione del cambiamento del clima sugli ecosistemi d'alta quota, che si manifesta nonostante la costanza del regime pluviometrico dell'ultimo cinquantennio.

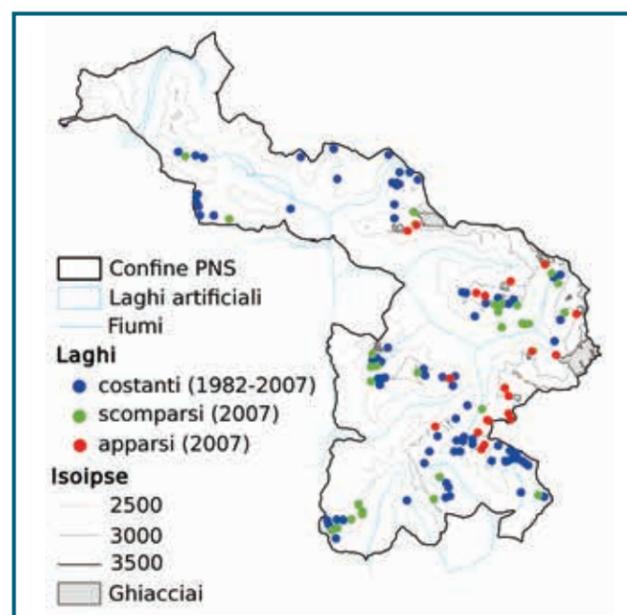
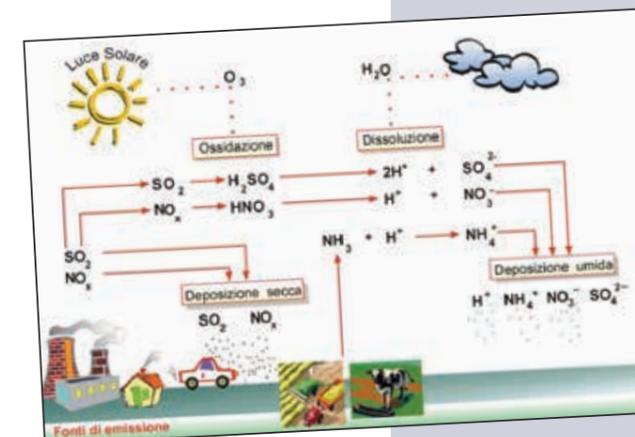


Fig. 6 - Mappa dei laghi del Parco Nazionale dello Stelvio. La mappa evidenzia le variazioni nel numero di laghi intercorse dal 1982 al 2007 (scala 1: 300.000).

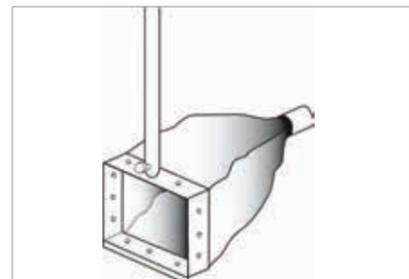


Diversi gli ambienti, le tematiche, le metodologie: il campionamento

Boggero A., M. Rogora e S. Musazzi



Operazioni di campionamento e termometro digitale



Campionamento con retino

I campionamenti dei laghi per le analisi chimiche sono stati eseguiti nell'estate e nell'autunno del 2011 e nell'estate 2012, in occasione di più campagne.

Negli ambienti lacustri i campioni sono stati prelevati alla superficie del lago o all'ingresso dell'emissario, in quanto queste ultime possono essere considerate pienamente indicative del chimismo del lago stesso.

In tutte le stazioni, contemporaneamente al prelievo dei campioni per le analisi chimiche, si è registrata la temperatura tramite termometro digitale.

I campioni prelevati sono stati conservati in bottiglie di polietilene della capacità di 0,5 L, e portati in laboratorio per le analisi. Oltre alle principali variabili chimiche (pH, conducibilità, alcalinità, anioni e cationi, nutrienti algali), sono stati effettuati prelievi anche per l'analisi dei metalli pesanti e di elementi in traccia (Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Tl, V, Zn) ed i relativi campioni sono stati filtrati e trasportati in laboratorio in contenitori della capacità di 50 ml.

I campioni per lo studio della fauna macrozoobentonica sono stati prelevati tramite diverse modalità, adottate a seconda della tipologia di ambienti e delle condizioni: retino immanicato, carotatore e/o retino da drift, secondo quanto previsto dal protocollo di campionamento per ambienti lacustri alpini (Boggero *et al.*, 2011).

Il retino immanicato è costituito da una rete conica collegata ad un'intelaiatura a sua volta collegata ad un manico che ne facilita l'uso in acque della profondità di 50-100 cm in ambienti con sedimenti duri (roccia, massi, sassi, ciottoli, ghiaia) (Frost *et al.*, 1971; Storey *et al.*, 1991; Hauer & Resh, 1996). La rete termina, all'altra estremità, con una bottiglia per la raccolta del campione prelevato.

Il campionamento si effettua smuovendo il fondo con piedi (*kick sampling* = campionamento a calci) e mani, mentre il retino viene tenuto con la bocca semi-sommersa e contro corrente per favorire l'ingresso degli organismi al suo interno. L'alveo del torrente viene scandagliato anche tra le grosse pietre e tra la vegetazione. Nei corsi d'acqua si predilige lavorare su transetti obliqui rispetto allo scorrimento delle acque considerando ambienti a granulometria diversa (sassi, ciottoli, ghiaia, sabbia), per periodi di tempo fissi (2-5 min), rendendo così confrontabili i dati con ambienti precedentemente studiati.

Nel caso dei laghi, dopo aver smosso il sedimento di fondo, il retino, dotato di maglie di dimensioni sufficienti a raccogliere anche le larve di più piccole dimensioni, è passato e ripassato sopra l'area smossa in modo da catturare gli organismi in movimento. Per ogni lago sono stati campionati habitat diversi fra loro (limo, ghiaia, ciottoli, massi) su tracciati di 1 m di lunghezza, mentre nel caso del Lago di Rosole, data la consistenza molle del sedimento, si è operato su aree definite da un'intelaiatura quadrata posta all'imboccatura del retino per stimare la densità di popolazione. Il retino da *drift* (De Bernardi, 1984), adottato per campionare immissari



Retino da drift



Carotatore



Campioni fissati con alcool etilico

ed emissari in aggiunta al campionamento tramite retino immanicato, è costituito da una rete conica collegata da un lato ad un'intelaiatura rotonda che funge da imboccatura e, dall'altro, ad una bottiglia per il campionamento.

Tale retino, posizionato in modo che l'intelaiatura resti immersa per metà in acqua, ha permesso di raccogliere tutti quegli organismi soggetti a drift e quindi trascinati passivamente verso valle dalla corrente e le esuvie degli insetti, queste ultime costituenti l'esoscheletro abbandonato al momento della muta. L'analisi delle esuvie ha permesso una più dettagliata identificazione tassonomica dei chironomidi consentendo di arrivare alla specie.

Il carotatore o carotiere è stato utilizzato per campionare i sedimenti profondi del L. Bianco del Gavia (massima profondità). In questo caso i campioni raccolti sono stati utilizzati per l'analisi dei macroinvertebrati e non per studi paleolimnologici, che permettono di risalire indietro nel tempo attraverso l'analisi dei diversi strati che compongono la carota stessa.

Il carotatore è costituito da un supporto metallico, all'interno del quale è presente un tubo in polietilene trasparente.

Per migliorare la penetrazione del carotatore all'interno del sedimento è stato montato esternamente un peso. Il carotatore è stato calato da un'imbarcazione a bassa velocità, riducendo il problema causato dall'ondata d'urto dello strumento che arriva sul fondo e limitando il disturbo del sedimento.

I campioni prelevati sono poi stati fissati con alcool etilico all'80% per bloccare i processi metabolici in atto e trasportati in laboratorio in bottiglie della capacità variabile di 100, 250 e 500 ml, per le successive analisi tassonomiche, effettuate tramite stereo-microscopio, per gli organismi di maggiori dimensioni, e microscopio per quelli più piccoli.

In stretta relazione alla fauna a macroinvertebrati e per una più corretta e completa caratterizzazione dei popolamenti delle acque correnti sono stati registrati parametri quali: larghezza e profondità massima dell'alveo con bindella e metro, temperatura dell'acqua tramite termometro da campo e granulometria dell'alveo tramite valutazione diretta. Quest'ultima tecnica prevede che, dove la pezzatura media del materiale è dell'ordine del metro (massi) o della decina di centimetri (ciottoli), si proceda valutando la distribuzione dei diametri esprimendola in percentuale (Autorità di Bacino del Fiume Po, 2002).

Lo spessore dello strato superficiale a cui fare riferimento per il campionamento è stato assunto pari alla dimensione dei ciottoli di diametro maggiore.

Il campionamento delle Diatomee bentoniche risulta semplice, veloce ed economico e segue metodiche standardizzate (UNI EN 13946, 2005). Le Diatomee epilittiche, quelle a cui si è fatto riferimento all'interno di questa ricerca, sono state campionate su ciottoli di dimensioni cospicue, preferibilmente privi di alghe filamentose.



Campionamento delle Diatomee

Su una superficie totale di circa 1 m² di litorale lacustre, sono stati prelevati e raschiati con uno spazzolino a setole dure almeno 5-6 ciottoli e il campione raccolto è stato introdotto in un piccolo contenitore. In laboratorio il campione è stato poi trattato con perossido di idrogeno e acido cloridrico a caldo per eliminare la sostanza organica, ed infine montato su vetrino con aggiunta di una apposita resina, atta a massimizzare la capacità di risoluzione del microscopio. Il vetrino è quindi stato osservato al microscopio ottico a 1000 ingrandimenti per il riconoscimento sistematico dei generi e delle specie che compongono la comunità.

Le acque del Parco: aspetti chimici

Rogora M.

L'obiettivo delle indagini effettuate sulle acque dei laghi d'alta quota e delle acque di fusione del Parco Nazionale dello Stelvio è quello di descriverne le caratteristiche idrochimiche principali: contenuto in soluti, potere tampone delle acque, concentrazione dei nutrienti algali, contenuto di metalli pesanti. Lo scopo ultimo delle analisi sulle acque è quello di caratterizzarne la qualità, tenendo conto che per la maggior parte dei laghi del Parco si tratta delle prime indagini chimiche.

Analizzare i dati in relazione alle principali caratteristiche dei laghi e dei bacini ha inoltre lo scopo di valutare in che misura la litologia ed altri fattori incidano sulle caratteristiche chimiche. Inoltre, i dati ottenuti possono essere confrontati con quelli disponibili per i laghi situati in altre aree remote, dalle Alpi all'Himalaya, allo scopo di valutare al meglio le eventuali criticità di questa zona.

Per esempio è stato evidenziato come molti laghi sulle Alpi, in particolare le Alpi Centro-occidentali, si caratterizzino per concentrazioni abbastanza elevate di azoto rispetto ad altri laghi remoti, a conferma degli apporti atmosferici da aree fortemente antropizzate quali la Pianura Padana. Le analisi chimiche avevano quindi come scopo anche quello di valutare se tale tipo di contaminazione esistesse anche per le acque del Parco.

Uno sguardo sull'ignoto: variabilità spaziale

In totale sono stati campionati 23 laghi, rappresentativi di diverse zone del Parco. Un dettaglio maggiore, considerando più ambienti nella stessa area e ripetendo i campionamenti in più occasioni, è stato attribuito alla zona del Ghiacciaio dei Forni (Valle della Manzina, Val Pisella, Val Rosole) e del Passo Gavia. Dall'analisi dei dati raccolti il primo risultato emerso è l'estrema variabilità spaziale delle caratteristiche idrochimiche delle acque del Parco. Si trovano, infatti, esempi di laghi dalle acque fortemente diluite, povere in soluti, a volte con pH acido e basso potere tampone (rappresentato dall'alcalinità), così come di acque altamente mineralizzate, ricche in calcio, magnesio e solfati. Inoltre, anche in aree limitate, apparentemente caratterizzate da substrato e copertura del suolo simili, si è osservata una notevole disomogeneità nella composizione chimica delle acque. Se è vero che l'idrochimica delle acque in aree remote è determinata prevalentemente dalla composizione litologica dei bacini, all'interno di una tipologia dominante, piccole percentuali di minerali

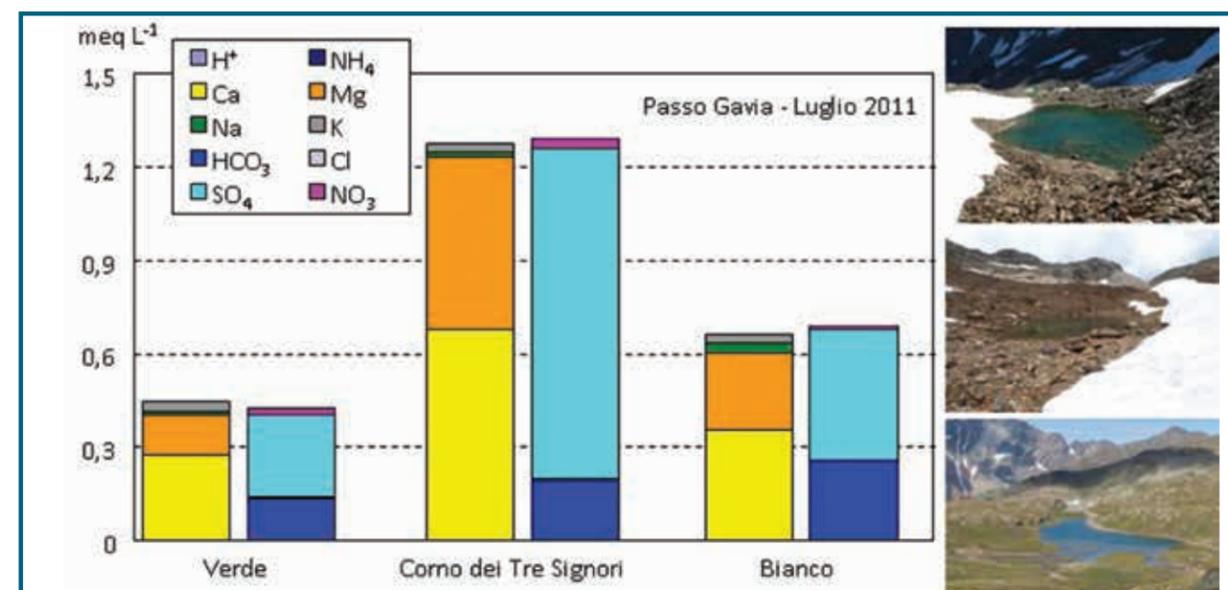


Fig. 7 - Composizione ionica di 3 laghi nella zona del Passo Gavia.

La colonna di sinistra di ciascun istogramma indica gli ioni con carica positiva (cationi), quella di destra gli ioni con carica negativa (anioni).

Nelle foto dall'alto verso il basso:

Lago Verde (FROD 45), Lago sotto il Corno dei Tre Signori (FROD 46), Lago Bianco (FROD 51).

I codici si riferiscono al catasto presente a pag. 58

con composizione chimica differente, ma facilmente erodibili e dilavabili possono spiegare le differenze osservate nel chimismo di laghi o torrenti di una stessa zona. Questa elevata variabilità spaziale delle caratteristiche chimiche delle acque è di per sé una ricchezza, perché può essere il presupposto alla presenza di habitat diversi e quindi di un'elevata variabilità biologica. A titolo di esempio, si riporta il contenuto ionico delle acque di 3 laghi situati nella zona del Passo Gavia (Fig. 7): anche se in tutti i casi le acque sono dominate da calcio e magnesio tra i cationi, e bicarbonati e solfati tra gli anioni, le concentrazioni totali cambiano notevolmente da un lago all'altro. Rispetto al problema dell'acidificazione, bisogna rilevare come nel Parco esistono dei laghi che possono essere considerati altamente sensibili, perché caratterizzati da pH inferiore a 6,0

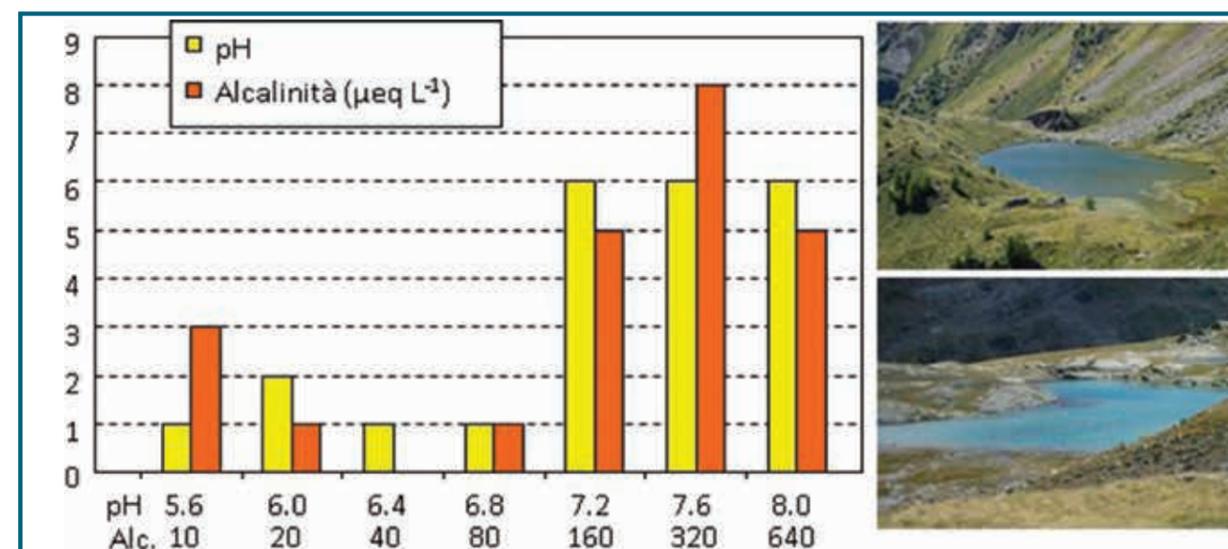


Fig. 8 - Distribuzione di frequenza dei valori di pH e alcalinità in 23 laghi del PNS.

Sulla destra, immagini di due laghi risultati tra i più sensibili all'acidificazione: Lago Seroti Inferiore (OGL 30 - in alto) e Bei Laghetti Inferiore (FROD 68 - in basso).

unità e bassa alcalinità (Fig. 8). Esempi sono alcuni dei laghi Seroti, in Val Camonica, e dei Bei Laghetti, in Val Sobretta. Nel complesso comunque, la maggior parte delle acque campionate è risultata caratterizzata da un buon potere tampone, con alcalinità superiore a 50 μeq L⁻¹, limite utiliz-



	1981	2011
pH	6.9	7.6
Conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	24	72
Alcalinità ($\mu\text{eq L}^{-1}$)	90	250
Calcio (mg L^{-1})	2.5	7.1
Magnesio (mg L^{-1})	0.8	3.0
Sodio	0.3	0.7
Potassio	0.6	1.2
Silicati (mg L^{-1})	0.6	0.8

Fig. 9 - Confronto tra le caratteristiche chimiche del Lago Bianco del Gavia (FROD 51) nel 1981 e nel 2011.

zato per valutare la sensibilità all'acidificazione. Il contenuto di nitrati dei laghi campionati è stato messo a confronto con i valori medi disponibili per i laghi di altre zone delle Alpi o di altre aree remote, sia in Europa che in altri continenti. I laghi del Parco presentano valori medi di azoto inorganico di $0,20 \text{ mg L}^{-1}$, in linea con quelli misurati in altri laghi delle Alpi centro-occidentali, ma decisamente superiori a quelli di altre aree remote come Ande e Himalaya compresi tra $0,03$ e $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (Rogora *et al.*, 2008). Questo può significare che anche i laghi del Parco ricevono composti dell'azoto, emessi nelle aree di pianura dalle attività antropiche (traffico veicolare, agricoltura, industria), trasportati con le masse d'aria e poi depositati al suolo attraverso le precipitazioni. Pur non essendo l'azoto di per sé un inquinante, un suo accumulo progressivo nelle acque può comportare effetti nel lungo periodo, per esempio modificando i rapporti tra i nutrienti e favorendo specie "nitrofile" a scapito di altre.

Uno sguardo sull'ignoto: variabilità temporale

Infine un aspetto interessante riguarda le variazioni temporali delle caratteristiche chimiche dei laghi, sia nel breve termine (es. tra estate ed autunno, o da un anno all'altro), sia nel lungo termine. Trattandosi, per la maggior parte degli ambienti, delle prime indagini mai realizzate, non è possibile fare un confronto con il passato. Nel caso del Lago Bianco del Gavia (FROD 51) esistono però dei dati chimici pregressi, risalenti al 1981, prodotti nell'ambito di una ricerca del CNR-ISE sull'idrochimica di oltre 300 laghi alpini d'alta quota (Giussani *et al.*, 1986): è possibile quindi fare un confronto tra lo stato idrochimico attuale del lago e quello di 30 anni fa (Fig. 9). Il lago sta andando incontro a un processo di interrimento, ad opera della vegetazione, che interessa in particolare la sponda occidentale. Inoltre il ghiacciaio del Lago Bianco, fonte primaria di alimentazione per il lago, ha subito una fortissima riduzione di area e di spessore negli anni più recenti, al punto da potersi considerare estinto (Cannone *et al.*, 2009). Questo ha comportato un aumento del trasporto di detriti al lago ed un progressivo accumulo di soluti nelle acque: la conducibilità e le concentrazioni degli ioni principali sono quindi raddoppiate o triplicate dagli anni '80 ad oggi, modificando così in modo significativo il chimismo del lago.

box 3

Ad ognuno il suo colore

Boggero A., M. Rogora e S. Musazzi

Le acque dei laghi presentano diversi colori a seconda delle rocce che si trovano sul fondo e di quelle che vi sono riflesse, della profondità, delle particelle in sospensione, della presenza di alghe e della composizione chimica.

In acqua il blu e l'azzurro sono gli unici colori che si percepiscono alle maggiori profondità, scendendo ancora, l'oscurità tende a prevalere. Nei laghi con forte presenza algale, la colorazione tende al verde per la presenza massiccia di clorofilla, un pigmento che si ritrova in tutti gli organismi vegetali, mentre la colorazione blu è dovuta in parte al cielo riflesso, in parte alla diffusione della luce dovuta alla presenza di particelle sospese.

I laghi scuri o neri devono la loro colorazione alle maggiori profondità o alle montagne circostanti che su di essi proiettano un cono d'ombra per la maggior parte del giorno, quelli bianchi solitamente sono situati sotto l'influenza di un ghiacciaio che li approvvigiona d'acqua ricca di silt (limo glaciale), che li rende azzurro o bianco lattei.

I laghi ricchi di solfati probabilmente devono la loro colorazione azzurra chiara anche alla presenza di notevoli quantità di diversi sali metallici precipitati e cristallizzati sul fondo lacustre.

In questi ambienti non esistono tinte vivaci e colori sgargianti, ma colori sfumati e spesso tenui.

Unica eccezione sono i chironomidi del genere *Chironomus* (immagine accanto) e gli Oligocheiti tubificini. Questi organismi presentano infatti una colorazione rosso vivo, almeno all'atto della loro cattura e prima di usare un qualunque fissativo, colore dovuto alla presenza di emolinfa contenente emoglobina.

Conseguenza diretta della presenza dell'emoglobina è la pigmentazione rossa.

Tale pigmento è maggiormente efficiente nel trasportare ossigeno, così questi organismi riescono ad adattarsi a vivere anche in ambienti poveri di ossigeno.

Oltre a ciò, tale colorazione, grazie all'assorbimento della colorazione blu dello spettro luminoso, rende gli organismi invisibili in profondità e quindi meno soggetti a predazione.

Altri colori presenti sono il marrone con tutte le sue gradazioni, il beige, il nero, insomma tutti colori "smorti" che riproducono i colori della natura che li circonda - sassi, ghiaia, terra - e che permette agli organismi che popolano queste acque di confondersi nell'ambiente, passando inosservati agli occhi dei predatori.

Le Diatomee, infine, come tutte le specie vegetali, contengono clorofille responsabili della colorazione verde presente anche nelle foglie delle piante; tuttavia, il colore verde conferito da questi pigmenti fotosintetici è mascherato dalla presenza di pigmenti accessori quali il beta-carotene, anch'esso comune in tutti i vegetali, e tre pigmenti specifici: fucoxantina, diatoxantina e diadinoxantina, che conferiscono loro una tipica colorazione giallo-brunastra.

Questo permette loro di catturare più lunghezze d'onda rispetto ad altri vegetali e quindi di assorbire maggior energia luminosa rispetto all'uso della sola clorofilla, massimizzando così il processo fotosintetico.



I sedimenti: trappole dell'inquinamento

Guzzella L.

