

Commissione internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere



PROGRAMMA TRIENNALE 2019-2021

RAPPORTO TRIENNALE 2019-2021

**RICERCHE SULL'EVOLUZIONE DEL LAGO MAGGIORE
SPECIE ALIENE: IMPATTI E SFRUTTAMENTO COME
BIONDICATORI PER IL MONITORAGGIO DI PARASSITOSI E MICROPLASTICHE**

a cura di

Nicoletta Riccardi, Vanessa Modesto

Verbania, 2023



ISSN: 1013-8099

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

**SPECIE ALIENE: IMPATTI E SFRUTTAMENTO
COME BIONDICATORI PER IL
MONITORAGGIO DI PARASSITOSI E
MICROPLASTICHE**

Sezione Ambienti Litorali e Temi emergenti

Programma triennale 2019– 2021

CNR ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE

Sede di Verbania

Questa pubblicazione è dedicata alla memoria di Serena Cosentino, titolare di una borsa di studio destinata a questa ricerca, che perse la vita nella tragedia del Mottarone (23 maggio 2021).

I dati riportati nel presente volume possono essere utilizzati purché se ne citi la fonte come segue:

CNR IRSA. Sede di Verbania. 2023. Specie aliene: impatti e sfruttamento come bioindicatori per il monitoraggio di parassitosi e microplastiche. Programma triennale 2019-2021. Campagna 2021 e Rapporto triennale 2019-2021. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 33 pp.

SOMMARIO

INTRODUZIONE	4
Sintesi.....	5
Executive summary.....	6
Inquadramento geografico e stazioni di campionamento.....	7
1. <i>CONCENTRAZIONE E DISTRIBUZIONE DI MICROPLASTICHE NEI BIVALVI</i>	9
CONCLUSIONI	15
2. <i>ANALISI DEI POPOLAMENTI A BIVALVI E DELLA PREVALENZA DI PARASSITOSI</i>	18
2.1 Abstract	18
2.2 Andamento dei popolamenti nativi ed invasivi.....	18
2.3 Andamento delle parassitosi nelle specie native ed invasive	19
CONCLUSIONI	22
Ringraziamenti	24
Bibliografia	25
ALLEGATI.....	29
Metodi di campionamento e di analisi per la valutazione della distribuzione di microplastiche nei bivalvi.....	29
Metodi di campionamento e di analisi per la valutazione dei popolamenti a bivalvi e della prevalenza di parassitosi	30
ELENCO DEGLI AUTORI E COLLABORATORI	33

INTRODUZIONE

Il presente rapporto illustra i risultati emersi dalle ricerche sul Lago Maggiore realizzate dal CNR Istituto di Ricerca sulle Acque nel corso del 2019-2022 per conto della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS).

I risultati delle ricerche illustrati nel presente rapporto confluiscono negli indicatori e nelle linee guida descritte nel Pannello di Controllo e nel Piano d'Azione CIPAIS.

I risultati di seguito riportati afferiscono alle seguenti linee di ricerca:

Specie aliene: impatti e sfruttamento come bioindicatori per il monitoraggio di parassitosi e microplastiche.

Le motivazioni di base per l'avvio del progetto sono da ricercarsi nella crescente preoccupazione generata dalla diffusione di specie invasive, spesso vettori di parassitosi, e dall'inquinamento da microplastiche. Tra le specie aliene più diffuse e di maggiore impatto sugli ecosistemi invasi sono da annoverare alcune specie di bivalvi d'acqua dolce presenti nel Lago Maggiore: *Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea* e *Sinanodonta woodiana*. I monitoraggi dei bivalvi nativi ed invasivi effettuati a partire dal 2010 hanno evidenziato un drastico decremento delle specie native che ha stimolato ricerche per identificarne le possibili cause. Oltre all'impatto diretto della competizione da parte delle specie invasive è emersa una elevata prevalenza di parassitosi. Pertanto, si è ritenuto di affrontare in prima istanza il problema emergente delle parassitosi, di crescente gravità sia a causa dell'ingresso delle specie invasive che dell'aumento dello stress climatico.

Oltre a comprendere molte specie aliene di elevato impatto, i molluschi bivalvi sono anche i migliori indicatori per rilevamento, identificazione e mappatura della distribuzione di inquinanti chimici, fisici e biologici. Ampiamente usati per questi scopi a livello globale, la loro efficienza è stata dimostrata anche per l'attuale problema delle microplastiche. Le microplastiche (= particelle di diametro inferiore a 5 mm) rappresentano un problema di grande attualità perché sono rinvenute in tutti gli ambienti e si teme che il loro accumulo possa, in futuro, presentare seri rischi per la salute umana e ambientale a causa della contaminazione di terra, acqua e persino aria.

Il progetto aveva quindi il duplice scopo di: a) valutare la condizione delle popolazioni native ed invasive di bivalvi rilevandone l'abbondanza, la capacità riproduttiva e la presenza di parassiti e b) utilizzare i bivalvi come bioaccumulatori per verificare la presenza e distribuzione di microplastiche lungo il perimetro del Lago Maggiore.

Sintesi

Vengono presentati i risultati raccolti nel 2019-2021 nell'ambito delle ricerche sulla distribuzione e concentrazione di microplastiche, e sul monitoraggio dei bivalvi e la presenza di parassitosi nelle specie native ed invasive nel Lago Maggiore. Le ricerche sono state realizzate da CNR Istituto di Ricerca sulle Acque su mandato della CIPAIS.

Il progetto Specie aliene: impatti e sfruttamento come bioindicatori per il monitoraggio di parassitosi e microplastiche è partito nel 2019 con un duplice scopo: a) proseguire il monitoraggio delle popolazioni autoctone e aliene di bivalvi del Lago Maggiore avviato nel 2010; b) utilizzare i bivalvi per esplorare due problemi emergenti, la parassitosi e le microplastiche. I bivalvi sono stati selezionati come organismi accumulatori per valutare l'abbondanza e la distribuzione delle microplastiche nel Lago Maggiore per i loro ben noti vantaggi come indicatori biologici tradizionali e per le crescenti evidenze della loro capacità di assorbimento delle microplastiche (vedi revisione di Li et al. 2018). Per ottimizzare le risorse disponibili e migliorare la comparabilità dei risultati del biomonitoraggio degli inquinanti lungo il perimetro del Lago Maggiore, nelle stesse stazioni, scelti come rappresentative delle diverse zone costiere, sono stati eseguiti simultaneamente i campionamenti di bivalvi per le analisi di sostanze pericolose (sezione 2) e di microplastiche e parassiti (sezione 3). I risultati dello studio triennale confermano sia il declino delle specie autoctone avvenuto dopo il 2010, sia il trend decrescente di *Dreissena polymorpha*. Entrambe le evidenze coincidono con l'introduzione e l'espansione di *Corbicula fluminea*, suggerendo una possibile competizione. L'analisi della presenza, prevalenza ed intensità delle parassitosi, indica che *Corbicula fluminea* beneficia della totale assenza di parassiti. La specie autoctona più abbondante, *Unio elongatulus*, è fortemente parassitata da idracarini e trematodi, che ne minano sia le condizioni fisiologiche che le capacità riproduttive. Per anticipare le risposte ecologiche al riscaldamento globale e prevenire ulteriori perdite di diversità tra i bivalvi d'acqua dolce, che già soffrono del più alto rischio di estinzione tra i taxa animali, è obbligatoria l'identificazione delle specie/popolazioni più esposte al rischio di estinzione. Ciò è particolarmente importante negli hotspot di biodiversità, come il Lago Maggiore. Pertanto, è stato studiato l'impatto dei cambiamenti climatici e delle malattie parassitarie sulla sopravvivenza e sulla capacità riproduttiva di *Unio elongatulus*.

Le analisi della microplastica (MP) rivelano una bassa concentrazione di MP lungo il perimetro del lago. Poiché l'analisi delle microplastiche presenta ancora incertezze metodologiche, è stato eseguito anche un esperimento preliminare per verificare l'assorbimento e identificare gli organi bersaglio per l'accumulo di microplastica (Facchetti et al. 2020). I dati provenienti dall'esposizione in laboratorio confermano che i bivalvi sono buoni organismi modello per la valutazione della presenza microplastica e hanno rivelato che l'accumulo avviene principalmente nel sacco viscerale.

Executive summary

The project *Alien species: impacts and exploitation as bioindicators for the monitoring of parasitosis and microplastics* started in 2019 with a twofold purpose: to continue the monitoring of the native and alien populations of bivalves of Lake Maggiore started in 2010; use bivalves to explore two emerging problems, parasitosis and microplastics. Bivalves have been selected as accumulator organisms to microplastic abundance and distribution in Lake Maggiore because of their well-known advantages as traditional biological indicators and mounting evidence of microplastics uptake and assimilation (see review by Li et al. 2019). To optimize the available resources and improve the comparability of the results of pollutants biomonitoring along Lake Maggiore perimeter, the sampling of bivalves for the analyses of dangerous substances (section 2) and of microplastics and parasites (section 3) were performed simultaneously in the same stations chosen as representative of the different coastal areas. Both the decline of native species taking place after 2010, and the decreasing trend of *Dreissena polymorpha* are confirmed. Both evidence coincide with the introduction and expansion of *Corbicula fluminea*, suggesting a possible competition. The analysis of the presence, prevalence and intensity of parasitosis, indicates that *Corbicula fluminea* benefits from the total absence of parasites. The native species *Unio elongatulus* is heavily parasitized by water mites and trematodes, which undermine both its physiological conditions and its reproductive capacities. To anticipate ecological responses to global warming and to prevent further diversity losses among freshwater mussels, that already suffer of the highest extinction risk among animal taxa, the identification of species/populations more exposed to extinction risk is mandatory. This is particularly important in biodiversity hotspots, like Lake Maggiore. Therefore, the impact of climate change and parasitic diseases on *Unio elongatulus* survivorship and reproductive capacity were investigated.

The analyses of microplastic (MP) reveal a low concentration of MPs along the lake perimeter. As the analysis of microplastics still presents methodological uncertainties, a preliminary experiment was also performed to verify microplastic uptake and identify the target organs for microplastic accumulation (Facchetti et al. 2020). Data from laboratory exposure confirm that mussels are good model organisms for the assessment of microplastic presence and revealed that accumulation occurs mainly in visceral sac.

Inquadramento geografico e stazioni di campionamento

SUDDIVISIONI AMMINISTRATIVE DEL BACINO IMBRIFERO

Province (I): Novara, Verbano Cusio Ossola (Piemonte); Varese, Como (Lombardia)

Cantoni (CH): Grigioni, Ticino e Vallese.

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DELLA CONCA LACUSTRE

Quota media del lago	194 m s.l.m.	Prof. criptodepressione	176 m
Lunghezza del thalweg	66 km	Volume	37,502 km ³
Larghezza massima	10 km	Profondità media	176,5 m
Area1	212,5 km ²	Sviluppo del volume	1,44
Larghezza media	3,9 km	Perimetro	170 km
Profondità massima	370 m	Indice di sinuosità	3,07
Tempo teorico di rinnovo delle acque	~ 4 anni		

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO IMBRIFERO

Altitudine massima	4.633 m s.l.m.	Larghezza media (dal lago)	37,6 km
Altitudine media	1.270 m s.l.m.	Indice di compattezza	1,58
Area (lago incluso) ²	6.599 km ²	Rapporto fra aree del bacino imbrifero e del lago	31,1

Poiché il Lago Maggiore è caratterizzato da differenti pressioni antropiche locali e livello di contaminazione chimica (Guzzella et al., 2018), i bivalvi sono stati prelevati in diversi siti di campionamento dislocati in tutto il lago, per evidenziare la potenziale presenza di punti-fonte locali di contaminazione particellare.

