

Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali
Band: 112 (2024)

Artikel: Microplastiche negli ambienti acquatici : origine, effetti e gestione
Autor: Rotta, Federica / Lepori, Fabio / Capelli, Camilla
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1055156>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

OSPITE

Microplastiche negli ambienti acquatici: origine, effetti e gestione

Federica Rotta^{1,2}, Fabio Lepori³ e Camilla Capelli^{1*}

¹ Istituto scienze della Terra, SUPSI, 6850 Mendrisio, Svizzera

² Università di Pavia, 27100 Pavia, Italia

³ Chemin du Chalet Pra Roman, 1000 Losanna, Svizzera

* *camilla.capelli@supsi.ch*

Riassunto: L'inquinamento da microplastiche è un problema globale emerso il secolo scorso a causa della produzione massiva di plastiche e della loro persistenza in ambiente. Gli ambienti acquatici sono particolarmente sensibili a questi inquinanti. Sebbene il problema sia meglio noto nei sistemi marini, elevate concentrazioni di microplastiche si trovano anche in laghi e fiumi. Anche i due più grandi laghi del Cantone Ticino, il Lago di Lugano e il Lago Maggiore, sono inquinati da microplastiche e questo problema ha provocato preoccupazioni nelle comunità locali. Di conseguenza qui, come in altri Cantoni della Svizzera, sono stati avviati diversi programmi di monitoraggio e ricerca per comprendere meglio il destino e gli effetti delle microplastiche e definire dei piani di mitigazione. Tuttavia, i ricercatori, i politici e la popolazione dovrebbero lavorare insieme con l'obiettivo di ridurre l'uso e la dispersione delle plastiche in ambiente, al fine di proteggere gli ecosistemi acquatici.

Parole chiave: Cantone Ticino, contaminanti emergenti, fiumi, laghi, microplastiche

Microplastics in freshwater environments: sources, effects, and management

Abstract: Microplastic pollution became global issue in the last century, due to the high production and persistence of plastic waste in the environment. Aquatic environments are particularly sensitive to plastic pollution. Although best known from marine systems, high microplastic concentrations also occur in inland waters. Even the two largest lakes of Canton Ticino, lakes Lugano and Maggiore, are heavily affected by this problem, raising concerns among the stakeholders and public of the surrounding communities. As a result, several monitoring and research programs started in this region and in Switzerland to better understand the fate and effects of microplastics and devise mitigation plans. Scientists, policymakers, and the population should work together to reduce the use and dispersion of plastics in the environment, for the conservation of aquatic ecosystems.

Keywords: Canton Ticino, emerging pollutants, lakes, microplastics, rivers

L'ERA DELLA PLASTICA: DIAMO QUALCHE NUMERO

Resistenza, leggerezza, versatilità di utilizzo e bassi costi di produzione hanno reso la plastica il materiale più comunemente utilizzato per gli oggetti di uso quotidiano. La sintesi dei primi polimeri plastici risale a inizio Novecento (Fig. 1), tuttavia è solo con l'inizio dell'era industriale che la produzione di materie plastiche è cresciuta esponenzialmente, passando da 1.5 tonnellate negli anni '50 al valore record di 400 milioni di tonnellate all'anno nel 2022 (PlasticsEurope 2023).

La continua domanda di materiali composti da (es. flaconi, bottiglie, film, fibre, isolanti) o contenenti plastiche (es. adesivi, vernici, resine), pone nuove sfide alla gestione dei rifiuti che vengono prodotti sia in fase di lavorazione, sia a fine vita dei prodotti. Si stima infatti che a livello globale solo il 20% dei rifiuti in plastica venga correttamente riciclato o incenerito in termoval-

lorizzatori, mentre il resto finisce in discariche o viene disperso nell'ambiente (Akanyange et al. 2022). In Svizzera, per esempio, al netto di un consumo annuo di 1 milione di tonnellate di plastica, corrispondenti a circa 125 kg a persona, oltre 15 mila tonnellate raggiungono le acque di laghi e fiumi o i suoli (UFAM 2020). Quando questi materiali vengono dispersi nell'ambiente, la resistenza che rende le plastiche così apprezzate, diventa un problema per la fauna, così come per l'uomo. La plastica infatti non si degrada naturalmente ma generalmente inizia un rapido processo di frammentazione che porta alla produzione di particelle di piccole dimensioni, potenzialmente ancora più dannose. Comprendere l'origine, la distribuzione e gli effetti della presenza di questi inquinanti negli ambienti a noi più prossimi, come laghi e fiumi, è quindi fondamentale per prendere coscienza dei rischi e delle possibili azioni da intraprendere per limitarne la dispersione nell'ambiente.

