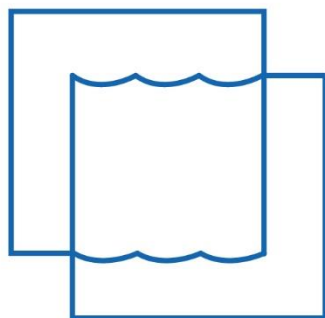




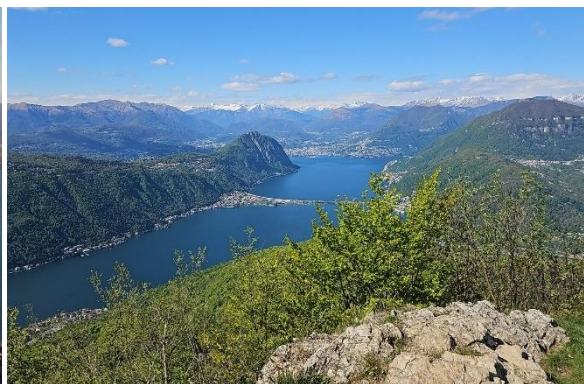
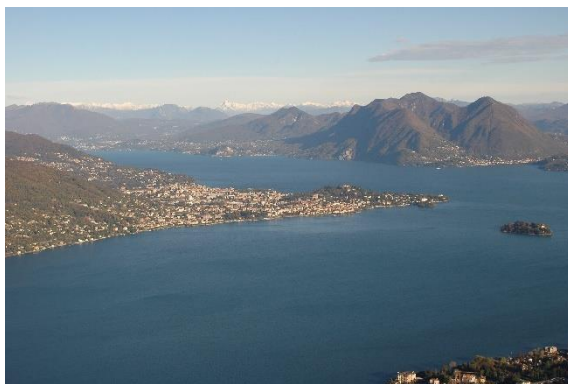
CIPPAIS

Commissione
internazionale per la
protezione delle acque
italo-svizzere



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

TRIENNIO 2025-2027



Dicembre 2024



SOMMARIO

PREFAZIONE.....	3
INDAGINI LIMNOLOGICHE SUL LAGO MAGGIORE	6
RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE LIMNOLOGICHE 2025-2027 (IN EURO, IVA COMPRESA)	37
INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO MAGGIORE	38
RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SULLE SOSTANZE PERICOLOSE TRIENNIO 2025-2027 (IN EURO, IVA COMPRESA)	67
INDAGINI SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO MAGGIORE	68
RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI TRIENNIO 2025-2027 (IN EURO, IVA COMPRESA)	81
INTRODUZIONE AL PROGRAMMA DI RICERCA PER IL LAGO DI LUGANO	83
INDAGINI LIMNOLOGICHE	84
INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NEL LAGO DI LUGANO	91
RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SOSTANZE PERICOLOSE TRIENNIO 2025-2027 (in CHF).....	99
INDAGINI SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI NELL'ECOSISTEMA DEL LAGO CERESIO.....	100
RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI TRIENNIO 2025-2027 (in CHF).....	112
RIASSUNTO COSTI COMPLESSIVI (IN EURO, IVA COMPRESA) PER IL PROGRAMMA DI RICERCHE DEL LAGO MAGGIORE.....	113
RIASSUNTO COSTI COMPLESSIVI (IN CHF) PER IL PROGRAMMA DI RICERCHE DEL LAGO DI LUGANO	115

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, nonché gli enti locali e i comuni rivieraschi.

Si tratta principalmente di esigenze qualitative espresse non soltanto dalla normativa emanata dai due Paesi, ma anche emergenti da rapporti e studi scientifici.

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, 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".
2. Mantenere le serie storiche più significative acquisite dalla CIPAIS nel corso degli ultimi decenni, 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.
3. Evitare indagini in sovrapposizione alle attività istituzionali delle agenzie governative di monitoraggio, per evitare possibili incongruenze e spreco di risorse e indirizzare verso ambiti d'indagine innovativi, volti alla tutela dell'ecosistema da pericoli emergenti.
4. 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.
5. 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 e norme gestionali di salvaguardia dell'ecosistema.

E' da ricordare, inoltre, la decisione assunta dalla Commissione durante la riunione dello scorso 27 e 28 ottobre 2023 relativamente al valorizzare:



- i prodotti del progetto SIMILE, con particolare riferimento ai dati satellitari, al mantenimento delle boe limnologiche già acquistate ed alla valorizzazione dei dati generati tramite integrazione della piattaforma SIMILE sul sito web CIPAIS;
- una possibile introduzione ed ulteriore implementazione delle metodologie sviluppate dal progetto SIMILE nel nuovo Programma delle Ricerche CIPAIS, con relativa valutazione di sostenibilità finanziaria da parte della Commissione.

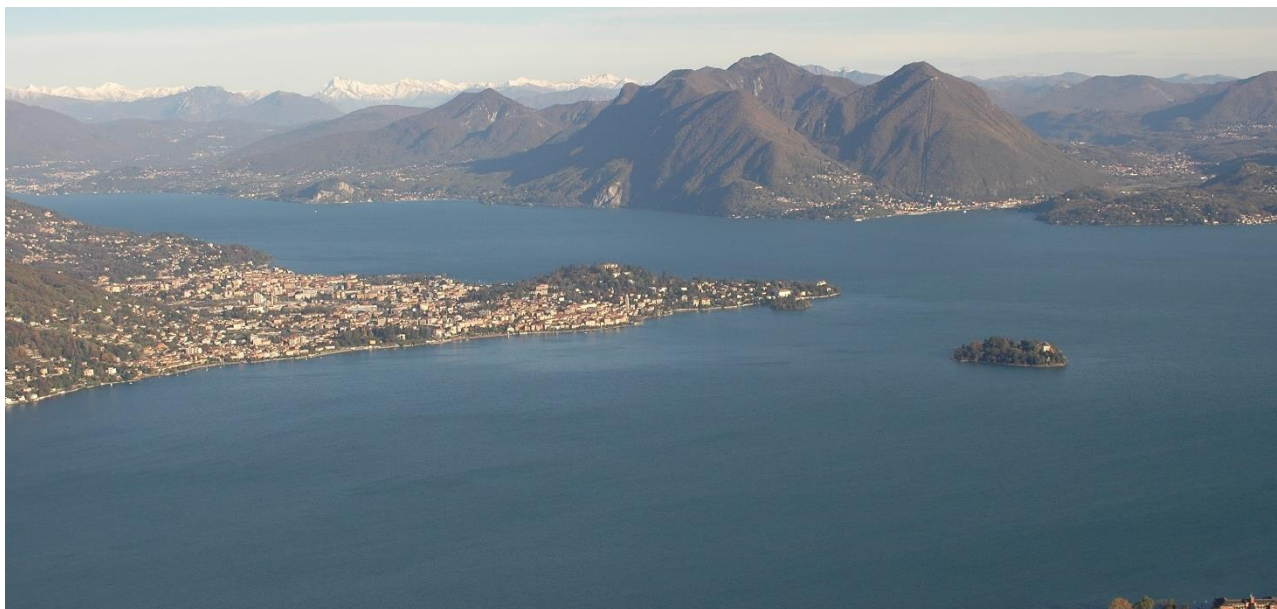
Inoltre, il programma di ricerche dovrà essere coerente con gli ambiti d'azione e gli obiettivi illustrati nel capitolo 5 del Piano d'Azione, richiamati nell'allegato al presente documento.

Considerando i criteri sopra esposti e gli esiti della riunione di Commissione del 27 ottobre 2023, nella quale sono stati formulati gli indirizzi prioritari delle linee di ricerca per il nuovo programma del triennio 2025-2027, 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
2025-2027

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 e integrando 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, rendendolo uno dei laghi maggiormente studiati al mondo. 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 fattori di pressione antropica che gravano sul lago e sul suo bacino, nonché gli effetti del cambiamento climatico sulla qualità chimico-fisica ed ecosistemica nel suo complesso.

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 buono 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 consente 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. Un'ulteriore innovazione riguarda la scelta di banche dati online internazionali per depositare i dati raccolti, in un'ottica di scienza FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

Nel campo delle indagini sugli effetti del cambiamento climatico, il programma 2025-2027 si caratterizza per un'elevata attenzione agli eventi meteorologici estremi, in particolare sulla frequenza e distribuzione spaziale delle precipitazioni intense, sulla frequenza e durata dei periodi siccitosi, sugli aumenti di temperature e sulle loro possibili conseguenze sulla qualità complessiva del lago. Particolare attenzione sarà rivolta anche al ruolo degli eventi e dei trend meteorologici a scala di bacino negli andamenti delle successioni fitoplanctoniche, zooplanctoniche e delle comunità batteriche, con enfasi



su potenziali patogeni e batteri resistenti agli antibiotici. 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 2025-2027 si prevede la continuazione delle indagini del carbonio proseguendo l'inclusione di analisi delle schiume che di frequente balzano 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. Una nuova proposta di ricerche riguarda l'analisi dei potenziali effetti del riscaldamento globale sulla comunità microbica con riferimento ai batteri potenzialmente patogeni.

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 CIPAIS e degli Autori del dato che ne concorderanno congiuntamente le modalità di diffusione. In aggiunta, i dati saranno resi disponibili online attraverso banche dati dedicate, riportate in dettaglio per ognuna delle linee di ricerca proposte. I metadati relativi al sito del Lago Maggiore sono disponibili su <https://deims.org/f30007c4-8a6e-4f11-ab87-569db54638fe>.

1. VALUTAZIONI CLIMATICHE DEI PRINCIPALI PARAMETRI METEO-IDROLOGICI E DEFINIZIONE DI INDICI SINTETICI PER LA VALUTAZIONE DEI FENOMENI ESTREMI NELL'AREALE 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

Nell'ultimo triennio abbiamo assistito all'effetto del cambiamento climatico rispetto all'intensificarsi dei fenomeni siccitosi, anche in un bacino ricco di acqua come quello del Lago Maggiore. Una corretta gestione della risorsa idrica e politiche di governance che tengano conto dei molteplici aspetti legati all'utilizzo della risorsa idrica, sono sempre più importanti e necessari se si vogliono trovare strategie di adattamento e azioni di mitigazione al cambiamento climatico. È indiscutibile che la gestione e la governance non possono essere sviluppate e applicate senza dati e conoscenze scientifiche in merito all'evoluzione della risorsa nel tempo e nello spazio, legata alla quantificazione delle piogge, delle temperature, delle portate dei corsi d'acqua e delle acque stoccate nel lago.

Secondo i rapporti dell'IPCC del 2013 e del 2022, entro la fine di questo secolo, si prevede una diminuzione annuale del deflusso superficiale d'acqua anche nell'Europa meridionale dove ci si aspetta un aumento della variabilità delle precipitazioni che porterà ad un aumento della frequenza degli eventi estremi, alluvioni e prolungati periodi di siccità, questi ultimi dovuti anche ad un aumento dell'evaporazione.

L'effetto del cambiamento climatico non sarà solo inerente alla quantità di risorsa che risulterà disponibile, ma anche alla sua qualità, infatti, è importante ricordare che la qualità dell'acqua superficiale può diminuire a causa dell'aumento della temperatura estiva, dei bassi livelli di fiumi e laghi con conseguenti fioriture algali (McBean and Motiee, 2008; Rohde et al., 2020; Aggarwal et al., 2021). È quindi probabile che i cambiamenti futuri nelle precipitazioni e nell'evapotraspirazione possono avere un impatto sulla qualità e la quantità di risorsa idrica e sugli ecosistemi acquatici (Woodward and Perkins, 2015; Pokhrel et al., 2021).

Il cambiamento climatico ha un impatto sul sistema fluviale e lacustre, ma sarà l'elevato livello di prelievo d'acqua la causa principale che ridurrà la portata di molti corsi d'acqua e dei livelli dei laghi. Un cambiamento nella governance e la condivisione delle risorse idriche tra ambiente e utilizzatori sono quindi necessari per proteggere e sostenere i servizi ecosistemici fluvio-lacustri.

È quindi per questi motivi che continuare a mantenere una rete di misura dei diversi parametri meteo-idrologici all'interno di un bacino transfrontaliero e strategico come quello del Lago Maggiore, valutandone i cambiamenti e sviluppando metodi di analisi ad hoc, è essenziale per capire l'evoluzione nel tempo e nello spazio della risorsa idrica. Solo in questo modo è possibile tutelare gli ecosistemi acquatici, la qualità e la sicurezza della vita e le attività socio-economiche secondo i tre pilastri della

sostenibilità: Ambiente, Società ed Economia. Infatti, un ulteriore approfondimento delle conoscenze di un sistema complesso come quello del Lago Maggiore è propedeutico alla definizione di strategie di gestione adatte al cambiamento climatico ma soprattutto di adattamento, tali da permettere la tutela degli ecosistemi, la condivisione della risorsa e lo sviluppo socio-economico ad essa legato, in tutti gli attuali ambiti.

Obiettivi

Principale obiettivo sarà quello di mantenere e aggiornare le lunghe serie temporali di dati idro-meteorologici ad oggi disponibili, sia mantenendo attiva la rete meteo-idrologica del CNR IRSA di Verbania, sia raccogliendo i dati dei diversi Enti presenti sul territorio al fine di analizzarli e di definire la loro evoluzione nello spazio e nel tempo.

Un ulteriore obiettivo sarà quello di definire indici specifici ad hoc per la valutazione dei fenomeni estremi come eventi intensi di pioggia, periodi prolungati di siccità, temperature massime e minime estreme, raffiche estreme di vento, che possano rispondere alle necessità di definizione delle aree più soggette a tali eventi, e di studio del loro andamento in modo da fornire informazioni sulla frequenza e la gravità di questi eventi all'interno del bacino imbrifero del Lago Maggiore.

Si vogliono quindi approfondire i seguenti aspetti:

- a) Mantenere e aggiornare le lunghe serie temporali di dati meteo-idrologici;
- b) Definire indici di eventi estremi aggiornati mensilmente;
- c) Approfondire la copertura strumentale del bacino alla luce delle elaborazioni statistiche effettuate nei punti precedenti.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

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 un ricercatore e da due tecnici.

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

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo Unitario	N°	Totale
Raccolta dati, elaborazioni statistiche, mappe, indicatori	a corpo	-	11700
Uscite per misure di portata	1500	2	3000
Manutenzione/Installazione strumentazione			10000
Totale per anno			24700
TOTALE NEL TRIENNIO			74100

Bibliografia

- Aggarwal, A., Frey, H., McDowell, G., Drenkhan, F., Nüsser, M., Racoviteanu, A., & Hoelzle, M. (2021). Adaptation to climate change induced water stress in major glacierized mountain regions. *Climate and Development*, 1-13.
- IPCC (2013). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 1535. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2022) Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. H.-O. Pörtner et al (ed) Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge Univ Press, Cambridge & New York. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- McBean, E., & Motiee, H. (2008). Assessment of impact of climate change on water resources: a long term analysis of the Great Lakes of North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(1), 239-255.
- Pokhrel, Y., Felfelani, F., Satoh, Y., Boulange, J., Burek, P., Gädeke, A., ... & Wada, Y. (2021). Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. *Nature Climate Change*, 11(3), 226-233.
- Rohde, M. M., Reynolds, M., & Howard, J. (2020). Dynamic multibenefit solutions for global water challenges. *Conservation Science and Practice*, 2(1), e144.
- Woodward, G., & Perkins, D. M. (2015). Biodiversity, ecosystem functioning, and services in fresh waters: Ecological and evolutionary implications of climate change. In *Aquatic functional biodiversity* (pp. 127-155). Academic Press.

2. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DELLE PIENE E DEGLI EVENTI ESTREMI DI VENTO SUL REGIME DI MESCOLAMENTO DEL LAGO MAGGIORE ATTRAVERSO L'UTILIZZO 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 stanno avendo un impatto significativo sull'intensità, sulla frequenza e sulla durata degli eventi di mescolamento nei laghi delle zone temperate, nonché sulla durata dei periodi di stratificazione (Danis et al., 2004). Questo fenomeno è causato sia dall'incremento della temperatura dell'aria, che comporta un riscaldamento disomogeneo degli strati lacustri, con l'epilimnio che si riscalda più rapidamente rispetto all'ipolimnio, aumentando così il gradiente termico verticale nella colonna d'acqua (Livingstone 2003), sia dalle variazioni nei campi di vento e nel regime delle precipitazioni, soprattutto nelle aree montane. Le modifiche al regime di mescolamento dei laghi profondi, in particolare la diminuzione della frequenza della completa omogeneizzazione, comportano rilevanti implicazioni ecologiche, tra cui la riduzione dell'ossigenazione dello strato profondo dei laghi e la diminuzione dello scambio di nutrienti tra epilimnio e ipolimnio. A questo si aggiunge la ridotta profondità di intrusione degli affluenti (Dresti et al., 2023), che hanno sempre rappresentato una importante fonte di ri-ossigenazione degli strati più profondi del lago.

Le 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 permesso di studiare a lungo e in maniera approfondita l'areale del Lago Maggiore, dove si sono osservate variazioni significative nell'intensità del vento, nella temperatura dell'aria e nella tipologia e distribuzione della pioggia. Inoltre, le ricerche di limnologia fisica condotte sul Lago Maggiore negli ultimi 30 anni hanno permesso di seguire l'evoluzione dei cicli stagionali dell'idrodinamica lacustre, che hanno rivelato segnali di lente e progressive alterazioni nei principali parametri fisici. Nell'ultimo triennio, è stato possibile 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 tramite l'utilizzo di un modello idrodinamico monodimensionale. Tuttavia, 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 nel pieno dettaglio. Per questo motivo, è stato anche calibrato e validato un modello tridimensionale per il Lago Maggiore. Il modello tridimensionale ora disponibile è in grado di riprodurre i campi di moto risultanti da campi di vento realmente osservati sulla superficie del lago ed è uno strumento fondamentale per comprendere varie problematiche indotte dagli eventi meteorologici intensi, essendo lo strumento modellistico più completo a oggi a disposizione. In sinergia con le ricerche proposte che considerano gli aspetti meteo-climatici, chimici e biologici, la presente ricerca si

focalizzerà sull'obiettivo di una miglior comprensione e previsione della risposta dell'ecosistema lacustre agli eventi meteorologici estremi.

Obiettivi

La ricerca che si propone per il triennio 2025-2027 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 tridimensionale calibrato e validato nel triennio 2022-2024 per simulare effetti di eventi estremi di intensità di vento e delle piene fluviali sulla profondità di mescolamento, sull'ossigenazione degli strati profondi e sulla distribuzione dei nutrienti lungo la colonna d'acqua nel Lago Maggiore, al fine di individuare la possibile posizione dei bloom fitoplanctonici. Il modello tridimensionale è lo strumento modellistico più completo a oggi a disposizione e risulterà fondamentale per comprendere varie problematiche indotte dagli eventi meteorologici intensi.

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 ossigenazione, 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 ottenuti da 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.

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:

- *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.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

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 310). 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 previsti 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 tridimensionale Delft3D, sono necessarie ulteriori misure con il profilometro a ultrasuoni Nortek Signature 500 per migliorarne la validazione. Per questo saranno previste almeno 6 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). Proseguiranno inoltre le misure con le boe correntometriche acquistate nel precedente triennio e dotate di GPS, da lasciare diverse ore in sito in modo da registrare in continuo i loro spostamenti. Le boe saranno spesso posizionate vicino alla foce di alcuni affluenti di interesse (ad esempio fiume Toce, torrente San Bernardino e torrente Cannobino).

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	N°	Total e
Campionamento mensile a centro lago per misure di temperatura	200	12	2400
Campagne di misura con il profilometro a ultrasuoni Nortek Signature 500 (1 giorno ciascuna)	2500	6	15000
Campagne per posizionamento e recupero boa correntometrica	500	6	3000
Elaborazione dati applicazione modello 3D	a corpo		5600
Totale per anno			26000
TOTALE NEL TRIENNIO			78000

Bibliografia

- Ambrosetti W., Barbanti L. 1999. Deep water warming in lakes: an indicator of climatic change. *J Limnol* 58(1): 1–9. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.1999.1>.
- 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. *Geophys Res Lett* 31(21):L21507. doi:10.1029/2004GL020833.
- Dresti C., Rogora M., Fenocchi A., 2023. Hypolimnetic oxygen depletion in a deep oligomictic lake under climate change. *Aquatic Sciences* 85 (4). <https://doi.org/10.1007/s00027-022-00902-2>
- Livingstone D.M. 2003. Impact of Secular Climate Change on the Thermal Structure of a Large Temperate Central European Lake. *Climatic Change* 57(1):205-225. doi:10.1023/A:1022119503144.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K. et al. 2015. Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophys Res Lett* 42(24):773-10,781. doi:10.1002/2015GL066235.



- 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. *Limnol Oceanogr* 54(5):1574-1594. doi:10.4319/lo.2009.54.5.1574.
- 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.



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

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

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

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

Premessa

Grazie alle campagne limnologiche finanziate con continuità da CIP AIS, per il Lago Maggiore esistono serie pluridecennali di dati relativi alla termica delle acque, ai nutrienti, all'ossigeno disciolto ad altri parametri chimici. Questi dati, raccolti con metodiche standard e confrontabili nel tempo, hanno permesso l'inserimento del Lago Maggiore nella Rete italiana ed europea LTER (Long-Term Ecological Research) (<http://www.lteritalia.it/>; <https://elter-ri.eu/>), che si appresta a diventare Joint Research Unit (JRU), oltre che in network internazionali di ricerca, tra cui GLEON (Global Lake Observatory Network; <https://gleon.org/>). Questi network si basano fortemente sulla condivisione di dati e metadati, per ottenere risultati a scala regionale o globale sulla riposta dei laghi a fattori naturali ed antropici. Per rispondere a queste esigenze e per adempiere alla necessità di condividere i dati delle ricerche con un pubblico più ampio possibile, i metadati ed i dataset relativi alla chimica del Lago Maggiore vengono resi disponibili tramite il registro DEIMS-SDR (Dynamic Ecological Information Management System-Site and dataset registry) della Rete LTER a questo link: <https://deims.org/f30007c4-8a6e-4f11-ab87-569db54638fe>

Le indagini sulla chimica del Lago Maggiore e dei suoi tributari hanno permesso di realizzare, mediante collaborazioni nazionali ed internazionali, lavori finalizzati all'analisi degli effetti di inquinanti, nutrienti e fattori meteo-climatici sulla qualità delle acque (Rogora et al., 2018; 2021; Tanentzap et al., 2020; Tasselli et al., 2023), contribuendo anche ad analisi su scala globale (O'Reilly et al., 2015; Pilla et al., 2020; Kraemer et al. 2021; Jane et al., 2021; Templer et al., 2022).

Questi risultati nel loro complesso evidenziano l'importanza delle serie di dati a lungo termine, raccolti con modalità standard e confrontabili nel tempo e a frequenza sufficientemente elevata, nell'analisi e comprensione del funzionamento degli ecosistemi lacustri. Questi dati rappresentano inoltre un contributo alla gestione e conservazione delle risorse idriche, nonché un supporto allo sviluppo e calibrazione (Fenocchi et al., 2020; Dresti et al., 2023), oltre che alla messa a punto e validazione di metodologie innovative di monitoraggio, quali l'uso dei dati satellitari o il monitoraggio ad alta frequenza (HFM) mediante sensori in-situ (Tiberti et al., 2021; Rogora et al., 2023).

I risultati delle analisi sulle serie storiche di dati hanno evidenziato come le dinamiche dei nutrienti, e più in generale delle variabili chimiche e chimico-fisiche, nelle acque del Lago Maggiore sono fortemente influenzate dai fattori meteo-climatici. Tra le principali tendenze emerse vi è la diminuzione dell'ossigeno disciolto negli strati profondi, comune agli altri laghi profondi subalpini e a numerosi altri laghi nel mondo (Rogora et al., 2018; Jane et al., 2021). Causa principale di questo fenomeno è la limitata circolazione delle acque, conseguente agli effetti del riscaldamento climatico. Lo stesso fattore determina un accumulo di nutrienti nelle acque profonde e una mancata ridistribuzione in epilimnio, con una tendenza ad una marcata e persistente oligotrofia delle acque

superficiali (Rogora et al., 2021). Questa situazione, con un marcato disaccoppiamento tra epilimnio ed ipolimnio, riguarda principalmente fosforo e silicati, mentre nel caso dei composti dell'azoto, in particolare del nitrato, si assiste ad una progressiva diminuzione alle diverse profondità, determinata in parte dalla riduzione degli apporti di azoto dal bacino ma in cui potrebbe avere un ruolo importante anche la composizione della comunità fitoplanctonica.

Obiettivi

La ricerca ha come principale obiettivo il mantenimento e l'aggiornamento delle serie storiche esistenti per una serie di variabili chimiche e chimico-fisiche (temperatura, trasparenza, pH, conducibilità, alcalinità, ossigeno disciolto, nutrienti algali) del Lago Maggiore e dei suoi principali tributari.

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 e loro effetti sulla distribuzione verticale di ossigeno e nutrienti. Queste attività verranno svolte in stretta collaborazione con la ricerca 2, investigando le interazioni tra gli aspetti idrodinamici e chimici, e con la ricerca 4, allo scopo di valutare il ruolo della comunità fitoplanctonica nelle variazioni temporali dei nutrienti.