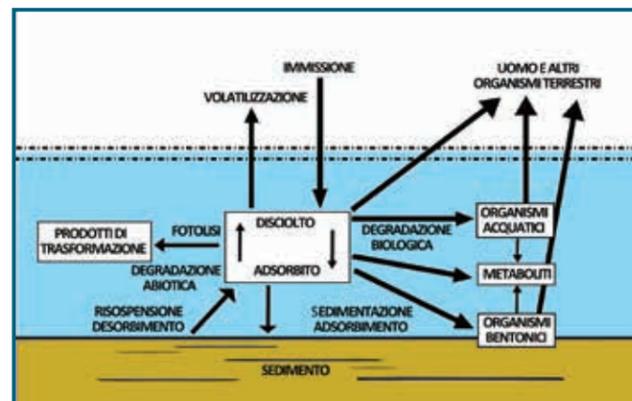


Fig. 10 - Accumulo di inquinanti nei sedimenti lacustri e loro trasformazione.

Il sedimento è costituito da un insieme di particelle di detrito, inorganiche e organiche, che si depositano sul fondo di un lago o di un fiume. Nei laghi, il materiale che sedimenta può avere un'origine biologica causata dalla degradazione di materiale biologico, come alghe o altri organismi che crescono e si sviluppano nell'acqua, oppure può essere costituito da materiale che si forma grazie all'azione combinata dei processi di

erosione e deposizione delle rocce.

Il ciclo dei sedimenti (Fig. 10) comincia con l'erosione fisica e chimica delle rocce e dei suoli (dovuta all'azione del vento e delle acque di pioggia) che portano materiale particolato al lago.

Il materiale eroso viene, quindi, trasportato in sospensione finché le forze di gravità, prevalendo su quelle che operano il trasporto, ne determinano la sedimentazione sul fondo dei laghi.

Lo studio dei sedimenti dei laghi è grandemente utilizzato per il monitoraggio della qualità degli ambienti

proprio a causa del fatto che, per molte sostanze inquinanti, esiste una forte affinità per il materiale particellato rispetto all'acqua.

Lo studio della contaminazione dei sedimenti riveste, quindi, grande importanza, in quanto il sedimento rappresenta il sito di accumulo preferenziale e, in alcuni casi finale, di molte sostanze inquinanti.

Il sedimento è di fondamentale importanza per l'equilibrio ecologico di un lago, in quanto tra il sedimento e la colonna d'acqua sovrastante si verificano scambi continui di sostanze che passano dal particellato all'acqua e viceversa.

Le sostanze che si depositano nel sedimento sono, in generale, scarsamente solubili in acqua.

Il sedimento però non è un ambiente statico, bensì dinamico, in quanto, a livello del fondo, si verificano differenti processi chimici, fisici e biologici che portano alla trasformazione del materiale sedimentato (Fig. 10). Tali processi possono condurre alla degradazione delle sostanze contenute nel sedimento con produzione di composti più solubili in acqua che, quindi, si ridisciolgono nell'acqua e sono disponibili per un trasporto attraverso gli emissari dei laghi.

Un altro vantaggio offerto dall'utilizzo dei sedimenti come indicatori di qualità è rappresentato dalla possibilità di individuare sorgenti di contaminazione di sostanze che presentano forti fluttuazioni nell'acqua. Inoltre, l'analisi dei sedimenti consente una valutazione nel tempo della qualità dei laghi, in quanto è possibile analizzare strati successivi di sedimenti che appartengono a periodi storici diversi, ricostruendo la storia della contaminazione del lago.

Si può concludere, quindi, che i sedimenti rappresentano un valido indicatore della qualità di un sistema acquatico, in quanto consentono di determinare le fonti di contaminazione e permettono di seguire l'evoluzione nel tempo dell'inquinamento della zona considerata.

Composti organici e fonti di inquinamento

Alcuni composti organici persistenti, noti con il nome di POPs, sono stati oggetto di indagine all'interno del Parco Nazionale dello Stelvio. Questi rappresentano un gruppo eterogeneo di inquinanti considerati pericolosi per l'ambiente. Nel 1998 la Comunità Europea e gli Stati Membri hanno firmato un Protocollo sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza (CLRTAP) presso la Commissione delle Nazioni Unite per l'Europa (UN-ECE) con l'obiettivo di *controllare, ridurre o eliminare scarichi, emissioni e perdite di questi composti a causa della loro elevata tossicità, scarsa biodegradabilità, elevata capacità di accumulo negli organismi ed elevata capacità di trasporto a lunga distanza*. La Convenzione delle Nazioni Unite elenca 16 POPs immessi nell'ambiente in seguito ad attività legate all'uomo, tra cui vi sono pesticidi, prodotti industriali e prodotti secondari della combustione o di processi industriali. In questo studio sono stati considerati alcuni inquinanti, molto diffusi, ubiquitari e soggetti al trasporto a lunga distanza attraverso l'atmosfera: l'insetticida DDT, i composti industriali PCB e PBDE e i composti IPA, di origine sia civile che industriale.

Il DDT

Il DDT, il più noto fra i POPs, è un insetticida ad ampio spettro di attività che fu largamente utilizzato, fin dagli anni '40, in agricoltura, nelle opere di bonifica delle aree malariche e nelle campagne di lotta contro le malattie infettive.

La produzione del DDT aumentò fino alla fine degli anni '60, quando venne riconosciuta la sua capacità di accumularsi nell'ambiente e negli organismi e cominciarono a sorgere sospetti sulla possibilità che esercitasse effetti nocivi anche sull'uomo.

In quegli anni furono poste le prime restrizioni sull'uso del DDT per diminuirne i residui nel cibo e nei mangimi. A partire dagli anni '70, il DDT venne messo al bando negli U.S.A. e nel 1978 ne è stato definitivamente proibito l'uso in agricoltura anche in Italia. Pur essendo bandito nella maggior parte dei Paesi del mondo, il DDT continua ad essere usato, sotto raccomandazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), per il controllo dei vettori (solitamente insetti) nelle zone colpite da malaria endemica.

Il DDT e i suoi metaboliti, DDE e DDD, sono composti altamente pericolosi per l'ambiente in quanto si accumulano negli organismi attraverso l'ambiente in cui vivono e attraverso il cibo ingerito. In particolare, il DDT è considerato anche un distruttore endocrino, cioè una molecola in grado di alterare e interferire sul funzionamento e sull'equilibrio del sistema ormonale, provocando effetti avversi sulla salute dell'organismo o della sua progenie. Inoltre, l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato il DDT tra le possibili sostanze cancerogene per l'uomo.

I Policlorobifenili

I Policlorobifenili (PCB) sono una classe di idrocarburi aromatici clorurati sintetizzati dall'uomo su scala industriale negli U.S.A. a partire dagli anni '20. Per molti anni, i PCB sono stati prodotti su vasta scala in miscele tecniche complesse, differenti a seconda del contenuto percentuale di cloro e presenti sul mercato con nomi diversi.

Dagli anni '30 fino a metà degli anni '80, i PCB sono stati prodotti in molte nazioni e sono stati largamente usati come olii nei trasformatori e nei condensatori elettrici, e in sistemi idraulici, come diluenti in pesticidi, come additivi in vernici, plastificanti di rivestimenti, ritardanti di fiamma e sigillanti.

A partire dagli anni '70, riconosciute le potenzialità tossiche e di accumulo dei PCB negli organismi, ne fu bloccata la produzione e i PCB furono progressivamente vietati in numerose nazioni. Dal 1983, i PCB non sono più stati sintetizzati e, nell'anno successivo, anche le vendite cessarono. In Italia, dal 1988 è vietata l'immissione e il commercio di PCB e delle apparecchiature che li contengono. Nonostante ciò, i PCB continuano ad essere ritrovati nell'ambiente in tutto il mondo.

Come il DDT, i PCB si distribuiscono in acqua, aria e suolo, contaminando tutto l'ecosistema con accumulo nel sedimento e nel suolo, che costituiscono le più importanti riserve ambientali di PCB.

I primi effetti tossici dei PCB sull'uomo furono rilevati già a partire dagli anni '30 con la comparsa di alcuni sintomi negli addetti alla loro produzione, fra cui: cloracne, danni alla vista, teratogenesi, danni neurologici, epatici e disturbi del sistema immunitario. Inoltre, come il DDT, i PCB influiscono negativamente sulle funzioni ormonali e riproduttive, comportandosi come distruttori endocrini. Infine, anche i PCB, come il DDT, sono stati classificati dalla IARC come probabili agenti cancerogeni per l'uomo.

I Polibromodifenileteri

I polibromodifenileteri (PBDE) sono una classe di ritardanti di fiamma, usati come additivi in diversi polimeri e presenti, a partire dagli anni '70, in numerosi prodotti commerciali, quali i componenti elettrici ed elettronici (cavi elettrici, plastiche di contenitori), i materiali isolanti (schiume poliuretatiche), i tessuti (tappezzerie e tendaggi) e negli equipaggiamenti per veicoli.

In diversi studi condotti negli ultimi anni '30 anni è stata dimostrata per i PBDE la possibilità di accumulo negli organismi, uomo compreso. Dagli anni '90, i PBDE hanno iniziato a destare preoccupazione principalmente a causa della loro elevata capacità di accumulo e della loro resistenza alla degradazione che contribuiscono a renderli particolarmente pericolosi per l'ecosistema e per gli organismi. In seguito alla scoperta della loro ubiquità, negli anni successivi vi è stata una progressiva regolazione della loro produzione e commercializzazione, fino ad arrivare, agli inizi del 2000, alla vera e propria messa al bando in Europa.

Sebbene i PBDE siano stati riscontrati in ogni comparto ambientale, le

loro caratteristiche chimico-fisiche indicano che il suolo e il sedimento sono i comparti di sequestro preferenziale nell'ambiente.

Negli studi di tossicità acuta non sono stati osservati effetti tossici importanti. L'esposizione cronica a PBDE sembra avere invece effetti su diversi organi, in particolare sul fegato. Inoltre, sono recentemente emerse evidenze che i PBDE possono agire sia come neurotossine dello sviluppo, producendo deficit ormonali e neurochimici nel bambino in utero, sia come distruttori endocrini.

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) rappresentano una vasta classe di composti idrocarburi. Gli IPA non sono considerati POPs, tuttavia mostrano alcune caratteristiche che li accomunano ad essi: trasporto a lunga distanza e conseguente ubiquità, tossicità e persistenza ambientale elevate.

Gli IPA vengono introdotti nell'ambiente attraverso un vasto numero di processi, riconducibili a tre principali tipologie di sorgenti: petrogeniche (derivanti dal petrolio), pirogeniche (derivanti dalla combustione) e biogeniche (di origine naturale).

Gli IPA di origine petrogenica rappresentano una frazione variabile della composizione chimica derivate dall'uso dei combustibili fossili. Carbone, petrolio grezzo e altri prodotti di origine petrolifera contengono elevate concentrazioni di questi composti.

Gli IPA di origine pirogenica sono, invece, generati dalla combustione di sostanza organica. Le principali sorgenti sono: riscaldamento domestico a carbone, olio minerale o legna; impianti termoelettrici; fuochi all'aperto, quali incendi boschivi; incenerimento di rifiuti solidi urbani; altri processi termici dell'industria. Le sorgenti mobili sono invece rappresentate dal traffico veicolare. L'emissione di IPA da veicoli a motore è considerata una delle maggiori sorgenti di questi contaminanti nelle aree urbane e dipende da fattori quali il tipo e la composizione di carburante utilizzato, la temperatura di utilizzo e la presenza di dispositivi di trattamento degli scarichi.

Per IPA di origine biogenica si intendono, infine, quei composti formati, in tempi recenti o passati, a partire da materiale vegetale per sintesi *ex novo*. Un chiaro esempio di questo tipo di origine è rappresentato dal perilene, per cui la formazione *in situ* all'interno di sedimenti senza ossigeno è considerata essere la maggiore sorgente, soprattutto in strati di sedimento profondi, non influenzati da apporti di tipo pirogenico. Sebbene sia possibile una origine naturale degli IPA (dovuta a incendi naturali, eruzioni vulcaniche, diagenesi), è largamente accettata l'idea che l'origine legata alle attività umane sia la più importante.

L'atmosfera rappresenta l'ambiente più soggetto alla contaminazione da IPA a seguito dei processi di combustione descritti. In atmosfera gli IPA possono essere trasportati a lunga distanza sia in fase gassosa sia adsorbiti al particolato atmosferico. La contaminazione dell'ambiente terrestre

o acquatico avviene attraverso fenomeni di deposizione atmosferica. Gli IPA dopo la deposizione al suolo tendono ad adsorbirsi al particolato del sedimento, che può essere considerato come la loro principale riserva ambientale.

Al contrario di quanto accade per i POPs, l'accumulo di IPA negli organismi viene considerato trascurabile, poiché la maggior parte degli organismi sono in grado di eliminarli rapidamente. L'inerzia chimica degli IPA conferisce loro una bassa tossicità generale, tuttavia sono loro attribuite capacità narcotiche, mutagene, carcinogene e teratogene. Alcuni IPA possono, inoltre, influenzare la regolazione ormonale, comportandosi come distruttori endocrini.

Lo stato di contaminazione dei laghi

I risultati relativi all'analisi di DDT, PCBE, PBDE e IPA nei sedimenti dei laghi considerati sono riportati nelle figure seguenti, dove sono segnalate la concentrazione del contaminante per ogni campione e l'altitudine del lago. Complessivamente, tra giugno e ottobre 2011 sono stati campionati

25 laghi: 11 nell'area del Torrente Frodolfo, 5 nell'area del Fiume Adda e 9 in quella del Fiume Oglio.

Per quanto riguarda il DDT, le concentrazioni sono risultate sempre molto contenute e comprese tra 0,3 e 5 ng g⁻¹ p.s. (peso secco).

La concentrazione media di DDT totale (Fig. 11) per l'intera area è risultata pari a 2 ng g⁻¹ con un'ampia variabilità associata. Le massime concentrazioni di DDT sono state osservate nei laghi della Manzina bassa e L1_Pisella (FROD 13 e FROD 16) nell'omonima valle e i laghi delle Rosole e NN (FROD 33 e FROD 29) nella Valle dei Forni e sono dovute principalmente alla presenza dei metaboliti DDD e DDE (Fig. 12).

Relativamente ai PCB, le concentrazioni sono più elevate rispetto a quelle del DDT, ma comunque contenute e comprese tra 3 e 25 ng g⁻¹ p.s. (Fig. 13).

La concentrazione media di PCB totale per l'intera area è pari a 8,5 ng g⁻¹ p.s. e le concentrazioni osservate risultano abbastanza uniformi nei vari laghi considerati (Fig. 11).

Le massime concentrazioni sono state osservate nei laghi della Manzina bassa e L2_Pisella (FROD 13 e FROD 17) nell'omonima valle e NN (FROD 28) in Valle dei Forni presso il Rifugio Cesare Branca. I composti prevalenti risultano essere quelli caratterizzati dalle maggiori capacità di essere trasportati a lunga distanza.

I PBDE presentano concentrazioni molto simili a quelle osservate per il DDT, ossia abbastanza variabili tra i vari campioni di sedimento e comprese tra 0,1 e 5 ng g⁻¹ p.s. (Fig. 14). La concentrazione

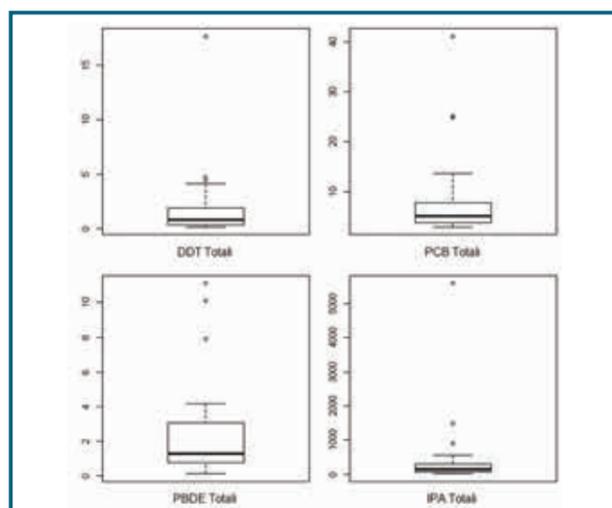


Fig. 11 - Concentrazioni medie e distribuzione delle concentrazioni (ng g⁻¹ peso secco) di DDT, PCB, PBDE e IPA in tutti i laghi considerati.

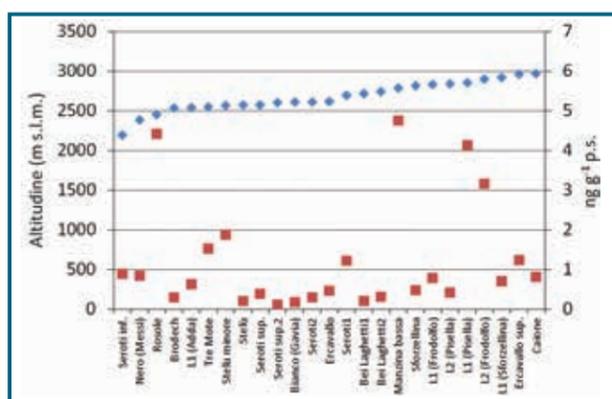


Fig. 12 - DDT totale (ng g⁻¹ p.s.) nei sedimenti e altitudine (m s.l.m.) dei laghi del Parco Nazionale dello Stelvio.

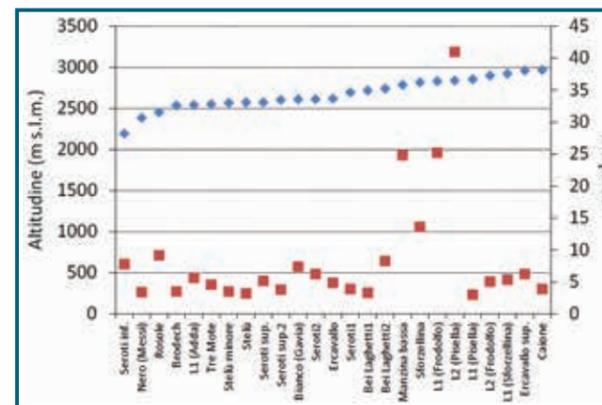


Fig. 13 - PCB totale (ng g⁻¹ p.s.) nei sedimenti e altitudine (m s.l.m.) dei laghi del Parco Nazionale dello Stelvio.

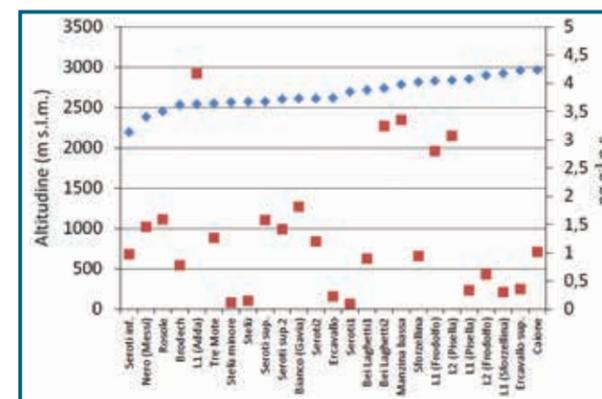


Fig. 14 - PBDE totale (ng g⁻¹ p.s.) nei sedimenti e altitudine (m s.l.m.) dei laghi del Parco Nazionale dello Stelvio.

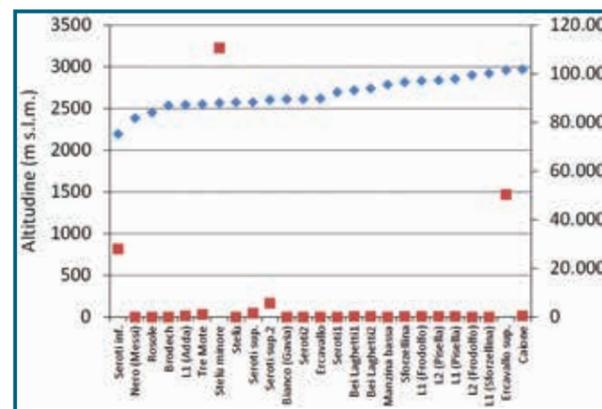


Fig. 15 - IPA totale (ng g⁻¹ p.s.) nei sedimenti e altitudine (m s.l.m.) dei laghi del Parco Nazionale dello Stelvio.

media di PBDE totale per l'intera area è pari a 2,5 ng g⁻¹ p.s. (Fig. 11) con un'ampia variabilità associata.

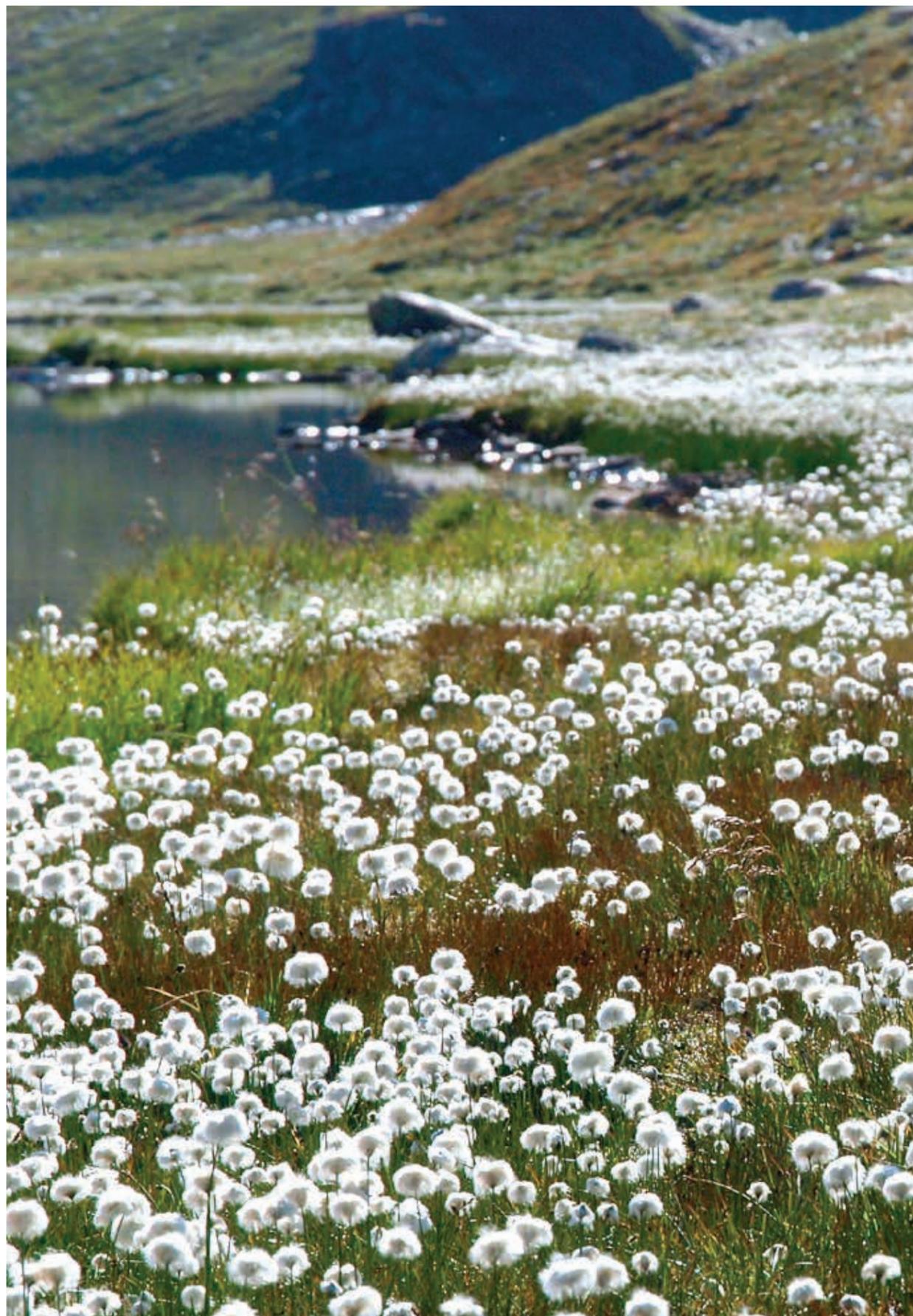
Per quanto riguarda gli IPA, che rappresentano i principali contaminanti presenti, le concentrazioni sono comprese in un intervallo molto ampio fra 70 e 5600 ng g⁻¹ p.s.

