

NUOVI E VECCHI STRUMENTI
PER INDAGARE I FENOMENI IN NATURA
Il laboratorio tra tradizione e innovazione

Firenze, 22 – 23 aprile 2026

SEZIONE TESINE TRIENNIO

Menzione d'onore

Diversi occhi per conoscere il Lago

Studenti

Anessi Samuele - Baranzini Emma - Magistri Alice

Pagani Mattia - Bertocchini Lapo

Classe 3C LSA

Istituto di Istruzione Superiore

Liceo scientifico Edith Stein

Gavirate (VA)

Docente Coordinatore

Petrizzo Arianna

Gli studenti eseguono osservazioni e misurazioni per descrivere una realtà complessa, il Lago di Varese. Rilevano componenti biologici a occhio nudo, con microscopi ottici tradizionali e con microscopio portatile Diple Lux di ultima generazione. I valori del pH, misurati con coloranti naturali e con pHmetro, e la durezza dell'acqua, misurata con titolazione, completano la valutazione della qualità dell'acqua. Il lavoro sperimentale di tipo osservativo è corretto, pur con qualche ingenuità di linguaggio e poca discussione dei dati.

Nuovi e vecchi strumenti per indagare i fenomeni in natura

Il laboratorio tra tradizione e innovazione

Studenti: Anessi Samuele, Baranzini Emma, Bertocchini Lapo, Franzetti Giulia, Magistri Alice, Pagan Mattia, Panzarasa Giada, Sangalli Elias.

Insegnanti: Beghi Fabio, Maracci Anna Paola, Petrizzo Arianna.

“Diversi occhi per conoscere il Lago”

Introduzione

Per utilizzare vecchi e nuovi strumenti per indagare i fenomeni della natura abbiamo deciso di riferirci a un bacino d'acqua nella nostra provincia: il Lago di Varese, situato in Lombardia settentrionale, nell'omonima provincia. È un lago di origine glaciale formatosi durante le ultime glaciazioni alpine. Si trova a circa 238 metri sul livello del mare, valore variabile a seconda delle piene, e copre una superficie di circa 14,5 km².

È circondato da colline, aree agricole e centri abitati, elementi che rendono il bacino ampiamente influenzato dalle attività umane. Proprio per questa stretta relazione tra ambiente naturale e presenza antropica, il lago rappresenta un ecosistema complesso e allo stesso tempo delicato, in cui fattori biologici e chimico-fisici sono strettamente collegati.

Il Lago di Varese, per le sue caratteristiche ambientali e per la forte influenza delle attività umane circostanti, rappresenta un ecosistema in cui diversi parametri chimici e biologici devono essere osservati per comprenderne lo stato di salute.

La **vita macroscopica**, come pesci e piante acquatiche, fornisce informazioni sullo stato ecologico del lago: la presenza o assenza di determinate specie può indicare condizioni di equilibrio o di stress ambientale.

Dal punto di vista biologico, è fondamentale osservare anche la **vita microscopica**, oltre a quella quella macroscopica, ne fanno parte il fitoplancton e lo zooplancton che sono alla base della catena alimentare e sono i primi a essere soggetti ai cambiamenti ambientali, diventando ottimi indicatori della qualità dell'acqua. L'**eutrofizzazione**, caratteristica del lago di Varese, ad esempio, può favorire proliferazioni algali.

Tra gli aspetti chimico-fisici che abbiamo misurato, spicca il **pH**, che indica il grado di acidità o basicità dell'acqua. Abbiamo deciso di studiare questa grandezza con varie metodologie, dalle più antiche e approssimative, alle più moderne e precise. In un lago di origine glaciale come questo, il pH è generalmente neutro o basico, ma può variare in base alla presenza di sostanze organiche, sca-

ricchi, fertilizzanti agricoli e fenomeni biologici come la fotosintesi e la respirazione acquatica. Valori anomali possono influire sulla sopravvivenza degli organismi.

Un altro parametro importante, da noi studiato, è la **durezza** dell'acqua, legata alla concentrazione di sali di calcio e magnesio in essa disciolti. Questa grandezza dipende in gran parte dalla natura geologica del territorio circostante. La durezza influisce sugli equilibri chimici dell'acqua e sulla disponibilità di alcuni nutrienti.

L'osservazione integrata di pH, durezza e comunità biologiche permette quindi di valutare la qualità delle acque e l'equilibrio dell'ecosistema del lago.

La vita macroscopica

C'è uno strumento, di cui tutti (o quasi) siamo dotati, che ci permette di osservare il lago: l'**occhio**. Ciò che è osservabile tramite esso viene definito, per l'appunto, visibile ad occhio nudo. Prima tra tutti, vi è la vita macroscopica, probabilmente uno dei primi aspetti osservati e studiati. Da questo punto di vista, il Lago di Varese ospita una ricca biodiversità. Nelle sue acque vivono diverse specie di pesci che occupano diversi livelli della catena alimentare. Le sponde sono caratterizzate da canneti, fondamentali per la protezione delle rive dall'erosione e per offrire rifugio a molte specie animali. Numerosi sono anche gli uccelli acquatici, che rendono importante il bacino anche dal punto di vista ornitologico. Questa componente visibile dell'ecosistema dipende però da equilibri legati alla qualità dell'acqua e ai microrganismi presenti. Infatti, accanto alla vita macroscopica, esiste una fondamentale vita microscopica, osservabile solo al microscopio.

Flora: ecosistemi e comunità vegetali

Sulle rive e nelle zone umide del lago cresce una vegetazione tipica lacustre: canneti, ninfee, millefoglie d'acqua e castagne d'acqua. Queste piante costituiscono habitat fondamentali per molte specie di uccelli e altri organismi acquatici. Nei pressi di Gavirate e nei boschi della zona, lungo le sponde, si trovano platani, cipressi, salici bianchi e grigi; nell'entroterra, nei pendii e nelle aree collinari, crescono boschi di castagno, betulle, faggi, querce, ciliegi e noccioli; nel sottobosco si possono trovare numerose specie di fiori e funghi.

Fauna del lago e dell'area

Nel lago vivono diverse specie di pesci, sia autoctone che alloctone, tra cui spiccano persico reale, luccio, lucioperca, carpa, tinca, cavedano, anguilla, persico sole, siluro.

Il lago e le zone umide circostanti sono frequentati da cormorani, aironi, anatre, gallinelle d'acqua e cigni. Complessivamente, circa 170 specie di uccelli sono state osservate nell'area, tra cui anche specie più rare come la moretta tabaccata.

Eutrofizzazione e cause principali

Il lago è uno dei casi italiani più studiati di eutrofizzazione culturale. Per molti anni gli scarichi urbani non completamente depurati e il dilavamento dei terreni agricoli, ricchi di fosforo e azoto, hanno aumentato la quantità di nutrienti presenti nell'acqua. Questo arricchimento trofico ha favorito una crescita eccessiva di fitoplancton e di alghe filamentose, rendendo l'acqua più torbida e meno trasparente e modificando la struttura delle comunità biologiche.

