

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Materiali

Tesi di Laurea Magistrale

Microplastiche sulle nevi delle Alpi occidentali piemontesi: analisi della distribuzione e della tipologia



Relatori

prof. Debora Fino
ing. Camilla Galletti

Candidato

Gonella Anna

Marzo 2022

Indice

1. Introduzione	1
2. Microplastica	3
3. Campionamento	5
3.1. Località dei campionamenti	5
3.2. Modalità di raccolta e conservazione	8
4. Preparazione dei campioni	11
4.1. Separazione	11
4.2. Digestione	12
4.3. Filtrazione per gravità	12
4.4. Essiccazione e conservazione	14
4.5. Bianchi	15
4.6. Osservazioni e riepilogo	15
5. Analisi quantitativa e qualitativa	17
5.1. Analisi ottica	18
5.2. Analisi spettroscopica	23
6. Ingrandimento FESEM	25
7. Risultati	29
7.1. Distribuzione	29
7.2. Spettroscopia	30
7.3. Confronto dei dati	34
8. Conclusioni	37
Bibliografia	39
Ringraziamenti	45
Appendice A	47
Appendice B	55
Appendice C	65
Appendice D	67

1. Introduzione

La presenza di microplastiche in diverse parti del pianeta è un fenomeno molto studiato negli ultimi anni sia per ragioni legate alla salute sia per una questione di inquinamento dell'ambiente. Ci si domanda spesso come queste possano arrivare anche in zone remote, scarsamente abitate e non necessariamente toccate dal mare e una spiegazione è stata trovata nelle perturbazioni che sono in grado di spostare microplastiche e microfibre presenti nell'aria dalle zone più abitate a quelle più remote dove si depositano con le precipitazioni. Un recente articolo pubblicato su *Science Advances* (Bergmann *et al.*, 2019) confronta campioni di neve prelevati da banchise in movimento nello stretto di Fram e presso le isole Svalbard con campioni prelevati sulle Alpi e nel nord della Germania. L'analisi dei diversi tipi di contaminanti trovati nella neve conferma come questa funga da spazzino dell'atmosfera, portando a terra ciò che riesce a sollevarsi in aria, dalla polvere ai pollini, a un misto di microparticelle e microfibre di diversa natura. Questo spiega come anche in zone apparentemente remote e distanti dai centri abitati possano trovarsi tracce di inquinanti non presenti in natura.

Un ulteriore articolo (Parolini *et al.*, 2021) riferito a uno studio che si è concentrato sulle Alpi italiane, in particolare nella zona della Val d'Aosta, conferma che in generale nelle nevi sono presenti diverse tipologie di microplastiche e microfibre provenienti prevalentemente da fonti locali, come suggerisce la leggera differenza riscontrata fra i siti più accessibili rispetto a quelli più isolati. I campioni sono stati prelevati durante lo svolgimento del Tor des Géants[®], un evento sportivo che attira numerosi atleti e spettatori da tutto il mondo, nel settembre del 2019. Si tratta pertanto di neve risalente alle nevicate dell'anno precedente e prelevata lungo il percorso della gara. Queste condizioni non facilitano una distinzione fra l'impatto che ha la presenza attiva dell'uomo sul luogo del campionamento e il contributo dato dalla presenza di inquinanti e particelle aerodisperse (*cf. airborne particles and pollutants* in letteratura) catturate dalla precipitazione nevosa stessa.

Nel tentativo di fare chiarezza sulle potenziali origini delle microplastiche nella neve, si è deciso di eseguire campionamenti sulle Alpi occidentali del Piemonte, con la partecipazione del progetto “*ALP-Stop the ALPs becoming Plastic Mountains*”, in un periodo che va da dicembre 2020 a maggio 2021 e di farne un'analisi ricalcando il procedimento di Parolini *et al.* (2021). L'emergenza sanitaria e le disposizioni entrate in vigore da marzo 2020 in avanti hanno fatto sì che pochissime persone frequentassero le montagne anche nei periodi che normalmente vedono il picco massimo del turismo. Questa situazione particolare unita alla scelta di prelevare campioni di neve fresca, appena depositata e possibilmente prossima alla superficie anche nei diversi momenti della stagione, ha permesso un'analisi quantitativa e qualitativa in prevalenza degli inquinanti atmosferici al più trasportati per via aerea.

L'analisi si è svolta partendo da un campionamento in condizioni il più possibile controllate, una successiva separazione per densità delle particelle d'interesse, filtraggio ed essiccazione e infine un conteggio con analisi qualitativa tramite l'utilizzo di un microscopio FTIR (Tensor 37 e Hyperion 2000) di una parte dei filtri ottenuti. Alcuni campioni sono stati analizzati al FESEM, il che ha permesso di visualizzare quella frazione di filtrato più fine non visibile con la parte ottica dell'Hyperion. Infine, i dati relativi alla quantità delle particelle rilevate sono stati inseriti in MATLAB[®] e riorganizzati in grafici per comprendere meglio la distribuzione nei diversi siti di campionamento.

Nella presente tesi si intendono ripercorrere i vari step della ricerca partendo da un breve *excursus* sulle microplastiche e sugli studi su di esse incentrati; si prosegue con una documentazione delle fasi di campionamento della neve, separazione, filtraggio e analisi del filtrato. Ove possibile si utilizzano le fotografie scattate dai partecipanti presenti durante le diverse fasi e i grafici derivanti direttamente dai dati raccolti. Vengono infine riportati risultati e conclusioni, seguiti da una bibliografia dettagliata delle fonti citate in ordine alfabetico.