La concentrazione media di IPA totali è pari a 454 ng g⁻¹ p.s. per l'intera area (Fig. 11). Le massime concentrazioni, osservate nel Lago delle Tre Mote (ADD 01) presso il Monte Mata e nei laghi Seroti superiore (OGL 35 e OGL 37) presso il Monte Seroti, sono dovute alla presenza di perilene che rappresenta, per alcuni campioni di sedimento, l'IPA prevalente. Tale composto è di origine naturale e deriva dalla biodegradazione di materiale vegetale (cellulosa, lignina, ecc.). Escludendo il contributo del perilene, di origine biologica, si evidenziano alcuni IPA di origine petrogenica (derivanti da prodotti petroliferi) e altri di origine pirogenica (derivanti da combustione).

Infine, è stata condotta un'analisi statistica per verificare l'eventuale esistenza di relazioni tra i valori osservati dei vari contaminanti ed alcune caratteristiche fisiche dei laghi e dei bacini lacustri considerati. Tra i parametri fisici considerati vi sono: l'altitudine, l'esposizione e la superficie del lago, l'area del bacino lacustre o sottobacino, la pendenza media e la superficie glaciale, la presenza percentuale di neve e ghiaccio, detrito, roccia madre e suolo nel bacino.

Le uniche relazioni significative e positive sono state ottenute, elaborando i dati in scala logaritmica, tra la quota dei laghi e la somma di tutti gli IPA di origine pirogenica (P<0,01) e, in modo meno significativo, di quelli di origine petrogenica (P<0,5).

Tale risultato dipende anche dal fatto che gli IPA sono i composti presenti in maggiori concentrazioni e, quindi, più variabili tra i laghi considerati. Il loro accumulo nei laghi dipende dal trasporto di questi contaminanti in atmosfera. I risultati evidenziano che i laghi a maggiore quota sono anche quelli più contaminati da IPA sia di origine pirogenica che petrogenica.



L. Bianco del Gavia: fioritura di erioforo

Biodiversità e conservazionismo

Boggero A.

La biodiversità indica la varietà di specie animali e vegetali riferita ad un ambiente, una località, un Parco, una Regione o uno Stato.

L'elenco in specie che viene fornito attraverso le ricerche condotte è quindi il più facile mezzo per interpretare la ricchezza in biodiversità del Parco Nazionale dello Stelvio.

Nella fattispecie, la biodiversità degli ambienti d'acqua dolce compresi all'interno del Parco si riferisce solamente a macroinvertebrati e Diatomee, ossia ai due gruppi a cui si è rivolto il nostro interesse nell'ambito delle ricerche partite nel 2011 sotto l'egida di Fondazione Lombardia per l'Ambiente e di SHARE, progetto trans-nazionale mirato a studi in aree remote. In altre parole, più esteso e maggiormente dettagliato è l'elenco in specie, maggiore può dirsi l'efficacia della gestione degli habitat operata dall'Ente Parco. Precedenti ricerche hanno evidenziato come l'arco alpino e prealpino, l'Appennino ligure, tosco-emiliano, abruzzese e laziale possano essere considerati come hot-spot di biodiversità.

Oltre ad essi il massiccio calabro-peloritano, distribuito fra il Pollino e i Monti Peloritani nella Sicilia nord-orientale, e i rilievi della Sardegna centrale (Massiccio del Gennargentu).

Sono quindi ambienti dove la biodiversità raggiunge dei picchi in quanto, pur essendo aree montane che presentano caratteristiche meteo-climatiche e territoriali peculiari ed "estreme", sono comunque aree lontane dal contatto con l'uomo e da fonti di inquinamento diretto, ma sono soprattutto aree dove il paesaggio risulta costituito da habitat anche molto diversi fra loro e, per questo, in grado di sostenere una fauna ed una flora caratteristica e variata.

Uno degli scopi del Parco è pertanto la salvaguardia del patrimonio faunistico espressione della biodiversità dei suoi ambienti, attraverso attività mirate alla conservazione sia di eventuali specie endemiche (specie diffuse in modo esclusivo in un territorio circoscritto), che di specie rare (intendendo qui sia la rarità di distribuzione in un numero limitato di aree che di presenza all'interno di una certa area e dipendente dalle esigenze ecologiche delle specie considerate), prevenendo nel contempo la comparsa di specie aliene che potrebbero favorire la scomparsa di specie minacciate snaturando l'attuale fauna locale.

Conoscere quindi la biodiversità del Parco permette di stabilire il suo valore conservazionistico, dipendente non solo dal numero di specie presenti, ma anche dal numero di specie endemiche e rare.

Da qui l'importanza di svolgere ricerche finalizzate che, attraverso studi esaustivi, permettano di individuare, se e quante specie, siano di importanza strategica per il Parco e per la conservazione di questi ambienti, quantificando il grado di specie minacciate.

Tutto questo in linea con quanto proposto dall'Unione Europea, attraverso l'emanazione della Direttiva Habitat (Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21/05/1992), a garanzia del *mantenimento della biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali e semi-naturali, e della flora e della fauna selvatiche sul territorio degli Stati Membri*.

box 7

Biomonitoraggio

Boggero A. e S. Musazzi

Si definisce monitoraggio biologico l'attività di sorveglianza che utilizza le risposte di organismi viventi per determinare se l'ambiente è favorevole alla loro sopravvivenza. Da qui il termine di bio-monitoraggio.

Un altro tipo di bio-monitoraggio è quello utilizzato per soddisfare disposizioni di legge o per il controllo a lungo termine della qualità delle acque attualmente adottato dalla Comunità Europea e dall'Italia per l'implementazione della Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE – EU, 2000).

In questo contesto, alghe e macroinvertebrati sono i due gruppi di organismi più frequentemente raccomandati per la valutazione della qualità dell'acqua. Infatti, sono comunità che, vivendo su di una

superficie sommersa, sono soggette alla variabilità ambientale del comparto acqua, ma anche a quella dei sedimenti.

Proprio per questo e per la loro capacità di integrare informazioni di diversa provenienza, sin dalla fine degli anni '70, sono stati utilizzati nel bio-monitoraggio per verificare gli effetti di sostanze tossiche, o l'efficacia di gestione della risorsa idrica o delle misure di conservazione adottate.

Alghe, in particolare Diatomee, e macroinvertebrati rispondono ai requisiti previsti come indicatori d'eccellenza: *ubiquità*, che permette il loro uso in qualsiasi tipo di ambiente, *elevata ricchezza in specie*, che offre un vasto spettro di risposte a stress ambientali diversi, *sedentarietà*, che consente l'analisi spaziale degli inquinanti, *cicli vitali relativamente brevi* per l'analisi temporale dei cambiamenti dovuti a stress, *relativa facilità di campionamento e di identificazione e risposta a diversi tipi di*

impatto con modifiche nella struttura di comunità.

Va comunque menzionata anche una delle difficoltà che si possono incontrare nel loro utilizzo: l'identificazione tassonomica di entrambi i gruppi e l'ecologia delle specie sono abbastanza conosciute, ma purtroppo la tassonomia è in continua evoluzione e, in quanto tale, richiede lunghi tempi.

Quindi uno dei principali ostacoli alla loro efficacia come bioindicatori risulta essere proprio l'identificazione tassonomica che, senza dubbio, richiede continui aggiornamenti ed una grande esperienza conoscitiva e non può pertanto essere demandata a chiunque.



Mondo nascosto: aspetti biologici

Boggero A., S. Musazzi e S. Zaupa

Il mondo degli organismi che vivono nelle acque dolci è un mondo nascosto agli occhi di chi guarda, ma anche a quelli del ricercatore: stiamo infatti parlando di organismi che sono spesso celati da sassi e ghiaia, fango o vegetazione, oppure di organismi così piccoli che è impossibile osservarli ad occhio nudo, se non quando presenti in grandi masse su ciottoli e massi di laghi e corsi d'acqua. Ma non per questo tale mondo è poco abitato: le acque dolci, infatti, contengono migliaia di organismi dalle forme più svariate e di dimensioni diverse, da pochi centimetri di lunghezza all'infinitamente piccolo. Nel seguito scopriremo quali ambienti sono in grado di creare le condizioni ideali per la sopravvivenza di quali organismi, quale ambiente ne contiene in abbondanza e quale è il più vario e quali sono i fattori chiave che ne determinano la presenza e la distribuzione nei diversi ambienti.

Macroinvertebrati, conoscerli per amarli!

I macroinvertebrati sono organismi di dimensioni superiori a 0,5 mm al termine dello sviluppo larvale o immaginale. Il nome è composto dal prefisso macro, che indica che sono grandi a sufficienza da essere facilmente visibili ad occhio nudo, e dal sostantivo invertebrati, che indica che sono privi di spina dorsale. Vengono anche definiti "bentos o fauna bentonica", in riferimento all'habitat preferenziale, vivono infatti all'interfaccia fondo-acqua, muovendosi attraverso o sui sedimenti di fondo. Si distinguono dal meiobentos, con grandezze comprese tra 0,04 e 0,5 mm (Fenchel, 1978; Higgins & Thiel, 1988) e dai microinvertebrati (microbentos) di dimensioni inferiori a 0,04 mm.



I macroinvertebrati non identificano un gruppo tassonomico specifico, ma sono l'insieme di più gruppi tassonomici anche molto diversi fra loro. Si distinguono insetti allo stato larvale (Efemerotteri, Plecotteri, Tricotteri, Odonati, Coleotteri), piccole sanguisughe e vermi piatti, in grado di muoversi strisciando e/o camminando sul substrato o nuotando, vermi Oligocheti e Molluschi, che invece vivono muovendosi all'interno del substrato, oppure sono costantemente fissati al substrato stesso (alcuni Molluschi bivalvi). Tutti questi organismi coprono più ruoli all'interno di una rete trofica, dagli erbivori ai carnivori, ai decompositori di materia organica e sono fonte primaria di cibo per rettili, anfibi, pesci e uccelli. La loro presenza è quindi indice del buono stato di conservazione di un ambiente e della capacità dell'ambiente stesso di sostenere una buona diversità biologica a livelli superiori.

In particolare, nei laghi d'alta quota, Ditteri chironomidi ed Oligocheti costituiscono più del 70% del popolamento a macroinvertebrati (Boggero et al., 2006), ma, forse per la complessità dell'approccio di studio,

sono un elemento negletto dell'ecosistema. Infatti, soprattutto in questi ambienti, l'interesse principale è sempre stato rivolto alla componente planctonica. Per quanto riguarda i corsi d'acqua invece, la fauna predominante è costituita da Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri che tendono ad occupare tutti gli anfratti fra rocce e sassi lasciati liberi dal sedimento fine, dove trovano rifugio dai predatori e dalla corrente.

Solo recentemente, a partire dagli anni '90, grazie a ricerche europee (progetti ALPE, MOLAR, EMERGE, RECOVER), attenzione particolare è stata rivolta ai laghi alpini come ultima fonte d'acqua incontaminata in grado di sostenere comunità biologiche non alterate da impatti antropici diretti o indiretti, e quindi in ultima analisi mirate alla conservazione della loro biodiversità.

Nell'area del Parco Nazionale dello Stelvio il Lago Bianco è stato l'unico lago considerato per studi biologici nel 1980 e più recentemente altre ricerche hanno considerato i macroinvertebrati di alcuni laghi della Valtellina (Dell'Uomo *et al.*, 1980; Forasacco, 1999), l'oggetto delle attività di ricerca su questi ambienti è rivolto ad estendere gli studi biologici ad altri ambienti situati su versanti a diverse esposizioni ed altitudini, ampliando le conoscenze faunistiche dell'area Parco ad aree finora studiate solamente dal punto di vista glaciologico e geomorfologico, e a chiarire quali fattori (climatici o antropici) contribuiscono a spiegare le differenze nella distribuzione dei macroinvertebrati.

Sino ad oggi, nove sono i laghi campionati lungo la fascia litorale (i laghi Nero - OGL 25, Bianco - FROD 51 e Verde al Passo Gavia - FROD 45, il L. Manzina bassa (FROD 13), due laghi Pisella nella valle omonima (FROD 16 e FROD 17), e tre laghetti in Val Rosole (FROD 40, FROD 43 e FROD 33), tre gli immissari (*In*) (Manzina bassa, Bianco e Nero) e tre gli emissari (*Out*) (Manzina bassa, Bianco e L1_Pisella). I codici fanno riferimento ai laghi presenti nel catasto allegato.

Questi laghi si sono originati durante l'ultima epoca glaciale, caratterizzata da periodi umidi e freddi e avanzamento delle lingue glaciali, alternati a periodi più caldi, causa del regredire dei ghiacciai stessi. Spesso si tratta di laghi di circo, o di laghi situati all'interno di conoidi di frana, in ogni caso circondati da un ambiente tipicamente alpino, brullo, con scarsa o nulla vegetazione pioniera e pochi arbusti nel bacino e rare piante acquatiche all'interno della conca lacustre.

I corsi d'acqua considerati sono stati gli unici per i quali il flusso d'acqua era sufficiente per poter effettuare il campionamento. Infatti, l'anno 2011 è stato caratterizzato da condizioni meteorologiche anomale, con basse temperature sino alla fine di Luglio. Le acque quindi, in alcuni casi, erano ancora sommerse da neve o prive di un flusso che potesse essere rilevato. Nel 2012 l'attività di campagna, svolta su alcuni dei laghi campionati nel 2011, è stata mirata in alcuni casi ad approfondire (L. Bianco con i suoi corsi d'acqua immissario ed emissario campionati anche tramite retino da drift), in altri casi a campionare nuovamente le loro acque perché il primo anno le informazioni si erano rivelate insufficienti (L. Verde).

Nel complesso e allo stato attuale delle conoscenze, sono stati raccolti 2927 organismi lungo il litorale e 6119 nei corsi d'acqua, nei primi finora sono stati identificati 36 taxa (o categorie sistematiche) considerando i livelli di specie, genere e famiglia. In molti casi, infatti, le condizioni degli organismi o il loro stadio di sviluppo ne hanno impedito l'approfondimento tassonomico. Gli studi sono ancora in corso e siamo sicuri che tale elenco verrà facilmente implementato.

I gruppi più rappresentati dal punto di vista numerico sono i Ditteri chironomidi negli immissari (72-96% dell'intera comunità), gli Oligocheti e i chironomidi lungo il litorale (con percentuali e preponderanze variabili) e nuovamente i chironomidi agli emissari (44-72%). Ditteri empididi, limonidi, sciaridi, simulidi e tipulidi, Efemerotteri betidi ed eptagenidi, Plecotteri leucotridi e infine Turbellari planaridi sono risultati caratteristici dei corsi d'acqua perché maggiormente legati a migliori condizioni di ossigenazione, all'acqua corrente e ad un substrato più eterogeneo e grossolano.

Anche dal punto di vista delle diversità Ditteri chironomidi e Oligocheti rappresentano i gruppi dominanti. A tutt'oggi nei laghi sono state trovate fra i chironomidi: 2 Diamesine, 5 Ortocladine e 4 Chironomine, mentre fra gli Oligocheti: 5 naididi (4 naidini e 1 tubificino), 9 enchitreidi e 1 lumbriculide. Tutte le altre categorie tassonomiche sono invece rappresentate da un'unica famiglia e, nella maggior parte dei casi, da un'unica specie.

Laghi e litorali

La fascia litorale dei diversi laghi presenta una comunità più complessa, ma numericamente più povera: il numero di individui è infatti inferiore a 400 unità. Analizzando la figura 16 (basso) dove i laghi sono stati ordinati

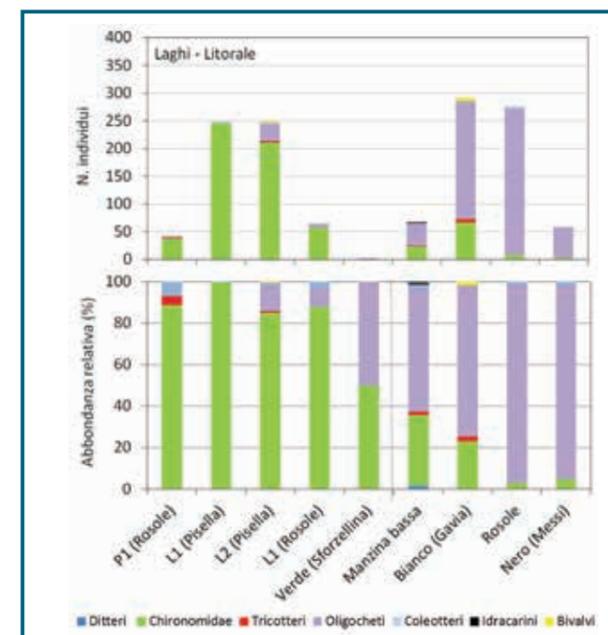


Fig. 16 - Alto: numero di individui e principali gruppi tassonomici riscontrati lungo la fascia litorale; basso: medesimi dati espressi in percentuale. La linea tratteggiata indica la quota dei 2800 m.

in scala decrescente di altitudine, si nota inoltre come, al di sotto dei 2800 m di quota (quota posizionata fra il L. Verde - FROD 45 ed il L. Manzina bassa - FROD 13), ci sia un cambiamento di dominanza nella comunità a macroinvertebrati.

Nei laghi al di sotto di questa quota infatti, l'insieme del popolamento risulta prevalentemente costituito da vermi Oligocheti, con un contributo del 60-93%, mentre al di sopra di tale altitudine c'è una netta prevalenza di Ditteri chironomidi che costituisce dall'88 al 100% della comunità del lago.

Questo è da attribuire probabilmente ad un cambiamento nella tipologia del substrato di fondo, caratterizzato alle quote maggiori da massi e sassaie derivate da conoidi di frana molto povere di detrito, mentre alle quote inferiori il detrito organico va accumulandosi, dando luogo a depositi fini limosi fra cui

si insinua della vegetazione, in grado di sostenere una abbondante comunità di Oligocheti. Si ricorda infine che, tre dei quattro laghi situati al

di sotto dei 2800 m, possiedono almeno un immissario di grosse dimensioni (larghezza superiore a 4 m) in grado di contribuire all'accumulo di sedimento fine. Un lago, il L1 situato in Val Pisella (FROD 16), è costituito pressoché totalmente da Ditteri chironomidi.

Altri gruppi presenti nei laghi più alti sono, in ordine di abbondanza: vermi Oligocheti, Coleotteri e Tricotteri, mentre i bivalvi sono presenti, ma scarsi, nel lago L2 della Val Pisella (FROD 17). Al di sotto di tali quote, invece, i chironomidi costituiscono il secondo gruppo per importanza, anche se talora scarsi (laghi Rosole - FROD 33 e Nero di Valle Messi - OGL 25), seguiti dalla presenza sporadica di altri Ditteri, Tricotteri, Coleotteri e Molluschi bivalvi.

Lago Bianco fra passato e presente

Come si è già detto, il Lago Bianco è stato uno dei pochi laghi a cui si è rivolto l'interesse dei ricercatori dal 1975 (Dell'Uomo *et al.*, 1980) relativamente alla fauna macroinvertebrata. Tale lago, di origine glaciale, è situato nei pressi del Passo Gavia a 2608 m di quota al di sotto dell'ex Ghiacciaio del L. Bianco le cui acque lo riforniscono d'acqua nel corso dell'anno. In questo lago quindi, sono state condotte ricerche mirate ad approfondire le conoscenze sulla fauna bentonica per poterle confrontare con i dati del passato e vedere se è possibile identificare una qualche influenza del Ghiacciaio e del suo ritiro con il tempo.

Nei campionamenti effettuati durante il progetto lungo il litorale, sono stati trovati chironomidi distribuiti su 3 sottofamiglie e 5 specie, di cui *Paracladius alpicola* e *Micropsectra* spp. sono le più abbondanti, Oligocheti con 4 famiglie e 8 specie, con una netta prevalenza di *Nais communis* e *Tubifex tubifex*, e Molluschi bivalvi rappresentati da un'unica famiglia (pisididi) con un'unica specie.

Nel 1975, erano state campionate due stazioni: una in centro lago, corrispondente all'attuale di massima profondità, ed una litorale in area opposta all'emissario, corrispondente ad una delle due attuali stazioni litorali, situata nell'ansa del lago rivolta verso il Rifugio.

All'epoca, 13 taxa erano stati trovati nelle acque lacustri e parzialmente identificati: fra i quali Oligocheti lumbriculidi (non determinati), Idracari (non determinati), Coleotteri (*Agabus* sp.), Tricotteri (*Allogamus auricollis*, *Halesus rubricollis*, *Drusus* sp., *Limnephilus coenosus* (dubbio), *Phryganea grandis*, *Plectrocnemia* sp.), Ditteri chironomidi (*Corynoneura* sp., unico genere riconosciuto) e Molluschi bivalvi (*Pisidium* cfr. *personatum*). Attualmente il numero di taxa identificati è pari a 13, ma con una diversa distribuzione fra i gruppi sistematici rispetto al passato: Oligocheti naidini (*Nais communis*) e tubificini (*Tubifex tubifex*), Coleotteri (*Agabus* sp.), Tricotteri (*Allogamus auricollis*, *Melampophilax* sp.), Ditteri chironomidi (*Pseudodiamesa branickii* e *P. nivosa*, *Paracladius alpicola*, *Micropsectra* spp., *Tanytarsus* gr. *lugens*) e Molluschi bivalvi (*Pisidium* cfr. *personatum*).

box 8

Chironomidi

Boggero A. e S. Zaupa

Immagine modificata da Campaioli (1994) o prodotta da S. Zaupa

I Chironomidi sono insetti di modeste dimensioni, simili a zanzare nella forma adulta, da cui differiscono per la presenza nei maschi di antenne piumose e per l'assenza di apparato pungente nelle femmine, che quindi non si nutrono di sangue. L'adulto infatti, vive pochi giorni senza nutrirsi per riprodursi.

Il loro ciclo vitale comprende diversi stadi di sviluppo: larva, pupa ed adulto, ma solamente i primi due vivono in ambiente acquatico. Le forme più facili da trovare, con le metodiche di campionamento utilizzate, sono le larve, abitatrici dei sedimenti.

Queste sono per lo più algivore, ossia si nutrono di alghe, e detritivore, tranne alcune forme predatrici con differenze morfologiche che le rendono adatte alla caccia. L'identificazione tassonomica di questi organismi si basa sui caratteri morfologici del capo e del corpo. Il capo, chitinoso e ben distinto dal corpo, ha colorazione variabile da tenue a marcato di tutta la scala cromatica, e forma aerodinamica fra i predatori, mentre è ovoidale o quadrangolare negli altri gruppi. Presenta *macchie oculari*, doppie nei detritivori, e singole negli altri gruppi, e *antenne* con funzione sensoriale (lunghe in alcune forme, retrattili nelle forme predatrici, per rendere il capo più aerodinamico agevolando il nuoto, mentre nelle forme semi-acquatiche di terreni umidi sono più corte).

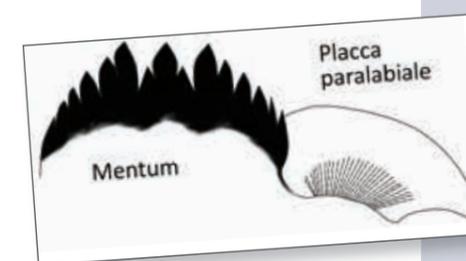
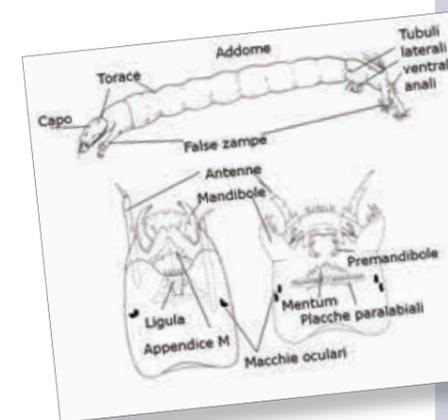
L'apparato boccale è formato da: *mentum*, *placche paraboliali* ai lati, *mandibole* e *premandibole*.

Il *mentum* è ben sviluppato e sclerificato nei detritivori ed è utilizzato per raschiare alghe e detrito dalle superfici sommerse, mentre è ridotto nelle forme predatrici per facilitare l'ingresso di piccoli invertebrati (anche altri chironomidi!). Le *placche paraboliali* sono invece molto sviluppate nelle forme che usano tessere fili sericei tramite ghiandole salivari inglobando piccole particelle di detrito per creare astucci protettivi o reti filtranti acqua per la raccolta di detrito.

Le *mandibole* e le *premandibole* sono pari, articolate, dentellate e dotate di setole che facilitano l'ingresso del cibo.

Le *mandibole* si muovono su un piano orizzontale con movimento contrapposto e sono utilizzate per bloccare la preda o per masticare. Il *prementum* è sviluppato solo nei predatori dove forma il principale apparato deputato all'alimentazione: in particolare, la piastra dentellata mediana rispetto al capo si chiama *ligula*, e dorsalmente a questa esiste una piastra triangolare chiamata *appendice M*. Entrambe facilitano il passaggio delle prede nella faringe.