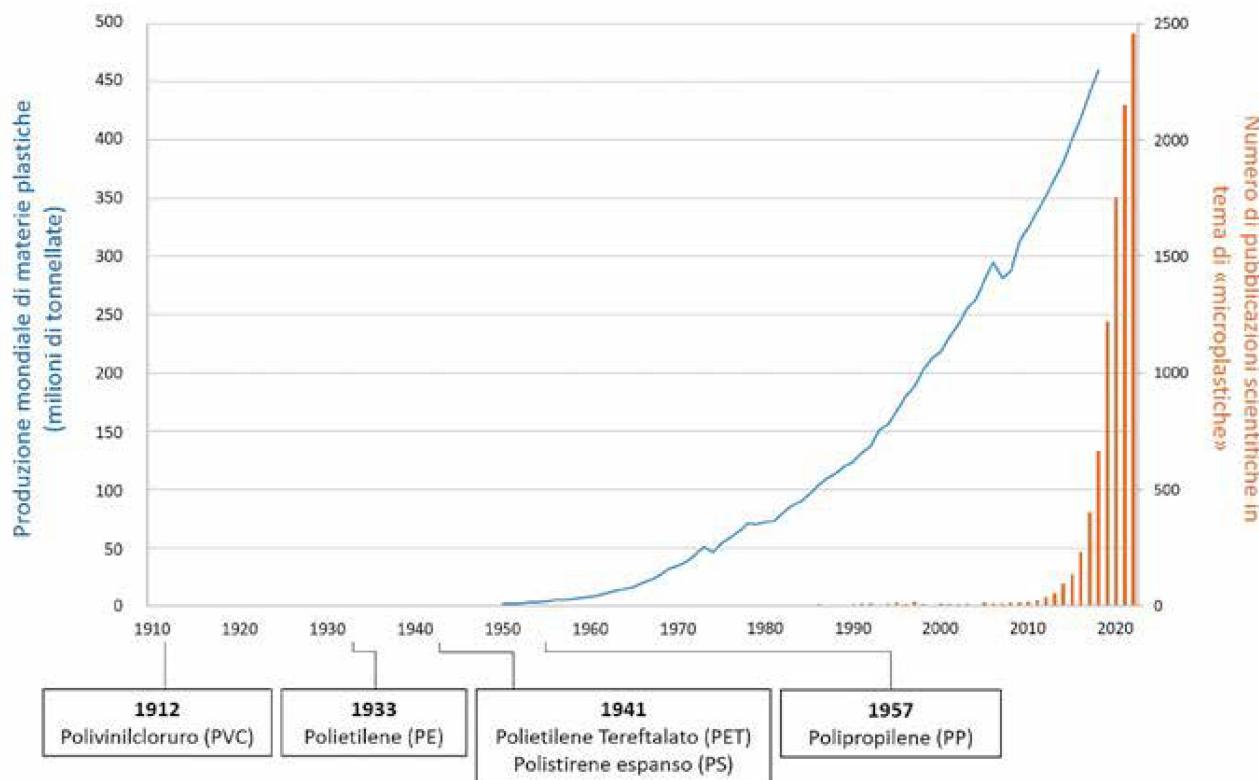


Figura 1: I primi polimeri plastici furono sintetizzati nei primi anni del Novecento (fonte dati: PlasticsEurope). Tuttavia, fu solo con l'avvento della produzione su scala industriale che questi materiali presero il sopravvento, diventando uno dei materiali più comuni (fonte dati: Our World in Data). La presenza di plastiche e microplastiche negli oceani, osservate per la prima volta nel 1970, ha in poco tempo acceso l'interesse di pubblico e comunità scientifica, portando alla pubblicazione di un numero crescente di ricerche e osservazioni (10'789 pubblicazioni dal 1964 al 2023), focalizzate in particolare sul tema delle microplastiche (fonte dati: Web of Science).

MACROPLASTICHE, MICROPLASTICHE O NANOPLASTICHE? FACCIAMO CHIAREZZA

Le materie plastiche hanno caratteristiche differenti a seconda della loro composizione chimica e degli additivi aggiunti. Sul mercato è quindi possibile trovare centinaia di polimeri plastici differenti. Tuttavia, i sette polimeri più comuni, da soli, costituiscono circa il 70% di tutta la produzione plastica (Fig. 2; PlasticsEurope 2022). Il polipropilene (PP) è comunemente utilizzato per la produzione di tappi, etichette e contenitori per alimenti. Il polietilene a bassa (PE-LD) o elevata densità (PE-HD) è conosciuto per il suo ampio impiego nella fabbricazione di sacchetti o pellicole per imballaggi. Il polivinilcloruro (PVC) viene utilizzato in particolar modo in ambito edilizio, per esempio per la produzione di tubature. Il polietilene tereftalato (PET) è utilizzato principalmente per la produzione di bottiglie e contenitori per bevande. Il poliuretano (PUR), generalmente espanso in schiume, può essere usato per imbottiture e materiale isolante nell'edilizia. Infine c'è il polistirene (PS), conosciuto per lo più nella sua forma espansa con il nome comune di polistirolo.

Anche se ad oggi non esiste una classificazione universalmente riconosciuta, le plastiche vengono distinte in base alle loro dimensioni (OSPAR 2010; NOAA 2015; GESAMP 2016; UNEP 2021) in macroplastiche ($> 5 \text{ mm}$), microplastiche ($5 - 0.001 \text{ mm}$) e nanoplastiche ($< 0.001 \text{ mm}$).

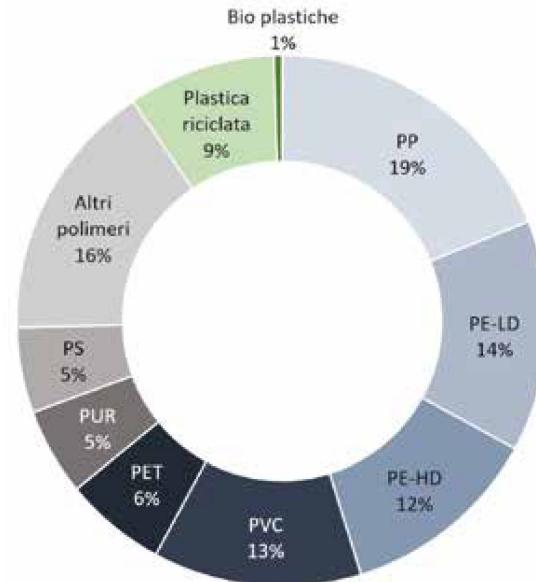


Figura 2: Le plastiche grezze generate a livello globale tramite polimerizzazione dai combustibili fossili rappresentano il 90% della produzione totale annua, mentre solo un 10% viene ricavato da materie riciclate o alternative. Sebbene sul mercato siano ormai disponibili centinaia di tipologie, si distinguono sette polimeri principali (polipropilene, PP; polietilene a bassa densità, PE-LD; polietilene ad alta densità, PE-HD; polivinilcloruro, PVC; polietilene tereftalato, PET; poliuretano, PUR; polistirene, PS). Modificato da PlasticsEurope (2023).

Negli ultimi anni crescente attenzione è stata dedicata allo studio delle plastiche di dimensioni più piccole, in particolare microplastiche che, date le loro ridotte dimensioni, sono considerate potenzialmente più dannose per gli organismi e l'uomo in quanto facilmente ingeribili (Windsor et al. 2019). Queste a loro volta vengono distinte secondo la loro origine in microplastiche primarie e microplastiche secondarie (Cole et al. 2011). Le microplastiche primarie sono particelle intenzionalmente prodotte in ambito industriale, generalmente sotto forma di sfere o pellet microscopici (Boucher et al. 2017; Fig. 3). Microsfere in PE, PP e PET vengono per esempio aggiunte a cosmetici e saponi per aumentarne il potere detergente, mentre pellet di varia natura sono utilizzati principalmente come

abrasivi industriali o materia prima per la produzione di oggetti in plastica (Waldschläger et al. 2020). Alcuni studi stimano che solo nel 2012 siano state introdotte sul mercato europeo oltre 4'000 tonnellate di microplastiche primarie all'interno di dentifrici, creme e gel per la pulizia (Gouin et al. 2015). La crescente consapevolezza della loro pericolosità ha portato l'Unione Europea (decreto UE 2023/2055) e numerosi paesi a limitare o vietare progressivamente l'utilizzo di queste microplastiche ove non necessarie. La dispersione delle microplastiche primarie può avvenire già in fase di produzione, lavorazione e trasporto, oltre che in seguito al loro utilizzo. Il rilascio avviene principalmente per mezzo delle acque di scarico domestiche (è il caso delle microsfere ad uso cosmetico) e dei reflui urbani (per



Figura 3: Le microplastiche sono contaminanti plastici di dimensioni inferiori a 5 mm. In base alla loro forma e origine vengono ulteriormente distinte in microplastiche primarie se presentano la forma di pellet (A) e microsfere (B-C), o microplastiche secondarie. Di queste ultime in ambiente si ritrovano principalmente frammenti (D-I) e filamenti (L), mentre altre tipologie come schiume (M) e film (H) risultano meno frequenti. Foto SUPSI-IST.

i pellet di preproduzione) attraverso cui raggiungono rapidamente fiumi, laghi e oceani.

