

## **Introduzione**

La maggior parte dei polimeri sintetici è prodotta da molecole petrolchimiche non rinnovabili, in altre parole sono derivati dal petrolio fossile. Purtroppo le caratteristiche di leggerezza, resistenza, basso costo e versatilità, che rendono le plastiche utili per molti scopi, hanno anche creato un rischio emergente per la salute umana e per la conservazione dell'ambiente. In Europa solo una parte delle plastiche viene riciclata, l'altra è bruciata per il recupero energetico, smaltita in discarica, o dispersa nell'ambiente. Si prevede che la quantità di polimeri sintetici che entrano nel biosistema aumenterà ancora di più fino al 2025 (Jambeck et al., 2015). Il Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060 (OECD 2022) afferma che senza un'azione radicale e una politica rigorosa per frenare la domanda, non aumentando la durata dei prodotti e migliorando la gestione dei rifiuti e la riciclabilità, l'inquinamento da plastica sarà destinato a crescere di pari passo con un'espansione quasi triplicata dell'uso di plastica in relazione all'aumento della popolazione globale e dei redditi. Dunque il consumo complessivo di plastica aumenterà da 460 milioni di tonnellate (Mt) nel 2019 a 1.231 Mt nel 2060. Il rapporto citato stima che quasi i due terzi dei rifiuti di plastica nel 2060 saranno provenienti da prodotti di breve durata, tra questi imballaggi, prodotti low cost e tessuti. Il fenomeno della Fast Fashion (Niinimäki et al., 2020) ha creato, a questo proposito, un forte impatto negli ultimi venti anni, con discariche tessili internazionali come ad esempio quella illegale nel deserto di Atacama in Cile (Costa & Zanetti, 2022), dove finiscono vestiti usati e invenduti, prodotti con tessuti sintetici per lo più derivati dalla plastica, o ad Accra, in Ghana, dove finiscono indumenti prodotti con derivati della plastica, usati o invenduti che arrivano dai Paesi UE.

Gli esempi citati rappresentano solo alcuni dei molteplici utilizzi dei numerosi polimeri plastici prodotti a partire dal secondo dopoguerra. Se l'effettiva introduzione del materiale plastico come fattore inquinante l'ambiente è stata segnalata tardivamente, a partire dagli anni Settanta e Ottanta, oggi sono state messe in atto azioni di mitigazione (i.e. shopper di plastica mono uso vietate in 100 Paesi del mondo). Infatti, l'aspetto ecologico con la valutazione degli impatti è diventato una priorità, visti i fattori di incidenza e le loro conseguenze (scorretto smaltimento, rilascio improprio, annoso e diffuso di prodotti plastici in ambienti naturali e in quelli antropizzati, incidenza sulla salute umana).

È fuori dubbio che a livello globale l'inquinamento più preoccupante deriva dalle macroplastiche. Ma un dato di quest'ultimo decennio, che è rimbalzato sui media del mondo, è il sensibile aumento delle microplastiche disperse sia nell'ambiente naturale, sia in quello urbanizzato, tanto da essere definite ubiqua. Le immagini digitali diffuse dai report sulla rete internet e dai mass media potrebbero indurre percezioni errate da parte dell'opinione pubblica (fenomeno del greenwashing), facendo credere che questi

nuovi contaminanti emergenti si concentrino soltanto in ambienti distanti, collegati per lo più a contesti di discariche a cielo aperto ubicate in luoghi remoti del pianeta, o destinati a convivere con l'uomo e con l'ecosistema senza eccessivo allarme. Al contrario, la ricerca scientifica si pone domande incalzanti sugli effetti sul biota, cioè sugli organismi viventi a breve e lungo periodo, anche in Italia.

La ricerca recente ha dimostrato la presenza di altissime concentrazioni di microplastiche non soltanto nei corpi idrici continentali italiani, e soprattutto nel Mar Mediterraneo (Boucher and Billard, 2020), ma anche «radicata» con «abbondanza media» nella criosfera, nei due più estesi ghiacciai alpini secondo quanto documentano i recenti campioni dei detriti supraglaciali del Ghiacciaio dei Forni (Ambrosini et al., 2019) e del Ghiacciaio del Miage (Parolini, 2024), sulle Alpi italiane. Le microplastiche sono state rinvenute nell'acqua potabile e nelle bevande contenute in bottiglie di plastica, di vetro e di cartone, poiché l'imballaggio stesso e i tappi possono rilasciare microparticelle di plastica che vengono poi ingerite o inalate (Schymanski et al., 2018; World Health Organization-WHO, 2019).