In particolare, i campionamenti sono stati condotti per tutti e tre gli anni (2019-2020-2021) negli stessi periodi dell'anno (maggio) e negli stessi siti (Fig. 1, Tab. 1) nei quali vengono analizzate le sostanze pericolose (Sezione 2). I siti che sono stati selezionati come rappresentativi dei diversi bacini del Lago Maggiore per le analisi delle sostanze pericolose (Sezione 2) sono i seguenti:

Area settentrionale: Cannobio

Centro: Pallanza (Villa Taranto), Luino, Laveno

Bacino di Pallanza: Baveno, Suna

Area meridionale: Brebbia, Ranco

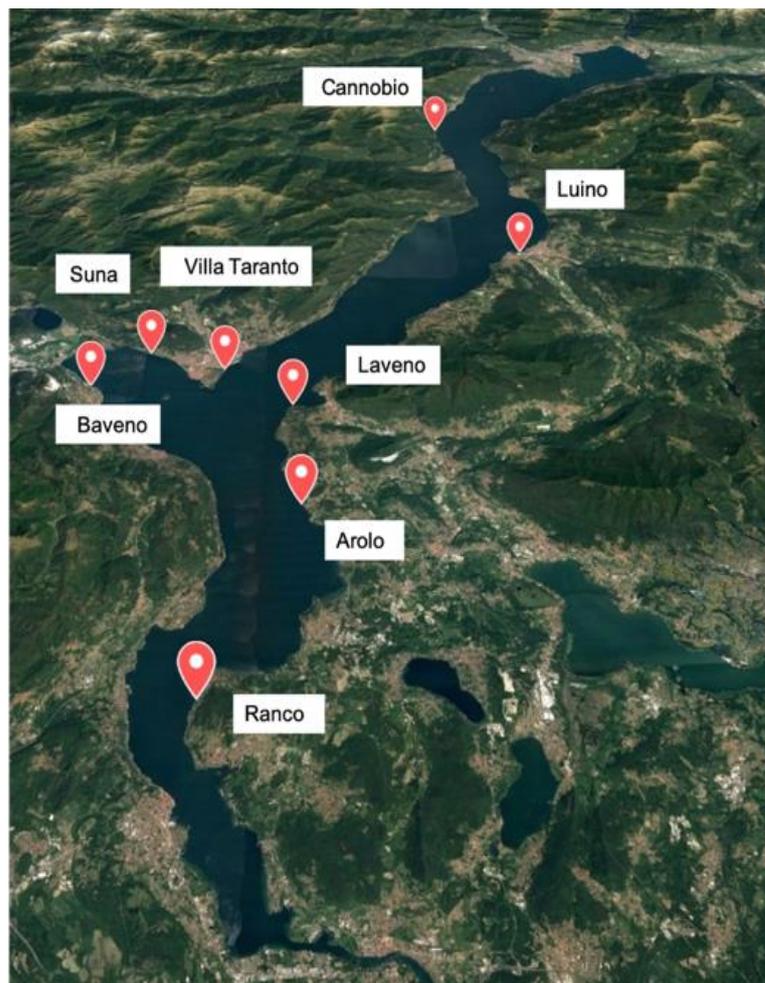


Fig. 1 Mappa dei siti di campionamento.

Tab. 1 Coordinate decimali dei siti di campionamento.

Località	Coordinate geografiche
Cannobio (Maggiore Diving)	46.092727, 8.691334
Pallanza (Villa Taranto)	45.924745, 8.566153
Suna	45.928743, 8.541833
Baveno	45.914574, 8.503777
Luino	45.995920, 8.722524
Laveno	45.903712, 8.598354
Arolo	45.856196, 8.610634
Ranco	45.791186, 8.566919

1. CONCENTRAZIONE E DISTRIBUZIONE DI MICROPLASTICHE NEI BIVALVI

1.1 Abstract

La distribuzione, concentrazione e composizione delle microplastiche è stata valutata in campioni di bivalvi nativi ed invasivi raccolti in 8 stazioni distribuite lungo il perimetro lacustre. Nel complesso, i nostri risultati hanno mostrato un basso livello di contaminazione da plastica per tutte e tre le specie, indipendentemente dal sito di campionamento. I dati combinati dei tre anni per tutte le specie non hanno mostrato differenze significative nei livelli di accumulo di particelle negli 8 siti di campionamento indicando che gli organismi dei siti più urbanizzati non sono stati soggetti a una maggiore contaminazione da particelle.

1.2 Introduzione e risultati

L'enorme domanda di prodotti a base di plastica in diverse applicazioni (Plastics Europe, 2021) si traduce in un rilascio volontario o accidentale di plastica nell'ambiente, con impatti negativi per gli ecosistemi naturali (Barnes et al., 2009). Tra gli ambienti acquatici, gli ecosistemi lentici sono altamente suscettibili a questa contaminazione a causa dell'elevato tempo di permanenza dell'acqua e del rilascio di detriti plastici dalla lisciviazione del suolo, dal deflusso stradale, dai rifiuti domestici, dagli impianti di trattamento delle acque reflue o dagli scarichi industriali e dal trasporto atmosferico (Dusauchi et al. al., 2021). Una volta rilasciata nell'ambiente acquatico, è difficile prevedere gli esiti negativi della plastica sul biota, poiché la plastica può avere un destino diverso in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche (galleggiamento o affondamento) e innescare effetti negativi diversi in relazione a dimensioni, forma, composizione del polimero, colore e capacità di trasportare altri contaminanti ambientali (Paul-Pont et al., 2018). Oltre alle materie plastiche in senso stretto, recentemente è emersa come potenzialmente dannosa la presenza nell'ambiente di fibre tessili di origine naturale (es. cotone), fibre di cellulosa rigenerata (es. rayon) e fibre artificiali (es. viscosa). Pertanto, il nostro monitoraggio ha considerato non solo i detriti di plastica, ma anche particelle antropogeniche prodotte da materiale naturale (principalmente fibre tessili), poiché rappresentano una grande porzione di detriti antropogenici rilasciati nei sistemi acquatici (De Falco et al., 2020), e sono in grado di esercitare effetti negativi sul biota (Acharya et al., 2021; Athey e Erdle, 2022; Muraro et al., 2022).

Poiché precedenti studi hanno riportato la presenza di plastica nelle acque superficiali del Lago Maggiore (Sighicelli et al., 2018; Binelli et al., 2020), mentre i livelli di plastica nel biota lacustre sono limitati a uno studio su pesce persico (*Perca fluviatilis*; Galafassi et al., 2021), questo studio si è indirizzato sulla determinazione del livello di accumulo di MP nei livelli trofici inferiori utilizzando organismi filtratori (bivalvi) come indicatori della contaminazione del Lago Maggiore da particelle antropiche (microplastiche e microfibre). In particolare, sono state analizzate la specie nativa più abbondante nel Lago Maggiore *Unio elongatulus*, e le specie invasive *Corbicula fluminea* e *Dresissena polymorpha* - che per il loro abito bentonico e la mobilità limitata possono essere utilizzati per mappare la distribuzione di tali contaminanti nell'ambiente.

Oltre alla raccolta dei campioni dall'ambiente lacustre, sono stati effettuati esperimenti di bioaccumulo per la verifica della capacità dei bivalvi di concentrare le particelle di microplastiche e per la messa a punto di metodologie alternative di preparazione ed analisi dei campioni. A questo scopo, è stata avviata una collaborazione con i ricercatori del Nanobiotechnology Lab del Centro Comune di Ricerca della UE (sede di Ispra) per l'analisi del bioaccumulo di microplastiche attraverso la sintesi e l'uso di nuovi traccianti di MP e la valutazione della loro rilevabilità in matrici complesse attraverso diversi approcci analitici. Gli esperimenti di bioaccumulo mediante particelle di sintesi marcate hanno permesso di: 1) confermare l'assorbimento di microplastiche nei tessuti dei bivalvi e 2) mettere a punto un protocollo di estrazione e purificazione basato sulla digestione enzimatica dei tessuti che riduce il rischio di modificazioni chimiche delle particelle durante trattamenti più aggressivi. I risultati dettagliati dello studio sono consultabili in Facchetti et al. (2020).

Sono state analizzate un totale di 292 particelle da 1050 individui campionati durante il triennio. Tra questi, 50 detriti sono stati identificati come plastica, mentre i restanti erano particelle di origine naturale (principalmente cellulosa) (Informazioni dettagliate nella Tab. 2).

Tab 2. Numero di individui e dimensioni delle tre specie nei campioni raccolti, numero totale di particelle identificate e numero di particelle per individuo nel 2019, 2020 e 2021.

Anno	Specie	N° ind	dimensioni (cm) ± s.d.	Plastiche tot	Particelle naturali ¹ totali	% plastiche	particelle/individuo ± s.d.
2019	<i>C. fluminea</i>	7	1.1 ± 0.2	0	5	0	0.71
	<i>D. polymorpha</i>	236	1.3 ± 0.3	7	41	14	0.21 ± 0.16
	<i>U. elongatulus</i>	45	7.4 ± 3.1	4	17	19	0.74 ± 0.77
2020	<i>C. fluminea</i>	67	2.9 ± 1.5	5	3	63	0.17 ± 0.18
	<i>D. polymorpha</i>	288	1.3 ± 0.1	1	2	33	0.02 ± 0.01
	<i>U. elongatulus</i>	86	5.7 ± 0.6	3	0	100	0.04 ± 0.06
2021	<i>C. fluminea</i>	77	2.5 ± 0.5	5	34	13	1.78 ± 2.47
	<i>D. polymorpha</i>	240	1.7 ± 0.2	16	89	15	0.44 ± 0.20
	<i>U. elongatulus</i>	43	5.8 ± 0.6	9	51	15	1.39 ± 0.62

Confrontando l'assorbimento di particelle nelle tre diverse specie, in *D. polymorpha* sono state trovate meno particelle, con un range da 0 a 0,77 particelle/individuo, mentre per le altre due specie è stato osservato un range più ampio:

¹ Per particelle naturali si intendono particelle antropogeniche prodotte da materiale naturale (principalmente fibre tessili).

da 0 a 6 particelle/individuo in *C. fluminea* e da 0 a 2,2 particelle/individuo in *U. elongatulus* (Fig. 2A). Comunque, a causa dell'ampia variabilità nell'assorbimento, le differenze tra le specie non erano statisticamente significative (ANOVA: $p = 0.1924$ F (2,55) = 1.698). Anche la distribuzione dimensionale delle particelle accumulate era simile, anche se in *C. fluminea* sono state trovate particelle di dimensioni maggiori (fino a 10,7 mm) (Fig. 2B).

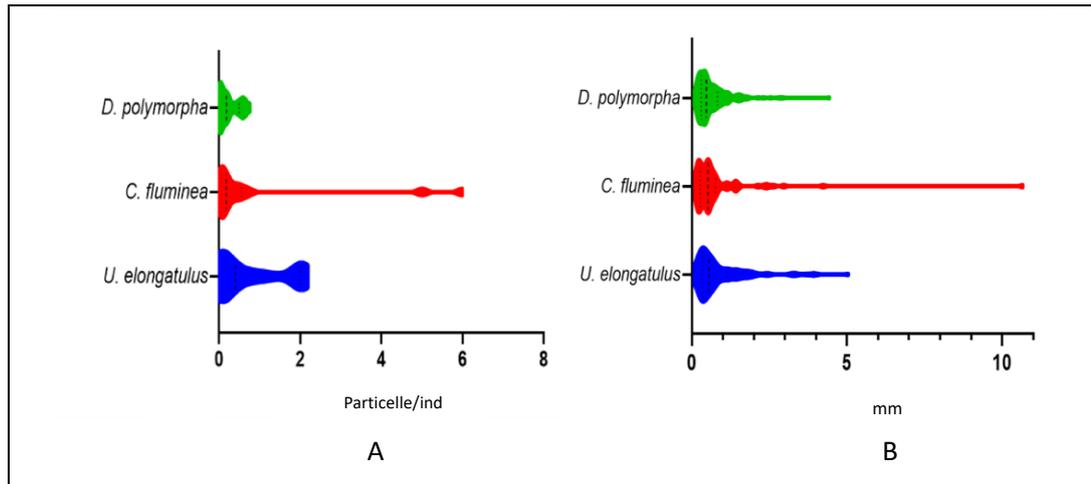


Fig. 2. Numero di particelle (A) e dimensione delle particelle accumulate (B) da ciascun individuo delle tre specie analizzate: le specie aliene invasive *Dreissena polymorpha* (in verde) e *Corbicula fluminea* (in rosso) e la specie nativa *Unio elongatulus* (in blu).