Oltre il 70% delle microplastiche che si trovano nell'ambiente hanno invece origine secondaria e si formano dalla degradazione meccanica di macroplastiche durante il loro utilizzo o a seguito dell'esposizione ad agenti atmosferici. In base al prodotto di partenza, le microplastiche secondarie assumono forme diverse, di cui le più comuni sono frammenti o fibre (Fig. 3). I frammenti presentano una forma definita con bordi lisci e vertici spigolosi. La principale fonte di queste microplastiche è identificata nel *littering*, cioè l'abbandono accidentale o illegale dei rifiuti. Solo in Svizzera, questo fenomeno comporta ogni anno il rilascio in ambiente di oltre 2'700 tonnellate di plastiche, principalmente contenitori per alimenti e bevande (Kaweki & Nowack 2019). Una volta disperse, queste macroplastiche sono esposte all'azione di stress ambientali (es. radiazioni UV, vento, acqua) e biologici che ne causano un indebolimento nella struttura, seguito da una progressiva frammentazione in microplastiche (Lu et al. 2023). Data l'eterogeneità dei prodotti da cui si originano, i frammenti possono appartenere a qualsiasi tipologia di polimero. I materiali più diffusi sono tuttavia PE, PP e PET, dominanti nell'industria del *packaging* alimentare, a cui si aggiungono PVC e PS, ampiamente impiegati nel settore edile (Waldschläger et al. 2020). Anche se meno abbondanti, altre microplastiche secondarie sono i film, ovvero frammenti flessibili e trasparenti derivati principalmente dalle pellicole per imballaggio in PE, le schiume in PS espanso e le fibre generate da capi di abbigliamento e altri tessuti sintetici (Fig. 3). Data la loro origine, le fibre sono composte principalmente da PET e PA, materiali comunemente utilizzati nell'industria tessile, e possono formarsi a causa dell'abrasione meccanica a cui i tessuti sono sottoposti durante l'utilizzo e il lavaggio. Per esempio, un ciclo di lavaggio di circa 5 kg di abbigliamento può rilasciare nelle acque di scarico oltre 600 mila microfibre sintetiche (De Falco et al. 2018). Data la loro forma e dimensione, queste particelle tendono a sfuggire ai sistemi di depurazione delle acque reflue, diventando la tipologia di microplastica più abbondante per numero in fiumi, laghi e oceani (Tian et al. 2023).

Infine, un caso di crescente interesse, è rappresentato dalle microplastiche generate dall'usura degli pneumatici (*tyre were particles*, TWP) durante i viaggi su strada. Formate da miscele complesse di gomma, plastificanti e altre sostanze (ad esempio metalli), le TWP si depositano a bordo delle strade, da dove vengono mobilitate da vento e acqua piovana verso suoli e acque superficiali. Secondo alcuni modelli, la produzione mondiale media pro capite di TWP è di circa 800 g l'anno (Kole et al. 2017), un valore che complessivamente per la Svizzera è pari a circa 10'600 tonnellate l'anno. Data la particolare natura di questa tipologia di microplastiche e per affrontare le sfide ambientali che da esse derivano, il Consiglio federale ha recentemente pubblicato specifiche linee di intervento (Rapporto in adempimento del postulato 19.3559, Schneider Schüttel, 06.06.2019). Tra i punti principali di questo piano di azione vi sono un'intensificazione dei sistemi di monitoraggio e rimo-

zione di questi inquinanti dall'ambiente, così come lo sviluppo di materiali alternativi in grado di ridurre la produzione di TWP alla fonte.

LAGHI E FIUMI SORVEGLIATI SPECIALI

La presenza di vaste isole di plastica negli oceani, come la *Great Pacific Garbage Patch*, è ben nota fin dai primi studi condotti nel secolo scorso (Carpenter & Smith 1972). Per questo i ricercatori si focalizzarono in prima istanza sullo studio degli ambienti marini. Fu necessario attendere i primi anni 2000 perché venissero pubblicati i primi studi riguardanti l'ambiente terrestre e le acque interne, in particolare laghi e fiumi (Li et al. 2018). Da allora, un numero crescente di studi ha evidenziato elevate concentrazioni di microplastiche in questi ambienti. Laghi e fiumi sono così rapidamente diventati a loro volta sorvegliati speciali, nel tentativo di approfondire le conoscenze sull'origine, l'impatto e il destino delle microplastiche che vi risiedono.

I fiumi

Corsi d'acqua di grandi e piccole dimensioni sono i principali motori del trasporto dei contaminanti plasti- ci, in grado di connettere su grandi distanze le sorgenti localizzate in ambito terrestre, con il ricevitore finale, ovvero i mari e gli oceani. Secondo alcuni modelli, i dieci maggiori fiumi del pianeta trasportano da 6'000 a 1.5 milioni di tonnellate di plastica l'anno, l'equivalente dell'80% di tutta la plastica flottante sulla superficie degli oceani (D'Avignon et al. 2022). Densità elevate di microplastiche sono state rilevate anche in corsi d'acqua minori, con caratteristiche in termini di dimensioni, forma, composizione chimica variabili in funzione delle condizioni locali e del bacino imbrifero di appartenenza (Talbot & Chang 2022). Anche se con i dati ad oggi disponibili è prematuro trarre conclusioni, nella maggioranza degli studi effettuati i bacini fortemente antropizzati e con un'elevata densità abitativa sono anche quelli che presentano corsi d'acqua con il più elevato contenuto in microplastiche (Fig. 4). La presenza di insediamenti urbani sembra essere un fattore determinante. Per esempio, il volume di microplastiche nel Rodano è maggiore a valle della città di Ginevra, che a monte (Faure et al. 2015). Ma altri fattori possono influire per esempio piogge intense, portate eccezionali o periodi di piena possono indurre la mobilitazione e l'aumento repentino, anche se transitorio, nelle concentrazioni di plastiche trasportate dai corsi d'acqua (Tab. 1A). È in queste circostanze che, per esempio, nel fiume Venoge (Svizzera) sono stati registrati livelli di microplastiche oltre cinque volte superiori rispetto a quanto rilevato in condizioni di portata normale (Tab. 1A; Faure et al. 2015). Inoltre, un modello matematico sviluppato per il bacino del lago di Ginevra ha evidenziato come i corsi d'acqua tributari, contribuiscono al trasporto di microplastiche (oltre 40 tonnellate l'anno) soprattutto in occasione di fenomeni di piena (Boucher et al. 2019). Non bisogna tuttavia pensare ai fiumi solo come a dei vettori o "nastri trasportatori" di microplastiche. Studi recenti hanno infatti evidenziato