2. Microplastica

Vengono indicate con il termine microplastiche le “*particelle di plastica solide composte da miscele di polimeri e additivi funzionali*” (ECHA) di dimensione inferiore ai 5 mm, che possono essere classificate in primarie o secondarie in base alla loro origine. Le microplastiche di tipo primario sono quelle prodotte in determinate dimensioni ottimizzate per la loro funzione e spesso sono le prime a cui si pensa quando si parla di “inquinamento da microplastiche”; le secondarie invece sono derivanti da oggetti di dimensione maggiore che, per degradazione o normale utilizzo, disperdono particelle nell’ambiente (GESAMP 2015, par 3.2). Per dare un’idea più concreta, seppur lungi dall’essere esaustiva, delle due classi, da dove hanno origine e della tipologia di particelle che formano, si propone una breve schematizzazione nella tabella 2.1.

Tabella 2.1 – Classificazione microplastiche

Primarie		Secondarie	
<i>Origine</i>	<i>Forma</i>	<i>Origine</i>	<i>Forma</i>
Fertilizzanti	Microgranuli	Vestiario (abiti)	Microfibre
Detergenti per superfici	Microgranuli	Vestiario (calzature)	Microparticelle
Cosmetici (da risciacquo)	Microgranuli	Pneumatici	Microparticelle
Cosmetici (leave-on)	Microparticelle	Vernici	Microparticelle
Riempimento di campi sportivi e da gioco	Microgranuli	Degradazione di oggetti massivi	Microparticelle e microfibre
		DM (dispositivi medici)	Microfibre
		DPI (dispositivi di protezione individuale)	Microfibre

L’attenzione dell’opinione pubblica legata al tema dell’ecologia ha portato alla luce, tra le altre, la problematica delle microplastiche nell’ambiente. Oltre ai diversi articoli scientifici, infatti, la tematica è stata trattata da testate giornalistiche, di informazione e libri. Nel saggio *La scienza nascosta dei cosmetici* (Mautino, 2020), per esempio, vi è un capitolo interamente dedicato alla distinzione di queste microplastiche e all’impatto che hanno sull’inquinamento. Nel libro si fa riferimento alla loro rilevazione in ambienti prevalentemente marini, ma il dato che stupisce sopra ogni altro è quello che sottolinea quanto sia maggiore la percentuale delle microplastiche secondarie rispetto alle primarie. L’autrice riporta i risultati di un report richiesto dall’Agenzia norvegese per l’ambiente svolto sulle acque locali che ha stimato una presenza circa 25 volte superiore di microplastiche derivanti dal lavaggio di capi sintetici rispetto a quelle derivanti

direttamente dall'utilizzo di cosmetici. In un secondo studio citato, svolto dall'Agenzia danese per la protezione dell'ambiente sulle microplastiche secondarie presenti in Danimarca, si mostra come queste rappresentino circa il 99% del totale, con un quantitativo notevole derivante dagli pneumatici, dalle suole delle scarpe e dalle vernici utilizzate in ambito nautico (si veda *La scienza nascosta dei cosmetici*, Mautino 2020, pp. 159-160).

Questi studi, assieme alla *review* a cura di Shahul Hamid *et al.* (2018), mostrano come inizialmente sia stata rilevata la presenza di microplastiche nei corsi d'acqua e negli ambienti marini, e come essa sia stata attribuita o al degrado di rifiuti polimerici massivi presenti nell'oceano (Gewert *et al.*, 2015; GESAMP 2015, par. 3.2; SAPEA 2019, par. 2.3) o alle microplastiche primarie e soprattutto secondarie presenti nelle acque di scarico delle diverse attività umane, trasportate in un secondo momento nelle varie zone del pianeta dai corsi d'acqua e dalle correnti oceaniche (GESAMP 2015, par. 3.5; SAPEA 2019, par. 2.7). Negli ultimi anni però numerose ricerche svolte in zone montuose, come le Alpi (Ambrosini *et al.*, 2019; Bergmann *et al.*, 2019; Parolini *et al.*, 2021) e i Pirenei (Allen *et al.*, 2019), e in grandi centri urbani, come Parigi (Dris *et al.*, 2016; Dris *et al.*, 2017), Dongguan (Cai *et al.*, 2017) e Teheran (Dehghani *et al.*, 2017), ipotizzano che le precipitazioni e, in generale il movimento delle masse d'aria, possano contribuire al trasporto e alla deposizione di diversi inquinanti, fra cui le microplastiche.

La presenza di microfibre e microparticelle di natura polimerica in sospensione nell'aria è confermata dalla frazione secca esaminata nei diversi studi realizzati nei centri urbani e in ultimo da uno studio svolto sulle api nei pressi di Copenaghen (Edo *et al.*, 2021). L'attenzione rivolta alla frazione volatile di microplastiche è legata all'ampio discorso riguardante le ricadute sulla salute di questa tipologia di inquinanti. La letteratura relativa alla rilevazione di microplastiche lamenta una carenza di studi sugli effetti che queste possono avere sulla salute degli esseri umani e nonostante non manchino indagini sulla presenza, pericolosità e rischi legati agli esseri viventi in generale (GESAMP 2015, cap. 4; SAPEA 2019, par. 2.5, 2.6), si conviene sulla necessità di ulteriori approfondimenti sull'argomento. Anche l'OMS in un recente comunicato, riportato nell'articolo di Osseiran e Lindmeier (2019), riguardante l'acqua potabile, afferma che, basandosi sulle informazioni disponibili, “*le microplastiche con dimensione maggiore di 150 µm non sembrano essere assorbite dal corpo umano*”, ma aggiunge che sono necessarie ricerche aggiuntive sul potenziale impatto delle frazioni più fini.