Il corpo allungato è suddiviso in 13 segmenti: il torace (3 segmenti) in posizione anteriore e l'addome (10 segmenti) posteriormente ad esso. Sul I segmento toracico e sull'ultimo addominale sono presenti false zampe carnosose predisposte per la locomozione e dotate di unghie atte all'ancoraggio. Nei predatori sono molto lunghe per consentire movimenti rapidi e balzi improvvisi. Sul X segmento addominale si trovano tubuli anali con funzione osmoregolatrice e, nonostante la respirazione nei chironomidi sia cutanea, altri tubuli possono trovarsi al VII e/o all'VIII segmento addominale dove sembra che le forme adattate a vivere in ambienti più ossigenati con modeste concentrazioni di ioni disciolti abbiano tubuli più lunghi per favorire la regolazione osmotica dei liquidi interni.



box 9

Oligocheti

Boggero A. e S. Zaupa

Immagini modificate da Campaioli (1994) o prodotte da S. Zaupa

Gli Oligocheti sono vermi tipici di ambienti terrestri e acquatici. In generale sono detritivori, e si nutrono di materiale organico in decomposizione ingerito durante la discesa e gli spostamenti nel sedimento.

Hanno dimensioni variabili da pochi millimetri a qualche centimetro e colorazione variabile fra bianco e giallo, da verde a bruno rossiccio.

Il corpo cilindrico, ha simmetria bilaterale, formato da tanti anelli, detti metameri (contrassegnati in figura da numeri romani), separati tra loro da setti. Il I segmento porta la bocca, ed ha forma rotondeggiante o conica, a volte ridotto o poco visibile, ma in alcune specie talmente sviluppato da formare una *proboscide*.

In alcune specie, l'ultimo segmento del corpo, nel quale si apre l'ano, può presentare *branchie* che facilitano gli scambi di ossigeno. In tutti gli Oligocheti in ogni metamero si ripetono apparato digerente, circolatorio, escretore, muscolare e nervoso.

All'interno del corpo è presente il liquido celomatico, la cui pressione è regolata in ogni segmento dalla contrazione muscolare e che funge da scheletro idraulico, permettendo un movimento del corpo a fisarmonica.

Il I segmento è privo di setole, o chete, mentre i successivi portano 2 ciuffi ventrali e 2 ciuffi dorsali di setole, orientate verso l'estremità posteriore e con funzione locomotoria. Nelle specie semi-acquatiche di ambienti umidi, o adattate a vivere in ambienti con forti escursioni di livello, le setole sono corte e robuste, cosicché, piantandosi nel terreno, permettono l'avanzata e l'infossamento nel sedimento.

Nelle specie acquatiche invece, le setole risultano più lunghe e sottili, con funzione stabilizzatrice del nuoto. La forma delle setole è molto importante nell'identificazione delle specie. Ne esistono di vari tipi: *setole capillari*, molto sottili e allungate e presenti solo nei ciuffi dorsali, lisce, dentellate o pennate; *setole aghiformi*, più corte delle setole capillari, bifide o a punta singola;

setole a ventaglio o palmate, presenti solo nei ciuffi dorsali; *setole sigmoidi*, con forma ad S molto sinuosa, a punta singola o biforcate, con o senza dentelli intermedi; *setole a bastoncino*, diritte e tozze, a punta singola, spesso disposte a ventaglio. In alcune specie, al momento della riproduzione, si assiste alla trasformazione di alcune setole ventrali presenti a livello del clitello. Le setole normali si trasformano in *setole spermatecali* e *peniali*, coinvolte nel trasferimento di spermatozoi durante l'accoppiamento. Queste particolari setole permettono l'identificazione delle specie, in quanto sono specie-specifiche.

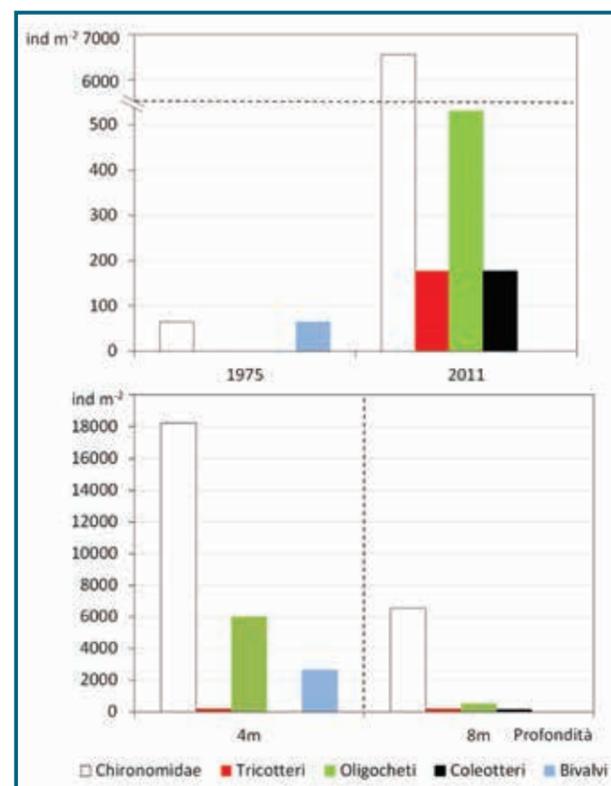
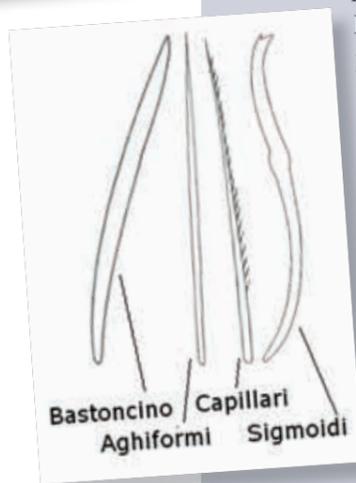
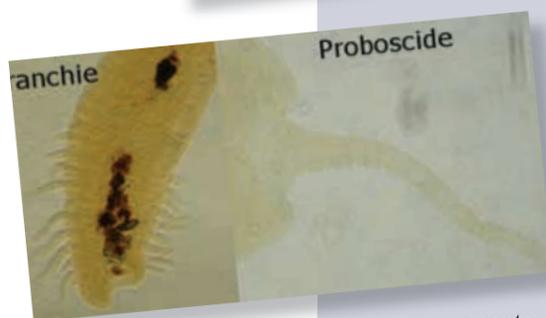
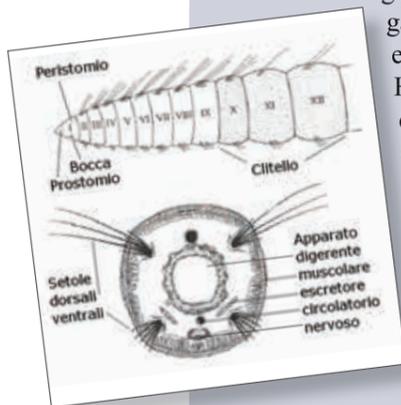


Fig. 17 - Confronto fra le densità dei diversi gruppi tassonomici trovati nel L. Bianco. Alto: in diversi anni; basso: a diverse profondità.

La diversa competenza tassonomica dei ricercatori coinvolti nei due periodi di studio fa sì che i dati risultino disomogenei per gruppo sistematico rendendo difficile l'interpretazione.

L'unico gruppo a cui si può far riferimento è quello dei Tricotteri, dalla cui analisi sembra di poter affermare che tale comunità è diminuita in variabilità specifica. In particolare da notare la presenza, in quel periodo, di *Phryganea grandis*, attualmente non più riscontrata, specie che copre con la sua distribuzione geografica quasi tutta l'Europa compresa l'Italia (<http://www.gwannon.com/species/Phryganea-grandis>) ed è tipica di corsi fluviali torrentizi, mentre *Allogamus auricollis* e *Halesus rubricollis* sono ampiamente diffusi sulle Alpi e tipiche di ambienti alpini (Moretti, 1988; Corallini Sorcetti *et al.*, 1990).

Purtroppo di queste due specie solamente la prima è stata trovata anche ai giorni nostri. Il probabile ritrovamento nel 1975 di *Limnephilus coenosus* sarebbe stato di particolare interesse perché la specie era ed è considerata, almeno sul versante Nord delle Alpi (Svizzera), potenzialmente minacciata di estinzione perché tipica di ambienti precari che possono anche andare soggetti a prosciugamento nel corso dell'anno (Lubini *et al.*, 2012).

Attualmente questa specie non è più stata ritrovata, ma ricordiamo che già nel 1975 la sua presenza era incerta.

Da un confronto dei valori di densità riscontrati alla massima profondità (ca. 8 m) nel 1975 e nel 2011 (Fig. 17), si nota come solamente i Ditteri chironomidi fossero già presenti all'epoca, anche se in densità notevolmente inferiori (inferiori a 100 ind m⁻² rispetto agli attuali ca. 6500 ind m⁻²).

Stesso ordine di grandezza era stato riscontrato per i Molluschi bivalvi, attualmente non più trovati. Nel 2011 infatti, sono stati rilevati prevalentemente Oligocheti, e in minor misura Tricotteri e Coleotteri. Questi ultimi probabilmente portati in profondità dal flusso d'acqua in ingresso con l'immissario. Gli Oligocheti citati appartengono alle famiglie tubificini e naidini, molto comuni in laghi d'alta quota caratterizzati da modesti apporti organici.

L'attuale presenza di elevate densità di organismi rispetto al passato è senz'altro indicatrice di un aumento di trofia del lago, giustificato dal maggior apporto di sostanza organica dal bacino imbrifero e dalla naturale evoluzione del lago verso un suo interrimento, nonché di un aumento nelle temperature non essendo più direttamente influenzato dalla presenza del ghiacciaio. La preponderante presenza di chironomidi rispetto agli Oligocheti (rapporto chironomidi/oligocheti > 1) è tipica di laghi oligotrofici e rende evidente che, nonostante il lago si stia interrando, le sue acque mantengono a tutt'oggi un basso livello trofico, anche se maggiore rispetto al passato.

Confrontando infine i dati di densità dei diversi gruppi tassonomici trovati all'interno del lago nel 2011 a due diverse profondità (Fig. 17), notiamo che i Ditteri chironomidi costituiscono il gruppo preponderante, rappresentati, in superficie, da densità significative (ca. 18000 ind m⁻²), che si riducono ad 1/3 in profondità, seguiti da vermi Oligocheti, con densità di 6000 ind m⁻² in superficie, ridotte a ca. 500 ind m⁻² in profondità. Lungo il litorale sono ancora ben rappresentati i Molluschi bivalvi che scompaiono ad 8m, mentre i Tricotteri sono sempre presenti con pochi individui, così come i Coleotteri, esclusivi delle zone più profonde e trascinati qui dall'immissario.

box 10

Cose dell'altro mondo: la rigenerazione

Boggero A. e S. Zaupa

La capacità di rigenerare parti del corpo è molto diffusa nel mondo animale: molti organismi, infatti, possono ricostruire o riparare parti perdute o danneggiate del proprio corpo, ma questa capacità tende a diminuire crescendo nella scala evolutiva.

Nelle planarie (Platelminti o vermi piatti), nelle idre (Celenterati), nelle stelle di mare (Echinodermi) e nei lombrichi (Anellidi Oligocheti) è frequente il caso di cellule di un frammento che si riorganizzano in un nuovo individuo, che poi si accresce raggiungendo le sue dimensioni tipiche.

Il mondo animale è ricchissimo di esempi che mostrano come la natura offra enormi possibilità agli organismi per garantirne la sopravvivenza.

Il fenomeno della rigenerazione è importante in animali semplici, dove esistono cellule indifferenziate e potenzialmente adatte a dare luogo a qualsiasi tipo di cellula, che migrano verso il punto leso e organizzano la rigenerazione.

Si ricordano le stelle marine, in grado di rigenerare i bracci persi, anche se in scala ridotta (i bracci rigenerati, infatti, sono più piccoli degli originali), o la lucertola che rigenera la propria coda mozzata.

In particolare, questo rettile, quando viene catturato per la coda, la abbandona all'avversario preservando la propria vita. La coda verrà poi rigenerata in breve tempo, permettendo all'animale di recuperare l'aspetto abituale.

Fra gli Oligocheti è noto che la superficie del frammento di corpo rivolta verso il capo formerà nuovamente il capo e la superficie rivolta verso la coda formerà nuovamente la coda, evidenziando la presenza di una polarità che indirizza la formazione delle diverse parti del corpo.

Si presentano a volte casi di iper-rigenerazioni oppure di rigenerazioni multiple o ancora di rigenerazioni anomale.

In particolare, la figura mostra proprio un caso raro di rigenerazione multipla: infatti, l'oligocheta trovato ha ricostruito parte del proprio corpo dando luogo a due parti caudali.

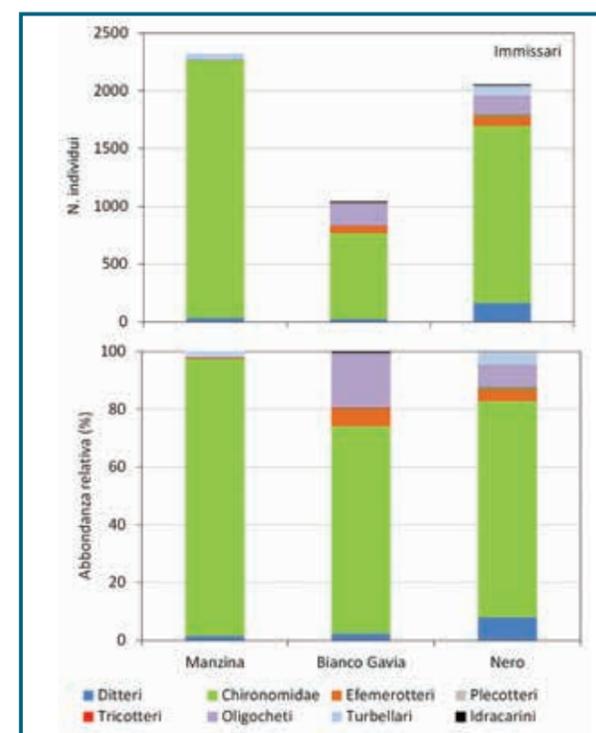


Fig. 18 - Alto: numero di individui e principali gruppi tassonomici riscontrati negli immissari; basso: medesimi dati espressi in percentuale.

Senso unico - In & ...

Gli ambienti degli immissari si presentano molto diversi fra loro.

L'immissario del L. Manzina bassa è quello situato a quote maggiori (ca. 2790 m s.l.m.) e si getta nel lago creando una sorta di piccolo delta. Data la complessità che avrebbe rivestito il suo campionamento, si è preferito risalire al punto di unione dei diversi rami e qui prelevare i campioni. L'alveo è costituito da ciottoli e sassi e in bassa percentuale da ghiaia.

L'immissario del L. Bianco del Gavia (2608 m) si suddivide in tre diversi rami prima di buttarsi a lago, ognuno con substrato prevalente a sabbia. Infine, l'immissario del L. Nero, situato ad una altitudine di 2392 m, è costituito da una vecchia derivazione creata dall'uomo per mantenere un flusso costante d'acqua di approvvigionamento di un vicino cascinale.

Gli immissari hanno una fauna più abbondante rispetto a laghi ed emissari, rappresentata da più di 1000 individui ciascuno (Fig. 18 alto) e sono anche gli ambienti con maggior diversità, presentando almeno 7 gruppi tassonomici differenti.

L'immissario del L. Bianco presenta però un numero di individui dimezzato rispetto agli altri due. Una delle probabili cause è proprio la sabbia, derivata dalla forte produzione di materiale grossolano in seguito all'arretramento del Ghiacciaio che, infiltrandosi in tutte le cavità lasciate generalmente libere fra un ciottolo e l'altro, porta ad una drastica diminuzione del numero di microhabitat a disposizione per i macroinvertebrati. In tutti gli immissari prevalgono i chironomidi che costituiscono dal 72 al 96% della comunità bentonica (Fig. 18).

Nell'immissario del L. Manzina bassa sono inoltre presenti in basse percentuali (2%) anche altri Ditteri e vermi piatti (Turbellari tricladi), in quello del L. Bianco sono ben rappresentati anche gli Oligocheti (19%) e in minor misura Efemerotteri (6%) ed altri Ditteri (2%). Infine, l'immissario del L. Nero, situato a quote inferiori, presenta abbondanze relativamente elevate (8%) di Ditteri simulidi e Oligocheti, mentre abbondanze inferiori (4%) si riscontrano per Efemerotteri e vermi piatti.

Tale aumento di diversità in quest'ultimo corso d'acqua può essere in relazione con le quote più basse, che permettono l'instaurarsi di una comunità maggiormente diversificata, e con la presenza di un cascinale con bovini e vegetazione acquatica, ambiente prediletto dai simulidi.

Senso unico - ... Out

Negli emissari il numero di individui è sempre inferiore a 500 (Fig. 19), perché, al momento del campionamento, l'acqua era scarsa e celata fra i sassi, quindi difficilmente raggiungibile con il retino. Nonostante questo, nel popolamento dominano i chironomidi (più del 70% - Fig. 19 basso),

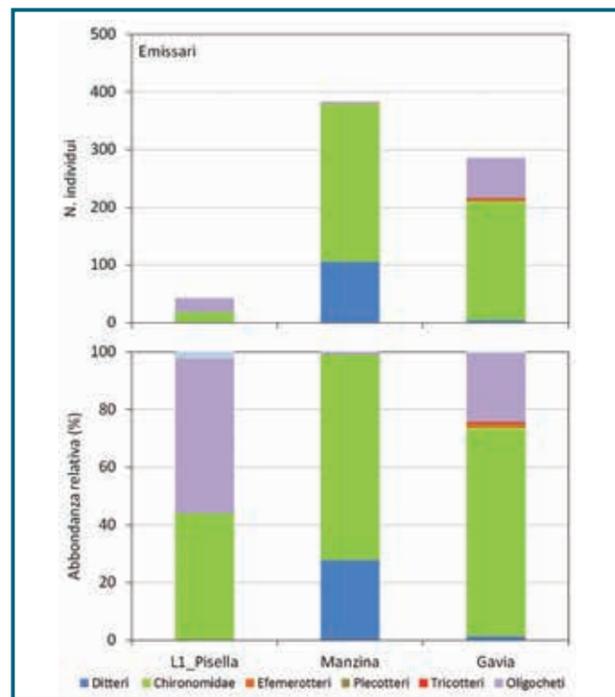


Fig. 19 - Alto: numero di individui e principali gruppi tassonomici riscontrati negli emissari; basso: medesimi dati espressi in percentuale.

seguiti da simuliidi e vermi Oligocheti, con abbondanze superiori al 20% per la presenza di zone laterali con scarsa corrente, ed Efemeroteri che rappresentano solamente l'1% della comunità.

L'emissario del L1 della Val Pisella, invece, presenta una comunità costituita in parti pressoché uguali da chironomidi e Oligocheti, con pochi Coleotteri. In occasione del campionamento, infatti, nonostante fosse presente acqua e la larghezza dell'alveo si aggirasse intorno ai 7,5 m, il flusso era appena percettibile con numerose piccole pozze a forte sedimentazione che hanno ridotto notevolmente le possibilità di campionamento.

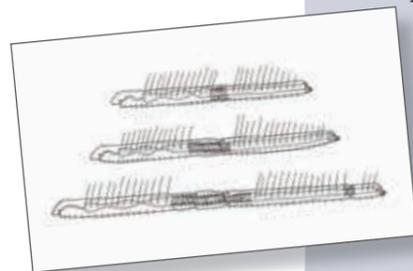
box 11

Scelte di vita

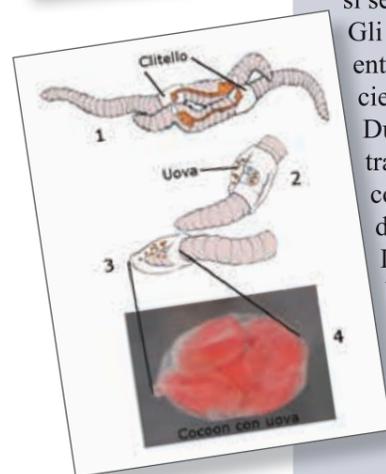
Boggero A. e S. Zaupa

Immagini modificate da Campaioli (1994)

e da <http://www.lucioPesce.net/zoologia/anellidi/oligo.htm> o prodotte da S. Zaupa



Alcuni Oligocheti possono riprodursi asessualmente per frammentazione o per divisione del corpo e rigenerazione delle parti mancanti. La maggior parte invece alterna la riproduzione asessuata a quella sessuata a seconda dello stadio di sviluppo. Nella frammentazione, gli individui si separano prima della rigenerazione delle parti mancanti, mentre nel secondo tipo di riproduzione asessuata le parti mancanti si formano prima della divisione degli individui, dando luogo a catene temporanee di piccoli oligocheti (zooidi) che infine si separano, liberandosi in acqua.



Gli Oligocheti sono tutti ermafroditi (ogni individuo contiene in sé entrambi i sessi) a fecondazione incrociata (raramente autosufficienti), con segmenti maschili e femminili distinti.

Durante l'accoppiamento (1), due Oligocheti si accoppiano ventralmente, orientati in senso opposto, trattenuti da manicotti mucosi secreti dal rispettivo inspessimento clitellare (zona ghiandolare che si estende nell'area genitale) e bloccati dalle chete.

Dopo l'accoppiamento, il clitello secerne intorno al verme un bozzolo (cocoon) contenente albumina (2) all'interno del quale vengono deposte le uova. In seguito (3), tramite contrazione muscolare, il clitello viene sfilato dalla parte apicale dell'individuo e le aperture del bozzolo si saldano (4).

Lo sviluppo delle uova è diretto e avviene all'interno dei bozzoli.

box 12

Contro corrente: adattamenti all'acqua che scorre

Boggero A. e S. Zaupa

Immagini prodotte da S. Zaupa

Gli invertebrati dei corsi d'acqua sono animali che vivono, almeno parte del loro ciclo vitale, su substrati disponibili utilizzando artifici diversi per evitare la corrente, più che resisterele.

Esistono due tipi differenti di adattamenti: morfologici e comportamentali. Fra i primi ricordiamo l'appiattimento dorso-ventrale, tipico di alcune famiglie di Efemeroteri e Coleotteri, e la forma affusolata e idrodinamica del corpo per resistere in ambienti a corrente molto veloce.

Ricche fonti di cibo sono presenti proprio sulle rocce esposte dove la corrente è maggiore, quindi gli organismi che qui si nutrono, dovranno arrischiarsi su queste superfici almeno per breve periodo. Nelle rimanenti ore del giorno, le stesse specie potranno rifugiarsi in luoghi protetti, ossia sotto i massi, fra i ciottoli, tra la vegetazione, e persino dentro il fango, sempre grazie alla forma appiattita.

In questo modo sono anche protette dai predatori che difficilmente riusciranno a trovarle e a starlele.

Forme affusolate sono invece tipiche dei Plecotteri, buoni nuotatori, anzi i soli fra gli insetti in grado di nuotare, anche se per brevi distanze, contro forti correnti.

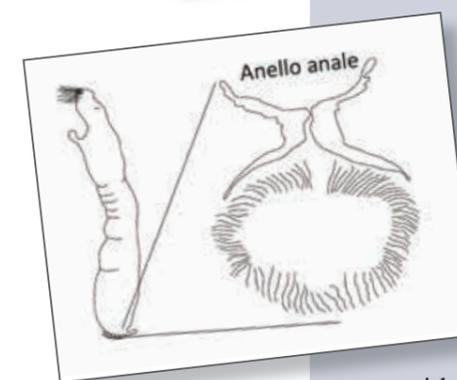
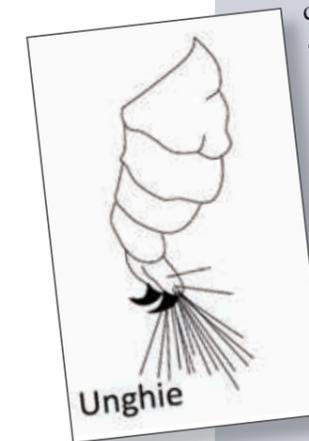
Altri organismi sono invece dotati di strutture atte all'ancoraggio al substrato: ricordiamo le *ventose* dei blefariceridi che permettono loro di vivere esclusivamente sulle superfici delle rocce sottoposte a forte corrente, sebbene in queste condizioni, tali organismi siano in grado di spostarsi sollevando una ventosa per volta per vincere la forza di trascinamento dell'acqua. Unghie e uncini vengono utilizzati da molti insetti per mantenere la loro posizione in acqua. Coleotteri e Tricotteri possiedono *unghie* robuste, così come i chironomidi sono dotati di anelli di piccoli uncini situati sugli pseudopodi (una sorta di piccoli arti), in posizione anteriore e posteriore, che permettono loro di staccare solo una di queste parti del corpo alla volta dal fondo di adesione, adottando un movimento a compasso.

