



# PROGRAMMA ESECUTIVO DELLE RICERCHE DELLA COMMISSIONE INTERNAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELLE ACQUE ITALO-SVIZZERE

## TRIENNIO 2022-2024



*Ottobre 2021*



## SOMMARIO

<b>PREFAZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>INDAGINI LIMNOLOGICHE SUL LAGO MAGGIORE .....</b>	<b>6</b>
<b>INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO MAGGIORE .....</b>	<b>34</b>
<b>INDAGINI SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO MAGGIORE .....</b>	<b>56</b>
<b>INTRODUZIONE AL PROGRAMMA DI RICERCA PER IL LAGO DI LUGANO .....</b>	<b>72</b>
<b>INDAGINI LIMNOLOGICHE SUL LAGO DI LUGANO .....</b>	<b>73</b>
<b>INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NEL LAGO DI LUGANO .....</b>	<b>79</b>
<b>INDAGINI SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO CERESIO .....</b>	<b>85</b>



## PREFAZIONE

Il Piano d’Azione 2019-2027 della CIPAIS fissa gli obiettivi strategici prioritari da raggiungere nel corso dei prossimi anni atti a garantire la qualità degli ambienti acquatici nei bacini del Ceresio e del Verbano. Esso si prefigge di integrare ed armonizzare, nella misura del possibile, le esigenze degli Enti coinvolti nella tutela delle acque comuni a vari livelli, cioè per l’Italia il Governo italiano e le Regioni Piemonte e Lombardia e, per la Svizzera, la Confederazione, i Cantoni Ticino, Grigioni e Vallese, i comuni rivieraschi. Si tratta segnatamente di esigenze qualitative espresse non soltanto dalla normativa emanata dai due Paesi, ma anche emergenti da rapporti e studi scientifici. A livello internazionale si deve tener conto delle normative EU (in particolare la WFD del 2000), normativa vincolante a livello comunitario per l’Italia. A livello cantonale vanno opportunamente tenuti in considerazione gli indirizzi espressi nelle schede del Piano Direttore e nelle pubblicazioni “Ambiente in Ticino”.

Gli obiettivi strategici espressi nel Piano d’Azione soddisfano le esigenze espresse dalla Water Framework Directive 2000/60/EC e, al contempo, rispettano il concetto di tutela delle acque sancito dalla Legge Federale sulla protezione delle acque (LPac, 1991). Le finalità che essi perseguono possono essere così sintetizzate:

- garantire il buono stato ecologico degli ecosistemi acquatici;
- preservare la salute dell’uomo, degli animali e delle piante;
- garantire l’approvvigionamento e promuovere un uso parsimonioso dell’acqua potabile ed industriale;
- conservare i biotopi naturali per la fauna e la flora indigene;
- conservare le acque ittiche;
- salvaguardare le acque come elementi del paesaggio;
- garantire l’irrigazione agricola;
- permettere l’uso delle acque a scopo di svago e di ristoro;
- garantire la funzione naturale del ciclo idrologico.

Per meglio indentificare tali obbiettivi e per valutare i progressi nel loro raggiungimento è stato allestito un pannello di controllo, diversificato per il Verbano e per il Ceresio in considerazione della diversità dei due laghi, che definisce una serie di indicatori per i seguenti quattro settori di indagine, focalizzati sul corpo lacustre e sul suo bacino imbrifero:

- Antropizzazione e uso del territorio e delle risorse naturali
- Idrologia e clima
- Ecologia e biodiversità
- Inquinamento delle acque

Esso consente di descrivere in maniera rapida ed intuitiva lo stato attuale rispetto a quello individuato dagli obbiettivi prefissati. Il pannello di controllo è concepito, inoltre, anche come strumento di



divulgazione, utilizzabile dalla CIPAIS per diffondere le informazioni sullo stato dei corpi idrici e sulle proprie attività. Buona parte degli indicatori e dei parametri che ne permettono la formulazione viene studiata e misurata nell'ambito del programma esecutivo per il triennio 2019-2021, che fissa nel dettaglio, su base annua, modalità e costi delle indagini.

Alla luce di quanto previsto dall'art. 3 comma b) della Convenzione, in merito alle ricerche organizzate da CIPAIS, al fine di individuare le priorità di **scelta delle ricerche da condurre, vengono definiti** i seguenti **criteri generali**:

1. soddisfare le esigenze conoscitive e gli obiettivi previsti dalla Direttiva 2000/60/CE, normativa vincolante a livello comunitario per l'Italia e, nonché rispettare il concetto di tutela delle acque sancito a livello cantonale dalla **Legge Federale sulla protezione delle acque (LPAC, 1991)**, con gli indirizzi espressi nelle schede del Piano Direttore e nelle pubblicazioni "Ambiente in Ticino", nonché una specifica serie storica pluridecennale di conoscenze, la cui perdita di continuità potrebbe inficiare il valore delle informazioni già acquisite e impedire di fatto la verifica degli effetti delle misure di risanamento intraprese.
2. Acquisire conoscenze sugli aspetti di rilevante attualità (tra i quali il cambiamento climatico) o sugli andamenti pregressi tali da rappresentare potenziali criticità che prefigurano il rischio di superare soglie sanitarie e/o di tossicità ambientale nell'immediato futuro, per le quali sia prevedibile a breve o medio termine la necessità di interventi, regolamentazioni o ulteriori indagini di tipo ambientale, sanitario o socioeconomico a carattere regionale, nazionale o sovranazionale.
3. Indirizzare verso ambiti d'indagine innovativi, e comunque non previsti dall'attività istituzionale delle agenzie governative di monitoraggio, volti alla tutela dell'ecosistema da pericoli emergenti.
4. Produrre risultati utili per segnalare alle autorità competenti fenomeni di compromissione ecosistemica potenziali e in atto o per proporre interventi, linee guida anche metodologiche, comportamenti enormi gestionali di salvaguardia dell'ecosistema.

Considerando i criteri sopra esposti e gli esiti della riunione di Commissione del 23 ottobre 2020, nella quale sono stati formulati gli indirizzi prioritari delle linee di ricerca per il nuovo programma del triennio 2022-2024, la Sottocommissione ha valutato le priorità di ricerca per ogni Sezione, che ha formulato le proposte di ricerca di seguito descritte da sottoporre all'approvazione della Sottocommissione e della Commissione.



# PROGRAMMA ESECUTIVO DELLE RICERCHE DELLA COMMISSIONE INTERNAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELLE ACQUE ITALO-SVIZZERE

TRIENNIO  
2022-2024

LAGO MAGGIORE





## INDAGINI LIMNOLOGICHE SUL LAGO MAGGIORE

### PREMESSA

Le ricerche di seguito presentate si propongono in primo luogo di proseguire attività che, grazie al finanziamento da parte della CIPAIS, hanno consentito ad oggi di seguire l'evoluzione del Lago Maggiore in un'ottica ecosistemica, considerando gli aspetti meteo-climatici, fisici, chimici e biologici. Questo approccio multidisciplinare ed integrato ha permesso di indagare i principali processi alla base delle tendenze evolutive del lago. Nel prossimo triennio si intende proseguire con queste indagini, focalizzandosi sul ruolo dei cambiamenti climatici nelle tendenze osservate e sull'interazione tra fattori meteo-climatici ed altre perturbazioni antropiche quali gli apporti di nutrienti ed inquinanti dal bacino imbrifero. I risultati delle indagini finora svolte hanno confermato infatti come il lago sia in condizioni vicine all'oligotrofia e in uno stato ecologico complessivamente buono; le stesse indagini hanno però evidenziato la necessità di una costante attenzione verso i fattori di pressione antropica che gravano sul lago e sul suo bacino.

Grazie alle lunghe serie di dati limnologici, il Lago Maggiore rappresenta uno degli esempi più significativi di indagini a lungo termine sui bacini lacustri. La continuità delle ricerche ha portato all'inserimento del Lago Maggiore nel network LTER per la ricerca ecologica a lungo termine, nonché alla partecipazione a numerose iniziative di ricerca a livello nazionale ed internazionale, volte ad analizzare e comprendere le dinamiche degli ecosistemi lacustri in risposta ai cambiamenti globali. Tali conoscenze sono alla base di corrette scelte gestionali per il mantenimento di un buon stato qualitativo dei corpi idrici, nonché del loro ruolo come fornitori di servizi ecosistemici. Si deve inoltre rilevare come le frequenze di campionamento ed analisi dei principali parametri limnologici previste nel programma siano largamente superiori rispetto a quelle previste dei monitoraggi ai sensi di legge (dal D.L. 260/2010); questo consentirà una valutazione più accurata delle variazioni stagionali ed interannuali, oltre che una quantificazione più precisa degli indicatori.

Le ricerche proposte mirano quindi a garantire il mantenimento delle serie storiche di dati e l'aggiornamento degli indicatori previsto dal Pannello di Controllo CIPAIS, in grado di fornire un quadro efficace e sintetico della qualità ecologica del lago, anche in un'ottica di una sempre più ampia divulgazione dei risultati delle ricerche. Accanto a questi aspetti si vogliono però introdurre alcuni elementi di novità, andando ad indagare aspetti dell'ecologia del Lago Maggiore che gli organismi di controllo istituzionali non sono tenuti ad affrontare, anche mediante metodologie ed approcci innovativi.

Nel campo delle indagini sugli effetti del cambiamento climatico, il programma 2022-2024 si caratterizza per un'elevata attenzione agli eventi meteorologici estremi, in particolare sulla frequenza e distribuzione spaziale delle precipitazioni intense e sulla frequenza e durata dei periodi siccitosi e sulle loro possibili conseguenze sulla qualità complessiva del lago. Particolare attenzione sarà rivolta anche al ruolo degli eventi meteo-climatici a scala di bacino negli andamenti delle successioni fitoplanctoniche e zooplanctoniche. Infine, l'utilizzo di un modello idrodinamico-ecologico consentirà di continuare a simulare l'evoluzione delle dinamiche di mescolamento, ossigeno e nutrienti a lago in diversi scenari climatici, con l'obiettivo di fornire uno strumento previsionale e di supporto alle decisioni.



Nel programma 2022-2024 si prevede un'estensione delle indagini del carbonio attraverso l'inclusione di analisi delle schiume che recentemente sono balzate all'attenzione del pubblico e del comparto turistico. Anche le ricerche sulla distribuzione dei geni di antibiotico resistenza (ABR) si concentreranno sui due siti di Ghiffa e Pallanza, ampliando la durata della serie storica che rappresenta al momento una delle più lunghe al mondo.

I dati acquisiti nel corso delle ricerche relative alle variabili oggetto di monitoraggio di legge sono a disposizione degli organi di controllo regionali, ovviamente previa citazione della fonte. I dati relativi a variabili di nuova introduzione e/o non incluse nella normativa oggi vigente sono di proprietà della CIP AIS e degli Autori del dato che ne concorderanno congiuntamente le modalità di diffusione.



## **1. INDAGINI SULL'EVOLUZIONE CLIMATICA NELL'AREALE DEL LAGO MAGGIORE ATTRAVERSO IL MIGLIORAMENTO DELLA RETE METEO-IDROLOGICA E APPROFONDIMENTI SUI FENOMENI ESTREMI**

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Obiettivi**

Approfondire sempre più la conoscenza sull'evoluzione climatica di un areale vasto e articolato come quello del Lago Maggiore risulta di primaria importanza per affrontare il problema crescente della gestione della risorsa idrica nello spazio alpino, e per la tutela della biodiversità di particolare pregio e interesse in tale areale, data la presenza di numerose Aree protette e Riserve Speciali, nonché del Parco Nazionale della Valgrande. L'obiettivo 13 dell'Agenda 2030 (<https://unric.org/it/agenda-2030/>) è proprio quello di "Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico", sia in termini di riduzione delle emissioni che di aumento della resilienza dei territori e delle popolazioni agli impatti e alle conseguenze del cambiamento climatico. Il miglioramento della resilienza di un territorio agli impatti del cambiamento climatico passa attraverso una maggiore conoscenza delle aree maggiormente esposte agli eventi estremi di pioggia e/o alla presenza di vento forte e/o a estremi di temperatura dell'aria, e attraverso una migliore comprensione degli effetti dei fenomeni estremi sulla risorsa idrica, la stabilità dei versanti e la salute degli ecosistemi. Ad esempio una maggiore resilienza si può attuare attraverso una migliore gestione del patrimonio boschivo, una rinaturalizzazione dei corsi d'acqua montani e pedemontani con la ricostituzione di aree golenali e di infiltrazione per fronteggiare meglio le piene e i periodi prolungati di siccità.

Il miglioramento della resilienza delle popolazioni passa attraverso la divulgazione delle conoscenze acquisite attraverso gli studi che si effettuano sul cambiamento climatico e sulle azioni più adatte per il loro contrasto e per il nostro adattamento.

Grazie alle ricerche finanziate negli ultimi 30 anni dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere, è stato possibile reperire lunghe serie di dati meteorologici per l'areale del Lago Maggiore, che hanno portato al completamento di diversi studi relativi a svariate problematiche: è stato possibile stimare gli effetti antropogenici e climatici sulla portata naturale di un affluente del Lago Maggiore, il Torrente San Bernardino (Saidi et al., 2018), fare una proiezione climatica per diversi scenari futuri di emissione di gas serra, mediante un metodo di Downscaling Statistico (SDSM) e un modello climatico globale (CanESM2) (Saidi et al., 2020), affrontare il problema del dissesto idrogeologico legato a eventi estremi di pioggia (Ciampittiello et al., 2021).

In questo contesto, risulta quindi fondamentale il mantenimento delle lunghe serie idro-meteorologiche a disposizione, ai fini di analizzarle sia statisticamente che attraverso l'eventuale utilizzo di modelli climatici sempre più precisi nello spazio e nel tempo, in grado di descrivere i



complicati fenomeni atmosferici in maniera più dettagliata e completa. Inoltre risulta importante anche il miglioramento e l'implementazione della rete meteo-idrologica presente, andando a verificare sia le aree più soggette a eventi estremi sia quelle meno coperte dalla strumentazione presente. Si vogliono quindi approfondire i seguenti aspetti:

- a) Distribuzione spaziale degli eventi estremi, caratterizzandoli per entità, frequenza e altitudine;
- b) Definizione di indici di eventi estremi (Carosi 2016; Fioravanti et al., 2016; Sangelantoni, 2016);
- c) Valutazione della copertura strumentale ed implementazione sia tecnologica che logistica.

Inoltre la ricerca verrà sviluppata in stretta collaborazione con la ricerca inerente la limnologia fisica, in modo da produrre degli output di eventi estremi di pioggia, vento e temperatura dell'aria utili ad essere usati come input per i modelli lacustri che verranno utilizzati.

La continua evoluzione climatica ci impone un continuo approfondimento del suo trend e dei suoi effetti, sulla risorsa idrica, sulla stabilità del territorio, sulla sicurezza e sulla qualità degli ecosistemi.

Ecosistemi in salute riescono a fronteggiare il cambiamento climatico e a sostenere le attività umane che si sviluppano grazie a loro; capire come rendere gli ecosistemi più resilienti al cambiamento climatico vuol dire capire come rendere più sicuro il territorio in cui viviamo e come promuovere uno sviluppo davvero sostenibile: non c'è transizione ecologica senza portare al centro degli studi, delle decisioni, delle attività, gli ecosistemi.

### **Significato dei risultati per CIPAIS**

L'approfondimento dell'evoluzione climatica e la definizione delle zone più soggette a eventi estremi può dare indicazione su azioni e/o progetti di riqualificazione e/o miglioramento della resilienza dei territori e della popolazione nonché definire specifici ulteriori approfondimenti necessari per il miglioramento della gestione della risorsa idrica e dei servizi ecosistemici.

Inoltre il miglioramento della copertura del monitoraggio dei parametri idro-meteorologici e l'evoluzione tecnologia delle stazioni può offrire importanti informazioni per la gestione di eventi di piena e/o di situazioni di rischio.

Infine il mantenimento e l'analisi di lunghe serie di dati meteorologici come quelli disponibili per l'areale del lago Maggiore risulta importante anche per le attività di modellistica lacustre che si vogliono intraprendere, essendo gli eventi meteorologici la forzante dei processi che avvengono all'interno del lago.

### **Impegno di laboratorio, campagna e analisi**

Le attività di laboratorio saranno legate essenzialmente all'analisi dei dati raccolti dalle centraline meteo-idrologiche e di quelli acquisiti dalle attività in campagna. Tali attività saranno svolte da due ricercatori.



Il lavoro in campo consisterà: i) nella misura delle portate sui principali corsi d'acqua analizzati per la verifica delle curve livelli-portate; ii) in sopralluoghi specifici per l'eventuale installazione di nuova strumentazione; iii) in attività inerenti all'installazione di nuova strumentazione e/o di implementazione della strumentazione già presente. Tale attività sarà svolta da due ricercatori e un tecnico.

### **Bibliografia**

Carosi A. (2016). Current Baseline Assessment Report. LIFE SEC ADAPT Project, LIFE14 CCA/IT/000316

Ciampittiello M., Saidi H., Dresti C. et al. (2021). Landslides along the Lago Maggiore western coast (northern Italy): intense rainfall as trigger or concomitant cause? *Natural Hazards*: in press.

Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F. (2016). Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione. *ISPRA, stato dell'ambiente 66/2016*.

Saidi H., Dresti C., Manca D., Ciampittiello M. (2020). Climate projections in Lake Maggiore watershed using statistical downscaling model. *Climate Research 81*: 113-130.

Saidi H., Dresti C., Manca D., Ciampittiello M. (2018). Quantifying impacts of climate variability and human activities on the streamflow of an Alpine river. *Environmental Earth Sciences 77(19)*: 1-16.

Sangelantoni L. (2016). Current Climate Baseline Assessment Report. LIFE SEC ADAPT Project, LIFE14 CCA/IT/000316.



## **2. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI SUL REGIME DI MESCOLAMENTO DEL LAGO MAGGIORE ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI UN MODELLO ACCOPPIATO ECOLOGICO-IDRODINAMICO MONODIMENSIONALE E DI UN MODELLO IDRODINAMICO TRIDIMENSIONALE**

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Premessa**

I cambiamenti climatici in atto stanno provocando un effetto importante sull'intensità, la frequenza e la durata degli eventi di mescolamento e sulla durata dei periodi di stratificazione dei laghi della zona temperata (Danis et al., 2004). Questo è dovuto sia all'aumento della temperatura dell'aria, che provoca un riscaldamento differenziale degli strati lacustri, con l'epilimnio che si riscalda più velocemente dell'ipolimnio, producendo un aumento del gradiente verticale di temperatura nella colonna d'acqua (Livingstone 2003), sia alla variazione dei campi di vento e del regime di precipitazione, specialmente in aree montane. Alle variazioni del regime di mescolamento dei laghi profondi, in particolare alla riduzione della frequenza della completa omogeneizzazione, si associano forti implicazioni ecologiche, dovute alla riduzione dell'ossigenazione dello strato profondo dei laghi e dello scambio di nutrienti fra epilimnio ed ipolimnio.

L'areale del Lago Maggiore è da sempre molto studiato grazie alle ricerche finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere e diversi studi (Ambrosetti e Barbanti, 1999; Saidi et al., 2013, 2015) hanno dimostrato variazioni significative nell'intensità del vento, nella temperatura dell'aria e nella tipologia e distribuzione della pioggia. Inoltre, l'insieme delle ricerche di limnologia fisica condotte sul Lago Maggiore negli ultimi 30 anni ha permesso di seguire l'evoluzione dei cicli stagionali dell'idrodinamica lacustre e ha rivelato segnali di lente e progressive alterazioni nei principali parametri fisici. Grazie all'utilizzo, nell'ultimo triennio, di un modello mono-dimensionale accoppiato ecologico-idrodinamico (General Lake Model, Aquatic EcoDynamics – GLM/AED2, Hipsey et al., 2013), è stato possibile simulare gli effetti di diversi scenari di aumento di temperatura dell'aria dal presente alla fine del secolo sul regime di mescolamento lacustre, evidenziando, negli scenari "peggiori", una progressiva diminuzione della profondità del mescolamento tardo-invernale, una riduzione del ricircolo dei nutrienti con conseguente accumulo in ipolimnio e una marcata diminuzione dell'ossigenazione negli strati profondi (Rogora et al., 2018; Fenocchi et al., 2020). Per quanto riguarda le dinamiche del fitoplancton, il modello ha permesso di simulare una riduzione della presenza di diatomee negli scenari di maggior aumento di temperatura dell'aria, a favore dei cianobatteri, che potrebbero diventare predominanti entro la fine del secolo. In questo contesto di cambiamento, una maggior comprensione degli effetti degli eventi estremi di vento, temperatura dell'aria e precipitazione sull'idrodinamica lacustre è fondamentale per comprendere le ricadute sulla qualità delle acque. In sinergia con le ricerche proposte che considerano gli aspetti meteo-climatici, chimici e biologici, la

presente ricerca, anche mediante l'utilizzo della modellistica, si focalizzerà sull'obiettivo di una miglior comprensione e previsione della risposta dell'ecosistema lacustre agli eventi meteorologici estremi.

### **Obiettivi della ricerca e risultati attesi**

La ricerca che si propone per il triennio 2022-2024 ha un duplice obiettivo: innanzitutto il mantenimento e l'aggiornamento delle serie storiche dei dati di temperatura della colonna d'acqua e la valutazione della profondità di mescolamento. Ciò sarà possibile tramite rilevamenti in situ dei principali parametri limnologici (temperatura, ossigeno disciolto e conducibilità) con frequenza almeno mensile, nonché tramite la raccolta di tutte le informazioni relative alla fisica atmosferica locale. Inoltre, verranno calcolati il contenuto di calore e la stabilità della colonna d'acqua, e ne verrà valutata la loro evoluzione nel tempo.

In secondo luogo, come elemento di novità rispetto alle ricerche precedenti, è previsto l'utilizzo del modello mono-dimensionale accoppiato per simulare effetti di eventi estremi di temperatura dell'aria e di intensità di vento sulla profondità di mescolamento, sull'ossigenazione degli strati profondi e sulla distribuzione dei nutrienti lungo la colonna d'acqua nel Lago Maggiore. Inoltre ci si propone di sviluppare, calibrare e validare un modello idrodinamico tridimensionale per il lago Maggiore, per studiare gli effetti degli eventi estremi di precipitazione e l'impatto delle piene che ne derivano. Infatti, pur essendo i modelli mono-dimensionali molto efficaci nel riprodurre dinamiche di mescolamento e stratificazione a lungo termine di grandi laghi, con uno sforzo computazionale ragionevole (Perroud et al., 2009), con essi risulta pressoché impossibile studiare la distribuzione orizzontale delle variabili di interesse e in particolare le dinamiche di intrusione delle piene nel lago. Il modello tridimensionale permetterà inoltre con il tempo di studiare l'effetto di diversi campi di vento e sarà uno strumento fondamentale per comprendere varie problematiche indotte dagli eventi meteorologici intensi, essendo lo strumento modellistico più completo ad oggi a disposizione.

La ricerca verrà effettuata in stretta collaborazione con la ricerca 3 (caratteristiche chimiche del lago) e 4 (fitoplancton), per valutare l'effetto degli eventi estremi di vento e temperatura sul livello di ossigeno, sull'accumulo di nutrienti e sui bloom fitoplanctonici, ma anche con la ricerca 1, in modo da utilizzare come input al modello eventuali risultati in termini di eventi estremi di tale ricerca. Dalla ricerca proposta ci si attende quindi di ottenere un quadro chiaro e approfondito di come il lago Maggiore reagirà agli eventi meteorologici estremi, producendo così un utile strumento di supporto alle decisioni.

### **Significato dei risultati per CIPAA**

In riferimento al Piano d'Azione CIPAA, la ricerca consentirà di raccogliere i dati necessari al calcolo di alcuni degli indicatori individuati nel pannello di controllo, lo strumento impiegato per la verifica dell'efficacia delle azioni intraprese per conseguire gli obiettivi fissati dalla CIPAA. Nello specifico i dati raccolti nella presente ricerca consentiranno il calcolo dei seguenti indicatori inclusi nel Pannello di Controllo:

- temperatura media delle acque nello strato 0-20 m e nello strato profondo (L 2.2)
- massima profondità di mescolamento (L 2.3);



I risultati per quanto concerne ogni singolo indicatore potranno essere messi a confronto con gli obiettivi di qualità corrispondenti, ove disponibili. I dati andranno inoltre ad integrare stato e tendenza di ciascun indicatore.

### **Attività**

Le misure di temperatura verranno eseguite con cadenza mensile nel punto di massima profondità (stazione di Ghiffa) lungo la colonna d'acqua mediante sonda multiparametrica (IDRONAUT Ocean Seven 304). La raccolta dei campioni per la determinazione dell'ossigeno disciolto avverrà invece a profondità discrete (0, -5, -10, -20, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 m), in concomitanza ai campionamenti per le analisi chimiche previste nella ricerca 3. Per disporre di dati confrontabili con quelli pregressi, le indagini verranno eseguite con metodologie invariate rispetto alle campagne precedenti, oppure, nel caso di variazioni, dopo opportuno confronto e validazione del nuovo metodo di misura.

Per quanto riguarda i dati meteorologici, si utilizzeranno quelli raccolti in continuo presso la stazione di misura di Verbania Pallanza.

Per quanto riguarda il modello mono-dimensionale, esso è il General Lake Model (GLM, Hipsey et al., 2014) che è in grado di simulare il bilancio termico e idrologico e la stratificazione di corpi d'acqua lentici. GLM calcola i profili verticali di temperatura, salinità e densità tenendo conto degli effetti di immissari ed emissari sul bilancio idrologico, sul riscaldamento delle acque e sul mescolamento. Nella ricerca proposta, il modello idrodinamico è accoppiato ad un modello ecologico, Aquatic EcoDynamics (AED2, Hipsey et al., 2013; Snortheim et al., 2017). Si utilizzerà il software Matlab per il pre-processamento degli input delle simulazioni e per l'analisi statistica dei risultati.

Per quanto riguarda il modello tridimensionale, verrà utilizzato il modello Delft3D. Per validare il modello sarà necessario validare la riproduzione delle onde interne e quindi misurare in continuo la temperatura dell'acqua con la sonda IDRONAUT fino a circa 120 m di profondità. Per questo saranno previste almeno 4 uscite all'anno della durata di un giorno, in diverse condizioni di stratificazione e in zone lontane dall'asse centrale del lago (indicativamente Lesa e Cannobio). In contemporanea, si effettueranno misure di velocità grazie ad uno strumento fornito dall'Università di Pavia, con cui da tempo il CNR IRSA collabora nell'ambito delle attività sulla modellistica lacustre. Si valuterà inoltre l'acquisto di una boa correntometrica, dotata di GPS, da lasciare diverse ore in sito in modo da registrare in continuo la sua posizione. Tale boa verrà posizionata almeno una volta l'anno vicino alla foce di alcuni affluenti di interesse (ad esempio fiume Toce, torrente San Bernardino e torrente Cannobino).



## Bibliografia

- Ambrosetti W., Barbanti L. (1999). Deep water warming in lakes: an indicator of climatic change. *Journal of Limnology* 58: 1-9.
- Danis P.A., von Grafenstein U., Masson-Delmotte V., Planton S., Gerdeaux D., Moisselin J.M. (2004). Vulnerability of two European lakes in response to future climatic changes. *Geophysical Research Letters* 31: L21507.
- Fenocchi A., Rogora M., Marchetto A., Sibilla S., Dresti C. (2020). Model simulations of the ecological dynamics induced by climate and nutrient load changes for deep subalpine Lake Maggiore (Italy/Switzerland). *Journal of Limnology* 79: 221-237.
- Hipsey M.R., Bruce L.C., Hamilton D.P. (2013). Aquatic Ecodynamics (AED) model library: science manual. AED Report. The University of Western Australia, Perth, Australia.
- Hipsey, M.R., Bruce, L.C., Hamilton, D.P. (2014). GLM - General Lake Model: model overview and user information. AED Report #26. The University of Western Australia, Perth, Australia.
- Livingstone D.M. (2003). Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate Central European lake. *Climatic Change* 57: 205-225.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K. et al. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters* 42: 10773-10781.
- Perroud M., Goyette S., Martynov A., Beniston M., Anneville O. (2009). Simulation of multiannual thermal profiles in deep Lake Geneva: A comparison of one-dimensional lake models. *Limnology and Oceanography* 54:1574-1594.
- Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Patelli M., Lepori F., Mosello R., Salmaso N. (2018). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824: 33-50.
- Saidi H., Ciampittiello M., Dresti C., Ghiglieri G. (2013). The climatic characteristics of extreme precipitations for short-term intervals in the watershed of Lake Maggiore. *Theoretical and Applied Climatology* 113: 1-5.
- Saidi H., Ciampittiello M., Dresti C., Ghiglieri G. (2015). Assessment of trends in extreme precipitation events: a case study in Piedmont (North-West Italy). *Water Resources Management* 29: 63-80.
- Snorheim C.A., Hanson P.C., McMahon K.D., Read J.S., Carey C.C., Dugan H.A. (2017). Meteorological drivers of hypolimnetic anoxia in a eutrophic, north temperate lake. *Ecological Modeling* 343: 39-53.



### 3. EVOLUZIONE STAGIONALE E A LUNGO TERMINE DELLE CARATTERISTICHE CHIMICHE DEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

#### **Premessa**

Le serie di dati a lungo termine relativi alla termica delle acque, ai nutrienti, all'ossigeno disciolto ad altri parametri chimici per il Lago Maggiore coprono un arco temporale di oltre 30 anni. Questi dati, raccolti grazie alle campagne limnologiche finanziate con continuità da CIPAIS, hanno permesso l'inserimento del Lago Maggiore nella Rete italiana ed Europea LTER (Long-Term Ecological Research) (<http://www.lteritalia.it/>; <https://www.lter-Europe.net/>) nonché in network nazionali ed internazionali di ricerca, tra cui GLEON (Global Lake Observatory Network; <https://gleon.org/>). Nell'ambito di queste collaborazioni sono stati realizzati lavori sinottici, sia sui grandi laghi profondi subalpini (Rogora et al., 2018; Salmaso et al., 2020) che su laghi di tutto il mondo (O'Reilly et al., 2015; Noges et al., 2017; Pilla et al., 2020) finalizzati all'analisi dell'evoluzione degli ecosistemi lacustri in risposta ai cambiamenti globali.