Per microplastiche (MP) si intendono quelle particelle con dimensioni comprese tra 0,001 mm e  $\leq 5$  mm o fibre con una lunghezza di  $3 \text{ nm} \leq x \leq 15 \text{ mm}$ , con un rapporto lunghezza/diametro  $>3$ . Quelle più piccole (SMP), che si disperdono nell'aerosol atmosferico e viaggiano per migliaia di chilometri, sono inferiori a 100  $\mu\text{m}$  e necessitano di un complesso protocollo di campionamento per ottenere campioni di SMP significativi con la procedura di oleo estrazione (Rosso et al., 2024). Data la loro dimensione molto piccola sono quindi praticamente onnipresenti in tutti i comparti ambientali e considerate a tutti gli effetti inquinanti emergenti su scala globale; ma pur persistendo nell'ambiente ed entrando nella catena alimentare accumulandosi negli organismi viventi, non si sa ad oggi quanto e in che misura possano essere potenzialmente alteranti per il biota e per la salute umana. Le particelle ancora più piccole, ossia le nanoplastiche (NP, comprese tra 0,001 e 0,01  $\mu\text{m}$ ) vengono assorbite finanche nei tessuti superficiali degli alberi, e quelle più grandi dalle radici (Murazzi et al., 2022). Uno studio recente analizza la presenza di NP/MP nella lattuga che mangiamo (Zhang et al., 2024), mostrando che alte concentrazioni di questi contaminanti possono agire come fattori di stress nelle diverse colture; anche in questo settore, sarebbero necessarie ulteriori ricerche per comprendere gli effetti dei depositi di MP e NP nel suolo, ed in particolare negli agroecosistemi.

Oltre che ingerite, o inalate per vie respiratorie (Prata, 2018) così da accumularsi nei tessuti degli organismi umani e persino nella placenta (Ragusa et al., 2021), le NP possono causare infiammazioni croniche e rischio cardio-vascolare, come sottolinea il report dell'Organizzazione mondiale della sanità (World Health Organization-WHO, 2022). Quindi sono pericolose per la salute umana (Amato-Lourenço et al., 2020; Blackburn and Green, 2021; Sangkham et al., 2022), nonché per l'intero ecosistema (Commissione europea, Direzione generale della Ricerca e dell'innovazione, 2021). Pur tuttavia cosa implichi tutto ciò sul piano clinico è ancora da chiarire. Infatti si sono resi necessari ulteriori studi di revisione della stessa letteratura

scientifica a riguardo, in special modo sui potenziali effetti o incidenza sullo stato fisico umano di MP, NP e dei principali additivi chimici interagenti, utilizzati dall'industria per la plastica (Campanale et al., 2020). Nell'attesa di nuovi risultati per colmare le lacune sull'argomento, anche in merito al controllo delle concentrazioni nell'ambiente e degli attuali limiti della qualità dell'aria (Ebrahimi et al., 2022), emerge il rapporto preoccupante della UE sul settore specifico dell'abbigliamento, in particolare quello costituito da fibre sintetiche: «si prevede che, entro il 2030, il consumo globale di indumenti e calzature aumenterà del 63%, passando dai 62 milioni di tonnellate attuali a 102 milioni di tonnellate; che l'abbigliamento rappresenta la quota maggiore del consumo tessile dell'UE (81%); che la tendenza a utilizzare capi di abbigliamento per periodi sempre più brevi prima di gettarli via è il principale fattore che contribuisce a modelli insostenibili di sovrapproduzione e consumo eccessivo» (Strategia dell'UE per prodotti tessili sostenibili, 2023).