L'aumento della biomassa algale non è solo un problema visivo. Quando le alghe muoiono e si depositano sul fondo, la loro decomposizione consuma l'ossigeno disciolto. Questo processo può creare squilibri chimici e biologici che influenzano tutto l'ecosistema lacustre.

Stratificazione termica e anossia

Durante l'estate il lago subisce una stratificazione termica, che lascia il fondo con poco o, nei casi più gravi, senza ossigeno. Questa condizione danneggia il macrozoobenthos (l'insieme degli organismi animali di dimensioni visibili a occhio nudo) e alcune specie ittiche più sensibili. Inoltre, la carenza di ossigeno nei sedimenti favorisce il rilascio del fosforo accumulato sul fondo. Si crea così un circolo vizioso: il fosforo liberato alimenta nuova produttività algale, mantenendo elevato lo stato trofico anche quando gli apporti esterni diminuiscono.

Stato ecologico attuale

In base ai monitoraggi ambientali più recenti, lo stato ecologico complessivo del Lago di Varese è classificato come "sufficiente". Dal punto di vista chimico non si rilevano concentrazioni critiche di metalli pesanti o sostanze tossiche. Tuttavia rimane una pressione significativa legata ai nutrienti e alla biomassa fitoplanctonica.

Rispetto alle condizioni più compromesse del passato si osservano miglioramenti evidenti, ma il lago non ha ancora raggiunto lo stato "buono" previsto dalla normativa europea sulla qualità delle acque.

Interventi di risanamento

Negli ultimi decenni sono stati realizzati interventi strutturali importanti per ridurre il carico di nutrienti. Il potenziamento dei depuratori e la costruzione di collettori circumlacuali hanno diminuito in modo significativo l'apporto di fosforo dalle acque reflue.

È stato inoltre introdotto il prelievo ipolimnico, una tecnica che consiste nell'estrarre acqua ricca di nutrienti dagli strati profondi (ipolimnio) per ridurre l'accumulo di fosforo e limitare il rilascio dai sedimenti.

Accanto a questi interventi, il lago è sottoposto a monitoraggi continui che comprendono analisi chimiche, studio del fitoplancton, valutazione del macrozoobenthos e controllo della fauna ittica, così da verificare nel tempo l'efficacia delle misure adottate.

Balneabilità e percezione ambientale

Un segnale concreto del miglioramento della qualità delle acque è stata la riapertura sperimentale alla balneazione di alcune aree, dopo decenni di divieto. In località come Schiranna e Bodio Lomnago i parametri microbiologici risultano generalmente conformi nei periodi favorevoli. Tuttavia la balneabilità può ancora essere influenzata da eventi meteorologici intensi o da apporti improvvisi di nutrienti.

Quadro complessivo

Nel complesso, il Lago di Varese si trova oggi in una fase di transizione ecologica. Le pressioni antropiche sono diminuite rispetto al passato e lo stato chimico è sotto controllo, ma l'ecosistema rimane sensibile all'eccesso di nutrienti e alle variazioni climatiche. Dopo una lunga fase di degrado, il lago mostra segnali concreti di recupero, grazie a interventi tecnici mirati e a una gestione ambientale più attenta e scientificamente fondata.

La vita microscopica

Nonostante si pensi che la maggioranza degli esseri viventi dell'ambiente lacustre si possa osservare ad occhio nudo, il mondo dei microrganismi del lago è ampiamente vasto.

La crescita delle alghe è legata a processi naturali biologici che avvengono all'interno del lago ed è tanto maggiore quanto maggiori sono i nutrienti presenti nelle sue acque.

Alcuni fra i molti batteri che abbiamo potuto osservare sono i cianobatteri che, come tutti i batteri, sono organismi procarioti, vale a dire privi di nucleo all'interno della loro cellula.

Sono un gruppo di batteri in grado di svolgere il processo di fotosintesi. Sono cioè in grado di ricavare energia dalla luce, esattamente come le piante. Per questo motivo sono stati a lungo considerati alghe e venivano chiamati “alghe azzurre”.

La presenza elevata di cianobatteri visibili in superficie (detta fioritura) è in molti casi legata alla presenza nelle acque di eccessive quantità di nutrienti come fosforo e azoto (un fenomeno detto eutrofizzazione) ed è riconducibile ad attività umane quali scarichi civili, industriali, allevamenti e attività agricole. Alcune specie sono tuttavia in grado di fiorire anche in assenza di eutrofizzazione, grazie alla capacità di sfruttare anche basse concentrazioni di nutrienti.

In determinate condizioni, i cianobatteri presenti nelle acque possono moltiplicarsi velocemente tanto da colorare le acque e formare schiume superficiali.



Queste sono le schiume superficiali osservate da noi sulle sponde del lago.

Un'eccessiva presenza di cianobatteri può avere conseguenze negative per l'utilizzo delle acque, sia per scopi ricreativi e di balneazione, sia per uso potabile, poiché essi sono in grado di produrre delle tossine (le cianotossine), con vari effetti sulla salute.

Attraverso i nostri studi, fatti al microscopio ottico in laboratorio e quello portatile sul luogo del prelievo dei campioni, si sono osservati diversi tipi di alghe e cianobatteri (Figure a pag. 10).

Alla formazione e alla persistenza delle fioriture di cianobatteri contribuiscono una serie di fattori, tra cui:

- disponibilità di luce;
- temperatura dell'acqua;
- alterazione del flusso dell'acqua;
- mescolamento verticale;

- variazioni del pH;
- carico di nutrienti (sia azoto che fosforo);
- metalli in traccia.

Per questo motivo nei successivi capitoli proveremo a misurare alcuni di questi aspetti, soprattutto pH e sali disciolti.

Per fare le nostre osservazioni in laboratorio riguardo i microrganismi abbiamo usufruito di due tipi di microscopio: il **microscopio ottico** e il **microscopio ottico portatile**.

Gli strumenti di osservazione

Facendo un salto indietro nel passato il primo strumento utilizzato per ingrandire è la lente d'ingrandimento, detta anche microscopio semplice. Essa è un elemento ottico che ha la caratteristica di concentrare i raggi di luce; normalmente viene realizzata in vetro o materiali plastici. Ha la capacità di formare immagini reali o "virtuali" di oggetti. Una lente d'ingrandimento è formata da una singola lente convessa, usata per ottenere un'immagine ingrandita di un oggetto. La lente di solito è circondata da una cornice in metallo agganciata a un manico.

Andando in ordine temporale, il successivo strumento è il microscopio ottico, uno strumento fondamentale in biologia, poiché la maggior parte delle cellule non è visibile a occhio nudo. È composto da tre sistemi principali: il sistema ottico, il sistema di illuminazione e lo stativo.

Il sistema ottico è formato da due lenti inserite in un tubo (tubo portalenti): l'oculare, a cui si appoggia l'occhio, e l'obiettivo, posto vicino al vetrino. Funziona come una doppia lente di ingrandimento: l'obiettivo ingrandisce l'oggetto e l'oculare ingrandisce ulteriormente l'immagine prodotta. I microscopi hanno in genere almeno tre obiettivi con diversi poteri di ingrandimento, montati su una torretta girevole.