Confrontando l'entità dell'accumulo nei diversi siti durante i tre anni di monitoraggio, non si rileva alcuna differenza significativa per *D. polymorpha* (ANOVA: $p = 0.8663$ F (7,14) = 0.432) e per *U. elongatulus* (ANOVA: $p = 0.9647$ F (7,14) = 0.2476) (Fig. 3). Considerando l'andamento nel triennio per le tre specie, la quantità di particelle misurate nel 2019 è stata di 0,71 particelle/individuo in *C. fluminea*, che è stata raccolta solo a Villa Taranto (Tab 3). In *D. polymorpha* la quantità variava da 0,06 a 0,55 particelle/individuo, mentre in *U. elongatulus* la quantità variava da 0,2 a 2 particelle/individuo (Tab. 3). L'assorbimento di particelle è diminuito nettamente nel 2020 con valori da 0 a 0,5 particelle/individuo in *C. fluminea*, da 0 a 0,03 particelle/individuo in *D. polymorpha*, da 0 a 0,13 particelle /individuo in *U. elongatulus*. Nel 2021 l'accumulo è aumentato portandosi a valori simili a quelli misurati nel 2019, oscillando in *C. fluminea* da 0 a 6 particelle/individuo, in *D. polymorpha* da 0,07 a 0,77 particelle/individuo e in *U. elongatulus* da 0,4 a 2,2 particelle/individuo (Tab. 3).

Tab. 3. Numero di particelle identificate nei campioni delle 3 specie raccolti nelle diverse stazioni nel 2019, 2020 e 2021. na = non analizzato.

località	<i>Corbicula fluminea</i>			<i>Dreissena polymorpha</i>			<i>Unio elongatulus</i>		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Arolo	na	na	0	0.55	0.02	0.57	2.00	0	0.80
Baveno	na	0.08	5.00	0.18	na	0.23	0.40	0	1.00
Cannobio	na	0	0	0.10	0.02	0.07	0	0	2.00
Cerro - Laveno	na	0.50	0.46	0.23	0.03	0.63	0.20	0.09	1.50
Luino	na	na	0.23	0.20	0	0.40	1.33	0	1.83
Ranco	na	0.15	0.20	0.20	0	0.63	0.55	0.10	1.83
Suna	na	0.11	6.00	na	0	0.77	na	0.13	0.40
Villa Taranto	0.71	0.05	na	0.06	0	0.47	na	0	2.20

La variazione temporale nell'assorbimento è mostrata nella Figura 3. Una differenza significativa nell'accumulo di particelle/individuo tra diversi anni è stata osservata in *D. polymorpha* (ANOVA: $p = 0,0002$ $F_{2,19} = 14,37$) e in *U. elongatulus* (ANOVA: $p = 0,00102$ $F_{2,19} = 13,67$). Un andamento temporale simile è stato osservato anche in *C. fluminea*, sebbene non statisticamente significativo (T test: $p = 1.681$ df 6.066).

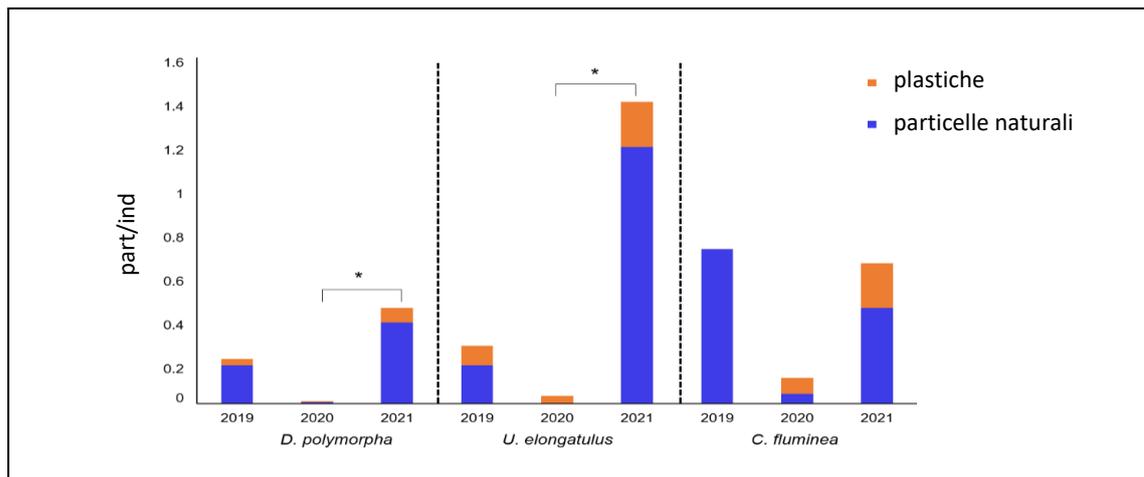


Fig 3. Tipologia delle particelle identificate nelle tre specie di bivalvi raccolte nel 2019, 2020 e 2021. L'asterisco indica differenze statisticamente significative nell'accumulo di particelle tra i diversi anni in ciascuna specie $p \leq 0,05$ (ANOVA seguito dal test post-hoc di Tuckey; per *C. fluminea* sono stati confrontati solo 2020 e 2021). Per particelle naturali si intendono particelle antropogeniche prodotte da materiale naturale (principalmente fibre tessili).

La percentuale di particelle di plastica rispetto a quelle naturali¹ era abbastanza simile nelle tre specie nel 2019 e nel 2021, mentre la percentuale di plastica era più alta e più variabile tra le specie nel 2020 (Tab 3).

Per quanto riguarda la caratterizzazione qualitativa delle plastiche osservate (Fig. 4), la dimensione è stata definita secondo la classificazione raccomandata da Hartmann et al. (2019): macroplastiche (≥ 1 cm), mesoplastiche (da 1 mm a 10 mm), microplastiche (MP) (da 1 μ m a 1 mm) e nanoplastiche (NP) (< 1 μ m). In tutti e tre gli anni, la frazione maggiore corrispondeva alle microplastiche, che andavano dal 67 al 78%, mentre il restante era rappresentato da mesoplastiche. Per quanto riguarda la forma, nel 2019 e nel 2021 la maggior parte delle plastiche osservate erano costituite da fibre, rispettivamente per il 100% e il 97% nei due anni, mentre nel 2020 il 67% era rappresentato da frammenti e il 33% da fibre. Per quanto riguarda la composizione delle plastiche rinvenute, nel 2019 e nel 2021 i polimeri più abbondanti sono stati il poliestere (PEST), rappresentato rispettivamente dal 67 e 70%, e il poliacrilato (PAK) rappresentato rispettivamente dal 25 e 20%. La poliammide (PA) ammontava all'8% nel 2019, mentre nel 2021 il 3% delle plastiche era costituito da PA, polipropilene (PP) e polistirene (PS). Nel 2020 la percentuale di PEST ha raggiunto il 56%, PA e PP hanno rappresentato l'11%. Solo nel 2020 sono state individuate particelle di polietilene (PE), che ammontavano al 22% del totale. Anche in termini di colore si individuano somiglianze tra il 2019 e il 2021, con una chiara dominanza del nero e del trasparente, seguiti dal blu e dal rosso (Fig. 4). Al contrario, il colore dominante nel 2020 è stato l'arancione (33%), seguito dal rosso e dal trasparente (22%) e in misura minore dal nero e dal viola (11%). La maggior parte delle plastiche rinvenute nel 2019 (Fig. 4) sono microfibre di poliestere e poliammide, quindi di origine tessile, probabilmente in gran parte rilasciate da scarichi domestici (lavatrici). Va comunque considerato che la poliammide è utilizzata anche in attrezzi da pesca, che potrebbero rappresentare un'altra potenziale fonte di rilascio. Invece il poliacrilato, rinvenuto in particolare ad Arolo e Luino, è di origine industriale. Anche nel 2020 sono state rinvenute soprattutto microfibre di poliestere e poliammide, tuttavia si evidenzia la presenza anche di frammenti (Fig. 4). E' stato rinvenuto anche polietilene che può avere diverse origini, in quanto è spesso utilizzato per utensili usa e getta. Il polipropilene, rinvenuto in percentuale del 11%, può avere varie applicazioni, ed è usato nella produzione delle mascherine monouso. Il suo rinvenimento nel 2020 è verosimilmente legato al largo utilizzo delle mascherine durante la recente pandemia e alla deplorable abitudine di gettarle a terra dopo l'uso. Nel 2021 sono state di nuovo rinvenute soprattutto microfibre di poliestere, e ricompare il poliacrilato, già rinvenuto nel 2019 (Fig. 4). Poiché i siti nei quali compare il poliacrilato sono soprattutto Arolo e Luino, oltre a Ranco e Laveno (Della Torre et al., 2023), sembra probabile che derivi da attività industriali (vernici). La sua assenza nel 2020 sarebbe da imputarsi all'arresto delle attività durante la pandemia. Nel 2021 si rileva ancora polipropilene, a conferma della sua derivazione principalmente dalle mascherine.