come i substrati dei letti fluviali siano essi stessi luoghi di accumulo di microplastiche, soprattutto quelle composte da polimeri pesanti (Fig. 4). Ulteriori approfondimenti sono necessari per comprendere appieno il ruolo di questa riserva nel ciclo globale delle microplastiche (D'Avignon et al. 2022).

I laghi

Le ricerche condotte in ambiente lacustre si sono focalizzate sull'identificazione e quantificazione delle microplastiche a bassa densità, che galleggiano sulla superficie di questi bacini (Fig. 4; Dusaucy et al. 2021). I risultati hanno evidenziato elevati livelli di microplastiche in tutti i laghi fino ad ora analizzati, con concentrazioni paragonabili se non superiori a quelle rilevate nei *garbage patch* oceanici. Anche per i laghi del nostro territorio la situazione non è delle più rosee. Con stime di 8.2 microplastiche m^{-3} e 11.5 microplastiche m^{-3} rispettivamente, il Lago Maggiore e il Lago di Lugano sono stati tra i laghi maggiormente contaminati a livello svizzero e globale nel 2020-2021 (Tab. 1B; Faure et al. 2015; Nava et al. 2023). Questo risultato non sorprende, dato che rispetto a molti altri laghi analizzati, questi due bacini transfrontalieri si collocano in aree fortemente urbanizzate. Come osservato nei fiumi, anche per i laghi l'antropizzazione del bacino è frequentemente correlata positivamente all'abbondanza di plastiche e microplastiche (Dusaucy et al. 2021). Anche i

monitoraggi effettuati nel corso del 2018 (Dipartimento del Territorio 2018) e nel 2020 (SUPSI-IST 2020) avevano rilevato concentrazioni elevate di microplastiche nelle acque superficiali del Lago di Lugano. Si tratta principalmente di piccole microplastiche nella classe dimensionale inferiore a 1 mm, il cui numero è circa tre volte superiore rispetto a quello delle microplastiche più grandi (dimensioni comprese tra 5 - 1 mm). Diversi studi hanno evidenziato come il potenziale di ingestione e bioaccumulo delle microplastiche tende ad essere maggiore al decrescere delle dimensioni delle particelle (Wagner et al. 2014). La presenza di così elevate quantità di piccole microplastiche nel Lago di Lugano non va quindi sottovalutata e deve essere mantenuta monitorata.

Dai monitoraggi fino ad ora effettuati (Dipartimento del Territorio 2018; SUPSI-IST 2020) non sono emerse differenze significative nella concentrazione totale di microplastiche tra i due bacini del Lago di Lugano (divisi dal ponte diga di Melide), segno che il problema legato a questi contaminanti è ugualmente diffuso all'interno dell'intero lago (SUPSI-IST 2020). Sono state tuttavia osservate differenze temporali. Mentre nel bacino sud sono state rilevate concentrazioni di microplastiche pressoché costanti per tutto l'anno, nel bacino nord le concentrazioni hanno subito importanti oscillazioni (da un valore massimo di 11.36 microplastiche m^{-3} raggiunto nell'inverno del 2020, a un valore mini-