La frequenza mensile di rilievo dei profili di temperatura, conducibilità e ossigeno e di raccolta e analisi dei campioni a profondità discrete consentirà inoltre di valutare l'effetto di particolari condizioni meteo-idrologiche (es. siccità, precipitazioni intense) sul chimismo delle acque. Questa attività verrà svolta con il supporto dei dati ad alta frequenza provenienti dalle boe limnologiche presenti sul Lago Maggiore installate nell'ambito del progetto INTERREG SIMILE (Tiberti et al., 2021).

Nel triennio 2025-2027 verrà eseguito un confronto tra il metodo di Winkler, utilizzato per tutte le determinazioni dell'ossigeno nel Lago Maggiore dall'inizio delle indagini ad oggi, e i dati rilevati dalla sonda Idronaut Ocean Seven 310, recentemente acquisita, allo scopo di valutare il possibile passaggio alla sonda come metodo di riferimento per la determinazione dell'ossigeno.

Ai carichi totali di fosforo e azoto al Lago Maggiore 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. Altri tributari, come Bardello e Boesio, pur caratterizzati da una portata limitata, contribuiscono in maniera non trascurabile al carico totale, in particolare di fosforo, a causa delle elevate concentrazioni tuttora presenti nelle loro acque. Nel caso del Bardello il monitoraggio riveste particolare importanza considerando la necessità di verificare gli apporti al Lago Maggiore durante il funzionamento dell'impianto di prelievo ipolimnico del Lago di Varese. Al fine di calcolare gli apporti totali di fosforo e azoto e aggiornare le serie storiche, verrà quindi mantenuto il monitoraggio dei tributari principali, per i quali sono disponibili dati di portata, con frequenza bimestrale. Verrà inoltre mantenuto il monitoraggio del Ticino emissario, consentendo così di calcolare i carichi in uscita e quindi i bilanci complessivi di fosforo e azoto a lago. Questa attività verrà svolta in collaborazione con ARPA Lombardia, i cui dati di monitoraggio dei corsi d'acqua potranno essere utilizzati in supporto al calcolo dei carichi.



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 verrà campionato con frequenza mensile 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 principali (7 corsi d'acqua) ed il Ticino emissario verranno campionati ogni 2 mesi: il campionamento dei tributari avverrà in prossimità dell'ingresso a lago. Temperatura, conducibilità e ossigeno disciolto alle diverse profondità (ad intervalli di 1 m) verranno misurati in situ mediante sonda multiparametrica (IDRONAUT Ocean Seven 310) 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), nitrati (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. In aggiunta a quanto svolto negli anni precedenti, verrà eseguita la determinazione dell'ossigeno disciolto anche sulle acque immissarie, mediante strumento con sensore ottico (Metrohm 914). Questo dato potrà contribuire a caratterizzare la qualità delle acque immissarie e l'eventuale calcolo di indicatori (es. LIMECO), in supporto alle attività di monitoraggio svolte dalle ARPA.

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.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	N°	Totale
Campionamento e analisi chimiche con frequenza mensile a centro lago (stazione di Ghiffa), 12 profondità	1750	12	21000
Campionamento e analisi chimiche con frequenza bimestrale su tributari ed emissario (8 corsi d'acqua)	1000	6	6000
Totale per anno			27000
TOTALE TRIENNIO			81000

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.
- Dresti, C., Rogora, M., Fenocchi, A. 2023. Hypolimnetic oxygen depletion in a deep oligomictic lake under climate change. *Aquat Sci* 85, 4 <https://doi.org/10.1007>
- 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). *J. Limnol.* <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2020.1963>
- Jane, S.F., Hansen, G.J.A., Kraemer, et al. 2021. Widespread deoxygenation of temperate lakes. 2021. *Nature* 594: 66–70. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y>
- Kraemer, B.M., Pilla, R., Woolway, et al., 2021. Climate change drives widespread shifts in lake thermal habitat. *Nature Climate Change* 11, 521–529. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01060-3>
- O'Reilly C.M., S. Sharma, D.K. Gray, et al. 2015. *Geophysical Research Letters*, 42 <https://doi.org/10.1002/2015GL066235>
- Pilla R.M, C.E. Williamson, B.V. Adamovich, et al., 2020. Deeper waters are changing less consistently than surface waters in a global analysis of 102 lakes. *Sci Rep* 10, 20514 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76873-x>
- Rogora, M., F. Buzzi, C Dresti, B. Leoni, M. Patelli, F. Lepori, R. Mosello, N. Salmaso. 2018. Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia.* <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3623-y>
- Rogora, M., M. Austoni, R. Caroni, P. Giacomotti, L. Kamburska, A. Marchetto, R. Mosello, A. Orrù, G. Tartari, C. Dresti. 2021. Temporal changes in nutrients in a deep oligomictic lake: the role of external loads versus climate change. *J. Limnol.* <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2021.2051>
- Rogora, M., T. Cancellario, R. Caroni, L. Kamburska, D. Manca, S. Musazzi, R. Tiberti, A. Lami. 2023. High frequency monitoring through in-situ fluorometric sensors: a supporting tool to long-term ecological research on lakes. *Front. Environ. Sci., Sec. Freshwater Science*, 10 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1058515>



- 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. *Glob Change Biol.* 2020; 26: 6852– 6866. <https://doi.org/10.1111/gcb.15347>
- Tasselli, S., Rogora, M., Orrù, A., Guzzella L. 2023. Behaviour of synthetic musk fragrances in freshwaters: occurrence, relations with environmental parameters, and preliminary risk assessment. *Environ Sci Pollut Res* 30, 109643–109658 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30030-9>
- Templer P.H., J.L. Harrison, F Pilotto, et al., 2022. Atmospheric deposition and precipitation are important predictors of inorganic nitrogen export to streams from forest and grassland watersheds: a large-scale data synthesis. *Biogeochemistry* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10533-022-00951-7>
- Tiberti, R., R. Caroni, M. Cannata, A. Lami, D. Manca, D. Strigaro, M. Rogora. 2021. Automated high frequency monitoring of Lake Maggiore through in situ sensors: system design, field test and data quality control. *J. Limnol.*, 80 (2): 2011. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2021.2011>

4. EVOLUZIONE DELLE ASSOCIAZIONI FITOPLANCTONICHE IN RELAZIONE A FATTORI DI CONTROLLO TROFICI E CLIMATICI E ANALISI DELLA LORO DISTRIBUZIONE ORIZZONTALE NEL LAGO MAGGIORE

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

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

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

Premessa

Con la Direttiva Quadro delle Acque, la 2000/60/CE, il fitoplancton è stato individuato come uno degli elementi di qualità biologica prioritari per la caratterizzazione dello stato di qualità ecologica dei laghi proprio per la sua capacità di rispondere in tempi brevi alle modificazioni ambientali rendendo possibile confrontare lo stato di un ecosistema tra anni consecutivi ed individuare perturbazioni in relazioni ai rapidi cicli biologici degli organismi che lo compongono.

Per poter ricostruire i cambiamenti a lungo termine di un ecosistema lacustre con un elevato dettaglio occorre disporre di un'informazione pluriennale sulla struttura del fitoplancton proprio perché la successione dei popolamenti algali segue schemi ripetibili da un anno con l'altro, che possono essere gradualmente alterati da perturbazioni croniche del sistema, con ripercussioni su singole fasi della successione o sui cicli stagionali nella loro totalità.

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. Anzi, è soprattutto a questi ultimi che è necessario rivolgere una particolare attenzione: gli andamenti più recenti delle successioni fitoplanctoniche, infatti, indicano come gli eventi meteorologici a scala di bacino siano diventati determinanti nel condizionare la dinamica stagionale e pluriennale del fitoplancton nel Lago Maggiore (Morabito et al., 2012, Morabito et al., 2014, Rogora et al., 2018, Morabito et al., 2018).

Inoltre, gli studi condotti nel periodo recente e non (Jones et al, 1995, Giardino et al., 2014, Sakharova et al., 2020) hanno messo in evidenza come sia importante poter caratterizzare la variabilità su ampia scala spaziale del fitoplancton e a breve termine per poter meglio comprendere la genesi e l'evoluzione di alcuni processi come le fioriture algali, apparentemente non imputabili ad un peggioramento dello stato trofico lacustre, di recente comparsa nel Lago Maggiore. Comprendere le informazioni raccolte sulla dinamica di eventuali cambiamenti in corso, e, soprattutto, seguire lo svolgimento di fenomeni, come le recenti fioriture algali, che possono compromettere l'utilizzo delle acque lacustri per scopi turistici, ricreativi o per la pesca professionale assumono, quindi, un'importanza rilevante nel quadro di una corretta gestione della risorsa idrica.

Obiettivi

Lo studio delle comunità fitoplanctoniche nel triennio 2025-2027 si articolerà su due linee:

Da un lato si proseguirà con la raccolta dei campioni pelagici nella stazione di Ghiffa. Questo allo scopo di non interrompere la serie storica iniziata nel 1981, che rappresenta un patrimonio di dati ed

informazioni tra i più importanti in Europa e costituisce un prezioso strumento scientifico per l'interpretazione dell'evoluzione delle biocenosi algali.

Dall'altro lato, si ritiene opportuno acquisire nuovi elementi di giudizio per meglio comprendere lo svolgimento di alcuni fenomeni legati alla dinamica del fitoplancton, per esempio lo sviluppo di fioriture di cianobatteri e algali, di recente comparsa sul Lago Maggiore. A questo scopo, sarà condotto uno studio della distribuzione orizzontale dei popolamenti fitoplanctonici. I dati raccolti nel corso della seconda indagine proposta, unitamente alle informazioni pregresse, potranno rappresentare uno strumento prezioso per la definizione degli interventi da mettere in atto al fine di mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici: i modelli climatici prevedono, infatti, un aumento della frequenza degli eventi meteorici brevi ed intensi, con la conseguenza di un probabile aumento degli apporti di nutrienti a lago a seguito di un maggiore runoff dall'intero bacino imbrifero (Dokulil & Teubner, 2011) la cui risposta del sistema a questi eventi è già dimostrata per quanto riguarda la dinamica primaverile del popolamento a diatomee (Morabito et al, 2012).

Dalla prosecuzione delle indagini sul fitoplancton deriveranno le informazioni rivolte al calcolo di alcuni degli indicatori individuati nel pannello di controllo CIP AIS 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 CIP AIS 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 di ogni singolo indicatore potranno essere messi a confronto con gli obiettivi di qualità corrispondenti andando ad integrare stato e tendenza di ciascun indicatore. Il campionamento del fitoplancton, condotto con una frequenza largamente superiore rispetto a quella prevista dal D.L. 260/2010, consentirà una valutazione più accurata delle fluttuazioni stagionali ed una quantificazione più precisa degli indicatori.

Per questi scopi, le presenti ricerche sono in sinergia con le proposte di Ricerca 1, 2 e 3.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

Il Lago Maggiore sarà campionato mensilmente da gennaio a dicembre durante ogni anno del triennio. I campioni di acque lacustri, destinati all'analisi del fitoplancton e della clorofilla, saranno prelevati in prossimità del punto di massima profondità (stazione storica nel bacino di Ghiffa), come campioni integrati dello strato 0-20 m. 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.

Per lo studio della distribuzione orizzontale, le misure saranno condotte in modo intensivo, una volta per anno in un periodo di elevata abbondanza del popolamento fitoplanctonico, individuato alla luce delle risultanze dello studio della dinamica stagionale. La distribuzione spaziale dei principali gruppi algali verrà definita sulla base della concentrazione di alcuni pigmenti marcatori, rilevata attraverso



profili verticali lungo la colonna d'acqua nella zona eufotica in 20 stazioni, divise tra pelagiche e litorali, tramite sonda spettrofluorimetrica bbe Fluoroprobe (Moldanke, Kiel).

È previsto l'impiego dell'imbarcazione da ricerca LIVIA in tutti i sopralluoghi.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	No.	Totale
Analisi del fitoplancton: conteggio, identificazione degli organismi algali al livello di specie (campioni mensili), incluso uscita barca	1150	12	13500
Misure di fluorescenza in situ in 20 stazioni, pelagica e litorale, incluso uscita barca	675	20	13500
Totale per anno			27000
Totale triennio			81000

Bibliografia

- Dokulil, M. T. & Teubner (2011). Eutrophication and climate change: present situation and future scenarios. In Ansari, A. A., S. Singh Gill, G. R. Lanza & W. Rast (eds), Eutrophication: Causes, Consequences and Control, 1st ed. Springer, Berlin: 1–16.
- Giardino, C., Bresciani, M., Stroppiana, D., Oggioni, A., Morabito, G. (2014). Optical remote sensing of lakes: an overview on Lake Maggiore. *Journal of Limnology*, 73: 201-214.
- Jones, R.I., A.S. Fulcher, J.K.U. Jayakody, J. Laybourn-Parry, A.J. Shine, M.C. Walton, Young, J.M., (1995). The horizontal distribution of plankton in a deep, oligotrophic lake - Loch Ness, Scotland. *Freshwat. Biol.*, 33: 161-170.
- Morabito, G. (2014). Fluttuazioni ultraventennali dei parametri meteo-climatici nel bacino del Lago Maggiore e risposta del fitoplancton. *Nimbus*, 72: 171-173.
- Morabito, G., Oggioni, A., Austoni, M. (2012). Resource ratio and human impact: how diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia*, 698: 47-60.
- 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.
- 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.
- Sakharova, E., Krylov, A., Rimma S., Tsvetkov, A., Hambaryan, L., Mamyan, A., Bardukh, G., Hayrapetyan, A., Khachikyan, T. (2020). Horizontal and Vertical Distribution of Phytoplankton in the Alpine



Lake Sevan (Armenia) during the Summer Cyanoprokaryota Bloom. Contemporary Problems of Ecology. 13. 60-70. 10.1134/S1995425520010072.

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

Premessa

Le ricerche pluriennali condotte su Lago Maggiore hanno consentito l'acquisizione di una preziosa serie di dati a lungo termine sul popolamento zooplanctonico pelagico. L'analisi di tale serie storica ha permesso di rilevare diverse modificazioni del popolamento in relazione sia alle diverse fasi evolutive del lago legate sia alle variazioni di trofia, sia all'impatto dei cambiamenti climatici. Gli organismi zooplanctonici, essendo caratterizzati da brevi cicli vitali e rapidi tassi metabolici funzione soprattutto della temperatura dell'ambiente in cui vivono (Heinle, 1969; Ikeda; 1985; Evans et al., 2020) sono in grado di rispondere in modo rapido ed efficace alle modificazioni ambientali (e.g. Azevedo et al., 2015, Gokce and Ozhan, 2014). Pertanto, possono essere utilizzati anche come indicatori dello stato ecologico degli ambienti d'acqua dolce (e.g. Caroni and Irvine, 2010; Cai et al., 2020). Ad esempio, a seguito della ri-oligotrofizzazione delle acque lacustri, avvenuta grazie all'abolizione dei carichi di nutrienti derivante dall'adozione sul territorio di impianti di depurazione, l'analisi della serie storica ha permesso di comprendere le dinamiche, i tempi e i meccanismi, che hanno guidato la risposta del popolamento pelagico. 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). I dati acquisiti negli ultimi anni hanno evidenziato la tendenza ad anticipare il picco di massima espansione numerica in primavera e la sostituzione di *Daphnia* con *Diaphanosoma*, organismo noto per una predilezione delle acque più calde, durante la seconda parte dell'anno. Entrambe le osservazioni sono probabilmente una conseguenza del riscaldamento climatico, che causa sia un anticipo della stagione di crescita del popolamento fitoplanctonico, ovvero della base alimentare degli organismi filtratori come *Daphnia*, e del perdurare della stratificazione termica delle acque fino all'inizio dell'inverno.

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. Inoltre, l'analisi della serie di dati ha permesso di identificare delle variabili ambientali (i.e. temperatura, Clorofilla *a* e conducibilità) che ben si associavano alle variazioni del *fingerprint* isotopico del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) di alcuni organismi zooplanctonici, come ad esempio *Daphnia* (Caroni et al. 2023). 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. Tuttavia, ulteriori analisi ancora in corso dei dati a lungo termine sembrano evidenziare un ruolo non trascurabile nel controllo top-down della frazione micro-zooplanktonica sul popolamento fitoplanctonico (Caroni et al. in preparazione) e tale frazione può costituire anche il 70% della biomassa totale del popolamento zooplanctonico di rete. Nel triennio 2021-2024 sono quindi state introdotte le analisi isotopiche della frazione più piccola di crostacei, ovvero gli stadi larvali dei copepodi, che hanno permesso di acquisire i primi dati su questa componente.

Obiettivi

Al fine di continuare a tracciare l'evoluzione del lago attraverso la dinamica 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).

Per il prossimo triennio si propone di proseguire con l'acquisizione di dati di *fingerprint* isotopico di carbonio e azoto ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) sulle frazioni macro e micro-zooplanktoniche, entrambe di importanza fondamentale per la comprensione delle relazioni trofiche infra-zooplanktoniche e dei meccanismi che regolano il trasferimento di sostanze inquinanti ai livelli trofici superiori.

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 2010-2024 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"

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.

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

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	N°	Totale
Campionamento	300	12	3600
Conteggio campioni zooplanctonici e determinazione della biomassa	600	12	7200
Sorting organismi e analisi isotopiche	15200	a corpo	15200
Totale per anno			26000
TOTALE NEL TRIENNIO			78000

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(5), 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.
- Caroni R., Piscia R., Free G. & Manca M. 2023. Interpreting Seasonal Patterns and Long-Term Changes of Zooplankton in a Deep Subalpine Lake Using Stable Isotope Analysis. *Water*, 15(17), 3143.
- Evans L. E., Hirst A. G., Kratina P., & Beaugrand G. 2020. Temperature-mediated changes in zooplankton body size: large scale temporal and spatial analysis. *Ecography*, 43(4), 581-590.
- Heinle Donald R. 1969. Temperature and zooplankton. *Chesapeake Science* 10.3: 186-209.
- Ikeda, T. 1985. Metabolic rates of epipelagic marine zooplankton as a function of body mass and temperature. *Marine Biology*, 85(1), 1-11.
- Gannon J. E., & Stemberger R. S. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *Transactions of the American Microscopical Society*, 16-35.
- 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(1), 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.
- Muñoz-Colmenares, M. E., Soria, J. M., & Vicente, E. 2021. Can zooplankton species be used as indicators of trophic status and ecological potential of reservoirs? *Aquatic Ecology*, 55(4), 1143-1156.
- 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(12), 6852-6866.
- Viana D.S., Figuerola J., Schwenk K., Manca M., Hobæk A., Mjelde M., Preston C.D., Gornall R.J., Croft J.M., King R.A., Green A.J. 2016. Assembly mechanisms determining high species turnover in aquatic communities over regional and continental scales. *Ecography*, 39(3), 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 (2), 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

Negli ultimi dieci anni, nel Lago Maggiore, si è osservata la presenza di schiume, inizialmente confinate in aree costiere molto circoscritte, ma successivamente, a partire dal 2018, estese a tutta la superficie del lago per periodi anche di alcune settimane, come confermato da immagini satellitari (tardo estate 2019). La formazione di schiume può essere correlata alla presenza in acqua di sostanze tensioattive (Xiao et al., 2018). Le schiume sono infatti una dispersione instabile di gas (aria) in un mezzo liquido (acqua), favorita dalla presenza di sostanze tensioattive che, abbassando la tensione superficiale del liquido, agevolano l'entrata di piccole bolle d'aria. Proteine, saponine naturali, polisaccaridi e sostanze oleose sono esempi di tensioattivi naturali, mentre i detersivi e i saponi sono tensioattivi di origine sintetica. Nei laghi, le schiume possono essere osservate lungo le sponde, causate dal moto ondoso provocato da forti venti o vicino alla foce dei corsi d'acqua, mentre le correnti (ad esempio la circolazione di Langmuir) possono generare striature schiumose sulla superficie dell'acqua. Le schiume prodotte da attività umane, come l'immissione di detersivi, scarichi industriali o depuratori civili, e il dilavamento di terreni agricoli, sono generalmente molto evidenti ma di breve durata, caratterizzate dalla presenza di bolle iridescenti. Le schiume causate da tensioattivi naturali, invece, presentano un colore biancastro con sfumature verde-marroni e un caratteristico odore di terriccio. Queste sono spesso il risultato di eventi meteorici, come piogge intense, lo scioglimento delle nevi o il vento, e una volta formate persistono nell'ambiente per un lungo periodo.

Obiettivi

Lo studio del carbonio organico e nelle sue varie forme nel Lago Maggiore mira a esplorare in modo approfondito il fenomeno delle schiume, con l'obiettivo di caratterizzarle quantificando la frazione organica e la microflora ad esse associata, al fine di distinguere tra schiume di origine antropogenica e naturale. Per raggiungere questo obiettivo, sarà essenziale concentrarsi sulle stagioni della primavera e della tarda estate, quando il fenomeno è più evidente. Si procederà con il prelievo delle schiume e dei campioni d'acqua circostanti. In aggiunta, saranno raccolti campioni d'acqua nella zona eufotica per analizzare la composizione in termini di carbonio organico totale (TOC), in particolare focalizzandosi sulla componente di particelle polimeriche extracellulari (TEP), sul contenuto di DNA e sulla clorofilla. Inoltre, verrà condotta un'approfondita caratterizzazione qualitativa e quantitativa della comunità microbica associata alle schiume e alla comunità planctonica tramite il sequenziamento degli ampliconi del 16S rRNA. Le comunità microbiche saranno oggetto di un confronto specifico, con particolare attenzione ai batteri di origine fecale o in generale alloctoni, al fine di ottenere dati utilizzabili per identificare l'origine antropogenica delle schiume. Inoltre, al fine di comprendere la dinamica temporale del TOC, del TEP, della clorofilla e della popolazione microbica nella zona eufotica del Lago Maggiore (tramite campione integrato), verranno effettuati campionamenti mensili e saranno

misurati i suddetti parametri. Ciò garantirà la continuazione della serie temporale del carbonio organico in acqua, che il nostro gruppo di ricerca monitora dal 1980 per il TOC (indicatore L3.10) e dal 2013 per il TEP (Callieri et al., 2022) (indicatore L3.15), fornendo così informazioni di background su cui basare i dati derivanti dall'analisi delle schiume.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

Si prevedono campionamenti nella stazione di massima profondità (Ghiffa) nella zona eufotica con campionatore integratore e prelievi di schiume nello strato superficiale. Verranno effettuati 12 campionamenti a Ghiffa, 1 campione zona eufotica per TOC, TEP, clorofilla e conteggi (in replica di 3). Inoltre, verranno campionati fino a 2 eventi di schiume in primavera ed estate per TOC, TEP, clorofilla, conteggi, abbondanza di DNA e caratterizzazione della comunità microbica.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	N°	Totale
Analisi di TOC 12 campioni (5 repliche + standards e bianchi), Ghiffa e schiume	5000	a corpo	5000
Analisi Phyto PAM e TEP Ghiffa e schiume	9000	a corpo	9000
Analisi Citometro, Ghiffa e schiume e caratterizzazione comunità microbica	13000	a corpo	13000
Totale per anno			27000
TOTALE NEL TRIENNIO			81000

Bibliografia

- Xiao S., Y. Zeng, E.D. Vavra, P. He, M. Puerto, G.J. Hirasaki, S.L. Biswal. Destabilization, propagation, and generation of surfactant-stabilized foam during crude oil displacement in heterogeneous model porous media. Doi: 10.1021/acs.langmuir.7b02766
- Callieri C., R. Sabatino, A. Di Cesare, R. Bertoni. Spatial-temporal study of cluster 5 picocyanobacteria and exopolymeric microgels in Lake Maggiore. Doi: 10.4081/aiol.2022.11043



7. EFFETTI DEL RISCALDAMENTO GLOBALE SULLA COMUNITÀ MICROBICA CON RIFERIMENTO AI BATTERI POTENZIALMENTE PATOGENI PER L'UOMO E ANIMALI

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 riscaldamento globale e i cambiamenti climatici ad esso correlati sono responsabili dell'alterazione della struttura degli ecosistemi acquatici (Ouyang et al., 2023). La risposta delle comunità biologiche a tali cambiamenti non è ancora pienamente compresa, in quanto dipende principalmente dalla diversità biologica e dalla capacità di adattamento specifica delle diverse specie. È ampiamente accettato che la temperatura eserciti una forte influenza sulla fisiologia degli organismi poiché controlla processi metabolici fondamentali. Si prevede che il riscaldamento causi una diminuzione della biodiversità e favorisca l'insorgenza di specie potenzialmente pericolose (Vezzulli et al., 2016). C'è ancora molta incertezza su come il patobioma (l'insieme totale di batteri patogeni) possa reagire ai cambiamenti climatici, soprattutto quelli evidenziati dall'innalzamento delle temperature. Al momento, è ampiamente noto che gli ecosistemi acquatici fungono da serbatoio per batteri fecali potenzialmente resistenti agli antibiotici e patogeni per gli esseri umani (Di Cesare et al., 2014). I batteri fecali che entrano nell'ambiente acquatico non trovano condizioni ottimali per la loro crescita a causa delle basse temperature dell'acqua, in confronto a quelle presenti nell'apparato digerente degli animali a sangue caldo. Inoltre, è già stato dimostrato che le condizioni meteorologiche possono influenzare il destino degli stessi fecali (Cho et al., 2016; St Laurent & Mazumder, 2014). Di conseguenza, un aumento della temperatura della superficie dell'acqua potrebbe favorire la sopravvivenza di tali batteri, compresi quelli patogeni per gli esseri umani.