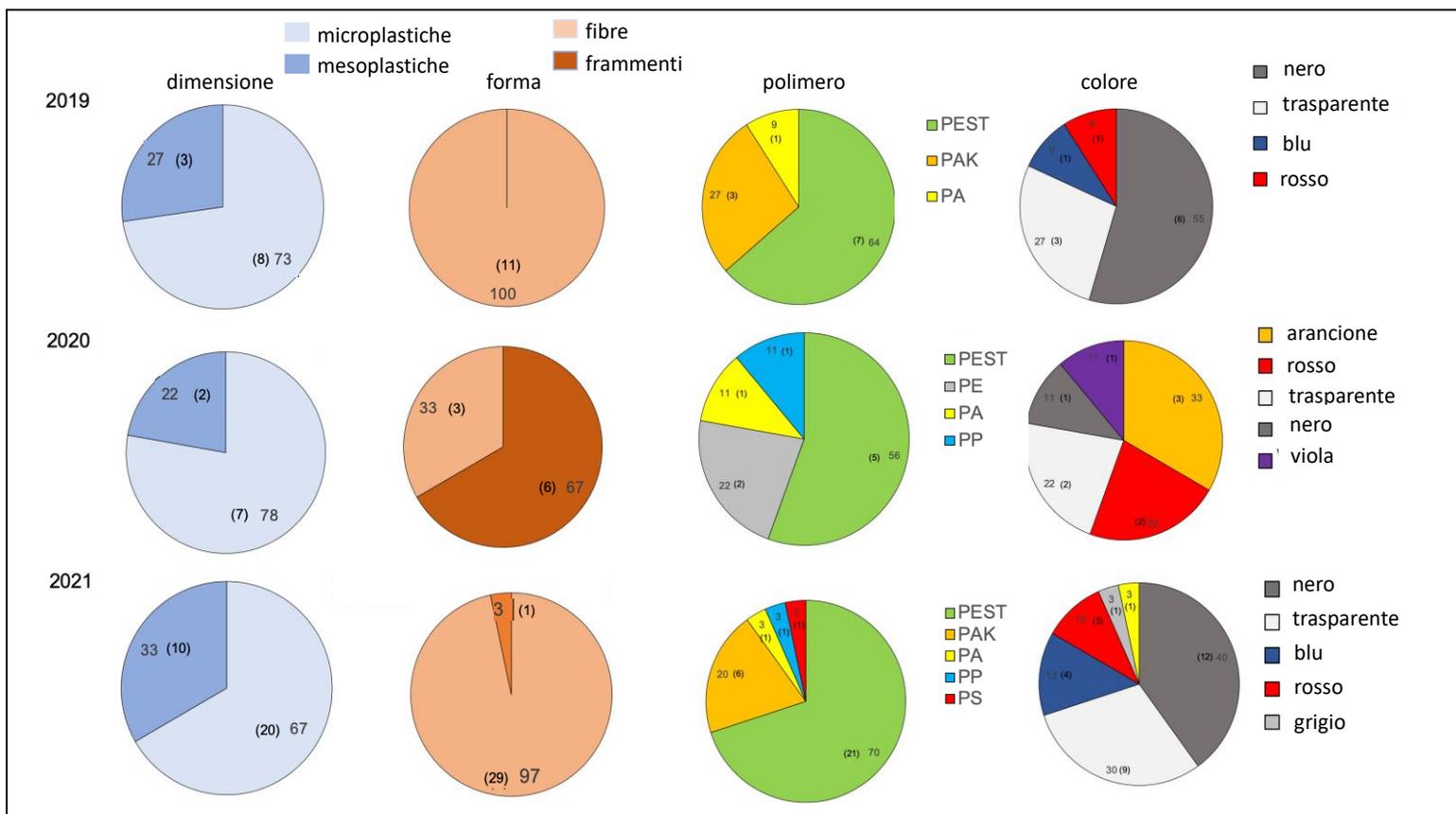


Fig. 4. Dimensione, forma, composizione del polimero e colore delle plastiche identificate nelle tre specie di bivalvi nel 2019, 2020 e 2021. I numeri si riferiscono alle percentuali relative e al numero di particelle.

CONCLUSIONI

Nonostante il range di variabilità estremamente ampio nel numero e nella dimensione delle particelle (plastiche e di origine naturale) ingerite, *D. polymorpha* sembra accumulare meno particelle e di dimensioni inferiori rispetto alle altre due specie. I bivalvi filtratori sono filtratori selettivi e una data specie filtrerà e rimuoverà solo particolato di dimensioni adeguate che dipendono dalle dimensioni della specie e dalla struttura del suo apparato di filtrazione. Pertanto, differenze di dimensioni (5-22 mm per *D. polymorpha*, 5-35 mm per *C. fluminea*, 42-81 mm per *U. elongatulus*) possono giustificare le differenze osservate nell'accumulo. La variabilità della capacità di accumulo può essere giustificata anche dalle diverse velocità di filtrazione: fino a 4 L/ind/h in *C. fluminea*, fino a 8 L/ind/h in *U. elongatulus* (comunicazione personale Riccardi) e fino a 0,5 L/ind/h in *D. polymorpha* (Binelli et al., 2014). Inoltre, ci si può aspettare che diverse preferenze di habitat influenzino l'assorbimento: mentre *D. polymorpha* utilizza il bisso per attaccarsi a substrati duri, *C. fluminea* e *U. elongatulus* vivono nei sedimenti, e quindi, oltre alle particelle filtrate dalla colonna d'acqua, queste specie possono ingerire anche particelle risospese dai sedimenti. *Corbicula* differisce ulteriormente da *Unio* per la sua tendenza ad essere più affondata nel sedimento e per la sua capacità di assumere alimento mediante nutrizione pedale (Hakenkamp e Palmer, 1999).

Nel complesso, i nostri risultati hanno mostrato un basso livello di contaminazione da plastica per tutte e tre le specie, indipendentemente dal sito di campionamento. I dati combinati dei tre anni per tutte le specie non hanno mostrato differenze significative nei livelli di accumulo di particelle negli 8 siti di campionamento indicando che gli organismi dei siti più urbanizzati non sono stati soggetti a una maggiore contaminazione da particelle.

I risultati confermano il livello di microplastiche misurato nelle acque superficiali del lago in studi precedenti, che variava da 39.000 a 100.036 plastiche km⁻², corrispondenti rispettivamente a 0,039 e 0,1 plastiche m⁻² (Sighicelli et al., 2018; Binelli et al., 2020). Sulla base delle rispettive rate di filtrazione, *U. elongatulus* assumerebbe una media di 0,08, *C. fluminea* di 0,04 e *D. polymorpha* di 0,005 particelle al giorno. La presenza di particelle nei bivalvi del Lago Maggiore misurata nel presente studio è in linea con quanto riportato da studi simili condotti in altri laghi del mondo (Domogalla-Urbansky et al., 2019; Wardlaw e Prosser, 2020; Hoellein et al., 2021; Kallenbach et al., 2022; Gedik e Atasaral, 2022). Nel monitoraggio condotto sul Lago d'Iseo che ha utilizzato *D. polymorpha* come specie bioindicatrice sono state misurate da 0,07 a 0,23 particelle/individuo (Pastorino et al., 2021). Si noti che, sebbene la procedura analitica tramite analisi μ FT-IR sia una delle metodiche più sensibili per la caratterizzazione di tale contaminazione, non consente di caratterizzare le particelle inferiori a 10 μ m di dimensione, fornendo quindi una possibile sottostima del carico effettivo di particelle più piccole all'interno degli organismi.

A differenza degli inquinanti chimici, l'analisi del contenuto di particelle nei tessuti molli dei bivalvi fornisce solo un'istantanea degli elementi che stanno attraversando l'organismo e non del materiale effettivamente trattenuto e accumulato nel tempo. Infatti, nonostante l'elevata velocità di filtrazione e l'efficienza nel catturare le particelle sospese di questi organismi (Ringwood et al., 2021), le particelle antropogeniche sembrano avere un tempo di residenza molto basso nei bivalvi (da ore a

giorni), in quanto questi organismi sono in grado di attivare meccanismi di escrezione ed espulsione attraverso feci e pseudofeci (Ward et al., 2019a). In particolare, i bivalvi sono in grado di effettuare una selezione in base alle caratteristiche chimico-fisiche delle particelle (ovvero forma, dimensione, carica superficiale), potendo distinguere tra materiale di alta qualità, che verrà interiorizzato, e detriti poveri, che subiscono una rapida espulsione attraverso le pseudofeci (Ward et al., 2019b; Magni et al., 2020). Pertanto, ciò potrebbe comportare una sottostima dell'effettivo carico ambientale di detriti antropici nel sistema idrico che sono biodisponibili. Nonostante i bassi livelli rilevati nei bivalvi, questi possono subire i possibili effetti negativi della plastica e delle particelle non sintetiche. Ciò potrebbe interferire con le loro funzioni ecologiche, come il ruolo nel ciclo dei nutrienti, la bioturbazione e la filtrazione dell'acqua (Green et al., 2016; Christoforou et al., 2020; Pedersen et al., 2020). D'altra parte, l'incorporazione della plastica nei biodepositi generati dai bivalvi potrebbe modificare il destino ambientale e la ripartizione delle particelle nell'ambiente acquatico (Van Colen et al., 2021).

L'andamento temporale dei livelli di particelle in tutte e tre le specie ha mostrato una diminuzione dei carichi di particelle di circa dieci volte nel 2020 rispetto al 2019 e al 2021. Il campionamento degli organismi nel 2020 è avvenuto subito dopo il severissimo lockdown imposto in Italia per contenere la diffusione della pandemia di SARS-CoV-2. Da marzo 2020 a maggio 2020 la maggior parte della popolazione era sottoposta a divieto di viaggiare, le corse dei traghetti attraverso il lago erano state drasticamente ridotte e la nautica da diporto era stata vietata. Anche le attività industriali antropiche avevano subito una drastica riduzione. Queste limitazioni hanno comportato una riduzione del carico antropico sul lago, sia da parte della popolazione residente che, soprattutto, da parte dell'industria turistica. Infatti, secondo un recente studio la pressione antropica sul lago aumenta notevolmente durante il fine settimana e la stagione estiva, probabilmente per effetto del turismo e delle attività ricreative (Vavassori et al., 2022). Poiché è stata documentata una correlazione positiva tra contaminazione da MP e densità di popolazione (Yonkos et al., 2014; Eerkes-Medrano et al., 2015; Lebreton et al., 2017), è logico ipotizzare che l'abbattimento del carico di particelle al lago sia stato causato dall'antropopausa dovuta al lockdown. Le presenze turistiche sono infatti diminuite nel corso del 2020 del 53-57% nel bacino italiano e del 59% nel bacino svizzero (Istituto di Ricerche Economiche – Osservatorio del Turismo 2020; Osservatorio del Turismo Verbano Cusio Ossola 2020; Bregonzo, 2020; Cavedo, 2021). Tuttavia, gli effetti del blocco sono stati transitori e di breve durata poiché i livelli di particelle nel 2021 sono tornati a valori simili a quelli del 2019.

Le particelle antropogeniche possono raggiungere gli ambienti lentici attraverso il trasporto fluviale, il deflusso urbano e agricolo, le acque reflue e la deposizione atmosferica (Dusaucy et al., 2021). Poiché il lago ha un ampio bacino idrografico (6.599 km²) e numerosi affluenti, non si può escludere che altri fattori, quali le fluttuazioni delle condizioni meteorologiche e idrologiche, possano aver influito sui livelli di contaminazione. Infatti, negli anni precedenti sono state rilevate forti fluttuazioni annuali dei livelli di plastica nel lago: 39.000 plastiche/km² nel 2016 (Sighicelli et al., 2018) contro 100.036 plastiche/km² nel 2018 (Binelli et al., 2020).

La caratterizzazione qualitativa delle particelle ha evidenziato che la maggior parte delle plastiche captate dagli organismi sono MP di origine secondaria, soprattutto legate alla frammentazione dei tessuti. Infatti, la maggior parte è costituita da fibre di origine tessile costituite da polimeri sintetici come PEST, PA e PAK.

La diversa composizione delle particelle rinvenute nei 3 anni avvalorata l'ipotesi che la pandemia di SARS-CoV-2 possa aver influito sulla contaminazione da plastica del lago, come già indicato dalle evidenze di un recente studio di monitoraggio effettuato su alcuni corsi d'acqua milanesi (Binelli et. al., 2022). In particolare, i frammenti di PE sono stati rilevati solo nel 2019, mentre le fibre di PAK sono state identificate nel 2019 e nel 2021, ma non nel 2020. Al contrario, il PP è stato rilevato solo a partire dal 2020. Poiché le microfibre a base di PP sono anallergiche e idrofobe, questo polimero è uno dei principali costituenti delle mascherine (Czigány e Ronkay, 2020; Rathinamoorthy e Balasaraswathi, 2022). L'uso massiccio di mascherine durante la pandemia e successivamente per tutto il 2021 ha probabilmente contribuito all'introduzione delle microfibre di PP nel lago. Infatti, se smaltiti in modo improprio, tali rifiuti possono persistere nell'ambiente, frammentandosi potenzialmente in MP, rappresentando così una fonte di contaminazione da plastica per gli ecosistemi acquatici (Allison et al., 2020). Per concludere:

- 1) le microfibre rappresentano le particelle antropogeniche maggiormente ingerite dai bivalvi e sono necessari ulteriori studi per aumentare le conoscenze sulla loro tossicità sugli organismi acquatici.
- 2) il livello di particelle misurato nei tessuti molli dei bivalvi sembra in linea con i livelli osservati in altri studi e indica l'assenza di rilascio puntiforme di particelle nel lago.
- 3) La variazione nella composizione dei polimeri nel 2020 può essere legata all'uso diffuso di mascherine mediche e dimostra come la loro dispersione impropria possa generare un impatto a lungo termine sulla quantità/qualità delle particelle rilasciate negli ambienti acquatici.