3. Campionamento

La raccolta dei campioni di neve si svolge, in momenti diversi, da dicembre 2020 a maggio 2021 in collaborazione con il progetto “*ALP-Stop the ALPs becoming Plastic Mountains*” promosso dall’*European Research Institute* (ERI) e finanziato dalla *European Outdoor Conservation Association* (EOCA). Il progetto coinvolge quattro rifugi piemontesi: il Guido Muzio (borgata Chiapili Inferiore – Ceresole Reale (TO)) in valle Orco nel Parco Nazionale del Gran Paradiso; Les Montagnards (frazione Cornetti – Balme (TO)) in val d’Ala/Valli di Lanzo; il Sellaries (località Alpe Sellaries – Roure (TO)) in val Chisone nel Parco Naturale Orsiera Rocciavrè; il Pagari (margine inferiore ghiacciaio Pagari – Entracque (CN)) in valle Gesso nel Parco Naturale delle Alpi Marittime.

La situazione epidemiologica in Italia non ha permesso la riapertura degli impianti sciistici per l’intera stagione e per il primo periodo, da dicembre a gennaio, anche spostamenti ed assembramenti erano limitati per via del sistema a colori che in quei mesi vedeva il Piemonte oscillare fra il rosso e l’arancione. Successivamente, un lento miglioramento della situazione ha permesso di unire le attività di campionamento alle escursioni organizzate dal progetto, volte alla sensibilizzazione sul tema e alla raccolta di rifiuti sui sentieri montani.

Di seguito si analizzano nel dettaglio le zone scelte per i prelievi, in larga parte facilmente accessibili, con l’eccezione delle cime più isolate sulle Alpi Marittime, e le modalità di raccolta e conservazione dei campioni di neve.

3.1. Località dei campionamenti

I campioni di neve sono stati prelevati sulle Alpi piemontesi occidentali in cinque zone, nei pressi dei rifugi che hanno collaborato al progetto, e si riassumono, andando da nord verso sud, in:

- ALP001: campioni dalla val d’Orco (valli di Lanzo);
- ALP002: campioni dalla valle di Stura (valli di Lanzo);
- ALP003: campioni dalla val Chisone;
- ALP004: campioni dalla val Maira;
- ALP005: campioni dalla valle Gesso.

Per distinguere il periodo di raccolta si utilizzano le lettere dell’alfabeto e i doppioni di uno stesso periodo si distinguono con la dicitura “bis” e “ter”. Il campione segnato come ALP002_B_ter non risulta consegnato per le analisi, così come il campione ALP001_B_bis che non è mai stato né registrato né consegnato.

Per praticità a ogni località è stato assegnato un colore, utilizzato per il segnaposto sulla mappa, e si è mantenuto nelle versioni sfumate per distinguere i diversi periodi di campionamento nelle fasi successive di analisi.

Si riporta in figura 3.1 una mappa con i segnaposto dei campionamenti ricavata utilizzando Google Earth e in tabella 3.1 le informazioni dettagliate dei singoli campioni.