Obiettivi

Questa proposta progettuale si prefigge come obiettivo quello di identificare, quantificare ed infine valutare la possibile esistenza di una correlazione tra la temperatura dell'acqua e la presenza (e l'abbondanza) di batteri fecali e/o potenzialmente patogeni per l'uomo nelle acque costiere del Lago Maggiore tramite un campionamento mensile superficiale di diversi siti costieri (Pallanza, Locarno, Luino, Laveno, Angera e Lesa) caratterizzati da un certo impatto di origine antropogenica (spiagge, pontili, porti turistici, e potenziali impatti di bypass di rete fognaria). I campioni d'acqua verranno processati al fine di estrarne il DNA e successivamente sequenziati (16S rRNA amplicon sequencing). La comunità batterica totale di ciascun campione verrà determinata e da essa verranno estrapolati i dati dell'abbondanza relativa del patobioma (l'insieme dei generi batterici comprendenti almeno una specie patogena per l'uomo, misurata come quantità e identificata almeno al livello di genere) che a loro volta saranno correlati statisticamente con i dati di temperatura e numero di cellule batteriche (misurate tramite citometria a flusso). Inoltre, si proverà a sviluppare un modello predittivo al fine di predire le future dinamiche dei batteri potenzialmente patogeni per l'uomo nelle acque del Lago Maggiore in

seguito all'incremento della temperatura ed alla variabilità causata da eventi meteorologici estremi, con l'obiettivo di definire il reale livello di rischio.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

Si prevedono campionamenti mensili nelle stazioni costiere di Pallanza, Locarno, Luino, Laveno, Angera e Lesa con la raccolta di acque superficiali presso i pontili di attracco dei mezzi della navigazione Lago Maggiore. Verranno effettuati un totale di 72 campionamenti/anno, sui quali verranno effettuate le analisi metagenomiche, bioinformatiche e citometriche sopra descritte.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	N°	Totale
Attività di campionamento	2000	a corpo	2000
Analisi DNA (estrazione e 16SrRNA amplicon sequencing)	8000	a corpo	8000
Analisi Citometriche e bioinformatiche	8000	a corpo	8000
Totale per anno			18000
TOTALE NEL TRIENNIO			54000

Bibliografia

- Ouyang, J. et al. Global warming induces the succession of photosynthetic microbial communities in a glacial lake on the Tibetan Plateau. *Water Research* 242, 120213 (2023).
- Vezzulli, L. et al. Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, E5062–E5071 (2016).
- Di Cesare, A. et al. The marine environment as a reservoir of enterococci carrying resistance and virulence genes strongly associated with clinical strains. *Environmental Microbiology Reports* 6, 184–190 (2014).
- Cho, K. H. et al. Modeling seasonal variability of fecal coliform in natural surface waters using the modified SWAT. *Journal of Hydrology* 535, 377–385 (2016).
- St Laurent, J. & Mazumder, A. Influence of seasonal and inter-annual hydro-meteorological variability on surface water fecal coliform concentration under varying land-use composition. *Water Res* 48, 170–178 (2014).

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

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

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. E' 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 CIP AIS 2013-15, 16-18, 19-21 e 22-24 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. Questo chiarisce l'importanza di mantenere questo tipo di monitoraggio che, di fatto, può già considerarsi a lungo termine (oltre 10 anni di dati mensili).

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 specifica efficienza nella rimozione degli stessi dai reflui. Fortunatamente, l'efficienza generale dei sistemi di depurazione nel bacino del Lago Maggiore è buona, per cui, sebbene non specifici, un effetto, indiretto, di abbattimento delle resistenze nei reflui si può apprezzare. Purtroppo, la situazione è ben diversa se si considerano le reti di raccolta e gli scolmatori, sia di impianto che di rete. In questo senso ancora oggi, la quantità di reflui non trattati che afferiscono in condizioni particolari (eventi meteorologici estremi, perdite puntuali delle reti) è elevato, ed è motivo di preoccupazione.

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. Le attività ad oggi svolte hanno permesso sia di identificare resistenze ormai costitutive della comunità microbica del Lago Maggiore (ed ampiamente diffuse) ed altre invece che seguono andamenti stagionali, o si sviluppano in seguito ad eventi particolari (per esempio la pandemia) per poi, fortunatamente, scomparire.

Impegno di campionamento

In seguito alla valutazione dei risultati ottenuti nel periodo 2013-24, lo studio si svilupperà per il triennio 2025-27 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. 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, 19-21 e 22-24) 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. 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.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	No. analisi	Totale
Raccolta mensile di campioni in 2 stazioni, pelagica e semilitorale sul Lago Maggiore (Ghiffa, Pallanza); analisi di laboratorio biomolecolari specifiche (estrazione di DNA batterico, amplificazione con primers specifici per geni di resistenza, geni proxy di resistenza e gene 16SrDNA; purificazione ed analisi del prodotto di PCR; se necessaria quantificazione in RT-PCR ed identificazione genetica di possibili donatori alloctoni)	1125	24	27000
Totale per anno			27000
TOTALE NEL TRIENNIO			81000

9. MANTENIMENTO PIATTAFORMA SIMILE

Ente gestore: Segretariato CIPAIS

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

Premessa

Il progetto Interreg Sistema Informativo per il Monitoraggio Integrato dei Laghi insubrici e dei loro Ecosistemi (SIMILE) ha lo scopo di capitalizzare esperienze, approcci e risultati di NETLAKE (Networking Lake Observatories in Europe, <https://www.dkit.ie/netlake>) e di altre attività condotte in ambito internazionale (es. GLEON: Global Lake Observatory Network, <http://gleon.org/>) nel campo del monitoraggio della qualità delle acque mediante metodi innovativi (sensori in situ, dati satellitari, Citizen Science).

Il Progetto SIMILE è finanziato nell'ambito del programma di cooperazione Interreg Italia-Svizzera 2014-2020, che coinvolge Regione Lombardia e Cantone del Ticino come partner, il Politecnico di Milano come capofila italiano e la SUPSI come capofila svizzero.

Il progetto, volto a migliorare il processo di analisi della qualità delle acque dei laghi insubrici attraverso la creazione di un sistema informativo avanzato, si è chiuso a dicembre 2022.

Il progetto riguarda il Lago Maggiore, il Lago di Lugano e il Lago di Como, promuove la possibilità di effettuare monitoraggi integrativi rispetto a quelli tradizionalmente effettuati sulle acque utilizzando nuove tecnologie. A partire da settembre 2022, anche il lago di Varese è entrato a far parte della rete di laghi monitorati da SIMILE.

All'interno del progetto sono state messe a punto diverse tecnologie per il monitoraggio della qualità ecologica delle acque, che sono confluite all'interno di una piattaforma di business intelligence. Questo strumento consente di ottenere degli indici sintetici facilmente fruibili sia dai tecnici che si occupano di qualità delle acque che dai cittadini interessati allo stato dei laghi.

Le diverse tecnologie utilizzate presentano una diversa frequenza, sia temporale che spaziale, ed includono:

- il monitoraggio ad alta frequenza di alcune variabili limnologiche con sensori low-cost su boa per la temperatura, il pH, l'ossigeno disciolto, la conducibilità e la clorofilla;
- l'analisi di immagini ottiche e termiche acquisite da sensori satellitari e messe a disposizione nell'ambito del programma Copernicus, acquisite dai sensori multispettrali di ultima generazione OLCI e OLI installati sui satelliti Sentinel-3A/B dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e Landsat-8 dell'Agenzia Spaziale Americana (NASA). Le immagini hanno permesso di ottenere mappe dei parametri otticamente attivi presenti nello strato eufotico delle acque. Le mappe di clorofilla, dei solidi sospesi totali e della temperatura superficiale ottenute dai dati satellitari hanno inoltre permesso di descrivere l'evoluzione temporale di questi parametri e la loro distribuzione sull'intera superficie dei laghi. Avendo a disposizione delle serie importanti di dati, si sta attualmente valutando l'evoluzione spazio-temporale dei parametri esaminati.
- Utilizzo della "Citizen Science", che coinvolge partner, cittadini, associazioni, enti attivi nel monitoraggio dei laghi per produrre linee guida che consentano di affrontare le sfide future che i grandi laghi subalpini saranno chiamati ad affrontare.

E' stata predisposta l'app per smartphone SIMILE - Monitoraggio Laghi, volta ad acquisire le informazioni raccolte dagli utenti sullo stato delle acque (presenza di alghe, schiume o rifiuti,



trasparenza, temperatura e pH dell'acqua). L'applicazione permette ai cittadini di contribuire attivamente al monitoraggio dei laghi insubrici, dà visibilità agli eventi organizzati sul territorio nell'ambito del progetto e fornisce informazioni sui comportamenti più appropriati per preservare l'ecosistema dei laghi.

Oltre all'app, il progetto ha prodotto anche una web app pensata come strumento per le agenzie che si occupano di qualità delle acque (ma aperta a tutti i cittadini) che include le informazioni raccolte, i riferimenti temporali e statistiche sul monitoraggio effettuato.

Per ottenere un migliore quadro conoscitivo dello stato del lago, tutti i dati prodotti da SIMILE sono raccolti sulla piattaforma ed integrati con le informazioni provenienti dalle immagini satellitari e dai sensori installati sulle boe e con indici che permettono di valutare la qualità dei laghi; tra questi indici ci sono anche molti indicatori dei Pannelli di Controllo della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo Svizzere ([CIPAIS](#)).

Ulteriori informazioni sono disponibili al sito del [Progetto Interreg](#) e alla pagina del [Progetto SIMILE](#).

Richiesta finanziaria

Attività annuale	2025	2026	2027
Mantenimento piattaforma SIMILE	7500	7500	7500
TOTALE NEL TRIENNIO (Euro)			22.500

RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE LIMNOLOGICHE 2025-2027 (IN EURO, IVA COMPRESA)

Indagini limnologiche sul Lago Maggiore – Sezione 1

Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca, oltre allo stato di avanzamento (vedi accordo di collaborazione)

N.	Titolo della proposta	2025	2026	2027	Totale triennio
1	Valutazioni climatiche dei principali parametri meteo-idrologici e definizione di indici sintetici per la valutazione dei fenomeni estremi nell'areale del Lago Maggiore	24700	24700	24700	74100
2	Valutazione degli effetti delle piene e degli eventi estremi di vento sul regime di mescolamento del Lago Maggiore attraverso l'utilizzo di un modello idrodinamico tridimensionale	26000	26000	26000	78000
3	Evoluzione stagionale e a lungo termine delle caratteristiche chimiche del Lago Maggiore	27000	27000	27000	81000
4	Evoluzione delle associazioni fitoplanctoniche in relazione a fattori di controllo trofici e climatici	27000	27000	27000	81000
5	Indagini sull'evoluzione del popolamento zooplanctonico del Lago Maggiore	26000	26000	26000	78000
6	Il carbonio organico e le schiume nel Lago Maggiore	27000	27000	27000	81000
7	Effetti del riscaldamento globale sulla comunità microbica con riferimento ai batteri potenzialmente patogeni per l'uomo e animali	18000	18000	18000	54000
8	Presenza e distribuzione di batteri antibiotico-resistenti nelle acque del Lago Maggiore	27000	27000	27000	81000
9	Mantenimento piattaforma SIMILE	7500	7500	7500	22500
	Coordinamento e spese comuni	4000	4000	3500	11500
	Totale	214200	214200	213700	642100

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 CIP AIS 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 sottolineava i seguenti punti:

- poiché la varietà di possibili inquinanti per le acque è molto elevata, nel nuovo programma di ricerche sarebbe opportuno proporre indagini o approfondimenti su sostanze pericolose poco o mai indagate da CIP AIS. Si ritiene opportuno orientare la scelta di tali inquinanti facendo capo ai risultati ottenuti nei programmi precedenti e nel triennio 2022-2024, così come all'evoluzione delle conoscenze e delle normative nazionali e internazionali. Si propone di proseguire la ricerca di contaminanti ambientali emergenti, come gli PFAS, in opportune matrici.
- Sulla base dei risultati ottenuti nel programma 2022-2024 della ricerca su ampia scala sul mercurio, si propone di valutare le modalità più opportune per la prosecuzione della ricerca, volta a 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) così come a effettuare una proiezione, sulla base dei dati già esistenti, dei possibili livelli da attendersi nel prossimo decennio, in particolare nei comparti biotici.
- 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, è opportuno proseguire le ricerche ritenute più interessanti condotte negli anni passati, valutando criticamente quali parametri, matrici e frequenze d'analisi vadano mantenuti prioritariamente.
- Evitare indagini in sovrapposizione alle attività istituzionali delle agenzie governative di monitoraggio, per evitare possibili incongruenze e spreco di risorse e indirizzare verso ambiti d'indagine innovativi, volti alla tutela dell'ecosistema da pericoli emergenti.

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, in questo programma di indagine si propone di:

1. introdurre un'attività specifica nel bacino del Lago Maggiore volta alla ricerca del più ampio spettro possibile di sostanze inquinanti, mediante approcci di analisi chimiche non target e suspect sui sedimenti del lago, con l'obiettivo di individuare la presenza di contaminanti tradizionali ed emergenti in diversi punti del bacino e quantificare le sostanze target con l'utilizzo di soluzioni standard. Questa indagine permetterà di aggiornare la conoscenza della distribuzione nel lago di inquinanti "storici" già monitorati nei programmi di ricerca precedenti, quali DDT, PCB, IPA, PBDE ed elementi in traccia, ma anche di ampliare l'indagine a sostanze mai monitorate prima, tra cui farmaci, pesticidi, prodotti per la cura della persona, inquinanti di uso industriale come i PFAS, sostanze comprese nell'elenco di priorità della direttiva 2013/39/EU o quelle indicate nelle "Watch list" dell'Unione Europea (EU 2015/495; EU 2018/840; EU 2020/1161; EU 2022/1307). I risultati permetteranno di ampliare significativamente la conoscenza dello stato di contaminazione del bacino e di individuare potenziali criticità;
2. ampliare la conoscenza dei tributari come sorgenti che veicolano sostanze inquinanti al Lago, mediante analisi del bioaccumulo in diverse specie di pesci in diversi fiumi, dei quali alcuni mai o poco analizzati in precedenza, quali Vevera e Cannobino. I pesci sono infatti riconosciuti come validi bioindicatori per le acque interne, sia per individuare alcune sostanze idrofobe che si accumulano nel biota e sono difficilmente rilevabili nell'acqua, che per monitorare lo stato di contaminazione in generale e identificare aree ad alto impatto, come riportato nel Manuale e Linea guida ISPRA 143/2016. In particolare, per quanto riguarda i PFAS, sulla base delle analisi svolte da ARPA Lombardia sull'acqua di alcuni tributari, sembra che uno dei composti maggiormente presenti possa essere il PFOS, sostanza che, come confermato dalle indagini svolte nel triennio 2022-24, non si accumula nei molluschi e nei sedimenti, mentre i dati di letteratura mostrano la sua capacità di bioaccumulo nella fauna ittica (Valsecchi et al., 2021). Per questa ragione, si propone di ricercare questi composti nei pesci campionati nei tributari, allo scopo di individuare i fiumi maggiormente interessati da questa contaminazione. Inoltre, si propone un'attività in collaborazione con la Sezione 2 del Lago di Lugano, che prevede l'esposizione di campionatori passivi per i PFAS nelle acque di alcuni tributari dei due laghi, che permetteranno di monitorare anche quei composti che non bioaccumulano nel biota: in questo programma, vengono riportate le analisi che si intende realizzare nel bacino del Lago Maggiore;
3. continuare l'implementazione delle serie storiche acquisite nell'arco di 25 anni grazie ai finanziamenti della CIPALIS, con la stessa frequenza del triennio precedente, in particolare per:
 - a) bioaccumulo nei molluschi del Lago; per questa attività si prevede di eseguire, per un sottogruppo di campioni, un'analisi di diversi marcatori molecolari di effetto, utili per

- completare in un'ottica “*effect-based*” le indagini chimiche target e non target condotte sui sedimenti di lago;
- b) bioaccumulo nello zooplancton; per questa attività si prevede di sostituire l'analisi della frazione degli organismi di taglia più grande ($>850\ \mu\text{m}$) con quella della frazione più piccola ($>80\ \mu\text{m}$). La serie storica disponibile evidenzia infatti una progressiva riduzione, probabilmente per cause legate al cambiamento climatico, dello zooplancton “grande” a favore di quello di piccola taglia, comunque fondamentale per la dieta dei pesci;
 - c) bioaccumulo nei pesci del Lago, considerati bioindicatori ai livelli più elevati della catena trofica acquatica;
 - d) bioaccumulo nel macrobenthos del Fiume Toce, valido indicatore per monitorare variazioni nella contaminazione da DDT e Hg lungo l'asta del Toce, anche in relazione alle attività di bonifica in atto nel SIN di Pieve Vergonte;
 - e) analisi dei sedimenti dei tributari, indicatori della contaminazione veicolata da questi fiumi verso il Lago, anche in relazione agli eventi idrologici estremi sempre più frequentemente osservati. Si prevede di non analizzare i sedimenti del Ticino immissario, in quanto le indagini sui sedimenti di lago interesseranno anche una zona di influenza di questo fiume, fornendo un'informazione integrata relativa all'eventuale contaminazione da esso veicolata.
4. Proseguire con l'approfondimento sul ciclo del mercurio in un'area chiave per la fauna selvatica, ma potenziale hot-spot per il Lago, ossia il canneto di Fondotoce, dove si presuppone che il mercurio veicolato dal Toce possa essere efficacemente intrappolato assieme ai sedimenti fini e biotrasformato in metilmercurio, la forma più tossica e biomagnificabile del mercurio, ma anche potenzialmente assorbito e filtrato dalle piante del canneto. La ricerca valuterà quindi il canneto come potenziale sink oppure sorgente di mercurio per il lago, sia attraverso il rilascio dal suolo all'acqua interstiziale che attraverso il rilascio in atmosfera. Inoltre, saranno analizzati il bioaccumulo nelle piante presenti in aree limitrofe al canneto, considerate bioindicatori della contaminazione veicolata dal suolo e dall'atmosfera, e in tessuti di uccelli che gravitano in questa area umida, compresa nella Rete Natura 2000, esposti alla contaminazione attraverso la predazione di insetti. I risultati completeranno l'indagine svolta del 2023 nell'area di Bosco Tenso, lungo il Toce. L'individuazione delle sorgenti secondarie e lo studio del ciclo del contaminante in tali aree sono infatti la base per comprendere i meccanismi che determinano la persistenza del contaminante nell'ecosistema del Lago Maggiore e, in particolare, nel biota e formulare proiezioni per il futuro.

Nelle pagine seguenti verranno descritte in dettaglio e motivate singolarmente le ricerche proposte. Vengono, inoltre, presentati in dettaglio i costi delle singole attività. Il budget richiesto comprende i costi per il campionamento, per l'acquisto degli standard analitici e il materiale per eseguire le analisi (vials da autocampionatore, colonne per gas-cromatografia, gas tecnici, costi di manutenzione degli strumenti analitici, vetreria e consumabili, ecc.), così come le spese generali degli Enti (trattenute di circa il 17% per UNIMI e del 15% per il CNR-IRSA), che sono state inserite direttamente nel costo delle singole analisi. L'aumento dei costi dei materiali e dei servizi ha determinato la necessità di aumentare alcuni costi rispetto a quanto previsto nel triennio scorso. Si



ritiene comunque auspicabile mantenere tutte le attività previste, in quanto fortemente interconnesse tra loro e utili per dare una valutazione complessiva e interdisciplinare dello stato di contaminazione del Lago Maggiore e dei suoi tributari.



1. SEDIMENTI LACUSTRI

Ente gestore: Segretariato CIPAIS

Enti esecutori:

CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sedi di Verbania Pallanza (VB), Brughiero (MB) e Bari (BA)

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

Premessa

Negli anni passati, le analisi dei sedimenti lacustri hanno costituito una parte importante delle attività svolte per seguire la distribuzione delle sostanze pericolose (composti organici di sintesi e metalli) nel Lago Maggiore. Infatti, i sedimenti di un lago costituiscono un archivio naturale che documenta l'evoluzione temporale e spaziale dell'inquinamento. In particolare, nel 2023, sono stati campionati e analizzati i sedimenti in tre stazioni, una nel bacino meridionale del lago e due nel Bacino di Pallanza.

In questa nuova campagna ci proponiamo di aumentare il numero di stazioni (almeno 8), lungo il perimetro del Lago, nella zona sublitorale, per analizzare la distribuzione e/o l'apporto di sostanze inquinanti da specifici tributari localizzati sulla sponda lombarda e su quella piemontese, nonché dal Ticino immissario (Fig. 1).

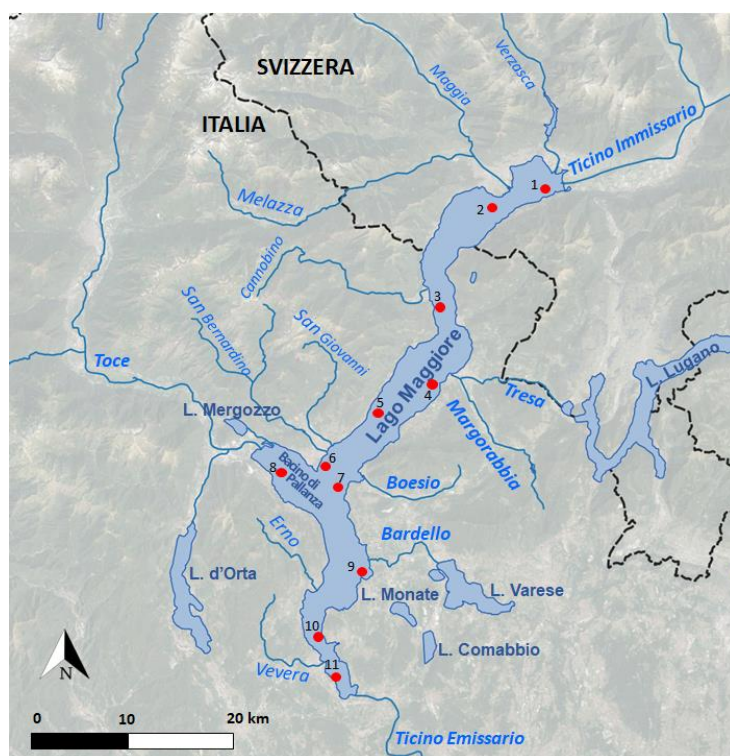


Figura 1. Possibili punti di campionamento del sedimento lacustre (punti rossi). Le stazioni potranno essere individuate a valle dell'immissione dei principali tributari del Lago Maggiore (punti n. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9 e 11), oppure in aree dove viene monitorato il bioaccumulo di contaminanti nei molluschi lacustri (punti n. 8 e 10) o nello zooplankton (punto n. 5).

In ciascuna stazione, saranno raccolte mediante carotatori a gravità carote di sedimento. Le carote verranno georeferenziate (latitudine, longitudine e profondità di prelievo) 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 otterrà il tasso di sedimentazione (cm a^{-1}).

Dalle carote sarà estratta la sezione apicale di spessore 4 cm, ossia il sedimento superficiale, di deposizione relativamente recente (ultimi 10-15 anni), uno strato al quale sono esposti gli organismi macrobentonici lacustri e che può costituire una sorgente di rilascio nella colonna d'acqua. Su queste sezioni sarà effettuata un'analisi chimica di contaminanti già indagati in passato nel Lago, ossia IPA, PBDE, DBDPE, HBCD, DDT, PCB, fragranze, ed elementi in traccia (Hg, As, Cu, Pb, Ni, Cd, ai quali saranno affiancati altri macro- e micro-elementi quali Fe, Al, Mn, Co, Cr, Zn, ecc.).

Su un sottogruppo di questi campioni, l'indagine sarà completata con una analisi non-target e suspect, che permetterà di ampliare significativamente la conoscenza sul reale stato di contaminazione dei sedimenti del Lago e sulle sue sorgenti (tributari). Il CNR-IRSA ha esperienza in questo tipo di analisi su sedimenti, in particolare la sede di Bari, che ospita laboratori per analisi ad alta risoluzione: ad esempio, uno screening analitico completo è stato applicato per la prima volta a campioni di sedimenti superficiali raccolti da sette lagune del delta del Po (Mascolo et al., 2019); questo screening è stato utilizzato per acquisire ulteriori informazioni sulle condizioni di contaminazione ed esposizione potenzialmente presenti nelle lagune del Po.

L'analisi non-target, che utilizza la spettrometria di massa ad alta risoluzione accoppiata a cromatografia liquida (LC-HRMS/MS), è un approccio utilizzato per il rilevamento di nuove sostanze chimiche di interesse emergente in campioni ambientali complessi. L'analisi non-target genera un set di dati di grandi dimensioni e ricchi di informazioni, che richiedono algoritmi e flussi di lavoro sofisticati per la loro elaborazione e interpretazione, attraverso il confronto dei rapporti massa/carica e degli spettri di frammentazione con i dati archiviati in banche dati di riferimento (es. NORMAN SusDat, comprendente più di 120.000 sostanze), fino all'identificazione dei principali composti organici e metaboliti, che saranno poi selezionati per la quantificazione (Schulze et al., 2020; Schulze et al., 2021; Schymanski et al., 2014). L'analisi potrà quindi comprendere sostanze comprese nell'elenco di priorità (D.Lgs. n. 172/2015) ed altre potenzialmente utili per il monitoraggio di indagine, quali quelle presenti negli elenchi di controllo delle Watch lists, che comprendono farmaci, pesticidi, sostanze di uso industriale, tra cui i PFAS, ecc. L'identificazione e quantificazione delle sostanze organiche sarà realizzata mediante LC-HRMS/MS o in gas cromatografia (GC-MS/MS), utilizzando miscele standard. Le concentrazioni dei singoli contaminanti potranno essere poi confrontate con soglie di letteratura e normative. Verrà confrontata e contestualizzata la contaminazione osservata rispetto ad altri ecosistemi lacustri europei ed extraeuropei. I risultati di questa analisi saranno consegnati nel secondo anno di attività, per permettere di analizzare l'ampio numero di informazioni e selezionare i contaminanti per i quali si procederà ad una quantificazione mediante protocolli e standard analitici dedicati.