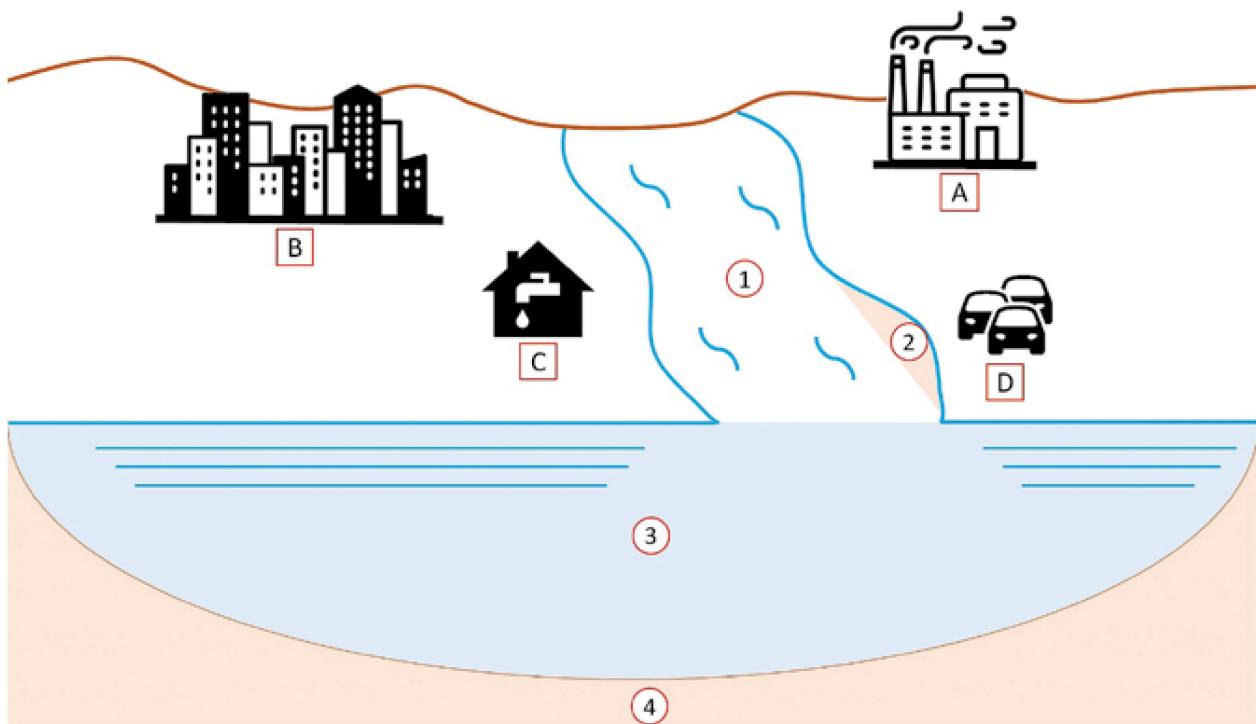


Figura 4: Principali fonti di contaminazione e destino delle microplastiche in laghi e fiumi. A: zone altamente industrializzate possono essere fonte di dispersione di elevate quantità di plastiche e microplastiche. B: in ambienti densamente urbanizzati il *littering* (abbandono accidentale o illegale di rifiuti) rappresenta una delle principali fonti di dispersione di plastiche. C: Gli scarichi domestici sono tra le principali fonti di microsfera, rilasciate durante l'utilizzo di saponi e detergenti contenenti microplastiche primarie, e microfibre che si generano durante i lavaggi di abiti in tessuti sintetici. D: Abrasione degli pneumatici. Una volta rilasciate o generate nell'ambiente, le microplastiche possono raggiungere laghi e fiumi. I fiumi agiscono principalmente come mezzi di trasporto delle microplastiche a minor densità (1), ma possono anche accumulare concentrazioni di questo particolato nei sedimenti (2). In modo analogo, nei laghi le microplastiche vengono trovate distribuite dalla superficie alle zone più profonde della colonna d'acqua (3), così come accumulate in numero rilevanti nei sedimenti profondi (4).

mo di 0.84 microplastiche m⁻³ nell'estate dello stesso anno; SUPSI-IST 2020). Questi risultati suggeriscono due differenti fonti di immissione di microplastiche per le due zone del lago. Le concentrazioni costanti nel bacino sud potrebbero essere verosimilmente ricondotte al continuo apporto da parte dei tributari, presenti in maggior numero in questo settore del lago. Al contrario nel bacino nord, dove il carico da parte dei fiumi è minore, l'apporto di microplastiche pare maggiormente legato a eventi sporadici ma intensi, come per esempio l'attivazione di sfioratori di piena o il *run off* urbano a seguito di intense perturbazioni, per esempio in prossimità dell'agglomerato urbano di Lugano. A conferma di questa ipotesi vi è anche l'osservazione nei due bacini di microplastiche con caratteristiche diverse. Da un lato nel bacino nord troviamo una dominanza di frammenti (almeno 70% delle microplastiche rilevate nei campioni) tipicamente legati a contaminazione da *littering*, mentre nel bacino sud prevalgono microplastiche a fibra più comunemente riconducibili a un'immersione legata alla gestione delle acque reflue spesso cariche di queste microplastiche. Risultati analoghi sono stati raccolti per quanto riguarda le acque superficiali del Lago Maggiore. Uno studio recente condotto su base mensile nel 2022 (Binelli et al. 2024) ha rilevato concentrazioni massime di microplastiche in dicembre (0.29 microplastiche m⁻³) e concentrazioni minime in settembre (0.02 microplastiche m⁻³). Le microplastiche più piccole (inferiori a 1 mm) e quindi potenzialmente più nocive si confermano le più abbondanti tra le particelle identificate, e sono composte da fibre tessili e frammenti (Sighicelli et al. 2018; Binelli et al. 2020; Binelli et al. 2024). Per quanto riguarda le tipologie di microplastiche galleggianti sulla superficie nei laghi, vengono tipicamente rilevati polimeri a bassa densità, come PE e PP (Nava et al. 2023). Al contrario altri polimeri tra cui PA, PVC, PUR e il particolato derivato dall'abrasione di pneumatici, non vengono rilevati in questo comparto a causa della loro densità maggiore che li fa affondare rapidamente, fino ad accumularsi nei sedimenti (Fig. 4). Ricerche condotte in diversi laghi sembrano sempre più concordare sul fatto che i livelli di contaminazione nella colonna d'acqua e nei sedimenti siano rilevanti in egual modo a quelli rilevati in superficie, evidenziando i limiti dei numerosi monitoraggi fino ad ora condotti, concentrati esclusivamente sulla superficie, e la necessità di ulteriori approfondimenti (Lenaker et al. 2019; Tamminga & Fisher 2020; Fox et al. 2022). Inoltre, la variabilità stagionale nella presenza di microplastiche e la differenza evidente di concentrazione tra i diversi studi (per es. quelli condotti sul Lago Maggiore), mettono in luce i limiti dello studio di questi contaminanti. Esiste un'estrema variabilità nelle caratteristiche e nella distribuzione delle microplastiche, ed inoltre manca ad oggi una metodologia di campionamento e analisi standardizzata a livello internazionale in grado di permettere un adeguato confronto dei risultati raccolti nei diversi studi nello stesso lago o tra laghi differenti.

Tabella 1: A: Stima delle concentrazioni di microplastiche trasportate da alcuni dei principali fiumi svizzeri (Faure et al. 2015); B: Stima delle concentrazioni di microplastiche rilevate sulla superficie dei principali laghi svizzeri (Faure et al. 2015; IST-SUPSI 2020).

(A)

Fiume	Portata media annuale* (m ³ s ⁻¹)	Concentrazioni microplastiche h ⁻¹
Rodano	249	1'200
Aubonne	5.51	48
Venoge (stagione secca)	4.15	670
Venoge (stagione piovosa)	4.15	5'400

* Valori di portata media annuale per l'anno 2014 come riportati nei dati idrologici UFAM (<https://www.hydrodaten.admin.ch/it/seen-und-fluesse/messstationen-zustand>).

(B)

Lago	Superficie (km ²)	Concentrazione microplastiche km ⁻²
Lemano (Grand Lac)	503	220'000
Lemano (Petit Lac)	79	33'000
Costanza	539	61'000
Neuchatel	217.9	61'000
Maggiore	212.3	220'000
Zurigo	68.15	11'000
Brienz	29.8	36'000
Lugano	48.9	270'000

MICROPLASTICHE E ORGANISMI ACQUATICI: QUALI RISCHI?