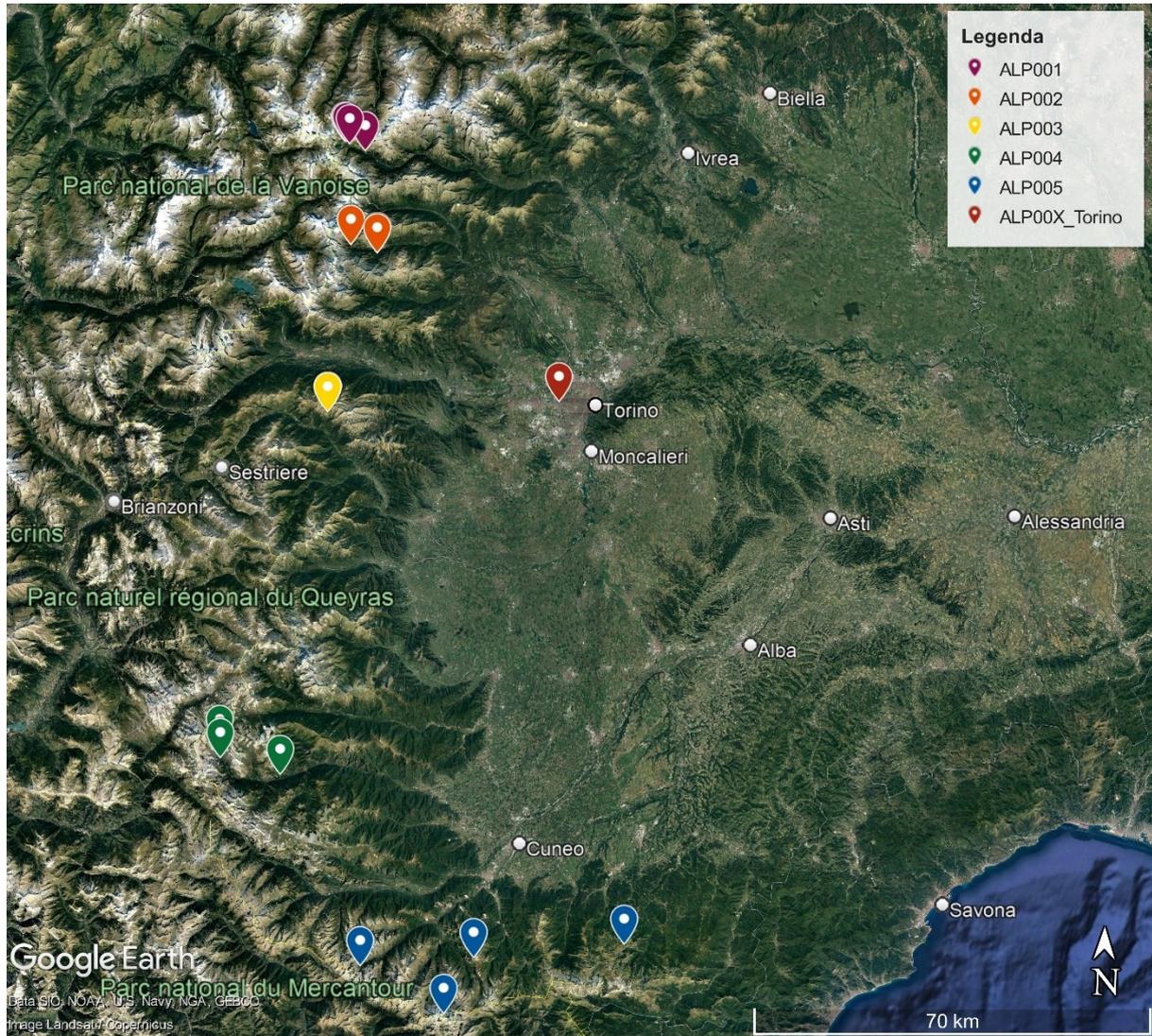


Figura 3.1 – Cartina del Piemonte con segnaposto dei campionamenti

Tabella 3.1 – Elenco dei campioni con coordinate, altitudine, luogo e data del prelievo

	Etichetta	Coordinate [lat, long]	Altitudine [m]	Luogo	Data
	ALP001_A	45,45191; 7,18546	1 685	Borgata Chiapili inferiore	2020-12-04
	ALP001_B	45,46418; 7,14176	2 096	Ceresole Reale, sentiero verso diga di Serrù	2021-01-31
	ALP001_B_ter	45,46085; 7,15213	1 940	Ceresole Reale, sentiero verso diga di Serrù	2021-02-10
	ALP001_C	45,46375; 7,14476	2 060	Ceresole Reale, sentiero verso diga di Serrù	2021-04-02
	ALP002_A	45,29454; 7,21796	1 496	Balme	2020-12-06
	ALP002_B	45,29663; 7,21858	1 482	Balme	2021-02-10
	ALP002_B_bis	45,30602; 7,16033	1 833	Pian della Mussa, greto del torrente vicino al rifugio città di Ciriè	2021-02-20
	ALP002_B_ter	45,30639; 7,16012	1 837	Pian della Mussa, greto del torrente vicino al rifugio città di Ciriè	2021-02-21
	ALP002_C	45,29454; 7,21796	1 496	Balme	2021-04-11
	ALP003_A	45,04793; 7,12	2 011	Rifugio Selleries	2020-12-06
	ALP003_A_bis	45,04793; 7,12	2 011	Rifugio Selleries	2020-12-16
	ALP003_B	45,04793; 7,12	2 011	Rifugio Selleries	2021-01-28
	ALP003_B_bis	45,0467; 7,11968	2 006	Rifugio Selleries	2021-02-27
	ALP003_C	45,04793; 7,12	2 011	Rifugio Selleries	2021-05-05
	ALP004_A	44,48346; 7,03876	1 362	Ussolo (Prazzo)	2020-12-06
	ALP004_B	44,50763; 6,91085	1 693	Chiappera	2021-02-02
	ALP004_C	44,5279; 6,90865	2 119	Chiappera	2021-03-23
	ALP005_A	44,20782; 7,46554	2 296	Presso monte Pianard	2021-02-09
	ALP005_B	44,2328; 7,78811	1 893	Cima Artesinera	2021-02-10
	ALP005_C	44,1231; 7,40528	2 619	Ghiacciaio di Pagari (o della Maledie)	2021-04-02
	ALP005_C_bis	44,19185; 7,22335	1 837	Piano Superiore del Valasco	2021-04-06
	ALP00X_Torino	45,07328; 7,62145	273	Torino	2020-12-04

3.2. Modalità di raccolta e conservazione

Al fine di evitare la contaminazione dei campioni di neve, durante la fase di raccolta si adottano alcuni accorgimenti riguardanti gli strumenti utilizzati, il vestiario e la scelta del luogo dei campionamenti. Queste precauzioni sono necessarie poiché abiti e accessori in tessuto sintetico potrebbero perdere fibre sui campioni così come un'eccessiva vicinanza a zone di frequentazione o coperte da vegetazione potrebbero falsare i dati sugli inquinanti in atmosfera raccolti dalla nevicata. Si riassumono le indicazioni fornite per eseguire al meglio i campionamenti:

- Contenitore: si prediligono i barattoli di vetro a chiusura ermetica o in alternativa normali barattoli o bottiglie in vetro con coperchio in metallo. Per evitare la potenziale contaminazione da parte della guarnizione in gomma, soprattutto nel periodo di conservazione dei campioni, si è optato per la rimozione della guarnizione o l'inserimento di un foglio di carta stagnola fra coperchio e barattolo. Il contenitore deve essere lavato e asciugato con un panno in cotone prima dell'utilizzo.
- Strumento di raccolta: per raccogliere la neve si raccomanda l'utilizzo di un cucchiaino in metallo o una paletta non verniciata, sempre preventivamente lavati e asciugati con un panno in cotone.
- Abbigliamento: nel momento della raccolta non si devono indossare giacche a vento, pantaloni o altri indumenti in tessuto sintetico, maglioni o guanti di pile ed è preferibile avere un camice in cotone. Ove possibile sarebbe ideale posizionarsi sottovento rispetto al punto del prelievo.
- Luogo del campionamento: prendendo a titolo d'esempio i punti di prelievo nei pressi dei rifugi e dei centri abitati, ci si deve allontanare di almeno 100-200 m per non prelevare una neve già contaminata dalla normale attività del luogo. Si sceglie inoltre una posizione libera da alberi o altra vegetazione in modo tale che la neve prelevata sia quella direttamente caduta al suolo durante le precipitazioni.
- Fase di raccolta: utilizzando il cucchiaino o la paletta si raccoglie la colonna di neve dalla superficie al suolo, cercando di prendere meno terreno possibile, fino al riempimento del contenitore. Nel caso si disponesse soltanto di contenitori piccoli (volume ≤ 500 ml), si consiglia di riempirne almeno due per avere un'adeguata quantità di campione. Una volta completato il campionamento si etichetta il barattolo e si annotano le coordinate GPS del luogo.
- Bianchi: durante la fase di raccolta è preferibile procedere alla preparazione del bianco. Per farlo è sufficiente porre un barattolo vuoto e pulito di fianco al barattolo che verrà riempito in modo tale che qualsiasi contaminante aereo presente durante la raccolta si depositi nel barattolo vuoto.

I campioni raccolti dalle guide alpine sulle cime delle Alpi Marittime sono i più modesti in volume, probabilmente per una questione di praticità. Vi è inoltre un campione prelevato nella città di Torino, approfittando di una nevicata avvenuta nei primi giorni di dicembre 2020, che è stato aggiunto alla ricerca nella speranza di poter osservare la differenza fra ciò che la neve porta a terra in un grande centro abitato rispetto alle valli. Sono pervenuti

cinque bianchi sul totale dei campionamenti eseguiti e sono relativi a quattro delle cinque località, almeno uno per ogni periodo di raccolta.

La fase di analisi richiede diversi mesi durante i quali i campioni non ancora esaminati vengono conservati in un luogo asciutto a temperatura ambiente. Non essendoci un rischio di alterazione degli stessi, non si ritiene necessario conservare i barattoli a temperature inferiori. I campioni si presentano dunque come barattoli pieni di acqua e a una prima osservazione non si notano plastiche di dimensioni tali da esser riconosciute a occhio nudo. Alcuni campioni, dopo qualche settimana fermi, presentano un deposito sul fondo.

In figura 3.2 si può vedere la fase di raccolta di un campione, eseguita seguendo le indicazioni, e in figura 3.3 un esempio di bottiglie utilizzate. Entrambe le figure sono prese dalla pagina Facebook del progetto.



Figura 3.2 – Campionamento neve



Figura 3.3 – Bottiglie utilizzate

4. Preparazione dei campioni

I campioni di neve prelevati sono di fatto delle sospensioni acquose ed è necessario separare le microplastiche dagli altri contaminanti presenti nell'acqua che non sono oggetto di analisi. Si procede seguendo la medesima metodologia esposta nello studio di Parolini *et al.* (2021) che prevede una separazione per densità, una digestione della frazione d'interesse per eliminare i potenziali residui organici presenti, una filtrazione della sospensione e un'essiccazione finale dei filtri per poter procedere con le analisi. La fase di preparazione dei campioni si svolge presso il laboratorio di catalisi ambientale (Blu Nox) al Politecnico di Torino nel periodo compreso fra marzo 2021 e luglio 2021.

4.1. Separazione

Le caratteristiche fisiche dei polimeri permettono una buona separazione per densità già con l'utilizzo di una soluzione satura di NaCl ($1,2 \text{ g/cm}^3$), come riportato nella *review* a cura di Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) in cui vengono confrontate diverse metodologie. La saturazione di una soluzione acquosa con NaCl si raggiunge con l'aggiunta di 35 g di soluto ogni 100 ml di solvente, valore intermedio fra due studi presi come riferimento (Parolini *et al.*, 2021; Coppock *et al.*, 2017).