2. ANALISI DEI POPOLAMENTI A BIVALVI E DELLA PREVALENZA DI PARASSITOSI

2.1 Abstract

I bivalvi sono ospiti intermedi di trematodi che hanno effetti sia sulle condizioni fisiologiche che sul potenziale riproduttivo, e quindi influenzano l'interazione tra specie native e specie invasive. Se da un lato la presenza di parassitosi indebolisce la capacità della popolazione di superare criticità ambientali come l'incremento dei periodi siccitosi e delle temperature nelle acque litorali, dall'altro ci si aspetta un aumento delle densità parassitarie associato al riscaldamento globale. Il forte declino dei bivalvi nativi nel Lago Maggiore coincide con l'incremento delle specie invasive e trova riscontro con una prevalenza di parassitosi molto più elevata che in altri ambienti italiani ed europei. Questo dato è preoccupante per una serie di motivi, tra i quali meritano particolare attenzione i seguenti: 1) le parassitosi sono previste in aumento per effetto delle variazioni del regime termico; 2) i parassiti Trematodi Digenei, che questo studio ha rivelato essere insolitamente abbondanti nel Lago Maggiore, utilizzano il bivalve come ospite intermedio, ma l'ospite finale è rappresentato da diverse specie ittiche, incluse quelle utilizzate per alimentazione umana.

2.2 Andamento dei popolamenti nativi ed invasivi

I dati di densità media delle specie native ed invasive rilevati nel corso dei tre anni hanno confermato le tendenze già osservate negli anni precedenti: declino delle specie native e riduzione di *Dreissena polymorpha* (Fig. 5). Entrambe le evidenze coincidono con l'introduzione ed espansione di *Corbicula fluminea*, suggerendo un possibile effetto di interazione competitiva. Da studi precedenti (Riccardi, dati non pubblicati) è emersa una sovrapposizione della nicchia trofica con quella delle specie native, *Unio elongatulus* e *Anodonta* spp., e di *Dreissena polymorpha*. Poichè la nicchia trofica rappresenta la varietà di alimenti ingeriti da una determinata specie/popolazione la sovrapposizione delle nicchie delle specie che convivono nello stesso ecosistema indica una probabile competizione per l'alimento. Questa competizione e l'assenza totale di parassiti (Taskinen et al., 2020) forniscono un vantaggio a *Corbicula fluminea* che le consente di prevalere sulle altre specie presenti. La recente segnalazione dell'espansione di *Dreissena rostriformis bugensis* (volgarmente detta cozza quagga) nelle acque svizzere induce a sospettare che siano già presenti nuclei di questa specie nel Lago Maggiore. Benché le analisi di eDNA eseguite alle Bolle di Magadino, nel Fiume Tresa (a valle della briglia di Ponte Tresa e alla foce a Luino), a Feriolo, a Sesto Calende e nel Ticino emissario (a valle della diga della Miorina) nel 2018 – 2019 fossero negative per *D. rostriformis bugensis* (Egeter et al., 2020), non è possibile escluderne con certezza la presenza al momento attuale. Innanzitutto, come già accennato nel rapporto sulle attività del 2019, *D. rostriformis bugensis* tende a collocarsi a profondità molto più elevate della congenerica *D. polymorpha*, soprattutto nelle fasi iniziali dell'invasione. Per questo motivo non si può escludere che l'analisi di eDNA nelle acque superficiali non sia in grado di rilevare la presenza di nuclei iniziali di colonizzazione se composti da pochi individui e a profondità maggiori di 40 m.

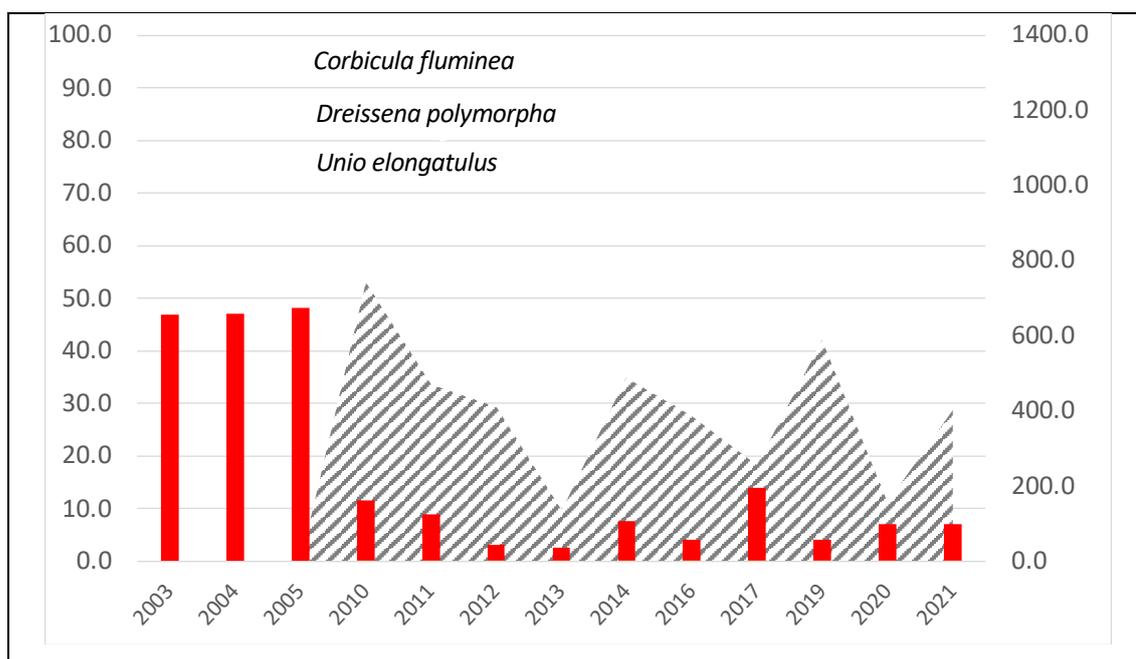


Fig. 5. Andamento dei valori medi di densità dei popolamenti di bivalvi nativi (asse y principale) ed invasivi (asse y secondario) nel Lago Maggiore.

2.3 Andamento delle parassitosi nelle specie native ed invasive

I dati rilevati sulla specie nativa più abbondante, *Unio elongatulus*, confermano una prevalenza estremamente elevata di trematodi e idracarini parassiti (Tab. 4). I trematodi esercitano un impatto molto elevato sulla capacità riproduttiva della specie, in quanto l'intensità dell'infestazione è mediamente così forte da causare la completa castrazione dell'animale infetto. Inoltre, l'esame degli individui infetti mostra una riduzione complessiva della massa degli organi contenuti nel sacco viscerale, cioè gonade e ghiandola digestiva, che suggerisce una riduzione della capacità di sopravvivenza oltre che di riproduzione. Contrariamente alle specie native e alle altre specie invasive (*Sinanodonta woodiana*, *Dreissena polymorpha*), la specie invasiva *Corbicula fluminea* appare completamente esente da parassiti (Tab. 4) confermando quanto già osservato in altre popolazioni europee (Taskinen et al. 2020). Questo le conferisce un indubbio vantaggio competitivo che, unitamente alla elevata fertilità e accrescimento, giustificerebbe il suo crescente impatto sulle densità delle specie native (*Unio elongatulus*, *Anodonta cygnea*, *A. anatina*, *A. exulcerata*) e di *Dreissena polymorpha*. Per verificare l'effettiva prevalenza di trematodi castratori nella specie nativa dominante *Unio elongatulus* sono state condotte analisi istologiche su campioni raccolti nel 2020. Queste analisi hanno evidenziato come i comuni metodi usati per l'analisi delle parassitosi (dissezione degli organi e analisi microscopica) non siano idonei ad evidenziare gli stadi iniziali dell'infestazione.

Tab. 4 - Presenza di parassiti nelle diverse specie di bivalvi. Prevalenza nella popolazione: +++ = > 60 %; ++ = > 40 %; + = 10 - 20 %; - = assente.

	<i>Rhipidocotyle campanula</i>	Idracarini	Ciliati	<i>Aspidogaster</i> sp.	<i>Chaetogaster</i> Sp.
<i>Unio elongatulus</i>	+++	+++	+++	-	-
<i>Anodonta</i> spp.	++	+++	+++	+	+
<i>S. woodiana</i>	+	+++	++	+	+
<i>D. polymorpha</i>	-	-	++	-	-
<i>Corbicula fluminea</i>	-	-	-	-	-

Dal confronto tra le popolazioni raccolte alle tre diverse profondità (Fig. 6) emerge che il rapporto tra i sessi di *U. elongatulus* è sbilanciato a favore dei maschi nelle popolazioni più superficiali (0.5 – 6 m) mentre è a favore delle femmine alle profondità prossime al termocline (15-16 m).

Il parassita digeneo, *Rhipidocotyle campanula*, causa la castrazione degli individui infetti riducendo in tal modo il potenziale riproduttivo della popolazione. Individui parassitati sono presenti in tutte le zone termali del lago, ma la prevalenza è più bassa nella zona più profonda e fresca (15-16 m) che negli strati più superficiali e intermedi (Fig. 7). Negli strati superficiali e intermedi è stata osservata una minore capacità riproduttiva a causa dell'impatto del trematode. Una bassa percentuale di individui ermafroditi, o di individui di dubbia attribuzione sessuale, è stata osservata a tutte le profondità (Fig. 7).

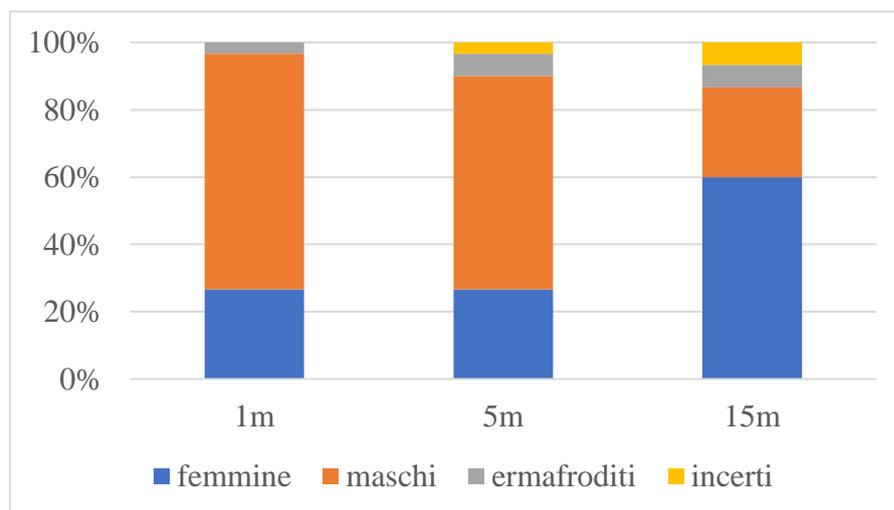


Fig. 6. Rapporto sessi (%) di *U. elongatulus* nelle tre diverse zone termali (0.5-1 m; 5-6 m; 15-16 m).

