



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



RELAZIONE FINALE delle ATTIVITA' PROGETTUALI

a cura di: Prof. Marco Parolini

Analisi della contaminazione da microplastiche nel detrito sopragliaciale del Ghiacciaio dei Forni e del Ghiacciaio del Miage

Il presente documento vuole descrivere nel dettaglio le attività di campo e laboratoriali svolte con il fine di monitorare la contaminazione da microplastiche nel detrito sopragliaciale del Ghiacciaio dei Forni e del Ghiacciaio del Miage. Si riportano e discutono, inoltre, i risultati ottenuti dalle attività progettuali, evidenziando non solo i livelli, ma anche le cause e le sorgenti della contaminazione riscontrata nelle aree di studio, confrontandola con quella osservata in studi precedenti condotti su ghiacciai dislocati sia sul territorio nazionale sia al di fuori dei confini dell'Italia.

L'analisi della contaminazione da microplastiche è stata effettuata su campioni di detrito sopragliaciale raccolti sul Ghiacciaio dei Forni (Lombardia) e sul Ghiacciaio del Miage (Val d'Aosta). Le procedure di campionamento del detrito sopragliaciale sono state illustrate al personale di Greenpeace in concomitanza del campionamento svolto sul ghiacciaio dei Forni in data 22 agosto 2023 dal Prof. Marco Parolini, docente di ecologia presso il Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali dell'Università degli Studi di Milano. I campioni di detrito sopragliaciale sono stati raccolti seguendo un protocollo di campionamento sviluppato e precedentemente standardizzato (Ambrosini et al., 2019; Crosta et al., 2022). In data 22/8/2023, sono stati raccolti 5 campioni di detrito sopragliaciale in prossimità della lingua di ablazione del Ghiacciaio dei Forni. Un egual numero di campioni di detrito sono stati raccolti sul Ghiacciaio del Miage dal personale di Greenpeace in data 2/9/2023. Prima di procedere al campionamento, ogni sito di campionamento è stato geolocalizzato registrando le coordinate geografiche con un dispositivo GPS. I punti di campionamento individuati sul Ghiacciaio dei Forni e sul Ghiacciaio del Miage sono riportati in Figura 1 e Figura 2, rispettivamente.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY

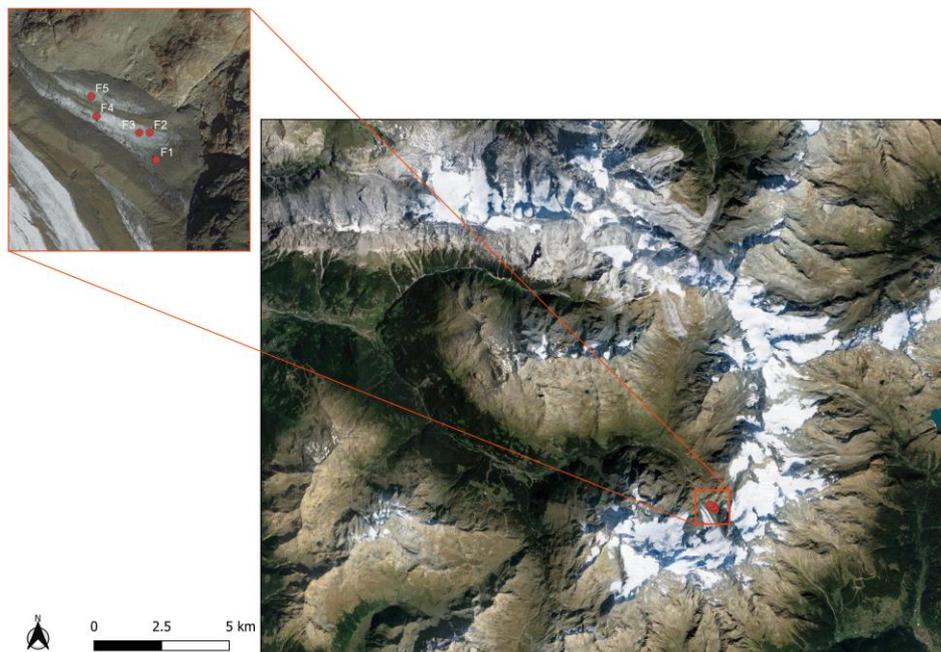


Figura 1: geolocalizzazione dei cinque siti (F1-5) di raccolta del detrito sopragliaciale sul Ghiacciaio dei Forni.