Sin dal 2020 è emerso, infatti, il dato inquietante relativo ai tessuti sintetici quali principale fonte di microplastiche aerodisperse (Chen et al., 2020). Visto che i rifiuti tessili rappresentano una delle componenti più importanti dei rifiuti urbani, ci siamo domandati in che misura incida il comparto alpinismo invernale, scialpinismo, trekking e outdoor, al di là dello sci di pista che riguarda e ricade su circoscritti comprensori ambientali più antropizzati e frequentati dalla massa, quindi prevedibilmente più alterati sul piano dell'integrità ambientale.

## **Discussione**

Può considerarsi significativo o meno l'impatto dell'abbigliamento tecnico dei frequentatori delle aree montane nel periodo invernale quale possibile sorgente inquinante? Andrebbe valutata l'incidenza del LCA (Life Cycle Assessment) dell'abbigliamento e dell'attrezzatura tecnica snow/alp, vista la compresenza di due fattori durata/costi: da un lato l'abbondante crescita dell'abbigliamento tecnico sintetico a basso costo e di scarsa qualità, spesso "usa e getta" e dall'altro l'utilizzo dell'equipaggiamento con miscele di fibre sintetiche complesse o nuove membrane (ePe di Gore Tex®), performante, leggero, durevole e costoso, utilizzato oltre il ciclo di vita del prodotto, quindi soggetto inevitabilmente a una ulteriore frantumazione/dispersione delle fibre. I tessuti e le attrezzature sono soggetti a usura nel tempo: un'attrezzatura e un capo già compromessi dalle prestazioni precedenti di lungo corso continua a rilasciare più MP nell'ambiente poiché le fibre si sfilacciano di più e più facilmente. Da parte del soggetto si tratta di azioni involontarie che attestano un preciso processo fisico di risposta al sistema: sfregamento meccanico, usura, erosione, abrasione e infine rilascio in ambiente di fibre sintetiche di indumenti o di particelle di suole degli scarponi. A ciò si devono aggiungere gli altri processi di alterazione delle stesse particelle una volta disperse in ambiente, come l'alterazione chimica (foto-ossidazione per effetto della luce, idrolisi per reazione con l'acqua) e biologica (degradazione da parte di microrganismi), che comportano la formazione di microplastiche secondarie (Andrady, 2017). Possono essere definite MP secondarie quelle particelle di

materiali che si formano durante l'uso e lo smaltimento di prodotti in plastica o durante il riciclo, oppure per alterazione e decomposizione delle macroplastiche in MP (i.e. l'abrasione di pneumatici, l'abrasione di fibre durante il lavaggio di tessuti sintetici, la verniciatura esterna di tessuti, verniciatura esterna di edifici, segnaletica stradale, ecc.). Si precisa che le MP secondarie non sono intenzionalmente prodotte come tali per proprietà intrinseca. Le MP primarie al contrario sono prodotte e aggiunte ai prodotti industriali per il loro scopo (i.e. cosmetici, dentifrici, pulitori abrasivi, prodotti idrorepellenti ecc.).

Fatta questa distinzione, bisogna evidenziare che ad oggi non sono disponibili dati scientifici quantitativi per separare e individuare con esattezza con gli strumenti a disposizione le diverse sorgenti di MP, ma la ricerca sta andando avanti, seppure non sempre speditamente, e si auspica di raggiungere risultati più robusti nell'immediato futuro.

La crescente frequentazione delle vette ha generato una moltiplicazione di markers antropici sulle croci di vetta (bandiere, bandierine tibetane di preghiera, adesivi ecc.), che degradandosi generano ulteriore inquinamento dovuto alla dispersione di microplastiche (MP) in ambiente. Da un monitoraggio esplorativo effettuato in collaborazione con l'istituto ENEA in prossimità di questi manufatti di vetta e in altre aree in cui la frequentazione antropica è risultata al momento del campionamento esigua o nulla (colli e selle del Terminillo, 6 aree campionate per un totale di 18 campionamenti di neve + barattoli di bianco), abbiamo trovato significative concentrazioni di MP sulla neve del massiccio del Monte Terminillo (2.216 m s.l.m. Rieti), con una prima e inedita ricerca su quest'area dell'Appennino Centrale.