Vengono utilizzati tre imbuto separatori con una capienza nominale di 250 ml (la capienza massima sfruttata è in media di 360 ml), fissati ai relativi supporti, chiusi con un foglio di carta stagnola per evitare contaminazioni durante le fasi di riposo. La misurazione del volume avviene tramite l'utilizzo di un cilindro graduato e un imbuto. Il soluto viene miscelato ai campioni in becher disposti su un agitatore magnetico. La quantità di NaCl viene prelevata con una spatola in acciaio e pesata su una bilancia analitica. Tutta la strumentazione utilizzata è in vetro o in ceramica, ad eccezione dell'ancoretta magnetica e del rubinetto dell'imbuto separatore che sono in plastica ma non si ritiene possano degradarsi, contaminando i campioni, vista la limitata aggressività degli agenti chimici utilizzati. Ogni oggetto, prima e dopo l'utilizzo, viene lavato e sciacquato con acqua distillata per rimuovere qualsiasi residuo. Durante tutte le fasi di miscelazione i becher e il contenitore in ceramica vengono coperti con dei fogli di carta stagnola.

Si utilizza del normale sale per lavastoviglie (in confezione di cartone) invece di NaCl da laboratorio dal momento che composizione chimica e il numero CAS sono i medesimi. Pur prendendo ogni precauzione possibile al fine di evitare contaminazioni da laboratorio, incluso l'indossare sempre un camice in cotone, si preparano due bianchi aggiuntivi con le soluzioni sature.

La preparazione dei campioni inizia misurando il volume totale e suddividendolo in una o più unità con volume variabile fra 200 e 355 ml. Per ognuna di queste unità viene calcolata e pesata la quantità di NaCl necessaria per la saturazione. La frazione di campione viene trasferita in un becher posto sull'agitatore magnetico. Si imposta una velocità di miscelazione variabile fra 300 e 400 rpm, si aggiunge il soluto gradualmente e si lascia miscelare per almeno 30 min, fino al completo scioglimento. Si procede poi con la rimozione dell'ancoretta magnetica e il trasferimento della soluzione nell'imbuto separatore. Il becher utilizzato per la miscelazione viene risciacquato con 20 ml di soluzione satura per tre volte per raccogliere ogni potenziale residuo. Per concludere, si copre l'imboccatura dell'imbuto separatore con un foglio di carta stagnola e si lascia il campione a riposare per una notte, come visibile in figura 4.1.



Figura 4.1 – Campioni pronti per la separazione per densità

4.2. Digestione

La fase di separazione permette di accumulare sul fondo dell'imbuto la frazione più pesante, come terreno e sabbia, e nella parte superiore tutta la sospensione più leggera, sia le microplastiche sia le sostanze organiche raccolte. Poiché l'obiettivo è quello di isolare le microplastiche, è necessario eliminare l'eventuale frazione organica e per farlo si procede con la digestione utilizzando perossido di idrogeno al 30% oppure si diluisce, nelle opportune proporzioni, una soluzione di acqua distillata e perossido di idrogeno al 35%.

Basandosi sullo studio di Parolini *et al.* (2021), viene scartato l'80% circa del campione aprendo il rubinetto dell'imbuto e misurando il volume con un cilindro graduato. Dopo aver lavato accuratamente il cilindro, si misura il volume rimanente e si aggiunge altrettanto perossido di idrogeno in modo da avere una soluzione 1:1 che deve riposare una notte per una completa digestione. La soluzione viene messa o all'interno dell'imbuto o all'interno di un becher, in entrambi i casi si copre l'imboccatura con un foglio di carta stagnola. La scelta dipende unicamente da una questione logistica in quanto liberando gli imbusti è possibile preparare nuovi campioni e velocizzarne la preparazione.

4.3. Filtrazione per gravità

Per filtrare la soluzione si utilizzano filtri Whatman in cellulosa di grado 1 (diametro 125 mm; dimensione dei pori 11 μm), piegati in quattro per formare un cono da inserire in un imbuto in vetro o in plastica coperta da carta stagnola. La soluzione da filtrare viene versata direttamente dall'imbuto oppure rabboccata versandola dal becher, a seconda di come viene fatta la digestione. In entrambi i casi, per limitare la contaminazione da laboratorio, si copre l'imbuto, come si può vedere in figura 4.2 e in figura 4.3. La pellicola

in plastica ad uso alimentare presente in figura 4.2 non è fonte di contaminazione per il tempo e il modo in cui viene utilizzata poiché non va a toccare direttamente il campione.

Terminata la filtrazione, si risciacqua l'imbuto o il becher con acqua distillata per raccogliere eventuali particelle rimaste adese alle pareti. La soluzione filtrata viene raccolta in una beuta (graduata o codata) e viene successivamente smaltita.



Figura 4.2 – Filtrazione dall'imbuto separatore



Figura 4.3 – Filtrazione utilizzando i becher

4.4. Essiccazione e conservazione

I filtri vengono posti nelle capsule Petri in vetro e lasciati in essiccatore per almeno 48 ore passate le quali vengono preparati per la conservazione. Ogni filtro viene chiuso con un quadrato di carta stagnola per evitare il contatto diretto con la capsula Petri in polistirolo in cui viene riposto. Nelle figure 4.4 e 4.5 si possono vedere questi due step.



Figura 4.4 – Filtri disposti nell'essiccatore



Figura 4.5 – Filtri avvolti nella carta stagnola e disposti nelle capsule Petri

4.5. Bianchi

Il ruolo dei bianchi è quello di fungere da controllo delle condizioni ambientali al momento della raccolta, per cui si presentano come dei barattoli vuoti etichettati con la medesima denominazione del campione cui fanno riferimento. I due bianchi etichettati come “bianco sale lavastoviglie” e “bianco sale laboratorio” sono relativi alle soluzioni sature utilizzate nelle fasi di risciacquo e vengono considerati come i campioni di controllo del soluto e delle condizioni del laboratorio.