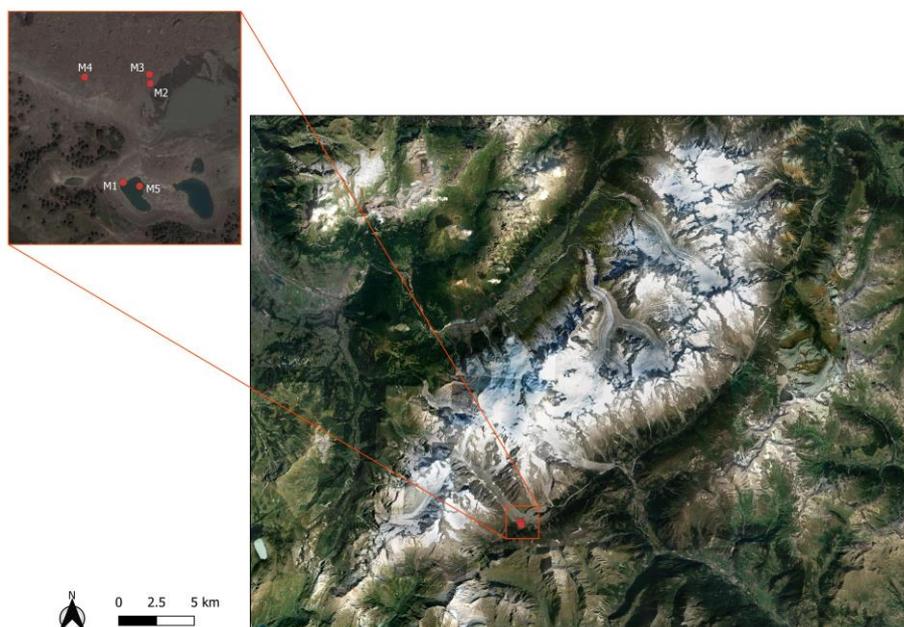


Figura 2: geolocalizzazione dei cinque siti (M1-5) di raccolta del detrito sopragliaciale sul Ghiacciaio del Miage.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



Il campionamento è stato effettuato cercando di evitare possibili contaminazioni esterne. L'operatore deputato al campionamento ha infatti indossato un camice di cotone bianco e raccolto il detrito sopragliaciale mediante l'ausilio di una paletta da giardinaggio in acciaio, il cui manico in plastica è stato precauzionalmente ricoperto da un foglio di carta stagnola per prevenire eventuali contaminazioni. Il detrito è stato quindi trasferito in contenitori in vetro da 200 mL precedentemente lavati (con acetone o alcool) al fine di rimuovere l'eventuale contaminazione pregressa da microplastiche. La superficie interna dei tappi dei barattoli, solitamente composta da materiale plastico, è stata isolata dal campione mediante l'applicazione di un foglio di carta stagnola all'imboccatura del barattolo, al fine di evitare il contatto tra il sotto tappo e il campione. Tutti i campioni sono stati nominati univocamente riportando in etichetta il nome del ghiacciaio di riferimento, il numero del campione raccolto e la data di campionamento. I campioni sono stati prontamente trasferiti presso il laboratorio di Ecologia ed Ecotossicologia del Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali dell'Università degli Studi di Milano, laddove sono stati processati per isolare e caratterizzare la contaminazione da microplastiche secondo protocolli precedentemente sviluppati.

Procedura di analisi del detrito sopragliaciale per l'isolamento e la caratterizzazione delle microplastiche

La procedura analitica utilizzata per l'isolamento e la caratterizzazione della contaminazione da microplastiche nel detrito sopragliaciale ha seguito i protocolli precedentemente sviluppati presso i nostri laboratori (Ambrosini et al., 2019; Crosta et al., 2022).