Richiesta finanziaria

Attività 1° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Raccolta dei campioni di sedimento in 8 stazioni	IRSA VB	600	8	4800
Sezionamento, descrizione litologica	IRSA VB	100	8	800
Correlazione tra carote (susceptività magnetica), inquadramento cronologico (datazione mediante profilo di diatomee)	IRSA VB	200	8	1600
Liofilizzazione del campione e carbonio organico	IRSA MB	30	8	240
Analisi IPA, PBDE, HBCD, DBDPE, DDT, PCB, Fragranze	IRSA MB	1000	8	8000
Analisi metalli (Hg, As, Cu, Pb, Ni, Cd e altri elementi in traccia)	IRSA MB	300	8	2400
Totale (Euro)				17840
Attività 2° anno	Ente	Costo unitario	N.	Totale (Euro)
Analisi non-target e/o suspect screening e quantificazione dei principali contaminanti	IRSA BA	3000	5	15000
Totale (Euro)				15000
Totale TRIENNIO (Euro)				32840

2. INDAGINI SUL FIUME TOCE: BIOACCUMULO IN MACROINVERTEBRATI BENTONICI

Ente gestore: Segretariato CIPAIS

Enti esecutori: CNR Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), sede di Brugherio (MB);

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

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

Premessa

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 evidenziare eventuali variazioni nella concentrazione degli inquinanti in tempi più brevi 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 sono state campionate fin dal 1996, mentre dal 2003 abbiamo i dati storici riguardanti le otto stazioni di prelievo attualmente monitorate. 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.

Per mantenere una linea di continuità con il triennio precedente, si propone il prelievo del bivalve *Unio elongatulus*, che ha mostrato un bioaccumulo dei contaminanti organici analizzati sovrapponibile a quello di *Dreissena polymorpha*, in modo da mantenere la possibilità del confronto con la lunga serie storica sopra descritta. È, inoltre, da sottolineare come entrambe le specie vivano nello stesso ambiente, occupando lo stesso *home-range*, caratteristica che potrebbe portare a differenze dell'assunzione e accumulo dei contaminanti.

La frequenza di prelievo dei bivalvi riguarderà solamente il periodo primaverile (seconda metà di maggio/inizio giugno), in quanto rappresenta il cosiddetto "*worst case*", vale a dire il periodo dell'anno in cui vengono ritrovate le concentrazioni maggiori di contaminanti a causa dell'eventuale piena o parziale circolazione delle acque lacustri e del maggior contenuto lipidico presente nei bivalvi, che non si sono ancora riprodotti. Nel dettaglio, quindi, proponiamo di mantenere le otto stazioni attualmente studiate nelle quali i bivalvi saranno prelevati una volta l'anno. 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_{biota}; D.Lgs. 172/2015). Particolare attenzione, infine, è da riservare ai cosiddetti PCB *dioxin-like*, in quanto i livelli misurati negli scorsi Progetti CIPAIS hanno rappresentato una percentuale non trascurabile dei PCB totali. Infine, al fine di monitorare la distribuzione e la biodisponibilità del mercurio nel lago e continuare la serie storica iniziata già nel 2008, si prevede di riproporre l'analisi di questo metallo. Nel secondo anno di attività verrà aggiunta l'analisi delle fragranze.

L'integrazione delle analisi chimiche con indagini focalizzate sulla misura degli effetti biologici negli organismi è essenziale per poter valutare i potenziali impatti deleteri sulle comunità lacustri, legati all'esposizione alla miscela complessa dei contaminanti presenti nel lago, inclusi quelli presenti a concentrazioni sotto il limite di rilevabilità e quelli non analizzati (Wernersson et al., 2015). Pertanto, si propone anche di misurare nei bivalvi specifici *effect-based tools* relativi a neurotossicità e danno ossidativo e di svolgere un'analisi di metabolomica *untargeted*. Quest'ultima è una tecnica *high-throughput* all'avanguardia, che consente la quantificazione dei metaboliti sintetizzati dall'organismo in risposta alle condizioni ambientali e fornisce informazioni sul suo stato metabolico. Questo approccio consentirà di comprendere due diversi aspetti quali: i) lo stato metabolico e le condizioni di salute degli organismi ii) le potenziali vie metaboliche coinvolte nella risposta agli inquinanti presenti nel lago.

Si propone di svolgere le attività relative agli *effect-based tools* negli individui di *U. elongatulus* campionati nel secondo anno nelle stazioni di: Baveno, Suna, Luino e/o Brebbia, scelte sulla base dei dati di contaminazione forniti dalle serie storiche dei monitoraggi CIPAIS. Negli organismi s'intende analizzare l'attività dell'enzima Acetilcolinesterasi (markers di neurotossicità) e i livelli di perossidazione lipidica (marker di danno ossidativo), attraverso saggi biochimici colorimetrici (Nigro et al., 2021). L'analisi di metabolomica *untargeted* verrà svolta utilizzando tecniche LC-HRMS e LC-HRMS/MS (Della Torre et al., 2021).



Attività annuale, 1 e 3° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Campionamento, trasporto e preparazione dei campioni di Unio spp.	UNIMI	750	1	750
Analisi di DDT (6 composti omologhi) e PCB (totale 14)	UNIMI	300	8	2400
PCB dioxin-like (totale 12)	UNIMI	500	8	4000
Analisi di IPA (totale 14)	UNIMI	300	8	2400
Analisi di PBDE (totale 14)	UNIMI	250	8	2000
Determinazione di Hg	IRSA MB	100	8	800
Totale (Euro)				12350
Attività 2° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Campionamento, trasporto e preparazione dei campioni di Unio spp.	UNIMI	750	1	750
Analisi di DDT (6 composti omologhi) e PCB (totale 14)	UNIMI	300	8	2400
PCB dioxin-like (totale 12)	UNIMI	500	8	4000
Analisi di IPA (totale 14)	UNIMI	300	8	2400
Analisi di PBDE (totale 14)	UNIMI	250	8	2000
Analisi di Fragranze	IRSA MB	200	8	1600
Determinazione di Hg	IRSA MB	100	8	800
Biomarkers di effetto in Unio	UNIMI	1000	3	3000
Totale (Euro)				16950
Totale Triennio (Euro)				41650

3. CONTAMINANTI NELLO ZOOPLANKTON: VARIAZIONI SPAZIO TEMPORALI E FATTORI DI CONTROLLO DEL TRASFERIMENTO LUNGO LA RETE TROFICA PELAGICA

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

Ente esecutore: 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

Premessa

Le ricerche svolte nel passato decennio per conto della CIP AIS 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, e anche per il mercurio, 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 e mercurio molto probabilmente dall'originario sito di contaminazione o da fonti secondarie lungo l'asta del Toce, in particolare in corrispondenza di eventi di piena o forti piogge.

Gli organismi zooplanctonici rispondono rapidamente a eventuali variazioni delle concentrazioni delle sostanze tossiche che si verificano nella colonna d'acqua, perché accumulano i contaminanti sia dall'acqua sia dalle risorse trofiche: 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 $\geq 450 \mu\text{m}$ (Piscia et al. 2023, 2024). Inoltre, le ricerche condotte durante gli ultimi anni hanno evidenziato una progressiva diminuzione dell'abbondanza numerica degli organismi appartenenti alla frazione dimensionale $\geq 850 \mu\text{m}$. Tale risultato è in linea con gli effetti attesi a seguito del riscaldamento globale, che prevedono per gli organismi zooplanctonici una riduzione della taglia corporea (Moore et al., 1993; Brucet et al. 2010). Pertanto, si propone per il prossimo triennio la prosecuzione della determinazione della concentrazione di DDTs, PCBs, mercurio e fragranze nelle frazioni $\geq 450 \mu\text{m}$ e $\geq 80 \mu\text{m}$.

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, mercurio e Fragranze in campioni zooplanctonici saranno quindi 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, PCB e mercurio e di aggiungere nel secondo anno le Fragranze nello zooplancton. Inoltre, si propone di continuare l'analisi 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 verifichino 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 CIPAIS per segnalare alle autorità competenti fenomeni potenziali e in atto e per proporre interventi, linee guida, regolamenti e norme di intervento e di gestione.



Richiesta finanziaria

Attività annuale, 1° e 3° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Campionamento, analisi microscopica e determinazione della biomassa	IRSA VB	320	16	5120
Preparazione di campioni in doppio per analisi POPs, Hg e misure di nicchia trofica	IRSA VB	30	32	960
Preparazione dei campioni e determinazione lipidi sui campioni di materiale zooplanctonico	UNI INSUBRIA	525	8	4200
Determinazione di DDT, PCB sui campioni zooplanctonici	UNI INSUBRIA	350	8	2800
Determinazione di Hg in 8 campioni e di MeHg in 4 campioni	IRSA MB	200	8	1600
Totale				14680
Attività 2° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale
Campionamento, analisi microscopica e determinazione della biomassa	IRSA VB	320	16	5120
Preparazione di campioni in doppio per analisi POPs, Hg e misure di nicchia trofica	IRSA VB	30	32	960
Preparazione dei campioni e determinazione lipidi sui campioni di materiale zooplanctonico	UNI INSUBRIA	525	8	4200
Determinazione di DDT, sui campioni zooplanctonici	UNI INSUBRIA	350	8	2800
Determinazione di Fragranze sui campioni zooplanctonici	IRSA MB	300	4	1200
Determinazione di Hg in 8 campioni e di MeHg in 4 campioni	IRSA MB	200	8	1600
Totale				15880
Totale triennio (Euro)				45240



4. BIOMONITORAGGIO DELLA FAUNA ITTICA LACUSTRE

Ente gestore: Segretariato CIPAIS

Enti esecutori:

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

Premessa

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 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, poichè 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 8,5 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.

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, 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 agone di una taglia di una stagione.



Richiesta finanziaria

Attività annuale, 1° e 3° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Campionamento e pagamento pescatori di mestiere per la raccolta (per pescata e per specie)	IRSA VB	450	12	5400
Preparazione campioni (indagini morfometriche, identificazione sesso, età, selezione, omogeneizzazione e refrigerazione, distribuzione campioni)	IRSA VB	4300	1	4300
Analisi lipidica	IRSA MB	50	16	800
Analisi DDT	IRSA MB	250	16	4000
Analisi Hg e metilmercurio (solo per esemplari di una taglia di agone)	IRSA MB	150	16	2400
Analisi PBDE	IRSA MB	150	12	1800
Analisi PCB diossina-simili	IRSA MB	660	12	7920
Totale				26620
Attività 2° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Campionamento e pagamento pescatori di mestiere per la raccolta (per pescata e per specie)	IRSA VB	450	12	5400
Preparazione campioni (indagini morfometriche, identificazione sesso, età, selezione, omogeneizzazione e refrigerazione, distribuzione campioni)	IRSA VB	4300	1	4300
Analisi lipidica	IRSA MB	50	16	800
Analisi DDT	IRSA MB	250	16	4000
Analisi Hg e metilmercurio (solo per esemplari di una taglia di agone in una stagione)	IRSA MB	150	16	2400
Analisi PBDE	IRSA MB	150	12	1800
Analisi PCB diossina-simili	IRSA MB	660	12	7920
Analisi di Fragranze	IRSA MB	250	8	2000
Totale				28620
Totale TRIENNIO (Euro)				81860



5. 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

Premessa

Per quanto riguarda i tributari, si intende condurre la stessa indagine già svolta nel triennio precedente sui sedimenti prelevati alla foce di ogni tributario, in modo da proseguire le serie storiche. L'analisi dei dati finora disponibili ha infatti messo in luce le potenziali sorgenti e i trend della contaminazione negli ultimi 20 anni (Marziali et al., 2021a). Rame e Pb mostrano una tendenza alla diminuzione nel bacino, probabilmente a seguito del miglioramento dei trattamenti delle acque reflue e di cambiamenti nell'uso industriale, trend che può essere confermato perseguendo l'analisi nel tempo. L'aumento degli IPA registrato nel 2015 sembrava legato ad un'unica sorgente puntiforme, non più attiva, ma l'analisi dei molluschi ha spesso evidenziato il bioaccumulo di questi composti, potenzialmente derivanti anche da sorgenti. L'inquinamento industriale da DDT e Hg è un'eredità ancora presente, a causa dell'elevata persistenza di questi composti nei sedimenti. Questi risultati evidenziano il ruolo chiave degli affluenti nel portare la contaminazione dal bacino al lago, attraverso i sedimenti.

Accanto ai contaminanti analizzati da diversi anni nei sedimenti dei tributari come DDT, PCB, PBDE, IPA, Hg e altri elementi in traccia (As, Cu, Pb, Ni, Cd), per i quali quindi l'aggiornamento delle serie storiche rappresenta un punto di forza in un'ottica di studio dell'evoluzione e ripristino dell'ecosistema in seguito ad azioni di mitigazione degli impatti, si propone di proseguire con l'analisi delle fragranze sintetiche, contaminanti emergenti studiati anche come traccianti di possibili scarichi di depurazione (Standley et al., 2000; Zeng et al., 2018). La loro presenza nel Lago Maggiore è stata evidenziata da analisi esplorative condotte sui sedimenti dei tributari nello scorso triennio 2022-2024 ed è stata ulteriormente approfondita in uno studio focalizzato sulla matrice acquosa (Tasselli et al., 2023a).

Si propone quindi di proseguire le serie storiche rilevate negli anni, con l'analisi dei seguenti analiti:

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

Nel secondo anno, l'analisi riguarderà l'intero set dei contaminanti (DDT, PCB, PBDE, IPA, Fragranze, As, Cu, Pb, Ni, Cd, Hg e per il Toce metilmercurio), al fine di ricostruire il trend storico della contaminazione dei tributari ed individuare eventuali nuove sorgenti di contaminazione.

Richiesta finanziaria

Attività annuale, 1° e 3° Anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)	Fiumi
Raccolta, preparazione dei campioni, analisi del carbonio organico	IRSA MB	150	12	1800	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Raccolta tramite imbarcazione di sedimento in una stazione del tratto terminale del Toce	IRSA VB	430	2	860	Toce
Analisi DDT	IRSA MB	150	6	900	Toce e Ticino em.
Analisi PCB	IRSA MB	150	12	1800	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Analisi Hg e MeHg (solo per il Toce)	IRSA MB	120	12	1440	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Analisi PBDE e Fragranze	IRSA MB	250	12	3000	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Totale				9800	Totale
Attività 2° Anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)	Fiumi
Raccolta, preparazione dei campioni, analisi del carbonio organico	IRSA MB	150	18	2700	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Raccolta tramite imbarcazione di sedimento in una stazione del tratto terminale del Toce	IRSA VB	430	3	1290	Toce
Analisi DDT	IRSA MB	150	6	900	Toce e Ticino em.
Analisi PCB	IRSA MB	150	18	2700	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Analisi Hg, As, Cu, Pb, Ni, Cd e metilmercurio (solo sul Toce)	IRSA MB	210	13	2730	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.



Analisi IPA	IRSA MB	250	18	4500	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Analisi PBDE e Fragranze	IRSA MB	250	18	4500	Tresa, Margorabbia, Toce, Boesio, Bardello, Ticino Em.
Totale				19320	
Totale TRIENNIO (Euro)				38920	

6. BIOMONITORAGGIO DELLA CONTAMINAZIONE DEI PRINCIPALI TRIBUTARI DEL VERBANO MEDIANTE FAUNA ITTICA

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 l'evoluzione del biomonitoraggio iniziato nel Progetto 2019-2021 e proseguito poi con l'ultimo Progetto 2022-2024, atti a valutare lo stato della contaminazione di alcune classi d'inquinanti ambientali in diversi tributari del Verbano (F. Toce, Boesio, Margorabbia, San Giovanni) mediante l'impiego di due specie ittiche (trota e cavedano). 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, anche con il superamento, per alcuni contaminanti, dei valori riferiti allo Standard di Qualità Ambientale per il Biota (SQA_{biota}).

Vista la robustezza e particolare interesse dei risultati ottenuti con la serie storica sessennale ottenuta nei due precedenti Progetti, si propone un ampliamento del monitoraggio, che riguarderà 8 diversi tributari del L. Maggiore, scelti in modo da coprire il più uniformemente possibile il perimetro del lago. In maniera prioritaria, si propone di campionare i fiumi Bardello, Boesio, Toce, Tresa, San Giovanni, Margorabbia, Vevera e/o Cannobino, anche se il piano di monitoraggio potrebbe modificarsi nel caso di problemi relativi al prelievo delle diverse specie ittiche. I campionamenti saranno previsti nel periodo giugno-luglio, solamente nel primo anno del Progetto, mediante pesca elettrica nella zona terminale degli emissari, in modo da evidenziare tutto l'apporto inquinante proveniente dal loro bacino. Si prevede di eseguire l'analisi su tre diverse specie: tenuto conto delle notevoli differenze idromorfologiche e di habitat dei diversi tributari selezionati, è possibile che non sia possibile riscontrare le stesse specie in tutti i fiumi, mai si prevede di poter comunque eseguire un confronto tra quei tributari accomunati da almeno una specie, oppure da specie confrontabili per ecologia. Ogni pool sarà costituito da almeno 5 individui per specie, 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 i parametri chimici misurati nei filetti degli esemplari campionati, saranno analizzati i contaminanti prioritari già oggetto di studio nei due trienni precedenti: p,p'-DDT e relativi composti omologhi (totale di 6 composti), 14 policlorodifenili (PCB), 12 *dioxin-like* PCBs, 14 polibromodifenileteri (PBDE), il mercurio totale e, su un sottogruppo di campioni, il metilmercurio. A fianco ad essi, si prevede di misurare anche altri elementi in traccia, tra cui Cd, Pb, As, Ni, Zn, Co, ecc., e, su una/due specie per fiume, sostanze emergenti, quali i PFAS e le fragranze, mai analizzate prima nel biota dei tributari del Verbano. Questa prima campagna permetterà di identificare potenziali sorgenti di contaminazione e di valutare la biodisponibilità delle sostanze che finora sono state



analizzate solo nei sedimenti dei tributari. Per quanto riguarda i pesci del Tresa, l'analisi potrà essere complementare e/o in continuità con analisi svolte su diverse matrici ambientali del Ceresio.

Richiesta finanziaria

Attività 1° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Campionamento e prelievo mediante elettrostorditore di specie ittiche provenienti da 7 tributari	IRSA VB	900	7	6300
Preparazione campioni (indagini morfometriche, determinazione età e condizione)	IRSA VB	400	7	2800
Analisi di DDT (6 composti omologhi); PCB (totale 14)	UNIMI	250	24	6000
Analisi di PBDE (totale 14) e dioxin-like PCB (totale 12) su pesci	UNIMI	250	24	6000
Analisi metalli (Hg, As, Cu, Pb, Ni, Cd e altri elementi in traccia) su pesci; analisi di MeHg (su 8 campioni)	IRSA MB	290	24	6960
Analisi di PFAS	IRSA MB	200	16	3200
Analisi di Fragranze	IRSA MB	250	8	2000
Totale				33260
Totale Triennio (Euro)				33260

7. INDAGINI SUL FIUME TOCE: BIOACCUMULO IN MACROINVERTEBRATI BENTONICI

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

Ente esecutore:

CNR Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA), sedi di Brugherio (MB)

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

Premessa

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, in continuità con le indagini effettuate nei trienni precedenti. Si prevede quindi di continuare l'analisi iniziata nel 2013 sui sedimenti nelle 4 stazioni già identificate: Domo, Prata, Bosco Tenso e Ornavasso. I risultati evidenziano la sussistenza di sorgenti secondarie di contaminazione e come le dinamiche di trasporto degli inquinanti siano spesso correlate a eventi idrologici estremi, sia di piena che di magra, come osservato in particolare nel triennio 2020-2022. 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 dei precedenti programmi, nelle zone di deposizione, con studi sul bioaccumulo di DDT e metaboliti, Hg e metilmercurio; tra gli invertebrati bentonici, i taxa degli Efemerotteri Baetidae ed Heptageniidae, i Gammaridae e i Ditteri si sono dimostrati ottimi bioindicatori per monitorare il trasferimento dei contaminanti dai sedimenti al biota attraverso diversi percorsi di esposizione e attraverso le catene trofiche, fino ai predatori terminali degli ecosistemi acquatici (pesci) e terrestri (uccelli insettivori) (Tasselli et al., 2023b). Inoltre, i dati raccolti finora iniziano a costituire un'importante serie storica per valutare eventuali nuovi apporti di contaminanti, potenzialmente determinati anche dalle operazioni di bonifica in corso.

Saranno quindi considerati i 4 taxa elencati sopra 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: questa attività ha permesso di identificare, lungo il corso del Toce, le aree hot-spot di contaminazione, non solo perché presentano le concentrazioni maggiori di mercurio, ma anche perché mostrano le percentuali più elevate della sua forma più tossica e biomagnificabile, il metilmercurio (Marziali et al., 2021b).

Richiesta finanziaria

INDAGINI SUL FIUME TOCE: BIOACCUMULO IN MACROINVERTEBRATI BENTONICI				
Attività annuale, 1° e 3° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Raccolta dei campioni di sedimento in 4 stazioni lungo il corso del Toce per 2 stagioni	IRSA MB	800	2	1600
Analisi DDT nei sedimenti + carbonio organico	IRSA MB	230	8	1840
Analisi di Hg nei sedimenti	IRSA MB	120	8	960
Raccolta di macroinvertebrati bentonici nativi in 4 stazioni per 2 periodi	IRSA MB	800	2	1600
Analisi DDT in organismi macrobentonici (4 taxa) + lipidi	IRSA MB	200	32	6400
Analisi Hg in organismi macrobentonici (4 taxa)	IRSA MB	120	32	3840
Totale				16240
Attività 2° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Raccolta dei campioni di sedimento in 4 stazioni lungo il corso del Toce per 2 stagioni	IRSA MB	800	2	1600
Analisi DDT nei sedimenti + carbonio organico	IRSA MB	230	8	1840
Analisi di Hg nei sedimenti	IRSA MB	120	8	960
Raccolta di macroinvertebrati bentonici nativi in 4 stazioni per 2 stagioni	IRSA MB	800	2	1600
Analisi DDT in organismi macrobentonici + lipidi	IRSA MB	200	32	6400
Analisi Hg e metilmercurio (in una sola stagione) in organismi macrobentonici	IRSA MB	160	32	5120
Totale				17520
Totale TRIENNIO (Euro)				50000

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

Ente gestore: Segretariato CIPAIS

Enti esecutori:

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

Premessa

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 ampliare il quadro conoscitivo necessario per comprendere i complessi meccanismi che portano al trasferimento di questo metallo dai siti contaminati all'ambiente e al biota, non solo attraverso il dilavamento delle fonti primarie e secondarie, ma anche per trasferimento aereo verso diversi comparti degli ecosistemi (Fantozzi et al., 2021), e 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 (Marziali et al., 2021b).

Le ricerche del triennio 2022-2024 hanno evidenziato che nell'area di Bosco Tenso, situata in un'area alluvionale del Toce e potenziale hot-spot di contaminazione, sia l'ambiente acquatico che quello terrestre, così come quello atmosferico, sono interessati dalla presenza del mercurio, dimostrando la persistenza di sorgenti secondarie e l'attiva ciclizzazione del contaminante nell'area. A causa dell'accumulo notevole e del lento turnover del mercurio negli ecosistemi, infatti, i benefici legati alla riduzione delle emissioni si manifestano in un arco temporale generalmente molto lungo (decadi). L'evidenza di bioaccumulo e biomagnificazione nelle catene trofiche acquatiche e terrestri del Toce dimostra l'elevata biodisponibilità del mercurio, che risulta largamente presente anche nella sua forma organica, il metilmercurio. La tossicità del mercurio può non manifestarsi ai livelli base delle catene trofiche, ma in quelli apicali, dove le concentrazioni tendono ad aumentare, determinando potenzialmente fenomeni di avvelenamento secondario. L'analisi condotta su passeriformi insettivori della specie *Parus major* (cinciallegre) catturati nell'area di Bosco Tenso ha infatti dimostrato l'esposizione di questi organismi alla contaminazione e l'effettivo bioaccumulo e trasferimento dalle madri ai pulcini, nonostante la contaminazione ambientale sia cessata da diversi anni. Numerosi studi evidenziano che gli effetti del mercurio su popolazioni naturali di uccelli si manifestano su parametri legati alla riproduzione, come la produttività o la probabilità di sopravvivenza dei pulcini sino all'età riproduttiva (Fuchsman et al., 2017), elementi che concorrono, assieme ad altre pressioni, a minare la conservazione a lungo termine delle popolazioni di animali selvatici, già compromessi dal cambiamento climatico e dalla perdita di habitat, questioni particolarmente gravi per le specie legate alle zone umide.