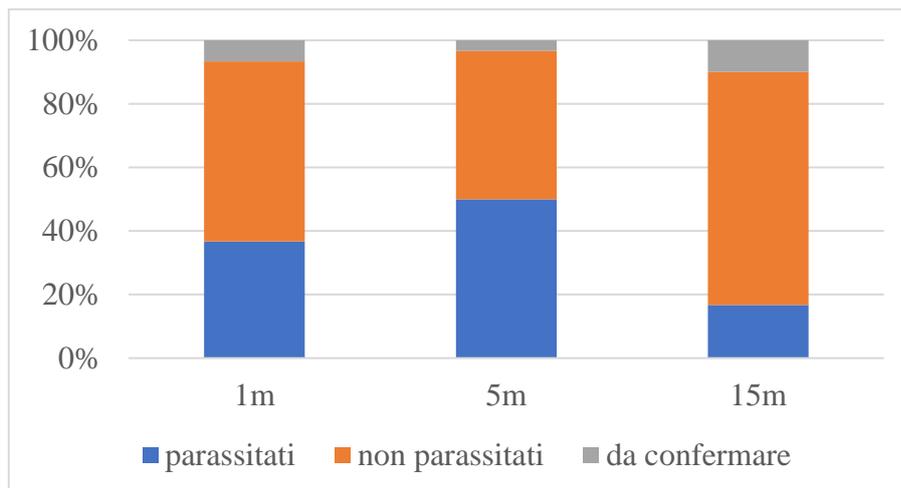


Fig. 7. Proporzione di individui parassitati e non nelle popolazioni di *U. elongatulus* delle tre diverse zone termali (0.5-1 m; 5-6 m; 15-16 m).

CONCLUSIONI

Le popolazioni delle specie native del Lago Maggiore, inclusa la più abbondante (*U. elongatulus*) continuano a declinare secondo l'andamento in corso ormai da oltre un decennio. Le cause di questo declino sono molteplici, ma è sicuramente centrale il ruolo delle specie invasive (in particolare, *Corbicula fluminea*). La prevalenza di parassitosi, insolitamente elevata nelle specie native, causa un indebolimento delle popolazioni dovuto sia all'incremento della mortalità che alla riduzione della capacità riproduttiva. Oltre a questo, una ulteriore causa di declino delle popolazioni native deriva dai sempre più frequenti e prolungati periodi siccitosi con conseguente riduzione del livello delle acque. L'abbassamento dei livelli idrici causa mortalità massive dei popolamenti bentonici nelle aree soggette ad essiccamento. Questo agevola l'insediamento massivo ed esteso dei bivalvi invasivi (*Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*, *Sinanodonta woodiana*), nelle aree re-inondate quando il livello idrico risale a valori normali. Le specie invasive sono avvantaggiate sia da una maggiore resistenza all'essiccamento e alle ondate di calore, come *Sinanodonta woodiana*, che da una capacità riproduttiva molto maggiore grazie a cicli biologici più rapidi e, nel caso di *Dreissena* spp. e *Corbicula* spp., più semplici in quanto mancanti della fase larvale parassitaria tipica degli Unionidi. Al contrario, i bivalvi nativi necessitano per la riproduzione di un regime idrologico prevedibile per il mantenimento di temperature tollerabili e di condizioni dell'habitat stabili (Gagnon et al. 2004; Spooner e Vaughn 2008; Allen e Vaughn 2010; Galbraith e Vaughn 2011; Gough et al. 2012), oltre che della presenza e abbondanza delle specie ittiche ospiti delle larve per garantire il reclutamento della popolazione (Roy et al 2005; Vaughn 2012). In genere, l'insediamento di estese ed abbondanti popolazioni di specie invasive impedisce una ricolonizzazione da parte delle specie native che, oltre ad avere capacità riproduttive inferiori, sono estremamente vulnerabili agli stress ambientali, tanto da essere considerati fra i migliori "indicatori" delle condizioni degli ecosistemi acquatici. Ed è proprio per la loro elevata sensibilità alle variazioni climatiche, alle alterazioni del regime idrologico e al deterioramento dell'habitat che rappresentano uno dei gruppi animali maggiormente a rischio d'estinzione nel mondo, ed il più minacciato in assoluto in Europa (European Red List of Non-Marine Mollusks, 2011). Questa forte riduzione a livello globale e locale, unitamente alla perdita dei servizi ecosistemici che i bivalvi forniscono in quanto specie chiave negli ambienti d'acqua dolce (Lopes-Lima et al. 2016; Zieritz et al. 2022), giustifica l'attuale interesse conservazionistico verso le specie native. Conservazione che mira al ripristino/mantenimento degli equilibri ecosistemici utilizzando la componente più vulnerabile (flag-species/umbrella species) come "termometro" della condizione globale del complesso biota-ambiente. Il declino delle popolazioni native del Lago Maggiore è particolarmente grave per due motivi: i) il Lago Maggiore ospita una elevata diversità di specie native rispetto ad altri siti italiani ed europei; ii) le popolazioni italiane di bivalvi nativi sono in forte declino soprattutto nelle acque correnti e i laghi rappresentano l'ultimo rifugio per le popolazioni residue (Riccardi et al. 2022a, b) che potrebbero fungere da popolazioni donatrici per il ripopolamento di ambienti soggetti ad estinzione locale.

La prevalenza di parassitosi nei bivalvi nativi del Lago Maggiore è molto più elevata che in altri ambienti italiani ed europei (Riccardi, dati non pubblicati; Taskinen et al. 2020). Questo dato è preoccupante per una serie di motivi, tra i quali meritano particolare attenzione i seguenti: 1) le parassitosi sono previste in aumento per effetto delle variazioni

del regime termico; 2) i parassiti Trematodi Digenei, che questo studio ha rivelato essere insolitamente abbondanti nel Lago Maggiore, utilizzano il bivalve come ospite intermedio, ma l'ospite finale è rappresentato da diverse specie ittiche, incluse quelle utilizzate per alimentazione umana.

Ringraziamenti

Serena Cosentino[†] e Vanessa Modesto sono state supportate da una borsa di studio finanziata da Acqua Novara e VCO, Comune di Verbania, Federchimica-Plastics Europe Italia, Fondazione Comunitaria del VCO, Fondazione Comunitaria Novarese, Fondazione Comunitaria del Varesotto, Plastipak, Unione Industriale del VCO. Ringraziamo Sheila Rinaldi, Romano Rampazzo e Marco Garofalo per l'aiuto nei campionamenti subacquei. Un ringraziamento particolare va alla famiglia Cosentino per aver effettuato una donazione a favore del progetto in memoria della figlia Serena, tragicamente scomparsa nella tragedia del Mottarone (23 maggio 2021).

Bibliografia

- Acharya S, Rumi SS, Hu Y, Abidi N. 2021. Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: A review. *Text. Res. J.* 91, 2136-2156.
- Allen DC, Vaughn CC 2010. Substrate and hydraulic variables limit freshwater mussel species richness and abundance. *Journal of the North American Benthological Society* 29: 383–394.
- Allison, A.L., Ambrose-Dempster, E., Aparsi, T.D., Bawn, M., Arredondo, M.C., Chau, C., Chandler K, Dobrijevic D, Hailes H, Lettieri P, Liu C, Medda F, Michie S, Miodownik M, Purkiss D, Ward J, 2020. The environmental dangers of employing single-use face masks as part of a COVID-19 exit strategy. *UCL Open Environ*
- Athey SN, Erdle LM, 2022. Are We Underestimating Anthropogenic Microfiber Pollution? A Critical Review of Occurrence, Methods, and Reporting. *Environ. Toxicol. Chem.*, 41,822–837.
- Barnes DKA, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M, 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. T. R. Soc. B.* 364, 1985-1998.
- Binelli A, Magni S, Soave C, Marazzi F, Zuccato E, Castiglioni S, et al. (2014). The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters. *Ecol. Engineer.*, 71, 710-721.
- Binelli A, Pietrelli L, Di Vito S, Coscia L, Sighicelli M, Della Torre C, Parenti CC, 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.
- Binelli A, Della Torre C, Nigro L, Riccardi N, Magni S, 2022. A realistic approach for the assessment of plastic contamination and its ecotoxicological consequences: A case study in the metropolitan city of Milan (N. Italy). *Sci Tot Environ* 806, 150574.
- Bregonzo L. 2020. Il turismo in Piemonte 2020: dati e analisi di un anno complesso. Osservatorio turistico Regionale.
https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-04/datiturismo_2021_consuntivo2020_23apr2021_def_1.pdf.
- Cavedo L, 2021. Provenienza e destinazioni dei turisti in Lombardia - anno 2020. Working paper 34/2021. PoliS-Lombardia, Milano, www.polis.lombardia.it
- Christoforou E, Dominoni DM, Lindström J, Stilo G, Spatharis S, 2020. Effects of long-term exposure to microfibers on ecosystem services provided by coastal mussels. *Environ. Pollut.*, 266, 115184.
- Czigány T, Ronkay F, 2020. The coronavirus and plastics. *eXPRESS Polymer Letters* 14, 510–511.
- De Falco F, Cocca M, Avella M, Thompson RC 2020. Microfiber Release to Water, Via Laundering, and to Air, via Everyday Use: A Comparison between Polyester Clothing with Differing Textile Parameters. *Environ. Sci. Technol.* 54, 3288-3296
- Della Torre C, Riccardi N, Magni S, Modesto V, Fossati M, Binelli A 2023. First comparative assessment of contamination by plastics and non-synthetic particles in three bivalve species from an Italian sub-alpine lake. *Environ. Poll.* DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121752
- Domogalla-Urbansky J, Anger PM, Ferling H. et al. 2019. Raman microspectroscopic identification of microplastic particles in freshwater bivalves (*Unio pictorum*) exposed to sewage treatment plant effluents under different exposure scenarios. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 2007–2012.
- Dusauchi J, Gateuille D, Perette Y, Naffrechoux E, 2021. Microplastic pollution of worldwide lakes. *Environ. Pollut.*, 284, 11705.
- Eerkes-Medrano D, Thompson RC, Aldridge D. 2015. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.*, 75, 63-82.
- Egeter B, Veríssimo J, Lopes-Lima M, Chaves C, Pinto J, Riccardi N, Beja P, Fonseca NA 2020. Speeding up the detection of invasive aquatic species using environmental DNA and nanopore 4 sequencing. *bioRxiv preprint* doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.09.142521>