Il sistema di illuminazione comprende uno specchio orientabile che riflette la luce sull'oggetto, eventualmente un condensatore (che concentra la luce) e un diaframma (che ne regola la quantità). Poiché la luce deve attraversare l'oggetto, questo deve essere trasparente o reso estremamente sottile. Il campione viene poi posto tra un vetrino porta-oggetti e un vetrino copri-oggetti sul tavolino porta-oggetti.

Lo stativo è la struttura di supporto: include la base, il tavolino e le due viti di messa a fuoco: la vite macrometrica per i movimenti grossolani e la vite micrometrica per le regolazioni più precise.

Il potere di risoluzione indica la capacità di distinguere come separati due punti molto vicini. L'occhio umano ha un potere di risoluzione di circa 0,1 mm, mentre il microscopio ottico arriva a 0,3 μm .

Questo è però il suo limite: al di sotto di questa distanza, la luce visibile non consente di distinguere i dettagli.

Per osservare strutture ancora più piccole si usa il microscopio elettronico, che utilizza elettroni al posto della luce. Ha un potere di risoluzione di 1 nanometro (un milionesimo di mm) e può ingrandire oltre un milione di volte. Il microscopio elettronico è un apparecchio dotato di altissimo potere risolutivo che permette l'osservazione di campioni di grandezze infinitesimali, grazie alle proprietà ondulatorie di uno o più fasci di elettroni.

Uno degli strumenti di ingrandimento più recenti, che avevamo in dotazione nel nostro laboratorio scolastico, è il microscopio portatile. Lo abbiamo utilizzato per osservare i microrganismi sul luogo del prelievo dei campioni. Il microscopio portatile Diple Lux comprende anche un vero e proprio supporto di microscopia, cioè una struttura che permette di trasformare il telefono in uno strumento simile a un microscopio da laboratorio in miniatura. Il supporto è composto da una base, un piano su cui posizionare il campione e un sistema di regolazione dell'altezza. Questa regolazione consente di mettere a fuoco l'oggetto con precisione, avvicinando o allontanando lo smartphone fino a ottenere un'immagine nitida. In questo modo il dispositivo non viene tenuto in mano, ma resta fermo come in un microscopio tradizionale, migliorando la qualità dell'osservazione.

Inoltre, possiede una luce LED integrata che illumina il campione, rendendo possibile l'uso anche in ambienti poco illuminati. Il massimo ingrandimento usato è stato il 40x, un valore sufficiente per osservare dettagli molto piccoli che non sono visibili a occhio nudo. Maggiore è l'ingrandimento, più è possibile distinguere particolari fini, ma è importante anche la qualità delle lenti e della luce, che influenzano la nitidezza dell'immagine.

La risoluzione ottica, pari a circa $3,2\text{ }\mu\text{m}$, rappresenta la capacità dello strumento di distinguere due punti molto vicini tra loro. Il campo visivo, di circa 1 millimetro di diametro, indica invece la porzione di campione visibile in un'unica osservazione.



Osservazione della vita microscopica

Obiettivi

- Osservare al microscopio i microrganismi che abitano nel lago.
- Utilizzare le colture su capsule Petri per evidenziare la presenza di organismi molto piccoli.

Materiali e strumenti

Campioni:

- Acqua di lago
- Acqua distillata
- Acqua in bottiglia

Sostanze:

- Agarosio
- Parafilm M
- Dado da cucina
- Acqua distillata

Vetreria:

- Pipette
- Capsule Petri
- Vetrini
- Coprivetrini
- Anse da inoculo

Strumenti:

- Microscopio ottico (10x, 40x, 100x, 400x)
- Microscopio ottico portatile (4x, 10x, 40x)
- Bilancia ($\pm 0,001$ g)
- Becco Bunsen
- Beute con sfiato (per trasporto campioni)

Esperienza

Ci siamo recati sulle sponde del lago per prelevare dei campioni di acqua e abbiamo utilizzato subito il microscopio portatile. Al rientro in laboratorio, abbiamo osservato alcune gocce di campioni al microscopio ottico per poter osservare i microrganismi vivi appena raccolti.

Per il trasporto dal lago alla scuola, i campioni di acqua sono stati versati in delle beute con sfiato, in modo tale da far passare l'aria e non soffocare gli eventuali organismi viventi.

Successivamente abbiamo preparato delle piastre petri, aventi la funzione di "incubatrici batteriche", con un terreno di coltura "casalingo" per creare un ambiente ideale dove i batteri potessero riprodursi e ottenere, così, delle colonie batteriche da esaminare al microscopio.

Per preparare il terreno abbiamo utilizzato acqua distillata, dado per il brodo e agarosio. Dopo aver indossato mascherine e guanti, per mantenere l'ambiente il più sterile possibile, abbiamo acceso il becco bunsen e abbiamo disposto un treppiede sormontato da una piastra ignifuga sopra di esso, abbiamo posizionato il becher sulla piastra e aggiunto acqua. Una volta raggiunta l'ebollizione abbiamo aggiunto il dado e in seguito l'agarosio, aspettando che si sciogliesse interamente. Successivamente, abbiamo versato il composto nelle capsule petri e, dopo averlo lasciato raffreddare per circa 20 minuti, abbiamo "seminato" qualche goccia dei campioni dell'acqua di lago precedentemente raccolta.

Abbiamo deciso di esaminare anche altre due sostanze: l'acqua dei rubinetti del laboratorio e l'acqua di una pozzanghera raccolta appena fuori dal laboratorio della scuola.

Infine abbiamo sigillato le capsule petri con delle strisce di parafilm e le abbiamo lasciate "riposare" per una settimana.

Passata una settimana ci siamo ritrovati in laboratorio e dopo esserci muniti di mascherine e guanti, abbiamo aperto le capsule petri da cui abbiamo prelevato dei microrganismi che abbiamo posto su dei vetrini e osservati al microscopio.

OSSERVAZIONI

Nei campioni di acqua osservati al microscopio ottico subito dopo essere stati prelevati dal lago e portati in laboratorio abbiamo individuato la presenza di colonie di cianobatteri. Si può notare come esse assumano forme e dimensioni diverse dato che in natura le singole cellule si possono trovare unite a formare lunghi filamenti. Confrontando le nostre immagini con alcune immagini trovate in rete siamo riusciti a distinguere la presenza di diverse specie di cianobatteri: *Anabaena* (filamenti a collana di perle), *Nodularia* (filamenti più rigidi) e *Oscillatoria* (cellule più grandi e cilindriche).