Questi risultati dimostrano come i dati a lungo termine, raccolti con modalità standard e confrontabili nel tempo e a frequenza sufficientemente elevata rappresentino un requisito fondamentale per analizzare e comprendere il funzionamento degli ecosistemi (Hughes, 2017), per supportare corrette scelte gestionali per il mantenimento dei servizi ecosistemici (Robertson et al., 2012); nonché per prevederne l'evoluzione in risposta a scenari di cambiamento climatico e di altri fattori di pressione antropica (Fenocchi et al., 2018).

Le dinamiche delle variabili chimiche e chimico-fisiche nelle acque del Lago Maggiore ma anche i processi biologici e più in generali la rete trofica hanno mostrato di essere fortemente influenzate dai fattori meteo-climatici (Fenocchi et al., 2020; Tanentzap et al., 2020). I dati raccolti nell'ultimo triennio hanno confermato un'importante tendenza in atto nel Lago Maggiore e più in generale nei laghi profondi subalpini, ovvero una diminuzione dell'ossigeno disciolto e un accumulo dei nutrienti nelle acque profonde (Rogora et al., 2018). Contestualmente si ha una mancata redistribuzione dei nutrienti agli strati superficiali. Questa situazione è determinata da una riduzione nella frequenza e intensità del mescolamento tardo-invernale (Fenocchi et al., 2018), a sua volta conseguente al riscaldamento delle acque. Un ruolo importante nelle dinamiche di mescolamento delle acque, nell'ossigenazione degli strati profondi e nell'apporto di nutrienti è giocato anche dagli eventi meteorologici estremi, quali le piogge brevi e intense (Morabito et al., 2018). La ricerca proposta considererà gli effetti a breve e lungo termine che i fattori climatici possono avere sui principali parametri chimici e chimico-fisici, con particolare riferimento ai nutrienti algali (composti di azoto e fosforo e silice) e ai loro rapporti.



## Obiettivi della ricerca e risultati attesi

La ricerca ha come principale obiettivo il mantenimento e l'aggiornamento delle serie storiche esistenti per le principali variabili chimiche e chimico-fisiche (pH, conducibilità, alcalinità, ossigeno disciolto, ioni principali, nutrienti algali) del Lago Maggiore e dei suoi principali tributari. A questo scopo verrà mantenuta una frequenza di campionamento ed analisi mensile, sia per il lago che per i tributari, in quanto tale frequenza si è dimostrata adatta all'individuazione dei principali pattern stagionali e ha consentito fino ad oggi una stima sufficientemente robusta ed attendibile dei carichi di nutrienti a lago, considerata l'elevata variabilità temporale delle concentrazioni.

Le serie storiche, sia per quanto concerne il lago che i tributari, una volta aggiornate, verranno analizzate allo scopo di individuare le principali tendenze evolutive della chimica lacustre in relazione a (1) input di nutrienti e di altri composti dal bacino, anche attraverso le deposizioni atmosferiche; (2) cambiamenti climatici.

Al fine di calcolare i carichi totale di fosforo e azoto veicolati al Lago Maggiore dal bacino imbrifero verrà mantenuto il monitoraggio dei tributari principali, per i quali sono disponibili dati di portata.

Dopo un periodo di marcata diminuzione negli anni '80 e '90, i carichi totali di fosforo (P) e azoto (N) al Lago Maggiore si sono progressivamente stabilizzati e nell'ultimo decennio si attestano attorno a 200 t P a-1 e 8800 t N a-1 rispettivamente. A tali carichi contribuiscono in maniera preponderante un numero limitato di tributari, nello specifico Ticino Immissario, Tresa, Maggia e Toce (comprensivo degli apporti dallo Strona), caratterizzati dai bacini imbriferi di maggiori dimensioni e dalle portate più elevate. Il loro contributo al carico totale di P e N è attorno all'80% e 85% rispettivamente. Altri tributari, come Bardello e Boesio, pur caratterizzati da una portata limitata, contribuiscono in maniera non trascurabile al carico totale, in particolare di P (12-14% per il P totale e circa 4% per l'N totale) a causa delle elevate concentrazioni tuttora presenti nelle loro acque. A seguito di queste considerazioni, si propone per il triennio 2022-2024 di mantenere il monitoraggio delle concentrazioni dei composti di P e N per gli immissari principali (Ticino Immissario, Tresa, Maggia e Toce-Strona) e per quelli che presentano le maggiori criticità (Bardello e Boesio), anche considerando la necessità di continuare a monitorare gli apporti al Lago Maggiore dal Bardello durante il funzionamento dell'impianto di prelievo ipolimnico del Lago di Varese. Verrà inoltre mantenuto il monitoraggio del Ticino emissario, consentendo così di calcolare i carichi in uscita e quindi i bilanci complessivi di P e N a lago.

In aggiunta alla determinazione dei parametri chimici di base e dei nutrienti algali, sul lago e sui corsi d'acqua verranno analizzati i principali cationi (calcio, magnesio, sodio, potassio) ed anioni (solfati, nitrati, cloruri) che hanno un ruolo importante nel bilancio ionico delle acque lacustri e possono variare nel tempo in funzione di fattori tra cui le deposizioni atmosferiche, i cambiamenti nell'uso del suolo nel bacino imbrifero e le variazioni climatiche.

In aggiunta alle analisi su base mensile dei campioni prelevati a centro lago, verranno eseguite analisi dei nutrienti algali su campioni integrati rappresentativi di stazioni litorali o semilitorali in collaborazione con le ricerche su fitoplancton e zooplancton, per meglio indagare le dinamiche a breve termine dei nutrienti in conseguenza di eventi meteorologici intensi. Sempre avendo come obiettivo una miglior definizione dei possibili effetti degli eventi estremi sulla qualità delle acque immissarie e lacustri, potranno essere svolte, a supporto della ricerca 2, delle analisi aggiuntive su alcuni tributari, anche per disporre di ulteriori dati di input per la modellistica.



Un supporto alle indagini finalizzate all'analisi degli effetti degli eventi meteorologici intensi potrà venire anche dai dati ad alta frequenza della boa limnologica installata nel bacino di Pallanza nell'ambito del progetto INTERREG SIMILE.

### **Significato dei risultati per CIPAIS**

In riferimento al Piano d'Azione CIPAIS, la ricerca consentirà di raccogliere i dati necessari al calcolo di alcuni degli indicatori individuati nel pannello di controllo, lo strumento impiegato per la verifica dell'efficacia delle azioni intraprese per conseguire gli obiettivi fissati dalla CIPAIS. Nello specifico i dati raccolti nella presente ricerca consentiranno il calcolo dei seguenti indicatori inclusi nel Pannello di Controllo:

- trasparenza (L 3.4)
- concentrazione media di azoto e fosforo (L 3.12);
- concentrazione dell'ossigeno di fondo (L 3.13);
- carico di fosforo totale e azoto totale in ingresso a lago (L 4.1).

Una parte dei dati chimici raccolti sui tributari concorreranno inoltre al calcolo del seguente indicatore:

- livello di inquinamento da macrodescrittori per lo stato ecologico (B 3.1).

I risultati per quanto concerne ogni singolo indicatore potranno essere messi a confronto con gli obiettivi di qualità corrispondenti, ove disponibili. I dati andranno inoltre ad integrare stato e tendenza di ciascun indicatore.

### **Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)**

Il Lago Maggiore, i tributari principali ed il Ticino emissario verranno campionati con frequenza mensile. I campioni di acque lacustri saranno prelevati in prossimità del punto di massima profondità (bacino di Ghiffa) alle profondità 0, -5, -10, -20, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 m. I tributari saranno campionati in prossimità dell'ingresso a lago. La temperatura del lago alle diverse profondità verrà misurata in situ mediante sonda multiparametrica (IDRONAUT Ocean Seven 304) nella stazione di Ghiffa. Nella stessa stazione verrà misurata la trasparenza mediante Disco di Secchi. Le variabili chimiche analizzate in laboratorio sui campioni della stazione di Ghiffa saranno: pH, conducibilità, alcalinità (con metodo potenziometrico), ossigeno disciolto (metodo di Winkler), anioni (nitrati, solfati e cloruri) (cromatografia ionica), cationi (calcio, magnesio, sodio e potassio) (in cromatografia ionica) ammonio, fosforo reattivo e totale, azoto totale, silicati reattivi (spettrofotometria UV visibile o a flusso segmentato). Le variabili chimiche determinate sui tributari saranno le stesse delle acque lacustri (ad esclusione dell'ossigeno disciolto).

Le metodiche analitiche utilizzate sono quelle standard adottate nell'ambito di studi e monitoraggi sulle acque superficiali (APAT IRSA-CNR 2003; APHA, AWWA, WEF, 2012). Sia le metodologie di campionamento che quelle analitiche saranno invariate rispetto alle campagne precedenti per disporre di dati confrontabili nel tempo. Tutte le analisi verranno eseguite mantenendo un attento controllo della qualità analitica dei dati, garantito sia da pratiche interne al laboratorio che dalla regolare partecipazione ad esercizi di intercalibrazione.



## Bibliografia

- APAT IRSA-CNR. (2003). Metodi analitici per le acque. APAT Manuali e Linee Guida 29/2003.
- APHA, AWWA, WEF (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 22nd Edition, American Public Health Association, Washington DC.
- Fenocchi A., Rogora M., Marchetto A., Sibilla S., Dresti C. (2020). Model simulations of the ecological dynamics induced by climate and nutrient load changes for deep subalpine Lake Maggiore (Italy/Switzerland). *Journal of Limnology* 79: 221-237.
- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Ciampittiello M., Dresti C. (2018). Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Climate Dynamics*. 51: 3521-3536.
- Hughes B.B., Baes-Luna R., Barner A.K. et al. (2017). Long-term studies contribute disproportionately to ecology and policy. *Bioscience* 67: 271-281.
- Nöges, T., Anneville O., Guillard J., et al. (2017). Fisheries impacts on lake ecosystem structure in the context of a changing climate and trophic state. *Journal of Limnology* 77: 46-61.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K., et al. 2015. *Geophysical Research Letters*, 42, doi:10.1002/2015GL066235.
- Pilla R.M, Williamson C.E., Adamovich B.V., et al. (2020). Deeper waters are changing less consistently than surface waters in a global analysis of 102 lakes. *Scientific Reports* 10: 20514.
- Robertson G.P., Collins S.L., Foster D.R., et al. (2012). Long-term ecological research in a human-dominated world. *BioScience* 62: 342-353.
- Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Patelli M., Lepori F., Mosello R., Salmaso N. (2018). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824: 33-50.
- Tanentzap, A.J., Morabito G., Volta P., Rogora M., Yan N.D., Manca M. (2020). Climate warming restructures an aquatic food web over 28 years. *Global Change Biology* 26: 6852-6866.



#### 4. EVOLUZIONE DELLE ASSOCIAZIONI FITOPLANCTONICHE IN RELAZIONE A FATTORI DI CONTROLLO TROFICI E CLIMATICI

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

##### **Premessa**

Le variazioni della struttura e della composizione delle associazioni fitoplanctoniche sono riconosciute come indicatori affidabili dello stato di qualità ecologica dei laghi (Direttiva 2000/60/CE). Le ricerche sul fitoplancton sono importanti per valutare lo stato e le modificazioni dell'ecosistema Lago Maggiore, non solo in relazione al disturbo antropico, ma anche come risposta ai cambiamenti climatici. Negli ultimi anni, gli effetti causati dall'aumento della stabilità termica del Maggiore, come conseguenza del riscaldamento climatico (Fenocchi et al., 2018), e dalla diminuzione dei nutrienti algali (Rogora et al., 2018), sulla evoluzione delle associazioni fitoplanctoniche, necessitano particolare considerazione nei piani di gestione ambientale attuali (Yankova et al., 2017; Verbeek et al., 2018; Fenocchi et al., 2020). Inoltre, gli andamenti più recenti delle successioni fitoplanctoniche indicano come gli eventi meteorologici estremi (e.g. precipitazioni intense), aumentati di frequenza a scala di bacino (Ciampittiello et al., 2019), siano diventati determinanti nel condizionare la dinamica stagionale e pluriennale del fitoplancton nel Lago Maggiore (Morabito 2014; Morabito et al., 2018). Tuttavia, esaminare la relazione tra fenomeni estremi e le dinamiche dei gruppi algali principali, insieme con le modificazioni nel comparto zooplanctonico, in quanto composto anche da organismi consumatori primari, è rilevante per comprendere l'evoluzione della comunità algale controllata dai fattori sia trofici che climatici.

Nel contempo, la situazione di emergenza generata dalla pandemia SARS-CoV-2 (COVID 19) e i prolungati periodi di lockdown nazionali o locali (EEA, 2020) rappresentano un'opportunità unica per approfondire lo studio degli effetti, a medio e lungo termine, della riduzione delle attività antropiche sulla biodiversità e la integrità ecologica degli ecosistemi.

In questo contesto, le ricerche proposte per il nuovo triennio sono fondamentali per prevedere non solo le tendenze evolutive del fitoplancton per l'immediato futuro, ma anche per comprendere al meglio i processi attuali responsabili dello stato ecologico dell'ecosistema.

##### **Obiettivi della ricerca e risultati attesi**

La ricerca che si propone per il triennio 2022-2024 ha lo scopo di:

i) Mantenere ed aggiornare le serie storiche esistenti per la struttura e la composizione delle associazioni fitoplanctoniche. L'analisi a lungo termine delle successioni stagionali e delle caratteristiche strutturali del fitoplancton fornisce elementi preziosi per comprendere gli effetti delle pressioni esterne sull'ecosistema. Elementi come comparse o scomparse di specie o cambiamenti nei rapporti di dominanza, indicano alterazioni nei processi ecosistemici e permettono di ricostruire i cambiamenti a lungo termine dell'ecosistema. Per di più, il mantenimento della serie storica



permetterà di analizzare e conoscere meglio la dinamica di eventuali cambiamenti in corso e, soprattutto, seguire fenomeni come le fioriture algali e la diffusione di specie aliene invasive che possano compromettere l'utilizzo delle acque lacustri per scopi turistici, ricreativi o per la pesca professionale. Le informazioni raccolte ed elaborate dal CNR IRSA, e finalizzate all'interpretazione dei cambiamenti ecosistemici sul lungo termine, assumono un'importanza rilevante nel quadro di una corretta gestione della risorsa idrica;

ii) Analizzare la distribuzione verticale dei principali gruppi algali nella zona eufotica sulla base della concentrazione di pigmenti marcatori, misurata in situ con un spettrofluorimetro BBE "Fluoroprobe". Questa indagine si propone come elemento di novità rispetto al triennio precedente ed è in stretta collaborazione con la proposta di Ricerca 6 sul carbonio organico e le schiume nel Lago Maggiore. La ricerca può rilevarsi importante per prevedere un eventuale sviluppo in superficie dei gruppi fitoplanctonici dominanti in profondità, con un probabile contributo alla formazione delle schiume;

iii) Valutare gli andamenti delle successioni fitoplanctoniche in relazione con gli eventi meteorologici est remi. Risulta importante poter comprendere la genesi e l'evoluzione di alcuni processi di recente comparsa nel Lago Maggiore, come le fioriture fitoplanctoniche, apparentemente incomprensibili in un periodo attuale caratterizzato dalla riduzione dei nutrienti. Come elemento di novità rispetto al triennio precedente, verrà considerato un secondo sito di campionamento, nella baia di Pallanza (profondità 40 m) in prossimità della sonda multiparametrica che rileva in continuo i principali parametri chimico-fisici. Questo sito è rappresentativo della zona litorale e di conseguenza risente gli eventi di magra e di piena causati dalla siccità e dalle piogge estreme. La ricerca proposta verrà svolta in stretta collaborazione con la proposta di Ricerca 5 (comparto zooplanctonico). I dati mensili raccolti nel periodo primaverile-estivo-autunnale (da marzo ad ottobre), attraverso spettrofluorimetro BBE "Fluoroprobe" unitamente alle informazioni pregresse, rappresentano uno strumento prezioso per definire gli interventi da mettere in atto al fine di mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

A questo scopo la presente ricerca è in sinergia con le proposte di Ricerca 1 e 2.

### **Significato dei risultati per CIPAIS**

Dalla prosecuzione delle indagini sul fitoplancton deriveranno le informazioni rivolte al calcolo di alcuni degli indicatori individuati nel pannello di controllo CIPAIS che mirano a fornire in modo sintetico informazioni sullo stato e l'evoluzione della qualità del Lago Maggiore. Gli indicatori rappresentano un importante strumento di verifica dell'efficacia dei provvedimenti intrapresi per conseguire gli obiettivi di risanamento fissati dalla CIPAIS nell'ambito del Piano d'azione 2019-2027.

Nello specifico i dati raccolti nella presente ricerca verranno utilizzati nel calcolo dei seguenti indicatori facenti parte del core-set:

- Clorofilla (indicatore L3.5);
- Struttura delle popolazioni fitoplanctoniche (L 3.6);

I risultati per quanto concerne ogni singolo indicatore potranno essere messi a confronto con gli obiettivi di qualità corrispondenti, ove disponibili. I dati andranno inoltre ad integrare stato e tendenza di ciascun indicatore.

### **Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)**

Il campionamento con frequenza mensile avverrà nella stazione di Ghiffa al punto di massima profondità del Lago Maggiore. Saranno utilizzate le stesse metodiche analitiche e la stessa strumentazione descritta nei rapporti pregressi redatti per la Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. I campioni mensili, destinati al conteggio del fitoplancton, saranno prelevati come integrati nello strato 0-20 m. I profili verticali della clorofilla e dei gruppi algali principali saranno misurati lungo la colonna d'acqua nella zona eufotica (nei primi 30 m) utilizzando in situ la sonda spettrofluorimetrica BBE Fluoroprobe (Moldanque, Kiel) che consente di avere i profili della clorofilla-a totale e di quella derivante dalla "signature" fluorimetrica dei gruppi delle Cloroficee, Diatomee, Crisoficee e Cianobatteri.

Oltre ai campionamenti mensili a Ghiffa, si effettueranno con il FluoroProbe ulteriori misure della clorofilla totale e dei gruppi algali principali nella zona eufotica della stazione litorale di Pallanza, nel periodo primaverile-estivo-autunnale (da marzo ad ottobre). Si prevedono prelievi di campioni integrati (strato 0-20 m) destinati all'analisi del fitoplancton, nel caso di eventi di magra e di piena causati dalla siccità prolungata e dalle precipitazioni intense.

### **Bibliografia**

Ciampittiello M., Saidi H., Dresti C., Manca D. (2019). Analisi meteo-climatiche e idrologiche ed evoluzione spazio-temporale dei fenomeni estremi. In: CNR IRSA. Sede di Verbania. 2019. Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma triennale 2016-2018. Campagna 2018 e Rapporto triennale 2016- 2018. CIPAIS, Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 9-18.

EEA (2020). European Environmental Agency. COVID-19 and the environment: explore what we know. 15/06/2020, 6pp.

Fenocchi A., Rogora M., Marchetto A., Sibilla S., Dresti C. (2020). Model simulations of the ecological dynamics induced by climate and nutrient load changes for deep subalpine Lake Maggiore (Italy/Switzerland). *Journal of Limnology* 79: 221-237.

Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Ciampittiello M., Dresti C. (2018). Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Climate Dynamics*. 51: 3521-3536.

Morabito G., Rogora M., Austoni M., Ciampittiello M. (2018). Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia* 824: 163-175.

Morabito G. (2014). Fluttuazioni ultraventennali dei parametri meteo-climatici nel bacino del Lago Maggiore e risposta del fitoplancton. *Nimbus* 72: 171-173.

Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Patelli M., Lepori F., Mosello R., Salmaso N. (2018). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824: 33-50.

Verbeek L., Gall A., Hillebrand H., Striebel M. (2018). Warming and oligotrophication cause shifts in freshwater phytoplankton communities. *Global Change Biology* 24: 4532-4543.



Yankova Y., Neuenschwander S., Köster O., Posch T. (2017). Abrupt stop of deep water turnover with lake warming: drastic consequences for algal primary producers. *Scientific Reports* 7: 13770.



## 5. INDAGINI SULL'EVOLUZIONE DEL POPOLAMENTO ZOOPLANCTONICO DEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Obiettivi della ricerca e risultati attesi**

L'analisi dei dati a lungo termine sul popolamento zooplanctonico pelagico, acquisiti grazie alle pluridecennali ricerche effettuate sul Lago Maggiore, ha consentito di rilevare le diverse fasi evolutive del lago, effetto sia delle modificazioni delle condizioni di trofia sia dell'impatto del riscaldamento globale. Gli organismi zooplanctonici sono in grado di rispondere rapidamente ed efficacemente ai cambiamenti ambientali (e.g. Azevedo et al., 2015, Gokce and Ozhan Turhan, 2014), grazie a tempi di sviluppo e cicli di vita rapidi, sebbene più lenti rispetto a quelli del fitoplancton e possono essere utilizzati anche come indicatori dello stato ecologico degli ambienti d'acqua dolce (e.g. Caroni and Irvine, 2010; Cai et al. 2020). In particolare, le ricerche a lungo termine hanno permesso di comprendere i processi, evidenziando anche i tempi e i meccanismi ad esso sottesi, che hanno guidato la risposta del popolamento pelagico alla ri-oligotrofizzazione delle acque lacustri, avvenuta grazie alla messa in opera degli impianti di depurazione che hanno consentito l'abbattimento dei carichi di nutrienti. Le ricerche a lungo termine hanno anche rilevato modificazioni nella fenologia di due importanti organismi del popolamento zooplanctonico pelagico, ovvero dei cladoceri *Daphnia* e *Bythotrephes* ed evidenziato le relazioni che regolano il loro sviluppo numerico nel corso dell'anno (Manca et al. 2014; Viana et al. 2016; Arfè et al. 2019; Tanentzap et al. 2020). Per tanto, al fine di continuare a tracciare l'evoluzione del lago attraverso la dinamica di popolazione del popolamento zooplanctonico e di implementarne la serie storica si propone di proseguire l'acquisizione di dati attraverso il prelievo di campioni mensili presso il sito storico di campionamento (Ghiffa). In aggiunta, per il triennio 2022-2024, si propone l'acquisizione di campioni, con frequenza mensile nel periodo di maggior sviluppo del popolamento planctonico e a seguito di intensi eventi piovosi nella baia di Pallanza in prossimità della sonda multi-parametrica, anche in collaborazione con la ricerca sul popolamento algale. È noto, infatti, che uno degli effetti del riscaldamento globale consiste in un'elevata variabilità delle condizioni meteo-climatiche e in un'accresciuta frequenza degli eventi estremi. La concentrazione degli eventi piovosi in brevi intervalli di tempo può portare ad un temporaneo incremento delle concentrazioni dei nutrienti nelle zone litorali del lago, per effetto del dilavamento del terreno, causando temporanee fioriture algali e modificazioni nel comparto zooplanctonico, in quanto è composto anche da organismi consumatori primari che efficientemente utilizzano il materiale fitoplanctonico e sestonico.

Nel decennio 2008-2018 sono state effettuate anche indagini che hanno permesso di quantificare attraverso l'analisi dei segnali isotopici di carbonio ed azoto le relazioni trofiche di alcuni taxa di crostacei zooplanctonici e la loro dipendenza dalle fonti pelagiche di alimento (Visconti et al. 2018). Tali indagini hanno consentito, inoltre, di evidenziare come col procedere della stratificazione termica si osservino sostanziali differenze tra i copepodi e i cladoceri: mentre questi ultimi sembrano dipendere da una base alimentare comune, i copepodi sembrano differenziarsi nettamente dagli altri crostacei



zooplanctonici, durante la fase della stratificazione termica. Tuttavia, tali analisi forniscono solo una visione parziale di quelle che sono le complesse relazioni trofiche infra-zooplanctoniche. Le ricerche precedenti sono state focalizzate sulle relazioni trofiche tra gli organismi di taglia maggiore, ovvero quelli che trasferiscono materia ed energia ai livelli trofici superiori, in quanto prede dirette dei pesci zooplanctivori. Per il prossimo triennio si propone di implementare le nostre conoscenze, acquisendo dati anche sulla componente più piccola del popolamento zooplanctonico (microzooplancton), che non solo costituisce la frazione più abbondante in termini numerici, ma che può costituire anche il 70% della biomassa totale del popolamento zooplanctonico di rete e che quindi è di importanza fondamentale per la comprensione delle relazioni trofiche infra-zooplanctoniche e dei meccanismi che regolano il trasferimento di sostanze inquinanti ai livelli trofici superiori. Recenti analisi dei dati a lungo termine, ancora in corso, sembrano infatti evidenziare un ruolo non trascurabile nel controllo top-down della frazione microzooplanctonica sul popolamento fitoplanctonico (Caroni et al. In prep.).

### **Significato dei risultati attesi per CIPAI**

Le ricerche proposte servono per il calcolo di due indicatori facenti parte del core-set del “Pannello di controllo sullo stato e sull'evoluzione del Piano di Azione 2010-2021 delle acque del Lago Maggiore.

Nello specifico, i dati raccolti nella presente ricerca verranno utilizzati nel calcolo dei seguenti indicatori facenti parte del core-set:

- L3 7: “Densità delle popolazioni zooplanctoniche”;
- L3 8: “Indicatore di sovrapposizione di nicchia trofica delle principali specie ittiche autoctone ed alloctone

### **Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)**

Si prevede di continuare le attività di monitoraggio del popolamento zooplanctonico mediante campionamenti a cadenza mensile nella stazione storicamente ritenuta rappresentativa dell'ambiente pelagico, ubicata lungo il transetto Ghiffa-Caldè, in corrispondenza del punto di massima profondità del lago. In tutti i sopralluoghi è previsto l'impiego dell'imbarcazione da ricerca LIVIA. Strumentazione e metodi di rilevamento dei parametri ambientali saranno quelli descritti nei rapporti pregressi redatti per la Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. In aggiunta, verranno prelevati campioni zooplanctonici nella baia di Pallanza sempre con frequenza mensile nel periodo marzo-ottobre e a seguito di intense precipitazioni.

I campioni verranno conteggiati con le usuali tecniche di analisi microscopica, necessarie per la stima della densità di popolazione. La biomassa verrà stimata mediante l'applicazione di tecniche matematico-statistiche sui dati di misura delle diverse entità tassonomiche e in confronto con i risultati di misure dirette.

Parallelamente verranno prelevati campioni mensili, sempre nel periodo marzo-ottobre per l'analisi isotopica di carbonio ed azoto ( $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ ) presso il sito storico di campionamento. Gli organismi raccolti verranno smistati allo stereoscopio e attraverso tecniche di filtrazione e centrifugazione e inviati ad un laboratorio certificato per l'analisi degli isotopi stabili di carbonio ( $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ ) e azoto ( $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ ).



## Bibliografia

- Arfè A., Quatto P., Zambon A., Macisaac H.J., Manca M. (2019). Long-term changes in the zooplankton community of Lake Maggiore in response to multiple stressors: A functional principal components analysis. *Water* 11: 962.
- Azevedo D.J.S., Barbosa J.E.L., Gomes W.I.A., Porto D.E., Marques J.C., Moiozzi J. (2015). Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses? *Ecological Indicators* 50: 135-149.
- Cai W., Xia J., Yang M., Wang W., Dou C., Zeng Z., Dong S., Sheng, L. (2020). Cross-basin analysis of freshwater ecosystem health based on a zooplankton-based Index of Biotic Integrity: Models and application. *Ecological Indicators* 114: 106333.
- Caroni R., Irvine K. (2010). The potential of zooplankton communities for ecological assessment of lakes: redundant concept or political oversight? In *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, pp. 35-53. Royal Irish Academy.
- Gokce D., Ozhan Turhan D. (2014). Evaluation of vertical and horizontal changes in community structure of zooplankton in a deep dam lake. *Turkish Journal of Zoology* 38: 11-22.
- Manca, M., Rogora M., Salmaso, N. (2014). Inter-annual climate variability and zooplankton: applying teleconnection indices to two deep subalpine lakes in Italy. *Journal of Limnology* 74: 123-132.
- Morabito G., Rogora M., Austoni M., Ciampittiello M. (2018). Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia* 824: 163-175.
- Tanentzap A.J., Morabito G., Volta P., Rogora M., Yan N. D., Manca M. (2020). Climate warming restructures an aquatic food web over 28 years. *Global Change Biology* 26: 6852-6866.
- Viana D.S., Figuerola J., Schwenk K., et al. (2016). Assembly mechanisms determining high species turnover in aquatic communities over regional and continental scales. *Ecography* 39: 281-288.
- Visconti A., Caroni R., Rawcliffe R., Fadda A., Piscia R., Manca M. (2018). Defining seasonal functional traits of a freshwater zooplankton community using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  Stable Isotope Analysis. *Water* 10: 108.



## 6. IL CARBONIO ORGANICO E LE SCHIUME NEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Premessa**

Il carbonio organico è causa ed effetto dell'esistenza della vita nel pianeta. La misura del carbonio negli ecosistemi acquatici è, quindi, indispensabile per conoscere l'evoluzione di una componente fondamentale dell'ecosistema. In particolare, è stata rivalutata l'importanza dei laghi come componente attiva nel ciclo globale del carbonio, superando la visione di semplici convogliatori di carbonio agli oceani, ma dimostrando il loro ruolo di "accumulatori" di carbonio di origine terrestre e di "emettitori" di CO<sub>2</sub> (Cole et al. 2007). Lo studio dell'evoluzione pluriennale spazio-temporale di TOC e delle sue frazioni dagli anni '80 ai nostri giorni ha documentato l'evoluzione dello stato trofico del lago, evidenziandone la sua progressiva anche se discontinua trasformazione ed il suo ritorno alle originarie condizioni di oligotrofia (Bertoni et al. 2016).