La preparazione dei bianchi è del tutto analoga a quella dei campioni normali, l'unica differenza si trova nella fase di separazione. Per questi, infatti, non è necessario misurare il volume raccolto ma si deve prelevare qualsiasi elemento presente nel barattolo o nella bottiglia risciacquando accuratamente con la soluzione satura. Il volume totale scelto è di 200 ml, versato a più riprese nel barattolo e trasferito direttamente nell'imbuto separatore. Successivamente si eseguono i passaggi di scarto, digestione, filtrazione ed essiccazione.

Per i bianchi relativi ai due sali si utilizza la soluzione avanzata a fine preparazione. Il bianco del sale da laboratorio, dopo la fase di separazione, non presenta precipitato per cui si è deciso di non scartarne nulla e procedere con i passaggi successivi. Il bianco relativo al sale da lavastoviglie invece presenta del precipitato per cui si procede scartandone circa l'80% e proseguendo con i restanti passaggi.

4.6. Osservazioni e riepilogo

Per la preparazione di un filtro sono necessari cinque giorni, uno per la separazione, uno per la digestione, uno per la filtrazione e due per l'essiccazione. In totale vengono realizzati 88 filtri, a cui si aggiunge un filtro vergine da utilizzare per la preparazione del bianco dello strumento di analisi. Visto l'elevato numero di doppioni relativi ad alcuni siti, si è deciso di limitare ad un massimo di sei filtri (due barattoli grandi oppure tre medi) per ogni campione ricevuto.

Nella tabella 4.1 si trova il riepilogo dei campioni processati mentre nell'[appendice A](#) si può visionare la tabella completa di tutti i passaggi. I simboli presenti nella prima colonna sono mantenuti nei capitoli successivi per identificare i campioni. Nell'ultima colonna, denominata “rimanente”, si intende il volume di campione residuo prima dell'aggiunta del perossido di idrogeno necessario per la digestione.

Tabella 4.1 – Tabella riassuntiva dei campioni

	Campione	Totale [ml]	NaCl [g]	Scarto [ml]	Rimanente [ml]
○	ALP001_A	1 080	379	1 200	290
▲	ALP001_B	1 210	425	1 230	400
△	ALP001_B_bianco	200	70	160	40
▲	ALP001_B_ter	540	189	580	163
■	ALP001_C	1 665	582,6	1 770	470
○	ALP002_A	540	190	580	183
▲	ALP002_B	1 040	365	1 120	312
▲	ALP002_B_bis	1 090	382,6	1 160	318
■	ALP002_C	750	262,5	810	221
○	ALP003_A	1 640	576	1 735	450
○	ALP003_A_bis	1 350	472,5	1 450	439
○	ALP003_A_bis_bianco	200	70	160	40
▲	ALP003_B	1 350	474	1 450	383
▲	ALP003_B_bis	270	94,7	292	81
■	ALP003_C	1 570	549,5	1 700	482
○	ALP004_A	1 520	533,5	1 470	438
▲	ALP004_B	1 350	474	1 450	376
△	ALP004_B_bianco	200	70	160	40
■	ALP004_C	1 650	577,5	1 740	476
○	ALP005_A	270	94,7	295	76
▲	ALP005_B	810	285	870	243
■	ALP005_C	270	95	290	77
□	ALP005_C_bianco	200	70	160	68
■	ALP005_C_bis	1 080	378,5	1 160	304
□	ALP005_C_bis_bianco	200	70	160	40
✕	ALP00X_Torino	740	259,5	790	239
☆	Bianco sale laboratorio	100	35	/	100
☆	Bianco sale lavastoviglie	183	sat	143	40
Totale		23 068	8 025,1	24 085	6 789

5. Analisi quantitativa e qualitativa

La fase di analisi dei campioni è lunga e complessa poiché è necessario sia identificare il filtrato d'interesse sia analizzarlo chimicamente. Nello studio di Shim *et al.* (2017) vengono raccolte le diverse metodologie adottate, che, in linea generale, si possono riassumere in una prima identificazione fisica seguita da un'identificazione chimica. L'identificazione fisica viene eseguita con l'utilizzo di un microscopio mentre per l'identificazione chimica si raccomanda l'utilizzo della spettroscopia infrarossa in quanto, rispetto ad altri metodi, permette di svolgere un'analisi piuttosto rapida senza danneggiare permanentemente il campione.

La spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier, nota come FTIR, viene spesso utilizzata per identificare le microplastiche per via del suo principio di funzionamento. Lo spettrometro si compone di una sorgente infrarossa (IR), un laser, un interferometro, diversi specchi e un rivelatore. La sorgente IR genera un fascio policromatico che viene collimato, unitamente al laser, all'interno dell'interferometro, composto da due specchi (uno fisso e uno mobile) e una lente separatrice, che ha il compito di generare delle figure di interferenza. All'uscita dall'interferometro il raggio IR, convogliato verso il campione opportunamente preparato per l'analisi, viene raccolto da un rivelatore mentre il laser, utilizzato come controllo della posizione dello specchio mobile, viene intercettato da un diodo. Il rivelatore restituisce un interferogramma che, essendo complesso e di difficile interpretazione, viene convertito, tramite l'utilizzo della trasformata di Fourier, nello spettro delle frequenze che lo compongono. Così facendo si ottiene un grafico in cui è possibile individuare dei picchi in corrispondenza delle frequenze assorbite dal campione al passaggio del fascio IR. Le frequenze con cui si lavora sono quelle caratteristiche delle vibrazioni dei legami chimici, comprese fra 4 000 e 400 cm^{-1} (MID-IR), motivo per cui, poiché ogni tipologia di legame ha delle frequenze di vibrazioni uniche, lo spettro ottenuto permette di identificare i legami presenti e di conseguenza la natura chimica dell'oggetto in analisi.