Secrezioni appiccicose e filamentose hanno infiniti usi in acqua, ma costituiscono un altro metodo per opporsi alla corrente adottato da molti insetti: per esempio i Tricotteri fissano gli astucci larvali al substrato usando tali secrezioni.

I simuliidi invece, adottano due tecniche: filano una matassa setosa sulla superficie del substrato dove innestano l'*anello anale* di piccoli uncini di cui sono dotati.

Quando vogliono spostarsi, piegano il loro corpo ad arco in modo che il capo, in particolare la bocca, sfiori il substrato permettendo ad essa di filare una nuova matassa, con l'anello di uncini anteriori si fissano entro la matassa in modo da permettere il disancoraggio della parte anale, e così via.

I Tricotteri abitatori di acque turbolente costruiscono astucci larvali più pesanti di quelli che vivono in acque ferme. In particolare alcuni limnefilidi appesantiscono i loro astucci con sassolini di maggiori dimensioni che fun-



gono da zavorra.

Oltre a questi meccanismi morfologici adattativi, gli insetti adottano anche diverse strategie comportamentali per combattere la corrente: fra queste citiamo la migrazione contro corrente, che permette loro di opporsi al trasporto verso valle delle larve, e il volo di risalita adottato dagli adulti al momento dell'ovodeposizione.

Ricordiamo che alcuni elementi della fauna bentonica superficiale sono poco adatti a resistere alla corrente e sono quindi limitati a vivere in aree con flussi inferiori, in lanche, nei pressi delle rive, o, come abbiamo già detto, cercando rifugio fra la vegetazione (Oligocheti naidini, Ditteri limonidi, ecc.).

L'infinitamente piccolo

Le Diatomee (Bacillariophyceae) sono alghe unicellulari costituenti una delle classi dominanti del fitoplancton e del fitobentos di acque dolci e marine, ma con generi e specie diverse a seconda delle caratteristiche geografiche, idrologiche e chimico-fisiche del corpo idrico che le ospita. Si rinvencono in tutti i tipi di acque anche oltre i 200 m di profondità, ma non solo: si trovano, infatti, anche nei ghiacci, nel terreno, sui monumenti e persino in atmosfera.

Sebbene una singola specie possa vivere in più ambienti, esse presentano differenze tali per cui ciascun habitat ha una comunità caratteristica. Generalmente le Diatomee vivono di preferenza nelle acque a bassa temperatura, il che spiega la loro grande diffusione nella zona alpina e nei mari polari, come pure il loro *optimum* di sviluppo nel periodo invernale-primaverile.

Le cellule sono solitamente solitarie, ma alcune specie formano colonie a catena. Sono organismi di dimensioni piccolissime, che variano da pochi micron fino a oltre mezzo millimetro (si pensi che la cruna di un ago è larga 1 mm, ovvero 1000 micron!!).

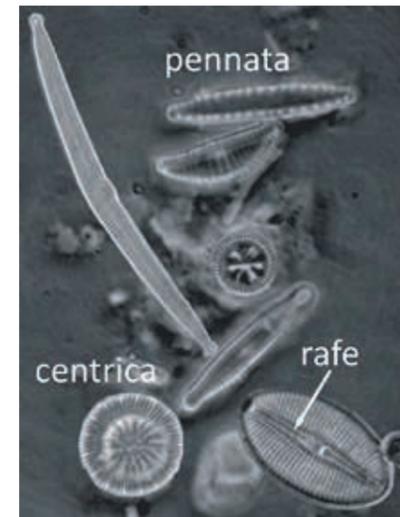
Certo non sono visibili ad occhio nudo, ma possiamo avvertire la loro presenza quando sentiamo o vediamo quella patina brunastra e scivolosa sui ciottoli del fondo di un lago o di un torrente.

Per osservarle si usa il microscopio ottico, capace di ingrandirle 1000 volte, ma se si vogliono vedere i dettagli più piccoli bisogna utilizzare il microscopio elettronico a scansione (SEM) capace di ingrandirle 10000 volte e di fornire immagini tridimensionali.

Spesso hanno forma allungata e costituiscono il gruppo algale con il maggior numero di specie (10^4 - 10^5 diverse specie), responsabile di quasi un quarto della produzione primaria netta mondiale.

Come tutte le cellule vegetali, anche le Diatomee possiedono una parete cellulare, che conferisce loro rigidità e capacità di mantenimento della forma, e contribuisce ad alcuni processi fisiologici. Tuttavia la parete delle Diatomee, chiamata frustulo, presenta caratteristiche uniche in tutto il regno vegetale.

È costituita da materiale siliceo che la rende dura e resistente come il



vetro ed è composta da due valve (rispettivamente ipoalva, più piccola, ed epivalva, più grande) che si sovrappongono e incastrano, avvolgendo la cellula vegetale come una scatola col suo coperchio. Possiedono inoltre una cintura in corrispondenza della zona di sovrapposizione delle due valve. Un'altra importante caratteristica del frustulo, ed elemento di separazione tra i diversi ordini di Diatomee, è la presenza o meno del rafe, una fessura longitudinale che, come vedremo, è necessaria per il movimento. Forma, dimensioni e ornamentazioni del frustulo sono costanti tipiche di ogni specie ed hanno quindi grande valore sistematico. In particolare, in base ad una prima osservazione è possibile distinguere le Diatomee in due gruppi principali:

- centriche: con ornamentazioni disposte a raggera oppure in cerchi concentrici. Queste sono prevalentemente marine, hanno un frustulo sempre privo di rafe, di forma circolare, ovale, triangolare o quadrata, e sono tutte planctoniche e immobili, ovvero trascorrono il loro intero ciclo di vita sospese nella colonna d'acqua.

- pennate: con ornamentazioni disposte come le barbe di una penna. Possiedono un frustulo di forma ellittica, bastoncellare o a navetta. Sono generalmente bentoniche, cioè vivono aderenti a substrati lungo il litorale dei laghi, mentre la loro diffusione in acque profonde dipende dalla disponibilità di substrati adatti e dal grado di penetrazione della luce. Molte sono d'acqua dolce.

Per le Diatomee pennate bentoniche, il tipo di substrato al quale aderiscono è una caratteristica molto importante che controlla la distribuzione delle specie. Le comunità bentoniche sono, infatti, generalmente distinte in epifitiche, se aderenti a vegetali (macroalghe, muschi e piante acquatiche), epipeliche, o epipsammiche, se libere sul limo di fondo o sulla sabbia, ed epilittiche, se attaccate a substrati duri, naturali o artificiali, quali ciottoli, rocce, pilastri di ponti ecc. Va sottolineato tuttavia che uno stesso genere spesso comprende specie colonizzatrici dei diversi ambienti.

box 13

Diatomee in movimento

Musazzi S.

A seconda dell'habitat occupato possiamo individuare diverse modalità di movimento.

Contrariamente ad altri organismi del fitoplancton, le Diatomee non sono dotate di flagelli, e a causa della densità delle loro pareti silicizzate tendono ad affondare piuttosto rapidamente.

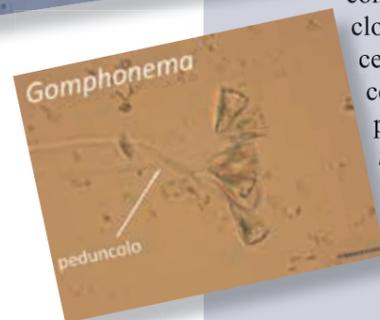
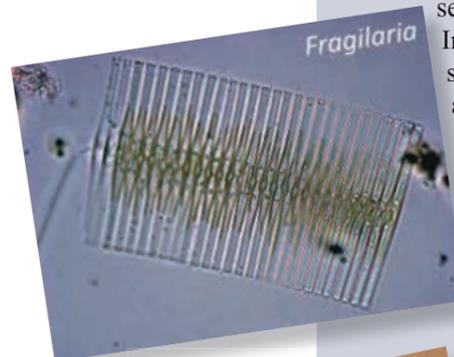
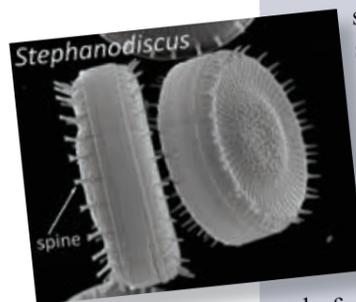
Per restare più a lungo sospese nella colonna d'acqua, sfruttando le turbolenze dovute ai venti, alle correnti e ai movimenti interni dell'acqua, le specie planctoniche tendono ad essere di piccole dimensioni.

Alcune di esse inoltre hanno adottato strategie evolutive che ne aumentano la superficie di galleggiamento, come lo sviluppo di appendici e spine (es. *Stephanodiscus* spp.) oppure la formazione di colonie (es. *Fragilaria* sp.), nelle quali le cellule rimangono adese le une alle altre grazie all'incastro di spine o alla secrezione di un manicotto di mucillagine.

Invece alcune Diatomee Pennate, epipeliche e dotate di rafe, sono mobili e strisciano liberamente sul substrato grazie alla secrezione attraverso il rafe di sostanze adesive.

Questo consente movimenti migratori su e giù, dentro e fuori lo strato più superficiale di sedimento in relazione a cicli ambientali quali luce-buio o per sfuggire all'attività di predazione di svariati vertebrati e invertebrati bentonici.

Vi è poi un gruppo di Diatomee, anch'esse bentoniche, completamente privo di mobilità che trascorre l'intero ciclo vitale attaccato al proprio substrato. In questo caso le cellule restano ancorate o mediante lo sviluppo di peduncoli (ad es. alcune specie di *Cymbella* e *Gomphonema*) o perché strettamente aderenti al substrato (come *Cocconeis*, *Amphora*, *Epithemia*).



box 14

Piccole, ma non troppo

Musazzi S.

Disegno modificato da Nybakken (1993)

Le Diatomee normalmente si riproducono per divisione, ma in determinate condizioni possono anche ricorrere alla riproduzione sessuata.

Quando una diatomea va incontro a divisione, ciascuna cellula figlia riceve dalla cellula madre una delle due valve, che viene utilizzata come valva esterna - *epivalva*, mentre forma una nuova valva interna - *ipovalva*.

In tal modo le cellule che ricevono l'ipovalva materna, danno luogo ad una cellula più piccola della cellula madre, portando ad ogni ciclo cellulare a una progressiva diminuzione della dimensione media dei frustuli nella popolazione (nel disegno i numeri romani indicano l'ordine di generazione delle due valve, mentre i colori le diverse dimensioni).

Poiché le cellule figlie più piccole si dividono più lentamente rispetto alle "sorelle" di dimensioni maggiori, nella popolazione le diverse taglie saranno rappresentate sia in base al numero di divisioni che in base alla velocità di riproduzione.

Raggiunta una dimensione minima vitale (corrispondente a 1/3 della taglia massima della specie), la diatomea ripristina la taglia massima tramite riproduzione sessuale.

Qualora invece le cellule superino la soglia critica e diventino troppo piccole, continuano a dividersi finché non muoiono.

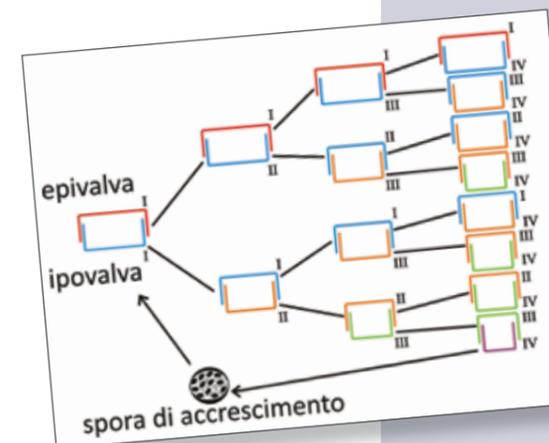
Durante la riproduzione sessuale, si ha la formazione di una *spora di accrescimento*, circondata da una membrana, all'interno della quale si forma una nuova diatomea che prima di sintetizzare il proprio frustulo si accresce fino al raggiungimento delle dimensioni massime possibili per la specie.

In tal modo viene ripristinata la taglia massima.

È stato dimostrato che specie planctoniche mostrano cicli sessuali (dalla taglia massima iniziale al ripristino della successiva taglia massima) anche di venti o più anni!

Cicli così lunghi consentono di mantenere la capacità di riprodursi sessualmente minimizzando però i costi energetici.

In risposta a particolari fattori (carenza di nutrienti, temperatura, intensità luminosa, pH) le Diatomee possono produrre anche delle spore durature, ricche di sostanze di riserva, che possono rigerminare al ripresentarsi delle condizioni favorevoli per la crescita della specie.



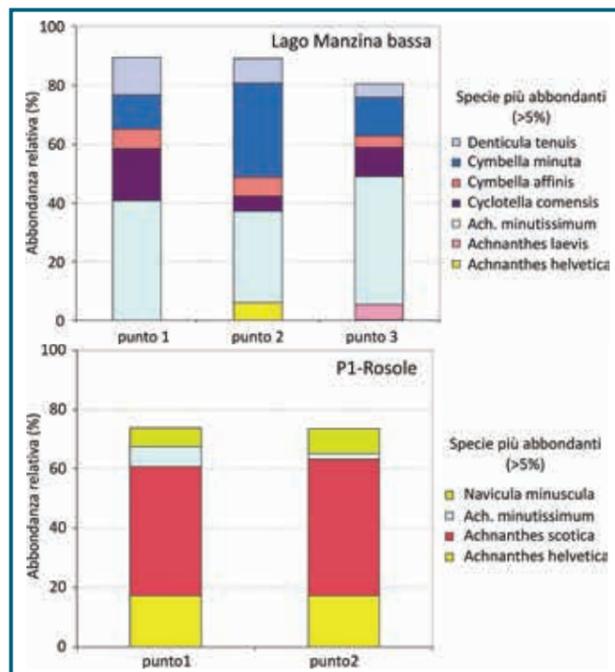


Fig. 20 - Alto e basso: Confronto fra la distribuzione di specie tra diversi replicati dello stesso campione all'interno di un lago. Si presentano solo i dati relativi alle specie più abbondanti, ossia presenti con percentuale superiore a 5%.

Osservando al microscopio

Nell'ambito di due campagne di campionamento condotte nel 2011 e nel 2012, sono stati investigati 10 laghi.

Uno di essi presentava un numero troppo basso di esemplari ed è stato scartato (Lago Verde - FROD 45). Sebbene vi sia una variazione temporale nelle comunità di Diatomee dei laghi alpini coperti dal ghiaccio per lunghi periodi, per ragioni pratiche è stato necessario basare la loro caratterizzazione su singoli campioni o su repliche di essi raccolte in un unico prelievo. In totale sono state identificate 115 specie appartenenti a 23 generi.

Bisogna sottolineare che specie appartenenti ad uno stesso genere spesso occupano habitat differenti.

Confrontando i dati emersi dall'analisi di più replicati prelevati in uno stesso lago (Fig. 20, Manzina bassa - FROD 13 e P1-Rosole - FROD 40) si osserva un'evidente uniformità nelle comunità di Diatomee epilittiche, sia per il numero di specie dominanti rinvenute, sia per la loro percentuale, avvalorando così le informazioni ottenute su quei laghi per i quali era disponibile un solo campione.

Al contempo, aumenta il numero di specie rare identificate, che, sebbene forniscano informazioni a livello di distribuzione tassonomica, tuttavia hanno scarsa influenza nella valutazione ecologica del corpo idrico. Esaminando i diversi bacini lacustri si nota una differente distribuzione di specie (Fig. 21).

In quasi tutti i siti considerati troviamo in abbondanza sia specie con ampio areale di distribuzione, o, come detto in precedenza, ad ampia valenza ecologica, quali *Achnanthes minutissimum*, *Cymbella minuta* e *Cymbella affinis*, sia specie assai comuni nei laghi alpini quali *Achnanthes helvetica*, *A. scotica*, *A. marginulata*, *Denticula tenuis*, e le piccole Fragilariaceae (*Staurrosira elliptica*, *Pseudostaurrosira brevistriata*), con una proporzione di specie abbastanza omogenea all'interno del lago.

Si discostano da questa descrizione tre laghi nei quali vi è una netta dominanza di specie.

Nel Lago delle Rosole (FROD 33) troviamo una marcata presenza di specie tipiche di ambienti soggetti a forti escursioni di livello, con possibili periodi di siccità, quali *Navicula Krasskei* e varie specie di *Nitzschia*.

La pozza nei pressi del ghiacciaio dei Forni è dominata

da *Surirella roba* (73%) una specie liberamente mobile, acidofila e oligo-sapropa con preferenze per ambienti con pH<7 e scarsa contaminazione da materia organica.

Nel Lago Nero (Valle Messi - OGL 25) la presenza quasi esclusiva di *Fragilaria capucina* var. *gracilis* (83%), una specie frequente in laghi distrofici, che può tollerare un carico organico più che moderato, può essere spiegata dalla vicinanza di una malga che rilascia nel lago i liquami di lavaggio delle stalle.

Normalmente questa specie si ritrova nella componente planctonica della flora di un lago, ma non è escluso che possa vivere in cuscinetti mucilaginosi su substrati rocciosi, come già accertato per *Fragilaria tenera* e *Synedra nana*, specie con morfologia ed ecologia simili.



L. Bianco del Gavia: scie di Tricotteri in movimento

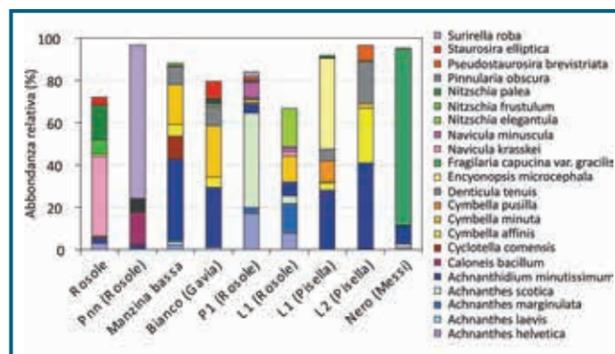


Fig. 21 - Abbondanze relative delle specie rilevate nei laghi studiati e rappresentate da più del 5% dei ritrovamenti. Si presentano solo i dati relativi alle specie più abbondanti, ossia presenti con percentuale superiore a 5%.

Bibliografia

Alcamo J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, M. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen & A. Shvidenko. 2007. Europe. In: Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (eds), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK: 541–580.

Auer I., R. Böhm, A. Jurkovic, W. Lipa, A. Orlik, R. Potzmann, W. Schöner, M. Ungersböck, C. Matulla, K. Briffa, P.D. Jones, D. Efthymiadis, M. Brunetti, T. Nanni, M. Maugeri, L. Mercalli, O. Mestre, J.-M. Moisselin, M. Begert, G. Müller-Westermeier, V. Kveton, O. Bochnicek, P. Stastny, M. Lapin, S. Szalai, T. Szentimrey, T. Cegnar, M. Dolinar, M. Gajic-Capka, K. Zaninovic, Z. Majstorovic & E. Nieplova. 2007. HISTALP - Historical Instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region 1760–2003. *International Journal of Climatology*, 27: 7–46.

Autorità di Bacino del Fiume Po. 2002. *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua del bacino del Fiume Po. Specifica per il rilievo delle caratteristiche granulometriche dei depositi d'alveo*. Specifica tecnica delle attività. Parma: 7pp.

Boggero A., L. Füreder, V. Lencioni, T. Simcic, B. Thaler, U. Ferrarese, A.F. Lotter & R. Ettinger. 2006. Littoral Chironomid communities of Alpine lakes in relation to environmental factors. *Hydrobiologia*, 562: 145-165.

Boggero A., S. Zaupa, B. Rossaro, V. Lencioni & F. Gherardi. 2011. Guida tecnica alla programmazione del campionamento e alla scelta della strumentazione idonea per lo studio della fauna macroinvertebrata lacustre. *CNR-ISE Report*, 02.11: 64 pp.

Brugnara Y., M. Brunetti, M. Maugeri, T. Nanni & C. Simolo. 2012. High-resolution analysis of daily precipitation trends in the central Alps over the last century. *International Journal of Climatology*, 32: 1406-1422.

Campaioli S., P.F. Ghetti, A. Minelli & S. Ruffo. 1994. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane*. Vol. I. Provincia Autonoma di Trento: 357 pp.

Cannone N., Diolaiuti, G. & M. Guglielmin. 2009. *Itinerari naturalistici al Passo Gavia: cambiamento climatico ed evoluzione dei paesaggi alpini*. Parco Nazionale dello Stelvio, Bormio: 176 pp.

Corallini Sorcetti C., F. Cianficconi & G.P. Moretti. 1990. *Allogamus ausoniae* Moretti (Insecta Trichoptera): ecologia, etologia e geonomia. Atti 53° Congr. U.Z.I., sez. Poster, Palermo 1-5 Ottobre 1990: 61-62.

De Bernardi R. 1984. Methods for the estimation of zooplankton abundance. In: Downing J.A. & F.H. Rigler (eds), *A manual on method for the assessment of secondary productivity in fresh waters*. Blackwell Scientific Publications, Handbook, 17: 59-86.

Dell'Uomo A., F. Pedrotti, M.V. Di Giovanni, M.I. Taticchi & O. Tiberi. 1980. Studio idrobiologico del Lago Bianco (Parco Nazionale dello Stelvio). *Quaderni del Parco Nazionale dello Stelvio*, 2: 67-95.

EEA (European Environment Agency). 2009. Regional climate change and adaptation - The Alps facing the challenge of changing water resources. *EEA Report 8/2009*: 143 pp.

EU. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*: 72 pp.

Fenchel T.M. 1978. The ecology of micro- and meiobenthos. *Annual review of Ecology and Systematics*, 9: 99-121.

Forasacco E. 1998-1999. *Morfologia ed ecologia di alcune aree proglaciali dell'Alta Valtellina*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Milano: 134 pp.

Frost S., A. Huni & W.E. Kershaw. 1971. Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna. *Canadian Journal of Zoology*, 49: 167-183.

Giussani G., R. De Bernardi, R. Mosello, I. Origgi & T. Ruffoni. 1986. Indagine limnologica sui laghi alpini d'alta quota. *Documenta Ist. Ital. Idrobiol.*, 9: 415 pp.

Hauer F.R. & V.H. Resh. 1996. Benthic macroinvertebrates. In: Hauer F.R. & G.A. Lamberti (eds), *Methods in stream ecology*. Academic Press: 339-369.

Higgins R.P. & J. Thiel (eds). 1988. *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press, Washington DC.

Lubini V., S. Knispel, M. Sartori, H. Vicentini & A. Wagner. 2012.

Liste Rosse Efemerotteri, Plecotteri, Tricotteri. Specie minacciate in Svizzera, stato 2010. Ufficio federale dell'ambiente, Berna, e Centro Svizzero di Cartografia della Fauna (CSCF), Neuchâtel. *Pratica ambientale*, 1212: 111 pp.

Moretti G. 1988. Tricotteri del Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi" di Bergamo. *Riv. Mus. civ. Sc. Nat. "E. Caffi" Bergamo*, 13: 1-19 pp.

Nangeroni G. 1979. Il catasto dei laghi alpini italiani. *Atti Soc. It. Sc. Nat., Museo Civico Storia Naturale*, 120 (3/4): 219-226.

Nybakken J.W. 1993. *Marine Biology*. Harper Collins, New York: 446 pp.