Ingrandimento 4x



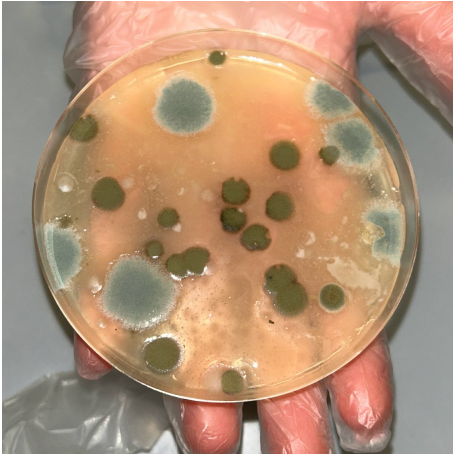
Ingrandimento 10x



Ingrandimento 40x

Dopo una settimana dall'inoculo dei tre tipi di acque analizzati, abbiamo notato una forte differenza nella presenza di microrganismi:

- acqua distillata



Si sono riusciti ad osservare diverse colonie batteriche, di colore bianco, e delle colonie di funghi microscopici cioè muffe di colore azzurro o verde.

ingrandimento 40x:

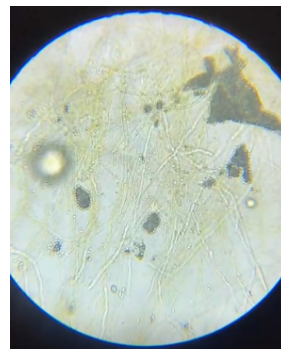


- acqua di pozzanghera:

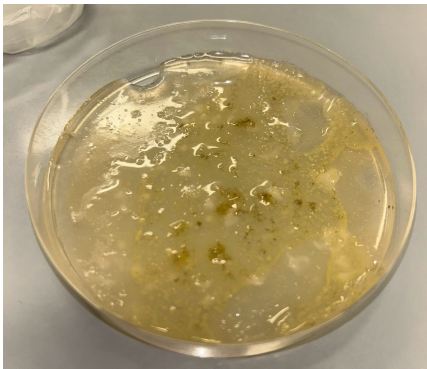


Anche in questo caso si sono create delle colonie batteriche, di colore giallo, ma si è anche creata una patina di filamenti superficialmente.

I filamenti visti al
microscopio ottico

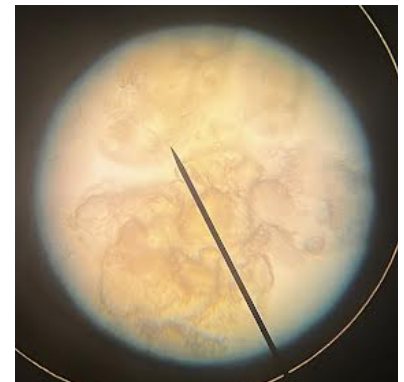


- acqua di lago:



Dall'acqua di lago sono cresciute solo colonie batteriche bianche mentre il colore verde evidenzia la presenza di residui di alghe e fioriture di cianobatteri presenti nel campione sin dal momento in cui è stato depositato sulla piastra.

La colonia batterica bianca vista al microscopio ottico
(Obiettivo 40X)



CONCLUSIONE

Nelle acque analizzate si trovano diversi tipi di organismi: i più frequenti sono funghi (filamenti bianchi osservati), muffe e batteri. La principale differenza tra il campione di acqua di lago e le altre due acque analizzate per il confronto è la presenza, solo nell'acqua del lago, di alghe e cianobatteri.

Dal punto di vista chimico: misurazione del pH

Introduzione

Il primo parametro dell'acqua che abbiamo analizzato è stato il pH, ovvero la grandezza fisica che rappresenta l'acidità, ovvero la concentrazione di ioni H^+ , di soluzioni acquose, introdotta dal chimico danese Søren Sørensen. I valori più bassi, compresi tra 0 e 7 indicano acidità, il 7 è riferito alle soluzioni neutre e i valori tra 7 e 14 indicano la basicità, ossia la concentrazione di ioni OH^- . Questa scala è fondamentale in numerosi ambiti: dal medico all'agricolo, dall'alimentare al naturalistico; noi ci siamo concentrati su quest'ultimo.

L'acidità si misurava sin dall'antichità, quando gli unici mezzi per stimarla erano gusto e osservazione degli effetti su metalli o pietre. Poi, intorno al XVII secolo, si passò a estratti vegetali o sintetici e cartine tornasole (carta imbevuta di indicatore universale, un insieme di coloranti sintetici). Infine si arrivò alla creazione della scala pH e l'invenzione del pH-metro elettronico nel XX secolo. Le caratteristiche chimiche dell'acqua influenzano in modo diretto la vita del lago. Valori troppo bassi o troppo alti del pH possono modificare la vita acquatica dei diversi organismi presenti nel bacino. Nel Lago di Varese il pH è generalmente neutro o leggermente basico, tipico dei laghi dell'Italia settentrionale (dati Regione Lombardia).

Obiettivi

- Misurare il pH del lago
- Comparare vari metodi di misura, antichi e moderni

Materiali e strumenti

Sostanze e campioni:

- Acqua di lago
- Acido cloridrico (HCl)
- Idrossido di sodio (NaOH)
- Ammoniaca (NH_3)
- Aceto (CH_3COOH)

Reagenti e coloranti:

- Vino rosso
- Estratto di cavolo viola
- Fenolftaleina ($C_{20}H_{14}O_4$)

- Arancio metile ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$)

Vetreria:

- Bechers
- Pipette

Strumenti:

- Cartine tornasole
- pH-metro ($\pm 0,01$)

Esperienza

Abbiamo deciso di seguire l'evoluzione della misurazione del pH partendo da estratti vegetali (vino rosso ed estratto di cavolo viola), capaci di dare una misura approssimativa del pH. Proseguendo, abbiamo usato coloranti sintetici (fenolftaleina e arancio metile) per avere una maggiore precisione. Infine, abbiamo utilizzato cartine tornasole, fino ad arrivare al più moderno pH-metro.

Si sono eseguite, in laboratorio, misurazioni del pH di alcune soluzioni acquose di: acido cloridrico (HCl), idrossido di sodio (NaOH), ammoniaca (NH₃) e aceto (CH₃COOH). Ciascuna soluzione è stata analizzata con ogni metodo di misura. Infine, è stato analizzato un campione di acqua di lago. Sono state effettuate anche delle misurazioni in riva al lago, con pH-metro.

Risultati

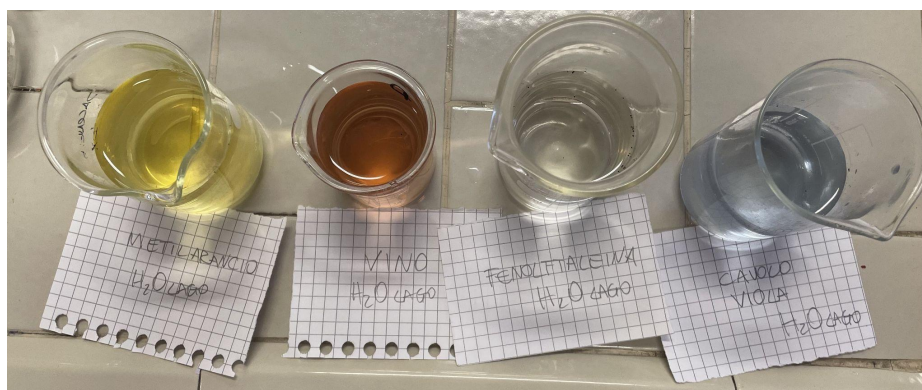
L'estratto di cavolo viola tende al rosa/fucsia in ambienti acidi e al verde/azzurro in quelli basici; anche il vino tende al rosaceo in soluzioni acide, ma verso il grigio/tortora in quelle basiche. Per classificare più dettagliatamente le soluzioni basiche si è usata la fenolftaleina, che si è colorata di fucsia più intenso nel becher contenente NaOH (più basico) e meno intenso in quello contenente NH₃ (meno basico). Invece per quelle acide, si è utilizzato l'arancio metile, che passa dall'arancione dell'aceto (meno acido) al rosso/vermiglio dell'acido cloridrico (più acido).