## **Risultati**

I risultati mostrano che la massima concentrazione media riscontrata è di 74,69 MP L-1 di neve fusa proprio sulla vetta. Le caratterizzazioni con utilizzo di FTIR hanno rivelato che la forma più comune è costituita da microfibre di dimensioni <5 mm per lo più scure. Tra i materiali polimerici (ne sono stati identificati 8), i più abbondanti sono stati la poliammide e il poliestere. La presenza di fibre di politetrafluoroetilene (PTFE) e di un frammento di acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS) è riconducibile, in particolare, all'abbigliamento e all'attrezzatura tecnica alpinistica. Il primo è un polimero che viene utilizzato per la laminatura delle giacche alpinistiche in Gore-tex, noto brevetto che garantisce leggerezza e impermeabilità dei tessuti idrorepellenti performanti. Il secondo è presumibilmente riconducibile ai caschi che si usano per alpinismo e sci-alpinismo.

Insieme ai depositi atmosferici (la pioggia e soprattutto la neve sono dei formidabili spazzini dell'inquinamento di MP e di polveri sahariane) e alla degradazione dei markers antropici citati, apposti deliberatamente durante le attività ricreative in alta montagna, le fibre riconducibili all'abbigliamento e all'attrezzatura, essendo sintetiche, costituiscono una preoccupante prova dell'impronta antropica inquinante in montagna. Si rompono per attrito meccanico durante le attività ricreative (ciaspolate,

alpinismo, sci, escursionismo) e si disperdono in ambiente a tutte le quote, costituendo un ulteriore e preoccupante inquinante emergente in montagna, ancora non abbastanza studiato in contesti alpini e appenninici. I risultati sono in linea con quelli della letteratura scientifica a riguardo su aree di alta montagna. **Si ingeriscono fino a 2000 minuscoli frammenti di MP per settimana, che corrispondono a circa 5 grammi, l'equivalente in peso di una carta di credito.**

## Conclusioni

- ❖ Implementare strategie di mitigazione degli impatti antropici in montagna in alta quota.
- ❖ Aumentare campagne di sensibilizzazione per la conservazione degli ecosistemi in alta montagna, partendo dalle scuole.
- ❖ Spiegare l'importanza dei cambiamenti climatici, della diminuzione della neve naturale, della fusione dei ghiacciai in tutto il mondo e ciò che comporta per il biota, per il turismo e per le attività ricreative, con ricadute sul lavoro, ma soprattutto sulla riduzione dell'immagazzinamento dell'acqua dolce, necessaria per gli esseri viventi (fenomeno della migrazione e delle guerre per l'accesso all'acqua).
- ❖ Fare pressione per una moratoria della costruzione di nuovi impianti sciistici a basse quote (sotto i 200 m), che causano nuovi impatti e che sono energivori, potendo spendere in altri settori-servizi più richiesti e necessari per tutti le (poche) risorse pubbliche. Per approfondimenti:

**Roseo, F., Celada, C., Mattia Brambilla, M. 2025.** Ski resorts threaten climate refugia for high-elevation biodiversity under current and future conditions in the Alps, *Biological Conservation*, vol. 301. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110890>.

## Aspettative

### 1) Cambiare stile di vita e di paradigma

### 2) **Ridurre consumi e emissioni di CO2 in atmosfera** (raccomandazione UE, cfr <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20180305STO99003/ridurre-le-emissioni-di-anidride-carbonica-obiettivi-e-azioni-dell-ue>)

Ci auguriamo che l'Europa grazie alla ricerca scientifica e alla pressione mediatica sviluppi in futuro incisive politiche e misure di mitigazione in considerazione di ogni sistema montuoso soprattutto in quota, dove sono minacciati i rifugi climatici per la biodiversità (aree naturali che conservano condizioni idonee ad ospitare specie ed ecosistemi in sofferenza) e dove non c'è la rete di aree naturali protette. Dagli studi condotti e dalla ricerca nella letteratura scientifica fino al 2025, risulta allarmante e non più procrastinabile

l'effetto combinato dei cambiamenti climatici e delle attività umane, con una influenza negativa anche sui servizi ecosistemici culturali (diminuzione di opportunità di riflessione, sviluppo cognitivo e esperienza spirituale ed estetica), un aspetto ancora poco studiato e che avrà riflessi critici sulle generazioni future.