Una delle frazioni del TOC che sta attirando nel Lago Maggiore una notevole attenzione è la frazione esopolimerica vischiosa e trasparente (TEP: Transparent Exopolymeric Particle), derivante da un'intensa attività algale (Passow, 2002). Il TEP, anche noto come "mucillagine", è costituito da microgel organici, cioè da particelle mucopolisaccaridiche con proprietà adesive derivate da essudati algali, e da gel extracellulari formati da alghe coloniali. Il TEP può formare particelle più grandi come la così detta "lake snow" e giocare un ruolo importante nei cicli biogeochimici e nella struttura delle catene trofiche così come nei processi di aggregazione e sedimentazione (Grossart and Simon 1998). Il TEP potrebbe verosimilmente essere strettamente legato alla formazione di schiume nel lago ed esserne in realtà il precursore. La formazione di schiume dipende dalla presenza in acqua di sostanze tensioattive. Le schiume sono infatti una dispersione instabile di un gas (aria) in un mezzo liquido (acqua), favorita dalla presenza nel liquido di sostanze tensioattive che, abbassandone la tensione superficiale, facilitano la penetrazione di piccolissime bolle d'aria in esso. Proteine, saponine naturali, polisaccaridi e sostanze oleose sono tensioattivi naturali, mentre detersivi e saponi sono tensioattivi sintetici. Nei laghi le si può osservare sulle sponde, in presenza di moto ondoso indotto da forte vento o in prossimità della foce degli immissari, mentre le correnti (circolazione di Langmuir) possono dare origine a striature schiumose sul pelo dell'acqua (Stefani et al. 2016).

Nel Lago Maggiore negli ultimi dieci anni si è osservata la presenza di schiume, dapprima in aree molto circoscritte e litorali ma successivamente, dal 2018, estesa a tutta la superficie del lago per un periodo di tempo anche di alcune settimane, come verificato da immagini satellitari (tarda estate 2019, Callieri et al. 2020).

### **Obiettivi della ricerca e risultati attesi**

Questo studio triennale sul Lago Maggiore, pur continuando a seguire l'evoluzione temporale a lungo termine del TOC e del TEP, è volto ad indagare più a fondo il fenomeno delle schiume, con l'obiettivo di caratterizzarle quantificando la frazione organica e la microflora ad esse associata in modo tale da discriminare tra schiume antropiche e naturali. Per fare ciò sarà necessario focalizzare lo studio in primavera e tarda estate quando il fenomeno è più vistoso, controllando l'intera superficie del lago con immagini satellitari ottenibili dal Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), presente a bordo dei satelliti Terra (EOS AM) ed Aqua (EOS PM) della NASA, e scaricabili gratuitamente. Si procederà al campionamento delle schiume con uno strumento specifico (Bertoni, 2011) e di campioni d'acqua nella zona eufotica per analizzare la composizione in termini di carbonio organico (TOC), in particolare della sua componente di TEP (Transparent Exopolymeric Particle), di contenuto in DNA e di clorofilla. Si procederà pure alla caratterizzazione quali e quantitativa della comunità microbica autotrofa ed eterotrofa associata alle schiume tramite 16S rRNA amplicon sequencing (Rahlf et al. 2021). In particolare, la valutazione dell'abbondanza relativa di DNA (estratto mediante kit commerciale previo settaggio del protocollo di estrazione) nelle schiume potrà fornire utili indicazioni per qualificarne la natura biogenica o da prodotto di sintesi. Questo perché nelle sostanze polimeriche extracellulari, rilasciate nell'ambiente dalle alghe e dai batteri, vi saranno verosimilmente più acidi nucleici che nelle schiume derivanti da tensioattivi di sintesi.

Inoltre, allo scopo di avere un quadro della dinamica temporale del TOC, del TEP, della clorofilla e del popolamento microbico nella zona eufotica del Lago Maggiore (campione integrato 0-20 m), verranno effettuati campionamenti mensili e misurati i parametri sopracitati. Si garantirà così la prosecuzione della serie temporale di questi parametri che il nostro gruppo di ricerca studia dal 1980 (TOC) e dal 2013 (TEP) e che costituisce le informazioni di background sulle quali inserire i dati derivanti dallo studio delle schiume. Si sottolinea che il nostro gruppo dispone degli strumenti analitici e culturali necessari per studiare, come si propone, la relazione tra microorganismi, TEP, clorofilla e schiume nel Lago Maggiore. Inoltre la documentata esperienza acquisita dal nostro gruppo in ricerche di biologia molecolare risulta indispensabile per permettere di valutare la relazione tra TEP, schiume e organismi produttori di polisaccaridi acidi.

### **Significato dei risultati per CIPAIS**

La ricerca proposta è congrua con le finalità CIPAIS poiché fornirà i dati necessari all'aggiornamento annuale del "Pannello di controllo sullo stato e sull'evoluzione del Piano di Azione 2010-2021" delle acque del Lago Maggiore per i seguenti indicatori:

- L3.10 - TOC, indice dello stato trofico lacustre efficace e di elevato valore diagnostico
- L3.15 - TEP, indice di rilievo per valutare l'eventuale compromissione qualitativa delle acque lacustri dovuta a sostanze esopolimeriche (mucillagini).

È ovvia l'importanza di mantenere aggiornata la serie storica del TOC e TEP che sono variabili utili per la comprensione dell'evoluzione trofica del lago. Inoltre il nuovo progetto per lo studio delle schiume assume rilievo non soltanto per l'aspetto scientifico che lega le schiume al TEP ma anche per quello turistico-economico-sociale e per i suoi risvolti verso la prevenzione delle acque comuni italo-elvetiche.



### **Impegno di attività**

Si prevedono campionamenti nella stazione di massima profondità (Ghiffa) nella zona eufotica con campionatore integratore e prelievi di schiume nello strato superficiale.

Verranno analizzati 12 campionamenti annuali a Ghiffa, 1 campione zona eufotica per TOC, TEP, clorofilla e conteggi (in tre repliche).

Verranno indagati fino a 2 eventi di schiume (con verifica da immagini satellitari) in primavera ed estate per TOC, TEP, clorofilla, conteggi, abbondanza di DNA e caratterizzazione della comunità microbica.

### **Bibliografia**

Bertoni R. (2011). A Surface Bloom Sampler (SUBS) for cyanobacteria and algae. *Journal of Limnology* 70: 313-314.

Bertoni R, Bertoni M., Morabito G., Rogora M., Callieri C. (2016). A non-deterministic approach to forecasting the trophic evolution of lakes. *J. Limnol.* 75(s1):242-252.

Callieri C, Sabatini R, DiCesare A, Bertoni R, Crippa E, Eckert E. (2020). Carbonio organico totale (TOC), sua componente mucillaginosa (TEP), clorofilla e picocianobatteri. In: CNR IRSA. Sede di Verbania (ed.), *Ricerche Sull'evoluzione Del Lago Maggiore. Aspetti Limnologici. Programma Triennale 2019-2021. Campagna 2020, Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere.*

Cole J.J. et al. (2007). Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into terrestrial carbon budget. *Ecosystems* 10:171-184.

Grossart H-P, Simon M. (1998). Significance of limnetic organic aggregates (lake snow) for the sinking flux of particulate organic matter in a large lake. *Aquat. Microb. Ecol.* 15:115-125.

Passow U. (2002). Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. *Prog. Oceanogr.* 55:287-333.

Rahlff J. Et al. (2021). Sea foams are ephemeral hotspots for distinctive bacterial communities contrasting sea-surface microlayer and underlying surface water. *FEMS Microbiology Ecology* 97: fiab035.

Stefani F, Salerno F, Copetti D, Rabuffetti D, Guidetti L, Torri G, Naggi A, Iacomini M, Morabito G, Guzzella L. (2016). Endogenous origin of foams in lakes: a long-term analysis for Lake Maggiore (northern Italy). *Hydrobiologia* 767:249-265.



## 7. SOVRAPPOSIZIONE DELLA NICCHIA TROFICA TRA LE SPECIE ITTICHE PRINCIPALI DEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Obiettivi della ricerca e risultati attesi**

La presente proposta di attività di ricerca è finalizzata alla acquisizione delle informazioni necessarie alla prosecuzione della serie storica iniziata nel triennio 2016-2018 e relativa al monitoraggio del livello di sovrapposizione della nicchia trofica tra le tre specie ittiche principali nel Lago Maggiore: agone, coregone bondella e gardon, e rappresentato nel parametro L3.8 del “Pannello di Controllo” della CIPAIS.

Tale parametro permette di valutare sinteticamente il grado di competizione per le risorse alimentari tra le specie ittiche principali che vivono nel Lago Maggiore e che costituiscono la frazione principale del pescato professionale degli ultimi 20 anni.

### **Significato dei risultati per CIPAIS**

I dati della presente ricerca saranno utilizzati per l’aggiornamento dell’indicatore L3.8 del “Pannello di Controllo” della CIPAIS.

### **Impegno di attività**

L’attività di monitoraggio sarà svolta per tutti gli anni di progetto. Il piano di attività prevede il campionamento mensile della fauna ittica in zona litorale e in zona pelagica mediante reti branchiali. Il campionamento sarà svolto in collaborazione con i pescatori professionali locali che supporteranno il personale CNR-IRSA nelle attività di campo, mediante le loro imbarcazioni.

I campionamenti saranno svolti nell’area centrale del Lago Maggiore, indicativamente tra Verbania, a sud, e Oggebbio, a nord. Quest’area del lago è storicamente considerata un riferimento anche per le altre indagini limnologiche, ed è l’unica che, con una certa sicurezza, vede la presenza delle tre specie durante tutto l’anno.

I pesci campionati saranno portati in laboratorio e, dopo, i normali rilevamenti morfometrici (lunghezza totale e peso totale) verranno eviscerati e lo stomaco sarà escisso e conservato per la successiva identificazione e conteggio delle categorie alimentari al microscopio.

Saranno esaminati, se possibile, almeno 15 stomaci per specie per mese.

La sovrapposizione della nicchia alimentare verrà valutata utilizzando differenti metodologie che nella letteratura scientifica hanno trovato una ampia applicazione. Per questo lavoro di ricerca si utilizzerà l’indice di Shoener (1970, 1974), già utilizzato nelle precedenti ricerche, un indice comunemente utilizzato per gli studi che interessano la fauna ittica (ad es. Janjua & Gerdeaux, 2011).



L'indice di sovrapposizione di nicchia di Shoener  $\alpha$  che è espresso dalla formula:

$$\alpha = 1 - 0,5(\sum_{i=1}^n |V.I.x_i - V.I.y_i|)$$

dove:

n= numero delle categorie alimentari

V.I.x<sub>i</sub> = valore d'importanza della categoria alimentare i nella specie x

V.I.y<sub>i</sub> = valore d'importanza della categoria alimentare i nella specie y

Per ogni stomaco esaminato verranno determinate le categorie alimentari presenti in un subcampione e conteggiati gli individui appartenenti a ciascuna di esse, esprimendo i dati come: abbondanza relativa (N), equivalente al numero di individui di ciascuna categoria alimentare rispetto al numero totale di individui conteggiati; presenza relativa (S), ossia il numero degli stomaci contenenti ciascuna categoria alimentare sul totale degli stomaci pieni; sulla base di queste informazioni verrà calcolato il valore d'importanza (V.I.), secondo la formula seguente:

$$V.I. = N \times S$$

L'indice  $\alpha$  può variare tra un valore pari a 0 (nessuna sovrapposizione) e 1 (completa sovrapposizione). Valori di  $\alpha$  superiori a 0,6 devono essere giudicati biologicamente significativi ed indicativi di competizione interspecifica se le risorse sono limitate, mentre  $\alpha > 0,8$  può essere considerato indice di un elevato grado di similarità nelle diete e di significativa competizione anche in condizioni di elevata produzione ambientale e disponibilità di risorse alimentari (Wallace 1981).

### **Bibliografia**

Janjua M.Y, Gerdeaux D. (2011). Evaluation of food web and fish dietary niches in oligotrophic Lake Annecy by gut content and stable isotope analysis. *Lake and Reservoir Management* 27: 115-127.

Schoener T.W. (1970). Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology* 51: 408-418.

Schoener T.W. (1974). Resource partitioning in ecological communities. *Science* 185: 27-39.

Wallace R.K. (1981). An assessment of diet-overlap indexes. *Transactions of the American Fisheries Society* 110: 72-76.



## 8. PRESENZA E DISTRIBUZIONE DI BATTERI ANTIBIOTICO-RESISTENTI NELLE ACQUE DEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: C.N.R. Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Premessa**

L'impatto del rilascio di antibiotici in acqua è uno dei più gravi problemi ambientali emergenti per la salute degli ecosistemi e dell'uomo, in quanto laghi e mari antropizzati fungono da serbatoi naturali di geni di resistenza (Di Cesare et al., 2015). È già stato dimostrato che questi geni possono essere trasferiti a batteri patogeni, che in ambiente ospedaliero sono causa di decine di migliaia di decessi l'anno in Europa e USA con ingenti costi per i sistemi sanitari nazionali. Il rischio di una prossima pandemia da batteri patogeni antibiotico resistenti è concreto, e lo si può ridurre unicamente attraverso un'azione sinergica che assommi la conoscenza dettagliata delle antibiotico resistenze in ambiente e la loro riduzione, lo sviluppo di nuovi antibiotici e l'educazione dei cittadini ad un utilizzo corretto degli antibiotici stessi. Lo sviluppo di tecnologie di analisi biomolecolare ci permette di riconoscere e quantificare la presenza di geni specifici di antibiotico resistenza nei popolamenti batterici acquatici naturali, che è il possibile risultato di un costante afflusso di antibiotici nell'acqua, anche in bassissime concentrazioni. Lo studio della contaminazione delle acque superficiali, e più in generale dello sviluppo di antibiotico resistenze in ambiente, è considerato un settore strategico di ricerca nella lotta all'antibiotico resistenza dall'Italia e dalla Svizzera, che hanno predisposto azioni specifiche e Piani d'Azione nazionali al riguardo, che dell'Unione Europea e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, che ne denunciano la enorme sottovalutazione. I Programmi CIPAIS 2013-15, 16-18 e 19-21 hanno permesso di conoscere nel dettaglio la situazione, di attenzione ma fortunatamente non drammatica, della distribuzione di antibiotico resistenze nella comunità batterica del Lago Maggiore che, grazie ai risultati raggiunti (svariate pubblicazioni scientifiche su riviste di primissimo piano nel settore: Molecular Ecology, Environmental Pollution, Water Research, Science of the Total Environment, Hydrobiologia, Environmental Science and Technology ed altre), può essere considerato, con il suo bacino, come sistema modello a livello internazionale per il monitoraggio e la valutazione dell'impatto in ambiente dell'utilizzo di antibiotici. A questo si aggiunge il lavoro iniziato nel 2016 da parte dei colleghi svizzeri di SUPSI, di valutazione di resistenze nel bacino del Ceresio, che nel prossimo triennio permetterà di ampliare ancora di più la conoscenza del bacino, e delle sorgenti di inquinamento, puntiformi e diffuse, e di ampliare spazialmente la serie temporale di monitoraggio di geni di resistenza, che si avvia al decennio di dati a disposizione.

### **Obiettivi**

Obiettivo di questa ricerca è la valutazione dell'impatto sulle comunità batteriche lacustri dei determinanti di antibiotico resistenza (antibiotici, geni di resistenza, batteri resistenti) rilasciati attraverso i reflui urbani (sorgenti puntiformi) e le attività agricolo/industriali (sorgenti diffuse) e



accumulati e/o selezionati nelle acque del Lago Maggiore in seguito all'azione di fattori ecologici, chimici e climatici che promuovano lo sviluppo di batteri antibioticoresistenti nelle comunità residenti, e quindi potenzialmente molto pericolosi come determinanti di contaminazione anche se non patogeni per l'uomo. Questo risultato si esplicita nello screening qualitativo (presenza/assenza) di un ampio pool di geni di resistenza che, se presenti, vengono misurati con precisione fornendo uno schema quantitativo dell'abbondanza geni di resistenza più comuni nelle acque del lago. C'è da sottolineare che ad oggi non viene applicato nessun trattamento di rimozione dei determinanti di antibiotico resistenza dalle acque reflue e che nemmeno i sistemi di disinfezioni recentemente applicati o in via di implementazione in svariati impianti nel bacino del Lago Maggiore (e.g. ozonazione, filtrazione a carboni attivi) hanno dimostrato una benché minima efficienza nella rimozione degli stessi dai reflui.

### Risultati attesi

La ricerca proposta è congrua con le finalità CIPAIS poiché soddisfa la necessità, già espressa nella formulazione del Pannello di Controllo, di disporre di un indicatore di qualità microbiologica nei confronti dell'antibiotico-resistenza (L3.9) che è stato applicato ai valori misurati nei due trienni precedenti e che, basandosi sulla stima di variazioni (puntuali o diffuse) rispetto al triennio precedente, ci può fornire una fotografia delle variazioni in atto a livello di resistenza della comunità microbica, senza andare a definire un criterio di allarme, che ad oggi sarebbe prematuro individuare in quanto ancora oggi oggetto di discussione e di definizione sia a livello nazionale che di Unione Europea.

Va ricordato che lo studio dei batteri antibiotico-resistenti non è incluso nella normale attività di monitoraggio della qualità delle acque ma è considerato un'emergenza prioritaria dai sistemi sanitari nazionali Italiano e Svizzero.

### Attività

In seguito alla valutazione dei risultati ottenuti nel periodo 2013-21, lo studio si svilupperà per il triennio 2022-24 su analisi quantitative e qualitative e di susseguente comparazione nei confronti dei relativi popolamenti batterici (campione integrato 0-10 metri) campionati con frequenza mensile in centro Lago (Ghiffa, campione pelagico) e nel bacino Borromeo (Pallanza, campione semi-litorale). Come nel triennio precedente si è scelto di concentrare lo studio sui due siti campionati a frequenza maggiore (Ghiffa e Pallanza) ampliandone lo spettro di analisi con ulteriori geni di resistenza e ad abbandonare il monitoraggio delle stazioni litorali di Ascona ed Arona, anche in considerazione delle limitate differenze geografiche osservate nei due trienni precedenti, peraltro statisticamente non significative. Attraverso reazioni di polimerasi (qualitative) mirate si valuterà la presenza di geni di resistenza ad antibiotici specifici (individuati dalle liste di utilizzo corrente stilate dall'Unione Europea e dall'Istituto Superiore di Sanità, e sulla base dei risultati pregressi dalle analisi effettuate nei trienni 2013-15, 16-18 e 19-21) e di geni accessori che possono essere considerati marker di propagazione della stessa nel microbioma acquatico. In caso di antibiotico resistenze particolarmente accentuate sarà poi possibile quantificarne l'effettiva importanza in termini di numero di batteri resistenti, e ricercare l'eventuale batterio esterno donatore del gene di resistenza (*E. coli*, Streptococchi, Salmonelle...).

Le metodologie per l'esecuzione di questa ricerca sono state sviluppate e messe a punto presso il laboratorio di ecologia biomolecolare del CNR-IRSA che le effettua ormai come routine su campioni di acque di svariata origine (Di Cesare et al., 2020). L'indagine che si propone produrrà risultati



direttamente utilizzabili nella futura gestione del Lago Maggiore. Infatti, anche se la presenza di batteri antibioticoresistenti in lago difficilmente costituirà un problema diretto per la salute umana data la generale non patogenicità dei batteri pelagici, tuttavia essi potrebbero indurre antibiotico resistenze nella microflora di organismi che sono a contatto con il lago stesso, dai pesci, e quindi a chi se ne nutre, ai prodotti irrigati con acqua di lago, fino ai bagnanti ed alle popolazioni rivierasche. Ricerche specifiche condotte in ambito UE hanno dimostrato come lo sviluppo di antibiotico resistenze nei degenti è la fonte di mortalità ospedaliera più in crescita in Europa, e che l'antibiotico resistenza potrebbe essere la prima causa di mortalità a livello globale entro i prossimi 30 anni. La limitata conoscenza del ciclo delle resistenze in ambiente, così come certificata nel 2017 dal piano d'Azione contro l'Antibiotico Resistenza del Ministero della Salute, e nel 2018 e 2020 dai rapporti sullo stato di avanzamento delle attività di lotta all'AMR dell'Unione Europea e dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, rendono questa ricerca di cruciale importanza per una futura gestione consapevole del problema anche considerando l'eventualità di trattamenti specifici degli antibiotici nelle acque reflue urbane e agricole, che potranno avere successo solo se sviluppati su una conoscenza della situazione contingente e del suo sviluppo storico che questa ricerca garantisce. La decisione di CIPAIS di iniziare queste ricerche nel 2013 ha permesso di fare del Lago Maggiore un modello di monitoraggio a livello mondiale, ed a breve saremo in grado di offrire, per la prima volta al mondo su dati reali, l'andamento temporale della presenza di batteri antibiotico resistenti su un periodo di almeno un decennio, e di correlare i dati all'effettivo consumo di antibiotici nel bacino. Rimarrà sempre da valutare quanto lo sviluppo di antibiotico resistenze porti a cambiamenti nella composizione dei popolamenti microbici naturali, con possibili implicazioni gravi a livello di catena trofica e rischio di decadimento di popolamenti zooplanctonici/ittici autoctoni, sfavoriti rispetto a specie invasive spesso più adattabili alla mutata disponibilità alimentare, che, seppur oggetto di pubblicazioni specifiche del nostro gruppo nel quadro delle ricerche già svolte, sembra offrire molti spunti di ricerca, per una corretta quantificazione delle resistenze stesse.

### **Bibliografia**

Di Cesare A., Eckert E.M., Teruggi A., Fontaneto D., Bertoni R., Callieri C., Corno, G. (2015). Constitutive presence of antibiotic resistance genes within the bacterial community of a large subalpine lake. *Molecular Ecology* 24: 3888-3900.

Di Cesare A., Eckert E.M., Cottin C., Bouchez A., Callieri C., Cortesini M., Lami A., Corno, G. (2020). The vertical distribution of *tetA* and *int1* in a deep lake is rather due to sedimentation than to resuspension. *FEMS Microbiology Ecology* 96: fiae002.



## INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO MAGGIORE



### PREMESSA

Il programma di indagini che qui si presenta è stato formulato sulla base delle linee di azione della CIPAIS per il Lago Maggiore e delle richieste avanzate dalla Sottocommissione per soddisfare l'obiettivo specifico di conoscenza teso a verificare la concentrazione di microinquinanti e sostanze pericolose emergenti rilevabili nelle acque e nei diversi comparti dell'ecosistema.

In particolare la Sottocommissione indicava la necessità di:

- ricercare nuovi contaminanti ambientali emergenti, come gli PFAS o altri composti di interesse, in opportune matrici. Poiché la varietà di possibili inquinanti nell'ecosistema Lago Maggiore è molto elevata, nel nuovo programma di ricerche sarebbe opportuno proporre indagini o approfondimenti su sostanze pericolose poco o mai indagate da CIPAIS. Si ritiene opportuno orientare la scelta di tali inquinanti facendo capo all'evoluzione delle conoscenze e delle normative internazionali (per es. alla lista di sostanze prioritarie definite dalla Direttiva 2013/39/UE). Inoltre i dati di letteratura, sia per il Ceresio sia per il Verbano, suggeriscono dei livelli di contaminazione di PFAS in apparenza più elevati rispetto agli ecosistemi di altri laghi;
- approfondire lo studio del ciclo del Mercurio, questo elemento è un inquinante per cui è difficile definire sorgenti e tendenze, che spesso supera sia nelle matrici abiotiche sia in quelle biotiche gli standard di qualità. Potrebbe essere utile proporre una ricerca su ampia scala (già in parte tentata nel 2003-2004 in sede CIPAIS, ma risultata poi affetta da evidenti errori e imprecisioni metodologiche e quindi non pubblicata) da effettuarsi sia su base statistico-bibliografica, sia attraverso indagini mirate e complementari, al fine non solo di individuare le principali vie e modalità di diffusione e le potenziali fonti (pregresse, attuali, latenti come suoli, aree di accumulo in sedimenti fluviali e lacustri) ma anche di effettuare una proiezione, sulla base dei dati già esistenti, dei possibili livelli da attendersi nel prossimo decennio, in particolare nei



comparti biotici. La priorità sul lago Maggiore è giustificata da livelli più elevati lungo la catena trofica rispetto ad altri laghi;

- evitare indagini in sovrapposizione alle attività istituzionali: per evitare possibili incongruenze e spreco di risorse, nell'allestimento del nuovo programma, è necessario valutare attentamente e criticamente le attività di ricerca e monitoraggio CIPAIS in relazione ad altre attività istituzionali già in corso. Le ricerche in parte o completamente sovrapponibili alle attività istituzionali vanno, di principio, considerate con minore priorità.
- mantenere le serie storiche più significative acquisite dalla CIPAIS: le tendenze riscontrate dal monitoraggio delle sostanze pericolose presentano risultati non sempre chiari, soprattutto in relazione ai legami tra le varie matrici e alle variazioni puntuali con l'obiettivo di conservare sul lungo termine una visione generale dell'andamento dei diversi contaminanti, in quanto sarebbe opportuno valutare criticamente quali parametri, matrici e frequenze d'analisi vadano mantenuti prioritariamente.

Per rispondere a queste richieste, sono state riesaminate criticamente le attività del triennio scorso, le attività di monitoraggio in corso o in fase di avvio dai diversi enti territoriali e le esigenze conoscitive relative alla presenza e alla distribuzione delle sostanze pericolose nel Lago Maggiore e nel suo bacino imbrifero.

In particolare questo programma di indagini si articola su due linee complementari prioritarie:

1. introdurre un'attività specifica sugli PFAS che secondo dati di letteratura e analisi svolte nei laboratori degli istituti proponenti presentano dei livelli di contaminazione più elevati rispetto agli ecosistemi di altri laghi. Per evitare sovrapposizioni con le attività istituzionali come ad esempio l' "Accordo Interregionale per la definizione di programmi unificati di monitoraggio del Lago Maggiore e del fiume Ticino ai sensi del D. lgs. 152/06 (Direttiva 2000/60/CE)" tra le Regioni Lombardia e Piemonte per il monitoraggio dei PFAS nelle acque del lago e nel biota, si propone di ricercare questi composti nel sedimento dei principali tributari in modo da fornire utili informazioni sulla distribuzione spaziale delle sorgenti;
2. introdurre un'attività articolata sulle fragranze, che rientrano nella categoria di sostanze definite come PCPs (Personal Care Products), composti eterogenei e di comune utilizzo in svariati prodotti di largo consumo. Tra le fragranze sintetiche i composti di maggior utilizzo sono i muschi policiclici come Galaxolide (HHCb), Tonalide (AHTN), Celestolide (ADBI) e Phantolide (AHDl) che vengono impiegati nella produzione di profumi, saponi, prodotti per la pulizia della casa e detersivi. Queste sostanze sono rilasciate soprattutto attraverso gli scarichi degli impianti di trattamento delle acque reflue, contribuendo così ad una significativa contaminazione



ambientale, in particolare degli ecosistemi acquatici. Queste sostanze non sono ancora sottoposte a monitoraggio di routine ed è importante valutarne la presenza per poter suggerire o meno il loro inserimento nei programmi di monitoraggio nazionali e internazionali;

3. continuare la naturale e necessaria implementazione delle serie storiche su alcuni parametri di valutazione e delle conoscenze acquisite nell'arco di 22 anni grazie ai finanziamenti della CIP AIS, con un budget ridotto a causa dell'introduzione delle nuove attività precedentemente descritte. Per ottenere la sostenibilità economica di queste attività si è deciso di:
  - a. sospendere le attività sui cosiddetti "effect based tools", nonostante i risultati promettenti dello scorso triennio, per dare la precedenza alle serie temporali più lunghe;
  - b. ridurre il numero di carote di sedimento lacustre esaminate da cinque a tre, in quanto sufficienti a descrivere la storia dell'inquinamento del Lago Maggiore;
  - c. limitare le analisi sui pesci degli immissari ai corpi idrici dove i livelli di contaminazione sono più elevati, cioè Boesio e Toce;
  - d. mantenere le altre serie temporali con la stessa frequenza del triennio precedente come descritto più avanti.
  
4. approfondire la conoscenza delle sorgenti di contaminazione da mercurio, estendendo la ricerca al comparto del suolo e a quello atmosferico, considerati fonti importanti di input del metallo nell'ambiente acquatico; approfondire, in un'ottica di valutazione del rischio, le dinamiche legate al ciclo del mercurio e, in particolare, alla sua capacità di bioaccumulare e biomagnificare nelle catene trofiche, interessando non solo i predatori terminali dell'ambiente acquatico (pesci), ma anche di quello terrestre (es. uccelli insettivori e/o piscivori). I risultati della ricerca contribuiranno a fornire elementi utili per spiegare la persistenza del contaminante nell'ecosistema del Lago Maggiore e l'assenza di trend decrescenti nei sedimenti e nel biota. Inoltre, permetteranno di valutare con dati diretti sui predatori terminali (uccelli insettivori e/o piscivori) il rischio di avvelenamento secondario. Le analisi finora svolte hanno infatti generalmente escluso il rischio di tossicità diretta del mercurio per gli organismi dell'ambiente acquatico, mentre resta da valutare il rischio legato alla biomagnificazione nelle catene trofiche.

Per concludere questa breve introduzione, è opportuno ricordare che le serie temporali già previste nelle campagne precedenti e mantenute in questo triennio, comprenderanno i seguenti settori:

- analisi dello zooplancton, finalizzata alla stima del trasferimento dei contaminanti in tre specie di pesci a dieta zooplanctofaga;
- analisi dei sedimenti dei tributari in funzione dei contaminanti più critici emersi dalle indagini passate;
- bioaccumulo sulla fauna macrobentonica del Fiume Toce;
- bioaccumulo in molluschi lungo tutto il litorale del lago;



- bioaccumulo nella fauna ittica lacustre.
- analisi di carote di sedimento lacustre per ricostruire la storia recente della contaminazione.