Per queste ragioni si propone di analizzare un'altra area umida, potenziale hot-spot, lungo il Toce, in una zona che più direttamente interessa il Lago Maggiore, ossia il canneto di Fondotoce, una riserva naturale compresa nella Rete Natura 2000. Il canneto, infatti, funge verosimilmente da trappola per il mercurio veicolato per via atmosferica e soprattutto per quello trasportato dai sedimenti fini del Toce, che sono la frazione in cui questo metallo tende maggiormente ad essere adsorbito. Inoltre, il suolo del canneto è generalmente molto ricco

di sostanza organica e ospita ricche comunità microbiche, premesse ideali per la biotrasformazione del mercurio inorganico in metilmercurio. La continua sommersione ed emersione del suolo del canneto crea inoltre le condizioni di ipossia e anossia necessarie per la metilazione (Xiang et al., 2018) e per il rilascio del contaminante tramite dilavamento. Le canne, d'altro canto, sono considerate ottimi strumenti per il biorisanamento, assorbendo contaminanti all'interno dei loro tessuti (Cicero-Fernández et al., 2017, Gacia et al., 2021). Il canneto potrebbe quindi costituire una sorgente di contaminazione, qualora prevalga il rilascio del contaminante, oppure un filtro di decontaminazione per il Lago.

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;
- mappatura della deposizione del mercurio atmosferico tramite analisi del mercurio totale in tessuti vegetali prelevati da specie arboree locali, 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 e metilmercurio in campioni di suolo e/o eluati mediante analizzatore diretto di mercurio.
- il rischio di avvelenamento secondario per i predatori apicali delle catene terrestri sarà valutato mediante l'analisi del mercurio totale in campioni biologici di uccelli specialisti di ambienti umidi. Nello specifico, lo studio si vuole concentrare su 1-3 specie di passeriformi territoriali di canneto, la cui dieta è costituita interamente da insetti. Le specie target saranno la cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*) ed il cannareccione (*Acrocephalus arundinaceus*), oltre ad alcune possibili salciaiole (*Locustella luscinioides*), specie presente nella lista rossa degli uccelli d'Italia. Lo studio mira quindi ad allargare la conoscenza di potenziali criticità per organismi rappresentativi dei livelli superiori delle catene trofiche, aspetto sul quale non sembrano disponibili dati recenti per il bacino del Toce e del Lago Maggiore, oltretutto focalizzandosi su un ecosistema particolarmente fragile e minacciato come le fasce di canneto ripariale.

L'attività, replicata nei prossimi trienni su altre aree chiave del bacino del Lago, potrà consentire di identificare man mano le diverse sorgenti di contaminazione e il loro contributo alla diffusione del mercurio per via atmosferica, oppure attraverso l'ambiente acquatico e le catene trofiche nel bacino del Lago Maggiore, nonché i trend temporali nei diversi comparti ambientali.

Richiesta finanziaria

Attività 2° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	N.	Totale (Euro)
Analisi del mercurio totale nell'acqua	IRSA VB	150	12	1800
Misura del mercurio gassoso atmosferico durante campagne in movimento e in siti fissi	IRSA VB	300	8	2400
Campionamento di tessuti vegetali	IRSA VB	200	2	400
Analisi di Hg in tessuti vegetali	IRSA MB	120	12	1440
Misura dei flussi di mercurio dal suolo	IRSA VB	400	4	1600
Analisi del Hg e MeHg in campioni di suolo	IRSA MB	200	6	1200
Analisi di carbonio organico nei campioni di suolo	IRSA MB	30	6	180
Campionamento di materiali biologici di diverse specie di uccelli	IRSA MB	1000	2	2000
Analisi Hg in campioni biologici di uccelli	IRSA MB	160	16	2560
Totale				13580
Totale TRIENNIO (Euro)				13580

9. MONITORAGGIO DEI PFAS NEI TRIBUTARI E NEL TICINO EMISSARIO MEDIANTE CAMPIONATORI PASSIVI

Ente gestore: Segretariato CIP AIS, in collaborazione con Cantone Ticino, Bellinzona

Ente esecutore: CNR Istituto di Ricerca Sulle Acque (IRSA), sede di Brugherio (MB) in collaborazione con Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (SPAAS), Bellinzona

Premessa

Per quanto riguarda i PFAS, le indagini svolte nel triennio 2022-2024 hanno messo in luce che i composti poli- e perfluorurati verosimilmente presenti nel lago non mostrano particolare affinità per i sedimenti, né sembrano accumulare nei molluschi filtratori, matrici dove i valori sono risultati quasi sempre sotto i limiti di rilevabilità strumentale. Per questa ragione, si intende realizzare un'attività in collaborazione con la Sezione 2 del Lago di Lugano, che prevede l'esposizione di campionatori passivi per i PFAS nelle acque di alcuni tributari dei laghi di Lugano e Maggiore. Si prevede di utilizzare campionatori passivi del tipo AttractSPE® POCIS-PFAS, che permettono di campionare passivamente 13 tipologie di composti PFAS potenzialmente presenti nella colonna d'acqua e di calcolarne le concentrazioni medie nel periodo di esposizione: PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS, HPFO-DA, 6:2 FTS, N-EtFOSAA.

Il ruolo di IRSA, sede di Brugherio, in questa attività, sarà l'esposizione e l'analisi dei campionatori nei seguenti fiumi: Tresa, Toce, Boesio, Bardello e Ticino emissario. L'esposizione verrà effettuata in una/due stagioni per ogni fiume, con le stesse modalità utilizzate dai colleghi svizzeri nel Ceresio, per la confrontabilità dei dati. Contestualmente, saranno prelevati campioni di acqua dai fiumi per l'analisi degli stessi PFAS, per la messa a punto del metodo. Si prevede di effettuare la ricerca nel primo anno di attività.

Richiesta finanziaria

CAMPIONATORI PASSIVI PER I PFAS NEI TRIBUTARI E NEL TICINO EMISSARIO				
Attività del 1° anno	Ente	Costo unitario	No.	Totale (Euro)
Acquisto campionatori e supporti	IRSA MB	340	10	3400
Posizionamento/ritiro dei campionatori passivi nei tributari e campionamento di acqua (Tresa, Boesio, Bardello, Toce, Ticino Emissario x 2 stagioni)	IRSA MB	150	2	300
Analisi PFAS nei campionatori e nell'acqua	IRSA MB	230	20	4600
Totale				8300
Totale TRIENNIO (Euro)				8300

Bibliografia

Brucet S., Boix D., Quintana X.D., Jensen E., Nathansen L.W., Trochine C., Meerhoff M., Gascón S., Jeppesen E., 2010. Factors influencing zooplankton size structure at contrasting temperatures in coastal shallow lakes: implications for effects of climate change.

- Limnology and Oceanography, 55:1697-1711.
<https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.4.1697>
- Cicero-Fernández D., Peña-Fernández M., Expósito-Camargo J.A., Antizar-Ladislao B., 2017. Long-term (two annual cycles) phytoremediation of heavy metal-contaminated estuarine sediments by *Phragmites australis*. New Biotechnology, 38, Part B: 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.07.011>
- Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIP AIS), 2020. Specie Aliene: Impatti e sfruttamento come Bioindicatori nel Lago Maggiore. A cura di Riccardi N., pp. 1-129
- Della Torre C., Maggioni D., Nigro L., Fare F., Hamza H., Protano G., Magni S., Fontana M., Riccardi N., Chiara M., Caruso D., Binelli A. 2021. Alginate coating modifies the biological effects of cerium oxide nanoparticles to the freshwater bivalve *Dreissena polymorpha*. Sci. Tot. Environ. 773, 145612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145612>
- Fantozzi L., Guerrieri N., Manca G., Orrù A., Marziali L., 2021. An Integrated Investigation of Atmospheric Gaseous Elemental Mercury Transport and Dispersion Around a Chlor-Alkali Plant in the Ossola Valley (Italian Central Alps). Toxics, 9(7): 172. <https://doi.org/10.3390/toxics9070172>
- Fuchsman P.C., Brown L.E., Henning M.H., Bock M.J., Magar V.S., 2017. Toxicity reference values for methylmercury effects on avian reproduction: critical review and analysis. Environmental toxicology and chemistry, 36(2): 294-319. <https://doi.org/10.1002/etc.3606>
- Gacia E., Soto D.X., Roig R., Catalan J., 2021. *Phragmites australis* as a dual indicator (air and sediment) of trace metal pollution in wetlands – the key case of Flix reservoir (Ebro River). Science of The Total Environment, 765: 142789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142789>.
- Marziali, L., Guzzella, L., Salerno, F., Marchetto, A., Valsecchi, L., Tasselli, S., Roscioli, C., Schiavon, A., 2021a. Twenty-year sediment contamination trends in some tributaries of Lake Maggiore (Northern Italy): relation with hydrological and anthropogenic factors. Environ Sci Pollut Res., 28:38193-38208. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13388-6>
- Marziali L., Roscioli C., Valsecchi L., 2021b. Mercury Bioaccumulation in Benthic Invertebrates: From Riverine Sediments to Higher Trophic Levels. Toxics, 9(9):197. <https://doi.org/10.3390/toxics9090197>
- Nigro, L., Freitas, R., Maggioni, D., Hamza, H., Coppola, F., Protano, G., Della Torre, C., 2021. Coating with polysaccharides influences the surface charge of cerium oxide NPs and their effects to *Mytilus galloprovincialis*. Nanoimpact 24, 100362 <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100362>
- Moore M., Folt C., 1993. Zooplankton body size and community structure: effects of thermal and toxicant stress. Trends in Ecology & Evolution, 8:178-183. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90144-E](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90144-E)
- Mascolo G., Murgolo S., Stefani F., Viganò L., 2019. Target and suspect contaminants of emerging concern in the Po River Delta lagoons. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 230:106424. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106424>
- 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>

- Piscia R., Bettinetti R., Caroni R., Boldrocchi G., Manca M., 2023. Seasonal and plurennial changes of POPs repository in freshwater zooplankton: A 10-year study in the large deep subalpine Lake Maggiore (Italy). *Science of The Total Environment*, 857:159379. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159379>
- Piscia R., Manca M., Caroni R., Guilizzoni P., Bettinetti R., 2024. Zooplankton taxa repository of DDTtot and sumPCB14: Seasonal and decadal variations in Lake Maggiore. *Science of the Total Environment*, 917:170563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170563>
- 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>
- Schulze B., Jeon Y., Kaserzon S., Heffernan A.L., Dewapriya P., O'Brien J., Gomez Ramos M.J., Ghorbani Gorji S., Mueller J.F., Thomas K.V., Samanipour S., 2020. An assessment of quality assurance/quality control efforts in high resolution mass spectrometry non-target workflows for analysis of environmental samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 133: 116063. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116063>.
- Schulze B., van Herwerden D., Allan I., et al., 2021. Inter-laboratory mass spectrometry dataset based on passive sampling of drinking water for non-target analysis. *Scientific Data*, 8: 223. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01002-w>
- Schymanski E.L., Jeon J., Gulde R., Fenner K., Ruff M., Singer H.P., Hollender J., 2014. Identifying small molecules via high resolution mass spectrometry: communicating confidence. *Environ. Sci. Technol.*, 48: 2097-8. <https://doi.org/10.1021/es5002105>
- Standley L.J., Kaplan L.A., Smith D., 2000. Molecular tracers of organic matter sources to surface water resources. *Environmental science & technology*, 34:3124-3130. <https://doi.org/10.1021/es991381n>
- Tasselli S., Rogora M., Orrù A., Guzzella L., 2023a. Behaviour of synthetic musks fragrances in freshwaters: occurrence, relations with environmental parameters and preliminary risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 109643–109658. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30030-9>
- Tasselli S., Marziali L., Roscioli C., Guzzella L., 2023b. Legacy Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) pollution in a river ecosystem: sediment contamination and bioaccumulation in benthic invertebrates. *Sustainability*, 15(8), 6493. <https://doi.org/10.3390/su15086493>
- Valsecchi S., Babut M., Mazzoni M., Pascariello S., Ferrario C., De Felice B., Bettinetti R., Veyrand B., Marchand P., Polesello S., 2021. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Fish from European Lakes: Current Contamination Status, Sources, and Perspectives for Monitoring. *Environ Toxicol Chem*, 40: 658-676. <https://doi.org/10.1002/etc.4815>
- Xiang Y, Wang Y., Zhang C., Shen H., Wang D., 2018. Water level fluctuations influence microbial communities and mercury methylation in soils in the Three Gorges Reservoir, China. *Journal of Environmental Sciences*, 68:206-217. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.03.009>.
- Wernersson, A.S., Carere, M., Maggi, C. *et al.* 2015. The European technical report on aquatic effect-based monitoring tools under the water framework directive. *Environ. Sci. Eur.* 27:7. <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0039-4>



Zeng X., Xu L., Liu J., Wu Y., Yu Z., 2018. Occurrence and distribution of organophosphorus flame retardants/plasticizers and synthetic musks in sediments from source water in the Pearl River Delta, China. *Environmental toxicology and chemistry*, 37:975-982. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110843>

RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SULLE SOSTANZE PERICOLOSE TRIENNIO 2025-2027 (IN EURO, IVA COMPRESA)

Sostanze Pericolose sul Lago Maggiore – Sezione 2

Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca, oltre allo stato di avanzamento (vedi accordo di collaborazione)

COSTI TOTALI NEL TRIENNIO (IVA INCLUSA)

Costi per attività

N.	Attività/anno	2025 (Euro)	2026 (Euro)	2027 (Euro)	Totale (Euro)
1	Sedimenti lacustri	17840	15000	0	32840
2	Biomonitoraggio tramite bivalvi	12350	16950	12350	41650
3	Contaminanti nello zooplancton	14680	15880	14680	45240
4	Biomonitoraggio del comparto ittico lacustre	26620	28620	26620	81860
5	Sedimenti dei tributari alla foce	9800	19320	9800	38920
6	Biomonitoraggio dei tributari tramite fauna ittica	33260	0	0	33260
7	Biomonitoraggio del Fiume Toce tramite macrobenthos	16240	17520	16240	50000
8	Approfondimento sul ciclo del mercurio	0	13580	0	13580
	Campionatori passivi per PFAS	8300	0	0	8300
	Coordinamento	240	240	240	720
	TOTALE (Euro)	139330	127110	79930	346370

Costi per istituto

Istituto proponente	2025	2026	2027	Totale (Euro)
Uni Insubria	7000	7000	7000	21000
Uni Milano	23550	14550	11550	49650
IRSA Verbania	32940	23270	16640	72850
IRSA Brugherio	75840	67290	44740	187870
IRSA Bari	0	15000	0	15000
TOTALE (Euro)	139330	127110	79930	346370

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 CIP AIS 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. Considerando le conclusioni di un recente articolo pubblicato sulla rivista Nature (Nava, V., Chandra, S., Aherne, J. et al. Plastic debris in lakes and reservoirs. Nature 619, 317–322 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06168-4>), secondo il quale i laghi Maggiore e Lugano avrebbero concentrazioni di microplastiche tra le più elevate al mondo, si invita a continuare il monitoraggio delle microplastiche su tutto il triennio, utilizzando le stesse tecniche degli anni precedenti e aggiungendo punti di campionamento in diverse zone del lago, in modo da poter predisporre di dati certi e adeguati ad una caratterizzazione del fenomeno, con una caratterizzazione stagionale in diverse zone del lago.
- Approfondire le conoscenze sui cambiamenti nelle comunità naturali nello spazio (in diverse zone del lago) e nel tempo (sfruttando collezioni raccolte nel tempo) attraverso l'utilizzo di sequenze di DNA dagli organismi del lago, continuando la costruzione di una banca dati di diversità genetica, ampliando la copertura tassonomica a specie non ancora sequenziate, a ricostruendo le variazioni storiche della biodiversità genetica in relazione ai cambiamenti globali e alle pressioni antropiche a cui il lago è stato sottoposto negli ultimi decenni.

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 prioritarie per rispondere alle richieste:

- 1) Continuare il programma di monitoraggio delle microplastiche, volto ad indagare la presenza e distribuzione delle plastiche nel Lago Maggiore.
- 2) Continuare con la creazione di un database di riferimento di sequenze di DNA, aggiungendo un progetto pilota per il monitoraggio nel tempo della diversità genetica dello zooplancton, sfruttando le collezioni del museo del plancton dell'istituto proponente.

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

1. PRESENZA E DISTRIBUZIONE DELLE PLASTICHE NEL BACINO DEL LAGO MAGGIORE E NEI SUOI SEDIMENTI

Ente gestore: Segretariato CIPAIS

Enti esecutori:

CNR Istituto di Ricerca Sulle Acque, Verbania (IRSA)

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

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

Premessa

Le plastiche, identificate come inquinanti emergenti prioritari, sono state individuate in tutti i comparti ambientali e in una vasta gamma di ecosistemi, inclusi quelli remoti e poco antropizzati del pianeta (Ambrosini et al., 2019; González-Pleiter et al., 2020; Tan et al., 2020), tanto da suscitare un considerevole interesse non solo nella comunità scientifica, ma anche e soprattutto nell'opinione pubblica. In particolare, le microplastiche, definite come particelle con dimensioni inferiori ai 5 mm secondo la classificazione tradizionale, e le nanoplastiche, misurate nell'ordine dei nanometri, sono considerate tra le forme più pericolose con cui la plastica si può trovare in ambiente a causa delle loro dimensioni che ne facilitano l'ingresso negli organismi (Frias and Nash, 2019). A completare questa scala dimensionale ci sono le macroplastiche, frammenti di dimensioni superiori ai 5 mm.

La possibile pericolosità delle micro- e nanoplastiche (d'ora in avanti semplicemente chiamate plastiche) è principalmente legata alla capacità d'indurre stati infiammatori e un aumento dei livelli di stress ossidativo, che ne permette la traslocazione in numerosi tessuti, diversi da quelli direttamente coinvolti con la loro ingestione (Browne et al., 2008; Gunaalan et al., 2020; Zeytin et al., 2020). Oltre alla pericolosità che possono rappresentare per la loro natura fisica e per la difficoltà di degradazione, le plastiche comportano anche una pericolosità chimica e biologica per il loro ruolo di potenziali *carrier* di sostanze chimiche e microrganismi, agenti che possono entrare negli organismi tramite il cosiddetto *Trojan horse effect* insieme alle plastiche ingerite. 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, metalli, composti farmaceutici) possono essere adsorbiti sulla loro superficie, venendo trasportati insieme alle particelle polimeriche. Infine, anche svariati microrganismi possono aderire alla loro superficie, formando un biofilm potenzialmente pericoloso se ospita specie patogene o batteri portatori di antibiotico-resistenza (Sathicq et al., 2021).

Il monitoraggio e la determinazione delle quantità presenti nell'ambiente sono, quindi, di particolare importanza per poterne tracciare le fonti, identificarne i *pathway* di dispersione e determinare i livelli di rischio per l'ecosistema.

Monitoraggio delle plastiche

Nonostante il problema dell'inquinamento da plastiche sia ormai ben noto, i dati relativi alla concentrazione delle particelle polimeriche, soprattutto negli ambienti d'acqua dolce, sono ancora scarsi e frammentari, nonostante trasportino circa l'80% dei rifiuti plastici che finiscono in mare (Meijer et al., 2021).

Anche se i primi monitoraggi per la valutazione della contaminazione da plastica nelle acque del Lago Maggiore siano stati eseguiti fin dal 2013, nella parte svizzera del Lago (Faure et al., 2015) e si siano eseguite altre campagne negli anni successivi (Sighicelli et al., 2018; Binelli et al., 2020; Galafassi et al., 2021; Nava et al., 2023), il quadro descritto risulta ancora frammentario perché privo di uniformità nella posizione e nella direzione (longitudinale o trasversale) dei transetti e nelle metodologie di campionamento e analisi strumentale. Un'importante azione di monitoraggio delle concentrazioni mensili delle plastiche è stata fatta nell'ambito delle progettualità del triennio 2022–2024, con un campionamento mensile nel corso di tutto il 2022 delle plastiche galleggianti (Binelli et al., 2024) e di quelle presenti nel primo strato della colonna d'acqua (0–50 m). I campionamenti, effettuati con Manta-net e retini con maglie da 100 µm e l'analisi polimerica della quasi totalità delle particelle isolate hanno permesso di avere una caratterizzazione robusta e precisa del livello di inquinamento da plastica nel Lago Maggiore e, soprattutto, una sua evoluzione temporale nell'arco di un anno, frequenza mai impiegata prima in nessun ecosistema lacustre a livello mondiale.

Sulla base dell'andamento mensile, estremamente variabile in termini qualitativi, delle concentrazioni polimeriche rilevate nel 2022 si propone di eseguire un nuovo monitoraggio, questa volta solo stagionale, delle concentrazioni di plastiche galleggianti lungo un transetto trasversale nella parte centrale del Verbano, il medesimo campionato durante il 2022, nel corso dell'intero triennio di indagini. Questo monitoraggio permetterà eventualmente di confermare la variabilità della contaminazione da plastiche anche nel medio-lungo periodo e di evidenziarne eventuali *trend* utili per una corretta gestione ambientale. Parallelamente, vista la recente segnalazione di valori decisamente maggiori per la zona relativa al basso lago (Nava et al., 2023), si propone un campionamento semestrale anche in questa zona, per evidenziare eventuali differenze di distribuzione nelle diverse zone del bacino, che potrebbero diventare più elevate nelle adiacenze dell'emissario per fenomeni di trasporto e/o maggiore rilascio. Per dare robustezza ai dati analitici e avere la possibilità di un confronto diretto con i risultati ottenuti nel triennio 2022-2024, proponiamo di eseguire in tutti i tre anni del nuovo Progetto CIPAIS un disegno sperimentale così strutturato, in modo da creare una serie storica sul medio periodo. Anche tale risultato sarebbe il primo ottenuto a livello mondiale per un bacino lacustre e potrebbe rappresentare un *benchmark* per ricerche future e per fornire indicazioni agli Enti preposti al possibile futuro monitoraggio delle plastiche negli ambienti d'acqua dolce.

Per garantire la perfetta comparabilità dei campionamenti che si propongono per il nuovo triennio con quelli effettuati nel precedente, i campioni verranno analizzati con gli stessi protocolli analitici. Le plastiche campionate saranno sottoposte a una serie di fasi analitiche che ne consentano la separazione dal resto del materiale inerte prelevato: la digestione della sostanza organica mediante H₂O₂, la raccolta delle particelle rimaste dopo un'opportuna filtrazione, l'ispezione visiva (*visual sorting*) mediante microscopia ottica e il prelievo delle particelle da analizzare per la conferma delle loro caratteristiche quali-

quantitative. Infine, le particelle selezionate saranno analizzate mediante l'impiego di uno spettrometro infrarosso in Trasformata di Fourier dotato di microscopio ottico (μ FT-IR), che consentirà di caratterizzare le particelle polimeriche fino a 10-20 μ m, mediante il confronto degli spettri delle singole particelle con quelli presenti in specifiche banche-dati.

Cronistoria della contaminazione da plastiche nel Lago Maggiore

Negli ambienti acquatici, i sedimenti sono ritenuti un deposito a lungo termine per le plastiche (Van Cauwenberghe et al., 2015). Nonostante molti polimeri plastici abbiano una densità minore di quella dell'acqua e, quindi, mostrino la tendenza a galleggiare una volta disperse in acqua, le plastiche con una densità superiore a quella dell'acqua affonderanno e si accumuleranno nel sedimento. Tuttavia, a causa dei fenomeni di *biofouling*, (Andrady, 2011; Zettler et al., 2013), e altre modificazioni chimico-fisiche che subiscono le plastiche in ambiente (come il *weathering* o l'adesione ad altre particelle polimeriche e al particolato sospeso, Waldschläger et al., 2022) anche le plastiche più leggere possono facilmente sedimentare. Per tale ragione, riteniamo interessante proporre la raccolta di una carota di sedimento, da datare e sezionare, in modo da poter valutare i cambiamenti quali-quantitativi della contaminazione da plastiche nel Verbano fin dalla sua comparsa, riferibile presumibilmente agli anni '40 del secolo scorso. Le sezioni di carota, per evitare analisi troppo numerose e onerose, dovranno coprire un arco temporale di 8-10 anni ciascuna, in modo che l'analisi di una decina di esse, sia sufficiente a indagare il periodo storico previsto. Tale dato sarà in assoluto il primo ottenuto in un lago a livello mondiale e sarà utile per comprendere le variazioni nell'inquinamento da plastica avvenuto nell'ultimo secolo nel Lago Maggiore. Ad oggi, infatti, per il Lago Maggiore esiste unicamente una valutazione della contaminazione da plastica sulle spiagge della porzione svizzera, effettuata nel 2013 (Faure et al., 2015), mentre sono completamente assenti dati che possano dare indicazione del livello di contaminazione dei sedimenti, che rappresentano il comparto acquatico in cui le plastiche tendono ad accumularsi.

Obiettivi

Per il triennio 2025-2027, si propone, in collaborazione con le progettualità proposte nella sezione 2, il prelievo di carote in due punti del Lago Maggiore: all'ingresso del golfo Borromeo e ad Arona (i siti 13 e 28, rispettivamente). Queste zone, oltre che essere particolarmente interessanti per valutare l'accumulo di plastica (nel primo caso più direttamente collegata al principale immissario del lago, il fiume Toce, mentre nel secondo immediatamente precedente l'emissario, e quindi più rappresentativa dell'intero bacino) sono quelle che dovrebbero presentare una stratificazione del sedimento tale da permettere una buona risoluzione temporale, fornendo al tempo stesso un congruo quantitativo di materiale da analizzare. Sulle carote ottenute verrà effettuata una valutazione litostratigrafica e una stima cronologica mediante analisi di diatomee e confronto con diagrammi stratigrafici presenti in bibliografia, al fine di scegliere tra le due quella meglio stratificata e più idonea allo scopo del progetto, che verrà quindi analizzata nel dettaglio. Le metodiche utilizzate per il trattamento dei campioni saranno gli stessi utilizzati per l'analisi dei campioni di acqua con in aggiunta l'accortezza di utilizzare soluzioni saline a più alta densità (ad esempio, zinco cloruro)

per consentire un efficace isolamento anche delle plastiche più dense e quindi più probabilmente presenti nel sedimento.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

Le attività di monitoraggio verranno portate avanti con 4 campionamenti annuali nella zona di Ghiffa, uno per ogni stagione. Per la zona di Lesa si procederà invece con due campionamenti annuali, uno in inverno ed uno in estate. La carota di sedimento verrà presumibilmente campionata nell'estate/autunno del primo anno di progetto, in concomitanza con i campionamenti previsti nel programma della sezione 2. Le operazioni di campionamento verranno effettuate con l'imbarcazione "Livia".