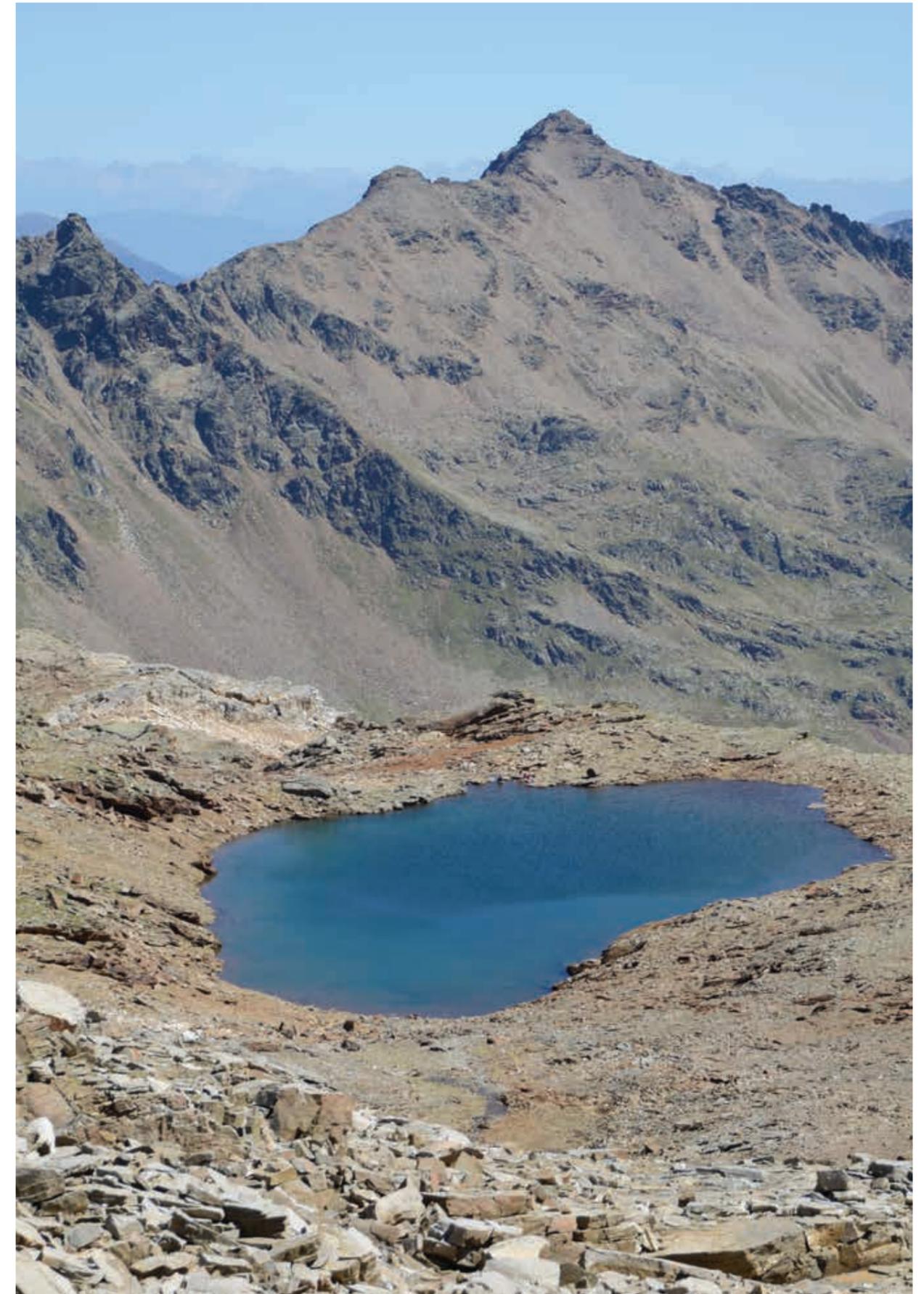
Rogora M., J. Massafiero, A. Marchetto, G.A. Tartari & R. Mosello. 2008. The water chemistry of Northern Patagonian lakes and their nitrogen status in comparison with remote lakes in different regions of the globe. *J. Limnol.*, 67 (2): 75-86.

Storey A.W. & L.C.V. Pinder. 1985. Mesh-size and efficiency of sampling of larval Chironomidae. *Hydrobiologia*, 124: 193-197.

Tartari G., F. Salerno, E. Buraschi, G. Bruccoleri & C. Smiraglia. 2008. Lake surface area variations in the North-Eastern sector of Sagarmatha National Park (Nepal) at the end of the 20th Century by comparison of historical maps. *Journal of Limnology*, 67(2): 139-154.

Toreti A., G. Fioravanti, W. Perconti & F. Desiato. 2009. Annual and seasonal precipitation over Italy from 1961 to 2006. *International Journal of Climatology*, 29: 1976-1987.

UNI EN 13946. 2005. Qualità dell'acqua - Norma guida per il campionamento di routine ed il pretrattamento di Diatomee bentoniche da fiumi: 29 pp.



Laghetto di Caione (Val di Viso, Val Camonica)

Il catasto

Salerno F., Gambelli S., Viviano G.,
Thakuri S. e G. Tartari

L'analisi spazio temporale a scala secolare (XX secolo) delle variazioni morfologiche dei corpi idrici superficiali alpini consente di acquisire informazioni sugli effetti dei cambiamenti climatici. Le aree montane d'alta quota sono, infatti, ambienti particolarmente sensibili alle modificazioni del clima e tali variazioni sono solitamente poco disturbate dall'azione diretta dell'uomo, diventando così indicatori attendibili dei cambiamenti in corso. In particolare, nell'area del Parco il regresso glaciale sta portando ad una rapida evoluzione dei bacini lacustri presenti e sta determinando la formazione di nuovi corpi idrici.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di ricostruire l'evoluzione storica delle superfici dei laghi mediante un approccio analogo a quello adottato nel Parco Nazionale Sagarmatha, Monte Everest, in Nepal (Tartari *et al.*, 2008).

Il metodo

Per la realizzazione del catasto dei laghi presenti all'interno del Parco Nazionale dello Stelvio (PNS) è stata utilizzata la seguente documentazione:

- foto aeree del 2007 fornite dalla Compagnia Generale Riprese aeree (Volo Italia 2007, scala nominale 1:10000 e dimensione del pixel di 0,5 m x 0,5 m);
- foto aeree del 2003 fornite dalla Compagnia Generale Riprese aeree (Volo Italia 2003, scala nominale 1:10000 e dimensione del pixel di 0,5 m x 0,5 m);
- CTR (Carta Tecnica Regionale) della Regione Lombardia, scala 1:10000, nell'edizione derivata dalle riprese del volo effettuato negli anni 1980-1982;
- foto aeree a colori del volo del 1982 e quelle in bianco e nero del volo del 1954 della Regione Lombardia, rispettivamente in scala di 1:13000 e 1:32500;
- DEM (Digital Elevation Model) del 2007 con griglia di 10 m x 10 m, fornito dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

La prima fase del lavoro è consistita nella digitalizzazione dei laghi e dei relativi bacini idrografici, ossia la zona che raccoglie le acque piovane che alimentano il lago. Di tutti i corpi lacustri sono stati considerati solo i laghi naturali con superficie maggiore di 800 m² in modo da contenere un errore nella digitalizzazione inferiore al 5%. In questo modo per l'anno 2007 sono stati identificati 116 laghi. A ciascun lago è stato assegnato un codice univoco che comprende un riferimento al bacino idrografico e un codice numerico progressivo.

Il settore lombardo del Parco è attraversato da tre principali corsi d'acqua (Fig. A1): i fiumi Adda e Oglio, tributari del Fiume Po, che scorrono verso Sud, e il Torrente Spöl, o più propriamente Acqua Granda in italiano, che nasce in Italia, ma scorrendo verso Nord, lungo la Val di Livigno, forma il Lago del Gallo e quindi confluisce prima nel Fiume Inn e poi nel Danubio. Il settore di Parco considerato appartiene in larga parte al bacino idro-

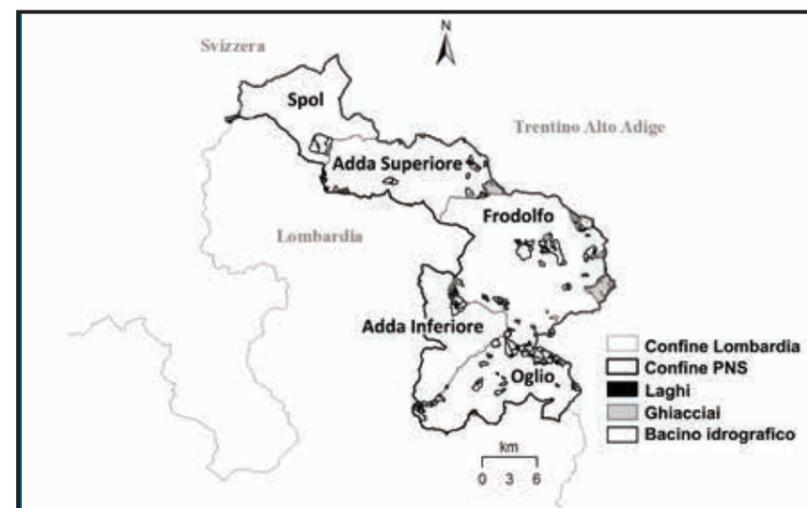


Fig. A1 – Mappa del Parco Nazionale dello Stelvio (PNS) settore lombardo con i suoi principali sottobacini.

- Fiume Adda Inferiore, con codice ADD-I, parte a sud del T. Frodolfo, comprendente il bacino del Torrente Rezzalasco;
- Torrente Frodolfo, con codice FROD, comprendente i bacini dei torrenti Zebrù, Cedec, Sobretta e Gavia;
- Fiume Oglio, con codice OGL, comprendente i bacini dei torrenti Oglio, Arcanello e Frigidolfo, del Fumeclò e della Val Grande.

I laghi sono stati numerati partendo da sinistra sulle mappe, cioè entrando nella valle dal suo sbocco, ossia dalla destra idrografica, procedendo in salita lungo un versante e scendendo poi dall'altro, con la stessa metodologia adottata da Nangeroni (1979) nel Catasto dei laghi alpini italiani. Infine, per ciascun lago si sono raccolte le rispettive caratteristiche geografiche, morfometriche e idrografiche. Utilizzando il DEM (ossia il Modello Digitale del terreno) è stata, inoltre, ricavata la quota relativa al centro del lago, la pendenza, l'orientazione dei bacini e la quota massima del bacino:

- Localizzazione geografica: longitudine, latitudine e quota (m s.l.m.),
- Caratteristiche morfometriche:
 - superficie del lago (10⁴ m²) nel 1954, 1982, 2003 e 2007,
 - superficie del bacino (10⁴ m²) e porzione glacializzata (10⁴ m²),
 - pendenza media del bacino e sua esposizione media,
 - indice di sinuosità (rapporto tra la lunghezza della linea di costa e la lunghezza della circonferenza di un cerchio di area uguale a quella del lago)
- caratteristiche idrografiche: presenza o assenza di emissari e immissari.

I laghi sono poi stati ordinati per sottobacini: Adda Inferiore (ADD-I, Fig. A2), Adda Superiore (ADD-S, Fig. A3), Frodolfo (FROD, Fig. A4), Oglio (OGL, Fig. A5) e Spöl (SPOL, Fig. A6).

Fig. A2 - Bacino del Fiume Adda Inferiore.

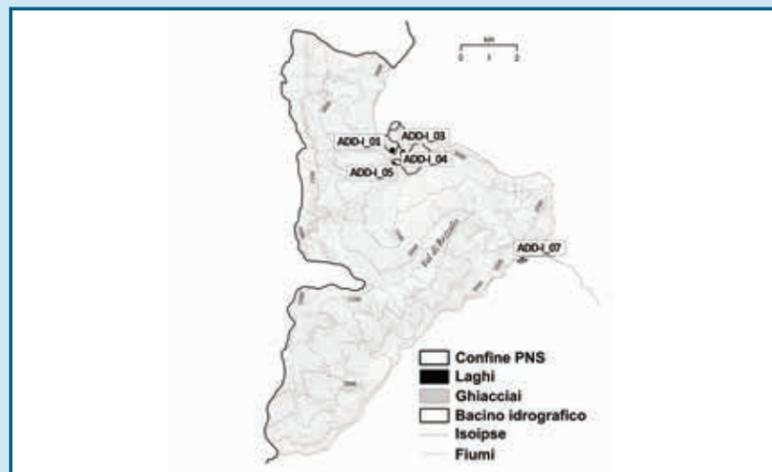


Fig. A3 - Bacino del Fiume Adda Superiore.

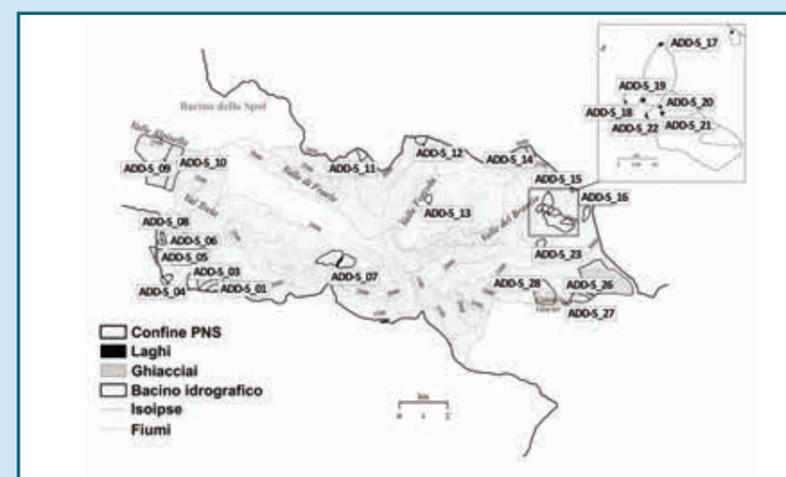


Fig. A4 - Bacino del Torrente Frodolfo.

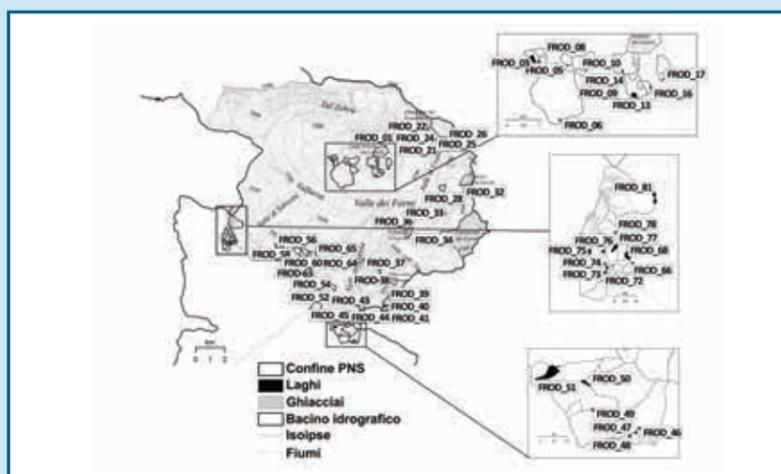


Fig. A5 - Bacino del Fiume Oglio.

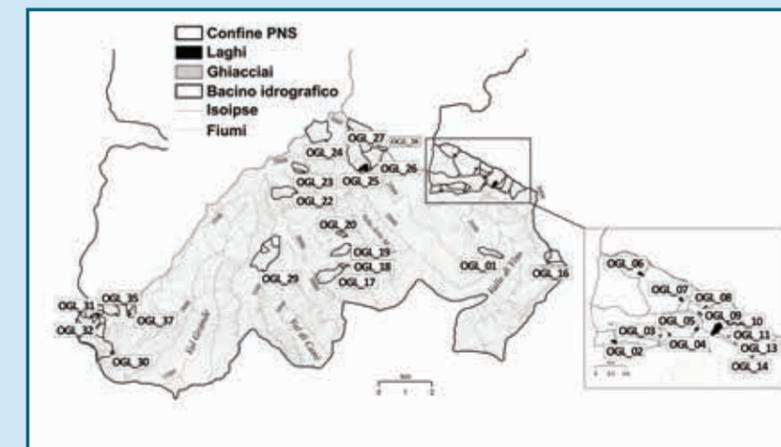
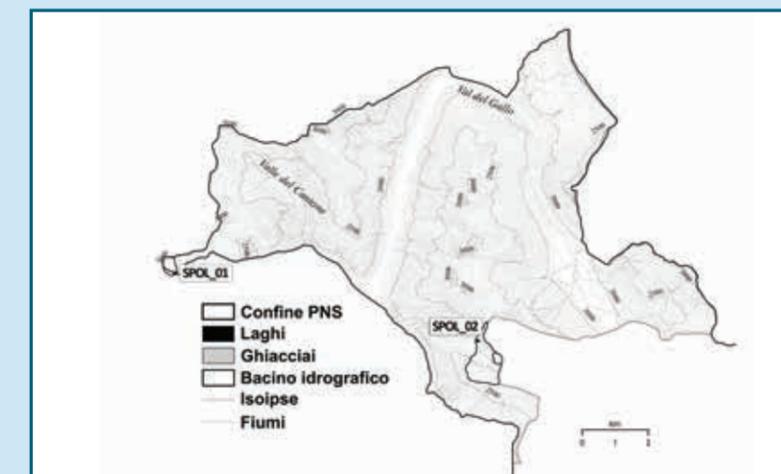


Fig. A6 - Bacino del Torrente Spöl.



La carta d'identità dei laghi

Salerno F. e M. Rogora

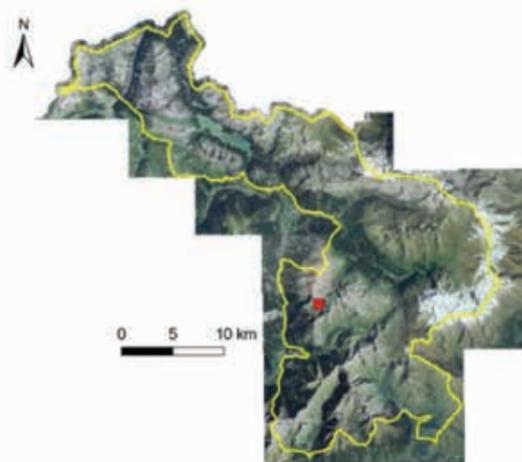
Tra i 116 laghi presenti nel 2007 nel PNS settore lombardo, si è provveduto a selezionarne 14, rappresentativi delle principali zone del Parco e delle diverse tipologie di laghi presenti, e per i quali sono presenti anche informazioni di tipo chimico-biologico. Per ognuno dei 14 laghi è stata creata una scheda descrittiva, con l'obiettivo di fornire una sorta di carta d'identità dei laghi catalogati e studiati.

Ogni scheda contiene un'immagine del lago e presenta le seguenti sezioni:

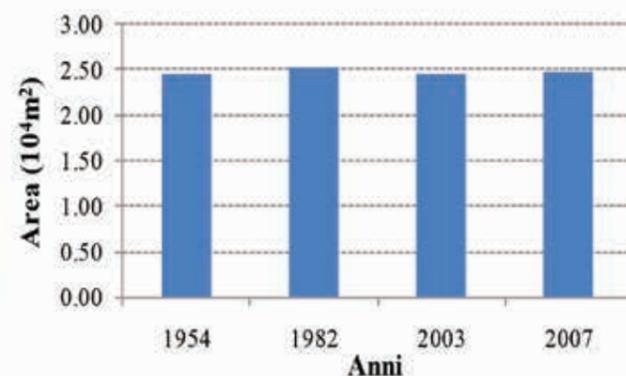
- **inquadramento geografico** del lago che comprende una tabella che raccoglie i dati necessari per la sua localizzazione ed una mappa che rappresenta la posizione del lago all'interno del PNS.
- **inquadramento fisico** del lago e del suo bacino idrografico che comprende le caratteristiche morfologiche e idrologiche e una mappa realizzata a scala di bacino sulla foto aerea del 2007.
- **descrizione della copertura del suolo** del bacino idrografico del lago realizzata mediante foto interpretazione sulla foto aerea del 2007.
- **evoluzione dell'area** del lago dal 1954 al 2007.
- **principali caratteristiche chimiche delle acque:** pH, conducibilità, alcalinità, fosforo e azoto totale, silice, carbonio organico totale (TOC) e contenuto ionico totale.

ADDI01 (Lago delle Tre Mote)

Inquadramento geografico	
Stato	Italia
Regione	Lombardia
Provincia	Sondrio
Bacino idrografico	Fiume Adda
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°22'48'' long = 10°24'00''
Codice lago	ADD-I_01

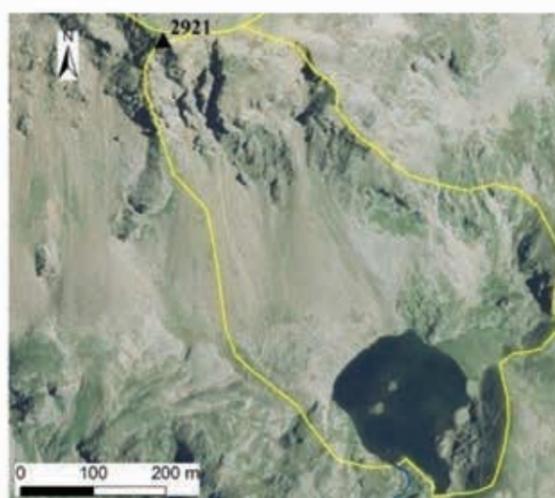


Inquadramento a scala di Parco



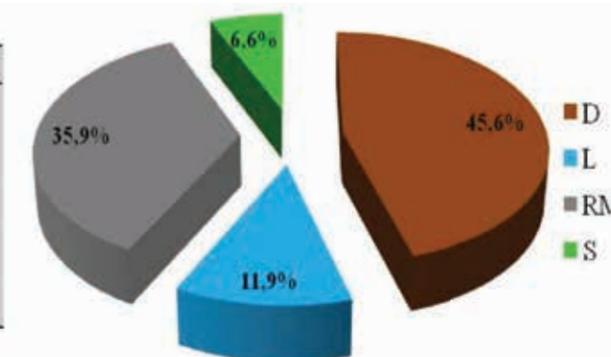
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	20,80	10 ⁴ m ²
Quota massima	2921	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	0,17	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	66,29	-
Perimetro	0,022	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,50	-
Quota media	2695	m s.l.m.
Immissario superficiale	-	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre.