La scelta dei singoli composti da analizzare nei diversi comparti si basa sulle serie storiche rilevate negli anni precedenti, con lo scopo di limitare le analisi a quei composti che hanno una buona probabilità di essere rilevati in concentrazioni significative. Facendo seguito all'introduzione di nuove sostanze, per cui non si hanno dati pregressi, verrà incluso nel monitoraggio per un anno anche il Ticino immissario.

Nelle pagine seguenti verranno descritte in dettaglio e motivate singolarmente le ricerche proposte.



## 1. CONTAMINANTI NELLO ZOOPLANCTON: VARIAZIONI SPAZIO TEMPORALI E FATTORI DI CONTROLLO DEL TRASFERIMENTO LUNGO LA RETE TROFICA PELAGICA

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Enti esecutori:*

*Università degli Studi dell'Insubria, Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate, Como/Varese  
CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), Sedi di Verbania Pallanza (VB) e Brugherio (MB).*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Le ricerche svolte nel passato decennio per conto della CIPAIS hanno mostrato che il Lago Maggiore è un sistema ancora lontano da condizioni di equilibrio rispetto alla contaminazione da pp'DDT e dei suoi prodotti di degradazione, pp'DDE in particolare, mentre sembra essere in una situazione stazionaria per quanto riguarda i PCB. Questo fenomeno è ascrivibile al fatto che a livello di bacino si verificano ancora degli input di DDT molto probabilmente dall'originario sito di contaminazione o da fonti secondarie lungo l'asta del Toce, in particolare in corrispondenza ad eventi di piena o forti piogge.

Gli organismi zooplanctonici rispondono rapidamente ad eventuali variazioni delle concentrazioni delle sostanze tossiche che si verificano nella colonna d'acqua, perché accumulano i contaminanti sia dall'acqua sia dal cibo, avendo tempi di sviluppo più rapidi rispetto ai loro predatori, hanno scarsa capacità di detossificarsi e grande capacità di assimilazione. Per questo motivo, lo zooplancton può essere considerato come un bioindicatore precoce (*early warning*) di possibili contaminazioni della zona pelagica dei laghi, risultando complementare ai molluschi sessili che sono ottimi indicatori della zona litorale.

Contrariamente a quanto assunto dalla maggior parte dei modelli ecotossicologici, nei quali lo zooplancton è considerato costituito esclusivamente da consumatori primari, sono i consumatori secondari di maggior taglia corporea a formare in massima parte la biomassa zooplanctonica in taluni momenti stagionali, costituendo la preda privilegiata dei pesci zooplanctivori. Le analisi condotte gli scorsi anni, hanno messo in luce come, tendenzialmente, la frazione dimensionale di zooplancton maggiormente inquinata sia stata quella  $\geq 450 \mu\text{m}$ . Pertanto, si propone per il prossimo triennio la prosecuzione della determinazione della concentrazione di DDTs e PCBs in tale frazione con l'aggiunta nel secondo anno delle attività sulle Franganze.

Dagli studi del decennio precedente emerge che le analisi comparate di zooplancton e pesci sono fondamentali per ottenere una realistica quantificazione del rischio per la vita acquatica e la salute dell'uomo derivante dall'accumulo di sostanze chimiche dannose. L'esistenza di una biomagnificazione dallo zooplancton ai pesci può essere utilizzata come un segnale dell'esistenza di condizioni di stato stazionario che consente l'applicazione di modelli bioenergetici predittivi, utili a calcolare il rischio potenziale per i predatori che di essi si nutrono e per l'uomo. Anche quando fonti locali d'inquinamento sono poco rilevanti e vengono raggiunte condizioni di stazionarietà, le stime ottenute mediante modelli di biomagnificazione possono risultare poco rappresentative a causa delle variazioni stagionali nel comportamento alimentare dei pesci.

Le misure delle concentrazioni di DDT, PCB e Franganze in campioni zooplanctonici saranno utilizzate per calcolare il trasferimento di questi contaminanti in tre diverse specie di pesci la cui dieta è



esclusivamente zooplanctofaga. In passato i risultati hanno messo in luce valori sperimentali inferiori a quelli teorici nel caso di coregoni e agoni, sia pure con una più elevata biomagnificazione in quest'ultimo, così come previsto dal modello. Le differenze osservate sono con tutta probabilità legate alla dieta dei pesci anche in rapporto alla loro età e al contributo di consumatori secondari alla biomassa zooplanctonica.

In questo progetto si propone di continuare le attività di campionamento ed analisi dei DDT e PCB e di aggiungere nel secondo anno le Fragranze nello zooplancton. Inoltre, si propone di continuare l'analisi del mercurio totale e del metilmercurio in alcuni campioni selezionati di zooplancton, un elemento chiave della catena pelagica lacustre.

Esso verrà raccolto in una stazione del lago a cadenza stagionale e subito dopo eventi eccezionali che si verificano nel bacino, quali per esempio piene significative. Il materiale sarà raccolto in modo tale da consentire di effettuare, accanto alle classiche misure di abbondanza e biomassa, anche quelle di *fingerprint* isotopico (mediante analisi d'isotopi stabili di carbonio e azoto) di consumatori primari e secondari all'interno dello zooplancton. Tali misure consentiranno l'identificazione della posizione trofica degli organismi che maggiormente contribuiscono, direttamente o indirettamente, alla dieta e alla contaminazione delle specie di pesci zooplanctivori sulle quali vengono effettuate misure di contaminanti e delle quali sono state determinate le variazioni stagionali nel *fingerprint* isotopico.

Gli obiettivi e le finalità delle attività previste sono in armonia con quanto richiesto dalla Commissione e rispondono alle esigenze conoscitive ed integrative previste dalla Direttiva 2000/60/CE. L'aspetto innovativo della ricerca consiste nel voler studiare i fattori responsabili di eventuali anomalie nella dinamica del trasferimento di sostanze tossiche lungo la rete trofica pelagica lacustre. Essa è dunque complementare alle attività istituzionali delle Arpa presenti sul territorio. I risultati potranno infine essere utilizzati dalla CIP AIS per segnalare alle autorità competenti fenomeni potenziali e in atto e per proporre interventi, linee guida, regolamenti e norme di intervento e di gestione.



## 2. SEDIMENTI LACUSTRI

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), Sedi di Verbania Pallanza (VB) e Brugherio (MB).*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale (2° anno) e finale del triennio di ricerca*

Negli anni passati, le analisi dei sedimenti lacustri hanno costituito una parte importante dell'attività delle attività svolte per seguire la distribuzione delle sostanze pericolose (composti organiche di sintesi e metalli) nel Lago Maggiore. Infatti, i sedimenti di un lago costituiscono un archivio naturale che documentata l'evoluzione temporale e spaziale dell'inquinamento.

In questa nuova campagna ci proponiamo di mantenere la stazioni più significative, in relazione sia a specifici eventi di piena che hanno interessato il Toce che l'apporto da specifici tributari che possono aver veicolato a lago quantità rilevanti di inquinanti.

In particolare, nel 2023, secondo dei tre anni previsti per le indagini, si propone di campionare i sedimenti del Lago Maggiore in tre stazioni, una nel bacino meridionale del lago e due nel Bacino di Pallanza. In ciascuna delle stazioni scelte, saranno raccolte mediante carotatori a gravità carote di sedimento e referenziate *in situ* dai rilievi geografici (latitudine, longitudine e profondità di prelievo).

Le carote verranno fotografate, correlate fra loro mediante un esame della litologia del sedimento, e datate utilizzando gli andamenti temporali di resti fossili di diatomee. Dalla stima della datazione si otterranno il tasso di sedimentazione ( $\text{cm a}^{-1}$ ) e il tasso di accumulo ( $\text{g cm}^2 \text{anno}^{-1}$ ). Le carote saranno sezionate per analizzare il sedimento relativamente recente (ultimo dieci anni) ed analizzate a vari livelli (almeno tre sezioni per ogni carota). Si prevede di eseguire in coerenza le seguenti analisi: IPA, PBDE, DBDPE, HBCD, DDT, PCB, PFAS, fragranze, e elementi in traccia (Hg, As, Cu, Pb, Ni, Cd). Le fragranze sono sostanze emergenti che meritano una particolare attenzione. Esse rientrano nella categoria di sostanze definite come PCPs (Personal Care Products), composti eterogenei e di comune utilizzo in svariati prodotti di largo consumo. Tra le fragranze sintetiche i composti di maggior utilizzo sono i muschi policiclici come Galaxolide (HHCB), Tonalide (AHTN), Celestolide (ADBI) e Phantolide (AHDI) che vengono impiegati nella produzione di profumi, saponi, prodotti per la pulizia della casa e detersivi (Heberer, 2003). HHCB e AHTN sono i composti più utilizzati e rappresentano oltre il 95% del mercato Europeo delle fragranze sintetiche (Clara et al., 2011). Differenze significative sono presenti nell'uso di questi composti tra gli Stati membri dell'UE con i consumi più elevati registrati in Italia, dove vi è il più alto utilizzo di detersivi con un volume pro capite di  $7,23 \text{ g y}^{-1}$  per HHCB e  $1,81 \text{ g y}^{-1}$  per AHTN (EU RAR 2008). L'uso diffuso delle fragranze sintetiche porta ad un loro continuo rilascio nell'ambiente in grandi quantità, soprattutto attraverso gli scarichi degli impianti di trattamento delle acque reflue, contribuendo così ad una significativa contaminazione ambientale, in particolare degli ecosistemi acquatici. Le concentrazioni delle fragranze superano quindi il  $\mu\text{g/L}$  negli effluenti degli impianti di depurazione e il  $\mu\text{g/kg}$  nei fanghi. Nonostante gli enormi volumi prodotti ogni anno, attualmente non vi sono normative a livello Europeo che regolamentino l'utilizzo di questi composti. Diversi lavori scientifici sono stati pubblicati riguardo al bioaccumulo e alla tossicità delle fragranze sintetiche. Tra gli organismi acquatici, le fragranze sono state rilevate ad esempio in organismi filtratori quali vongole e



cozze (Shek et al., 2008) ma anche in diverse specie ittiche a livelli di centinaia di mg kg<sup>-1</sup> l.w. (Reiner & Kannan, 2011; Ros et al., 2015).



### 3. INDAGINI SUL FIUME TOCE: BIOACCUMULO IN MACROINVERTEBRATI BENTONICI

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sede di Brugherio (MB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Data la rilevanza del Fiume Toce nel veicolare al Lago Maggiore contaminanti quali in particolare il DDT e i suoi metaboliti e, tra gli elementi in traccia, il Hg, l'attività sarà volta ad approfondire il ruolo svolto dai sedimenti del fiume come sorgente di contaminazione per il lago. Si prevede quindi di continuare l'indagine iniziata nel 2013 sui sedimenti nelle 4 stazioni già identificate, i sedimenti saranno raccolti due volte all'anno, e sarà analizzato il livello di contaminazione da DDT e metaboliti e Hg.

Anche per la fauna macrobentonica lo studio del Fiume Toce continuerà nelle stazioni individuate nel corso del precedente programma 2016-2018 nelle zone di deposizione con studi sul bioaccumulo di DDT e metaboliti, Hg e metilmercurio; gli invertebrati bentonici si sono dimostrati ottimi bioindicatori per monitorare il trasferimento dei contaminanti dai sedimenti al biota. Inoltre, i dati raccolti finora iniziano a costituire una importante serie storica per valutare eventuali nuovi apporti di contaminanti determinati dalle operazioni di bonifica in corso.

Saranno considerati 4 taxa tra i più abbondanti e saranno utilizzati per valutare il bioaccumulo *in situ* di DDT e metaboliti, e Hg in due periodi di magra/morbida. In un solo periodo del secondo anno sarà valutato anche il bioaccumulo di metilmercurio. Si riportano qui di seguito i costi previsti per l'attività.



#### 4. SEDIMENTI DEI TRIBUTARI ALLA FOCE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore: CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sede di Brugherio (MB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Per quanto riguarda i tributari, si intende condurre la stessa indagine già svolta nel triennio precedente alla foce di ogni tributario per i contaminanti che sono risultati più critici (DDT, PCB, PBDE, HBCD, DBDPE e Hg). Come già indicato nella premessa, la scelta dei singoli composti da analizzare nei diversi comparti si basa sulle serie storiche rilevate negli anni, in modo da limitare le analisi a quei composti che hanno una buona probabilità di essere rilevati in concentrazioni significative, e cioè:

- **DDT e metaboliti** nel Toce e nel Ticino emissario;
- **PCB, PBDE, HBCD, DBDPE, IPA e metalli** nel T. Emissario, Tresa, Margorabbia, Toce, Bardello e Boesio

Tuttavia, nel primo anno l'indagine riguarderà l'intero set dei contaminanti sin qui analizzati anche in passato (DDT, PCB, PBDE, HBCD, DBDPE, IPA, Fragranze, PFOS, As, Cu, Pb, Ni, Cd, Hg e per il Toce metilmercurio) al fine di ricostruire il trend storico della contaminazione dei tributari che per DDT e PCB risale al 2001 ed individuare eventuali nuove sorgenti di contaminazione. Verrà inclusa la foce del Ticino immissario, considerando che il bacino sotteso da questo fiume rappresenta quasi la metà del bacino imbrifero del Lago Maggiore.



## 5. BIOMONITORAGGIO DELLA CONTAMINAZIONE DEI PRINCIPALI TRIBUTARI DEL VERBANO

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Enti esecutori:*

*Dipartimento di Bioscienze, Università degli Studi di Milano (UNIMI)*

*CNR-Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) sede di Brugherio (MB) e Verbania Pallanza (VB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Tale proposta rappresenta il naturale proseguimento del biomonitoraggio iniziato nel Progetto precedente (2019-2021) atto a valutare lo stato della contaminazione di alcune classi d'inquinanti ambientali in diversi tributari (F. Toce e Boesio) del Verbano mediante l'impiego di due specie ittiche (trota e cavedano), precedentemente selezionate. I dati ottenuti negli scorsi anni hanno messo in luce, infatti, la bontà della scelta di queste due specie con *home-range* ed ecologia differente, che hanno consentito di evidenziare alcune criticità legate al bioaccumulo di alcuni composti di sintesi nei filetti degli esemplari campionati. In particolare, i dati riferiti al cavedano prelevato nel F. Toce nel 2020 hanno mostrato un superamento dei valori riferiti allo standard di qualità ambientale per il biota ( $SQA_{biota}$ ) per i DDT totali, mentre entrambe le specie hanno superato tale livello-soglia per i PBDE (polibromodifenileteri) in tutti e quattro i tributari. A questo si aggiunge il superamento dello  $SQA_{biota}$  per il mercurio per la quasi totalità dei campioni analizzati, e, in un caso, anche del limite per il consumo umano (CIPAIS, 2020). Questa situazione suggerisce un controllo anche per i prossimi anni, soprattutto per i valori dei DDX e Hg nel F. Toce, oltre che del Hg nel Boesio, in modo da comprendere se siano situazioni sporadiche oppure se si ripresentino a seguito di sversamenti puntiformi o eventi meteorologici particolari, visto che anche nella precedente campagna 2017 avevamo osservato il superamento degli  $SQA_{biota}$  per numerose specie ittiche (CIPAIS, 2018).

Si propone, dunque, di allungare questa serie storica, arrivando almeno a considerare sei anni, in modo da poter dare una risposta alla domanda esplicitata precedentemente. Nel dettaglio, si prevede di mantenere il campionamento nei tributari (F. Toce e Boesio), prelevando le due specie ittiche selezionate nel progetto precedente (trota fario e cavedano), in quanto hanno mostrato evidenti differenze nel bioaccumulo delle classi di composti di sintesi analizzati. In particolare, hanno permesso di mettere in evidenza differenze di contaminazione tra i fiumi Toce e Boesio, probabilmente legate a una differente alimentazione, onnivora e legata ai sedimenti quella del cavedano, carnivora e legata alla colonna d'acqua per la trota.

Gli esemplari delle due specie saranno campionati annualmente nel periodo maggio-luglio per poter mantenere la possibilità di confronto con il triennio precedente. I campionamenti saranno effettuati mediante pesca elettrica nella zona terminale degli emissari, in modo da evidenziare tutto l'apporto inquinante proveniente dal loro bacino. Saranno costituiti pool di almeno 5 individui, di cui saranno rilevati i principali parametri morfometrici: lunghezza totale, peso totale, peso eviscerato, sesso, peso delle gonadi, oltre all'età, determinata tramite un campione di scaglie prelevato da ciascun individuo. Per quanto riguarda l'analisi chimica, si prevede il rapido trasporto in laboratorio di diversi esemplari delle specie catturate, per la loro successiva analisi. I parametri chimici che saranno misurati nei tessuti molli saranno: il p,p'-DDT e relativi composti omologhi (totale di 6 composti), 14 policlorodifenili (PCB),



12 *dioxin-like* PCBs, 14 polibromodifenileteri (PBDE) e il mercurio totale. Il costo stimato per questa batteria di analisi è riportato nella tabella sottostante.



## 6. BIOMONITORAGGIO DELLA CONTAMINAZIONE DEL VERBANO MEDIANTE BIVALVI

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Enti esecutori:*

*Dipartimento di Bioscienze, Università degli Studi di Milano (UNIMI)*

*CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sede di Brugherio (MB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Dai risultati ottenuti nei precedenti Progetti CIPAIS risulta chiaro come sia opportuno mantenere viva la possibilità di seguire l'evolversi della contaminazione da composti prioritari nel Verbano mediante l'impiego di bivalvi che, essendo organismi filtratori, consentono di poter evidenziare eventuali variazioni nella concentrazione degli inquinanti in tempi più brevi, ad esempio, delle specie ittiche. D'altra parte, l'utilizzo di bioindicatori, quali molluschi e pesci, per il monitoraggio della contaminazione nelle acque è stato sancito dalle Direttive comunitarie 2000/60/CE e 2008/105/EC.

Il biomonitoraggio proposto per il prossimo triennio rappresenta una linea di continuità con i precedenti Progetti CIPAIS, in quanto le due stazioni di campionamento di Baveno e Pallanza (VB)-Villa Taranto vengono campionate fin dal 1996, mentre dal 2003 abbiamo i dati storici riguardanti le otto stazioni di prelievo attualmente studiate. La possibilità di avere a disposizione serie storiche di dati così lunghe è una prerogativa molto rara nel campo del monitoraggio ambientale e consentirà alla CIPAIS di continuare ad avere a disposizione dati fondamentali per valutare l'evoluzione pluriennale della contaminazione.

Si propone, quindi, di continuare il biomonitoraggio triennale della zona litorale del Verbano attraverso l'impiego di bivalvi prelevati nelle 8 stazioni di campionamento "storiche": Baveno, Pallanza (VB)-Villa Taranto, Suna, Brissago, Luino, Laveno, Brebbia e Ranco, selezionate per coprire in modo uniforme il perimetro del lago, focalizzando contemporaneamente l'attenzione sulla parte centrale, zona che ha sempre rappresentato un *hot-spot* di contaminazione da DDx.

Abbiamo però la necessità di proporre un cambiamento del modello biologico che sarà utilizzato in quanto, negli ultimi anni, il bivalve *D. polymorpha* è sempre più raro lungo le coste del Verbano e siamo dovuti ricorrere, a volte, al prelievo di un'altra specie di bivalvi in sua sostituzione. Quindi, proponiamo il prelievo del bivalve *Unio spp.* che ha mostrato un bioaccumulo dei contaminanti analizzati assolutamente sovrapponibile a quello di *D. polymorpha*, in modo da mantenere la possibilità del confronto con la lunga serie storica sopra descritta. E', inoltre, da sottolineare come entrambe le specie vivano esattamente nello stesso ambiente, non variando in alcun modo il cosiddetto *home-range*, che potrebbe portare a differenze dell'assunzione e accumulo dei contaminanti.

La frequenza di prelievo dei bivalvi riguarderà solamente il campionamento primaverile, in quanto esso rappresenta il cosiddetto "*worst case*", vale a dire il periodo dell'anno in cui vengono ritrovate le concentrazioni maggiori di contaminanti prioritari a causa dell'eventuale piena o parziale circolazione delle acque lacustri e del maggior contenuto lipidico presente nei bivalvi. Nel dettaglio, quindi, proponiamo di mantenere le otto stazioni attualmente studiate nelle quali i bivalvi saranno prelevati una volta l'anno, durante la fase pre-riproduttiva (maggio/giugno). I contaminanti che misureremo nei tessuti molli dei bivalvi sono, innanzitutto, il p,p'-DDT e relativi omologhi, i PCB e gli IPA. In particolare, riteniamo indispensabile mantenere il monitoraggio degli IPA, in quanto il modello biologico scelto è



un tipico rappresentante della fauna litorale, zona di accumulo preferenziale proprio di tali composti, la cui origine è tipicamente antropogenica (sversamenti diretti d'idrocarburi, autoveicoli, riscaldamento domestico e combustioni incomplete di materia organica). Accanto a tali contaminanti, si propone di analizzare ancora i polibromodifenileteri (PBDE) che hanno mostrato livelli non certo trascurabili nei tessuti del bivalve e sono stati l'unica classe di contaminanti che ha superato lo standard di qualità per il biota (SQA<sub>biota</sub>; D.L. 172/2015). Particolare attenzione, infine, è da riservare ai cosiddetti PCB *dioxin-like*, in quanto i livelli misurati negli scorsi Progetti CIP AIS hanno rappresentato una percentuale non trascurabile dei PCB totali. Ad esempio, l'ultimo dato a nostra disposizione e riferito alla campagna 2019 ha messo in evidenza come una percentuale pari al 13% dei PCB totali appartenga proprio ai PCB *dioxin-like* (CIP AIS, 2019), che rappresentano la frazione più pericolosa per gli organismi.

Infine, al fine di monitorare la biodisponibilità del mercurio nella baia di Pallanza (VB) e continuare la serie storica iniziata già nel 2008, si prevede di riproporre l'analisi di Hg.

Il budget presentato comprende ovviamente anche l'acquisto degli standard analitici e il materiale per eseguire le analisi gas-cromatografiche (vials da autocampionatore, colonne per gas-cromatografia, costi di manutenzione del GC-MS/MS, vetreria e consumabili). Il costo di tale materiale, così come le spese generali degli Enti (trattenute di circa il 17% per UNIMI), sono stati inseriti direttamente nel costo delle singole analisi e non singolarmente scorporati.

Nel secondo anno di attività verrà aggiunta l'analisi delle fragranze nella specie invasiva *Curbicula fluminea*.



## 7. BIOMONITORAGGIO DELLA FAUNA ITTICA LACUSTRE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore:*

*CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sedi di Verbania e Brugherio (MB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

La fauna ittica del Lago Maggiore, oltre a costituire una risorsa commerciale destinata al consumo umano, rappresenta un'importante indicatore ecologico della qualità dell'ecosistema lacustre. I pesci, infatti, si trovano al vertice delle reti trofiche pelagica e litorale, e grazie alla loro vita relativamente lunga, in rapporto ad altri organismi acquatici, possono bioaccumulare e biomagnificare gli inquinanti presenti.

Perciò è importante mantenere la serie storica degli inquinanti nella fauna ittica, che rappresenta ormai una delle serie regolari più lunghe al mondo, che per alcuni contaminanti come DDT e PCB risale sino al 1996 e che permette di dare indicazioni complessive sull'evoluzione dell'inquinamento nel Lago Maggiore.

La Direttiva 2013/39/CE, recepita in Italia con il D. Lgs. 172/2015 indica nuovi Standard di Qualità Ambientale per DDT e metaboliti, PCB-dl, PBDE e mercurio, con soglie che negli anni precedenti sono state spesso superate nella fauna ittica. La continuazione delle serie temporali di analisi permetterà di valutare se l'intero ecosistema stia lentamente recuperando dall'inquinamento passato o se emergono nuove criticità ambientali.

Si propone quindi di continuare anche nel nuovo triennio le indagini condotte in passato relative ai PCB e ai PCB diossina-simili in coregone e agone, specie ittiche di maggior pregio dal punto di vista commerciale. Inoltre, poiché la Direttiva definisce gli standard di qualità per la somma dei PBDE 28, 47, 99, 100, 153 e 154 nel biota con un valore molto restrittivo, pari a 6,5 pg/g p.f., anche in questo caso si propone di proseguire l'indagine sui PBDE nel comparto ittico. Lo Standard di Qualità Ambientale per il mercurio e i suoi composti nei pesci previsto è di 20 µg/kg p.f., valore ampiamente superato nei pesci del Lago Maggiore analizzati nei precedenti anni di indagine, anche se i valori rimangono al di sotto dei limiti stabili per il consumo umano (0,5 mg/kg p.f.).

Le indagini seguiranno le tempistiche validate per gli anni precedenti con 4 pesche in quattro stagioni differenti con pool di almeno 5-10 individui.

Solo per gli agoni, le analisi verranno condotte in due classi di età separate: i giovani per proseguire con le indagini condotte in passato e che rappresentano la contaminazione più recente da DDT, mentre la classe di età maggiore, quella impiegata per lo più a scopi commerciali, verrà considerata in quanto in molti casi più contaminata.

Per quanto riguarda l'analisi del mercurio, saranno effettuate analisi di metilmercurio su esemplari di taglia grande di agone di una stagione.

Infine, verranno svolte alcune analisi esplorative di eptacloro ed eptacloro-epossido, esclusivamente sugli agoni grandi che per il loro elevato contenuto lipidico potrebbero essere maggiormente contaminati.

Per allineare la durata di questa attività con le altre previste dal progetto, il primo anno, dal momento che il campionamento e l'analisi della fauna ittica nell'inverno 2023 è ancora comparsa nel programma



del triennio precedente, le analisi del primo anno verranno effettuate soltanto in tre stagioni, dalla primavera all'autunno, mentre negli anni successivi si procederà con quattro campioni stagionali, dall'inverno all'autunno.

## 8. APPROFONDIMENTI SUL CICLO DEL MERCURIO NEL LAGO MAGGIORE E NEL FIUME TOCE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Ente esecutore:*

*CNR Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA), sedi di Brugherio (MB) e Verbania Pallanza (VB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale (2° anno) e finale del triennio di ricerca*

Data la rilevanza del mercurio come contaminante nel bacino del Lago Maggiore (nonché a livello globale), oltre alla continuazione delle serie storiche di dati, utili per monitorare gli andamenti delle concentrazioni nel Lago e nei suoi tributari, riteniamo sia di interesse per la CIPAIS e per le amministrazioni locali poter giungere alla definizione del quadro conoscitivo necessario per comprendere i complessi meccanismi che portano al trasferimento di questo metallo dai siti contaminati all'ambiente e al biota, che non comprendono solo il dilavamento delle fonti primarie e secondarie, ma trasferimenti per via aerea verso diversi comparti degli ecosistemi, e trasferimenti lungo le catene trofiche verso i predatori finali, tra cui anche specie ad elevata mobilità che possono contribuire a loro volta al trasferimento degli inquinanti.

Per queste ragioni si propone di individuare altre potenziali sorgenti di contaminazione lungo il Toce e di valutare la ciclizzazione del contaminante in ambiente. I dati ad oggi disponibili mostrano infatti per l'ultimo decennio l'assenza di gradienti decrescenti nei sedimenti alla chiusura del bacino e nel Ticino emissario, così come per quelli alla foce del Toce e nel Bacino di Pallanza (Marziali et al., 2021), suggerendo che la contaminazione possa derivare anche da altre sorgenti, oltre che dai sedimenti: in particolare, è nota l'importanza dell'apporto atmosferico agli ambienti acquatici, nonché il rilascio dai suoli contaminati.

L'elevata persistenza del mercurio nell'ambiente è anche dimostrata dall'assenza di evidenti trend in decremento nel biota del Lago (*Dreissena*, fauna ittica), a conferma della biodisponibilità del contaminante per gli organismi acquatici e dell'efficiente trasferimento dai comparti abiotici alle catene alimentari.

I valori negli indicatori biologici, in particolare i pesci, mostrano il superamento dello Standard di Qualità nel Lago e in alcuni tributari (es. Toce, Boesio), dimostrando l'esistenza di sorgenti primarie e secondarie di contaminazione. L'analisi del metilmercurio, inoltre, ha offerto, nell'ultimo triennio di attività, ulteriori dati sulla biodisponibilità e biomagnificazione del mercurio nel Lago e nel Toce, offrendo una prima base per valutarne comportamento e tendenze.

Mentre il rischio di tossicità diretta per gli organismi acquatici sembra limitato, grazie a concentrazioni nell'acqua e nei sedimenti generalmente sotto le soglie di tossicità (Marziali et al., 2017), resta da valutare il rischio di avvelenamento secondario per i predatori terminali delle catene alimentari, non solo nell'ambiente acquatico, ma anche in quello terrestre, ad esempio, per uccelli piscivori e insettivori. Recenti indagini hanno infatti mostrato la capacità degli insetti acquatici del Toce di trasportare attivamente il contaminante e la sua forma metilata dall'ambiente acquatico alle catene trofiche terrestri (Marziali e Valsecchi, 2021).

Si propone quindi un approfondimento sul ciclo di questo elemento, estendendo le ricerche anche al comparto terrestre e atmosferico. L'area di studio individuata è quella di Bosco Tenso, localizzata lungo il Fiume Toce a valle di Pieve Vergonte, un sito caratterizzato da estesa presenza di mercurio a causa della vicinanza della sorgente, ma anche area ZPS in base alla presenza di specie avicole di rilievo.