- Facchetti SV, La Spina R, Fumagalli F, Riccardi N, Gilliland D, Ponti J, 2020. Detection of Metal-Doped Fluorescent PVC Microplastics in Freshwater Mussels. *Nanomaterials*, 10, 2363; doi:10.3390/nano10122363
- Gagnon PM, Golladay SW, Michener WK, Freeman MC 2004. Drought responses of freshwater mussels (Unionidae) in coastal plain tributaries of the Flint River basin, Georgia. *Journal of Freshwater Ecology* 19: 667–679.
- Galbraith HS, Vaughn CC 2011. Effects of reservoir management on abundance, condition, parasitism, and reproductive traits of downstream mussels. *River Research and Applications* 27: 193–201.
- Gough HM, Landis AMG, Stoeckel JA 2012. Behaviour and physiology are linked in the responses of freshwater mussels to drought. *Freshwater Biology* 57: 2356–2366.
- Galafassi S, Sighicelli M, Pusceddu A, Bettinetti R, Cau A, Temperini ME, 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.
- Gedik K, Atasaral S, 2022. The microplastic pattern in Turkish lakes: sediment and bivalve samples from Çıldır Lake, Almus Dam Lake, and Kartalkaya Dam Lake. *Turk. J. Zool.*, 46, 397-408.
- Green DS, Boots B, O'Connor NE, Thompson R, 2017. Microplastics Affect the Ecological Functioning of an Important Biogenic Habitat. *Environ. Sci. Technol.* 51, 68-77.
- Guzzella LM, Novati S, Casatta N, Roscioli C, Valsecchi L, Binelli A, Parolini, M. Solca N, Bettinetti R, Manca M, Mazzoni M, Piscia R, Volta P, Marchetto A, Lami A, Marziali L, 2018. Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. *Hydrobiologia* 824, 271-290.
- Hakenkamp CC, Palmer MA, 1999. Introduced bivalves in freshwater ecosystems: the impact of *Corbicula* on organic matter dynamics in a sandy stream. *Oecologia* 119, 445-451.
- Hartmann NB, Huffer T, Thompson RC, Hasselov M, Verschoor A, Daugaard AE, Rist S, Karlsson T, Brennholt N, Cole M, Herrling MP, Hess MC, Ivleva NP, Lusher AL, Wagner M, 2019. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environmental Science & Technology*, 53: 1039-10.
- Hoellein T, Rovegno C, Uhrin AV, Johnson E, Herring C, 2021. Microplastics in Invasive Freshwater Mussels (*Dreissena* sp.): Spatiotemporal Variation and Occurrence With Chemical Contaminants. *Front. Mar. Sci.* 8, 690401.
- Istituto di Ricerche Economiche - IRE Osservatorio del Turismo - O-Tur. 2020. Turismo alberghiero OTR Lago Maggiore e Valli. http://www.otur.usi.ch/sites/www.otur.usi.ch/files/uploads/otur_info_lmv_2020.pdf
- Kallenbach EMF, Friberg N, Lusher A, Jacobsen, Hurley RR, 2022. Anthropogenically impacted lake catchments in Denmark reveal low microplastic pollution. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 47726–47739.
- Lebreton L, van der Zwet J, Damsteeg JW, Slat B, Andrady A, Reisser J. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nat Commun.* 8, 15611.
- Li JY, Liu HH, Chen JP, 2018. Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res* 137:362–374
- Lopes-Lima M., Sousa R., Geist J., Aldridge D.C., Araujo R., Bergengren J., Bernaldo de Sousa Y., Bódís E., Burlakova L., Van Damme D., Douda K., Froufe E., Georgiev D., Gumpinger C., Karatayev A., Kebapçı Ü., Killeen I., Lajtner J., Larsen B.M., Lauceri R., Legakis A., Lois S., Lundberg S., Moorkens E., Motte G., Nagel K.-O., Ondina P., Outeiro A., Paunovic M., Prié V., Von Proschwitz T., Riccardi N., Rudzītis M., Rudzītis M., Scheder C., Seddon M., Sereflisan H., Simić V., Sokolova S., Stoeckl K., Taskinen J., Teixeira A., Thielen F., Trichkova T., Varandas S., Vicentini H., Zajac K., Zajac T., Zogaris S. (2016) Conservation

- Status of Freshwater Mussels in Europe: State of the Art and Future Challenges. *Biological Reviews*, 2016, doi: 10.1111/brv.12244
- Lopes-Lima M, Burlakova LE, Karatayev AY, Mehler K, Seddon M, & Sousa R 2018. Conservation of freshwater bivalves at the global scale: Diversity, threats and research needs. *Hydrobiologia*, 810, 1–14.
- Magni, S., Bonasoro, F., Della Torre, C., Parenti, C. C., Maggioni, D., Binelli, A., 2020. Plastics and biodegradable plastics: ecotoxicity comparison between polyvinylchloride and Mater-Bi® micro-debris in a freshwater biological model. *Sci. Total Environ.* 720, 137602.
- Magni, S., Della Torre, C., Nigro, L., Binelli, A., 2022. Can COVID-19 pandemic change plastic contamination? The Case study of seven watercourses in the metropolitan city of Milan (N. Italy). *Sci. Total Environ.* 831, 154923.
- Magni, S., Nigro, L., Della Torre, C., Binelli, A., 2021. Characterization of plastics and their ecotoxicological effects in the Lambro River (N. Italy). *J. Hazard. Mat.* 412, 125204.
- Mammola S, Riccardi N, Prié V, Correia R, Cardoso P, Lopes-Lima M, Sousa R, 2020. Towards a taxonomically unbiased European Union biodiversity strategy for 2030. *Proc. R. Soc. B* 287: 20202166.
- Multisanti C.R., Merola C., Perugini M., Alijko V., Faggio C., 2022. Sentinel species selection for monitoring microplastic pollution: A review on one health approach. *Ecological Indicators* 145, 109587
- Muraro, C., Vaccari, I., Casotti, R., Corsi, I., Palumbo, A., 2022. Occurrence of microfibrils in wild specimens of adult sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) from a coastal area of the central Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 176, 113448.
- Osservatorio del Turismo. Rapporto sull'andamento della stagione turistica anno 2020. Prov. del Verbano Cusio Ossola. https://www.provincia.verbano-cusio-ossola.it/media/138644/1-flussi_web_datidefinitivi2020.pdf
- Pastorino, P., Prearo, M., Anselmi, S., Menconi, V., Bertoli, M., Dondo, A., Pizzul, E., Renzi, M., 2021. Use of the Zebra Mussel *Dreissena polymorpha* (Mollusca, Bivalvia) as a Bioindicator of Microplastics Pollution in Freshwater Ecosystems: A Case Study from Lake Iseo (North Italy). *Water*, 13, 434.
- Paul-Pont, I., Tallec, K., Gonzalez-Fernandez, C., Lambert, C., Vincent, D., Mazurais, D., Zambonino-Infante, J-L., Brotons, G., Lagarde, F., Fabioux, C., Soudant, P., Huvet, A., 2018. Constraints and Priorities for Conducting Experimental Exposures of Marine Organisms to Microplastics. *Front. Mar. Sci.* 5, 252.
- PlasticsEurope, 2021. <http://www.plasticseurope.org>
- Pedersen, A.F., Gopalakrishnan, K., Boegehold, A.G., Peraino, N.J., Westrick, J.A., Kashian, D.R., 2020. Microplastic ingestion by quagga mussels, *Dreissena bugensis*, and its effects on physiological processes. *Environ. Pollut.*, 260, 113964.
- Rathinamoorthy, R., Balasaraswathi, S.R., 2022. Impact of coronavirus pandemic litters on microfiber pollution—effect of personal protective equipment and disposable face masks. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*
- Ringwood, A.H., 2021. Bivalves as biological sieves: bioreactivity pathways of microplastics and nanoplastics. *Biol. Bull.* 241, 185-195.
- Riccardi N., Bo T., Bogan A.E., Douda K., Froufe E., Gonçalves D.V., Lajtner J., Modesto V., Moro G.A., Prié V., Sousa R., Shumka S., Teixeira A., Urbańska M., Varandas S., Lopes-Lima M. 2021. *Microcondylaea bonellii*, a Testimonial for Neglected Endangered Species. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, In: *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*: 11 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00180-X>
- Riccardi N, Aksenova O, Bo T, Bogan AE, Haag WR, Konopleva E, Gonçalves DV, Froufe E, Modesto V, Prié V, Sousa R, Urbańska M, Varandas S, Vikhrev I, Teixeira A, Lopes-Lima M, 2022a. Bad taxonomy and poor detectability has hindered Italian Unio conservation. the

- case of *Unio elongatulus* and *Unio mancus*: what is their real conservation status? *Tentacle*, vol. 30, March 2022.
- Riccardi N, Bo T, Bogan AE, Douda K, Froufe E, Gonçalves DV, Lajtner J, Modesto V, Moro GA, Prié V, Sousa R, Shumka S, Teixeira A, Urbańska M, Varandas S, Lopes-Lima M, 2022b. chronicle of an announced extinction: *Microcondylaea bonellii*, the species not worth saving? *Tentacle*, vol. 30 Suppl., March 2022.
- Roy AH, Freeman MC, Freeman BJ, Wenger SJ, Ensign WE Meyer JL 2005. Investigating hydrologic alteration as a mechanism of fish assemblage shifts in urbanizing streams. *Journal of the North American Benthological Society* 24: 656–678.
- 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.
- Spooner DE, Vaughn CC 2008. A trait-based approach to species' roles in stream ecosystems: Climate change, community structure, and material cycling. *Oecologia* 158: 307–317.
- Strayer D.L., Smith D.R. 2003. A guide to sampling freshwater mussel populations. *American Fisheries Society Monograph*, 8: 110 pp.
- Taskinen J, Urbańska M, Ercoli F, Andrzejewski W, Ożgo M, Deng B, Choo JM, Riccardi N (2020) Parasites in sympatric populations of native and invasive freshwater bivalves. *Hydrobiologia*, 10.1007/s10750-020-04284-0
- Van Colen C, Moereels L, Vanhove B, Vrielinck H, Moens T 2021. The biological plastic pump: Evidence from a local case study using blue mussel and infaunal benthic communities, *Environ. Pollut.* 274, 115825.
- Vaughn CC 2012. Life history traits and abundance can predict local colonisation and extinction rates of freshwater mussels. *Freshwater Biology* 57: 982–992.
- Vavassori, A., Oxoli, D., Brovelli, M.A., 2022. Population Space–Time Patterns Analysis and Anthropogenic Pressure Assessment on the Insubric Lakes Using User-Generated Geodata. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 11,206.
- Ward J.E., Zhao S., Holohan B. A., Mladinich K. M., Griffin T. W., Wozniak J., et al. 2019a. Selective Ingestion and Egestion of Plastic Particles by the Blue Mussel (*Mytilus edulis*) and Eastern Oyster (*Crassostrea virginica*): Implications for Using Bivalves as Bioindicators of Microplastic Pollution. *Environ. Sci. Technol.*, 53, 8776–8784.
- Ward, J.E., Rosa, M., Shumway, S., 2019b. Capture, ingestion, and egestion of microplastics by suspension-feeding bivalves: a 40-year history. *Anthropocene Coasts* 2, 39–49.
- Wardlaw, C., Prosser, R.S., 2020. Investigation of microplastics in freshwater mussels (*Lasmigona costata*) from the Grand River watershed in Ontario, Canada. *Wat. Air Soil Pollut.* 231, 405.
- Yonkos, L.T., Friedel, E.A., Perez-Reyes, A.C., Ghosal, S., Arthur C.D., 2014. Microplastics in Four Estuarine Rivers in the Chesapeake Bay, U.S.A. *Environ. Sci. Technol.* 48, 14195-14202.
- Zieritz, A., Sousa, R., Aldridge, D.C., Douda, K., Esteves, E., Ferreira-Rodríguez, N., Mageroy, J.H., Nizzoli, D., Osterling, M., Reis, J., Riccardi, N., Dailly, D., Gumpinger, C. and Vaz, A.S., 2022. A global synthesis of ecosystem services provided and disrupted by freshwater bivalve molluscs. *Biol Rev*, 97, 1967-1998.

ALLEGATI

Metodi di campionamento e di analisi per la valutazione della distribuzione di microplastiche nei bivalvi

Il campionamento è stato effettuato mediante immersione subacquea nell'arco di due sole giornate per evitare che condizioni meteorologiche o fisiologiche dei bivalvi potessero modificare il processo di bioaccumulo e il successivo confronto tra i dati. Inoltre, per sfruttare l'opportunità offerta dallo stato di fermo per l'emergenza sanitaria di valutare l'impatto delle attività antropiche sulle concentrazioni ambientali di microplastiche e delle altre sostanze pericolose, i campioni del 2020 sono stati raccolti prima della completa ripresa delle attività antropiche che gravitano sul bacino. La raccolta dei campioni a margine della riapertura delle attività aveva lo scopo di ottenere un dato di confronto che non ha eguali sia per le sostanze pericolose analizzate nell'ambito della Sezione 2 che per le più recenti indagini sulla concentrazione e distribuzione di microplastiche. I bivalvi sono stati separati dalle rocce alle quali erano adesi o dal sedimento nel quale erano affondati, lavati con acqua di lago, avvolti in fogli di alluminio e trasferiti in laboratorio, all'interno di borse refrigerate, dove sono stati posti in congelatore a -20 °C per ridurre l'attività batterica ed enzimatica fino al momento delle analisi sia per la presenza di parassitosi, che per l'accumulo di microplastiche. Il numero e le dimensioni dei bivalvi raccolti sono mostrati nella Tabella 2.