Tutte le soluzioni utilizzate durante la procedura analitica sono state preventivamente filtrate su filtri in cellulosa (diametro dei pori: 0,45 μm) per prevenire una eventuale contaminazione esterna. Allo stesso modo, tutta la vetreria e la strumentazione di laboratorio è stata lavata con acetone e acqua ultrapura filtrata, per poi essere coperta con fogli di carta stagnola fino al momento delle analisi. Per valutare una eventuale contaminazione di laboratorio sono stati inoltre predisposti due campioni di bianco. Il



primo è stato preparato processando un campione acquoso come se fosse un campione ambientale per verificare l'eventuale contaminazione delle soluzioni e/o delle attrezzature di laboratorio. Il secondo era un filtro di cellulosa adagiato su un foglio di carta stagnola posizionato in prossimità della strumentazione utilizzata durante tutte le fasi analitiche per verificare una eventuale contaminazione dell'atmosfera del laboratorio.

Schematicamente, tutti i campioni sono stati processati come segue:

- essiccazione del campione di detrito in stufa a 60 °C per 48 ore;
- trasferimento di circa 30 g di detrito all'interno di un becher in vetro e aggiunta di 300 mL di una soluzione di cloruro di sodio (1,2 g/cm³);
- agitazione del campione per 15 minuti e trasferimento all'interno di un imbuto separatore;
- decantazione del campione *overnight* per consentire alle microplastiche di ripartirsi nella porzione superficiale della soluzione;
- rimozione del detrito e aggiunta di una soluzione di Fenton e perossido di idrogeno (H₂O₂) per la digestione della sostanza organica *overnight*;
- filtrazione della soluzione su un filtro di cellulosa mediante l'ausilio di una pompa a vuoto;
- trasferimento del filtro in una piastra Petri di vetro e asciugatura dello stesso a temperatura ambiente all'interno di un cristallizzatore;
- ispezione preliminare del filtro mediante uno microscopio stereoscopico Leica EZ4W equipaggiato con fotocamera digitale al fine di rimuovere eventuale materiale interferente e procedere alla conta delle putative microplastiche;
- trasferimento delle putative microplastiche su un filtro in argento;
- acquisizione fotografica delle putative microplastiche presenti sul filtro per successiva misurazione e catalogazione sulla base del colore e della forma;



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



- caratterizzazione della composizione polimerica delle putative microplastiche mediante l'utilizzo della microscopia accoppiata a spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (micro-FTIR);
- interpretazione degli spettri ottenuti dall'analisi micro-FTIR per catalogare le singole putative microplastiche in relazione alla loro composizione polimerica.

La caratterizzazione della composizione polimerica e l'interpretazione degli spettri IR ottenuti per ciascuno dei singoli oggetti isolati dal sedimento sopragliaciale sono state condotte presso i laboratori del Dipartimento per lo Sviluppo Sostenibile e la Transizione Ecologica (DiSSTE) dell'Università del Piemonte Orientale, sotto la supervisione della Prof.ssa Valentina Gianotti.

Tali analisi sono state eseguite mediante microscopia accoppiata a spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (micro-FTIR), utilizzando lo strumento Nicolet iN10 MX *Infrared Imaging Microscope* (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA). La caratterizzazione delle microplastiche è stata eseguita in riflessione in un intervallo lunghezze d'onda compreso tra 4.000 e 650 cm^{-1} . Il software OMNIC™ Picta (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) è stato utilizzato per controllare lo strumento. Sono state acquisite un totale di 256 scansioni per ciascuno spettro, con una risoluzione spettrale di 4 cm^{-1} . Per l'identificazione dei polimeri sono state utilizzate librerie diverse, tra cui: *HR Aldrich Polymers*, *HR Coatings Technology*, *HR Hummel Polymer and Additives*, *HR Industrial Coatings*, *HR Polymer Additives and Plasticizers*, *HR Rubber Compounding Materials*, *HR Spectra Polymers and Plasticizers*, *Hummel Polymer sample Library*, e *Polymer Laminate Films*.