Circa il 90% dell'input atmosferico di mercurio viene trattenuto nella vegetazione e nella materia organica del suolo, provocando un accumulo di mercurio. Parte del mercurio presente nei suoli viene volatilizzata e riemessa nell'atmosfera, ma la maggior parte viene mobilizzata tramite deflusso superficiale delle acque. Questo tipo di mobilizzazione è episodica e avviene in concomitanza con eventi di piogge intense e con lo scioglimento delle nevi, che dilavano lo strato superficiale del suolo ricco di sostanza organica. Il mercurio trasportato tramite deflusso superficiale delle acque è di conseguenza legato al carbonio organico disciolto e particolato. I suoli sono quindi una delle principali fonti di mercurio per gli ambienti acquatici a valle, dove il mercurio viene metilato ed entra nella catena alimentare acquatica. In particolare, nelle zone caratterizzate da un'abbondante presenza di materia organica e zolfo, come le zone ripariali (Bosco Tenso), si vengono a creare le condizioni favorevoli alla formazione di metilmercurio. Le caratteristiche dei bacini idrografici (topografia, tipo di copertura del suolo e caratteristiche del suolo) sono importanti fattori nel controllare la quantità di mercurio trasportato a valle. A causa dell'accumulo notevole e del lento turnover del mercurio negli ecosistemi terrestri, i benefici legati alla riduzione delle emissioni di mercurio in atmosfera si manifestano in un arco temporale molto lungo (decadi).

A partire da questa base, si propongono le seguenti indagini:

- determinazione del mercurio gassoso atmosferico durante campagne in movimento e in siti fissi con un sistema automatizzato per la determinazione in continuo delle concentrazioni del mercurio gassoso elementare. Analisi preliminari hanno infatti mostrato concentrazioni elevate nell'area di Pieve Vergonte (Fantozzi et al., 2019).
- mappatura della deposizione del mercurio atmosferico tramite analisi del mercurio totale in licheni e/o muschi, che costituiscono ottimi campionatori passivi, largamente impiegati per il monitoraggio di inquinanti atmosferici (Rimondi et al., 2020).
- misura dei flussi di mercurio dal suolo, che possono costituire un'importante sorgente di mercurio (Pannu et al., 2014), con metodo diretto, mediante camera a flusso.
- misura della concentrazione di mercurio totale in campioni di suolo e/o eluati mediante analizzatore di mercurio.

Si propone inoltre di estendere le indagini ad alcuni elementi del comparto acquatico ad oggi non analizzati, ma importanti per la comprensione del ciclo del mercurio:

- analisi del mercurio totale nell'acqua del Toce e nell'acqua interstiziale dei sedimenti, due comparti precedentemente indagati mediante campionatori passivi e non con misure dirette (Pisanello et al., 2016). Questo aspetto può aiutare a chiarire ulteriormente l'entità del rilascio dai sedimenti.
- analisi del mercurio totale e del metilmercurio nel perifiton, composto da produttori primari alla base della catena alimentare acquatica, nei quali la metilazione determina concentrazioni rilevanti di MeHg (Jardine et al., 2013), poi trasferito agli organismi superiori.



- analisi del mercurio totale e del metilmercurio in alcuni taxa selezionati di invertebrati bentonici (non analizzati nell'ambito delle altre attività CIPAIS), appartenenti a categorie trofico-funzionali ben identificabili. Questo permetterà di valutare l'esistenza di fenomeni di biomagnificazione già alla base delle catene trofiche, ossia nelle comunità a invertebrati.
- analisi del metilmercurio in alcune specie ittiche del fiume Toce (già analizzate per il mercurio totale nell'ambito di altre attività CIPAIS), sempre nell'ottica di approfondire il trasferimento del contaminante all'interno delle catene trofiche.

Infine, il rischio di avvelenamento secondario per i predatori terminali delle catene terrestri sarà valutato mediante l'analisi del mercurio totale in campioni biologici di uccelli prelevati in cassette nido già presenti in loco o opportunamente installate. Nello specifico, lo studio si vuole concentrare su 1-2 specie di passeriformi territoriali che integrano almeno in parte la loro dieta con insetti, quali Cinciallegra (*Parus major*), Cinciarella (*Cyanistes caeruleus*), Storno (*Sturnus vulgaris*), Passera d'Italia (*Passer italiae*), Passera mattuggia (*Passer montanus*). Diversi studi evidenziano gli effetti del mercurio su parametri cruciali per la conservazione a lungo termine delle popolazioni di animali selvatici, quali ad esempio la produttività o la probabilità di sopravvivenza dei pulcini sino all'età riproduttiva o, come dimostrato ad esempio nello Storno, esposto al mercurio attraverso la dieta, come per altri uccelli piscivori e/o insettivori, una diminuzione nella capacità di fuga dai predatori e un aumento della frequenza di muta del piumaggio (Carlson et al. 2014).

Nei prossimi trienni si prevede di applicare lo stesso approccio sperimentale su più ampia scala, estendendo la ricerca a livello di bacino idrografico ad altri tributari considerati fonti importanti di mercurio, come il Boesio, e andando ad indagare altre aree indiziate di quei processi che favoriscono una mobilitazione del contaminante. L'attività sarà condotta al fine di identificare man mano le diverse sorgenti di contaminazione e il loro contributo alla diffusione del mercurio per via atmosferica, attraverso l'ambiente acquatico e le catene trofiche nel bacino del Lago Maggiore.



## Bibliografia

- Blahova, J., Divisova, L., Plhalova, L., Enevoval, V., Hostovsky, M., Doubkova, V., Marsalek, P., Fictum, P., Svobodova, Z., 2018. Multibiomarker Responses of Juvenile Stages of Zebrafish (*Danio rerio*) to Subchronic Exposure to Polycyclic Musk Tonalide. *Arch Environ Contam Toxicol* 74, 568–576. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0484-8>
- Carlson, J.R., Cristol, D., Swaddle, J.P., 2014. Dietary mercury exposure causes decreased escape takeoff flight performance and increased molt rate in European starlings (*Sturnus vulgaris*). *Ecotoxicology* 23, 1464–1473. <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1288-5>
- , F., Gao, J., Zhou, Q., 2012. Toxicity assessment of simulated urban runoff containing polycyclic musks and cadmium in *Carassius auratus* using oxidative stress biomarkers. *Environmental Pollution* 162, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.10.016>
- Clara, M., Gans, O., Windhofer, G., Krenn, U., Hartl, W., Braun, K., Scharf, S., Scheffknecht, C., 2011. Occurrence of polycyclic musks in wastewater and receiving water bodies and fate during wastewater treatment. *Chemosphere* 82, 1116–1123. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.041>
- Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (CIPAIS), 2020. Specie Aliene: Impatti e sfruttamento come Bioindicatori nel Lago Maggiore. A cura di Riccardi N., pp. 1-129
- European Union Risk Assessment Report 1-(5,6,7,8-TETRAHYDRO-3,5,5,6,8,8-HEXAMETHYL-2-NAPHTHYL) ETHAN-1-ONE (AHTN), CAS No: 1506-02-1 or 21145-77-7. <https://echa.Europa.eu/documents/10162/26e223a9-eda9-4e79-8c4d-650d2a3c1124>
- European Union Risk Assessment Report 1,3,4,6,7,8-HEXAHYDRO-4,6,6,7,8,8-HEXAMETHYLCYCLOPENTA-γ-2-BENZOPYRAN (1,3,4,6,7,8-HEXAHYDRO-4,6,6,7,8,8-HEXAMETHYLIN-DENO[5,6-C]PYRAN - HHCb), CAS No: 1222-05-5. <https://echa.Europa.eu/documents/10162/947def3b-bbbf-473b-bc19-3bda7a8da910>
- Fantozzi, L, Marziali, L, Valsecchi, L, Schiavon, A, Orrù, A, Guerrieri, N., 2019. First investigation of atmospheric mercury pollution around the the chlor-alkali plant of Pieve Vergonte (Italian Central Alps). Congresso SIMP-SGI 2019 "Il tempo del pianeta Terra e il tempo dell'uomo: le Geoscienze tra passato e futuro". Parma, 16-19 settembre 2019
- Gao, Y., Ji, Y., Li, G., Mai, B., An, T., 2016b. Bioaccumulation and ecotoxicity increase during indirect photochemical transformation of polycyclic musk tonalide: A modeling study. *Water Research* 105, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.055>
- Goodbred, S., Rosen, M.R., Patiño, R., Alvarez, D., Echols, K., King, K., Umek, J., 2021. Movement of synthetic organic compounds in the food web after the introduction of invasive quagga mussels (*Dreissena bugensis*) in Lake Mead, Nevada and Arizona, USA. *Science of The Total Environment* 752, 141845. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141845>
- Hájková, K., Pulkrabová, J., Hajšlová, J., Randák, T., Žlábek, V., 2007. Chub (*Leuciscus cephalus*) as a Bioindicator of Contamination of the Vltava River by Synthetic Musk Fragrances. *Arch Environ Contam Toxicol* 53, 390–396. <https://doi.org/10.1007/s00244-006-0190-4>

- Heberer, T., 2002. Occurrence, Fate, and Assessment of Polycyclic Musk Residues in the Aquatic Environment of Urban Areas — A Review. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 30, 227–243. <https://doi.org/10.1002/aheh.200390005>
- Jardine T.D., Kidd K.A., O'Discroll N., 2013. Food web analysis reveals effects of pH on mercury bioaccumulation at multiple trophic levels in streams. *Aquatic Toxicology* 132-133: 46-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.01.013>
- Lange, C., Kuch, B., Metzger, J.W., 2015. Occurrence and fate of synthetic musk fragrances in a small German river. *Journal of Hazardous Materials, Advances in Analysis, Treatment Technologies, and Environmental Fate of Emerging Contaminants* 282, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.027>
- Lee, I.-S., Kim, U.-J., Oh, J.-E., Choi, M., Hwang, D.-W., 2014. Comprehensive monitoring of synthetic musk compounds from freshwater to coastal environments in Korea: With consideration of ecological concerns and bioaccumulation. *Science of The Total Environment* 9470–471, 1502–1508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.070>
- Marziali, L., Rosignoli, F., Drago, A., Pascariello, S., Valsecchi, L., Rossaro, B., Guzzella, L., 2017. Toxicity risk assessment of mercury, DDT and arsenic legacy pollution in sediments: A triad approach under low concentration conditions. *Science of the Total Environment* 593–594: 809–821. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.219>
- Marziali, L., Valsecchi, L., 2021. Mercury Bioavailability in Fluvial Sediments Estimated Using *Chironomus riparius* and Diffusive Gradients in Thin-Films (DGT). *Environments* 8, 7. <https://doi.org/10.3390/environments8020007>
- Marziali, L., Guzzella, L., Salerno, F., Marchetto, A., Valsecchi, L., Tasselli, S., Roscioli, C., Schiavon, A., 2021. Twenty-year sediment contamination trends in some tributaries of Lake Maggiore (Northern Italy): relation with hydrological and anthropogenic factors. *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13388-6>
- Mazzoni, M., Buffo, A., Cappelli, F., Pascariello, S., Polesello, S., Valsecchi, S., Volta, P., Bettinetti, R., 2019. Perfluoroalkyl acids in fish of Italian deep lakes: Environmental and human risk assessment. *Science of The Total Environment* 653, 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.274>
- Pannu, R., Siciliano, S.D., O'Driscoll, N.J., 2014. Quantifying the effects of soil temperature, moisture and sterilization on elemental mercury formation in boreal soils. *Environmental Pollution* 193, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.023>
- Pisanello, F., Marziali, L., Rosignoli, F., Poma, G., Roscioli, C., Pozzoni, F., Guzzella, L., 2016. In situ bioavailability of DDT and Hg in sediments of the Toce River (Lake Maggiore basin, Northern Italy): accumulation in benthic invertebrates and passive samplers. *Environ Sci Pollut Res* 23, 10542–10555. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5900-x>
- Parolini, M., Magni, S., Traversi, I., Villa, S., Finizio, A., Binelli, A., 2015. Environmentally relevant concentrations of galaxolide (HHCB) and tonalide (AHTN) induced oxidative and genetic damage in *Dreissena polymorpha*. *Journal of Hazardous Materials* 285, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.11.037>



- Reiner, J.L., Kannan, K., 2011. Polycyclic Musks in Water, Sediment, and Fishes from the Upper Hudson River, New York, USA. *Water Air Soil Pollut* 214, 335–342. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0427-8>
- Rimondi, V., Benesperi, R., Beutel, M.W., Chiarantini, L., Costagliola, P., Lattanzi, P., Medas, D., Morelli, G., 2020. Monitoring of Airborne Mercury: Comparison of Different Techniques in the Monte Amiata District, Southern Tuscany, Italy. *Int J Environ Res Public Health* 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072353>
- Ros, O., Izaguirre, J.K., Olivares, M., Bizarro, C., Ortiz-Zarragoitia, M., Cajaraville, M.P., Etxebarria, N., Prieto, A., Vallejo, A., 2015. Determination of endocrine disrupting compounds and their metabolites in fish bile. *Science of The Total Environment* 536, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.074>
- Rüdel, H., Böhmer, W., Schröter-Kermani, C., 2006. Retrospective monitoring of synthetic musk compounds in aquatic biota from German rivers and coastal areas. *J. Environ. Monit.* 8, 812–823. <https://doi.org/10.1039/B602389B>
- Schnell, S., Martin-Skilton, R., Fernandes, D., Porte, C., 2009. The Interference of Nitro- and Polycyclic Musks with Endogenous and Xenobiotic Metabolizing Enzymes in Carp: An In Vitro Study. *Environ. Sci. Technol.* 43, 9458–9464. <https://doi.org/10.1021/es902128x>
- Shek, W.M., Murphy, M.B., Lam, J.C.W., Lam, P.K.S., 2008. Polycyclic musks in green-lipped mussels (*Perna viridis*) from Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 5th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology 57, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.02.037>
- Tasselli S, Valenti E, Guzzella L (in press) Polycyclic musk fragrance (PMF) removal, adsorption and biodegradation in a conventional activated sludge wastewater treatment plant in Northern Italy. *Environ Sci Pollut Res*
- Tasselli, S., Guzzella, L., 2020. Polycyclic musk fragrances (PMFs) in wastewater and activated sludge: analytical protocol and application to a real case study. *Environ Sci Pollut Res* 27, 30977–30986. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06767-7>
- Tumová, J., Šauer, P., Golovko, O., Koba Ucu, O., Grabic, R., Máchová, J., Kocour Kroupová, H., 2019. Effect of polycyclic musk compounds on aquatic organisms: A critical literature review supplemented by own data. *Science of The Total Environment* 651, 2235–2246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.028>
- Villa, S., Assi, L., Ippolito, A., Bonfanti, P., Finizio, A., 2012. First evidences of the occurrence of polycyclic synthetic musk fragrances in surface water systems in Italy: Spatial and temporal trends in the Molgora River (Lombardia Region, Northern Italy). *Science of The Total Environment* 416, 137–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.027>
- Yamauchi, R., Ishibashi, H., Hirano, M., Mori, T., Kim, J.-W., Arizono, K., 2008. Effects of synthetic polycyclic musks on estrogen receptor, vitellogenin, pregnane X receptor, and cytochrome P450 3A gene expression in the livers of male medaka (*Oryzias latipes*). *Aquatic Toxicology* 90, 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.09.007>



## INDAGINI SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO MAGGIORE

### PREMESSA

Il programma di indagini che qui si presenta è stato formulato sulla base delle linee di azione della CIPAIS per il Lago Maggiore e delle richieste avanzate dalla Sottocommissione per soddisfare l'obiettivo specifico di conoscenza teso a identificare, valutare, ed analizzare tematiche emergenti relative agli ambienti litorali e ai diversi comparti dell'ecosistema.

In particolare la Sottocommissione indicava la necessità di:

- indagare la presenza e distribuzione delle microplastiche nel Lago Maggiore e nel suo ecosistema. L'inquinamento da microplastiche delle acque dolci, contrariamente a quello degli ambienti acquatici marini, è un fenomeno ancora poco approfondito. Gli aspetti prioritari che si propongono sono di: (a) individuare la presenza, distribuzione e trasferimento delle microplastiche nella catena trofica pelagica del Lago Maggiore e (b) effettuare un monitoraggio delle microplastiche come contaminanti nella cuvetta lacustre del Lago Maggiore.
- Indagare la presenza di specie invasive, con attività mirate al monitoraggio/eliminazione/contenimento di alcune specie invasive target già analizzate nell'ambito di progetti precedenti, oltre che mirate allo studio di nuove specie alloctone, la cui presenza è stata segnalata recentemente, ad esempio *Pectinatella magnifica* nella zona della foce del fiume Verzasca a Tenero.
- Indagare gli effetti delle fluttuazioni artificiali dei livelli del Lago Maggiore sugli organismi litorali interstiziali. Il Lago Maggiore è da alcuni anni sottoposto a forti pressioni politiche per un innalzamento artificiale del livello delle acque, continuato anche in periodi di magra, in modo da diventare un serbatoio idrico per l'agricoltura della pianura.
- Individuare aree idonee per la predisposizione di progettazione preliminare su interventi di riqualificazione ambientale-fruttiva delle sponde, in maniera simile a quanto effettuato con progetti di interventi di riqualificazione per il Lago di Lugano nel triennio 2016-2018.

Per rispondere a queste richieste, sono state riesaminate criticamente le attività del triennio scorso, le attività di monitoraggio in corso o in fase di avvio dai diversi enti territoriali e le esigenze conoscitive relative alla presenza e alla distribuzione delle sostanze pericolose nel Lago Maggiore e nel suo bacino imbrifero.

In particolare questo programma di indagini si articola su tre linee prioritarie per rispondere alle richieste:

1. Iniziare un programma di monitoraggio delle microplastiche, volto ad indagare la presenza e distribuzione delle plastiche e loro trasferimento nella catena trofica del Lago Maggiore.



2. Introdurre un progetto pilota per il monitoraggio di macro- e meio-fauna bentonica anche invasiva nel Lago Maggiore tramite approcci morfo-molecolari.
3. Effettuare una ricognizione della qualità delle zone litorali del Lago Maggiore con la successiva proposta di interventi per migliorare la naturalità e la fruibilità di aree specifiche.

Per concludere questa breve introduzione, è opportuno ricordare che:

- per quanto riguarda le indagini sulle microplastiche, i gruppi proponenti hanno dati preliminari, ma non esistono serie storiche di riferimento e il progetto risponderà alla richiesta di iniziare tali serie storiche per le analisi di dettaglio della presenza, qualità, quantità e trasferimento nella rete trofica di questi potenziali inquinanti di interesse emergente;
- per quanto riguarda le analisi relative alle specie invasive e agli effetti delle fluttuazioni sugli organismi delle zone litorali, l'approccio morfologico tradizionale accoppiato ad un approccio basato su sequenze di DNA permetterà di aumentare i dati le conoscenze su questi problemi attuali nel Lago Maggiore;
- per quanto riguarda gli interventi di progettazione per ripristino ambientale con aumento della fruibilità, il progetto nel triennio si pone come propedeutico, con analisi dello stato di fatto, individuazione delle potenziali aree di intervento e produzione di un documento guida per eventuali proposte progettuali.

Nelle pagine seguenti verranno descritte in dettaglio e motivate singolarmente le ricerche proposte.

1. Presenza e distribuzione delle plastiche e loro trasferimento nella catena trofica del Lago Maggiore.
2. Progetto pilota per il monitoraggio di macro- e meio-fauna bentonica anche invasiva nel Lago Maggiore tramite approcci morfo-molecolari.
3. Ricognizione della qualità delle zone litorali del Lago Maggiore.



## 1. PRESENZA E DISTRIBUZIONE DELLE PLASTICHE E LORO TRASFERIMENTO NELLA CATENA TROFICA DEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS*

*Enti esecutori:*

*Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Bioscienze, Milano (UNIMI)*

*CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque, Sede di Verbania Pallanza (IRSA VB)*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

### **Inquadramento del problema**

Il problema dell'inquinamento da plastica, nonostante sia di recente individuazione, è di grande interesse sia dal punto di vista scientifico che mediatico. Tra i rifiuti plastici presenti in ambiente, quelli ritenuti più potenzialmente pericolosi sono le microplastiche, la cui classificazione tradizionale li definisce come particelle di dimensioni inferiori ai 5 mm, e le nanoplastiche, dell'ordine di grandezza dei nanometri (Frias and Nash, 2019). Completa la classificazione dimensionale la categoria delle macroplastiche, ovvero i frammenti di dimensioni superiori ai 5 mm. Tra gli inquinanti emergenti prioritari, le plastiche sono quelli che si sono rivelati presenti in tutte le matrici ambientali e in una vasta gamma di ecosistemi, avendone riscontrato la presenza anche nelle cosiddette aree remote del pianeta (Ambrosini et al., 2019; González-Pleiter et al., 2020; Tan et al., 2020).

La pericolosità delle micro- e nanoplastiche (d'ora in avanti semplicemente chiamate plastiche) è legata innanzitutto alle loro piccole dimensioni che le rende facilmente ingeribili dal biota e ne permette addirittura la traslocazione all'interno di organi e tessuti diversi da quelli direttamente coinvolti con la loro assunzione (Browne et al., 2008; Zeytin et al., 2020). I danni derivati vanno dalle abrasioni interne al blocco degli apparati alimentari, determinando un ridotto stimolo ad alimentarsi che può portare ad una riduzione della crescita, della riproduzione e della sopravvivenza. A livello cellulare, la presenza di microplastiche può determinare aumentati livelli di stress ossidativo e infiammazione (Gunaalan et al., 2020). Una volta ingerite ed eventualmente accumulate nei tessuti dell'animale, l'effetto esercitato dalle microplastiche non è solamente di tipo fisico, ma anche di tipo chimico e biologico, in quanto possono rilasciare gli inquinanti eventualmente presente sulla loro superficie. Molte sostanze chimiche, infatti, sono aggiunte ai polimeri plastici durante la produzione (plasticizzanti, ritardanti di fiamma, coloranti, ftalati e il bisfenolo) e diversi inquinanti ambientali (come PCB, DDT, PCDD, PCDF, idrocarburi alifatici e aromatici, PHA) possono venire adsorbiti sulla loro superficie, venendo trasportati insieme alle particelle polimeriche. Infine, anche svariati microorganismi possono aderire alla loro superficie, formando un biofilm potenzialmente pericoloso se ospita specie patogene o batteri portatori di antibiotico-resistenza. L'ingestione di microplastiche contaminate da altri inquinanti ambientali ha mostrato effetti tossici maggiori rispetto all'esposizione alle singole sostanze, mentre il passaggio nel tratto gastrointestinale del pool batterico presente nel biofilm può comportare squilibri del microbiota intestinale (Fackelmann and Sommer, 2019).

Il monitoraggio e la determinazione delle quantità presenti nell'ambiente sono, quindi, di fondamentale importanza per determinare i livelli di rischio per l'ecosistema, considerando che la loro ingestione può propagarsi nella catena alimentare fino a raggiungere l'uomo (Carbery et al., 2018).

Partendo dalle analisi pregresse basate su un precedente rapporto EPFL su mandato dell'UFAM, Divisione acque, 2014, per la Svizzera, e per migliorare le conoscenze sulle microplastiche e i loro effetti, si propone una ricerca innovativa, incentrata principalmente su due obiettivi di prioritaria importanza ecologica per il Verbano: (i) il monitoraggio qualitativo stagionale delle plastiche superficiali, mediante l'impiego di retini (Manta-net) che garantiscano la rilevazione anche delle frazioni più piccole e (ii) indagare la presenza e le caratteristiche delle plastiche nella catena trofica pelagica, al fine di comprendere le dinamiche di trasferimento di questa classe di contaminanti dalla matrice acquosa al biota.

### **Proposta di monitoraggio delle plastiche**

Nonostante il problema dell'inquinamento da plastiche sia noto da alcuni decenni, gli ambienti d'acqua dolce sono ancora molto poco studiati e caratterizzati, nonostante sia stato stimato che circa l'80% delle plastiche ambientali che arrivano al mare si originano da fonti terrestri. I dati ad oggi disponibili, che vedono il Lago Maggiore interessato dalla contaminazione di questi inquinanti prioritari (Binelli et al., 2020), sono ancora scarsi e non offrono nessuna continuità spazio/temporale che possa permettere di fare solide valutazioni sulle concentrazioni realmente presenti, oltre che sulle variazioni stagionali della presenza di particelle polimeriche nella matrice acquosa (Binelli et al., 2020; Faure et al., 2015; Sighicelli et al., 2018). Inoltre, i dati prodotti fino ad oggi sono probabilmente sottostimati, in quanto generalmente per il campionamento delle plastiche superficiali sono stati utilizzati retini con maglie da 300-330  $\mu\text{m}$ , che catturano solamente la frazione più grossolana delle plastiche, non consentendo la raccolta del range dimensionale minore, che in realtà è la componente più pericolosa per la biocenosi acquatica. Una recente comparazione eseguita dal nostro gruppo di ricerca tra dati ottenuti con retini a maglie da 300  $\mu\text{m}$  e da 100  $\mu\text{m}$  ha chiaramente messo in evidenza una raccolta di un quantitativo di plastiche circa 40 volte superiore con i retini a maglie più fini, che hanno consentito la raccolta anche di microfibre, difficilmente campionabili con retini a maglie superiori.

Si propone quindi di monitorare mensilmente le concentrazioni di plastiche galleggianti lungo un transetto orizzontale nella parte centrale del Verbano, utilizzando un retino con maglie da 100  $\mu\text{m}$  che permetta di campionare e quantificare anche le particelle con dimensione minore. Anche la scelta di campionare mensilmente lungo lo stesso transetto rappresenta una novità nel panorama dello studio delle plastiche nei corpi idrici, in quanto normalmente si esegue un solo prelievo, che ovviamente non è rappresentativo dei cambiamenti stagionali della quantità e delle diverse tipologie di plastica rilasciate in ambiente. Per la prima volta, dunque, avremo un quadro esaustivo di come varia durante l'anno l'inquinamento da parte di questi contaminanti emergenti nelle acque del Verbano.

Le plastiche campionate saranno successivamente sottoposte a una serie di operazioni che ne consentano la separazione dal resto del materiale inerte prelevato con i retini, la digestione della sostanza organica mediante  $\text{H}_2\text{O}_2$ , la raccolta dei frammenti rimasti attraverso filtrazione, l'ispezione visiva (visual sorting) mediante microscopia ottica e il prelievo delle particelle da analizzare per la conferma delle loro caratteristiche polimeriche. Infine, le particelle selezionate saranno analizzate mediante l'impiego di uno spettrometro infrarosso in Trasformata di Fourier dotato di microscopio ( $\mu\text{FT-IR}$ ), che consentirà di caratterizzare le particelle polimeriche fino a 10-20  $\mu\text{m}$ , mediante il confronto degli spettri delle singole particelle con quelli presenti in specifiche banche-dati.

Poiché un simile progetto sarà eseguito anche sul Lago di Lugano, attraverso un diretto coordinamento con i colleghi della SUPSI, è stato possibile mettere a punto un protocollo comune che consenta di confrontare i dati ottenuti nei due laghi. Nel dettaglio, si procederà al campionamento delle plastiche superficiali mediante un Manta-Net con maglie da 100  $\mu\text{m}$  sia nel Verbano che nel Ceresio, per i vantaggi indicati precedentemente, saranno poi confrontati i dati ottenuti nelle stesse mensilità, in quanto il campionamento del Verbano sarà mensile, mentre quello del Ceresio solamente stagionale. Infine, poiché sul Ceresio si procederà esclusivamente a un *visual sorting*, mentre sul Maggiore si utilizzerà un  $\mu\text{FT-iR}$ , i dati saranno confrontati dopo il riconoscimento fatto mediante il microscopio ottico.

### **Proposta di monitoraggio del trasferimento delle plastiche lungo la catena trofica**

La catena trofica pelagica, grazie alla sua struttura fatta da pochi livelli (fitoplancton, zooplancton erbivoro e carnivoro, pesci planctofagi) e con forti interazioni viene spesso utilizzata come modello per lo studio del trasferimento di materia ed energia negli ecosistemi lacustri. Non fanno eccezione gli studi finalizzati alla valutazione della presenza, accumulo e trasferimento dei contaminanti, sia quelli più "classici" (come ad es. il p,p'-DDT e relativi composti omologhi) che quelli emergenti. Per questo motivo, la catena trofica pelagica può essere usata come modello anche per studiare le dinamiche di accumulo delle plastiche nell'ecosistema lacustre.

I meccanismi ipotizzati per il loro ingresso nella catena trofica sono: (i) l'ingestione accidentale, (ii) la predazione selettiva per la loro somiglianza con le prede naturali e (iii) l'ingestione di organismi contaminati tramite la predazione. Quale tra questi meccanismi sia il principale varia in modo specie-specifico, tra le diverse fasi di sviluppo e per i diversi habitat, ed è ancora in larga parte dibattuto.

Per fornire un contributo alla conoscenza di questi aspetti ci si propone di:

1. investigare la presenza e caratteristiche delle plastiche nella matrice acquosa mediante campionamenti integrati della colonna d'acqua;
2. investigare la presenza delle plastiche nello zooplancton pelagico oggetto di predazione della fauna ittica, con campionamenti da effettuarsi in concomitanza dei campionamenti della colonna d'acqua;
3. investigare la presenza e le caratteristiche delle plastiche nel tratto gastrointestinale del Coregone bondella, specie ittica pelagica di interesse commerciale, con campionamenti da effettuarsi in concomitanza dei campionamenti della colonna d'acqua.

I campionamenti verranno effettuati mensilmente in concomitanza con i campionamenti delle microplastiche galleggianti sulla superficie, nella parte centrale del Verbano. Un totale di 9 campionamenti verranno effettuati lungo il corso dell'anno, nei periodi di stratificazione del lago, da marzo a novembre compresi. I campionamenti non verranno effettuati nei mesi più freddi dell'anno, per una molteplicità di ragioni: (i) questo periodo corrisponde al periodo preriproduttivo e riproduttivo dei coregoni che normalmente riducono o interrompono del tutto la loro attività alimentare; (ii) hanno una distribuzione verticale non omogenea tale da rendere difficoltoso il loro campionamento; (iii) la difficoltà nel determinare con precisione la profondità a cui si alimentano potrebbe portare all'introduzione di errori nella corrispondenza tra le matrici; (iv) nel periodo invernale la produttività lacustre è minima e, dunque, anche la componente zooplanctonica è presente in numero ridotto.