La separazione della plastica dai campioni raccolti è stata effettuata utilizzando una soluzione ipersalina di cloruro di sodio (NaCl), che consente la separazione della plastica dalla materia organica sfruttando il gradiente di densità generato (Binelli et al., 2020). Tutti gli individui sono stati raggruppati e omogeneizzati, utilizzando un omogeneizzatore di tessuti Potter-Elvehjem in 50 ml di soluzione ipersalina di NaCl (1,2 g/cm³). Gli omogenati sono stati quindi trasferiti in flaconi di vetro da 50 mL, successivamente riempiti con soluzione ipersalina.

Le bottiglie di vetro sono state lasciate per 3-4 giorni a 4°C per consentire un'ottimale separazione della plastica dalla materia organica. I supernatanti sono stati quindi filtrati utilizzando una pompa a vuoto e filtri a membrana in nitrato di cellulosa da 8 µm (SartoriusTM 50 mm). I filtri sono stati poi trattati con perossido di idrogeno (H₂O₂) al 15% per completare la digestione dei residui organici rimasti, mantenendo i filtri sotto una cappa a flusso laminare per evitare la potenziale contaminazione dei campioni da parte delle microfibre.

Per monitorare l'eventuale contaminazione atmosferica da parte della plastica (soprattutto fibre), i filtri a membrana di nitrato di cellulosa sono stati anche processati in parallelo ai campioni durante il processo di omogeneizzazione e filtrazione e i detriti rilevati in questo filtro sono stati sottratti dal conteggio finale (Binelli et al., 2020; Magni et al., 2021, 2022). La separazione della plastica dai campioni raccolti è stata effettuata utilizzando una soluzione ipersalina di cloruro di sodio (NaCl), che consente la separazione della plastica dalla materia organica sfruttando il gradiente di densità generato (Binelli et al., 2020). Tutti gli individui sono stati raggruppati e omogeneizzati, utilizzando un omogeneizzatore di tessuti Potter-Elvehjem in 50 ml di soluzione ipersalina di NaCl (1,2 g/cm³). Gli omogenati sono stati quindi trasferiti in flaconi di vetro da 50 mL, successivamente riempiti con soluzione ipersalina.

Le analisi della presenza/abbondanza e caratterizzazione delle microplastiche accumulate nei tessuti dei bivalvi sono state eseguite presso i laboratori dell'Università di Milano. I filtri digeriti sono stati analizzati visivamente utilizzando uno stereomicroscopio per selezionare le particelle di plastica sospette. Queste particelle sono state trasferite in un filtro pulito per effettuare una caratterizzazione chimica che ne confermasse la natura plastica. Tutte le particelle (natural² e sintetiche) estratte dai bivalvi sono state quantificate e la loro dimensione, forma, colore e composizione polimerica sono state caratterizzate utilizzando un sistema di microscopio a infrarossi a trasformata di Fourier (μ FT-IR; Spotlight 200i dotato di Spectrum Two, PerkinElmer). Gli spettri delle particelle sono stati acquisiti in modalità di riflettanza totale attenuata (ATR), confrontati con gli spettri standard della libreria e accettati solo se fattore di corrispondenza $\geq 0,70$ (Binelli et al., 2020).

Per valutare differenze statisticamente significative nell'accumulo di plastica, i dati sono stati analizzati statisticamente utilizzando il pacchetto software GraphPad Prism 8.0.2. L'analisi della varianza unidirezionale (ANOVA) è stata applicata per verificare la presenza di differenze statisticamente significative nell'entità dell'accumulo di particelle/individui, confrontando gli anni di campionamento e le diverse specie. La stessa analisi è stata applicata per valutare le quantità di particelle/individui misurate in ciascun sito integrando i tre anni di campionamento, per ciascuna specie. Le differenze significative sono state identificate dal Tukey post-hoc test, considerando $p \leq 0,05$ come cut-off significativo. Poiché nel 2019 era disponibile un solo campione per *C. fluminea*, il confronto tra gli anni è stato effettuato escludendo il 2019 (tramite T-test), mentre per questa specie non è stato effettuato il confronto tra i siti.

Metodi di campionamento e di analisi per la valutazione dei popolamenti a bivalvi e della prevalenza di parassitosi

In ogni sito di campionamento sono stati prelevati tre campioni replicati lungo transetti distribuiti dalla riva ad una profondità massima di 5 m. I campioni sono stati raccolti tramite escavazione di quadrati (50×50 cm corrispondenti a 625 cm^2 del substrato), fino alla profondità di circa 20 cm (Strayer and Smith 2003). Il campionamento è stato condotto in immersione da due subacquei. Poiché le popolazioni di bivalvi, ed in particolare di Unionidi, non sono distribuite omogeneamente e la loro densità si è notevolmente ridotta nell'ultimo ventennio, al termine dello scavo è stato effettuato anche un campionamento visuale. Questo ha permesso di esplorare un'area pari a circa 200-250 metri quadrati di fondale. A questo scopo i due subacquei hanno ripetuto l'immersione lungo il medesimo transetto iniziando dalla massima profondità e risalendo lungo il fondale a 30-40 cm dal sedimento mantenendo una distanza di due metri l'uno dall'altro. Durante la risalita ciascuno ha raccolto tutti gli Unionidi visibili nell'area di sua pertinenza (1 metro per lato) che sono stati portati a riva per la misurazione dei parametri biometrici. I campioni sono stati esaminati per identificare le specie presenti, misurarne i parametri biometrici e verificarne la condizione riproduttiva. È stata inoltre valutata la presenza e la prevalenza di parassiti nelle specie native ed invasive raccolte in ciascuna stazione di campionamento. I mesi estivi corrispondono al periodo di massima presenza

² Per particelle naturali si intendono particelle antropogeniche prodotte da materiale naturale (principalmente fibre tessili).

dei parassiti castratori (trematodi) dei quali è stata valutata la prevalenza nelle specie native ed invasive per verificarne il ruolo nel determinare la composizione del popolamento a bivalvi.

Per ottenere una stima più precisa del grado di infestazione di *Unio elongatulus*, la specie nativa maggiormente colpita da parassiti, sono state effettuate analisi approfondite su campioni raccolti negli strati più superficiali e a profondità maggiori. Queste analisi hanno una risposta non solo più precisa in termini di prevalenza del parassita ma anche una indicazione del ruolo della temperatura nel determinare il grado di infestazione. Infatti, i campioni raccolti a bassa profondità sono esposti all'intero intervallo termico stagionale, e quindi maggiormente soggetti agli stress dovuti alle recenti ondate di calore rispetto ai campioni di profondità maggiori, in particolare quelli prossimi al livello del termoclino stagionale. In particolare, per la valutazione della condizione riproduttiva e della prevalenza ed intensità dell'infestazione da parassiti castratori in funzione del regime termico sono stati effettuati campionamenti di *Unio elongatulus* a tre profondità (0,5-1 m; 5-6 m; 15-16 m) nel periodo più caldo dell'anno 2022 (luglio). Il confronto di animali prelevati a profondità così differenti avevo lo scopo di valutare quanto il regime termico influisca sulle condizioni fisiologiche e la fecondità degli animali. Gli animali più superficiali sono esposti alle variazioni termiche stagionali, cioè ad un intervallo di temperatura molto ampio (4 – 30°C), mentre a maggiori profondità l'intervallo di variazione della temperatura si riduce drasticamente. Ad esempio, gli animali presenti a 15 m, cioè in prossimità del termoclino, subiscono variazioni di temperatura ristrette tra circa 7 e 13°C. Infatti, anche in un anno con medie termiche stagionali superiori alla media come il 2022, la temperatura a 15 metri nel mese di luglio era di soli 14°C (Fig. 6). Per poter effettuare il campionamento alle profondità maggiori e trovare un numero sufficiente di animali anche a 15-16 m è stata scelta una stazione con una pendenza della riva piuttosto elevata. Infatti, in questa tipologia di habitat *Unio elongatulus* si può trovare anche a profondità elevate (fino a circa 30 m). E' stata scelta la stazione di Punta Granelli (45°56'13.8 "N 8°38'41.7 "E) a Castelvecchana (Fig. 9) per la presenza di *Unio elongatulus* tra i 5 ed i 20 m e la facilità di accesso con l'attrezzatura subacquea. Tuttavia, nelle stazioni a pendenza elevata il moto ondoso asporta il materiale sedimentario più fine dalla fascia più superficiale della riva rendendo l'habitat non idoneo per gli unionidi. Pertanto, il campione di *Unio* più superficiale è stato raccolto manualmente a Feriolo (45°55'52.2 "N 8°28'55.4 "E) con accesso a piedi dalla riva.

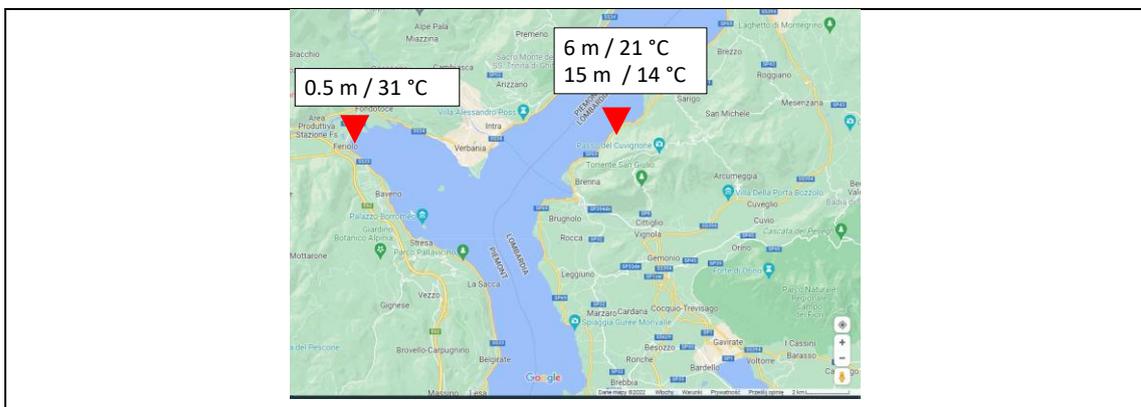


Fig. 8. Siti e profondità di campionamento, e relative temperature, per la raccolta di *Unio elongatulus* effettuata in data 16 luglio 2022.

In totale sono stati raccolti 90 individui, 30 per ciascuna profondità. Dopo il campionamento sono stati portati in laboratorio e mantenuti in acquari alla stessa temperatura alla quale erano esposti al momento della raccolta. Tutti gli animali sono stati misurati, pesati e infine dissezionati staccando le parti molli dalla conchiglia. Immediatamente dopo la dissezione sono stati esaminati piccoli frammenti della gonade con uno stereomicroscopio (CH2, Olympus, Japan), per determinare il sesso e verificare la presenza di parassiti.

ELENCO DEGLI AUTORI E COLLABORATORI

Nicoletta Riccardi, Vanessa Modesto

RESPONSABILE SCIENTIFICO DELLA RICERCA

Nicoletta Riccardi

ELENCO DEGLI AUTORI IN ORDINE ALFABETICO

Modesto Vanessa, Riccardi Nicoletta

ELENCO DEI COLLABORATORI IN ORDINE ALFABETICO

Rinaldi Sheila

INDIRIZZO DI RIFERIMENTO DEGLI AUTORI

Nicoletta Riccardi [**nicoletta.riccardi@irsa.cnr.it**](mailto:nicoletta.riccardi@irsa.cnr.it);
[**https://www.researchgate.net/profile/Nicoletta-Riccardi**](https://www.researchgate.net/profile/Nicoletta-Riccardi)

Vanessa Modesto [**yane.modesto@gmail.com**](mailto:yane.modesto@gmail.com)