Per verificare i risultati sono state usate cartine tornasole e pH-metro, che hanno confermato e precisato quanto precedentemente stimato. I risultati sono riportati nella tabella seguente:

	Vino rosso	estratto di cavolo viola	Fenolftaleina	Arancio metile	Cartine tornasole	pHmetro
CH_3COOH	Rosato	Rosa		Salmone	4,5	3,2
HCl	Rosa sale	Fucsia		Rosso vermiglio	2	1,9
NaOH	Marrone occhio di tigre	Verde chiaro	Fucsia intenso		11	12,5
NH_3	Grigio tortora	Verde acqua	Fucsia sbiadito		8,5	10,7
Acqua di lago	Marrone miele di castagno	Blu violaceo	Nessuna variazione	Giallo girasole	6,5	6,2



PH-metro in loco



Misurazione del pH effettuata con le sostanze sopra elencate

La misurazione del pH del lago direttamente in loco ha restituito una leggera acidità, con pH di circa 6,78.

Discussione

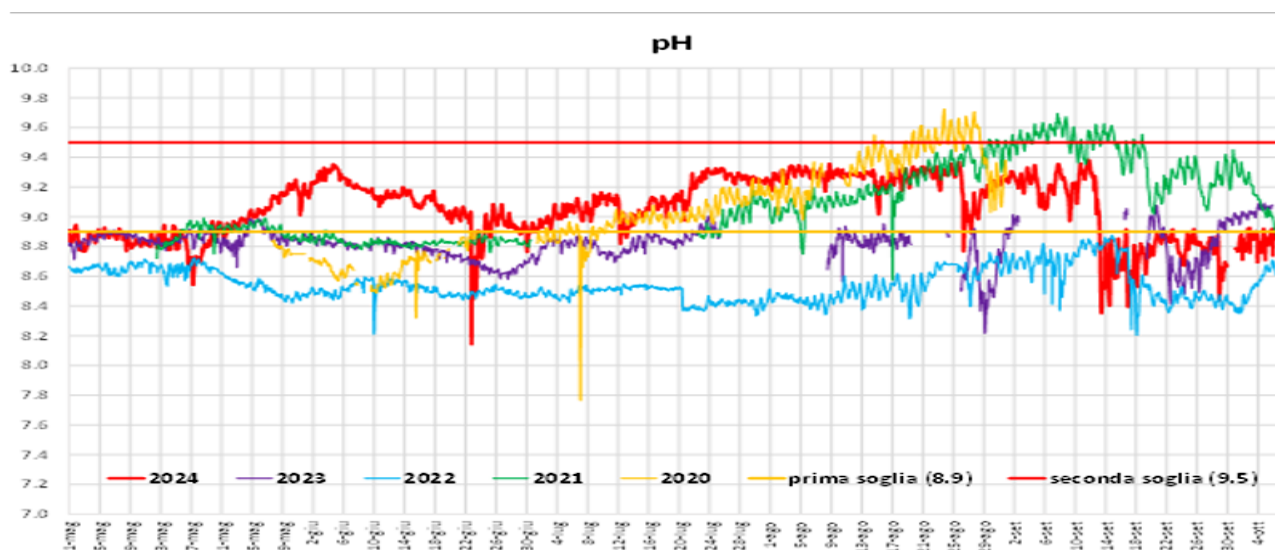
Dalla nostra analisi risulta che il pH del lago ha valori tra 6 e 7. Tuttavia, questi dati sono risultati in contrasto con quanto riportato da Regione Lombardia, che negli ultimi 5 anni non ha mai misurato un pH inferiore a 7,0 nelle acque del lago di Varese. Ma, avendo noi acquisito lo stesso valore nelle

misure eseguite con il pH-metro, si può capire che si tratta di un problema del campione, raccolto a riva, e non dei metodi di misura, i cui risultati sono tra loro coerenti. Questo ci ha permesso di stimare come validi, anche se più approssimativi, i metodi di misurazione più “grezzi” come il vino o l'estratto di cavolo viola, portandoci a concludere che è possibile catalogare il pH di alcune soluzioni anche in maniera così “casalinga”.

Molto probabilmente l'acidità misurata nelle nostre analisi deriva dal prelievo di acque superficiali a riva anziché in profondità. Si tratta pertanto di acque a contatto con l'anidride carbonica presente in atmosfera. L'anidride carbonica (CO_2), quando si scioglie in acqua, crea acido carbonico (H_2CO_3), che abbassa notevolmente il pH.

La superficie del lago, inoltre, è molto più soggetta a rimescolamento d'acqua e presenza di fitoplancton che, tramite la fotosintesi, rimuove la CO_2 presente. Per quest'ultimo motivo, il pH superficiale varia notevolmente tra giorno e notte e tra le diverse zone a seconda dell'alternarsi di fotosintesi e respirazione.

Invece, Regione Lombardia esegue le misurazioni nel punto di massima profondità del lago e non in prossimità della superficie. E questi sono risultati raccolti:



Misurazione del pH pubblicata da Regione Lombardia

In questo grafico i pH sono più bassi, perché il fondo del lago non riceve acqua piovana diretta e non è a contatto con l'atmosfera. Sono osservabili picchi molto marcati a pH minori, che si sono verificati in corrispondenza di forti piogge. In queste occasioni la massa d'acqua che entra nel lago è tale da modificare il pH anche degli strati più profondi.