L'analisi dei dati ottenuti permetterà di identificare i fattori che determinano l'ingresso delle plastiche nella catena trofica del Lago Maggiore e a evidenziare quali aspetti possano rappresentare ulteriori fattori di rischio per il biota, oltre alla semplice concentrazione delle plastiche stesse nell'acqua. Inoltre, comprendere le relazioni esistenti tra concentrazioni di plastiche nell'acqua e nel biota potrà aprire le porte all'utilizzo dei pesci come indicatori biologici.

Le plastiche presenti nella colonna d'acqua verranno campionate con retini a maglie da 100 µm per i già riportati vantaggi, mentre quelle presenti nel contenuto stomacale e nello zooplancton verranno analizzati a partire dai 20 µm.

## Bibliografia

- Ambrosini, R., Azzoni, R.S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., Parolini, M., 2019. First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. *Environ. Pollut.* 253, 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.005>
- Binelli, A., Pietrelli, L., Di Vito, S., Coscia, L., Sighicelli, M., Torre, C. Della, Parenti, C.C., Magni, S., 2020. Hazard evaluation of plastic mixtures from four Italian subalpine great lakes on the basis of laboratory exposures of zebra mussels. *Sci. Total Environ.* 699, 134366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134366>
- Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson, R.C., 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 42, 5026–5031. <https://doi.org/10.1021/es800249a>
- Carbery, M., O'Connor, W., Palanisami, T., 2018. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ. Int.* 115, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>
- Fackelmann, G., Sommer, S., 2019. Microplastics and the gut microbiome: How chronically exposed species may suffer from gut dysbiosis. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.030>
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., De Alencastro, L.F., 2015. Plastic pollution in Swiss surface waters: Nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environ. Chem.* 12, 582–591. <https://doi.org/10.1071/EN14218>
- Frias, J.P.G.L., Nash, R., 2019. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Mar. Pollut. Bull.* 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- González-Pleiter, M., Velázquez, D., Edo, C., Carretero, O., Gago, J., Barón-Sola, Á., Hernández, L.E., Yousef, I., Quesada, A., Leganés, F., Rosal, R., Fernández-Piñas, F., 2020. Fibers spreading worldwide: Microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake. *Sci. Total Environ.* 722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137904>
- Gunaalan, K., Fabbri, E., Capolupo, M., 2020. The hidden threat of plastic leachates: A critical review on their impacts on aquatic organisms. *Water Res.* 184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116170>



Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J.F., Rivadeneira, M.M., Jofre Madariaga, D., Thiel, M., 2014. Rivers as a source of marine litter - A study from the SE Pacific. *Mar. Pollut. Bull.* 82, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.019>

Sighicelli, M., Pietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Di Vito, S., Nuglio, S., Zampetti, G., 2018. Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. *Environ. Pollut.* 236, 645–651. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.02.008>

Tan, F., Yang, H., Xu, X., Fang, Z., Xu, H., Shi, Q., Zhang, X., Wang, G., Lin, L., Zhou, S., Huang, L., Li, H., 2020. Microplastic pollution around remote uninhabited coral reefs of Nansha Islands, South China Sea. *Sci. Total Environ.* 725, 138383. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138383>

Zeytin, S., Wagner, G., Mackay-Roberts, N., Gerdts, G., Schuirmann, E., Klockmann, S., Slater, M., 2020. Quantifying microplastic translocation from feed to the fillet in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Mar. Pollut. Bull.* 156, 111210. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111210>



## 2. PROGETTO PILOTA PER IL MONITORAGGIO DI MACRO- E MEIO-FAUNA BENTONICA ANCHE INVASIVA NEL LAGO MAGGIORE TRAMITE APPROCCI MORFO-MOLECOLARI

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

Ente esecutore: CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque, Sede di Verbania Pallanza (IRSA VB)

Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca

### Inquadramento del problema

Il Lago Maggiore è il secondo lago più grande d'Italia, con una superficie di 212 km<sup>2</sup>, una profondità massima di 370 m e un volume di 37,5 km<sup>3</sup>. Politicamente, il suo bacino imbrifero appartiene in parti uguali all'Italia e alla Svizzera e l'uso delle sue acque è incentrato sul turismo, le attività ricreative-ambientali, la navigazione pubblica e privata, la pesca professionale e sportiva, la produzione idroelettrica e lo sfruttamento ad uso potabile. Inoltre, il lago riveste un ruolo importante nel contesto della Pianura Padana, principale area agricola e urbana d'Italia, sia come fonte d'acqua per l'irrigazione che per il controllo delle piene. La qualità dell'acqua è, tuttavia, notevolmente influenzata dall'inquinamento domestico e industriale di una popolazione residenziale di circa 640.000 abitanti. Il Lago Maggiore è stato molto studiato sin dagli anni '70 per problemi legati all'inquinamento chimico organico e all'eutrofizzazione, o a problemi legati alle attività industriali (Guilizzoni et al., 2012), che hanno contribuito scaricando nel lago diversi inquinanti (metalli in traccia e composti organici) nel secolo scorso sia nel Fiume Toce che nel lago con conseguente presenza di DDT e mercurio nei sedimenti (Damiani and Thomas, 1974; Bettinetti et al., 2005). Attualmente, il lago è interessato anche da altri problemi, inclusi gli effetti dei cambiamenti climatici sulla struttura biologica e fisica del lago con aumento della temperatura nello strato 0-30 m di circa 1,4 °C (1965-2010) (Fenocchi et al., 2018; Morabito et al., 2018) e la gestione dei livelli delle acque nel periodo primaverile-estivo. Le nuove condizioni termiche insieme all'aumento della richiesta d'acqua, degli usi ricreativi e al commercio di specie esotiche da acquario, hanno aumentato il rischio di ingresso di specie aliene con conseguenze disastrose soprattutto sul limnobia litorale, con gravi minacce alla biodiversità nativa e un netto scadimento qualitativo delle sponde. Alcune delle specie considerate tra gli invasori d'acqua dolce più efficienti sono già presenti nel Lago Maggiore con popolazioni consolidate, come i molluschi *Dreissena polymorpha* introdotta negli anni '90 (Cossignani e Cossignani, 1995), *Corbicula fluminea* e *Sinanodonta woodiana* (Kamburska et al., 2013a, 2013b), recentemente entrate nel bacino meridionale, che si stanno espandendo in tutto il resto del lago. Inoltre, ricordiamo *Procambarus clarkii* e *Orconectes limosus* (Boggero et al., 2018b, 2019; Garzoli et al., 2020) gamberi attualmente distribuiti sulle sponde piemontesi e lombarde, e il gambero dal segnale - *Pacifastacus leniusculus* (Boggero et al., 2018a) insieme al briozoo *Pectinatella magnifica* (Lepori et al., 2021), che stanno entrando nel sistema lacustre in territorio svizzero. Infine, nel 2020, la segnalazione da parte di colleghi svizzeri dell'espansione di *Dreissena rostriformis* (cozza quagga) in alcuni laghi svizzeri, ha messo in allarme anche CIP AIS che ha pensato di mettere a punto un piano d'informazione e di sensibilizzazione per prevenire il più possibile la propagazione della cozza quagga da acque già infestate in acque dove non è ancora presente (<http://www.cipais.org/modules.php?name=news&pagina=news&id=22>). L'impatto sull'equilibrio biologico del lago (biodiversità, stabilità delle sponde, qualità dei sedimenti),

nonché i possibili effetti sulla salute umana dei parassiti che possono essere veicolati da queste nuove specie, sono rischi che devono essere valutati con attenzione.

### Obiettivi della ricerca e risultati attesi

Questa ricerca si propone:

1) di proseguire attività già svolte in passato sui macrocrostacei invasivi all'interno del Progetto *Specie alloctone invasive nel bacino del Lago Maggiore (SPAM)* (Boggero et al., 2018b, 2019). Tale progetto è stato sviluppato nel corso degli anni 2017-2018, dando origine a una proficua collaborazione con la Fondazione Bolle di Magadino che ha portato al rinvenimento e alla definizione dello stato delle popolazioni di macrocrostacei invasivi anche all'interno del bacino svizzero del Lago Maggiore (Boggero et al., 2018b; Garzoli et al., 2020). Verrà quindi monitorata nuovamente, lungo il litorale italiano, la presenza di specie aliene lungo le coste grazie ad un protocollo di campionamento standard messo a punto sul lago (Garzoli et al., 2020), aggiornando le informazioni disponibili sulla loro distribuzione geografica e le loro densità e chiarendo i principali trend demografici delle specie presenti, anche in relazione alle variabili meteorologiche e granulometriche del sedimento. A tali attività verrà abbinata anche la valutazione della loro distribuzione in profondità e il monitoraggio di infrastrutture quali porti e imbarcaderi nel tentativo di aumentare le conoscenze sulle singole specie riscontrate, di capire se *Procambarus clarkii* sia rimasto confinato nelle aree portuali. Nel contempo verranno censiti per la prima volta gli eventuali siti di presenza di *Pectinatella magnifica* che tende a fissarsi proprio sulle cime o sulle catene di ancoraggio delle imbarcazioni. L'acquisizione di tali informazioni costituirà base informativa utile per mettere a punto piani di controllo e gestione delle specie non native in questione da mettersi in atto nel bacino del lago. I risultati ottenuti verranno confrontati con quelli che verranno forniti per la parte svizzera dalla SUPSI in collaborazione con Fondazione Bolle di Magadino. Sulla base dei protocolli attualmente disponibili per la gestione del fouling in ambiente marino costiero sviluppati da alcuni collaboratori dei proponenti (Ulman et al., 2019) si cercherà quindi di sviluppare metodi e *best practice*, nell'ottica di sviluppo di regolamentazioni condivise fra Italia e Svizzera, da fornire ai gestori di porti pubblici e marine, per prevenire la diffusione delle specie invasive nella acque del lago attraverso imbarcazioni da diporto (pulizia della chiglia, trattamento con agenti *anti-fouling* del cordame).

2) di monitorare la fauna interstiziale bentonica, soprattutto la meiofauna (ovvero animali di dimensioni microscopiche), collegata alla gestione dei livelli proseguendo attività iniziate all'interno del Progetto pilota di Cooperazione Italia-Svizzera Interreg ParchiVerbanoTicino. All'interno del progetto è stata infatti messa a punto la metodica di campionamento standardizzata in tre aree campione (Bolle di Magadino in rappresentanza degli effetti nella fascia nord del lago, Fondo Toce in rappresentanza degli effetti nella fascia centrale del lago, Sesto Calende in rappresentanza degli effetti nella fascia sud del lago) e si sono raccolte le prime informazioni nel periodo di gestione delle acque (metà marzo-metà aprile). Tali dati necessitano però di lunghi periodi di acquisizione per divenire una base robusta utile ad analisi statistiche che superino i problemi introdotti dalla variabilità stagionale e interannuale. Gli effetti delle fluttuazioni di livello vengono quindi studiati analizzando otto principali parametri:

a) di tipo tassonomico: quali la ricchezza, la densità e l'abbondanza di ciascun rango di taxon;

b) di tipo funzionale: quali la biomassa e la lunghezza corporea, la forma corporea e la struttura in età e genere sessuale (solamente per il taxon Crustacea Copepoda).

I risultati ottenuti verranno confrontati con quelli che sono stati precedentemente raccolti grazie alla collaborazione con la Fondazione Bolle di Magadino all'interno del Progetto Interreg PVT.

3) di sviluppare una metodica che sfrutti la tecnica dell'eDNA per individuare la presenza e monitorare le specie aliene presenti nel Lago Maggiore. Questa metodica all'avanguardia rileva il DNA ambientale di specie target (liberato dalle cellule oppure presente in frammenti di tessuto), fornendo uno strumento efficace di sorveglianza per la *early detection* di specie non native, garantendo la possibilità di intervento e gestione di popolazioni quando esse siano ancora geograficamente limitate e prevenendone quindi la diffusione. Lo sviluppo della metodica di monitoraggio del DNA ambientale si avvarrà delle competenze acquisite anche nell'ambito di collaborazioni in progetti nazionali ed europei (DNAqua-NET e il progetto pilota Sorveglianza delle specie alloctone invasive nel Lago di Lugano e nel bacino svizzero del Lago Maggiore sviluppato da SUPSI per il Dipartimento del Territorio). Nel progetto, in primo luogo, verranno sviluppati primer specifici per l'individuazione delle principali specie target (in particolare gamberi e briozoi). Secondariamente verranno effettuate prove di laboratorio per valutarne l'efficacia di rilevamento l'incidenza di possibili falsi negativi nei risultati delle analisi. Infine, la metodica sviluppata verrà testata *in vivo* nei siti di presenza (e di assenza) identificati grazie alle attività previste al punto 1. La definizione delle specie target (in particolare specie invasive a rischio di introduzione nei laghi transfrontalieri ed in particolare Lago Maggiore e Lago di Lugano, anche sulla base dell'esperienza del progetto SPAM triennio 2016-2018) e lo sviluppo delle metodiche per l'ottimizzazione delle tecniche di eDNA verranno sviluppate in collaborazione con l'Istituto di Scienze della Terra e il Laboratorio di microbiologia applicata – SUPSI. Questa attività progettuale si pone quindi come finalità la redazione di protocolli condivisi Italia-Svizzera per l'implementazione della metodologia, da utilizzare per test di intercalibrazione dei vari laboratori di analisi presenti nei due Stati e in prospettiva di una maggior ottimizzazione dei costi-benefici derivanti dalle attività di monitoraggio ambientale.

### **Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)**

Il monitoraggio di macrocrostacei prevede il monitoraggio visivo e l'uso di nasse (Garzoli et al., 2020) nei periodi di maggior attività e il solo monitoraggio visivo nel caso di *Pectinatella magnifica* lungo le sponde del lago in aree portuali e darsene in tarda primavera-inizio autunno;

Il monitoraggio della fauna interstiziale seguirà le linee guida prodotte a livello nazionale per la gestione delle fluttuazioni di livello (Boggero et., 2019). In particolare, i campionamenti prevedono l'uso di retini immanicati dotati di maglie da 60 µm, rispettivamente, in tre mesi successivi (giugno, luglio, agosto e settembre) seguendo l'andamento temporale dei livelli dell'acqua. L'analisi delle componenti della fauna interstiziale si avvarranno inoltre di esperti di rilevanza nazionale per l'identificazione di gruppi tassonomici di maggiore complessità.

Per lo sviluppo delle metodiche di eDNA, il progetto prevede durante la prima annualità lo sviluppo dei primers per le specie target e la valutazione *in silico* delle regioni geniche che possano dare luogo a falsi positivi in collaborazione con SUPSI. Durante il secondo/terzo anno verranno effettuate le prove in microcosmi e verranno effettuate prove di campo valutando l'efficienza della metodica proposta su differenti matrici. Verranno inoltre effettuati dei

sequenziamenti delle bande ottenute per valutare l'effettiva efficacia della tecnica. Nel terzo anno verranno inoltre redatti i protocolli condivisi.

### **Richiesta finanziaria**

Si richiedono finanziamenti pari ad un totale di 47.400 euro (inclusivi di costi di spostamento dalla sede, campionamento, materiale da laboratorio, analisi morfologica e molecolare del materiale raccolto) così suddivisi nei tre anni di indagine:

### **Bibliografia**

Bettinetti, R., Croce, V., Galassi, S., 2005. Ecological risk assessment for the recent case of DDT pollution in Lake Maggiore (Northern Italy). *Water Air Soil Pollution*, 162: 385-399.

Boggero A., Dugaro M., Migliori L., Garzoli L. 2018a. Prima segnalazione del gambero invasivo *Pacifastacus leniusculus* (Dana 1852) nel Lago Maggiore (Cantone Ticino, Svizzera). *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 106: 103-106.

Boggero A., Garzoli L., Migliori, Mantovani L., Dugaro M. 2018b. Specie alloctone invasive nel bacino del Lago Maggiore (SPAM). Programma triennale 2016-2018. Rapporto annuale 2017. Studio dei macrocrocstacei. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.): 104-115.

Boggero A., Garzoli L., Migliori L. 2019. Macrocrocstacei. In: Beghi A., Gariboldi L., Boggero A., Riccardi N., Genoni P. (Eds.), *SPecie Alloctone invasive nel bacino del Lago Maggiore (SPAM)*, Programma triennale 2016-2018. Rapporto finale. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere: 132-160.

Cossignani T., Cossignani V. 1995. *Atlante delle conchiglie terrestri e dulciacquicole italiane*. L'Informatore piceno, Ancona: 208 pp.

Damiani V., Thomas R.L. 1974. Mercury in the sediments of the Pallanza basin. *Nature*, 251: 696-697.

Fenocchi A., M. Rogora, S. Sibilla, M. Ciampittiello & C. Dresti. 2018. Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Climate Dynamics*, 51: 3521-3536.

Garzoli L., Mammola S., Ciampittiello M., Boggero A. 2020. Alien crayfish species in the deep subalpine Lake Maggiore (NW-Italy), with a focus on the biometry and habitat preferences of the spiny-cheek crayfish. *Water*, 12(5): 1391.

Guilizzoni P., Levine S. N., Manca M., Marchetto A., Lami A., Ambrosetti W., Brauer A., Gerli S., Carrara E.A., Rolla A., Guzzella L., Vignati, D.A. 2012. Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. *Journal of Limnology*, 71(1), e1.

Kamburska L., R. Lauceri, M. Beltrami, A. Boggero, A. Cardeccia, I. Guarneri, M. Manca & N. Riccardi. 2013a. Establishment of *Corbicula fluminea* (O.F. Müller, 1774) in Lake Maggiore: a spatial approach to trace the invasion dynamics. *BioInvasions Records*, 2(2): 105-117.



Kamburska L., Lauceri R., Riccardi N. 2013b. Establishment of a new alien species in Lake Maggiore (Northern Italy): *Anodonta (Sinanodonta) woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae). *Aquatic Invasions*, 8 (1): 111-116.

Lepori F., Capelli C., Foresti D., Kuzmic M., Togni M., Veronesi M. 2021. Prima segnalazione del briozoo alloctono *Pectinatella magnifica* a sud delle Alpi. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 109: in stampa.

Morabito G., M. Rogora, M. Austoni & M. Ciampittiello. 2018. Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia*: 1-13.

Ulman, A., Ferrario, J., Forcada, A., Seebens, H., Arvanitidis, C., Occhipinti-Ambrogi, A., & Marchini, A. (2019). Alien species spreading via biofouling on recreational vessels in the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ecology*, 56(12), 2620-2629.



### 3. RICOGNIZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ZONE LITORALI DEL LAGO MAGGIORE

*Ente gestore: Segretariato CIPAIS; Cantone Ticino*

*Ente esecutore:*

*CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque sede di Verbania Pallanza (IRSA VB)*

*Ente gestore: Cantone Ticino*

*Ente esecutore:*

*Studi Oikos, Dionea e BluProgetti.*

*Documentazione: consegna di rapporto finale di ricerca*

#### **Inquadramento del problema**

I numerosi studi e attività che fin dagli anni '70 si sono sviluppati sul Lago Maggiore, grazie alla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere, hanno portato ad una profonda conoscenza dell'ambiente lacustre, delle sue peculiarità e del suo valore ecologico/ambientale, ma anche delle criticità e delle difficoltà di gestione delle sue acque, nonché del delicato equilibrio ecosistemico fortemente interconnesso con le attività umane, gli insediamenti urbani e i cambiamenti climatici sempre più accentuati.

Perché un ecosistema sia in grado di sostenere le attività umane che si sviluppano con e su di esso, fornendo i servizi ecosistemici di supporto a tali attività, deve essere in "buona salute", resiliente ai cambiamenti sia antropici che climatici, potersi "rigenerare" nel tempo e nello spazio.

Periodi siccitosi prolungati ed eventi estremi di pioggia degli ultimi 15 anni hanno fortemente stressato l'ecosistema lacustre, ulteriormente sollecitato da una gestione dei livelli delle acque finalizzate alla protezione delle rive dalle alluvioni, e a sostenere le numerose attività agricole, industriali ed idroelettriche, dei territori di valle.

Nel 2015, su richiesta del Consorzio del Ticino, Ente regolatore della diga della Miorina, e con Delibera dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, n. 1/2015, si è dato avvio ad una sperimentazione di una nuova regola di gestione dei livelli primaverili/estivi del Lago Maggiore, per far fronte ai problemi di carenza idrica nei territori agricoli di valle, nel periodo estivo

L'ecosistema lacustre può essere in grado di sostenere innalzamenti o abbassamenti dei livelli delle acque se le sue zone litorali/rivierasche sono sufficientemente adattabili in termini di spazi vitali e arretramenti. Maggiore è la naturalità delle sponde, maggiore è l'adattabilità dell'ecosistema e la sua resilienza a cambiamenti imposti, più equilibrata diviene l'integrazione tra gli insediamenti presenti e l'ecosistema lacustre a favore anche di una fruizione sostenibile delle sponde del Lago.

#### **Obiettivi e risultati attesi**

Si intende promuovere una ricerca che metta a frutto le passate esperienze nel campo della riqualificazione delle rive lacustri già acquisite dalle ricerche promosse da CIPAIS. L'obiettivo è quello di poter disporre di schede illustrative e schemi progettuali (catalogo di misure) adeguati alla situazione ecologica e specifica del Lago Maggiore.

Alla luce delle conoscenze, soprattutto valutando i risultati ottenuti dal progetto “Eco.Rive” del Dipartimento di A.R.P.A. Varese tra il 2007 e il 2012 e dallo “Studio di valutazione del potenziale di rivitalizzazione e di pubblica fruizione delle rive del Lago Maggiore” effettuato tra il 2016 e il 2018 da OIKOS, si approfondiranno e si verificheranno le aree da essi individuate. Lo scopo di tali approfondimenti è quello di valutare le effettive possibilità di miglioramento dei servizi ecosistemici che le aree litorali e ripariale del Lago Maggiore possono fornire, tenendo in debito conto gli utilizzi presenti, le infrastrutture, la regolazione dei livelli e il cambiamento climatico. Gli interventi tipo che verranno definiti dovranno considerare non solo l’innalzamento artificiale del periodo primaverile/estivo ma anche periodi prolungati di siccità quando il livello del lago sarà anche molto al di sotto del suo valore medio. La possibilità di coniugare la riqualificazione ecologica con la fruizione, già indagata dallo studio OIKOS, potrà essere oggetto di ulteriori analisi, oltre al necessario confronto/dialogo con gli amministratori locali. Tale confronto potrà aiutare a migliorare l’attuabilità degli interventi, e a indirizzare le scelte presenti e future delle amministrazioni locali, per una migliore condivisione delle progettualità, che possano diventare sinergiche e complementari per la riqualificazione ecologica delle aree rivierasche del Lago Maggiore.

Elaborati particolari saranno redatti per le aree inerenti alle foci dei fiumi. Poiché tali aree costituiscono l’unione di due ambienti con caratteristiche idrauliche e morfologiche differenti sarà necessario definire delle schede tipo di ambiente fluvio-lacustre dove i singoli interventi dovranno essere presi in carico dalle singole realtà territoriali previa verifica idrodinamica e idro-morfologica dei corsi d’acqua nei tratti finali. A tale proposito si rende noto che il tratto finale e la foce del Torrente San Giovanni a Intra sono oggetto di interventi di riqualificazione idro-morfologica nell’ambito del “Bando pubblico per la selezione dei corpi idrici piemontesi ai sensi della DGR 15-475 dell’8 novembre 2019”, in carico al Comune di Verbania.

Verrà inoltre posta particolare attenzione alla presenza di specie invasive, tenendo conto anche di quanto emerso dalle attività svolte nel 2017 nell’ambito del progetto “Specie Alloctone invasive nel bacino del Lago Maggiore (SPAM)”, programma triennale 2016-2018, e di quelle in itinere, utilizzando i risultati del progetto in corso per la Sezione 3 - Lago Maggiore, gestito da Angela Boggero, relativo all'individuazione delle aree con presenza di specie di pregio.

Il progetto intende quindi effettuare un aggiornamento e verifica dei siti analizzati dai precedenti progetti sviluppati da A.R.P.A. Varese e da OIKOS, utilizzando la cartografia GIS elaborata ed effettuando, se necessario, uscite di campo mirate ad approfondimenti e rilievi specifici.

Una volta consolidate le aree di particolare interesse, distribuite in modo equilibrato lungo le sponde del Lago, sulle quali può essere utile/necessario intervenire sia con azioni di protezione/mantenimento che con azioni di recupero/rinaturalizzazione, sarà necessaria una verifica dell’escursione di livello a cui sono soggette prima di proporre qualunque tipo di intervento. La verifica dell’escursione di livello sarà effettuata valutando sia livelli bassi che livelli alti, soprattutto relativi al periodo della nuova regola di gestione dei livelli primaverili/estivi (15 marzo - 15 settembre).

Effettuata anche tale verifica si procederà con la proposta di interventi “tipo” sulle aree scelte, sviluppando un catalogo di possibili interventi di riqualificazione sulla base di diverse casistiche, similmente a quanto già effettuato sul Lago Ceresio all’interno degli interventi di riqualificazione a scopo naturalistico-ambientale e fruizionale, considerando sia interventi ottimali, ovvero quelli che portano ad un miglioramento delle caratteristiche ecologiche e

della biodiversità, sia quelli via via meno positivi in termini di tali caratteristiche, sia tipologie di interventi assolutamente da evitare.

### **Attività di progetto**

La ricerca verrà eseguita congiuntamente da studi di ingegneria privati che finora hanno accompagnato i lavori della Sezione 3 per quanto attiene alle Riqualficazioni delle rive lacustri e dal CNR di Pallanza che supporterà scientificamente, per gli aspetti di ecologia delle acque litorali, la ricerca. Gli studi di ingegneria, che dispongono di un profilo operativo, si occuperanno degli aspetti tecnici-progettuali mentre il CNR assicurerà la supervisione scientifica della ricerca, soprattutto in vista di interventi vicino alle foci dei torrenti che necessitano di uno studio geomorfologico per capire come stiano evolvendo e quali materiali vengano portati a lago e le correnti legate anche a eventi di piena. Ad esempio, l'accompagnamento scientifico completerà il catalogo di misure con le accortezze da adottare in termini di verifiche sulla variabilità dei livelli del lago Maggiore per i popolamenti biologici particolarmente adatti e/o sensibili ad escursioni importanti del livello superficiale del lago.

Il progetto si articolerà su un arco temporale di 2 anni, dal 2022 al 2023. Il primo anno servirà per le attività di verifica dei dati pregressi, di eventuali ricognizioni in campo, ponendo particolare attenzione alle fluttuazioni di livello; fin dal primo anno si inizierà a redigere il catalogo di interventi "tipo" sia di gestione che miglioramento che di rinaturalizzazione. Saranno previsti confronti con gli amministratori locali per far conoscere lo scopo e i risultati che si vogliono ottenere con il presente progetto e per definire buone pratiche e linee guida per i progetti in itinere e/o futuri verso un miglioramento dei servizi ecosistemici delle aree litorali e riparie del lago. Il secondo anno si completerà il catalogo, organizzandolo secondo tipologie di intervento, con verifiche e controlli in carta e sul campo delle caratteristiche ecologiche delle rive del Lago Maggiore.

### **Esecutore:**

- Studi Oikos, Dionea e BluProgetti. Il preventivo considera il coinvolgimento di 3 studi privati per 3 giorni lavorativi di 1 operatore per ogni studio coinvolto
- CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sede di Verbania Pallanza (VB);
- Responsabile: Marzia Ciampitiello

### **Proposta**

Agli studi privati coinvolti e già contattati è richiesto un elenco condiviso di interventi rappresentativi e a seguire un catalogo per ogni proposta di tipologia di intervento di riqualficazione delle rive lacustri con un confronto di esempi pratici. È pure richiesto un confronto fotografico prima e dopo i lavori, con delle sezioni tipo per gli interventi rappresentativi.

Il CNR interverrà con la supervisione scientifica, soprattutto per quanto riguarda l'impostazione del catalogo, la preparazione di schede tipo per la rappresentazione grafica dei progetti, la redazione di linee guida di interventi e il coordinamento e la gestione delle proposte degli studi privati.

# PROGRAMMA ESECUTIVO DELLE RICERCHE DELLA COMMISSIONE INTERNAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELLE ACQUE ITALO-SVIZZERE

## TRIENNIO

### 2022-2024



## LAGO DI LUGANO

## INTRODUZIONE AL PROGRAMMA DI RICERCA PER IL LAGO DI LUGANO

Al pari del triennio 2019-2021 il programma esecutivo per il triennio 2022-2024 è stato articolato in tre distinti settori d'indagine:

- limnologia
- sostanze pericolose
- ambienti litorali e temi emergenti

Il programma delle indagini previste nel triennio 2022-2024 sul Ceresio risulta sempre incentrato sulla limnologia, in quanto a tutt'oggi l'eutrofizzazione è il maggiore problema che affligge questo lago, con importanti conseguenze a livello ambientale ed in termini d'uso.

Di seguito viene presentato il programma esecutivo proposto dalla delegazione Svizzera per il Ceresio, corredato di dettagli concernenti la tempistica, l'ente gestore ed esecutore, ed i costi per i singoli studi.

## INDAGINI LIMNOLOGICHE SUL LAGO DI LUGANO

Si conferma il consolidamento degli studi sull'antibiotico-resistenza batterica all'interno delle linee di ricerca limnologiche. A partire dal 2022 le risultanze di tali studi saranno integrate nel rapporto annuale della limnologia, di cui costituiranno un capitolo a sé.