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	7,46
Accumulo detritico o macereto (D)	9,49
Suolo (S)	1,38
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	2,47



Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

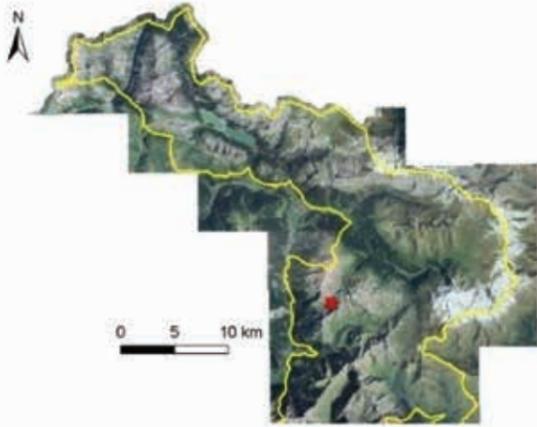
Chimica delle acque							
pH	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	Alcalinità meq L^{-1}	P tot $\mu\text{g L}^{-1}$	N tot mg L^{-1}	Si mg L^{-1}	TOC mg L^{-1}	Ioni meq L^{-1}
7,90	44,3	0,34	2	0,31	1,56	0,56	0,97



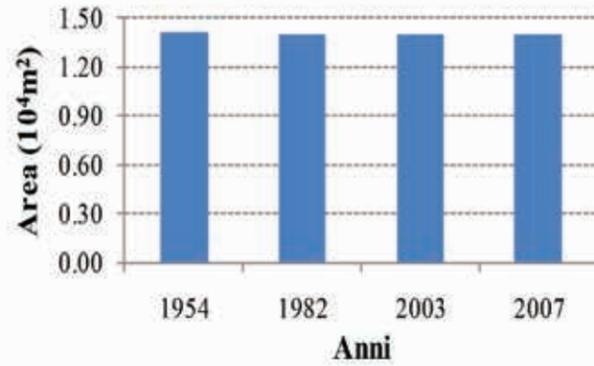
ADDI04 (Lago Stelu)

Inquadramento geografico

Stato	Italia
Regione	Lombardia
Provincia	Sondrio
Bacino idrografico	Fiume Adda
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°22'48'' long = 10°24'00''
Codice lago	ADD-I_04



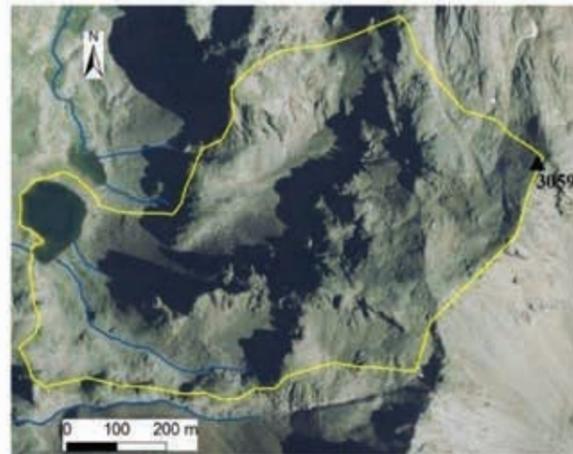
Inquadramento a scala di Parco



Andamento areale del lago

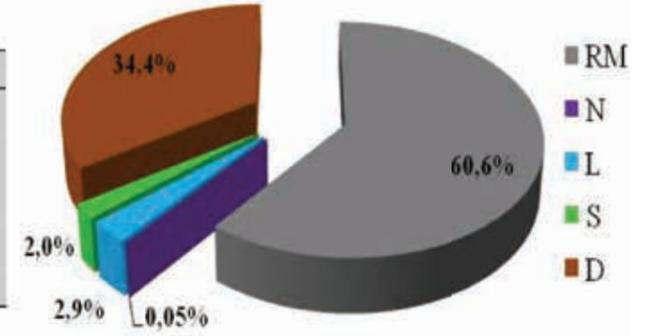
Morfologia e idrologia

Bacino idrografico		
Superficie	47,64	10 ⁴ m ²
Quota massima	3059	m s.l.m.
Lago		
Superficie	1,40	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	33,98	-
Perimetro	0,061	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,46	-
Quota media	2571	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sulla foto aerea dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	28,86
Accumulo detritico o macereto (D)	16,41
Suolo (S)	0,95
Ghiacciai e nevai (N)	0,02
Lago (L)	1,40



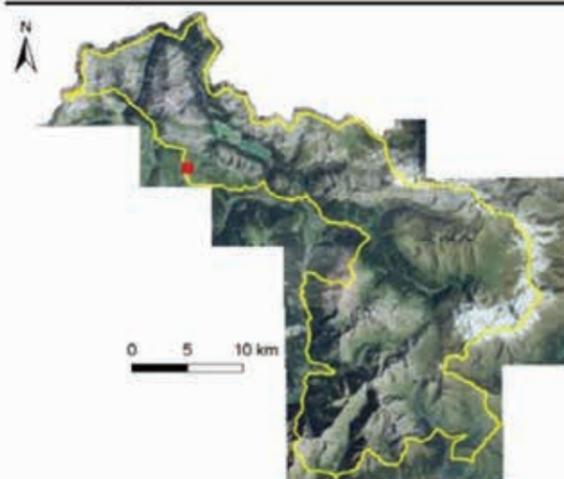
Chimica delle acque

pH	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	Alcalinità meq L^{-1}	P tot $\mu\text{g L}^{-1}$	N tot mg L^{-1}	Si mg L^{-1}	TOC mg L^{-1}	Ioni meq L^{-1}
7,56	47,0	0,26	8	0,45	1,15	0,34	0,96

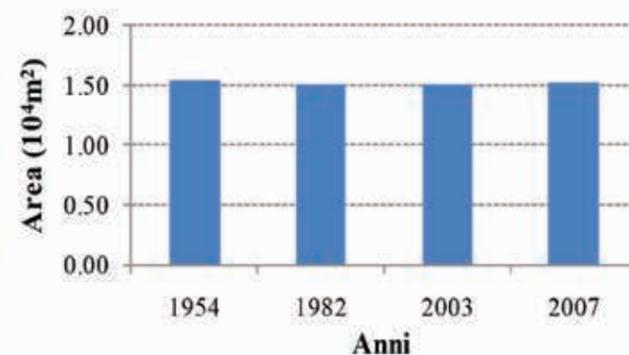


ADDS05 (Lago Nero)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Sondrio	
Bacino idrografico	Fiume Adda	Torrente Viola Bormina
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°30'36"	long = 10°13'12"
Codice lago	ADD-S_05	

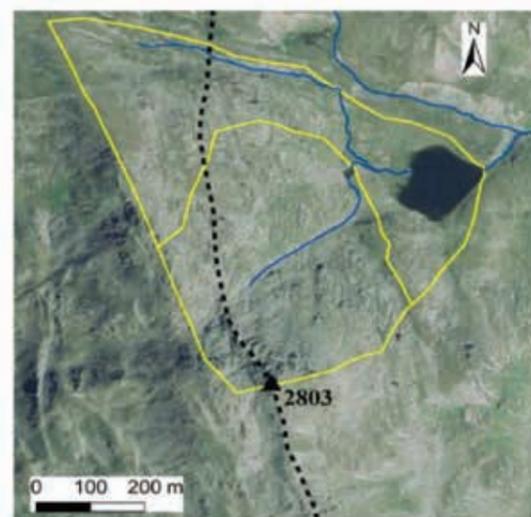


Inquadramento a scala di Parco



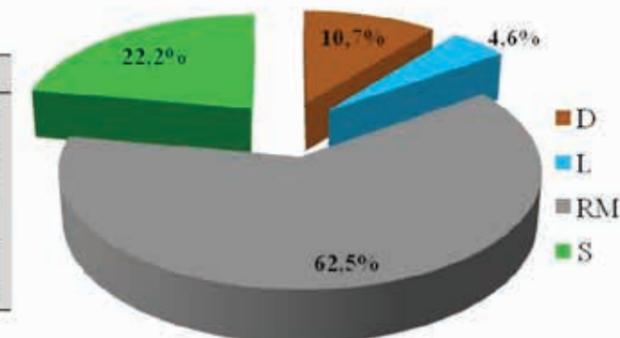
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	33,70	10 ⁴ m ²
Quota massima	2803	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	1,52	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	22,14	-
Perimetro	0,056	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,29	-
Quota media	2550	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	21,07
Accumulo detritico o macereto (D)	3,60
Suolo (S)	7,47
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	1,55



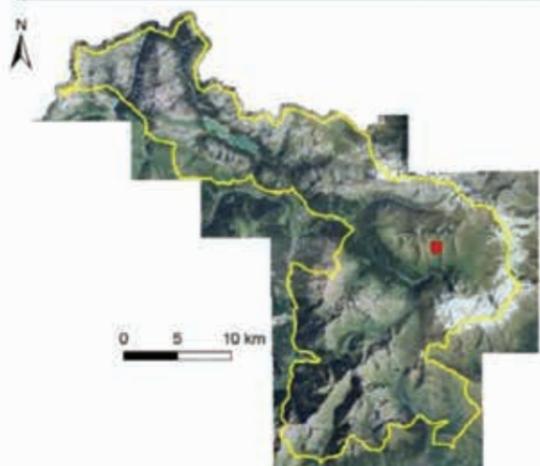
Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,52	28,0	0,18	5	0,12	0,32	0,71	0,59

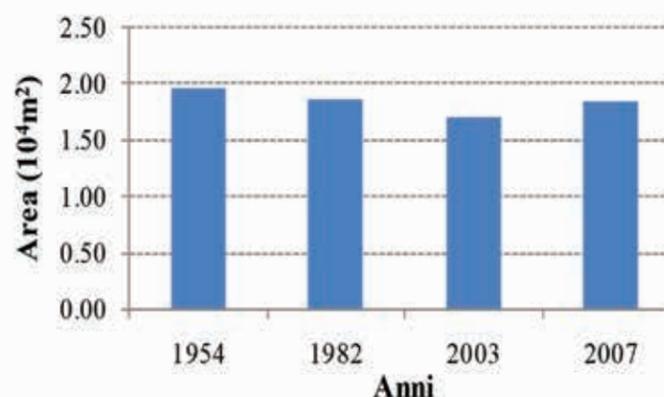


FROD13 (Lago della Manzina bassa)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Sondrio	
Bacino idrografico	Fiume Adda	Torrente Frodolfo
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°25'48"	long = 10°31'48"
Codice lago	FROD_13	

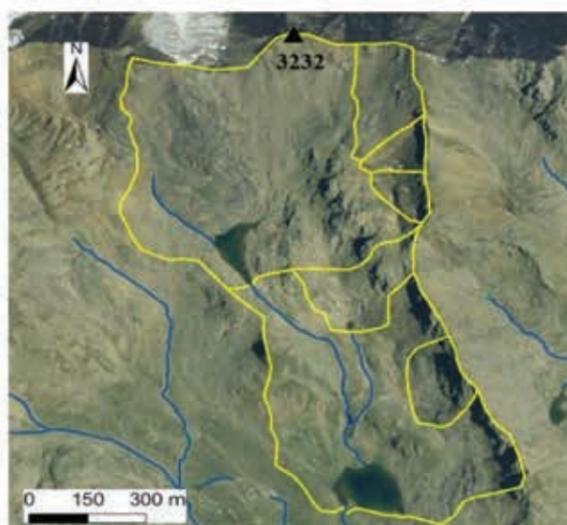


Inquadramento a scala di Parco



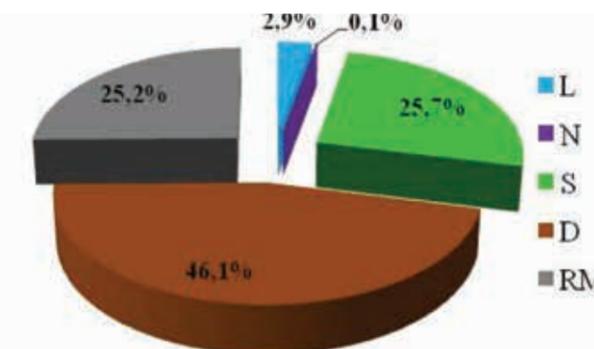
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	83,18	10 ⁴ m ²
Quota massima	3232	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	1,84	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	45,32	-
Perimetro	0,071	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,48	-
Quota media	2784	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	20,96
Accumulo detritico o macereto (D)	38,34
Suolo (S)	21,34
Ghiacciai e nevai (N)	0,12
Lago (L)	2,44



Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,78	170,0	0,55	3	0,22	0,72	0,11	3,52



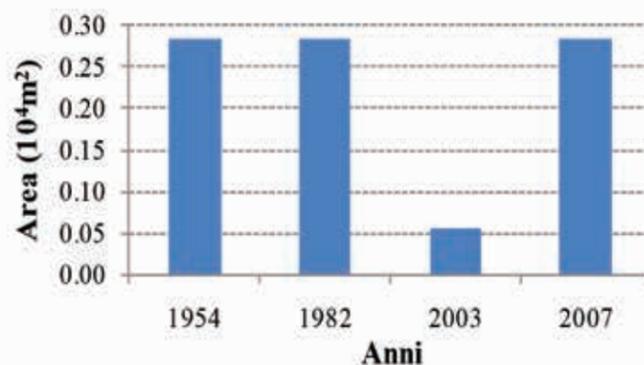
FROD33 (Lago delle Rosole)

Inquadramento geografico

Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Sondrio	
Bacino idrografico	Fiume Adda	Torrente Frodolfo
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°24'36"	long = 10°34'48"
Codice lago	FROD_33	



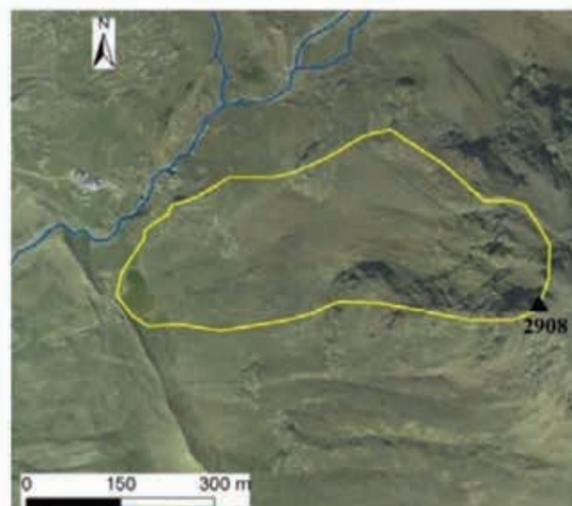
Inquadramento a scala di Parco



Andamento areale del lago

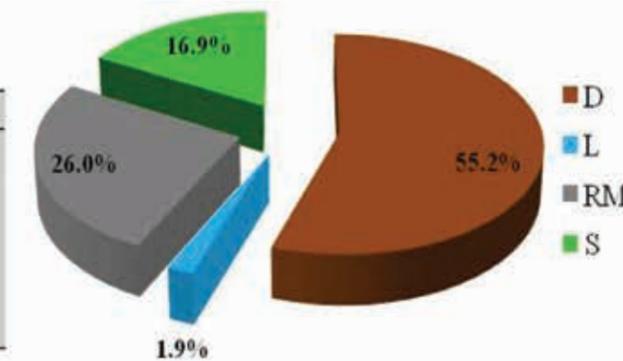
Morfologia e idrologia

Bacino idrografico		
Superficie	15,11	10 ⁴ m ²
Quota massima	2908	m s.l.m.
Lago		
Superficie	0,28	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	53,24	-
Perimetro	0,024	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,26	-
Quota media	2450	m s.l.m.
Immissario superficiale	-	
Emissario	-	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	3,92
Accumulo detritico o macereto (D)	8,35
Suolo (S)	2,56
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	0,28



Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

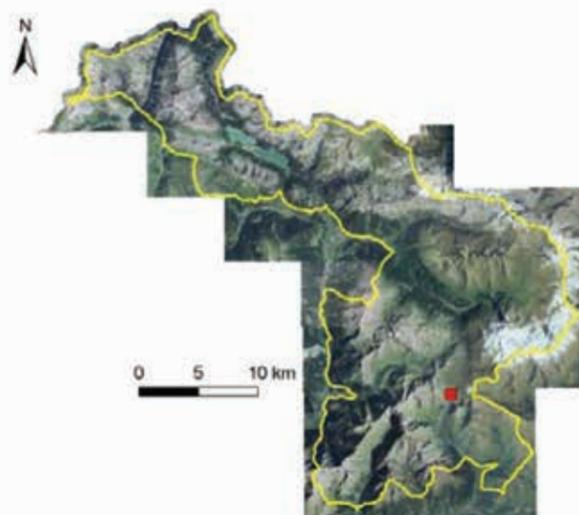
Chimica delle acque

pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
6,15	7,50	0,02	15	0,21	0,10	1,67	0,11

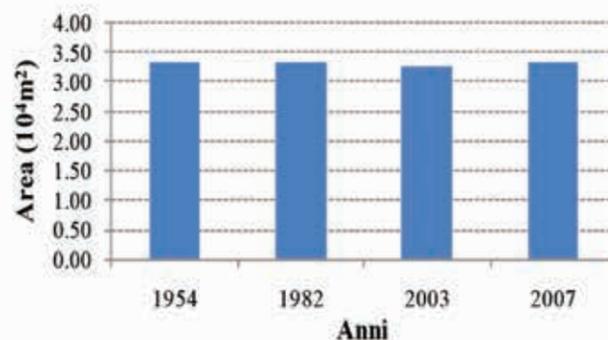


FROD51 (Lago Bianco del Gavia)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Sondrio	
Bacino idrografico	Fiume Adda	Torrente Gavia
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°20'24"	long = 10°29'24"
Codice lago	FROD_51	



Inquadramento a scala di Parco



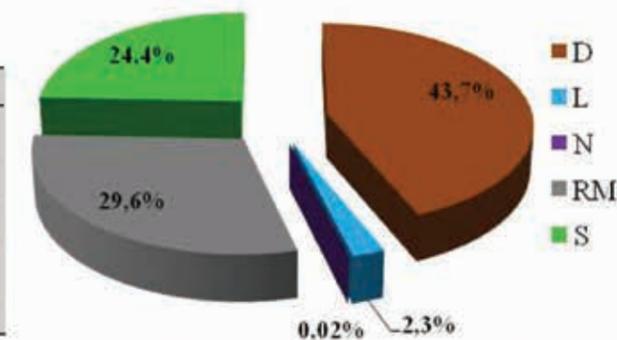
Andamento areale del lago



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	191,79	10 ⁴ m ²
Quota massima	3347	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	3,34	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	57,46	-
Perimetro	0,110	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,70	-
Quota media	2609	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	56,75
Accumulo detritico o macereto (D)	83,87
Suolo (S)	46,79
Ghiacciai e nevai (N)	0,03
Lago (L)	4,34



Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
8,34	125,2	0,30	5	0,39	0,84	0,57	2,49

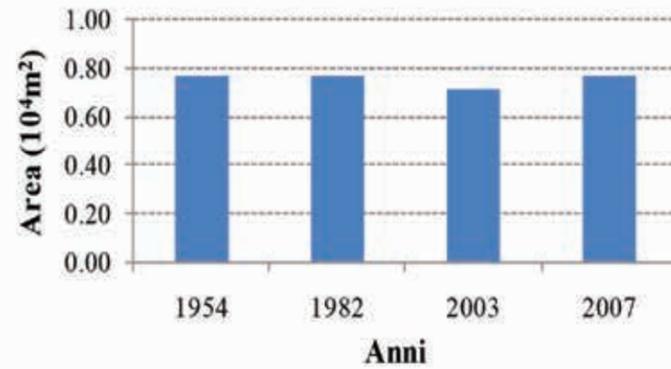


FROD68 (Bei Laghetti)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Sondrio	
Bacino idrografico	Fiume Adda	Torrente Sobretta
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°23'24"	long = 10°24'00"
Codice lago	FROD_68	

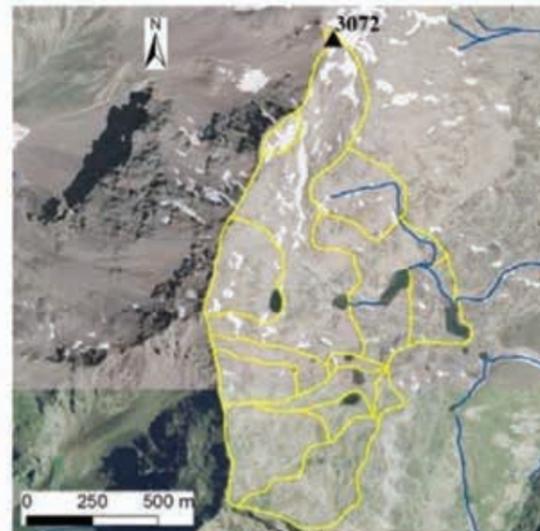


Inquadramento a scala di Parco



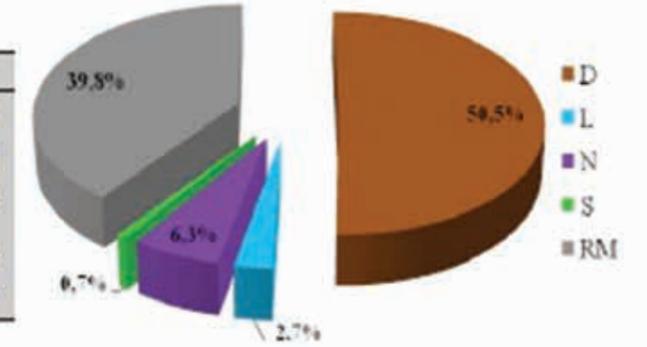
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	107,32	10 ⁴ m ²
Quota massima	3072	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	0,76	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	140,32	-
Perimetro	0,049	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,59	-
Quota media	2719	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	42,70
Accumulo detritico o macereto (D)	54,19
Suolo (S)	0,80
Ghiacciai e nevai (N)	6,75
Lago (L)	2,87

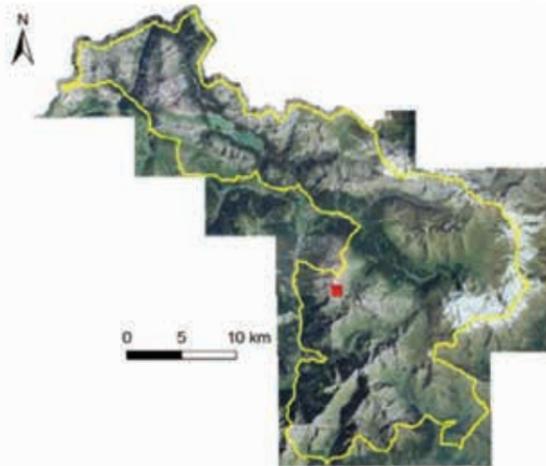


Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
5,86	250,2	0,01	1	0,36	2,45	0,26	5,04

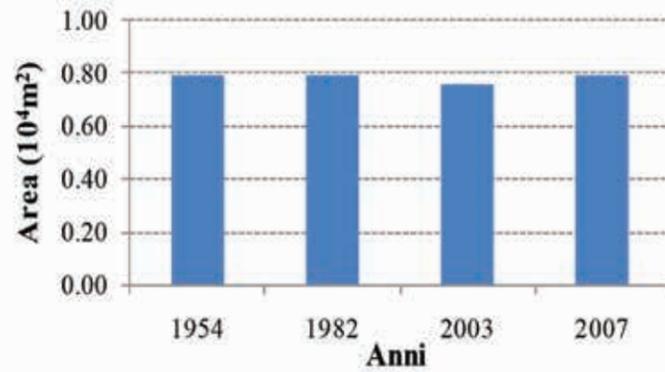


FROD77 (Bei Laghetti)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Sondrio	
Bacino idrografico	Fiume Adda	Torrente Sobretta
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°24'00"	long = 10°24'00"
Codice lago	FROD_77	

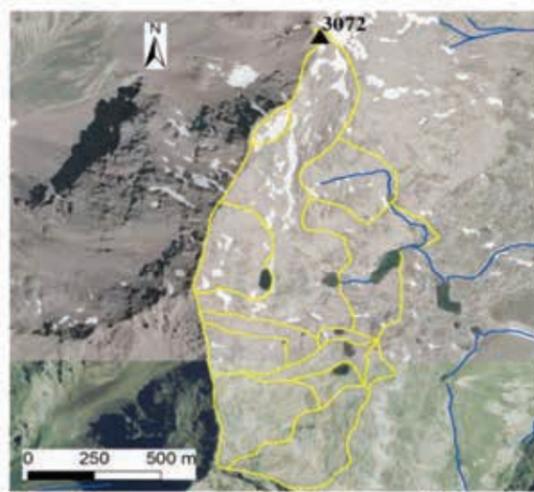


Inquadramento a scala di Parco



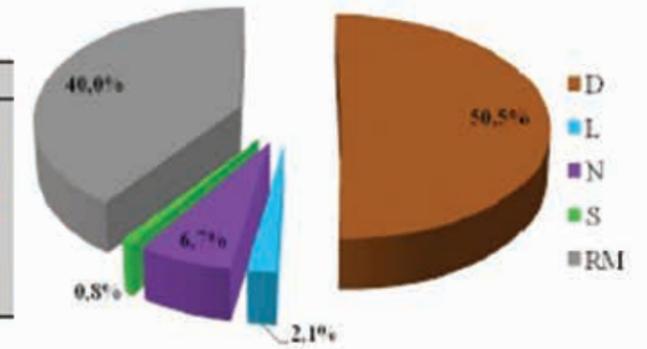
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	101,47	10 ⁴ m ²
Quota massima	3072	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	0,79	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	128,55	-
Perimetro	0,043	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,37	-
Quota media	2738	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	40,61
Accumulo detritico o macereto (D)	51,19
Suolo (S)	0,80
Ghiacciai e nevai (N)	6,75
Lago (L)	2,11

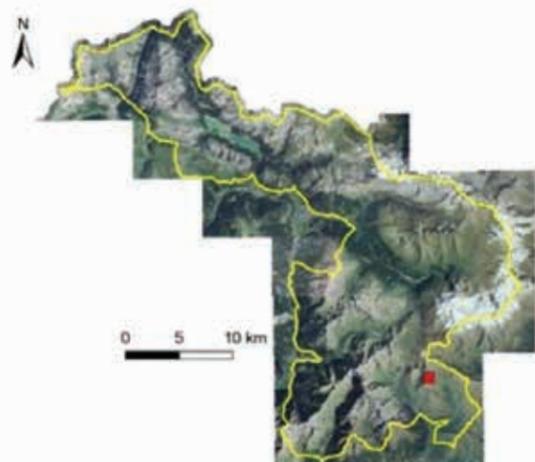


Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,46	107,3	0,24	2	0,28	1,63	0,18	2,13

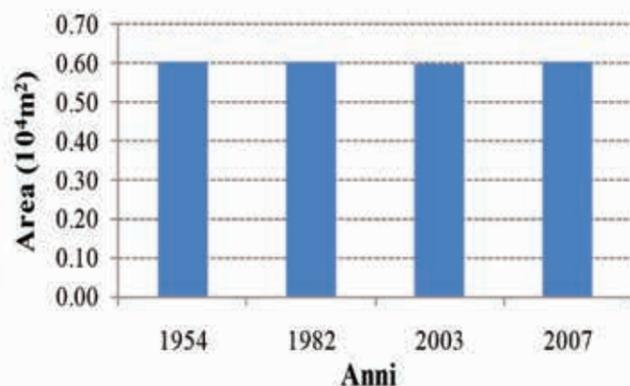


OGL02 (Laghetto di Caione)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Brescia	
Bacino idrografico	Fiume Oglio	Torrente Oglio Arcanello
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°19'39"	long = 10°31'6"
Codice lago	OGL_02	