Richiesta finanziaria

Attività 1° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	No.	Totale (Euro)
Campionamento superficie e colonna Ghiffa	IRSA	600	4	2400
Campionamento superficie Lesa	IRSA	800	2	1600
Trattamento e separazione plastiche in acqua	UNIMI	500	10	5000
Determinazione quali-quantitativa delle plastiche in acqua	UNIMI	700	10	7000
Prelievo, trattamento e prima datazione approssimativa della carota di sedimento	IRSA	200	10	2000
Manutenzione ordinaria e straordinaria μ FT-iR	UNIMI	7000	1	7000
Rinnovo materiale di campionamento (manutenzione e sostituzione retino manta net)	IRSA	1500	1	1500
Totale per 1° anno (Euro)				26500
Attività 2° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	No.	Totale (Euro)
Campionamento superficie e colonna Ghiffa	IRSA	600	4	2400
Campionamento superficie Lesa	IRSA	800	2	1600
Trattamento e separazione plastiche in acqua	UNIMI	500	10	5000
Determinazione quali-quantitativa delle plastiche in acqua	UNIMI	700	10	7000
Datazione particolareggiata della carota di sedimento	IRSA	340	10	3400
Trattamento e separazione delle plastiche nella carota di sedimento	UNIMI	600	4	2400

Determinazione quali-quantitativa delle plastiche nella carota di sedimento	UNIMI	800	4	3200
Rinnovo materiale di campionamento (retino per colonna d'acqua e flussimetro)	IRSA	1500	1	1500
Totale annuale per 2° anno (Euro)				26500
Attività 3° anno	Ente	Costo unitario (Euro)	No.	Totale (Euro)
Campionamento superficie e colonna Ghiffa	IRSA	600	4	2400
Campionamento superficie Lesa	IRSA	800	2	1600
Trattamento e separazione plastiche in acqua	UNIMI	500	10	5000
Determinazione quali-quantitativa delle plastiche in acqua	UNIMI	700	10	7000
Trattamento e separazione delle plastiche nella carota di sedimento	UNIMI	600	6	3600
Determinazione quali-quantitativa delle plastiche nella carota di sedimento	UNIMI	800	6	4800
Rinnovo materiale di campionamento (manutenzione straordinaria argano)	IRSA	2100	1	2100
Totale annuale 3° anno (Euro)				26500
Totale per TRIENNIO (Euro)				79500

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>
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- 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>.
- Binelli, A., Magni, S., Della Torre, C., Sbarberi, R., Cremonesi, C., Galafassi, S. 2024. Monthly variability of floating plastic contamination in Lake Maggiore (Northern Italy). *Science of the Total Environment*, 919: 170740.
- 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>

- 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>
- Galafassi, S., Sighicelli, M., Pusceddu, A., Bettinetti, R., Cau, A., Temperini, M.E., Gillibert, R., Ortolani, M., Pietrelli, L., Zaupa, S., Volta, P., 2021. Microplastic pollution in perch (*Perca fluviatilis*, Linnaeus 1758) from Italian south-alpine lakes. *Environ. Pollut.* 288, 117782. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117782>
- 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>
- Meijer, L.J.J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., Lebreton, L. 2021. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, 7: eaaz5803.
- Nava, V., Chandra, S., Aherne, J., Alfonso, M.B., Antão-Geraldes, A.M., et al., 2023. Plastic debris in lakes and reservoirs. *Nature* 619, 48. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06168-4>
- Sathicq, M.B., Sabatino, R., Corno, G., Di Cesare, A., 2021. Are microplastic particles a hotspot for the spread and the persistence of antibiotic resistance in aquatic systems? *Environ. Pollut.* 279, 116896. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.116896>
- 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>
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., Janssen, C.R., 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Mar. Environ. Res.* 111, 5–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>
- Zettler, E.R., Mincer, T.J., Amaral-Zettler, L.A., 2013. Life in the “plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.* 47, 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
- Zeytin, S., Wagner, G., Mackay-Roberts, N., Gerdt, G., Schürmann, 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. INDAGINI SUL CAMBIAMENTO DELLA BIODIVERSITÀ NEL LAGO MAGGIORE

Ente gestore: Segretariato CIP AIS

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

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

Premessa

Le alterazioni delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del lago possono agire come gravi disturbi per il suo biota e portare a cambiamenti nella composizione della comunità e, nel peggiore dei casi, alla perdita permanente di biodiversità. Grazie alla pluriennale ricerca sul Lago Maggiore e al continuo monitoraggio del lago attraverso il programma CIP AIS abbiamo indicazioni chiare sulle proprietà chimiche e fisiche del lago. Inoltre, l'analisi dei campioni di sedimenti ha fornito informazioni sugli stati di contaminazione prima della fase di monitoraggio CIP AIS, consentendo di datare le contaminazioni a più di 100 anni fa (Guilizzoni et al., 2012) e fornendo dati ad alta risoluzione per l'ultimo secolo. L'eutrofizzazione dagli anni '60 all'inizio degli anni '80 è stata seguita dall'oligotrofizzazione. DDT, PCB e Hg hanno mostrato un'elevata contaminazione negli anni '60 e input da fonti puntiformi negli anni '90.

La presenza di animali alloctoni introdotti è molteplice, sono presenti soprattutto molluschi (Kamburska et al., 2013), gamberi (Garzoli et al., 2020) e pesci (Volta et al., 2008). Inoltre, il continuo afflusso di effluenti degli impianti di trattamento delle acque reflue causa la contaminazione genetica della comunità microbica, alterando il pool genetico microbico con, ad esempio, geni di resistenza agli antimicrobici (Di Cesare et al., 2024). Le rive del Lago Maggiore sono fortemente alterate dalle costruzioni (Ciampittiello et al., 2017) e i livelli dell'acqua del lago sono regolati artificialmente per evitare inondazioni a valle, il che ha un'influenza sul biota del lago stesso (Cifoni et al., 2022). La contaminazione da microplastiche delle acque superficiali è motivo di crescente preoccupazione con effetti non chiari sul biota dei laghi (Binelli et al., 2024). Tutti questi fattori sono inoltre influenzati dal cambiamento climatico globale che causa periodi prolungati di riscaldamento delle acque superficiali e quindi una significativa riduzione degli eventi di mescolamento delle acque, che porta a cambiamenti nella composizione dei nutrienti e nel contenuto di ossigeno (Rogora et al., 2021). Una seconda conseguenza del cambiamento climatico è un aumento dei fenomeni meteorologici estremi improvvisi come le tempeste che possono portare all'arricchimento di sostanze nutritive (Morabito et al., 2018). Questi effetti sono ben documentati in entrambi gli articoli scientifici e monitorati nel CIP AIS in tutte e tre le sezioni con la Sezione 1 (Aspetti Limnologici) che copre l'impatto climatico e gli eventi estremi, lo stato chimico compresi i nutrienti e il carbonio organico, la Sezione 2 (Sostanze pericolose) che misura la contaminazione organica e inorganica in acqua e nel biota, la Sezione 3 (Ambienti litorali e temi emergenti) che ha trattato microplastiche e specie aliene. Nel complesso, ciò rende il Lago Maggiore un lago unico e ben descritto in termini di impatto antropico sulla massa d'acqua.

Singole alterazioni di un nutriente o della temperatura o l'introduzione di nuovi animali porteranno a rapidi spostamenti alla base della rete alimentare acquatica influenzando la

rapida successione di batteri e fitoplancton. Ciò influenzerà inevitabilmente tutti i livelli trofici più elevati e porterà a un cambiamento generale dell'intera comunità lacustre. Una questione molto importante è fino a che punto la comunità lacustre sia stabile nonostante tutte le alterazioni interdipendenti sopra menzionate, che può essere formulata in due domande principali: (1) fino a che punto la comunità è in grado di persistere durante il disturbo (resistenza) e (2) se si verifica un cambiamento, può la comunità tornare alla sua composizione precedente al disturbo (resilienza) (Pimm, 1991)? La conoscenza della resistenza e/o della resilienza è fondamentale per valutare la stabilità della biodiversità di un ecosistema e il suo cambiamento può essere valutato solo rispetto a uno stato precedente e quindi la conoscenza della composizione della comunità passata è cruciale.

Per il Lago Maggiore, la composizione del fitoplancton, dello zooplancton, della comunità dei macroinvertebrati (crostacei, molluschi) e dei pesci è stata documentata da molti anni utilizzando il riconoscimento morfologico delle specie sia nell'ambito del CIPAIS Sezione 1 che di altri progetti scientifici. Tali set di dati sono importanti e molto interessanti. Sforzi recenti hanno iniziato a integrare i dati delle varie ricerche, creando anche database basati sul DNA per il riconoscimento di singole specie del Lago Maggiore coprendo tutti vari rami dell'albero della vita presenti nel lago, dai batteri al fitoplancton e allo zooplancton fino ai pesci (Garlasché et al., 202, Zaupa et al., 2022). Mediante l'isolamento di questi organismi e il sequenziamento di specifici geni marcatori, le specie possono essere riconosciute con un metodo chiamato di codifica a barre del DNA, o DNA barcoding. Una volta costruita una banca dati di sequenze di DNA, il successivo isolamento di singoli organismi potrebbe non essere più necessario per la loro identificazione nei monitoraggi, ma una miscela di DNA proveniente da molti organismi (ad esempio DNA ambientale che si trova nell'acqua del lago [eDNA], da reti di plancton o filtri dell'acqua) potrebbe essere sufficiente per identificare molti dei gruppi tassonomici presenti, usando tecniche di DNA meta-barcoding (Garlasché et al., 2023, Eckert et al., 2020). Grazie al Monitoraggio CIPAIS, il Lago Maggiore è stato uno dei primi ad implementare studi utilizzando un confronto tra identificazione morfologica e identificazione basata sul DNA, mostrando risultati promettenti per fitoplancton, zooplancton e invertebrati bentonici (Garlasché et al., 2023, Zaupa et al., 2022). Pertanto, esistono set di dati a lungo termine per specie identificate morfologicamente modificati con set di dati recenti sul codice a barre del DNA e sul meta-barcoding per le comunità lacustri bentoniche e pelagiche.

Inoltre, il CNR-IRSA di Verbania ospita il "museo del plancton", una vasta raccolta di campioni di plancton fissati e conservati, risalenti anche a prima degli anni '20, con campioni stagionali regolari provenienti dal Lago Maggiore dopo la Seconda guerra mondiale, e con campioni mensili dal momento dell'eutrofizzazione in poi. Il fitoplancton e lo zooplancton sono stati contati in tutti i campioni in passato e questi dati sono già disponibili. I progressi metodologici degli ultimi anni consentono l'estrazione del DNA da tali campioni museali e il sequenziamento di un'ampia frazione della comunità biotica. Un simile approccio, combinato con il monitoraggio attuale, può consentire di ottenere un set di dati omogeneo sulla biodiversità passata e attuale e sui suoi cambiamenti nel tempo. Ciò consentirà infine di valutare la resistenza e la resilienza della biodiversità del Lago Maggiore negli ultimi 100 anni e quindi fornire un set di dati unico per la previsione dei cambiamenti futuri.

Obiettivi

Nel prossimo triennio di ricerche, si propone di approfondire i cambiamenti nelle comunità naturali nello spazio (in diverse zone e habitat del lago) e nel tempo (usando il museo del plancton) attraverso l'utilizzo di sequenze di DNA dagli organismi del lago, sia costruendo una banca dati di diversità genetica, ampliando la copertura tassonomica a specie non ancora sequenziate, sia ricostruendo le variazioni storiche della biodiversità genetica in relazione ai cambiamenti globali e alle pressioni antropiche a cui il lago è stato sottoposto negli ultimi decenni.

Questa ricerca si basa su:

I. Ampliamento del database del DNA della biodiversità del Lago Maggiore. Continuazione degli sforzi di sequenziamento di sequenze di DNA barcoding delle varie specie del Lago Maggiore mediante prelievo di singoli animali da vari punti del lago. Ciò includerà organismi bentonici e pelagici.

II. Campionamento per metabarcoding con entrambe le reti di plancton e filtrazione per eDNA. Poiché il monitoraggio basato sull'eDNA è ancora agli inizi, verrà usato in parallelo con il monitoraggio morfologico, ad esempio di gamberi alloctoni come *Faxonius limosus*, *Pacifastacus leniusculus* e *Procambarus clarkii*. Ciò consentirà di modificare il dataset dell'ultimo "triennio" realizzato in collaborazione con Camilla Capelli presso la SUPSI, CH, consentendo l'integrazione dei dati eDNA sia del Lago Maggiore che del Lago di Lugano. L'analisi dell'eDNA sarà quindi saggiata per il suo potenziale nel descrivere la biodiversità (meta-barcoding) e come sistema di allarme precoce per le specie aliene.

III. Valutazione della biodiversità passata mediante sequenziamento di campioni provenienti dal "museo del plancton" e confronto per il conteggio dei dati degli stessi campioni sia mediante barcoding (singola specie) che meta-barcoding (comunità). In tal modo valuteremo il cambiamento nella comunità in generale e la comparsa di determinate specie aliene.

Impegno di campionamento (frequenza e mezzi)

Per incrementare il database genetico del biota del Lago Maggiore con le specie mancanti, il campionamento sarà effettuato in diversi punti intorno al lago in tutte e quattro le stagioni per massimizzare le nicchie temporali e spaziali. Inoltre, ai vari esperti dei diversi gruppi di organismi del CNR-IRSA verrà chiesto di fornire materiale per il sequenziamento ogni volta che troveranno organismi interessanti nei loro campionamenti, in questo modo massimizzeremo l'efficienza.

Tre siti, uno nel Golfo Borromeo e due nel bacino lacustre principale, saranno sottoposti a campionamento in primavera e autunno (due volte all'anno) per gamberi ed eDNA (in totale 18 campionamenti). L'eDNA verrà analizzato per almeno tre geni opportunamente scelti per coprire animali, fitoplancton, e batteri.

Per i campioni provenienti dal "museo del plancton" mireremo al sequenziamento di almeno un campione per ogni anno (100 in totale) per specifici geni marcatori utilizzati per l'eDNA.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario	N°	Totale
Campionamento (incluso filtrazione per eDNA)	300	12	3600
Preparazione e sequenziamento DNA moderno	400	12	4800
Preparazione e sequenziamento DNA antico	a corpo	-	15000
Totale per anno			23400
TOTALE NEL TRIENNIO			70200

Bibliografia

- Guilizzoni P, Levine SN, Manca M, Marchetto A, Lami A, Ambrosetti W, et al. Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. *Journal of Limnology*. 2012;71(1).
- Kamburska L, Lauceri R, Riccardi N. Establishment of a new alien species in Lake Maggiore (Northern Italy): *Anodonta (Sinanodonta) woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae). *Aquatic Invasions*. 2013;8(1).
- Garzoli L, Mammola S, Ciampittiello M, Boggero A. 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*. 2020;12(5).
- Volta P, Jepsen N. The recent invasion of *Rutilus rutilus* (L.) (Pisces: Cyprinidae) in a large South-Alpine lake: Lago Maggiore. *Journal of Limnology*. 2008;67(2):163.
- Di Cesare A, Mammola S, Sabatino R, Fontaneto D, Eckert EM, Rogora M, et al. Where do the antibiotic resistance genes come from? A modulated analysis of sources and loads of resistances in Lake Maggiore. *FEMS Microbiology Ecology*. 2024;100(4):fia025.
- Ciampittiello M, Dresti C, Saidi H. A review of assessment approaches for lake hydro-morphology before and after the European Water Framework Directive (WFD). *Current World Environment*. 2017;12(3):491.
- Cifoni M, Boggero A, Rogora M, Ciampittiello M, Martínez A, Galassi DMP, et al. Effects of human-induced water level fluctuations on copepod assemblages of the littoral zone of Lake Maggiore. *Hydrobiologia*. 2022;849(16):3545–64.
- Rogora M, Austoni M, Caroni R, Giacomotti P, Kamburska L, Marchetto A, et al. Temporal changes in nutrients in a deep oligomictic lake: the role of external loads versus climate change. *J Limnol* [Internet]. 25 novembre 2021;80(3). Disponibile su: <https://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/article/view/2051>
- Morabito G, Rogora M, Austoni M, Ciampittiello M. Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia*. 1 novembre 2018;824(1):163–75.

- Binelli A, Magni S, Della Torre C, Sbarberi R, Cremonesi C, Galafassi S. Monthly variability of floating plastic contamination in Lake Maggiore (Northern Italy). *Science of The Total Environment*. 1 aprile 2024;919:170740.
- Pimm SL. The balance of nature?: ecological issues in the conservation of species and communities. University of Chicago Press; 1991.
- Garlasché G, Borgomaneiro G, Piscia R, Manca M, Eckert EM, Fontaneto D. Metabarcoding to monitor the crustacean zooplankton of a lake improves when using a reference DNA library from local samples. *J Limnol* [Internet]. 8 febbraio 2023;82(1). Disponibile su: <https://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/article/view/2087>
- Zaupa S, Fontaneto D, Sabatino R, Boggero A. Building a local reference library for metabarcoding survey of lake macrobenthos: oligochaetes and chironomids from Lake Maggiore. *Advances in Oceanography and Limnology*. 2022;13(2).
- Eckert EM, Amalfitano S, Di Cesare A, Manzari C, Corno G, Fontaneto D. Different substrates within a lake harbour connected but specialised microbial communities. *Hydrobiologia*. 2020;847:1689–704.

RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI TRIENNIO 2025-2027 (IN EURO, IVA COMPRESA)

Ricerche sul Lago Maggiore – Sezione 3

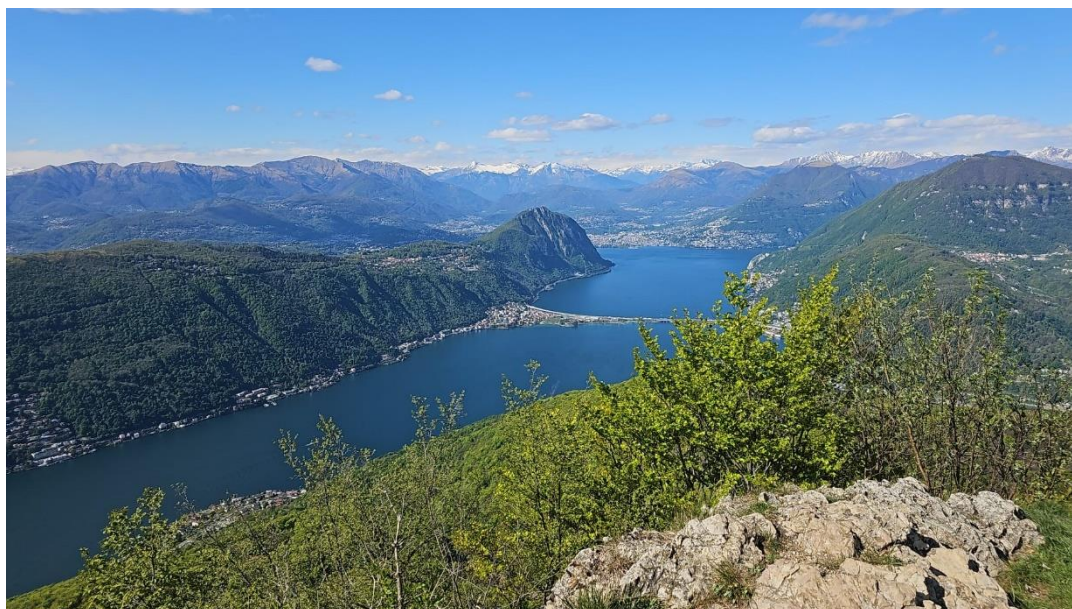
Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca, oltre allo stato di avanzamento (vedi accordo di collaborazione)

COSTI TOTALI NEL TRIENNIO (IVA INCLUSA)

Attività/anno	2025	2026	2027	Totale (Euro)
Microplastiche	26500	26500	26500	79500
Specie aliene e litorali	23400	23400	23400	70200
Coordinamento delle ricerche e spese comuni	1800	1600	1600	5000
TOTALE (Euro)	51700	51500	51500	154700

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

TRIENNIO 2025-2027



LAGO DI LUGANO

INTRODUZIONE AL PROGRAMMA DI RICERCA PER IL LAGO DI LUGANO

Al pari del triennio 2022-2024 il programma esecutivo per il triennio 2025-2027 è stato articolato in tre distinti settori d'indagine:

- limnologia
- sostanze pericolose
- ambienti litorali e temi emergenti

Il programma delle indagini previste nel triennio 2025-2027 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.

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 vengono integrate nel rapporto annuale della limnologia, di cui costituiscono un capitolo a sé.

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 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 cui tendere, 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 (per es. 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) e la perdita di biodiversità. Poiché il raggiungimento dell'obiettivo della mesotrofia, definibile numericamente con una concentrazione media di fosforo totale nel lago attorno a 30 mg P m^{-3} , non si è tradotto in un tangibile miglioramento a livello ecosistemico, dal 2024 è stato deciso di ridurre ulteriormente il carico di nutrienti abbassando il limite del fosforo totale a 20 mg P m^{-3} . Gli effetti di questa variazione saranno monitorati attraverso le indagini limnologiche in corso.

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 (2025-2027) si mantiene l'approccio iniziato nel triennio precedente, che prevede un aumento spaziale delle ricerche includendo le indagini limnologiche in stazioni rappresentanti i bacini minori, 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). I dati finora raccolti hanno dimostrato come i golfi siano soggetti a maggiore variabilità, specialmente in alcuni periodi dell'anno, a causa per esempio di differenze nel mescolamento invernale e nell'apporto esterno dei tributari. Le stazioni storiche a centro lago non sono sempre rappresentative dei golfi minori, che costituiscono una porzione del bacino lacustre importante per vari usi e servizi, tra cui spicca l'approvvigionamento in acqua potabile. Il mantenimento delle due stazioni pelagiche storiche consente comunque di verificare gli effetti delle misure di risanamento intraprese negli ultimi decenni e garantisce la continuità della serie storica dei dati.

Le recenti fioriture di cianobatteri che nel 2023 hanno coinvolto entrambi i bacini del lago in estate, hanno mostrato la necessità di continuare ad approfondire le ricerche sull'evoluzione del fitoplancton, per comprenderne meglio la variabilità spazio-temporale. A

tal fine l'analisi delle immagini satellitari sarà utilizzata per creare delle mappe di Clorofilla-a e per seguire l'evoluzione delle fioriture algali. Inoltre, per valutare il rischio tossicologico associato alle fioriture di cianobatteri e identificare le condizioni ambientali che le innescano (inclusi i fattori climatici e le condizioni di trofia), sarà studiata la distribuzione delle cianotossine e dei pigmenti algali (Clorofilla-a e ficocianina).

Poiché le fioriture dei cianobatteri bentonici epilitici è un fenomeno in crescita in Svizzera, nel prossimo triennio di ricerche si è deciso di includere uno studio della comunità bentonica in alcune aree litorali del lago ad uso ricreativo, che include l'analisi della produzione di cianotossine. Con questo studio, svolto ogni due anni, si vuole identificare le aree a rischio e comprendere i fattori ambientali che favoriscono la crescita di cianobatteri bentonici tossici.

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, rispetto al triennio precedente, questi riorientamenti comporteranno l'introduzione di nuove indagini sui cianobatteri bentonici e sulle tossine da essi prodotte. Di seguito si presenta una sintesi della campagna, dei metodi analitici e dei risultati previsti.

Campagna

Nel triennio 2025-2027 si propone di articolare la campagna come segue:

- due campionamenti per indagini "intensive" mensili alle stazioni storiche di Gandria e Figino: un giorno per stazione;
- due campionamenti 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 campionamento mensile per la raccolta di campioni istantanei dai tributari maggiori e dall'emissario;
- un campionamento settimanale per la raccolta dei campioni da auto-campionatori (Vedeggio, Cassarate, Laveggio).
- un campionamento in estate per la raccolta dei campioni di cianobatteri bentonici in cinque siti nell'area litorale del lago (ogni due anni).

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 di cianobatteri viene effettuata l'analisi di pigmenti algali *in situ* (Clorofilla-a e ficocianina mediante fluorimetria) e l'analisi di tossine in laboratorio (test ELISA). Nel caso delle indagini estensive le misure di tossine sono effettuate solo in caso di fioritura (quando i valori di ficocianina misurati *in situ* superano soglie di rischio predefinite). Per l'indagine sulle immagini satellitari



la raccolta di immagini, validazione ed estrazione dei risultati è a carico dell'IST-SUPSI.

Risultati

Per le stazioni storiche di Gandria e Figino e per i golfi minori 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 dello studio sui cianobatteri bentonici (ogni due anni).