### 1. INDAGINI LIMNOLOGICHE

*Ente gestore ed esecutore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Istituto scienze della Terra, DACD-SUPSI, Mendrisio*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Le linee di ricerca sul Lago di Lugano si sono finora articolate attorno alle prospettive di risanamento dello stato trofico, in linea con i quadri legislativi vigenti (Ordinanza federale sulla protezione delle acque, 1998) e gli obiettivi del piano d'azione 2019-2027 della CIPAIS. Le indagini si sono concentrate sull'evoluzione della trofia del lago e dei carichi di macronutrienti veicolati dai tributari e dall'emissario. La mesotrofia resta l'obiettivo primario a raggiungere, in grado di assicurare uno stato qualitativo accettabile per un bacino inserito in un contesto territoriale fortemente antropizzato. La mesotrofia rappresenta un ragionevole compromesso tra qualità ecologica ed esigenze d'uso (approvvigionamento in acqua potabile, attrattività turistica, uso termico e irriguo, pesca,...). Il conseguimento di un tale livello trofico permetterà di eliminare gli effetti negativi legati all'eutrofizzazione delle acque, quali l'eccessiva produzione algale, l'anossia delle acque profonde, la formazione di sostanze ridotte indesiderate (azoto ammoniacale, metano, anidride solforosa), impoverimento della biodiversità, ecc. Se tuttavia il raggiungimento dell'obiettivo della mesotrofia, definibile numericamente con una concentrazione media di fosforo totale attorno a  $30 \text{ mg P m}^{-3}$ , non si traducesse in un tangibile miglioramento a livello ecosistemico, potrebbero rendersi necessarie ulteriori riduzioni di carico di nutrienti.

Recentemente, le indagini sono state estese agli effetti dei cambiamenti meteo-climatici, in particolare per valutare gli effetti della variabilità climatica sulle successioni stagionali di fitoplancton e zooplancton. Queste linee di ricerca hanno richiesto misure intensive e a lungo termine di numerose caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche in un numero ridotto di stazioni di ricerca.

Per il prossimo triennio di ricerche (2022-2024) viene proposto di dare maggior estensione spaziale alle ricerche all'interno del lago, mantenendo tuttavia inalterato l'approccio intensivo nelle stazioni più rappresentative dei maggiori sotto-bacini (Gandria per il bacino nord e Figino per il bacino sud). L'estensione spaziale è importante perché le condizioni misurate nelle stazioni storiche a centro lago potrebbero essere poco rappresentative delle zone litorali, inclusi i golfi minori, che rappresentano una porzione del bacino lacustre importante per vari usi e servizi, tra cui spicca l'approvvigionamento in acqua potabile. L'estensione spaziale delle ricerche comporterà l'introduzione di indagini limnologiche in stazioni rappresentanti bacini

minori. Questi nuovi studi avranno un carattere più estensivo (misura di un minor numero di variabili in un maggior numero di stazioni) rispetto all'approccio intensivo mantenuto nelle stazioni principali di Gandria e Figino. Il mantenimento di queste due stazioni pelagiche consentirà comunque di verificare gli effetti delle misure di risanamento intraprese negli ultimi decenni e garantirà la continuità della serie storica dei dati.

Al fine di quantificare meglio la variabilità spazio-temporale delle condizioni limnologiche su tutto il lago si propone anche uno studio per valutare la possibilità di ottenere misure di Clorofilla-a e temperatura dell'acqua in superficie mediante l'analisi di immagini satellitari.

Inoltre, per il prossimo triennio si propone di integrare un'indagine più sistematica sulle fioriture algali nocive (HABs, Harmful Algal Blooms) nelle ricerche in atto sull'evoluzione del fitoplancton, comprendente l'analisi di tossine e pigmenti algali (Clorofilla-a e ficocianina), conteggi di cianobatteri e mappature mediante analisi satellitari. I dati saranno usati per valutare il rischio tossicologico associato a queste fioriture (che si sono manifestate con episodi insolitamente intensi nello scorso triennio), oltre che a identificare le condizioni ambientali che le innescano, inclusi i fattori climatici e le condizioni di trofia.

Come di consueto i dati raccolti saranno utilizzati per la valutazione annuale dello stato del lago (Aspetti limnologici) e l'aggiornamento degli indicatori del Pannello di controllo.

In breve, questi riorientamenti comporteranno (1) l'abbandono delle indagini limnologiche intensive presso la stazione di Melide, (2) l'introduzione di indagini limnologiche estensive in una serie di golfi minori, (3) la validazione dell'uso di immagini satellitari per la determinazione della variazione spazio-temporale della temperatura e della Clorofilla-a e (4) l'integrazione di nuove indagini sulle fioriture algali nocive. Di seguito si presenta una sintesi della campagna, dei metodi analitici e dei risultati previsti.

### **1.1. Campagna**

Nel triennio 2022-2024 si propone di articolare la campagna come segue:

- due uscite per indagini "intensive" mensili alle stazioni storiche di Gandria e Figino: un giorno per stazione;
- due uscite per indagini "estensive" al mese: un'uscita per le stazioni di Gandria, Lugano, Melide e Capolago, e una seconda uscita per le stazioni di Figino, Porto Ceresio, Agno e Ponte Tresa;
- un'uscita mensile per la raccolta di campioni istantanei dai tributari maggiori e dall'emissario;
- un'uscita settimanale per la raccolta dei campioni da auto-campionatori (Vedeggio, Cassarate, Laveggio).

### **1.2. Analisi dei campioni e validazione dati**

Per la maggior parte delle variabili le analisi previste rimangono invariate rispetto al triennio precedente. Le analisi chimiche sono a carico del Cantone Ticino (Ufficio del monitoraggio ambientale, UMAm-SPAAS), che svolge anche i prelievi sui fiumi. All'IST-SUPSI è demandato il

compito di pianificare le indagini, eseguire i campionamenti e le misurazioni sul lago, validare i dati e allestire l'annuale rapporto limnologico. La validazione dei dati prodotti dal laboratorio UMAM verrà svolta come in precedenza in tandem (UMAM: QA/QC; IST-SUPSI: coerenza con serie storiche e principi limnologici). Per l'indagine sulle fioriture algali nocive si propongono l'analisi di pigmenti algali *in situ* (Clorofilla-*a* e ficocianina mediante fluorimetria), delle analisi di tossine in laboratorio (test ELISA, LC-MS), e dei conteggi di cianobatteri (microscopia ottica in laboratorio). Per le indagini intensive si prevedono misure di tossine e conteggi di cianobatteri sistematici; nel caso delle indagini estensive le misure di tossine e i conteggi saranno aggiunti in caso di necessità, ovvero quando i valori di ficocianina misurati *in situ* supereranno soglie di rischio cianobatterico predefinite; dettagli in Tabella 2). Per l'indagine sulle immagini satellitari si propone l'aggiunta di raccolta di immagini, validazione ed estrazione dei risultati a carico dell'IST-SUPSI.

### 1.3. Risultati

Per le stazioni storiche di Gandria e Figino verranno elaborati gli stessi risultati del triennio precedente, che verranno presentati e discussi nel rapporto annuale sugli Aspetti limnologici.

In aggiunta, nello stesso rapporto verranno integrati e discussi:

- i risultati delle nuove indagini estensive;
- i risultati dell'indagine sulle fioriture algali nocive;
- uno studio preliminare per valutare l'applicazione del monitoraggio di Clorofilla-*a* e temperatura (in superficie) mediante analisi di immagini satellitari.

I dati raccolti serviranno anche ad aggiornare il Pannello di controllo del Lago di Lugano e le banche dati gestite dalla CIPAIS.

## **2. INDAGINI SULLA PRESENZA DI DETERMINANTI GENICI DI RESISTENZA AGLI ANTIBIOTICI NEI BATTERI**

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Istituto di microbiologia applicata, DACD-SUPSI, Mendrisio*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Il problema dell'antibiotico-resistenza dei batteri patogeni, che sono causa di decine di migliaia di decessi l'anno con ingenti costi per i sistemi sanitari, è mondiale e se nulla verrà intrapreso c'è il rischio che le infezioni batteriche divengano una delle cause principali di morte, come succedeva prima della scoperta degli antibiotici.

L'incremento a livello globale dell'antibiotico-resistenza può essere controllato unicamente attraverso un'azione coordinata che consideri sia l'educazione ad un utilizzo corretto degli antibiotici e lo sviluppo di nuove sostanze attive che la conoscenza della diffusione dell'antibiotico-resistenza nell'ambiente e l'implementazione di strategie attuabili per la sua riduzione.

L'insorgenza dell'antibiotico-resistenza nei batteri ha diverse cause tra cui l'uso (eccessivo) di antibiotici negli allevamenti e in clinica umana. D'altra parte, non bisogna dimenticare che una grande percentuale degli antibiotici utilizzati (20-80%, a seconda della classe di antibiotici) vengono rilasciati nell'ambiente in forma attiva tramite l'escrezione nelle urine e nelle feci. Residui di antibiotici e batteri resistenti provenienti da fonti diverse (popolazione allacciata, industrie e ospedali) entrano così nelle acque reflue municipali insieme ad altri fattori di co-selezione, come metalli e tensioattivi. La raccolta e il trattamento delle acque fognarie negli impianti di depurazione delle acque (IDA) svolgono un ruolo essenziale nella protezione della salute umana e ambientale ma questi sistemi sono stati progettati per rimuovere inquinanti convenzionali, inclusi solidi sospesi, nutrienti e materia organica, tra cui i microorganismi, mentre non sono stati previsti per la rimozione dei microinquinanti quali antibiotici, batteri resistenti e geni di resistenza. Gli impianti di depurazione trattengono una parte di questi inquinanti ma costituiscono degli "hot spots" per lo sviluppo e la successiva diffusione dell'antibiotico-resistenza a causa degli antibiotici, dei batteri resistenti e geni di resistenza che vi si riversano e che possono poi essere ritrovati nelle acque in uscita dagli impianti. In Svizzera, queste strutture stanno implementando nuove tecnologie per riuscire ad eliminare numerosi microinquinanti. Al momento attuale comunque, residui di antibiotici, batteri resistenti e geni di resistenza possono diffondere nell'ambiente acquatico attraverso i reflui urbani depurati o no (sorgenti puntiformi) e le attività agricole/industriali (sorgenti diffuse).

Il monitoraggio ambientale ha un ruolo fondamentale nella valutazione della diffusione dell'antibiotico-resistenza, come preconizzato anche in Svizzera dalla Strategia nazionale contro le resistenze agli antibiotici (STAR), in una visione "One Health" di questa preoccupante problematica.

L'obiettivo del monitoraggio ambientale dell'antibiotico-resistenza è di valutare l'impatto sulle comunità batteriche dei determinanti di resistenza (antibiotici, geni di resistenza, batteri resistenti) rilasciati attraverso le attività antropiche e accumulati e/o selezionati nelle acque

di superficie in seguito all'azione di fattori ecologici, chimici e climatici che potrebbero promuovere lo sviluppo di batteri antibiotico-resistenti nelle comunità residenti. Inoltre, i risultati del monitoraggio potranno aiutare lo sviluppo di metodologie di valutazione del rischio per la salute umana e animale della contaminazione ambientale da determinanti di resistenza agli antibiotici.

Nel 2016, il Laboratorio Microbiologia Applicata ha condotto, nell'ambito dei programmi di ricerca della CIPAIS, le indagini sulla presenza di determinanti genici di resistenza agli antibiotici nei batteri delle acque del Lago di Lugano e di alcuni suoi immissari. Tale indagine, con alcune modifiche attuate a meglio perseguire gli scopi prefissi, è proseguita nel biennio 2017-2018 per garantire continuità nell'analisi. Nel 2019 il monitoraggio è continuato nell'ambito delle ricerche sostenute dalla sezione "Sostanze pericolose" della CIPAIS.

Dalle campagne di monitoraggio che il Laboratorio Microbiologia Applicata ha condotto dal 2016 è emerso che i geni di resistenza agli antibiotici comunemente utilizzati in clinica e veterinaria sono presenti nei batteri del Lago di Lugano e specialmente dei fiumi immissari influenzati dagli IDA. Il monitoraggio continuativo sui diversi anni ha permesso di individuare alcune tendenze, quali la reazione positiva delle acque del Cassarate alla messa fuori servizio dell'IDA che gravava su questo fiume, evidenziata dal miglioramento della qualità delle sue acque per quanto concerne l'antibiotico-resistenza e, d'altro canto, una tendenza al peggioramento nel Vedeggio.

Il monitoraggio continuativo dei tre corsi d'acqua presi in considerazione nei programmi precedenti (Vedeggio, Cassarate e Magliasina) ha confermato l'importanza degli IDA nella diffusione delle resistenze agli antibiotici in ambiente acquatico. Pertanto l'obiettivo principale dello studio proposto per il nuovo triennio (2022-2024), è di valutare la presenza, la distribuzione e la tipologia dei geni di resistenza agli antibiotici nelle popolazioni batteriche delle acque di alcuni corsi d'acqua particolarmente interessati dall'influenza degli impianti di depurazione che scaricano le acque depurate direttamente a lago.

Il nuovo monitoraggio proposto fornirà dati che serviranno a valutare l'impatto delle strategie per la riduzione dei microinquinanti negli IDA che dovranno essere messe in atto entro il 2025. Di seguito viene proposto un programma di analisi per il periodo 2022- 2024 che tiene in considerazione i risultati ottenuti negli anni precedenti.

## **2.1 Punti di campionamento e frequenza**

Fiumi: Laveggio, Vedeggio e Scairolo.

Campionamenti mensili a monte e a valle degli impianti di depurazione rispettivamente di Bioggio, Mendrisio e Barbengo.

## **2.2 Indagini molecolari**

Basandosi sui risultati ottenuti negli anni passati e sull'idea di monitorare fiumi sottoposti al forte impatto degli impianti di depurazione, si è deciso di riorganizzare il set di geni di resistenza da ricercare nell'ambito dei nuovi campionamenti. La tecnica utilizzata per la quantificazione dei geni di resistenza sarà sempre la PCR (Polymerase Chain Reaction)

quantitativa con un'ottimizzazione dei primers usati basandosi su una recente pubblicazione (Rochegüe *et al.*, 2021). Tutti i dati ottenuti saranno rapportati al gene 16S rDNA, quantificato come indicatore della popolazione batterica totale. Saranno ricercati, come negli anni precedenti, i geni *suII* (resistenza ai sulfamidici) e il gene *intl* (per gli integroni), considerati marcatori molecolari di diffusione della resistenza in ambiente acquatico. Anche il gene *qnrS* (resistenza ai fluorochinoloni) e *bla<sub>CTX-M</sub>* (resistenza ai  $\beta$ -lattamici) saranno mantenuti in quanto i risultati ottenuti nelle precedenti campagne hanno mostrato la presenza di questi geni nei campioni d'acqua prelevati nei fiumi a valle di un IDA. Per monitorare la resistenza alla tetraciclina, al posto del gene *tetA*, verrà ricercato il gene *tetM* in quanto più legato ad ambienti con forte impatto antropico (Berendonk *et al.*, 2015) e spesso associato al trasferimento orizzontale di resistenza (Amarasiri, Sano and Suzuki, 2020).

### 2.3 Indagini sulle popolazioni batteriche

Mediante tecniche classiche di coltura per l'analisi dei batteri coltivabili nelle acque e spettrometria di massa (MALDI-TOF MS) sarà possibile contare, isolare e identificare i batteri per avere un'idea delle popolazioni batteriche in grado di formare colonie sui terreni di coltura che possono essere influenzate dalla presenza di antibiotici e a loro volta fungere da vettori di geni di resistenza. Utilizzando piastre di coltura con aggiunta di antibiotici sarà possibile isolare i batteri multi-resistenti ed eventualmente indagare se presentano dei geni di resistenza. Per la nuova campagna di monitoraggio si propone l'utilizzo di un terreno cromogeno (CHROMagar™ Orientation) che varia il colore delle colonie in base alla tipologia di batterio. Solitamente è utilizzato per facilitare il rilevamento di patogeni come *E.coli*, *Enterococcus*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Pseudomonas* e Stafilococco in campioni clinici. Alcuni test effettuati presso il nostro laboratorio hanno dimostrato che il terreno funziona anche per campioni ambientali (acqua di fiume), e permette inoltre la crescita di batteri prettamente ambientali ma particolarmente rilevanti come *Aeromonas*. Questo terreno verrà utilizzato tal quale per la conta totale e addizionato con le seguenti combinazioni di antibiotici per la selezione dei batteri resistenti CIP:CTX (ciprofloxacina – cefotaxime), NOR:CPD:Te (norfloxacina – cefpodoxime-tetraciclina).

## INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NEL LAGO DI LUGANO

### PREMESSA

La convenzione siglata tra Svizzera e Italia nell'ambito della CIPAIS ha tra i suoi obiettivi primari la protezione delle acque italo-svizzere dall'inquinamento. La determinazione della concentrazione di sostanze pericolose nelle acque comuni e in organismi indicatori, così come gli approfondimenti sui loro effetti, rappresentano un importante contributo per la descrizione dello stato degli ecosistemi. Questo esercizio può inoltre portare alla luce problematiche specifiche con seguenti interventi mirati.

A partire dagli anni '80-'90 sono state promosse sia a livello istituzionale che di ricerca scientifica diverse indagini in relazione alla presenza e agli effetti negativi di sostanze pericolose nel lago di Lugano, nei suoi organismi indicatori (in particolare: pesci e molluschi) o in altri comparti ambientali specifici (es. sedimenti). Nella stragrande maggioranza dei casi, queste indagini hanno focalizzato la loro attenzione all'indirizzo di alcuni inquinanti organici persistenti liposolubili (quali DDT, PCB, HCB, HCH, Clordano, Eptacloro, Aldrin, Dieldrin, Endrin e composti nitro aromatici) o inorganici (quali i metalli o metalloidi arsenico, cadmio, cromo, piombo, rame e zinco o gli isotopi radioattivi del cesio). Le indagini della CIPAIS nel periodo 2008-2012 hanno potuto estendere le conoscenze già acquisite per queste categorie di contaminati, poi ampliate nel 2015 ad altre sostanze organiche liposolubili emergenti, come gli PFAS e i PBDE, nei pesci. Alla luce dei primi risultati del 2015, è stata suggerita la possibile presenza di fonti puntuali di contaminazione da PBDE nell'ecosistema del Ceresio. Tuttavia, la campagna 2018 sulla fauna ittica ha evidenziato un importante calo delle concentrazioni riscontrate in precedenza. Un apposito studio con campionatori passivi per la ricerca di fonti puntuali presso i diversi immissari ha mostrato delle differenze che, se del caso, potranno essere ulteriormente indagate dalle autorità preposte. Parallelamente, nuove conoscenze relative agli PFAS indicano l'opportunità di proseguire ed ampliare anche ad altre matrici il monitoraggio di questi inquinanti nei prossimi programmi di ricerca, come anche richiesto dalla Commissione.

Gli altri studi promossi dalla Sezione 2 negli anni 2013, 2014, 2017 e 2021 (analisi in corso) hanno approfondito la tematica dei contaminati organici idrosolubili ("microinquinanti"), permettendo la determinazione robusta della contaminazione di base nelle acque del lago e nei suoi principali immissari. I dati hanno mostrato, in linea con le attese, delle criticità per alcuni tributari. Considerando l'aumento demografico e l'accrescimento dell'aspettativa di vita, la varietà e la quantità di microinquinanti nell'ambiente potrebbero aumentare ulteriormente, tendenza suggerita anche dai risultati del 2017 che hanno permesso per la prima volta di valutare delle tendenze temporali, che potrebbero essere influenzate anche a seguito della situazione pandemica che stiamo affrontando da oramai più di un anno. Nell'attesa che il vasto programma di lotta alla presenza di microinquinanti nelle acque, che dovrebbe portare nei prossimi anni al potenziamento degli IDA di Bioggio, di Mendrisio-Rancate e di Barbengo, possa portare a un miglioramento della qualità delle acque dei corsi d'acqua interessati e del Ceresio, è importante proseguire con il monitoraggio. Al momento

della stesura della presente proposta, i risultati della campagna CIPAIS del 2021, che tratta nuovamente questo argomento, non sono ancora disponibili.

L'accumulo progressivo di sedimenti, con la parallela incorporazione d'inquinanti affini al particolato, è un fenomeno ben documentato. Questo meccanismo, combinato all'analisi di diverse sezioni di sedimenti lacustri, è all'origine dell'interessante possibilità di ricostruire l'evoluzione storica di diversi inquinanti man mano presenti nell'ecosistema. I sedimenti del Ceresio sono già stati oggetto di analisi della CIPAIS in occasione della campagna del 2012, purtroppo con una bassa risoluzione temporale (analisi di 3 sole sezioni) e limitando gli approfondimenti ad alcuni analiti (DDT, PCB, IPA e metalli pesanti).

Sulla base di queste considerazioni, tenuto conto degli orientamenti strategici e degli obiettivi definiti nel Piano d'azione della CIPAIS, per il programma 2022-2024, sono previste con scopi diversi indagini differenziate di anno in anno.

## 1. INDAGINE DI CONTAMINANTI NEI SEDIMENTI

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (SPAAS), Bellinzona*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

A 10 anni dalla campagna CIP AIS del 2012, è interessante proporre nuovamente degli approfondimenti sui sedimenti lacustri del Ceresio, che conservano importanti informazioni sull'evoluzione storica di diverse tipologie di inquinanti. La campagna di 10 anni fa ha fornito indicazioni interessanti ma solo parziali, in ragione di una bassa risoluzione spaziale (verifica di due sole carote, entrambe nel bacino sud del lago), temporale (analisi di 3 sole sezioni), e limitando gli approfondimenti ad alcuni analiti (DDT, PCB e metalli pesanti).

### Scopo

Lo scopo dell'indagine qui presentata è di estendere la ricerca di contaminanti nei sedimenti lacustri a nuovi inquinanti, non ancora indagati in questa matrice, migliorando rispetto al passato anche la risoluzione temporale e spaziale delle verifiche. Si vuole così fornire per la prima volta un quadro rappresentativo dell'evoluzione storica di diversi inquinanti nell'ecosistema lacustre, considerando al contempo tutti i bacini del Ceresio: bacino Nord, bacino Sud, bacino di Ponte Tresa.

### Attività

È prevista in un singolo momento di prelievo la raccolta di tre carote lacustri in altrettante diverse zone del lago (Gandria, Figino, Ponte Tresa). Le carote verranno analizzate per determinare i tassi di sedimentazione e la datazione di diverse sezioni, permettendo così la campionatura mirata di sedimenti suddivisi per diversi periodi storici. Si prevede la suddivisione delle carote in sezioni rappresentative di 15 anni di sedimentazione, coprendo quindi con sette diversi campioni per carota gli anni 1915-1930, 1930-1945, 1945-1960, 1960-1975, 1975-1990, 1990-2005, 2005-2020. Complessivamente, verranno quindi analizzati diversi contaminanti per 21 campioni.

Vista l'impossibilità dell'Istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. La parametrizzazione coprirà isomeri, metaboliti o congeneri di DDT e PCB, così come metalli pesanti selezionati, PFAS e PBDE. Questa attività verrà svolta durante un solo anno (2022).

## **2. INDAGINI SULLA PRESENZA DI CONTAMINANTI ORGANICI PERSISTENTI E TOSSINE ALGALI NEL BIOTA (ORGANISMI FILTRATORI E FAUNA ITTICA)**

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (SPAAS), Bellinzona*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

La Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (POPs) si prefigge di ridurre al minimo le emissioni globali di sostanze particolarmente problematiche nell'ambiente. La Convenzione, che è stata ratificata dalla Svizzera nel 2003, è stata modificata nel tempo per annettere un crescente numero di inquinanti. Il monitoraggio di POPs nelle matrici lipidiche rappresenta uno strumento utile per verificare lo stato dell'ambiente e l'evoluzione nel tempo all'interno degli ecosistemi. Con la presente proposta di ricerca, i risultati disponibili a partire dalla metà degli anni '90 e i successivi monitoraggi sulla fauna ittica verranno proseguiti, ampliando al contempo la determinazione a "nuovi" POPs come i PFAS e i PBDE e a matrici poco indagate nel Ceresio. A questi POPs si affiancherà anche il monitoraggio di contaminanti di origine naturale come le tossine algali, presenti oramai in modo crescente nelle acque del Lago Lugano. Tra queste tossine, le microcistine prodotte in seguito alla proliferazione di fioriture algali (per esempio cianobatteri) possono avere effetti negativi sugli organismi acquatici, andandosi ad accumulare nei pesci attraverso la catena trofica.

### **Scopo**

DDT, PCB e metalli pesanti, sono stati analizzati nella fauna ittica del lago di Lugano a partire dal 1993. Al fine di proseguire la serie storica disponibile (1993 – 2000 – 2007 – 2009 - 2018), è auspicabile promuovere durante un anno ulteriori indagini sul comparto ittico su questi parametri. In aggiunta, la determinazione di POPs più recenti (PBDE, ricercati nel 2015 e nel 2018 e PFAS, ricercati nel 2015) permetterà una prima valutazione dei relativi trend temporali. Allo scopo di fornire garanzie sufficienti di rappresentatività e ripetibilità e confrontare in maniera robusta i risultati con quelli acquisiti nel passato, verranno considerati dei campioni (filetto) composti da un pool di almeno 5 esemplari di media grandezza. In parallelo, gli stessi campioni verranno analizzati per determinare la concentrazione di microcistine presenti nei tessuti dei pesci.

La determinazione degli inquinanti (POPs) citati verrà estesa a campioni di molluschi filtratori (*Dreissena polymorpha*), una matrice già studiata nel Ceresio in occasione delle campagne CIP AIS 2010 e 2011 per DDT, PCB e Hg. L'estensione dei parametri d'interesse consentirà una prima valutazione dei residui di PBDE e PFAS anche in questa matrice. Anche in questo caso, dovrà essere garantita sufficiente rappresentatività del campione, assicurando la raccolta di un sufficiente numero di esemplari opportunamente selezionati.



## **Attività**

Cattura di cinque pesci (a formare un campione singolo) per due specie differenti (agoni e pesce persico) in due zone del lago (bacino nord, bacino sud) e quattro diversi momenti dell'anno (marzo, giugno, settembre, dicembre) per un totale di 80 pesci e 16 campioni. Per l'analisi dei POPs verranno utilizzati i 16 campioni; per l'analisi delle microcistine ne verranno considerati 8. Nel caso dei molluschi, è prevista una cattura di ca. 200 esemplari, selezionati per integrità e dimensione (> 1 cm), presso tre punti di prelievo (Cantine di Gandria, Brusino e Caslano) in due diversi momenti dell'anno (maggio, novembre). Dopo la preparazione di un omogenizzato dei ca. 200 esemplari raccolti in ogni luogo e occasione di prelievo, verranno considerati per l'analisi dei POPs complessivamente 6 campioni.

Vista l'impossibilità dell'Istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. La parametrizzazione coprirà isomeri, metaboliti o congeneri di DDT e PCB, così come metalli pesanti selezionati, PFAS, PBDE e tossine algali. Questa attività verrà svolta durante un solo anno (2023).

### 3. INDAGINI SUI MICROINQUINANTI IDROSOLUBILI NELLE ACQUE DEL LAGO

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (SPAAS), Bellinzona*

*Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca*

Nei paesi industrializzati vengono utilizzate giornalmente decine di migliaia di preparati chimici diversi. In Svizzera, viene stimato l'utilizzo giornaliero di oltre 30000 sostanze che trovano impiego in applicazioni industriali, artigianali e domestiche, come prodotti fitosanitari, biocidi, farmaci o componenti di beni di consumo (prodotti per il corpo, detersivi, ecc.). Considerando l'aumento demografico e l'accrescimento dell'aspettativa di vita, la varietà e la quantità di microinquinanti nell'ambiente appaiono in aumento. L'evoluzione della situazione rende importante proseguire con l'esecuzione di campagne di monitoraggio. Questi dati serviranno a verificare l'efficacia delle misure previste sul territorio nei prossimi anni per diminuire la diffusione di microinquinanti nell'ambiente, come lo specifico (prossimo) potenziamento degli IDA di Bioggio, Mendrisio-Rancate e Barbengo.

#### **Scopo**

Lo scopo principale è quello di ripetere le indagini sulle acque del lago con la parametrizzazione adattata alle conoscenze acquisite nei precedenti programmi CIP AIS. Verranno quantificati nuovamente diversi microinquinanti appartenenti a classi differenti, in particolare i benzotriazoli, i dolcificanti artificiali, i complessanti, gli PFAS e diversi farmaci. Rispetto alle campagne precedenti (2014, 2017 e 2021), la parametrizzazione di dettaglio verrà adattata in funzione di conoscenze e necessità, con l'obiettivo di proseguire con diversi parametri per monitorarne l'evoluzione temporale, abbandonando d'altra parte sostanze con una presenza solo sporadica nelle acque del lago.

#### **Attività**

Prelievo di due campioni di acqua lacustre (diverse profondità) in quattro diversi punti del Ceresio (bacino nord, bacino di Ponte Tresa, Melide, Figino) e in quattro momenti dell'anno (in particolare prima e dopo il possibile rimescolamento verticale delle acque). Vista l'impossibilità dell'Istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. La parametrizzazione coprirà un'ampia gamma di microinquinanti della classe delle sostanze farmacologiche, dei benzotriazoli, di sostanze endocrine, di complessanti e di quattro edulcoranti artificiali. La tabella riassume i costi preventivabili.

Vista l'impossibilità dell'Istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. La parametrizzazione coprirà isomeri, metaboliti o congeneri di DDT e PCB, così come metalli pesanti selezionati, PFAS e PBDE. Questa attività verrà svolta durante un solo anno (2024).

## INDAGINI SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO CERESIO

### PREMESSA

Il programma di indagini che qui si presenta è stato formulato sulla base delle linee di azione della CIPAIS per il Lago di Lugano e delle richieste avanzate dalla Sottocommissione per soddisfare l'obiettivo specifico di conoscenza teso a identificare, valutare, ed analizzare tematiche emergenti relative agli ambienti litorali e ai diversi comparti dell'ecosistema.

In particolare la Sottocommissione indicava le seguenti tematiche prioritarie per lo sviluppo delle proposte di ricerca illustrate nelle pagine seguenti:

1. Indagine sulla diffusione di organismi alloctoni invasivi nel lago di Lugano sulla base delle indagini già svolte nella Sezione 3 e le indicazioni provenienti dal lago Maggiore.
2. Ambienti litorali: strutture, funzionalità e servizi. Sviluppo di uno strumento per una valutazione e presa di decisione sulle potenzialità di riqualificazione e prosecuzione delle indagini sull'efficacia delle misure di rivitalizzazione delle rive sull'ecosistema lacustre attraverso lo sviluppo di un indicatore per valutare il successo degli interventi e la corrispondenza agli obiettivi CIPAIS.
3. Indagini su indicatori funzionali e reti trofiche nella zona litorale. Relazione e interconnessione tra ambienti acquatici e terrestri.
4. Descrizione e comprensione del ruolo dei funghi acquatici nel funzionamento di una riva lacustre. Metodologia e standardizzazione del metodo con il cotton strip, proposta di calibrazione del cotton strip rispetto ad una situazione con materia organica naturale.
5. Indagini sulla presenza di microplastiche nelle acque di superficie, sulla colonna d'acqua e nei sedimenti pelagici per monitorarne la distribuzione spaziale e l'andamento delle concentrazioni nel tempo.