Misurazione della durezza con titolazione

Obiettivo

- Valutare il contenuto di sali disciolti nell'acqua del lago

Materiali e strumenti:

Sostanze e campioni:

- Acqua di lago
- Acqua di rubinetto

Reagenti e coloranti:

- Tampone pH: ammonio/ammoniaca
- Nero eriocromo T (NET) ($C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$)
- Etilendiamminotetracetato biidrato bisodico (0,01 mol/l) (EDTA) ($C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$)

Vetreria:

- Buretta
- 2 Bechers
- Pipette

La durezza

La durezza dell'acqua, determinata dalla presenza di sali minerali come sali di calcio e magnesio, è un parametro importante: influisce sui processi biologici e sulla capacità dell'acqua di tamponare variazioni di acidità. Non ha a che fare con la "potabilità" in senso stretto, ma con la concentrazione di questi minerali che l'acqua raccoglie attraversando rocce e terreni, soprattutto quelli calcarei. Più un'acqua è ricca di calcio e magnesio, più viene definita dura; al contrario, se ne contiene pochi, si parla di acqua dolce. Si distinguono due componenti principali: la durezza temporanea, dovuta ai bicarbonati di calcio e magnesio, che può diminuire con l'ebollizione (perché il calore diminuisce il calcare), e la durezza permanente, causata da solfati e cloruri di calcio e magnesio, che non si elimina semplicemente facendo bollire l'acqua. La somma di queste due costituisce la durezza totale. La durezza si misura comunemente in gradi francesi ($^{\circ}f$), $1^{\circ}f = 10 \text{ mg/l di } CaCO_3$. In generale, un'acqua si considera dolce sotto i $15^{\circ}f$, mediamente dura tra 15 e $30^{\circ}f$, dura tra $30^{\circ}f$ e $40^{\circ}f$ e molto dura oltre i $40^{\circ}f$, anche se le classificazioni possono variare leggermente. Dal punto di vista pratico, l'acqua dura favorisce la formazione di incrostazioni di calcare nelle tubature, negli elettrodomestici

e nelle caldaie, riducendone l'efficienza e aumentando i consumi energetici. Tuttavia, dal punto di vista della salute, un'acqua moderatamente dura non è dannosa e può anzi contribuire all'apporto giornaliero di minerali essenziali come calcio e magnesio. Per ridurre la durezza si utilizzano sistemi come gli addolcitori a scambio ionico, che sostituiscono calcio e magnesio con sodio, oppure trattamenti fisici e chimici specifici a seconda dell'uso previsto dell'acqua.

La titolazione

Per misurare la durezza (contenuto totale di sali di calcio e magnesio disciolti), abbiamo usato, come tecnica, una titolazione. La titolazione è un approccio inventato dal chimico francese François-Antoine-Henri Descroizilles nel 1791 per poter determinare la concentrazione di una soluzione. Consiste nel fare reagire due soluzioni: titolando (soluzione a concentrazione non nota) e titolante (soluzione a concentrazione nota). Se si conosce il volume dei reagenti, si può calcolare la concentrazione del titolando. Per seguire la reazione, serve un cambiamento osservabile.

Per misurare la durezza dell'acqua, va preparato il titolando. Si può usare il Nero eriocromo T (NET), che naturalmente è di colore azzurro, ma una volta legato agli ioni metallici, formando metallo-NET, diventa nero. Inoltre, per preparare un ambiente adatto al titolante, va aggiunto un tampone basico (pH 10). In seguito, con una buretta, viene gocciolato il titolante: EDTA; una sostanza più reattiva del NET, che quindi riesce a legarsi agli ioni metallici al posto suo. Dopo una certa quantità di EDTA versata, la soluzione tornerà azzurra; questo sarà il momento in cui non ci sarà più alcun metallo legato al NET. Con questo dato, si può calcolare la concentrazione di sali.

Esperienza

Si riempie di EDTA una buretta, curandosi di non lasciare bolle d'aria, e la si pone sopra ad un becher contenente 20 ml di acqua di rubinetto, 15 ml di tampone pH 10 ed una goccia di NET. Si apre delicatamente il rubinetto della buretta, mescolando ininterrottamente il contenuto del becher. Non appena la soluzione passa dal nero all'azzurro, si chiude il rubinetto e si annota la quantità di EDTA utilizzata. Si può calcolare la durezza dell'acqua seguendo la seguente formula, valida solo per EDTA con molarità di 0,01 mol/l.

$$^{\circ}f = (V_{\text{EDTA}} \times 100) / V_{\text{campione}}$$

Dove V_{EDTA} indica il volume di EDTA utilizzato in millilitri;

V_{CAMPIONE} è il volume del campione esaminato, sempre in millilitri (tampone e NET esclusi).

Si ripete lo stesso procedimento con acqua di lago, invece che di rubinetto.

Risultati e discussione

Per raggiungere il viraggio di un campione di 20 ml di acqua di rubinetto sono stati necessari 7,25 ml di EDTA, di conseguenza, usando la formula sopra riportata, si può calcolare una durezza di 36,25°f, indicante un'acqua dura. Per l'acqua di lago, invece, sono bastati 3,75 ml di EDTA, indicanti una durezza media di 18,75°f. Questo risultato classifica l'acqua del lago come mediamente dura tendente al dolce. La sua durezza infatti è circa la metà rispetto all'acqua del rubinetto.

Eutrofizzazione

Come già accennato nell'introduzione, il problema ambientale più rilevante che ha interessato il Lago di Varese negli ultimi anni è l'eutrofizzazione. Questo fenomeno si verifica quando nell'acqua si accumulano quantità eccessive di nutrienti, in particolare composti di fosforo (P), azoto (N) e carbonio organico, provenienti da reflui urbani, sedimenti presenti al suo interno e attività, agricole e industriali. Nel corso del Novecento, la crescita demografica e lo sviluppo economico attorno al lago hanno aumentato la quantità di queste sostanze, alterando profondamente l'equilibrio naturale. L'eccesso di nutrienti stimola una crescita massiccia delle alghe e dei batteri, fenomeni noti come "fioritura algale" e "fioritura batterica". Infatti, per questo problema il lago è pieno di distese verdi, fotografate e analizzate anche da noi al microscopio (vedi figure di pag. 5 e pag. 10) che possono compromettere il passaggio dei raggi di luce sulle acque più profonde. Quando le alghe muoiono, vengono decomposte dai batteri, che consumano grandi quantità di ossigeno disciolto nell'acqua. Questo processo può portare a condizioni di ipossia (scarso ossigeno) o addirittura anossia (assenza di ossigeno), soprattutto negli strati profondi del lago. La conseguenza è la morte degli animali acquatici come i pesci. Inoltre, alcune fioriture possono essere causate da cianobatteri (fig. pag. 10) che producono tossine pericolose per animali e per l'uomo, rendendo l'acqua non idonea alla balneazione. Il lago non è stato balneabile per anni, con un leggero miglioramento nel 2022, che ha visto 2 località annullare questo divieto. L'eutrofizzazione altera quindi non solo l'equilibrio ecologico, ma anche l'utilizzo economico e turistico del lago. Nei laghi lombardi, il nutriente che limita la crescita di organismi vegetali è quasi sempre il fosforo, di cui nel 2000 è stata misurata dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) una densità di 130 $\mu\text{gP/l}$. Per dare un'idea, il vicino, ma non paragonabile per dimensioni ed ecosistema, lago Maggiore ne ha 8,9 $\mu\text{gP/l}$.