I dati raccolti serviranno anche ad aggiornare il Pannello di controllo del Lago di Lugano e le banche dati gestite dalla CIP AIS. Per consentire un accesso in tempo reale ai dati rilevati ad elevata frequenza tramite sensori immersi a varie profondità, la CIP AIS ha inoltre deciso di rilevare, assumendone la gestione, la piattaforma di business intelligence sviluppata nell'ambito del progetto Interreg SIMILE (Sistema Informativo Per Il Monitoraggio Integrato Dei Laghi Insubrici E Dei Loro Ecosistemi). I costi per il mantenimento di questo nuovo strumento di divulgazione dei dati ammontano a 15'000 CHF annui e saranno ripartiti equamente tra le due delegazioni.

1. INDAGINI SULLA PRESENZA DI DETERMINANTI GENICI DI RESISTENZA AGLI ANTIBIOTICI NEI BATTERI

Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona

Ente esecutore: Istituto di microbiologia, 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. Vi è il rischio che le infezioni batteriche ritornino ad essere 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. Non sono per contro stati concepiti 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 spot" 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 agricolo/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.

Dal 2016, l'Istituto di microbiologia si occupa, nell'ambito dei programmi di ricerca della CIPAIS, del monitoraggio della presenza di determinanti genici di resistenza agli antibiotici nei batteri in ambienti acquatici fortemente influenzati dalle attività umane (corsi d'acqua localizzati in prossimità degli impianti di depurazione e acque del Lago di Lugano). I risultati dei primi cinque anni di questo monitoraggio a lungo termine sono stati pubblicati in una rivista scientifica (Mauri, F., & Pianta, E. (2023). Distribution and quantification of antibiotic resistance genes in a large subalpine lake (Lugano Lake) and tributary rivers. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 33, 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2023.04.012>). I numerosi dati raccolti mostrano 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 ruolo degli IDA come “hot spot” per la diffusione della resistenza agli antibiotici in ambiente acquatico è ben noto in letteratura e i nostri dati confermano tale ruolo. Infatti, la nuova campagna di monitoraggio iniziata nel 2022, si è focalizzata sulla valutazione della distribuzione dei geni di resistenza in corsi d'acqua a monte e a valle degli impianti di depurazione delle acque reflue. L'analisi dei dati mostra che i geni di resistenza sono significativamente più abbondanti nei campioni raccolti a valle degli IDA.

Alla luce dei risultati ottenuti finora, che confermano l'importanza del monitoraggio ambientale a lungo termine, viene proposto di seguito il programma di analisi per il periodo 2025-2027.

Campagna

- Fiumi (campionamento puntiforme): Laveggio, Vedeggio e Scairolo. Campionamenti mensili a monte e a valle degli impianti di depurazione
- Impianti di depurazione (campionamento cumulativo): Bioggio, Mendrisio e Barbengo. Campionamenti mensili in entrata e uscita.
- Lago Lugano (integrato 0-40): golfo di Lugano, golfo di Capolago e Figino a lago. Campionamenti mensili.

Indagini molecolari e ricerca delle popolazioni batteriche

La quantificazione dei geni di resistenza sarà eseguita seguendo la metodologia proposta nel precedente triennio (PCR quantitativa). Poiché è previsto un aumento del numero dei campioni da analizzare si propone la riduzione del numero di geni di resistenza



identificati. Tale riduzione, ponderata analizzando i risultati dei monitoraggi passati, permetterà di ottenere dati validi e confrontabili restando nel budget previsto. Verranno ricercati: il gene *suII* (resistenza ai sulfamidici) considerato marcatore molecolare di diffusione della resistenza in ambienti fortemente influenzati da attività antropiche; il gene *qnrS* (resistenza ai fluorochinoloni) importante a livello clinico e marcatore di ambienti inquinati e il gene *bla_{CTX-M}* anche esso molto importante a livello clinico e, nonostante la ridotta quantità nei campioni di acqua, è stato trovato molto frequentemente nelle specie batteriche isolate (dati rapporti CIP AIS anni passati). Il gene *intI* ha un andamento molto simile al gene *suII*; dunque, sarà escluso dalle analisi dei campioni d'acqua ma verrà ricercato negli isolati batterici multi-resistenti, per il suo ruolo di marcatore di mobilizzazione delle resistenze tra batteri. L'isolamento e l'identificazione dei batteri nei campioni d'acqua raccolti sarà eseguito con le stesse modalità del triennio passato.

RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE LIMNOLOGICHE TRIENNIO 2025-2027 (in CHF)

I risultati relativi alle indagini sulla resistenza batterica verranno integrati nel rapporto sulle ricerche limnologiche, in modo da garantire e l'unità delle ricerche e la loro divulgazione uniforme. La stima dei costi risulta da un calcolo effettuato sulla base del dettaglio delle singole offerte ricevute dagli enti esecutori e di quanto preventivato nei trienni precedenti. Con elaborazioni si intendono i costi per il coordinamento delle indagini, le elaborazioni dei dati e la stesura del rapporto.

Documentazione: consegna di rapporto annuale e finale del triennio di ricerca, oltre allo stato di avanzamento (vedi mandato)

CATEGORIA	2025 (CHF)	2026 (CHF)	2027 (CHF)
Meteoclima	5'000	5'000	5'000
Idrologia	20'000	20'000	20'000
Chimica fiumi	40'000	40'000	40'000
Chimica lago	150'000	150'000	150'000
Biologia lago	125'000	125'000	125'000
Resistenza batterica	30'000	30'000	30'000
Piattaforma business intelligence	7'500	7'500	7'500
Elaborazioni	20'000	20'000	20'000
Totale annuo	397'500	397'500	397'500
TOTALE NEL TRIENNIO (CHF)			1'192'500

Tabella dei costi annui per le indagini limnologiche 2025-2027 espressi in CHF

INDAGINI SULLE SOSTANZE PERICOLOSE NEL LAGO DI LUGANO

PREMESSA

La convenzione siglata tra Svizzera e Italia nell'ambito della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (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 la possibilità di seguenti interventi mirati.

Le indagini CIPAIS della Sezione 2 per il triennio 2022-2024 si sono focalizzate, per il lago di Lugano, su tre tematiche: (1) la campagna 2022 ha riguardato l'indagine di contaminanti presenti nei sedimenti del Lago di Lugano; (2) la campagna 2023 ha riguardato l'indagine sulla presenza di contaminanti organici persistenti e tossine algali nel biota (pesci e molluschi); e (3) la campagna 2023 si è concentrata sull'indagine di microinquinanti idrosolubili nelle acque del lago. Oltre allo studio di inquinanti "storici" come per esempio il DDT, i policlorobifenili (PCB), o i ritardanti di fiamma polibromodifenileteri (PBDE), le ricerche condotte nel passato triennio hanno approfondito in modo particolare la diffusione e la presenza dei contaminanti organici emergenti appartenenti alla famiglia dei composti per- e polifluoroalchilici (PFAS). Queste sostanze, oramai presenti in modo ubiquitario nell'ambiente, sono state analizzate e rinvenute in tutte e tre le campagne sopracitate. L'analisi svolta nei sedimenti del lago ha evidenziato risultati coerenti con l'uso passato e recente dei composti PFAS. Molecole come PFOS e PFOA, limitate o vietate di recente (secondo l'allegato 1.16 dell'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici), sono state ritrovate in concentrazione più elevata nei due decenni precedenti gli anni 2000. Mentre nelle acque del lago si riscontrano principalmente PFAS con solubilità maggiore, come il PFBA, nel biota si possono accumulare con più facilità molecole a catena più lunga. La persistenza dei PFAS è testimoniata dalle concentrazioni di PFOS rinvenute nei pesci che, nel corso del 2023, hanno evidenziato residui simili a quanto già rinvenuto in occasione della campagna del 2015.

In Svizzera, l'autorità federale è al momento impegnata nel definire il quadro legale per i PFAS applicabile per la protezione dell'ambiente e delle acque. Visto l'interesse e la rilevanza del tema per i prossimi anni, si propone di proseguire con gli approfondimenti sui PFAS anche nel nuovo programma di ricerca 2025-2027. A testimonianza dell'interesse, benché non di competenza della CIPAIS, è utile ricordare la recente introduzione di valori massimi nell'Ordinanza federale sui tenori massimi di contaminanti (OCont) e del regolamento UE 2022/2388 della Commissione Europea in vigore dal 2023. Oltre al proseguimento dell'analisi di PFAS nel biota, si ritiene utile investigare l'apporto di questi composti a lago attraverso i diversi immissari, allo scopo di portare alla luce eventuali differenze che potrebbe essere riconducibili a fonti puntuali di PFAS.

Altre sostanze attualmente poco (o per nulla) investigate in passato meritano maggiore attenzione. La problematica della dispersione di microplastiche nei diversi comparti

ambientali (acque e suolo) è oggetto di continua ricerca, anche da parte della Sezione 3 della CIPAIS. In questo contesto, l'abrasione degli pneumatici gioca un ruolo importante. All'usura e degrado di pneumatici è pure associato il possibile rilascio di additivi stabilizzanti come il 6PPD. Nell'ambiente, questo composto può convertirsi nel chinone 6PPD-quinone, particolarmente problematico in virtù della sua tossicità per i pesci. Con il nuovo programma di ricerca, si propone una prima indagine di tali composti, sia nella matrice biota sia nelle acque.

La fioritura di cianobatteri nelle acque del Lago di Lugano si è fatta più intensa nel corso degli ultimi anni. Nel corso del 2020 e del 2023 si è osservata la proliferazione di cianobatteri appartenenti alla specie *Microcystis aeruginosa*, microorganismi fotosintetici naturalmente presenti nel lago in grado di produrre tossine. Queste tossine, se presenti in alte concentrazioni possono avere conseguenze di carattere ambientale e sanitario. Oltre al monitoraggio e all'analisi in matrici già considerate come acqua e biota, è opportuno tenere in considerazione anche le possibili sostanze potenzialmente veicolate con un trasporto per via atmosferica.

Sulla base di queste considerazioni, tenuto conto degli orientamenti strategici e degli obiettivi definiti nel Piano d'azione della CIPAIS, dei risultati ottenuti in passato e degli sforzi necessari per mantenere nel tempo determinate serie storiche, per il programma 2025-2027 sono previste con scopi diversi indagini differenziate di anno in anno.

1. INDAGINE CON CAMPIONATORI PASSIVI SUI FIUMI IMMISSARI DAL LAGO DI LUGANO PER VERIFICARE EVENTUALI FONTI PUNTUALI DI PFAS E ANALISI DI CAMPIONI D'ARIA PER VERIFICARE L'EVENTUALE PRESENZA DI NEUROTOSSINE PRODOTTE DA CIANOBATTERI

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

Premessa

Le sostanze per- e polifluoroalchiliche, anche denominate PFAS, rappresentano un gruppo di diverse migliaia di sostanze chimiche sintetiche utilizzate su scala industriale e all'interno di diversi beni di consumo negli ultimi 50 anni. La resistenza alla degradazione chimico-fisica e il facile trasporto atmosferico ha favorito la diffusione di queste sostanze in ogni comparto ambientale, tanto che la presenza di PFAS si può oramai considerare ubiquitaria. L'emissione di PFAS da fonti puntuali può costituire una contaminazione diretta dell'ambiente, e perciò identificare questi punti di emissione può risultare utile per verificare in un secondo tempo la possibilità di contenerne il rilascio. Anche gli immissari del Lago di Lugano possono costituire una fonte di queste sostanze dal suo bacino imbrifero. L'uso di appositi campionatori passivi posizionati alla foce di ogni emissario permette una prima valutazione del fenomeno, così come di quantificare l'apporto a lago di PFAS per ogni immissario. Parallelamente, si propone di verificare anche l'emissario Tresa, che funge al contempo da immissario per il lago Maggiore. La ricerca è coordinata con le attività analoghe previste per il lago Maggiore.

Le estese fioriture di cianobatteri occorse nell'estate 2023 sul Lago di Lugano appartengono alla specie *Microcystis aeruginosa*, microorganismi fotosintetici naturalmente presenti nel lago in grado di produrre tossine che, se presenti in alte concentrazioni, possono indurre reazioni allergiche cutanee, sintomi gastrointestinali e effetti epatotossici, ma anche neurotossine come l'amminoacido BMAA. La possibile presenza di questo composto nell'aria e in prossimità delle zone di proliferazione di cianobatteri fa discutere gli amministratori locali e per questo motivo si propone un apposito approfondimento conoscitivo.

Scopo

- (A) La presenza di PFAS nel Lago di Lugano è stata oggetto di analisi nelle acque e nel biota, nel corso delle campagne CIPAI 2015, 2021 e 2024. Nella presente campagna di ricerca si vuole quantificare per la prima volta l'apporto di PFAS a lago dai singoli fiumi immissari nel Lago di Lugano e valutare l'apporto verso il lago Maggiore, ricercando i PFAS nelle acque del fiume Tresa, in uscita dal Ceresio. Per questo scopo, si prevede di impiegare appositi campionatori passivi.
- (B) Quantificare, attraverso l'ausilio di campionatori d'aria, la presenza di neurotossine (in particolare l'amminoacido BMAA) che potrebbero essere prodotte da cianotossine in diversi momenti dell'anno. In particolare, si vuole verificare la differenza stagionale senza o rispettivamente in corrispondenza di eventuali fioriture algali estive.

Attività

- (A) L'installazione di campionatori passivi del tipo AttractSPE® POCIS-PFAS permette di campionare passivamente 13 tipologie di composti PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS, HPFO-DA, 6:2 FTS, N-EtFOSAA.) presenti sull'acqua superficiali dei corsi d'acqua. Si prevede di posizionare i campionatori in 4 diversi periodi dell'anno alla foce dei principali immissari del Lago Ceresio (Magliasina, Laveggio, Vedeggio, Cassarate, Bolletta, Livono, Cuccio). In uscita dal Ceresio sul fiume Tresa verrà posizionato un campionario per verificare eventuali apporti e interazioni del Tresa verso il Verbano.
- (B) Campionamento d'aria su filtro 40mm GF/C (Whatman, Cytiva, Marlborough, NZ, USA) in 4 diversi periodi dell'anno (in funzione della proliferazione di cianobatteri nel lago, ma di base nei mesi di marzo, giugno, agosto/settembre, dicembre) e in 4 diversi località lungo la costa (in particolare in prossimità di lidi).
Dopo il prelievo, il filtro viene processato in laboratorio per quantificare la presenza di BMAA.

Attività annuale	Costo unitario CHF	Numero	Totale CHF
Acquisto, posa e gestione campionatori passivi PFAS, materiale, estrazione	280 CHF/pezzo	32	8'960
Analisi PFAS (20 sostanze)	370 CHF/campione	32	11'840
Noleggio, posa e gestione strumenti per campionamento dell'aria		12 giorni	12'440
Sviluppo metodica e analisi campioni aria cianotossine	480 CHF/campione	16	7'680
Interpretazione dati e redazione rapporto			4'560
	Totale (CHF)		45'480

Vista l'impossibilità dell'istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. Questa attività verrà svolta un solo anno (2025).

Bibliografia

J. Metcalf, S.A. Banack, P. A. Cox. Cyanotoxin Analysis of Air Samples from the Great Salt Lake. Toxins 2023, 15, 659.

2. INDAGINE SULLA PRESENZA DI CONTAMINANTI ORGANICI PERSISTENTI ED EMERGENTI (PFAS, PBDE E STABILIZZANTI PER PNEUMATICI) E MICROCISTINE ALGALI NEL BIOTA DEL LAGO DI LUGANO

Ente gestore: Cantone Ticino, Bellinzona

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

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

Premessa

La lista di inquinanti organici persistenti (POPs) descritti nella Convenzione di Stoccolma comprende sostanze organiche che, per la loro particolare combinazione di proprietà fisiche e chimiche, una volta rilasciati nell'ambiente possono rimanere intatti per un periodo di tempo estremamente lungo, e accumularsi negli organismi viventi attraverso il processo di bioaccumulo, manifestando effetti tossici anche gravi per l'uomo e altri animali. Le prime 12 molecole di POPs erano distinte in tre categorie (pesticidi, prodotti dell'industria chimica, sottoprodotti). A questi primi 12 composti nel tempo sono stati aggiunti 16 ulteriori composti per i quali è stata verificata la pericolosità. Tra questi, ne figurano alcuni della famiglia dei PFAS e dei PBDE. Mentre i PFAS, come descritto nell'introduzione, sono oggetto di forte interesse, è opportuno riproporre anche un approfondimento sui PBDE, oggetto di standard di qualità ambientali molto restrittivi.

Altri composti non ancora aggiunti nella categoria dei POPs stanno emergendo come sostanze particolarmente preoccupanti per la loro diffusione e la loro capacità di bioaccumulo negli organismi viventi. Il composto 6PPD è utilizzato come antiossidante nella miscela per i pneumatici. La dispersione di micro- e nanoplastiche attraverso l'abrasione degli pneumatici promuove il rilascio 6PPD, successivamente ossidato a 6PPD-quinone. Il dilavamento della superficie stradale facilita il trasporto di 6PPD-quinone all'interno dei sistemi d'acqua dolce, favorendo di fatto l'esposizione della componente biota a questa sostanza. Primi studi hanno dimostrato come certe specie di pesci siano suscettibili con effetti anche acuti già in seguito ad esposizione a concentrazioni ridotte di 6PPD-quinone (0.1 a 1.0 $\mu\text{g L}^{-1}$). A questi contaminanti organici si affiancherà, come già avvenuto nel programma di ricerca 2022-2024, il monitoraggio di contaminanti di origine naturale come le tossine algali. Tra queste, 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

La serie storica delle analisi eseguita nella fauna ittica del Lago di Lugano si è focalizzata, oltre che a inquinanti storici quali il DDT, PCB e metalli pesanti, anche a POPs più recenti quali PBDE e PFAS. La presente campagna di indagine mira ad approfondire le conoscenze attualmente in fase di sviluppo sul bioaccumulo di PFAS e PBDE nella matrice biota. In parallelo a PFAS e PBDE si aggiunge l'analisi di stabilizzanti per pneumatici. L'approccio per l'analisi di questo composto nella matrice biota è ancora sperimentale. 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.

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.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario CHF	Numero	Totale CHF
Campionamento e preparazione dei pesci	300	16	4'800
Analisi PFAS	320	16	5'120
Analisi PBDE	240	16	3'840
Analisi microcistine	300	16	4'800
Analisi stabilizzanti per pneumatici	390	16	6'240
	Totale (CHF)		24'800

Vista l'impossibilità dell'istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. La parametrizzazione coprirà PFAS, PBDE, tossine algali e stabilizzanti per pneumatici. Questa attività verrà svolta durante un solo anno (2026).

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 (3° anno) e finale del triennio di ricerca

Premessa

Nei paesi industrializzati vengono utilizzate giornalmente decine di migliaia di prodotti 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. Vista l'evoluzione descritta, a questi contaminanti organici si affiancherà il monitoraggio di contaminanti di origine naturale come le tossine algali e gli stabilizzanti per pneumatici. La prima classe di contaminanti è di crescente attualità in virtù delle sempre più frequenti e intense fioriture, mentre la seconda si inserisce nel tema degli importanti flussi di traffico stradale che interessano il bacino imbrifero del lago.

Scopo

Lo scopo principale è quello di ripetere le indagini sulle acque del lago con la parametrizzazione adattata alle conoscenze acquisite nei precedenti programmi CIPAI. 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 e includendo sostanze mai verificate in precedenza.

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, di



quattro edulcoranti artificiali e di tossine algali, rispettivamente stabilizzanti per pneumatici. La tabella riassume i costi preventivabili.

Richiesta finanziaria

Attività annuale	Costo unitario CHF	Numero	Totale CHF
Analisi microinquinanti	2'080	32	66'560
	Totale (CHF)		66'560

Vista l'impossibilità dell'Istituto proponente di eseguire direttamente le analisi, le stesse verranno subappaltate. Questa attività verrà svolta durante un solo anno (2027).

RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SOSTANZE PERICOLOSE TRIENNIO 2025-2027 (in CHF)

Sostanze pericolose nel Lago di Lugano

Considerando le indagini descritte ai capitoli precedenti, è possibile quantificare complessivamente i costi delle ricerche sulle sostanze pericolose nel lago Ceresio per il triennio 2025-2027 come segue:

Anno	Attività	Costo unitario (medio) CHF	Numero	Totale CHF
I	Indagine con campionatori passivi sui fiumi immissari dal Lago di Lugano (PFAS) e analisi di campioni d'aria (neurotossine prodotte da cianobatteri)	721.5	32	23'080
		1'400	16	22'400
II	Indagine sulla presenza di contaminanti organici persistenti ed emergenti e microcistine algali nel biota	1'550	16	24'800
III	Indagini sui microinquinanti idrosolubili nelle acque del lago	2'080	32	66'560
Costi complessivi nel triennio			CHF	136'840

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.

Come per il lago Maggiore, nel prossimo programma di ricerche si propone di continuare il monitoraggio delle microplastiche per tutto il triennio. Si ritiene necessario orientare le ricerche facendo capo ai risultati ottenuti nei programmi precedenti (ad esempio indagine sulla diffusione di materia organica, studio in atto nel triennio 2022-2024), così come all'evoluzione delle conoscenze e di eventuali normative nazionali e internazionali. In particolare, si ritiene utile ottenere una rappresentazione delle variazioni delle concentrazioni di microplastiche nelle varie stagioni e in diverse zone del lago, anche in relazione a quanto è presente nel bacino imbrifero afferente.

Modifiche indotte dal cambiamento climatico, quali temperature dell'acqua elevate e periodo vegetativo prolungato, potrebbero favorire la diffusione di specie alloctone attualmente presenti ma non considerate invasive.

Sulla base di quanto emerso nei precedenti programmi, sia nel Lago Maggiore che nel Lago di Lugano, si propone di continuare la sorveglianza su specie invasive sia vegetali che animali. Si ritiene opportuno orientare la scelta delle specie facendo capo ai risultati ottenuti nei programmi precedenti e nel triennio 2022-2024 e ad eventuali segnalazioni che dovessero emergere.

La messa a punto di metodi molecolari affidabili, che sono in genere poco dispendiosi in risorse rispetto ad indagini classiche di monitoraggio, e potrebbe fungere da sistema di *early warning* da implementare e usare con regolarità nei nostri laghi.

Come emerso nei programmi precedenti e descritto in letteratura, le zone litorali dei laghi sono hotspot di biodiversità acquatica e di processi ecosistemici. Uno dei processi ecosistemici più importanti è la decomposizione della materia organica, direttamente collegata ai cicli globali del carbonio e dei nutrienti, e alla crescita e alla biomassa nelle reti trofiche litoranee dei laghi. L'attività del microbiota che contribuisce a questo processo (principalmente dovuta ai funghi acquatici) può rispondere fortemente ai nutrienti disciolti nell'acqua.

Nei trienni 2019-2021 e 2022-2024 sono stati osservati dei tassi di decomposizione insolitamente elevati presso alcune zone litoranee, portando a formulare l'ipotesi che apporti puntuali di nutrienti esterni possono modificare il funzionamento degli ecosistemi litoranei in modi inaspettati e con effetti sconosciuti sugli organismi interconnessi.



Si propone di indagare specificamente alcuni settori ritenuti rappresentativi al fine di appurare l'esistenza di eventuali alterazioni sulle condizioni chimiche dell'acqua e dei sedimenti della zona litorale, sul processo di decomposizione della lettiera fogliare e sulla biomassa dei gruppi di organismi dominanti (funghi acquatici e macroinvertebrati) negli ambienti litoranei del lago.

1. CONTROLLO DELLA DISTRIBUZIONE DI SPECIE ALLOCTONE INVASIVE NEL LAGO DI LUGANO 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

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. Sulla base dei risultati ottenuti nel ciclo di ricerche del triennio precedente, questo studio si propone di indagare la distribuzione di specie alloctone invasive di particolare interesse per il Lago di Lugano, attraverso l'analisi di marcatori specie-specifici sul eDNA. Lo studio si concentra sulla cozza quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) e sui gamberi invasivi a rischio di introduzione nel Lago di Lugano, utilizzando i metodi molecolari messi a punto nel triennio precedente da SUPSI e CNR-IRSA e osservazioni con metodi tradizionali.

Obiettivi

- Valutare la distribuzione spaziale di *D. rostriformis bugensis* nelle aree di prima colonizzazione e la presenza di gamberi invasivi nel Lago di Lugano;
- 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 dalla SUPSI e dal CNR-IRSA nel triennio di ricerche CIPAIS precedente, il progetto permetterà di applicare il metodo per il rilevamento precoce, basato sull'analisi del eDNA, per studiare la distribuzione di specie di interesse. I risultati supporteranno gli attuali piani di contenimento o di gestione delle specie invasive, così da ridurre i costi e tutelare l'ecosistema lacustre e i servizi a esso associati (e.g. captazione acqua potabile). 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 Ecologia acquatica dell'Istituto scienze della Terra, in collaborazione con l'Istituto Microbiologia (SUPSI). Le attività verranno distribuite nel corso dei tre anni (2025-2027) come segue:

- 1° anno: campionamento dei sedimenti e acqua nelle aree litorali delle zone di prima colonizzazione o a rischio di colonizzazione (per es. porticcioli). Per la quagga verranno valutate le aree in base ai risultati del triennio precedente. Per i gamberi invasivi verrà fatto uno studio della letteratura e in base alle analisi del triennio precedente saranno identificate le specie a rischio di introduzione e le aree potenzialmente interessate. Osservazioni tradizionali in collaborazione con l'IRSA-CNR (e.g. nasse, benna). Analisi delle variabili ambientali connesse con lo sviluppo delle specie di interesse nelle stesse aree campionate lungo la colonna d'acqua con sonda multiparametrica (e.g. T, O₂).
- 2° anno: estrazione del DNA e analisi molecolari con i protocolli qPCR messi a punto nel progetto CIP AIS del triennio precedente.
- 3° anno: elaborazione dei dati e stesura del rapporto finale.