## 1. SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SORVEGLIANZA DELLE SPECIE ALLOCTONE INVASIVE ATTRAVERSO L'USO DEL DNA AMBIENTALE

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Istituto scienze della Terra, DACD-SUPSI, Mendrisio*

*Documentazione: consegna di rapporto finale del triennio di ricerca*

### **Premessa**

La diffusione delle specie alloctone è stata favorita dall'incremento del commercio e del turismo del secolo scorso e dai cambiamenti climatici. Negli ambienti acquatici, le specie alloctone a carattere invasivo sono tra le principali cause della perdita di biodiversità e dell'alterazione delle reti trofiche. Inoltre, possono avere un impatto negativo sulle attività umane. Diverse specie si sono diffuse rapidamente nel continente europeo, soprattutto dalla regione ponto-caspica e dal sud est asiatico. I laghi transfrontalieri sono fortemente soggetti al rischio di invasioni provenienti sia da nord, dalla Svizzera settentrionale e dall'Europa centrale (es. cozza Quagga), sia da sud, dal bacino idrografico del Po (es. *Sinanodonta woodiana*). Inoltre per alcune specie, già presenti nel Lago Maggiore (es. *Pectinatella magnifica*), il rischio di introduzione nel Lago di Lugano è elevato. Il rilevamento precoce di organismi invasivi permette di adottare misure immediate di contenimento e di limitarne l'impatto sull'ecosistema. L'uso di tecniche molecolari associate all'analisi del DNA ambientale (eDNA) è sempre più utilizzato a questo fine in complemento ai monitoraggi tradizionali, rispetto ai quali presenta vantaggi in termini di rapidità, sensibilità, specificità e costi. Questo metodo innovativo permette infatti di rilevare specie invasive ancora in procinto di colonizzare un nuovo ambiente, oppure difficilmente riconoscibili su base morfologica (es. veliger di Quagga).

Questo studio si propone di cercare la presenza di specie alloctone invasive di particolare interesse per il territorio ticinese nel Lago di Lugano, attraverso l'analisi di marcatori specie-specifici sul eDNA, e di determinarne la dinamica di espansione. Lo studio, che verrà condotto in parallelo nei laghi di Lugano da parte Svizzera e Maggiore da parte italiana, si pone inoltre l'obiettivo di sviluppare protocolli condivisi Italia-Svizzera per l'implementazione di strategie coordinate di ricerca e gestione in ambito transfrontaliero.

### **Obiettivi**

- Definire una lista di specie alloctone invasive a rischio di introduzione o espansione nel Lago di Lugano e nel Lago Maggiore di particolare interesse ai fini della gestione del rischio ambientale e/o economico.
- Mettere a punto un metodo di rilevamento innovativo basato sull'analisi del eDNA con marcatori specie-specifici.
- Valutare la presenza di specie invasive nel Lago di Lugano e il loro raggio di diffusione.
- Consolidare una strategia di monitoraggio a lungo termine delle specie invasive basata sul eDNA coordinata a livello transfrontaliero e ottimizzata in termini di costi-benefici

## Risultati attesi

Grazie alle competenze precedentemente acquisite dal Settore Limnologia dell'Istituto scienze della Terra all'interno di progetti europei (es. Eco-AlpsWater, DNAqua-NET) e uno studio pilota condotto per il Dipartimento del Territorio (Sorveglianza delle specie alloctone invasive nel Lago di Lugano e nel bacino svizzero del Lago Maggiore – 2020/2021), e sulla base delle esperienze acquisite dal IRSA-CNR nel progetto SPAM (2016-2018), il progetto permetterà di identificare le specie alloctone invasive a rischio di introduzione o espansione nel Lago di Lugano e nel Lago Maggiore e di ottimizzare un metodo per il loro rilevamento precoce, basato sull'analisi del eDNA. L'eventuale rilevamento di specie invasive permetterà di adottare una strategia di contenimento per prevenirne la diffusione e limitare i danni ecologici e economici. Lo studio permetterà inoltre di consolidare un piano di monitoraggio a lungo termine delle specie invasive che integri l'approccio innovativo basato sul eDNA ai metodi tradizionali.

Il coordinamento all'interno della CIPAIS con l'IRSA-CNR permetterà di uniformare le metodologie di analisi e gli approcci di ricerca e gestione integrata.

## Metodi

Lo studio viene eseguito sul Lago di Lugano dal settore Limnologia dell'Istituto scienze della Terra, con la collaborazione del Laboratorio di Microbiologia applicata. Lo studio di durata triennale (2022-2024) sarà così suddiviso:

- 1°anno, identificazione di una lista di specie invasive a rischio di introduzione o espansione nel Lago di Lugano e nel Lago Maggiore, in collaborazione con l'IRSA-CNR. Selezione di specie target per il Lago di Lugano tra quelle identificate, e revisione della letteratura dei metodi molecolari adottati per la loro ricerca mirata. Messa a punto dei metodi di campionamento e analisi e validazione su campioni di controllo. Cross-validazione del metodo per specie già identificate sul Lago Maggiore.
- 2°anno, campionamento e analisi, e stesura di un rapporto intermedio.
- 3°anno, elaborazione dei dati e stesura del rapporto finale.

La metodologia di campionamento, l'identificazione dei primers e le metodiche di analisi saranno messe a punto in collaborazione con l'IRSA-CNR per uniformare il metodo d'indagine. In sintesi nell'approccio proposto i campioni d'acqua vengono raccolti nel bacino nord e nel bacino sud del Lago di Lugano. Per ogni bacino verranno raccolti campioni lungo due transetti (ca. 6 km) e/o tre campioni integrati di 5-10 punti (1-2 m profondità) nell'habitat litorale. Il eDNA verrà estratto dai campioni d'acqua filtrati, e l'analisi di marcatori specie-specifici (es. 12s, COI) verrà condotta con tecniche di biologia molecolare (qPCR/PCR classica e sequenziamento). All'occorrenza saranno sviluppati nuovi primers per le specie target (5-10 specie) e saranno testati in silico. L'eventuale identificazione di una specie invasiva tramite metodo molecolare sarà seguita da un sopralluogo per verificarne la presenza. La lista di specie invasive target e il metodo molecolare sviluppato durante il primo anno di progetto verranno presentati in un rapporto intermedio. I risultati del progetto vengono consegnati in un rapporto finale.



## 2. BIODIVERSITÀ E PROCESSI MICROBICI IN CANNETI DI DIVERSA QUALITÀ SUL LAGO LUGANO

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Istituto scienze della Terra, DACD-SUPSI, Mendrisio*

*Documentazione: consegna di rapporto finale del triennio di ricerca*

### **Premessa**

Le zone litorali dei laghi sono hotspot di biodiversità acquatica e processi ecosistemici (Strayer and Findlay, 2010). I canneti intatti, in particolare, comprendono un habitat importante per molte specie di macroinvertebrati, pesci e uccelli. I canneti sono anche luoghi importanti per permettere lo svolgimento corretto dei cicli biogeochimici, compresa la decomposizione della materia organica (Kominkova et al., 2000). Nei grandi laghi svizzeri, gli ecosistemi a canneto sono spesso minacciati dai diversi usi umani e dalle esigenze delle zone litorali, tra cui le edificazioni delle rive, la navigazione motorizzata veloce in prossimità delle rive, l'accesso all'acqua, ecc. Di conseguenza, gli ecosistemi di canneto sono spesso degradati, il che influisce sul loro importante ruolo ecologico come habitat e hotspot di biodiversità e sui processi ecosistemici. La condizione dei canneti può essere valutata da indicatori demografici e morfologici relativi alla crescita e alla densità (Lastrucci et al., 2017). Per invertire gli effetti negativi degli impatti umani, i canneti sono sempre più al centro di programmi di rivitalizzazione. Questi consistono nella protezione del canneto dall'azione delle onde, nel reimpianto, ecc. (Ostendorp et al., 1995). La salute dell'ecosistema e il successo ecologico della rivitalizzazione possono essere misurati da indicatori strutturali e funzionali delle comunità biotiche rilevanti (Elosegi et al., 2017). La trasformazione della materia organica (in particolare la degradazione delle foglie) nel canneto è gestito dai microbi, in particolare dai funghi filamentosi (Kominkova et al., 2000). Pertanto, la biomassa, l'attività e la diversità dei microrganismi (in particolare dei funghi filamentosi) possono essere indicatori strutturali e funzionali informativi per conoscere la salute del canneto e l'effettiva funzionalità dei processi ecosistemici.

Questo progetto valuterà il ruolo della condizione di salute del canneto per la biodiversità microbica e i processi dell'ecosistema. Tale indagine sarà svolta in diverse superfici a canneto presenti sulle rive del lago di Lugano. Quindi, il progetto contribuirà all'aumento delle conoscenze sulle dinamiche ecologiche del lago così come a quelle legate all'utilizzo dei microrganismi, e dei processi ad essi legati, come indicatori dell'impatto dell'Uomo sugli ecosistemi chiave. Per esempio, il progetto potrà contribuire alla conoscenza del ruolo potenziale delle superfici a canneto nel ciclo del carbonio così come il loro contributo nel risanamento ambientale del lago in relazione al suo stato di eutrofizzazione.

Gli obiettivi del progetto, quindi, sono:

- (i) verificare, utilizzando diversi siti sperimentali, le correlazioni di diversi indicatori per la salute e le condizioni del canneto sulla biodiversità microbica così come sui processi ecosistemici relativi alla trasformazione della materia organica;
- (ii) valutare l'uso della degradazione di cotone come indicatore funzionale per l'attività microbica;

(iii) caratterizzare i siti rivitalizzati secondo gli stessi indicatori di salute e condizione del canneto;

(iv) testare il successo degli interventi di restauro del canneto (creazione di nuovi nuclei di canneto) sulla biodiversità microbica e sui processi ecosistemici.

Con questi obiettivi, il progetto affronta tre delle cinque priorità di ricerca della sottocommissione CIPAIS per la Sezione 3 per il triennio 2022-2024: Priorità 2 "Ambienti littorali: strutture, funzionalità e servizi", Priorità 3 "Indagini su indicatori funzionali e reti trofiche nella zona litorale", e Priorità 4 "Descrizione e comprensione del ruolo dei funghi acquatici nel funzionamento di una riva lacustre". Inoltre, il progetto sfrutta l'esperienza e i dati dei progetti di ricerca della CIPAIS Sezione 3 del triennio 2019-2021, cioè quello sugli "Effetti dell'ecomorfologia sull'input e la degradazione del materiale organico negli ecosistemi delle rive del Lago Ceresio" (LMA) e quello dei "Indagini sulla qualità dei nuclei di canneto (*Phragmites australis*) lungo le rive del lago Ceresio. Stato attuale e evoluzione 2000-2020" (STUDIO DI BIOLOGIA APPLICATA). In particolare, combina esperienze, dati e competenze interdisciplinari in un nuovo consorzio di ricerca composto di esperti del LMA e dello STUDIO DI BIOLOGIA APPLICATA.

Metodi: 20 siti sperimentali saranno selezionati sulla base della mappatura dei canneti del lago di Lugano eseguita da Paltrinieri & Pollini Paltrinieri nel precedente triennio di progetti di ricerca della sezione 3 della CIPAIS. Delle foglie di canneto saranno campionate in anticipo, essiccate, pesate ed esposte in sacchetti a maglia grossa (9 mm) e fine (0.25 mm) nei siti sperimentali (10 sacchetti per sito). I sacchetti a maglia grossa permetteranno l'accesso dei microrganismi e dei macroinvertebrati alle foglie, mentre quelli a maglia fine permetteranno solo l'accesso dei microrganismi. Questo metodo di indagine permette di paragonare il rispettivo contributo di questi due gruppi di organismi nei processi di decomposizione e quindi del loro contributo nella gestione delle reti trofiche. Inoltre, i campioni di cotone standardizzato saranno esposti in tutti i siti (10 campioni in sacchetti a maglia fine). Il cotone è già stato utilizzato come indicatore standardizzato per la degradazione microbica della materia organica (Tiegs et al., 2013). I campioni di foglie e di cotone saranno raccolti dopo tre mesi di esposizione. Saranno anche effettuati dei carotaggi di sedimento (100 mm di lunghezza, 25 mm di diametro) e i campioni verranno impiegati per caratterizzare le comunità microbiche del sedimento.

I campioni (foglie, cotone, sedimento) saranno trasportati in laboratorio per le seguenti analisi:

- (i) perdita di massa secca delle foglie (sacchetti a maglia grossa e fine);
- (ii) perdita di resistenza alla trazione del cotone;
- (ii) biomassa fungina nelle foglie (sacchetti a maglia grossa e fine);
- (iii) ricchezza di specie fungine e batteriche stimata dal metabarcoding (identificazione genetica).

## Bibliografia

Elosegi, A., Gessner, M.O., Young, R.G., 2017. River doctors: Learning from medicine to improve ecosystem management. *Science of the Total Environment* 595: 294–302.

Kominkova, D., Kuehn, K.A., Büsing, N., Steiner, D., Gessner, M.O., 2000. Microbial biomass, growth, and respiration associated with submerged litter of *Phragmites australis* decomposing in a littoral reed stand of a large lake. *Aquatic Microbial Ecology* 22: 271–282.



Lastrucci, L., Lazzaro, L., Coppi, A., Foggi, B., Ferranti, F., Venanzoni, R., Cerri, M., Ferri, V., Gigante, D., Reale, L., 2017. Demographic and macro-morphological evidence for common reed dieback in central Italy. *Plant Ecology & Diversity* 10: 241–251.

Ostendorp, W., Iseli, C., Krauss, M., Krumscheid-Plankert, P., Moret, J.-L., Rollier, M., Schanz, F., 1995. Lake shore deterioration, reed management and bank restoration in some Central European lakes. *Ecological Engineering* 5: 51–75.

Strayer, D.L., Findlay, S.E.G., 2010. Ecology of freshwater shore zones. *Aquatic Sciences* 72: 127–163.

Tiegs, S.D., Clapcott, J.E., Griffiths, N.A., Boulton, A.J., 2013. A standardized cotton-strip assay for measuring organic-matter decomposition in streams. *Ecological Indicators* 32, 131–139.



### **3. INGESTIONE DI MICROPLASTICHE DA PARTE DI MACROINVERTEBRATI BENTONICI: EFFETTI DELLE CONCENTRAZIONI AMBIENTALI E DEI TRATTI BIOLOGICI DEGLI ORGANISMI**

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Istituto scienze della Terra, DACD-SUPSI, Mendrisio*

*Documentazione: consegna di rapporto finale del triennio di ricerca*

#### **Premessa**

Poiché le microplastiche (MP, plastiche < 5 mm) sono state osservate in tutti gli ambienti d'acqua dolce, è importante comprendere se questa forma di inquinamento è nociva ai popolamenti biologici. Gli ecosistemi dei corsi d'acqua e delle fasce litorali dei laghi sono particolarmente suscettibili di contaminazione da MP poiché soggetti a inquinamento sia diffuso (*littering, runoff* urbano) che puntiforme (impianti di depurazione, sfioratori di piena). Inoltre, la fauna più caratteristica di questi ecosistemi, vale a dire la fauna macroinvertebrata bentonica –che si nutre di detrito e alghe di piccole dimensioni– è particolarmente a rischio di ingerire MP e subire impatti fisiologici. Il rischio di ingestione dipende presumibilmente dalle concentrazioni ambientali di MP a cui gli organismi sono esposti (dovute al tipo e alla quantità di fonti inquinanti) e dalle caratteristiche degli organismi stessi (tratti biologici quali lo stadio vitale o la modalità di alimentazione). L'insieme dei fattori biotici e abiotici che determinano il rischio di ingestione da parte della fauna macroinvertebrata è però poco conosciuto. Questo studio si propone di esaminare l'importanza di alcuni di questi fattori (fattori abiotici: grado contaminazione della matrice ambientale; fattori biotici: modalità di alimentazione) nel contesto del bacino del Lago di Lugano.

#### **Obiettivi**

- Verificare l'ingestione di MP da parte della fauna macroinvertebrata nei tributari e nelle fasce litorali del Lago di Lugano;
- Determinare l'influenza del grado di contaminazione della matrice ambientale (colonna d'acqua o sedimenti) e di fattori biotici (modalità di assunzione di cibo) sulla quantità di MP ingerite.

#### **Disegno sperimentale**

Per valutare l'influenza del grado di contaminazione ambientale sul rischio di ingestione di MP verranno confrontati siti relativamente poco contaminati con siti fortemente inquinati. Per i corsi d'acqua, il confronto riguarderà i corsi d'acqua con migliore qualità delle acque da un lato (Cuccio e Magliasina) e quelli più contaminati a causa dell'urbanizzazione del bacino e della presenza di impianti di depurazione dall'altro (Laveggio, Rio Bolletta, Vedeggio). I dati sulla quantità di microplastiche presenti nell'acqua e nei sedimenti verranno tratti dallo *Studio sulle microplastiche nel bacino del Lago di Lugano*, allegato.

Per le fasce litorali, verranno identificati 2-3 siti a forte contaminazione nei pressi di scarichi inquinanti e 2-3 siti poco contaminati sulla base di un'analisi pilota. In questi siti verrà misurata la contaminazione dell'acqua e dei sedimenti, oltre alla contaminazione della fauna macroinvertebrata. Per valutare l'influenza dei fattori biotici, per ciascuna tipologia di



ambiente (corsi d'acqua o fasce litorali) verranno analizzate specie di macroinvertebrati bentonici rappresentanti diverse modalità di alimentazione (per esempio filtratori, collettori e predatori). Le specie da analizzare verranno scelte anche in questo caso mediante indagini pilota e saranno le stesse per ciascun sito (entro ogni tipologia di ambiente) per garantire la confrontabilità dei risultati.

## Metodi

I macroinvertebrati dei corsi d'acqua verranno campionati con la tecnica del *kick sampling* nel mese di marzo, simultaneamente ai campionamenti della colonna d'acqua e dei sedimenti previsti per il progetto Studio sulle microplastiche nel bacino del Lago di Lugano. Il periodo di campionamento permetterà di campionare la fauna macroinvertebrata nel periodo di massima abbondanza, prima dell'emergenza degli insetti acquatici primaverile, e sedimenti non disturbati da recenti eventi di piena (le portate sono solitamente stabili in inverno). Dati sulla chimica delle acque saranno disponibili grazie al monitoraggio CIPAIS (Sezione 1).

I macroinvertebrati delle fasce lacustri verranno campionati mediante benne/retini o raccolta manuale diretta. La scelta del metodo e del periodo di campionamento verrà stabilita contestualmente allo studio pilota per la scelta delle specie. In laboratorio, i macroinvertebrati campionati verranno identificati e assegnati a gruppi funzionali secondo la modalità di assunzione di cibo. Le MP ingerite verranno analizzate mediante metodi tratti dalla letteratura scientifica, che comportano:

(i) rimozione di eventuali MP attaccate all'esoscheletro mediante pulizia in acqua distillata, (ii) digestione della materia organica e (iii) conteggio e identificazione delle MP al microscopio o allo stereomicroscopio. Verrà valutata la possibilità di usare microscopia in fluorescenza per facilitare il pt. (iii).

Le MP presenti nei sedimenti e nell'acqua delle fasce litorali verranno campionate mediante una benna (sedimenti) o retini da plancton (acqua). Le analisi di laboratorio ricalcheranno quelle usate per l'analisi dei corsi d'acqua (Studio sulle microplastiche nel bacino del Lago di Lugano).

## Durata e miltestones

La ricerca avrà durata triennale e sarà strutturata secondo la scaletta seguente:

2022	2023	2024
campionamento corsi d'acqua (macroinvertebrati)	campionamento fasce litorali (acqua, sedimenti, macroinvertebrati)	-
studi pilota per fasce litorali (scelta siti, specie, metodi)	-	-
analisi di laboratorio (corsi d'acqua)	analisi di laboratorio (corsi d'acqua e fasce litorali)	analisi di laboratorio (fasce litorali)
	rapporto di attività	rapporto finale

#### 4. STUDIO SULLE MICROPLASTICHE NEL BACINO DEL LAGO DI LUGANO

*Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona*

*Ente esecutore: Istituto scienze della Terra, DACD-SUPSI, Mendrisio*

*Documentazione: consegna di rapporto finale del triennio di ricerca*

##### **Premessa**

Recenti indagini hanno rilevato la presenza di microplastiche (MP; plastiche < 5 mm) in corsi d'acqua e laghi svizzeri, incluso il Lago di Lugano. Tuttavia non è ancora possibile prevedere gli impatti sulla biocenosi e sulla salute umana, perché le conoscenze sul grado di contaminazione ambientale e sugli impatti ecotossicologici delle MP presentano grosse lacune. Per esempio, le fonti, la distribuzione spaziale, e le sorti delle MP disperse in ecosistemi d'acqua dolce sono ancora quasi sconosciute.

Questo studio di tre anni (triennio CIPAI 2022-2024) si prefigge di colmare alcune di queste lacune conoscitive nel contesto del bacino del Lago di Lugano.

##### **Obiettivi**

- Quantificare il grado di contaminazione da MP dei principali comparti ambientali del Lago di Lugano, dei suoi tributari maggiori (Cassarate, Cuccio, Livone, Vedeggio, Magliasina, Scairolo, Bolletta e Laveggio) e del suo emissario (Tresa).
- Confrontare i risultati con quelli del Lago Maggiore e di altri laghi e corsi d'acqua per cui esistono dati pubblicati.
- Valutare il rischio tossicologico per gli organismi acquatici (zooplancton, zoobentos, pesci) mediante un confronto tra il grado di contaminazione osservato e delle soglie di tossicità tratte dalla letteratura scientifica.
- Valutare l'influenza del grado di urbanizzazione del bacino imbrifero e dei reflui provenienti da impianti di depurazione delle acque (IDA) sulla contaminazione dei corsi d'acqua.
- Mettere a punto protocolli condivisi Italia-Svizzera per l'implementazione di strategie di monitoraggio e ricerca coordinate in ambito transfrontaliero.

##### **Risultati attesi**

Queste indagini aiuteranno a contestualizzare il grado di contaminazione da MP del bacino in relazione alla situazione nazionale/internazionale, valutare il rischio eco-tossicologico portato alle biocenosi acquatiche, e identificare le principali fonti di inquinamento (*runoff* urbano, IDA). Inoltre, le indagini sono pensate come propedeutiche allo studio della contaminazione degli organismi acquatici. Inoltre, lo studio, di cui una parte verrà condotta in parallelo nei laghi di Lugano da parte Svizzera e Maggiore da parte italiana (vedi sotto), porterà allo sviluppo di protocolli condivisi Italia-Svizzera per il monitoraggio delle microplastiche in ambito transfrontaliero.



## Organizzazione

Il grado di contaminazione del bacino del lago verrà esaminato in tre comparti ambientali principali, che verranno studiati sequenzialmente (un comparto per anno):

1. Corsi d'acqua: a loro volta suddivisi nei sotto-comparti colonna d'acqua e sedimenti superficiali (o substrato).
2. Superficie del lago (campionamento standard con rete Manta)
3. Colonna d'acqua del lago: suddivisa in strato superficiale, strato produttivo (0-20 m), strato profondo (20-100 m nel bacino nord, 20-94 m nel bacino sud) e sedimenti. Questa parte dello studio verrà coordinata tra l'IST da parte Svizzera (incaricato dello studio sul Lago di Lugano) e l'Università degli Studi di Milano (incaricata dello studio sul Lago Maggiore) per assicurare che i metodi e le tempistiche di campionamento permettano il confronto tra i laghi.

## Metodi

Il disegno sperimentale e l'approccio metodologico per ciascun tipo di indagine sono riportati in Appendice. La sequenza potrebbe essere ripetuta in futuro in modo da portare a un monitoraggio di ogni comparto con cadenza triennale.

## Durata e milestones

La ricerca avrà durata triennale e sarà strutturata secondo la scaletta seguente:

2022	2023	2024
campionamento corsi d'acqua	campionamento superficie lago (rete manta)	campionamento lago (colonna d'acqua)
campionamento colonna d'acqua (integrazione 2021)	-	-
analisi laboratorio (zona pelagica)	analisi laboratorio (corsi d'acqua + superficie lago)	analisi laboratorio (colonna d'acqua)
	rapporto di attività	rapporto finale

## Appendice

### 1. Corsi d'acqua

#### Disegno sperimentale:

I bacini dei corsi d'acqua del Lago di Lugano comprendono un gradiente tra bacini poco antropizzati (Magliasina, Cuccio) e bacini fortemente antropizzati (Laveggio, Bolletta, Scairolo). Inoltre, quattro tributari (Vedeggio, Laveggio, Scairolo, Bolletta) ricevono reflui provenienti da IDA, mentre gli altri sono soggetti principalmente a inquinamento diffuso. Le stazioni di studio verranno localizzate in corrispondenza delle attuali stazioni usate nel monitoraggio CIPAIS: una stazione nei corsi d'acqua senza IDA e due stazioni (monte/valle) nei corsi d'acqua con IDA (totale: 13 stazioni). Questo disegno permetterà di quantificare contemporaneamente gli effetti del grado di urbanizzazione e degli IDA sul grado di contaminazione da MP rilevato nelle diverse stazioni. Nei corsi d'acqua vengono distinti due sotto-comparti: colonna d'acqua e sedimenti (substrato). Le stazioni verranno campionate una volta con repliche (tre campioni per sotto-comparto, data e sito) in un periodo di portate stabili (al di fuori di periodi di piena).

#### Metodi

##### Contaminazione da MP della colonna d'acqua

Per quest'indagine verranno usati dei retini da drift ("drift nets") ancorati al letto del corso d'acqua. I retini verranno muniti di mulinelli idrometrici, che permetteranno di misurare il volume di acqua filtrata durante ciascun campionamento. La durata di un campionamento (indicativamente 30 min-1 h) verrà identificata mediante uno studio pilota. I campioni raccolti (13×3=39 campioni) verranno processati ed analizzati in laboratorio secondo metodi standard: le MP verranno (i) separate dalla materia organica mediante ossidazione, (ii) suddivise in classi dimensionali (0.100-0.249 mm, 0.250-0.999 mm, 1.00-4.99 mm, >5.00 mm) mediante setacciatura, e (iii) suddivise per tipologia morfologica (frammento, polistirene espanso, filamento, fibra, pellet, film) mediante osservazione allo stereoscopio. I risultati verranno espressi in numero (#) MP/m<sup>3</sup> (totale, per classi dimensionali, per tipologia morfologica).

##### Contaminazione da MP del substrato

Le plastiche presenti nei sedimenti superficiali, fino a una profondità di ca. 5 cm, verranno campionati mediante un campionatore di Hess. Il metodo consiste nel risospingere i sedimenti leggeri (incluse le plastiche) nell'area circoscritta dal campionatore. I campioni (13×3=39 campioni) verranno processati in modo simile agli altri, con l'aggiunta di una separazione delle plastiche dal sedimento minerale mediante immersione in soluzione salina (densità > 1 kg/L). I risultati verranno espressi in numero MP/m<sup>2</sup> (totale, per classi dimensionali, per tipologia morfologica).

### 2. Superficie del lago

#### Disegno sperimentale

Misure della contaminazione da MP della superficie del lago verranno eseguite con cadenza stagionale nei due principali bacini del lago (nord e sud). In ogni bacino e ogni stagione

vengono eseguiti campionamenti lungo 3 transetti di 3 km ciascuno ( $4 \times 2 \times 3 = 24$  campioni in totale).

### **Metodi**

Il campionamento verrà eseguito mediante una rete Manta (Hydro-Bios). I campioni raccolti verranno processati e analizzati secondo gli stessi protocolli usati per i campioni dei corsi d'acqua. I risultati verranno espressi in numero MP/m<sup>2</sup> (totale, per classi dimensionali, per tipologia morfologica).

## **3. Zona pelagica**

### **Disegno sperimentale**

La determinazione della distribuzione spaziale si concentrerà sulle stazioni lacustri di Gandria e Figino, rappresentanti il bacino nord e il bacino sud. La zona pelagica viene suddivisa nei sotto-comparti: strato superficiale, strato produttivo (0-20 m), strato profondo (20-100 m per il bacino nord, 20-94 m per il bacino sud), e sedimenti. Gli strati superficiale, produttivo e profondo verranno campionati stagionalmente. I sedimenti verranno campionati un'unica volta.

### **Metodi**

Il campionamento verrà eseguito usando retini (rete Manta per la superficie, retino da plancton per lo strato produttivo, retino da plancton chiudibile per le acque profonde) e un carotatore (per i sedimenti). I retini avranno maglia = 0.1 mm (compromesso tra l'intento di raccogliere MP di piccole dimensioni e la necessità di evitare l'intasamento della rete durante la stagione vegetativa). In questa parte dello studio verranno quindi incluse anche plastiche di piccole dimensioni (0.1-1 mm), normalmente escluse da monitoraggi estensivi. I campioni raccolti verranno processati e analizzati secondo gli stessi protocolli usati per i campioni dei corsi d'acqua. I risultati verranno espressi in # MP/m<sup>2</sup> (strato superficiale), # MP/m<sup>3</sup> (strato produttivo e profondo) e # MP/unità volume e peso secco (sedimenti; unità opportune verranno scelte in base ai risultati). I metodi e il periodo di campionamento verranno armonizzati con quelli dell'Università degli studi di Milano, che eseguirà indagini simili sul Lago Maggiore, al fine di poter confrontare i due laghi