Organismi di ogni tipo e livello trofico, dalle alghe microscopiche fino a pesci, uccelli e mammiferi (Cera & Scalici 2021), possono interagire con le microplastiche presenti nell'ambiente acquatico. Test ecotossicologici e osservazioni ambientali hanno mostrato che gli effetti delle microplastiche dipendono da un numero elevato di variabili rendendo complessa la comprensione della tossicità di questi inquinanti (Castro-Castellon et al. 2022). Le caratteristiche fisiche e chimiche delle particelle, la concentrazione in ambiente, la durata di esposizione, il rilascio di sostanze chimiche addizionate al polimero, così come lo stadio vitale e le abitudini alimentari dell'organismo studiato, sono solo alcune di queste variabili. Nella maggior parte degli studi fino ad ora condotti i principali effetti osservati sugli organismi acquatici sono danni cellulari, riduzione del tasso di crescita e riproduzione (Castro-Catellon et al. 2022). Ciò che sembra sempre più evidente invece, è la possibilità che, come altri contaminanti chimici, le microplastiche soprattutto se di piccole dimensioni possano bioaccumularsi in alcuni organismi (Bhatt & Chauhan 2023), e potenzialmente biomagnificare lungo la catena trofica fino a raggiungere i livelli trofici superiori (Krause et al. 2021).

Microplastiche e produttori primari

Una volta rilasciate nell'ambiente le microplastiche rappresentano un substrato grezzo e durevole che viene rapidamente colonizzato da batteri e microaliche, inclusi potenziali patogeni e specie invasive. La nuova comunità che si forma sulla superficie delle microplastiche viene chiamata "plastisfera" (Amaral-Zettler et al. 2020). I principali colonizzatori sono organismi auto-trofi che sfruttano le microplastiche come superficie di ancoraggio su cui svolgere le loro funzioni vitali. Analisi genetiche hanno evidenziato che la struttura della plastisfera è sostanzialmente differente rispetto alle comunità planctoniche o bentoniche naturalmente presenti nell'ambiente. Si tratta di comunità specifiche, in cui specie generaliste e opportuniste di diatomee, batteri e microaliche variano in numero e composizione secondo la zona geografica, le caratteristiche ambientali (es. temperatura, irraggiamento) e la morfologia della plastica stessa (es. forma, dimensione, tipo di polimero; Miao et al. 2019). Se da un lato queste comunità sembrano apprezzare la presenza delle microplastiche come substrato di crescita, dall'altro sono anche esposte agli effetti negativi di questi contaminanti. Il rischio più rilevante è dovuto al *leaching*, ossia il rilascio di sostanze e additivi di cui la plastica era originariamente composta, oppure adsorbite durante la permanenza in ambiente (per es. metalli). Il *leaching* di queste sostanze causa elevati livelli di stress ossidativo, inibizione dei processi metabolici e deformazioni morfologiche in diverse specie. La formazione della plastisfera rende inoltre le microplastiche più tossiche anche per gli altri organismi. Infatti ricchi di sostanze organiche, minerali e detrito, questi aggregati vengono più facilmente ingeriti da parte di organismi planctonici e pesci fitofagi (Rogers et al. 2020). La comunità della plastisfera è dunque un importante vettore di microplastiche e contaminanti chimici adsorbiti verso i livelli trofici superiori.

Microplastiche e consumatori primari

Organismi planctonici e macroinvertebrati bentonici possono ingerire le microplastiche più piccole. In aggiunta, è stato osservato che frammenti e fibre possono essere incluse negli astucci delle larve di insetti acquatici appartenenti all'ordine dei tricotteri (Ehlers et al. 2019; Gallitelli et al. 2021). Gli effetti dell'ingestione di microplastiche restano tuttavia ancora poco chiari in quanto estremamente variabili e a volte apparentemente contraddittori (Castro-Castellon et al. 2022). Gli effetti più comuni sono l'ostruzione del tratto digerente, la riduzione nel tasso di assimilazione del cibo, un calo nelle prestazioni riproduttive, e l'infiammazione a livello dei tessuti.

Microplastiche e pesci

L'ingestione e il bioaccumulo di microplastiche sono stati osservati anche nei pesci, principalmente in ambiente marino ma recentemente anche in fiumi e laghi (Castro-Castellon et al. 2022). Essendo consumatori selettivi, si ipotizza che la forma e il colore delle microplastiche possano influenzare la probabilità di ingestione da parte dei pesci. Tuttavia, come per i consumatori

primari, i risultati possono variare di molto in base alla specie. Una volta ingerite, le microplastiche possono causare problemi a livello dell'apparato digerente, falsa sazietà e conseguente malnutrizione, ed effetti tossici legati alla presenza di contaminanti nel polimero o adsorbiti ad esso. Da non sottovalutare, inoltre, il rischio legato alle microplastiche più piccole e alle nanoplastiche (< 0.001 mm) che, date le loro dimensioni, sono potenzialmente in grado di attraversare le pareti dell'apparato digerente e accumularsi nei muscoli e in altri organi, con conseguenti effetti infiammatori e danni a livello cellulare (Lu et al. 2016). Tuttavia gli studi su questa frazione di contaminanti plastici sono ancora limitati.

QUALI RISCHI PER L'UOMO?

Gli studi fino ad ora condotti restituiscono una versione inequivocabile: le microplastiche sono contaminanti ubiquitari. Questa consapevolezza ha in breve tempo acceso la discussione sui possibili rischi per la salute delle persone, che possono entrare in contatto con le microplastiche attraverso diverse vie di esposizione, tra cui l'ingestione è ad oggi la più studiata (Tian et al. 2023).

Numerosi bacini lacustri vengono utilizzati in diverse parti del mondo per l'approvvigionamento idrico. Ne consegue che in presenza di laghi fortemente impattati e in mancanza di adeguati sistemi di depurazione, le acque ad uso potabile possono risultare contaminate dalle microplastiche. Le informazioni al riguardo sono tuttavia ancora limitate. Secondo una revisione della letteratura scientifica effettuata nel 2021 basata su campioni provenienti da 24 paesi in tutto il mondo (Kirstein et al. 2021), le concentrazioni nell'acqua potabile variano da 0.0001 a 900 microplastiche per litro d'acqua. In Svizzera, ad oggi, non sono state riscontrate microplastiche nelle acque distribuite tramite la rete idrica (UFAM 2020). Le microplastiche sono state rilevate inoltre in numerosi organismi comunemente consumati nella dieta, come i pesci. Anche in questi casi, i livelli di contaminazione sono variabili ma sembrano essere correlati sia alle abitudini alimentari delle singole specie, sia alle concentrazioni ambientali di microplastiche (Alberghini et al. 2023). Microplastiche, principalmente fibre, sono state osservate nel contenuto stomacale di pesce persico pescato nel Lago Maggiore, con una media di 1.2 microplastiche per individuo (Galafassi et al. 2021). Le concentrazioni, salvo casi sporadici, risultano comunque ridotte e limitate al tratto digerente. Al contrario non si rileva la presenza di microplastiche nelle parti più consumate, come i tessuti, riducendo così i rischi per l'uomo.