Costi

Il contributo richiesto per il progetto include i costi sostenuti per il campionamento, l'acquisto di consumabili di laboratorio, e le ore di personale (analisi, campionamento, stesura rapporto). Per il progetto è richiesto un contributo complessivo di 40'000 CHF per il triennio 2025-2027, suddiviso come segue:

Attività	Costo (CHF)
Campionamento	10'000
Consumabili	4'000
Analisi	17'000
Elaborazione dati e rapporto	9'000
Totale	40'000

Costi in (CHF) suddivisi come segue per anno e tipologia di attività:

2025	2026	2027
Campionamento	Analisi molecolari	Elaborazione dati e rapporto
12'000	15'000	13'000

2. EFFETTI DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI SULLA BIODIVERSITÀ ED IL FUNZIONAMENTO DEGLI ECOSISTEMI LITTORALI DEL CERESIO

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). Uno dei processi ecosistemici più importanti è la decomposizione della materia organica, direttamente collegata ai cicli globali del carbonio e dei nutrienti, e alla crescita e alla biomassa nelle reti alimentari litoranee dei laghi. La biodiversità e l'attività degli organismi che contribuiscono a questo processo (principalmente i macroinvertebrati e i funghi acquatici) rispondono fortemente alle caratteristiche degli habitat, p.e. la concentrazione dei nutrienti disciolti nell'acqua (Frainer et al. 2021). Con il suo ruolo nel riciclo di materia organica e la purificazione dell'acqua, questo processo contribuisce anche agli servizi ecosistemici per la società del territorio. Di conseguenza, il processo della decomposizione della materia organica è stato ampiamente utilizzato come bioindicatore che dà indicazioni sulle condizioni ed il buon funzionamento degli ecosistemi d'acqua dolce (Elosegi et al., 2017; Frainer et al. 2021). Quest'ultimo è anche una richiesta del LPac. Nonostante, in Svizzera gli indicatori per il funzionamento degli ecosistemi sono raramente usati nel management ambientale.

Nei nostri precedenti progetti di ricerca per la sezione 3 della CIPAI (nei trienni 2019-2021 e 2022-2024), abbiamo osservato delle differenze molto ampie delle condizioni abiotiche (concentrazione di nutrienti disciolti, composizione del substrato, etc.) fra diversi habitat litorali del Ceresio. Queste differenze hanno avuto effetti molto forti sulla biodiversità ed il funzionamento (processi ecosistemici) di questi ecosistemi (misurato come degradazione della materia organica) nei canneti e per un materiale standard (bande di cotone).

Con questo progetto proponiamo di studiare gli effetti delle caratteristiche degli habitat litorali in più dettaglio, con materiale più naturale (foglie secche), ed in un altro tipo di ecosistema importante sul Ceresio, i boschi litorali. Questo ci permetterebbe anche di caratterizzare la biodiversità e l'attività delle comunità di microorganismi (funghi saprofitici) e macroinvertebrati che contribuiscono principalmente a questi processi ecosistemici. Il progetto, quindi, permetterebbe di capire meglio come i cambiamenti ambientali (p. e. cambiamenti di concentrazioni di nutrienti o della vegetazione ripariale) potrebbero cambiare il funzionamento di questi ecosistemi, la biodiversità degli organismi chiave per essi, ed il ruolo dei boschi litorali naturali per l'ecosistema del lago e – attraverso la biodiversità ed i servizi ecosistemici – anche per la società del territorio.

Gli obiettivi del progetto, quindi, sono di quantificare gli effetti delle condizioni abiotiche dei habitat litorali su:

- (i) la decomposizione delle foglie secche come indicatore funzionale degli ecosistemi litorali;
- (ii) la crescita dei funghi saprofitici come attori microbici principali di questo processo;
- (iii) la composizione e diversità dei funghi saprofitici come indicatore strutturale degli ecosistemi litorali;

(iv) la composizione e diversità dei macroinvertebrati bentonici come indicatore strutturale degli ecosistemi littorali;

Metodi: 20 siti sperimentali nella zona litorale del Ceresio che coprano i gradienti delle condizioni abiotiche saranno selezionati sulla base delle esperienze dei progetti precedenti ed insieme agli esperti dell'Ufficio dei corsi d'acqua. Le condizioni abiotiche saranno caratterizzate come composizione del sedimento minerale e organico, i parametri principali fisico-chimici dell'acqua, la copertura e la composizione della vegetazione, e la temperatura dell'acqua durante l'esperimento. Delle foglie secche degli alberi principali (Quercia) saranno raccolte in anticipo, essiccate, pesate ed esposte in sacchetti a maglia grossa (9 mm) e fine (0.25 mm) nei siti sperimentali (6 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 (Frainer et al. 2021). 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. I campioni di foglie saranno raccolti dopo circa tre mesi di esposizione.

I campioni (acqua, foglie ed invertebrati) saranno trasportati in laboratorio per le seguenti analisi:

- (i) parametri fisico-chimici dell'acqua
- (ii) perdita di massa secca delle foglie (sacchetti a maglia grossa e fine);
- (iii) biomassa fungina nelle foglie (sacchetti a maglia grossa e fine);
- (iv) ricchezza di specie fungine saprofiti stimata dalla identificazione morfologica delle spore (sacchetti a maglia grossa e fine);
- (v) ricchezza di specie o genere di macroinvertebrati (sacchetti a maglia grossa);

Stima del tempo per ogni compito del progetto (finanziamento richiesto):

- Selezione del sito e coordinamento del progetto 48h
- Raccolta delle foglie 16h
- Preparazione dei campioni 16h
- Lavoro di campo (installazione e campionamento; due persone richieste) 180h
- Trattamento iniziale dei campioni 32h
- Quantificazione della perdita di massa di foglie 16h
- Quantificazione della biomassa fungina 100h
- Identificazione morfologica dei funghi saprofiti 120h
- Identificazione morfologica dei macroinvertebrati 80h
- Analisi dei dati e stesura del rapporto 60h

TOTALE ore di lavoro 668h

Stima dei costi del progetto:

- Ore di lavoro (668h a 80 CHF per ora) 53'440 CHF
- Materiale 5'000 CHF

TOTALE costi del progetto (finanziamento richiesto) 58'440 CHF



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.

Frainer, A., Bruder, A., Colas, F., Ferreira, V., & McKie, B. G. (2021). Plant litter decomposition as a tool for stream ecosystem assessment. In C. M. Swan, L. Boyero, & C. Canhoto (Eds.), *Plant Litter Breakdown in Freshwater Ecosystems*. Springer.

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

3. STUDIO DELLA VARIABILITÀ SPAZIALE E TEMPORALE DELLE MICROPLASTICHE NEL BACINO DEL LAGO DI LUGANO E IDENTIFICAZIONE DI POSSIBILI FATTORI CHE NE INFLUENZANO I LIVELLI DI CONTAMINAZIONE

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 presenza di microplastiche (particolato plastico di dimensioni inferiori a 5 mm) è ormai rilevata a livello globale in corsi d'acqua e laghi, incluso il Lago di Lugano e i suoi tributari. Data la loro presenza ubiquitaria risulta di importanza primaria riuscire a delineare con sempre maggior precisione il grado di contaminazione ambientale, così come le fonti di immissione esistenti, con l'obiettivo di limitarne i possibili effetti tossicologici sull'ecosistema. Tuttavia, i dati fino ad ora raccolti risultano insufficienti o dagli esiti contrastanti, lasciando ancora numerosi quesiti irrisolti. Spesso, per esempio, le attività di monitoraggio sono limitate nel tempo e nello spazio, rendendo impossibile comprendere appieno la reale distribuzione e il destino delle microplastiche disperse.

Questo studio della durata di tre anni (triennio CIPAIS 2025-2027) si propone di colmare alcune di queste lacune conoscitive nel contesto di un bacino fortemente interessato dalla presenza di microplastiche quale quello del Lago di Lugano. In particolare, lo studio si pone l'obiettivo di estendere sia in termini spaziali, sia in termini temporali, le attività fino ad ora svolte nel corso del triennio precedente, per meglio descrivere l'andamento di questi contaminanti in diversi comparti dell'ecosistema lacustre.

Obiettivi

- Proseguire la serie temporale riguardante la contaminazione della zona pelagica del lago, mantenendo le stazioni di campionamento di Gandria per il bacino nord, e Figino per il bacino sud.
- Valutare per la prima volta la presenza di microplastiche sulla superficie e nei primi metri della colonna d'acqua (zona eufotica) in diverse zone del lago (golfi di Lugano, Capolago, Agno, Ponte Tresa). Verificare se esistono differenze nella distribuzione spaziale delle microplastiche e se vi siano relazioni tra il grado di contaminazione e le caratteristiche delle zone di afferenza.
- Individuare possibili fonti puntiformi (zone antropizzate, IDA) o eventi diffusi (aumenti nella portata) di inquinamento da microplastiche lungo il corso di due dei maggiori tributari del Lago di Lugano (Vedeggio e Cassarate).
- Valutare la presenza di eventuali variazioni stagionali nelle concentrazioni di microplastiche in tutti i comparti precedentemente presentati.

Risultati attesi

La continuazione della serie temporale per quanto riguarda la zona pelagica, insieme all'aggiunta di nuovi punti di campionamento sia a lago, sia nei corsi d'acqua immissari permetteranno di verificare in dettaglio eventuali variazioni temporali e spaziali nel grado di contaminazione da microplastiche nel bacino del Lago di Lugano. Inoltre, la maggiore risoluzione spaziale così come l'inclusione di nuovi siti di studio con diversi livelli di urbanizzazione, potrà essere d'aiuto per identificare in modo puntuale le principali fonti di contaminazione e indirizzando future azioni di contenimento.

Metodi

Per valutare il grado di contaminazione delle tre zone di interesse, la zona pelagica del lago, i golfi e i corsi d'acqua selezionati verranno studiati singolarmente nel corso dei tre anni (2025-2027, un comparto per ciascun anno) come segue:

- 1° anno: campionamento stagionale della superficie (rete Manta) e della zona eufotica (0-20 m della colonna d'acqua) di quattro golfi del Lago di Lugano. Con l'obiettivo di massimizzare lo sforzo di campionamento e garantire un'adeguata rappresentatività spaziale, vengono proposti come siti di interesse per le attività di campionamento i golfi di Lugano, Capolago, Agno e Ponte Tresa.
- 2° anno: campionamento del carico di microplastiche trasportate dalle acque di due immissari del Lago di Lugano (Cassarate per il bacino nord, Veduggio per il bacino sud) e identificazione delle principali fonti di contaminazione. Per garantire una maggiore risoluzione spaziale e temporale rispetto alle analisi del triennio precedente, per ciascun corso d'acqua verranno identificati 2-3 siti di interesse. Questi saranno selezionati in modo da rappresentare diverse caratteristiche ambientali (per esempio grado di urbanizzazione, presenza di IDA) e saranno campionati in due periodi caratterizzati da diversi livelli di portata.
- 3° anno: campionamento stagionale della superficie e della colonna d'acqua della zona pelagica del bacino nord (stazione di Gandria, CIP AIS Sez.1) e del bacino sud (stazione di Figino, CIP AIS Sez.1) del Lago di Lugano. Per garantire il confronto con gli anni precedenti, nel campionamento verrà mantenuta la suddivisione della colonna d'acqua in superficie (0-0.20m) uno strato superiore (0-10m, epilimnio), intermedio (10-20m, metalimnio) e inferiore (20-80m, ipolimnio). Le attività relative a questa parte dello studio verranno coordinate con IRSA-CNR (incaricato dello studio sul Lago Maggiore) in modo da assicurare nel limite della possibile uniformità nelle tempistiche e nelle metodiche utilizzate per permettere il confronto tra i due laghi transfrontalieri.

In accordo con l'IRSA-CNR incaricato delle attività sul Lago Maggiore, è stato stabilito un limite inferiore per le microplastiche di interesse univoco e pari a 100 μm . Le attività di campionamento nel Lago di Lugano verranno quindi effettuate con rete Manta e retini da plancton di maglia pari a 100 μm , in analogia con i metodi utilizzati nel Verbano. In aggiunta, i campionamenti verranno coordinati tra i due enti in modo da essere effettuati nelle stesse

date, garantendo ulteriore uniformità nelle attività di ricerca. La metodologia di campionamento (per esempio la posizione e lunghezza dei transetti di campionamento) e le tecniche di analisi di laboratorio seguiranno i protocolli messi a punto e consolidati dal Settore Ecologia acquatica nel corso delle attività di ricerca degli anni precedenti, in modo da garantire una continuità nella serie temporale dei dati raccolti nel Lago di Lugano. Sulla base dei campioni raccolti, per ciascun anno di attività un sottocampione rappresentativo di microplastiche verrà isolato e destinato all'identificazione dei polimeri tramite spettroscopia infrarossa con l'obiettivo di identificare le fonti di contaminazione.

Costi

La presente ricerca è già compresa nel mandato di prestazione Dipartimento del territorio – SUPSI. La ricerca è inclusa e citata nella presente Sezione per attinenza tematica con il campo d'azione e attività della Sezione 3. La ricerca è inoltre speculare (stessi metodi e protocolli) a quanto viene proposto nella sezione 3 sul Lago Maggiore.

Il presente documento quantifica i costi per il campionamento, l'acquisto di materiale, le analisi, e le ore di personale. Per il progetto è stimato un costo annuale di 31'000 CHF per il triennio 2025-2027 (già incluso nel mandato cantonale), suddiviso come segue:

Attività	Costo (CHF)
Campionamento e analisi	22'500
Materiale e consumabili	1'000
Analisi dei polimeri	7'500
Totale	31'000

Costi in (CHF) suddivisi come segue per anno e tipologia di attività:

2025	2026	2027
Golfi (superficie + colonna)	Fiumi	Zona pelagica (superficie + colonna)
31'000 CHF	31'000 CHF	31'000 CHF
93'000 CHF		

4. RICOSTRUZIONE STORICA DEI LIVELLI DI CONTAMINAZIONE DA MICROPLASTICHE NEI SEDIMENTI PROFONDI 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

Negli ultimi anni l'osservazione di elevate concentrazioni di microplastiche (particolato plastico di dimensioni < 5 mm) in numerosi laghi nel mondo, ha accresciuto rapidamente l'attenzione verso le problematiche legate a questi contaminanti emergenti. La dispersione di questi materiali negli ecosistemi acquatici è solo in apparenza un problema recente in quanto si hanno osservazioni di microplastiche disperse negli ambienti marini già a partire dai primi anni del Novecento. Tuttavia, per la maggior parte dei laghi, incluso il Lago di Lugano, mancano informazioni pregresse sull'argomento.

Obiettivi

- Quantificare il grado di contaminazione da microplastiche a diverse profondità dei sedimenti nel bacino nord e nel bacino sud del Lago di Lugano.
- Effettuare una ricostruzione temporale della contaminazione da microplastiche nel bacino del Lago di Lugano, quantificando i livelli di microplastiche a partire dai primi anni del '900.

Risultati attesi

L'utilizzo di tecniche di identificazione delle microplastiche in parallelo alla datazione temporale dei sedimenti del lago permetterà di ottenere per la prima volta un profilo temporale rappresentante la storia della contaminazione da microplastiche nel bacino del Lago di Lugano. In aggiunta, l'identificazione dei polimeri che compongono le microplastiche rilevate nelle carote di sedimento porrà le basi per valutare se e come sono cambiate le fonti di contaminazione all'interno del bacino nel corso degli anni.

Metodi

Per valutare il grado di contaminazione dei sedimenti della zona pelagica del lago, ed effettuare una ricostruzione storica della contaminazione da microplastiche nel Lago di Lugano, le attività verranno distribuite nel corso dei tre anni (2025-2027) come segue:

- 1° anno: campionamento dei sedimenti in due punti della zona pelagica del bacino nord e nel bacino sud del Lago di Lugano tramite carotatore. Estrusione e sezionamento delle carote di sedimento e preparazione dei campioni per la datazione temporale.
- 2° anno: estrazione, quantificazione e caratterizzazione delle microplastiche nei diversi strati della carota di sedimento.
- 3° anno: identificazione dei polimeri che compongono le microplastiche identificate, elaborazione dei dati e report finale.

Le attività di campionamento e analisi verranno coordinate con l'IRSA-CNR (incaricato dello studio sul Lago Maggiore), e si focalizzeranno sulla frazione di microplastiche con dimensione fino a 100 µm. Le carote di sedimento verranno estruse e sezionate in strati di spessore 5 cm così da bilanciare i costi delle analisi, pur mantenendo un sufficiente livello di definizione temporale. In aggiunta, per garantire la massima comparabilità dei dati tra i due laghi transfrontalieri, verranno seguiti gli stessi protocolli di estrazione. Le carote verranno analizzate fino a una profondità di 20m nel bacino nord, e 30cm nel bacino sud in modo da ottenere dati risalenti fino agli inizi del secolo scorso. Infine, sulla base dei risultati preliminari, per ciascuno strato di sedimento verrà isolato un sottocampione rappresentativo di microplastiche da destinare all'identificazione dei polimeri.

Costi

Il contributo richiesto per il progetto include i costi sostenuti per il campionamento, l'acquisto di materiale, le analisi, e le ore di personale. Per il progetto è richiesto un contributo complessivo di 40'000 CHF per il triennio 2025-2027, suddiviso come segue:

Attività	Costo (CHF)
Campionamento e analisi	15'500
Datazione	10'000
Materiale e consumabili	2'000
Analisi dei polimeri	7'500
Analisi dei dati e rapporto	5'000
Totale	40'000

Costi in (CHF) suddivisi come segue per anno e tipologia di attività:

2025	2026	2027
Campionamento	Datazione ed estrazione microplastiche	Analisi polimeri e rapporto
12'000 CHF	13'000 CHF	15'000 CHF
40'000 CHF		

RICHIESTA FINANZIARIA RICERCHE SU AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI TRIENNIO 2025-2027 (in CHF)

Ricerche sul Lago Ceresio – Sezione 3

Documentazione: consegna di un rapporto finale del triennio di ricerca, oltre allo stato di avanzamento (vedi accordo di collaborazione)

Considerando le indagini descritte ai capitoli precedenti, è possibile quantificare complessivamente i costi delle ricerche nel Lago Ceresio per il triennio 2025-2027 come segue:

Attività/anno	2025 (CHF)	2026 (CHF)	2027 (CHF)	Totale (CHF)
Controllo della distribuzione di specie alloctone invasive nel Lago di Lugano attraverso l'uso del DNA ambientale	12'000	15'000	13'000	40'000
Effetti delle condizioni ambientali sulla biodiversità ed il funzionamento degli ecosistemi litorali del Ceresio	19'480	19'480	19'480	58'440
Studio della variabilità spaziale e temporale delle microplastiche nel bacino del Lago di Lugano e identificazione di possibili fattori che ne influenzano i livelli di contaminazione	31'000	31'000	31'000	93'000
Ricostruzione storica dei livelli di contaminazione da microplastiche nei sedimenti profondi del Lago di Lugano	12'000	13'000	15'000	40'000
TOTALE (CHF)	74'480	78'480	78'480	231'440

RIASSUNTO COSTI COMPLESSIVI (IN EURO, IVA COMPRESA) PER IL PROGRAMMA DI RICERCHE DEL LAGO MAGGIORE

LIMNOLOGIA – SEZIONE 1

N.	Titolo della proposta	2025	2026	2027	Totale triennio
1	Valutazioni climatiche dei principali parametri meteo-idrologici e definizione di indici sintetici per la valutazione dei fenomeni estremi nell'areale del Lago Maggiore	24.700	24.700	247.00	74.100
2	Valutazione degli effetti delle piene e degli eventi estremi di vento sul regime di mescolamento del Lago Maggiore attraverso l'utilizzo di un modello idrodinamico tridimensionale	26.000	26.000	26.000	78.000
3	Evoluzione stagionale e a lungo termine delle caratteristiche chimiche del Lago Maggiore	27.000	27.000	27.000	81.000
4	Evoluzione delle associazioni fitoplanctoniche in relazione a fattori di controllo trofici e climatici	27.000	27.000	27.000	81.000
5	Indagini sull'evoluzione del popolamento zooplanctonico del Lago Maggiore	26.000	26.000	26.000	78.000
6	Il carbonio organico e le schiume nel Lago Maggiore	27.000	27.000	27.000	81.000
7	Effetti del riscaldamento globale sulla comunità microbica con riferimento ai batteri potenzialmente patogeni per l'uomo e animali	18.000	18.000	18.000	54.000
8	Presenza e distribuzione di batteri antibiotico-resistenti nelle acque del Lago Maggiore	27.000	27.000	27.000	81.000
9	Mantenimento piattaforma SIMILE	7.500	7.500	7.500	22.500
	Coordinamento e spese comuni	4.000	4.000	3.500	11.500
	Totale	214.200	214.200	213.700	642.100

SOSTANZE PERICOLOSE – SEZIONE 2

N.	Attività/anno	2025 (Euro)	2026 (Euro)	2027 (Euro)	Totale (Euro)
1	Sedimenti lacustri	17.840	15.000	0	32.840
2	Biomonitoraggio tramite bivalvi	12.350	16.950	12.350	41.650
3	Contaminanti nello zooplancton	14.680	15.880	14.680	45.240
4	Biomonitoraggio del comparto ittico lacustre	26.620	28.620	26.620	81.860
5	Sedimenti dei tributari alla foce	9.800	19.320	9.800	38.920
6	Biomonitoraggio dei tributari tramite fauna ittica	33.260	0	0	33.260
7	Biomonitoraggio del Fiume Toce tramite macrobenthos	16.240	17.520	16.240	48.400
8	Approfondimento sul ciclo del mercurio	0	13.580	0	13.580
	Campionatori passivi per PFAS	8.300	0	0	8.300
	Coordinamento	240	240	240	720
	TOTALE (Euro)	139.330	127.110	79.930	346.370

AMBIENTI LITORALI E TEMATICHE EMERGENTI – SEZIONE 3

Attività/anno	2025	2026	2027	Totale (Euro)
Microplastiche	26.500	26.500	26.500	79.500
Specie aliene e litorali	23.400	23.400	23.400	70.200
Coordinamento delle ricerche e spese comuni	1.800	1.600	1.600	5.000
TOTALE (Euro)	51.700	51.500	51.500	154.700

Costo totale ricerche prioritarie Lago Maggiore nel triennio (euro)	1.143.170
--	------------------

Dalla tabella sovrastante si evince un costo complessivo di **1.143.170 euro** sul triennio 2025-2027, pari mediamente a 381.057 euro annui.

RIASSUNTO COSTI COMPLESSIVI (IN CHF) PER IL PROGRAMMA DI RICERCHE DEL LAGO DI LUGANO

LIMNOLOGIA -SEZIONE 1

CATEGORIA	2025 (CHF)	2026 (CHF)	2027 (CHF)	Totale (CHF)
Meteoclima	5'000	5'000	5'000	15'000
Idrologia	20'000	20'000	20'000	60'000
Chimica fiumi	40'000	40'000	40'000	120'000
Chimica lago	150'000	150'000	150'000	450'000
Biologia lago	125'000	125'000	125'000	375'000
Resistenza batterica	30'000	30'000	30'000	90'000
Piattaforma business intelligence	7'500	7'500	7'500	22'500
Elaborazioni	20'000	20'000	20'000	60'000
Totale annuo (CHF)	397'500	397'500	397'500	1'192'500
TOTALE NEL TRIENNIO (CHF)				1'192'500

SOSTANZE PERICOLOSE

PROGETTI	2025 (CHF)	2026 (CHF)	2027 (CHF)	Totale (CHF)
Indagine con campionatori passivi sui fiumi immissari dal Lago di Lugano (PFAS) e analisi di campioni d'aria (neurotossine prodotte da cianobatteri)	45'480	-	-	45'480
Indagine sulla presenza di contaminanti organici persistenti ed emergenti e microcistine algali nel biota	-	24'800	-	24'800
Indagini sui microinquinanti idrosolubili nelle acque del lago	-	-	66'560	66'560
TOTALE NEL TRIENNIO (CHF)				136'840



AMBIENTI LITORALI E TEMI EMERGENTI

Attività/anno	2025 (CHF)	2026 (CHF)	2027 (CHF)	Totale (CHF)
Controllo della distribuzione di specie alloctone invasive nel Lago di Lugano attraverso l'uso del DNA ambientale	12'000	15'000	13'000	40'000
Effetti delle condizioni ambientali sulla biodiversità ed il funzionamento degli ecosistemi litorali del Ceresio	19'480	19'480	19'480	58'440
Studio della variabilità spaziale e temporale delle microplastiche nel bacino del Lago di Lugano e identificazione di possibili fattori che ne influenzano i livelli di contaminazione	31'000	31'000	31'000	93'000
Ricostruzione storica dei livelli di contaminazione da microplastiche nei sedimenti profondi del Lago di Lugano	12'000	13'000	15'000	40'000
TOTALE (CHF)	74'480	78'480	78'480	231'440

Costo totale ricerche prioritarie Lago di Lugano nel triennio (CHF)	1'560'780
--	------------------

Dalla tabella sovrastante si evince un costo complessivo di **1'560'780** CHF sul triennio 2025-2027, pari mediamente a 520'260 CHF annui.