Per ogni singola putativa microplastica è stato acquisito lo spettro IR, il quale è stato confrontato con gli spettri presenti nelle banche dati di riferimento, consentendo così il riconoscimento univoco del polimero (Figura 3).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY

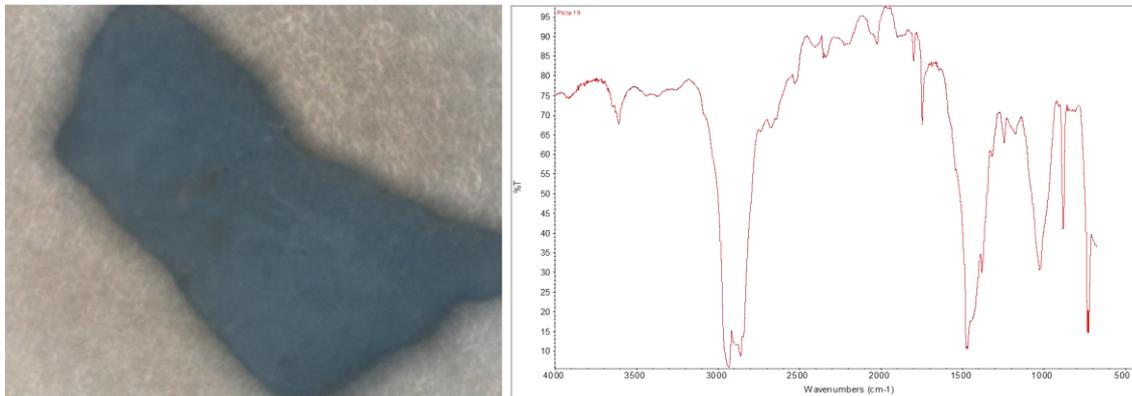


Figura 3: immagine di una putativa microplastica isolata dai campioni di detrito sopraglaciaie raccolto sul Ghiacciaio dei Forni (a sinistra) e rispettivo spettro IR (a destra). Il confronto dello spettro con quelli presenti nelle banche dati di riferimento ha consentito di identificare che questo frammento era composto dal polietilene e polipropilene (co-polimero).

Contaminazione da microplastiche nel detrito sopraglaciaie del Ghiacciaio dei Forni e del Ghiacciaio del Miage

L'ispezione preliminare dei filtri ottenuti a valle dell'analisi di ogni singolo campione di detrito sopraglaciaie ha consentito di individuare frammenti e fibre identificabili come putative microplastiche nell'80% dei campioni raccolti sul Ghiacciaio dei Forni, e nel 60% dei campioni raccolti sul Ghiacciaio del Miage. Per putative microplastiche si intendono tutti gli oggetti (frammenti e fibre) di origine antropica che potrebbero apparentemente essere composti da polimeri sintetici e rientrano nel *range* dimensionale delle microplastiche (1 μm -1 mm; Hartmann et al., 2019). In entrambi i ghiacciai, le fibre rappresentavano la forma preponderante delle putative microplastiche, contribuendo per più del 70% (77% per i campioni raccolti sul Ghiacciaio dei Forni e 72% per quelli raccolti sul Ghiacciaio del Miage) all'impronta di contaminazione. L'abbondanza media (\pm errore standard) di putative microplastiche isolate dai campioni di detrito sopraglaciaie raccolto sul Ghiacciaio dei Forni ammontava a 40 ± 17 putative microplastiche/Kg di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



detrito. I valori riscontrati nei campioni raccolti sul Ghiacciaio del Miage sono invece risultati inferiori, ammontando a 28 ± 12 putative microplastiche/Kg di detrito.

L'analisi di caratterizzazione polimerica condotta su tutte le putative microplastiche isolate da tutti i campioni analizzati ha consentito di identificare come, mediamente, il 70% di queste ultime fosse effettivamente da considerarsi una microplastica (66% per il Ghiacciaio dei Forni, 72% per il Ghiacciaio del Miage). Di queste, il 65% delle microplastiche erano fibre, mentre la restante parte frammenti. Questi risultati sono in linea con studi precedenti condotti sui ghiacciai alpini dei Forni e del Cedec, laddove le fibre rappresentavano rispettivamente il 56% e il 60% dell'ammontare totale di microplastiche identificate (Crosta et al., 2022).

Sebbene tutti i frammenti si siano confermati essere composti da polimeri plastici, e quindi annoverabili all'interno della categoria delle microplastiche, il 25% delle fibre non era ascrivibile a questa categoria, in quanto è risultato composto da polimeri di origine naturale (i.e., cellulosa).