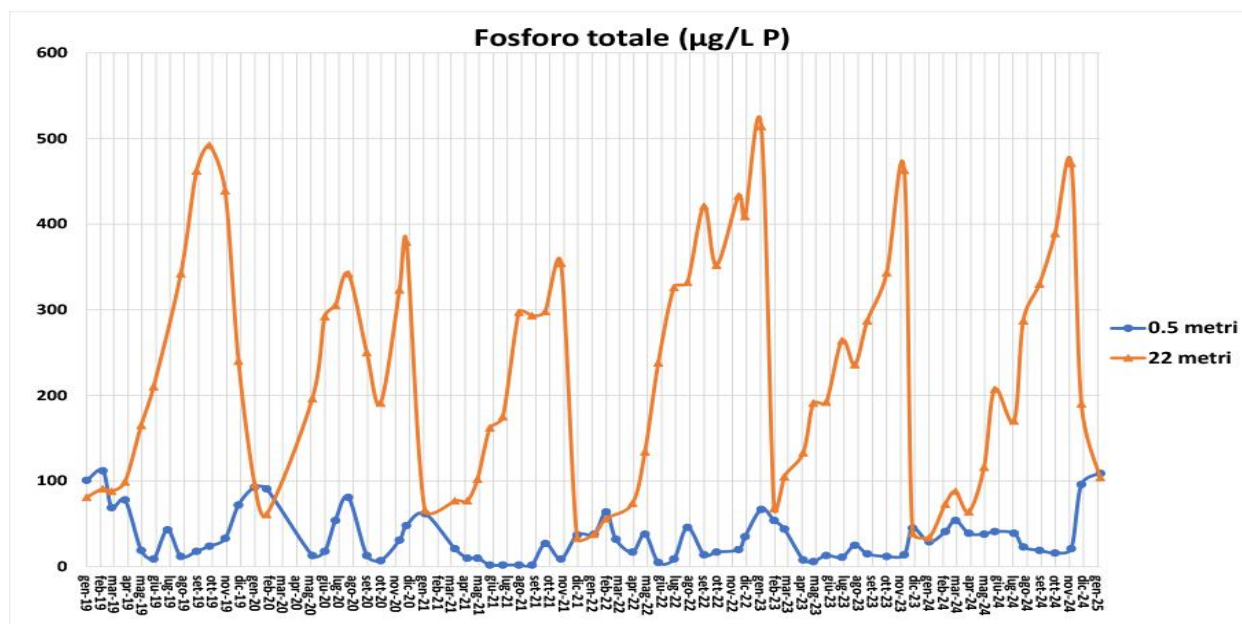
"Nuovi" strumenti di misura: la boa limnologica

Il progresso scientifico-tecnologico ha permesso l'osservazione di sempre più aspetti del lago, che influenzano direttamente e indirettamente la sua vita, tra cui anche l'appena citato problema dell'eutrofizzazione.

Nel lago, nel punto di massima profondità, è stata installata una boa capace di eseguire misure ad elevata frequenza temporale, che, insieme al sistema di telerilevamento satellitare e agli oltre 50 parametri, tra cui pH, temperatura/conducibilità, ossigeno disciolto etc., misurati mensilmente rende il lago uno dei più monitorati d'Europa.

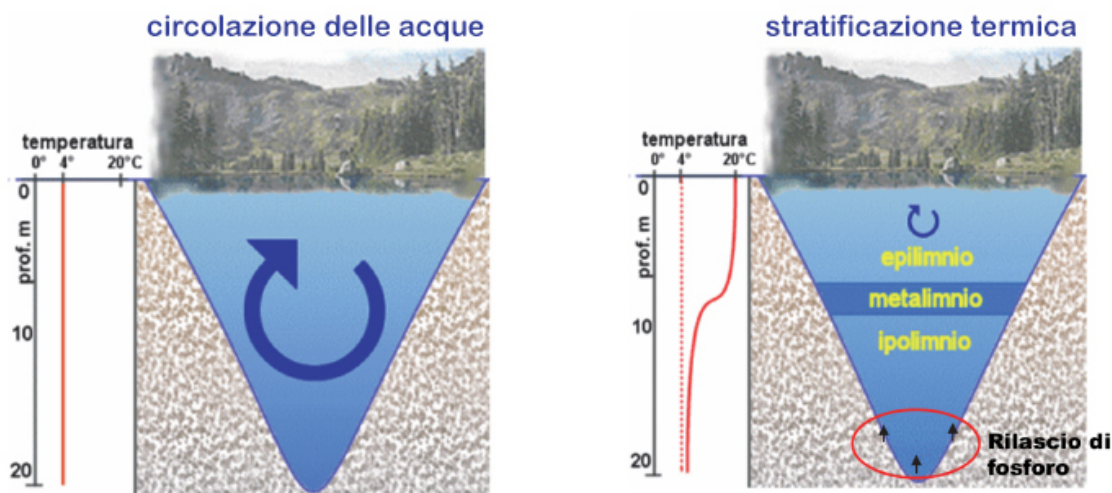
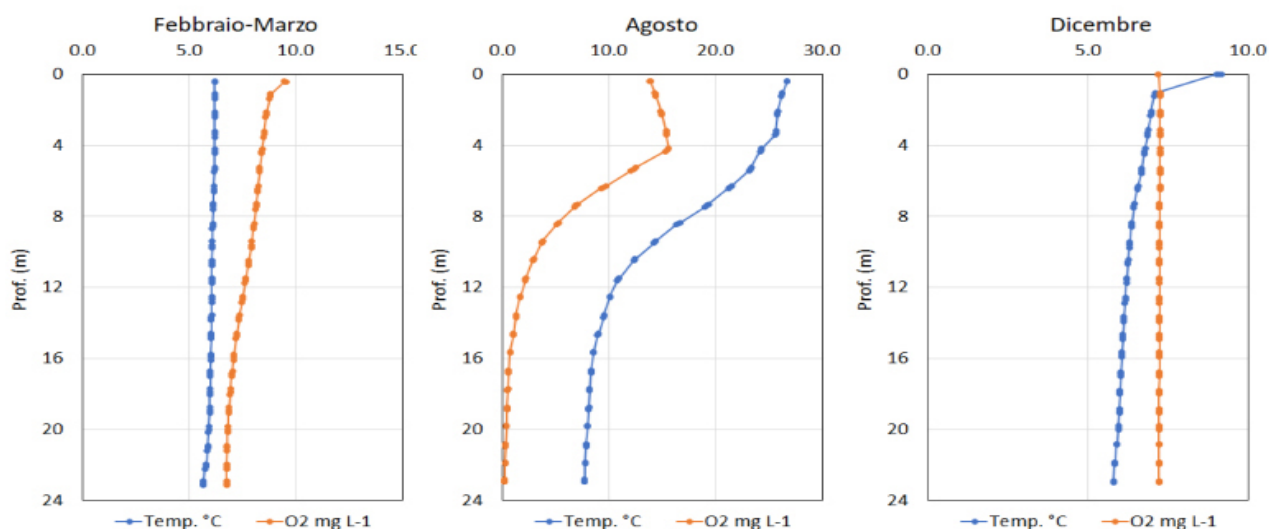
I dati della boa sono resi disponibili online da SIMILE (Sistema Informativo per il Monitoraggio Integrato dei Laghi insubrici e dei loro Ecosistemi), consultabili ora per ora per qualsiasi periodo a partire da luglio 2020.