Oltre a cercare di identificare tutte le possibili vie in cui l'uomo può entrare in contatto con le microplastiche presenti negli ambienti di acque dolci, i ricercatori sono attualmente attivi per cercare di comprendere i possibili effetti di un'esposizione prolungata sulla salute umana. Gli studi, sebbene siano in una fase iniziale, sembrano indicare che la severità degli effetti potrebbe dipendere principalmente dalla dimensione delle parti-

celle plastiche e dalle caratteristiche chimiche del polimero (Kirstein et al. 2021).

PROSPETTIVE FUTURE: MONITORAGGIO, RICERCA E PREVENZIONE.

Alla luce di un numero crescente di osservazioni, programmi di ricerca e monitoraggio sono stati avviati per valutare l'entità del fenomeno nel tempo. Anche in Svizzera, dopo i primi dati rilevati per mandato dell'UFAM nel 2014 (Faure et al. 2014), sono stati attivati alcuni programmi di monitoraggio e controllo sui maggiori bacini svizzeri. Sul Lago di Ginevra, per esempio, le attività della CIPEL (*Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman*) includono azioni volte a identificare le principali fonti di contaminazione, con l'obiettivo di definire strategie transfrontaliere condive per ridurre l'immissione di microplastiche. Analogamente, la CIPAIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere), sta tuttora svolgendo monitoraggi periodici sia sul Lago Maggiore sia sul bacino imbrifero del Lago di Lugano, con l'obiettivo di monitorare eventuali variazioni temporali e spaziali delle microplastiche e comprendere le fonti, il destino e i possibili effetti negativi in questi ambienti. A tale scopo, oltre alla prosecuzione delle attività sulle acque superficiali già in corso, la CIPAIS sta attualmente sostenendo sui laghi di Lugano e Maggiore nuove attività di ricerca che andranno a tracciare la presenza delle microplastiche in altri comparti ambientali, come per esempio la colonna d'acqua, i sedimenti profondi e i corsi d'acqua immissari ed emissari, con l'obiettivo di comprendere la diffusione di questo inquinante sull'intero bacino imbrifero. Queste informazioni sono essenziali anche nell'ottica del cambiamento climatico. Infatti il verificarsi di fenomeni metereologici sempre più intensi, unito alla minor circolazione delle acque dei laghi dovuto all'innalzamento delle temperature, potrebbero portare a maggiori immissioni di plastiche e microplastiche in questi bacini e al loro accumulo, con un rischio maggiore per il biota. Inoltre, a livello internazionale sono in corso diversi progetti di standardizzazione dei metodi di campionamento e analitici delle microplastiche, al fine di permettere un confronto tra studi differenti.

I dati che verranno raccolti nei prossimi anni saranno quindi fondamentali per riflettere su adeguati piani di azione a salvaguardia di questi ecosistemi. In questo senso, diverse strategie vengono già oggi messe in atto sul piano politico (es. regolamentazione della plastica monouso), scientifico e civile (es. attività di *cleanup*), con l'obiettivo congiunto di permettere un controllo capillare ed efficace in grado di ridurre l'utilizzo, dove possibile, e la dispersione di plastiche nell'ambiente. Le evidenze scientifiche, tuttavia, ci indicano che gli sforzi fino ad ora profusi non sono ancora sufficienti e molto deve e può essere fatto per limitare la presenza di questo contaminante in laghi e fiumi di tutto il mondo.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Akanyange S.N., Zhang Y., Zhao X., Adom-Asamoah G., Ature A.R.A., Anning C., Tianpeng C., Zhao H., Lyu X. & Crittenden J.C. 2022. A holistic assessment of microplastic ubiquitousness: Pathway for source identification in the environment. *Sustainable Production and Consumption*, 33: 113-145.
- Alberghini L., Truant A., Santonicola S., Colavita G. & Giaccone V. 2023. Microplastics in Fish and Fishery Products and Risks for Human Health: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20: 789.
- Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R. & Mincer, T.J. 2020. Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbiology*, 18: 139-151.
- Bhatt V. & Chauhan J.S. 2023. Microplastic in freshwater ecosystem: bioaccumulation, trophic transfer, and biomagnification. *Environmental Science and Pollution Research*, 30: 9389-9400.
- Binelli A., Pietrelli L., Di Vito S., Coscia L., Sighicelli M., Della Torre C., 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. *Science of the Total Environment*, 699: 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.
- Boucher J. & Friot D. 2017. Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. Gland, Switzerland: IUCN. 43 pp.
- Boucher J., Faure F., Pompini O., Plummer Z., Wieser O. & de Alencastro L.F. 2019. (Micro) plastic fluxes and stocks in Lake Geneva basin. *Trends in Analytical Chemistry*, 112: 66-74.
- Carpenter, E.J. & Smith Jr, K.L. 1972. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*, 175: 1240-1241.
- Castro-Castellon A.T., Horton A.A., Hughes J.M.R., Rampley C., Jeffers E.S., Bussi, G. & Whitehead, P. 2022. Ecotoxicity of microplastics to freshwater biota: Considering exposure and hazard across trophic levels. *Science of The Total Environment*, 816: 151638.
- Cera A. & Scalici M. 2021. Freshwater wild biota exposure to microplastics: A global perspective. *Ecology and evolution*, 11: 9904-9916.
- Chamas A., Moon H., Zheng J., Qiu Y., Tabassum T., Jang J.H., Abu-Omar M., Scott S.L. & Suh, S. 2020. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8: 3494-3511.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C. & Galloway T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 2588-2597.
- Consiglio Federale 2023. Misure per ridurre le microplastiche derivanti dall'abrasione degli pneumatici, Rapporto in adempimento del postulato 19.3559, Schneider Schüttel, 6.6.2019. <https://www.admin.ch/gov/it/pagina-iniziale/documentazione/comunicati-stampa.msg-id-97440.html> (ultima consultazione 7.8.2024)
- D'Avignon G., Gregory-Evans I. & Ricciardi A. 2022. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environmental Reviews*, 30: 228-244.
- De Falco F., Gullo M.P., Gentile G., Di Pace E., Cocca M., Gelabert L., ... & Avella M. 2018. Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236: 916-925.