Di conseguenza, queste fibre sono state escluse dal novero (e dal conteggio) delle microplastiche. Sulla base di queste considerazioni, l'abbondanza media (\pm errore standard) di microplastiche isolate dai campioni di detrito sopragliaciale raccolto sul Ghiacciaio dei Forni ammontava a 28 ± 10 microplastiche/Kg di detrito (normalizzata sul peso secco), mentre quella dei campioni raccolti sul Ghiacciaio del Miage ammontava a 20 ± 9 microplastiche/Kg di detrito (Figura 4).

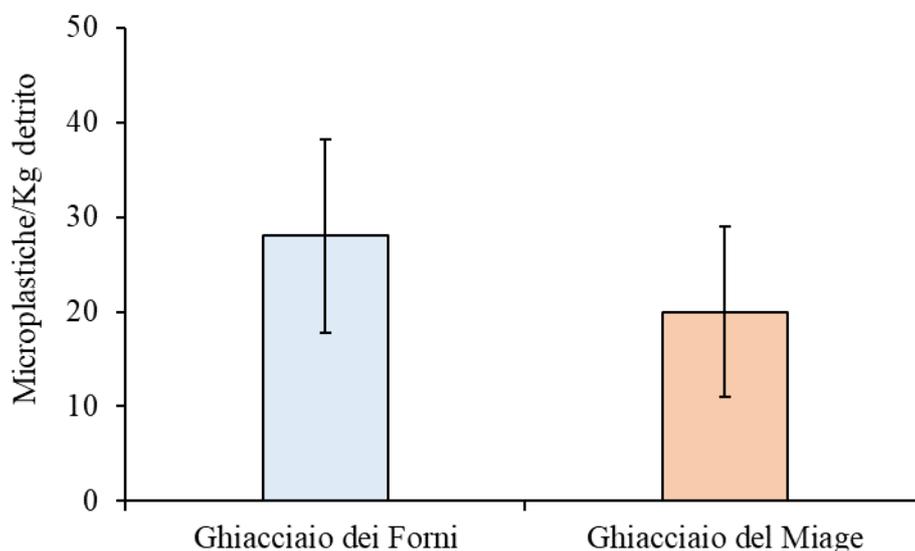


Figura 4: abbondanza media (\pm errore standard) di microplastiche isolate dal detrito sopraglaciaie raccolto sul Ghiacciaio dei Forni e sul Ghiacciaio del Miage.

L'analisi statistica (test t di Student per dati appaiati: $t = 0,666$; $P = 0,541$) non ha evidenziato differenze statisticamente significative nei livelli di contaminazione osservati sui due ghiacciai oggetto di studio. Per quanto riguarda la composizione polimerica delle microplastiche, indipendentemente dall'origine geografica dei campioni, le analisi al micro-FTIR hanno identificato come il polimero prevalente fosse il cellophane (55%), seguito dal polietilene-polipropilene (35%) e dal nylon (poliammide; 10%). La frequenza relativa dei polimeri riscontrata nei campioni raccolti sui due ghiacciai è rappresentata in Figura 4.

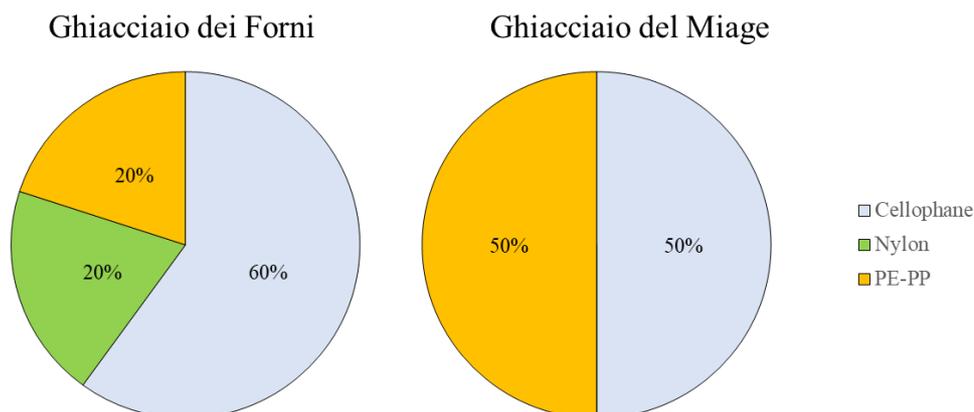


Figura 4: frequenza relativa dei polimeri di cui erano composte le microplastiche isolate dai campioni di detrito sopraglaciaie raccolti sul Ghiacciaio dei Forni e sul Ghiacciaio del Miage.