Boa limnologica – ubicazione e attrezzatura



Da questo grafico, raffigurante i livelli di fosforo in superficie e sul fondo, si possono notare fluttuazioni stagionali. Esse sono dovute al **ciclo termico** del lago: un alternarsi di fasi di circolazione delle acque e di stratificazione termica. La prima di esse inizia a dicembre e dura fino a maggio ed è caratterizzata da un'omogeneità della temperatura, dell'ossigenazione, del pH e della presenza di

CO₂ nelle acque. La stratificazione termica perdura da maggio a novembre, ed è dovuta al riscaldamento dello strato più superficiale, con conseguente differenziazione delle densità. In superficie, si forma l'epilimnio, con alte temperature e buona ossigenazione; segue il metalimnio, sottile strato di transizione; infine c'è l'ipolimnio: strato finale freddo e privo di ossigeno. Questa stratificazione si può anche osservare dai profili di temperatura e ossigeno misurati con la **sonda multiparametrica** sistemata sulla boa.



In presenza di ossigeno, il fosforo (P) è solitamente legato agli ossidi e idrossidi di ferro (Fe³⁺) nel sedimento, rimanendo stabile e insolubile. In condizioni di anossia, il potenziale redox diminuisce, portando alla riduzione chimica del ferro da ferrico (Fe³⁺) a ferroso (Fe²⁺). La rottura di questo legame ferro-fosforo libera il fosfato inorganico solubile, che viene rilasciato dai sedimenti alla colonna d'acqua sovrastante. Condizioni alcaline favoriscono la solubilizzazione e il rilascio di fosforo dai sedimenti, peggiorando la situazione nel lago di Varese.

Conclusione

Il percorso svolto ci ha permesso di osservare il Lago di Varese con “occhi diversi”. Attraverso strumenti antichi e moderni abbiamo compreso che indagare un fenomeno naturale significa integrare osservazione, metodo e tecnologia.

Partendo dall'osservazione diretta della vita macroscopica fino allo studio della vita microscopica tramite microscopio ottico e microscopio portatile, abbiamo scoperto quanto l'equilibrio di un ecosistema dipenda da elementi spesso invisibili. Le colture e l'analisi dei microrganismi hanno mostrato il legame profondo tra nutrienti, proliferazioni algali ed eutrofizzazione.

Dal punto di vista chimico abbiamo potuto osservare il confronto tra i metodi tradizionali e strumenti moderni come il pH-metro, il quale ha evidenziato un dato interessante: il valore rilevato in loco (6,78) risulta leggermente più acido della media dei dati regionali, generalmente neutri o debolmente basici; questi rilevamenti ci hanno insegnato quanto il dato dipenda dal luogo, dalla profondità e dalle condizioni ambientali al momento del prelievo. Allo stesso tempo, la misurazione della durezza ha evidenziato che l'acqua del lago, con circa 18,75°f, è mediamente dura. Questo dato si può collegare alla stabilità dell'ecosistema: una buona concentrazione di sali minerali aiuta a limitare sbalzi improvvisi di acidità. Tutti i rilevamenti eseguiti con i diversi strumenti ci hanno spinto a ragionare riguardo al percorso evolutivo della scienza e a come ogni strumento, dal più antico al più moderno, possa fornire informazioni utili se utilizzato con consapevolezza.

Dal punto di vista biologico, l'osservazione del lago ha evidenziato un'enorme quantità di specie differenti visibili sia ad occhio nudo che con gli strumenti adeguati. Tuttavia, le fioriture algali e le schiume superficiali osservate lungo le sponde indicano uno squilibrio dovuto all'eccessiva presenza di nutrienti; infatti le osservazioni microscopiche hanno confermato la presenza attiva di microrganismi e cianobatteri.

Dal punto di vista fisico, abbiamo scoperto come la stratificazione termica, con la separazione stagionale tra epilimnio e ipolimnio, possa favorire le condizioni di carenza di ossigeno negli strati più profondi. In tali condizioni si verifica un rilascio di fosforo dai sedimenti, che alimenta ulteriormente la crescita algale. Si crea così un ciclo che collega dinamiche termiche e risposte biologiche, mostrando la complessità del sistema lago.

Il confronto tra vecchi e nuovi strumenti ha rappresentato un grande spunto di riflessione poiché, ad esempio, gli indicatori naturali di pH, metodi più antichi e casalinghi, hanno riferito risultati molto coerenti con i risultati ottenuti da strumenti più precisi, come cartine tornasole e pH-metro. Questo dimostra come l'evoluzione tecnologica non sostituisce le conoscenze e le tecniche precedenti, ben-

sì le perfeziona, rendendo il risultato finale dell'osservazione più accurato e affidabile. In definitiva, l'unione dell'osservazione a occhio nudo e l'applicazione di diverse metodiche di laboratorio hanno permesso una comprensione più completa dello stato ecologico e chimico del nostro lago.

Osservare il lago con vecchi e nuovi metodi ci ha portato a comprendere che ogni dato e ogni risultato acquista valore solo se viene collegato ai dati ottenuti da altre misurazioni, all'interno di una visione sistematica.

Bibliografia

- regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/aqst-lago-di-varese/stato-del-lago
- wikipedia.org
- varesenews.it
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (vb.irs.cnr.it)
- insubrilakes.eu/#/admin/analisi

Relazione docente

Docente: Arianna Petrizzo

Studenti: Anessi Samuele, Baranzini Emma, Bertocchini Lapo, Franzetti Giulia, Magistri Alice, Paganini Mattia, Panzarasa Giada, Sangalli Elias.

Gli studenti appartengono a diverse classi della nostra scuola, la maggior parte di essi appartiene alla classe 3C Liceo Scientifico - opzione Scienze applicate. Hanno partecipato all'iniziativa, che per la prima volta abbiamo proposto nella nostra scuola, su mio invito, in qualità di loro docente di scienze.

L'idea di indagare il lago di Varese è stata proposta da noi docenti referenti del progetto organizzando una serie di attività di laboratorio incentrate sulla osservazione e la misura di diversi parametri riguardanti il lago e le sue acque.

Negli ultimi incontri abbiamo proposto a tutti gli studenti che hanno aderito al progetto di scegliere quali esperienze desiderassero presentare e di ipotizzare un percorso che le unisse, lasciando anche maggiore spazio alla loro iniziativa di esplorare nuove metodiche da applicare, analizzare e presentare.

Gli studenti che hanno compilato questa tesina sono stati in grado di trovare dati anche da fonti esterne a quelle segnalate da noi docenti indicando una buona autonomia di ricerca. Hanno preferito mostrare una visione ampia di diversi aspetti del lago più che concentrarsi su di un unico aspetto e ciò ha reso più difficile il lavoro di sintesi finale nella stesura della tesina.

Tutti gli studenti del gruppo - alcuni rivelandosi come leader positivi, altri lasciandosi coinvolgere - hanno partecipato con interesse, contribuendo sia al lavoro di laboratorio che alla stesura della tesina.

Tutti hanno mostrato di aver colto che lo scopo delle attività di laboratorio e di ricerca fosse una particolare attenzione ai diversi strumenti e alle diverse metodiche scelte per indagare i fenomeni naturali.