- Dipartimento del Territorio 2018. Studio sulla presenza di microplastiche nel Lago Ceresio. <https://www4.ti.ch/dt/da/spaas/ugras/temi/meno-microplastiche/campagna/rapporto-microplastiche/> (ultima consultazione 7.8.2024).
- Dusaucy J., Gateuille D., Perrette Y. & Naffrechoux E. 2021. Microplastic pollution of worldwide lakes. *Environmental Pollution*, 284: 117075.
- Ehlers S.M., Manz W. & Koop J.H.E. 2019. Microplastics of different characteristics are incorporated into the larval cases of the freshwater caddisfly *Lepidostoma basale*. *Aquatic Biology*, 28: 67-77.
- 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. *Environmental Chemistry*, 12: 582-591.
- Fox J.M., Schwoerer G.D., Schreiner K.M., Minor E.C. & Maurer-Jones M.A. 2022. Microplastics in the Water Column of Western Lake Superior. *ACS ES&T Water*, 2: 1659-1666.
- Galafassi S., Sighicelli M., Pusceddu A., Bettinetti R., Cau A., Temperini M.E., ... & Volta P. 2021. Microplastic pollution in perch (*Perca fluviatilis*, Linnaeus 1758) from Italian south-alpine lakes. *Environmental Pollution*, 288: 117782.
- Gallitelli L., Cera A., Cesarini G., Pietrelli L. & Scalici M. 2021. Preliminary indoor evidences of microplastic effects on freshwater benthic macroinvertebrates. *Scientific Reports*, 11: 720.
- GESAMP 2019. Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in the Ocean. United Nation Environmental Program, Reports & Studies Series 93, 220 pp.
- Gouin T., Avalos J., Brunning I., Brzuska K., de Graaf J., Kaumanns J., ... & Wolf T. 2015. Use of Micro-Plastic Beads in Cosmetic Products in Europe and their Estimated Emissions to the North Sea Environment. *SOWF Journal*, 141: 40-46.
- Kawecki D. & Nowack B. 2019. Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics as Macro- and Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53: 9664-9676.
- Kirstein I.V., Gomiero A. & Vollertsen J. 2021. Microplastic pollution in drinking water. *Current Opinion in Toxicology*, 28: 70-75.
- Krause S., Baranov V., Nel H.A., Drummond J.D., Kukkola A., Hoellein T., ... & Lynch I. 2021. Gathering at the top? Environmental controls of microplastic uptake and biomagnification in freshwater food webs. *Environmental Pollution*, 268: 115750.
- Kole P.J., Löhr A.J., Belleghem F.G.A.J. & Ragas A.M.J. 2017. Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14: 1265.
- Lenaker P.L., Baldwin A.K., Corsi S.R., Mason S.A., Reneau P.C. & Scott J.W. 2019. Vertical Distribution of Microplastics in the Water Column and Surficial Sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. *Environmental Science & Technology*, 53: 12227-12237.
- Li J., Liu H., Chen J.P. 2018. Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research*, 137: 362-374.
- Lu H., Zhang Y., Deng Y., Jiang W., Zhao Y., Geng J., Ding L. & Ren H. 2016. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental Science & Technology*, 50: 4054-4060.
- Lu Q., Zhou Y., Sui Q., Zohu Y. 2023. Mechanism and characterization of microplastic aging process: A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17: 100.
- Miao L., Hou J., You G., Liu Z., Liu S., Li T., ... & Qu H. 2019. Acute effects of nanoplastics and microplastics on periphytic biofilm depending on particle size, concentration and surface modification. *Environmental Pollution*, 255: 113300.
- Nava V., Chandra S., Aherne J., Alfonso M.B., Antao-Geraldes A.M., Attermeyer K., ... & Leoni B. 2023. Plastic debris in lakes and reservoirs. *Nature*, 619: 317-332.
- NOAA 2015. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in water and sediments.
- OSPAR Commission 2010. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area.
- Our World in Data 2023. Global plastics production [dataset]. Data processed from original data Geyer et al. (2017), Production, use, and fate of all plastics ever made; and OECD (2022), Global Plastics Outlook - Plastics use by application. Data from <https://ourworldindata.org/grapher/global-plastics-production> (ultima consultazione 11.4.2024).
- Plastics Europe 2023. Plastics – The Fast Facts 2023. <https://plasticseurope.org/> (ultima consultazione 7.8.2024).
- Rogers L.K., Carreres-Calabuig J.A., Gorokhova E. & Posth N.R. 2020. Micro-by-micro interactions: How microorganisms influence the fate of marine microplastics. *Limnology & Oceanography Letters*, 5: 18-36.
- Sighicelli M., Pietrelli L., Lecce F., Iannilli V., Falconieri M., Cozzani L., ... & Zampetti G. 2018. Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. *Environmental Pollution*, 236: 645-651.
- SUPSI-IST 2020. Presenza di microplastiche nelle acque superficiali del Lago di Lugano. <https://www4.ti.ch/dt/da/spaas/ugras/temi/meno-microplastiche/campagna/monitoraggio-microplastiche>.
- Talbot R. & Chang H., 2022. Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. *Environmental Pollution*, 292: 118393.
- Tamminga M. & Fischer E.K. 2020. Microplastics in a deep, dimictic lake of the North German Plain with special regard to vertical distribution patterns. *Environmental Pollution*, 267: 11507.
- Tian W., Song P., Zhang H., Duan X., Wei Y., Wang H. & Wang S. 2023. Microplastic materials in the environment: Problem and strategical solutions. *Progress in Materials Science*, 132: 101035.
- UFAM 2020. Materie plastiche. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/rifiuti/guida-ai-rifiuti-a-z/materie-plastiche.html> (ultima consultazione 11.4.2024).
- UNEP 2021. Monitoring plastics in rivers and lakes. Guidelines for the Harmonization of Methodologies. <https://www.unep.org/resources/report/monitoring-plastics-rivers-and-lakes-guidelines-harmonization-methodologies> (ultima consultazione 7.8.2024).
- Wagner M., Scherer C., Alvarez-Munoz D., Brennholt N., Bourrain X., Buchinger S., ... & Reifferscheid G. 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Science Europe*, 26: 1-9.
- Waldschläger K., Lechthaler S., Stauch G. & Schüttrumpf H. 2020. The way of microplastic through the environment – Application of the source-pathway-receptor model (review). *Science of The Total Environment*, 713: 136584.
- Windsor F.M., Durance I., Horton A.A., Thompson R.C., Tyler C.R., & Ormerod S.J. 2019. A catchment-scale perspective of plastic pollution. *Global Change Biology*, 25: 1207-1221.