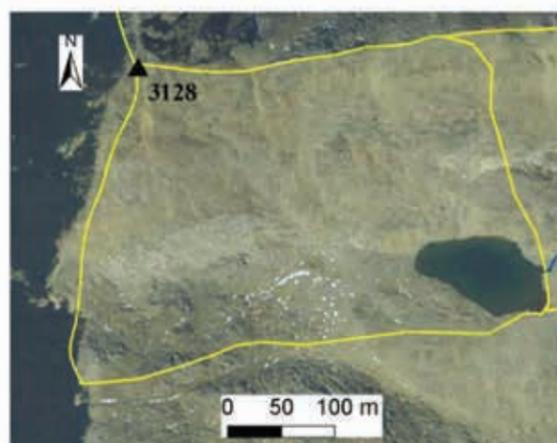


Inquadramento a scala di Parco



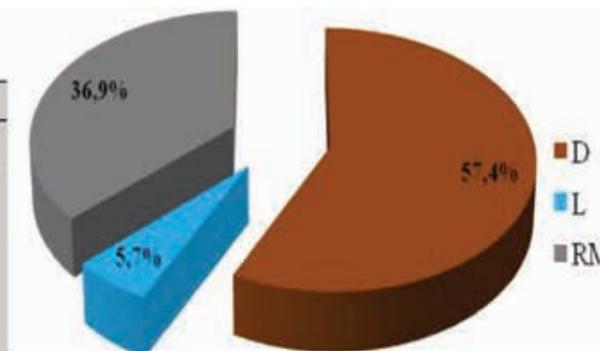
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	10,63	10 ⁴ m ²
Quota massima	3128	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	0,60	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	17,59	-
Perimetro	0,038	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,39	-
Quota media	2964	m s.l.m.
Immissario superficiale	-	
Emissario	Presente	



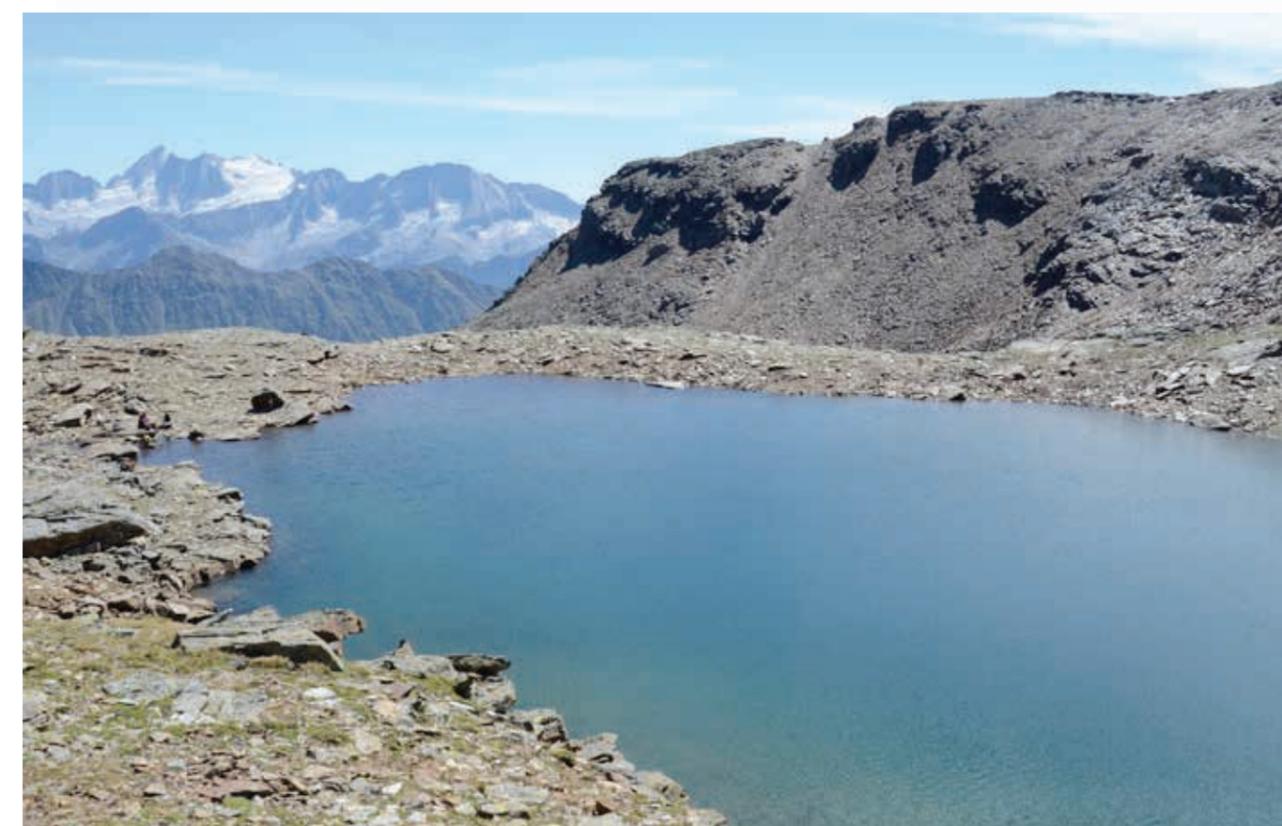
Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	3,92
Accumulo detritico o macereto (D)	6,10
Suolo (S)	-
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	0,60



Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

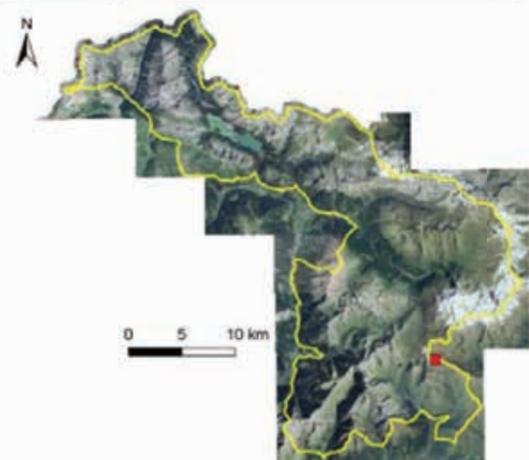
Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,60	324,9	0,37	2	0,38	0,82	0,59	6,90



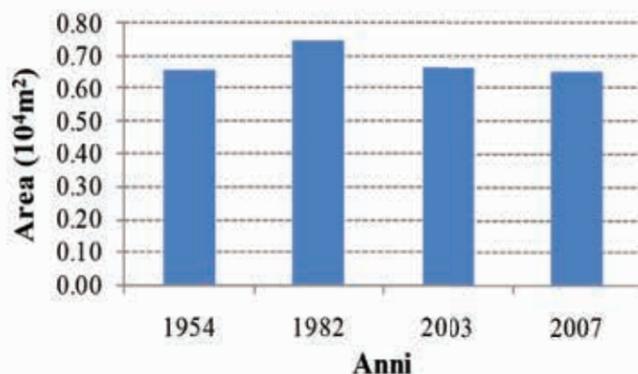
OGL06 (Laghetto Alto di Ercavallo)

Inquadramento geografico

Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Brescia	
Bacino idrografico	Fiume Oglio	Torrente Oglio Arcanello
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°20'22"	long = 10°31'32"
Codice lago	OGL_06	



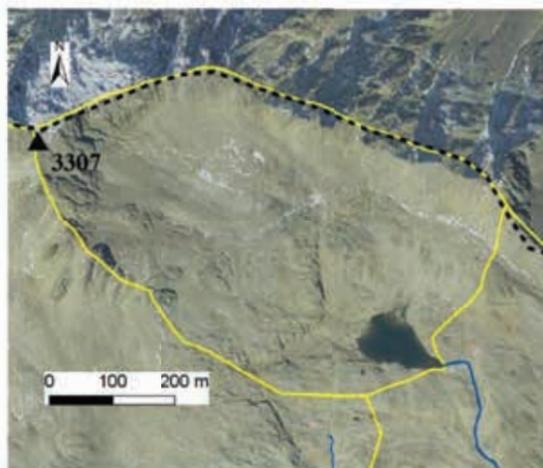
Inquadramento a scala di Parco



Andamento areale del lago

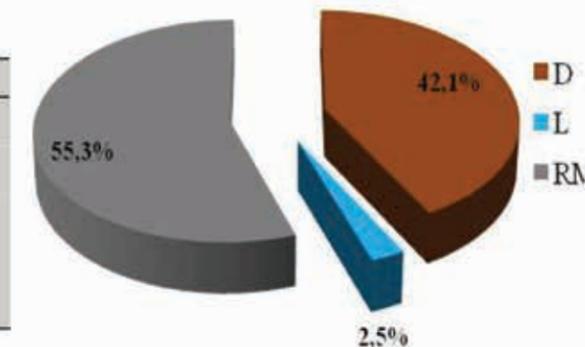
Morfologia e idrologia

Bacino idrografico		
Superficie	25,84	10 ⁴ m ²
Quota massima	3307	m s.l.m.
Lago		
Superficie	0,66	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	39,43	-
Perimetro	0,048	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,68	-
Quota media	2958	m s.l.m.
Immissario superficiale	-	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	14,30
Accumulo detritico o macereto (D)	10,88
Suolo (S)	-
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	0,66



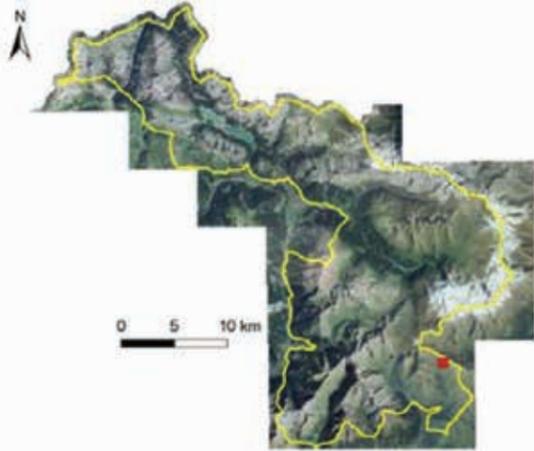
Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,80	79,7	0,40	3	0,26	0,51	0,32	1,65

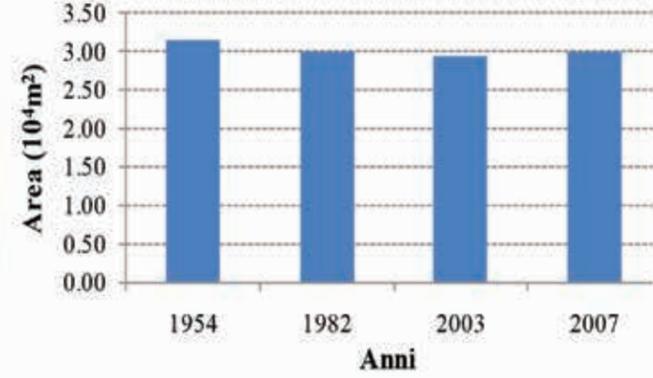


OGL10 (Lago di Ercavallo)

Inquadramento geografico			
Stato	Italia		
Regione	Lombardia		
Provincia	Brescia		
Bacino idrografico	Fiume Oglio	Torrente Oglio Arcanello	
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°19'46"	long = 10°32'42"	
Codice lago	OGL_10		

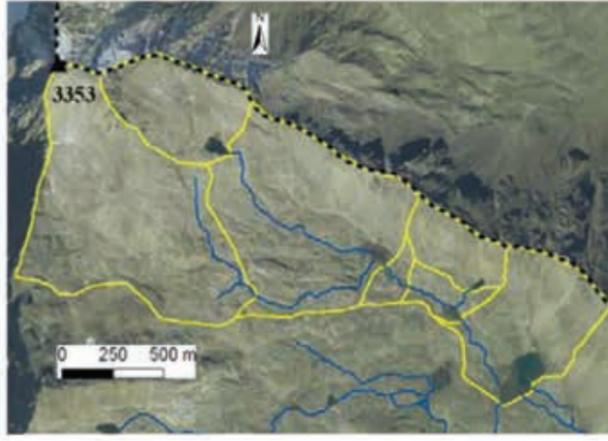


Inquadramento a scala di Parco



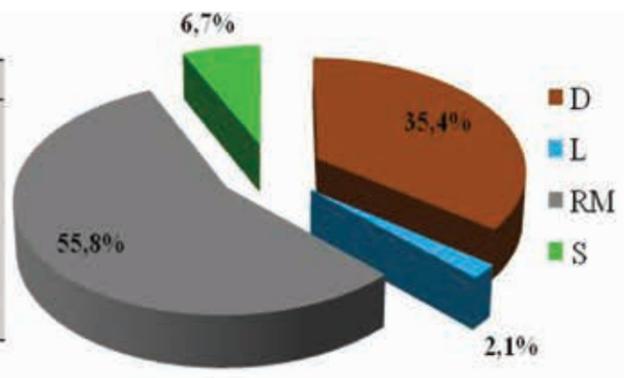
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	229,78	10 ⁴ m ²
Quota massima	3353	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	3,01	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	76,41	-
Perimetro	0,098	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,60	-
Quota media	2622	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	128,19
Accumulo detritico o macereto (D)	81,35
Suolo (S)	15,50
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	4,73



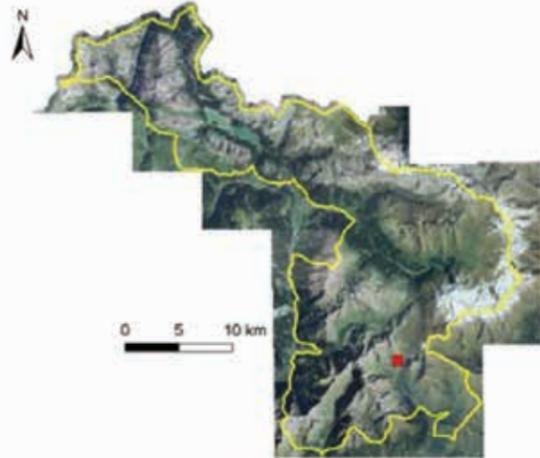
Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,49	114,2	0,26	3	0,24	0,97	0,29	2,25

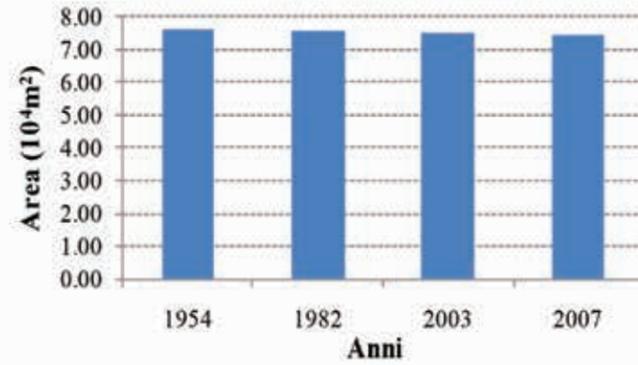


OGL25 (Lago Nero del Gavia)

Inquadramento geografico			
Stato	Italia		
Regione	Lombardia		
Provincia	Brescia		
Bacino idrografico	Fiume Oglio	Torrente Oglio Frigidolfo	
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°20'9"	long = 10°29'53"	
Codice lago	OGL_25		

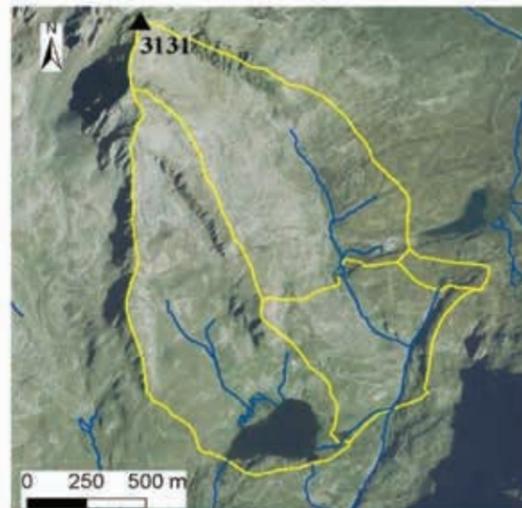


Inquadramento a scala di Parco



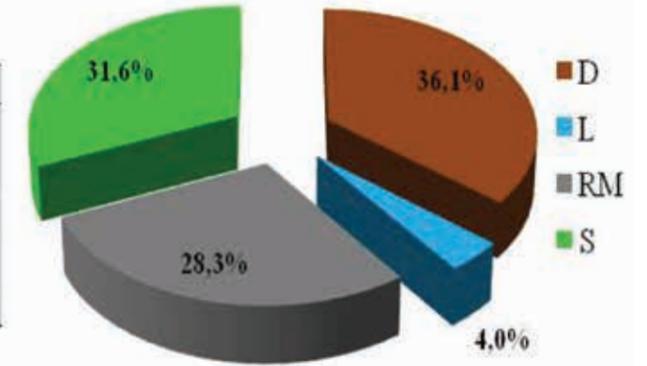
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	194,85	10 ⁴ m ²
Quota massima	3131	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	7,47	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	26,10	-
Perimetro	0,145	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,50	-
Quota media	2388	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	55,11
Accumulo detritico o macereto (D)	70,39
Suolo (S)	61,56
Ghiacciai e nevai (N)	-
Lago (L)	7,79



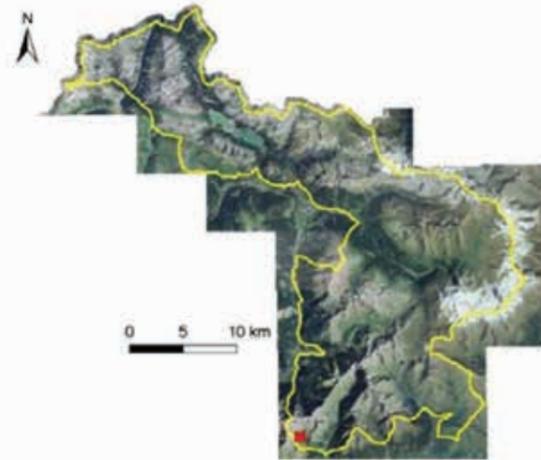
Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
7,19	29,1	0,12	3	0,13	0,64	0,67	0,53

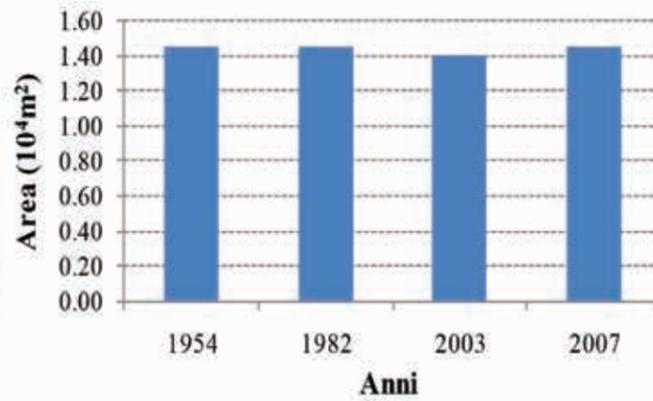


OGL30 (Lago Seroti inferiore)

Inquadramento geografico		
Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Brescia	
Bacino idrografico	Fiume Oglio	Torrente Val Grande
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°16'29"	long = 10°21'23"
Codice lago	OGL_30	

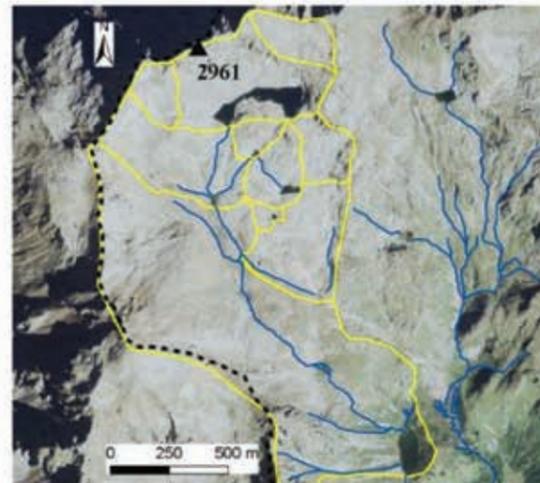


Inquadramento a scala di Parco



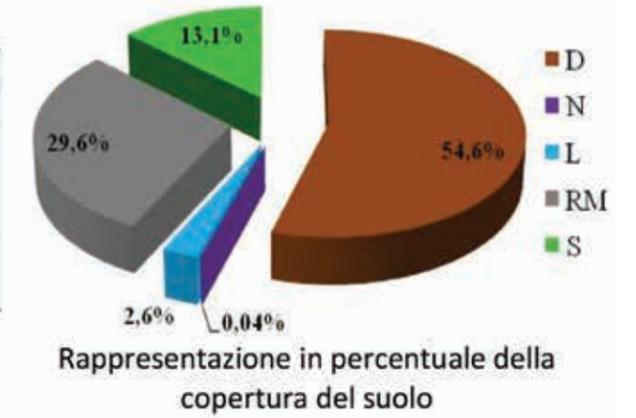
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	170,20	10 ⁴ m ²
Quota massima	2961	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	1,45	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	117,03	-
Perimetro	0,073	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	1,71	-
Quota media	2195	m s.l.m.
Immissario superficiale	Presente	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	50,36
Accumulo detritico o macereto (D)	92,89
Suolo (S)	22,35
Ghiacciai e nevai (N)	0,06
Lago (L)	4,41



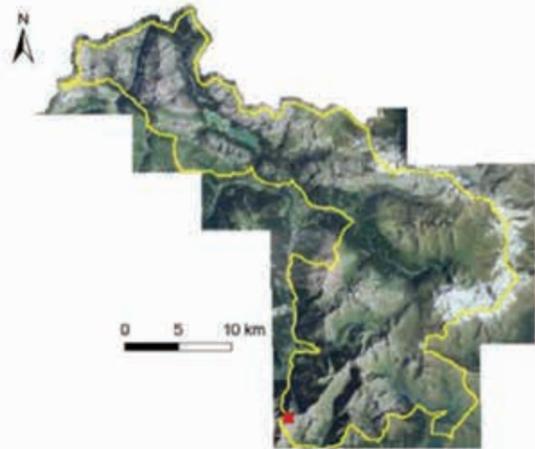
Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
6,85	39,5	0,09	4	0,28	0,67	1,09	0,75



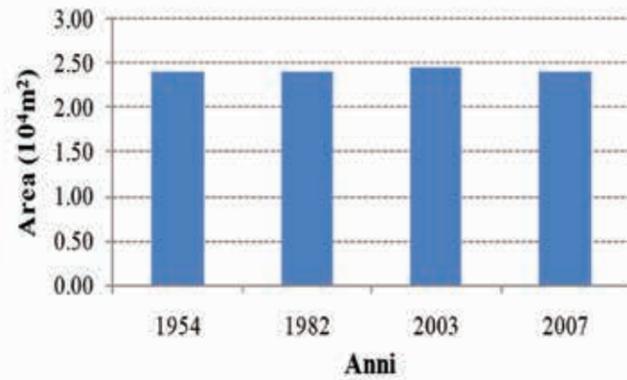
OGL31 (Lago Seroti)

Inquadramento geografico

Stato	Italia	
Regione	Lombardia	
Provincia	Brescia	
Bacino idrografico	Fiume Oglio	Torrente Val Grande
Coordinate geografiche a centro lago	lat = 46°17'16"	long = 10°21'56"
Codice lago	OGL_31	



Inquadramento a scala di Parco



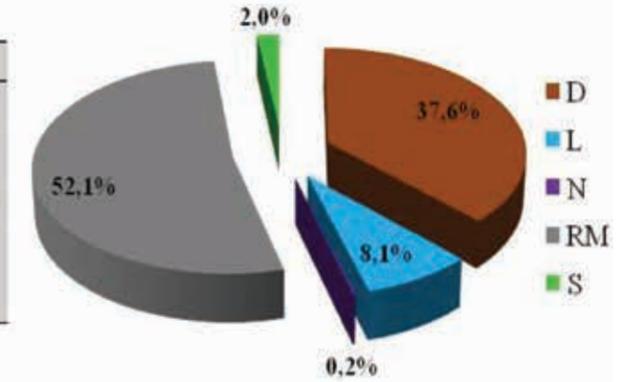
Andamento areale del lago

Morfologia e idrologia		
<i>Bacino idrografico</i>		
Superficie	30,12	10 ⁴ m ²
Quota massima	2961	m s.l.m.
<i>Lago</i>		
Superficie	2,41	10 ⁴ m ²
Rapporto area bacino/area lago	12,49	-
Perimetro	0,134	10 ⁴ m
Indice di sinuosità	2,44	-
Quota media	2695	m s.l.m.
Immissario superficiale	-	
Emissario	Presente	



Inquadramento a scala di bacino sull'ortofoto dello specchio lacustre

Copertura del suolo (10 ⁴ m ²)	
Roccia (RM)	15,70
Accumulo detritico o macereto (D)	11,33
Suolo (S)	0,60
Ghiacciai e nevai (N)	0,05
Lago (L)	2,44



Rappresentazione in percentuale della copertura del suolo

Chimica delle acque							
pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alcalinità meq L ⁻¹	P tot μg L ⁻¹	N tot mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹	Ioni meq L ⁻¹
5,66	8,4	0,004	3	0,53	0,35	0,45	0,13





Ranunculus glacialis Linnaeus (Passo Gavia)

SHARE

Stelvio

Stations at High Altitude for Research on the Environment