La lunghezza media (\pm deviazione standard) delle microplastiche isolate dal detrito sopraglaciaie raccolto sul Ghiacciaio dei Forni è risultata pari a $0,70 \pm 0,33$ mm mentre per i campioni raccolti sul Ghiacciaio del Miage corrispondeva a $0,68 \pm 0,39$ mm. I colori più rappresentati erano il grigio, il bianco, il blu e il nero.

I risultati del presente lavoro confermano la presenza di microplastiche nel detrito sopraglaciaie dei ghiacciai alpini già evidenziata in campagne di monitoraggio precedenti, rispecchiando quanto atteso. Le microplastiche infatti possono raggiungere le aree glaciali attraverso diversi processi. In primo luogo, possono originarsi dalla degradazione e frammentazione di rifiuti plastici di grandi dimensioni abbandonati deliberatamente o involontariamente sul ghiacciaio. Le attività turistiche e alpinistiche che si sviluppano sui ghiacciai dei Forni e del Miage possono infatti rappresentare delle sorgenti di contaminazione locali da plastica. La maggior parte dell'attrezzatura e dell'equipaggiamento tecnico da montagna e da alpinismo, ad esempio, è realizzata in polimeri plastici. L'usura degli indumenti e/o delle attrezzature tecniche potrebbe quindi



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



contribuire al rilascio di fibre e frammenti nelle dimensioni delle microplastiche. Inoltre, materiali plastici riconducibili all'equipaggiamento di montagna e agli imballaggi alimentari possono essere abbandonati involontariamente o deliberatamente sul ghiacciaio. Ad esempio, uno studio condotto sulle Alpi Centro-Occidentali, ha evidenziato la presenza di diversi oggetti plastici, principalmente imballaggi alimentari e attrezzatura di montagna, lungo le normali vie di accesso ad alcune vette che torreggiavano i ghiacciai (Parolini et al., 2021). Sui ghiacciai, questi oggetti possono subire processi di alterazione, meccanica (erosione, abrasione), chimica (foto-ossidazione, idrolisi) e biologica (degradazione da parte di microrganismi), che porta alla formazione delle microplastiche (Andrady, 2017). In ultimo, un importante contributo alla contaminazione da microplastiche sui ghiacciai è fornito dal trasporto atmosferico a medio-lungo raggio. Studi recenti hanno infatti confermato come le microplastiche emesse in prossimità delle zone di emissione e/o produzione possano raggiungere gli ecosistemi glaciali veicolate attraverso le masse d'aria e, successivamente, depositarsi sulla superficie del ghiacciaio attraverso processi di deposizione secca e umida (Allen et al., 2019; Dris et al., 2016).

Per meglio contestualizzare la contaminazione da microplastiche riscontrata nel detrito sopragliaciale raccolto sul Ghiacciaio dei Forni e sul Ghiacciaio del Miage, i livelli riscontrati nel presente lavoro sono stati confrontati con quelli ottenuti sulla stessa matrice ambientale in studi precedentemente condotti su ghiacciai dislocati sia sul territorio nazionale sia al di fuori dei confini dell'Italia. L'abbondanza di microplastiche misurata nel presente lavoro è paragonabile a quella riscontrata nei campioni di detrito sopragliaciale raccolti sul Ghiacciaio del Cedec (25 ± 9 microplastiche/Kg detrito) durante una campagna di monitoraggio condotta nel 2021 (Crosta et al., 2022) e sul ghiacciaio di Prè de Bar (Val d'Aosta; 28 ± 5 microplastiche/Kg detrito; dati non ancora pubblicati, comunicazione personale). Focalizzandosi sulla contaminazione del Ghiacciaio dei Forni, l'abbondanza di microplastiche misurata nel 2023 è risultata perfettamente comparabile a quella osservata in una campagna di monitoraggio condotta nel 2021 (33 ± 7 microplastiche/Kg detrito), sebbene si sia riconfermata circa due volte inferiore rispetto



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



a quella riscontrata sui campioni raccolti nel 2018 (74 ± 28 microplastiche/Kg di detrito; Ambrosini et al., 2019). A dispetto di quanto detto, la contaminazione riscontrata sul Ghiacciaio dei Forni, indipendentemente dall'anno di campionamento, e sul Ghiacciaio del Miage è risultata notevolmente inferiore rispetto a quella misurata sul Ghiacciaio Ebenferner-Vedretta Piana (265 ± 27 microplastiche/Kg di detrito; Crosta et al., 2022). Tali discrepanze sono facilmente spiegabili dal fatto che il Ghiacciaio Ebenferner-Vedretta Piana è soggetto a una pressione antropica ben superiore rispetto a quella che caratterizza gli altri ghiacciai. Infatti, questo ghiacciaio accoglie impianti di risalita attivi anche durante la stagione primaverile-estiva, i quali rappresentano sorgenti locali di contaminazione.

In ultimo, i risultati del presente lavoro risultano perfettamente paragonabili a quelli riscontrati sul detrito sopragliaciale raccolto in alcuni ghiacciai dislocati al di fuori dell'arco alpino (dati non ancora pubblicati, comunicazione personale), tra cui Steindalsbreen (Norvegia, 20 ± 20 microplastiche/Kg di detrito), Midtre (Isole Svalbard, Norvegia: 76 ± 16 microplastiche/Kg di detrito), Longyearbreen (Isole Svalbard, Norvegia: 45 ± 21 microplastiche/Kg di detrito), Iver (Cile: 53 ± 35 microplastiche/Kg di detrito), Exploradores (Patagonia, Cile: 25 ± 10 microplastiche/Kg di detrito), ma inferiori rispetto a quelli riscontrati sul ghiacciaio Lewis (Kenya: 172 ± 43 microplastiche/Kg di detrito).



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E POLITICHE AMBIENTALI
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLICY



Conclusioni e prospettive future

In conclusione, i risultati del presente progetto hanno evidenziato, come atteso, la presenza delle microplastiche nel detrito sopraglaciale dei ghiacciai dei Forni e del Miage. L'abbondanza di microplastiche misurata nei due ghiacciai oggetto d'indagine risulta in linea con le campagne di monitoraggio precedentemente condotte non solo sullo stesso ghiacciaio dei Forni, ma anche su altri massicci glaciali localizzati entro e al di fuori dell'arco alpino. Sebbene non siano state riscontrate differenze né nelle abbondanze né nell'impronta di contaminazione tra i ghiacciai dei Forni e del Miage, le differenze osservabili tra i diversi ghiacciai possono essere riconducibili alle differenti pressioni antropiche che caratterizzano i singoli ecosistemi, in termini di frequentazione turistica e/o alpinistica, alla presenza di sorgenti locali di contaminazione come ad esempio impianti sciistici e di risalita e/o al diverso contributo apportato dal trasporto atmosferico a media-lunga distanza. Questi risultati confermano che la contaminazione da microplastiche sia da considerarsi ubiquitaria e 'radicata' anche sui ghiacciai. Lo studio della contaminazione dei ghiacciai, riconducibile sia alle microplastiche sia ad altri contaminanti organici e inorganici, risulta particolarmente importante in questo periodo storico. Infatti, la fusione dei ghiacci conseguente al riscaldamento globale attualmente in atto può determinare il rilascio dei contaminanti immobilizzati all'interno del ghiaccio, contribuendo alla contaminazione degli ecosistemi acquatici e terrestri ubicati a valle. Studi futuri saranno quindi necessari per comprendere il destino ambientale delle microplastiche e degli altri contaminanti glaciali, nonché i rischi ad essi associati per le comunità acquatiche e terrestri, in seguito alla loro ri-mobilizzazione e redistribuzione verso gli ecosistemi vallivi mediante le acque di fusione.

In fede

Marco Parolini