Quando si hanno campioni solidi la fase di preparazione può rivelarsi delicata e prendere molto tempo, ragion per cui si preferisce utilizzare un micro-FTIR unito ad un obiettivo a riflessione totale attenuata (ATR). La differenza fra spettrometro FTIR e micro-FTIR riguarda la parte dello strumento che si interfaccia con il campione: il fascio IR, uscito dall'interferometro, viene trasmesso ad un microscopio con il quale è possibile ingrandire otticamente il campione prima di fare un'analisi localizzata, in trasmissione oppure in riflessione. L'obiettivo ATR, più correttamente detto micro-ATR, è un accessorio convertibile che permette di individuare la fibra o il frammento d'interesse con un ingrandimento per poi procedere con l'analisi. Questa viene effettuata ponendo a contatto il cristallo del micro-ATR con il campione senza la necessità di cambiare l'intero obiettivo. Il fascio IR, incanalato dal cristallo, si interfaccia con il campione dal quale è in parte assorbito e successivamente viene indirizzato verso il rivelatore che ne restituisce l'interferogramma, poi convertito in spettro delle frequenze. Questo procedimento non richiede una preparazione del campione, è ripetibile e permette di scegliere se procedere in riflessione o in trasmissione.

Le analisi dei campioni si svolgono a partire da ottobre 2021 presso il laboratorio di spettroscopie e caratterizzazione di superficie del Politecnico di Torino. In figura 5.1 si mostra lo spettrometro FTIR Tensor 37 che funge da sorgente IR per l'Hyperion 2000. Sul pc collegato allo strumento è installato il software OPUS (ver. 6.5), utilizzato per

visualizzare gli spettri ed eseguire le ricerche in libreria. Tutti gli strumenti sono prodotti della Bruker, compreso il software.

Di seguito si discute la fase di analisi ottica, svolta utilizzando il microscopio e l'obiettivo ATR (Bruker) con ingrandimento 20x, durante la quale viene fatto un conteggio quantitativo del filtrato; successivamente viene trattata la parte di analisi spettroscopica.



Figura 5.1 – Sistema di analisi composto da spettrometro Tensor 37 e microscopio Hyperion 2000

5.1. Analisi ottica

Nei primi giorni di febbraio una perturbazione ha portato ingenti quantità di sabbia dal Sahara sulle Alpi (ANSA, 2021), andando a sporcare la neve raccolta da allora in avanti. Prima di utilizzare il microscopio viene quindi fatta una selezione dei filtri: degli 88 preparati ne vengono scelti 36, almeno uno per ogni campione più i vari bianchi. Gli altri filtri vengono scartati in quanto sono molto macchiati, contengono troppa sabbia oppure sono tanto rovinati da non poter essere fissati sul portacampione. La sabbia giunta con la perturbazione è estremamente fine e in fase di separazione non si riesce a eliminarla del tutto. Una parte di essa rimane in sospensione, aderisce alle pareti degli imbuto e non può essere scartata prima di arrivare alla filtrazione, com'è visibile in figura 5.2. L'effetto che la sabbia ha sui filtri è visibile in figura 5.3, in cui si può notare come questi rimangano inevitabilmente macchiati.

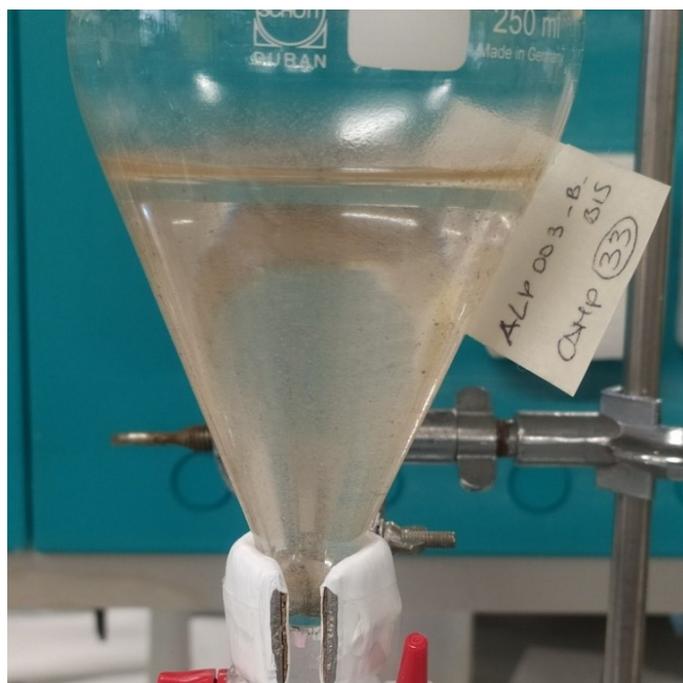


Figura 5.2 – Campione con sabbia post separazione

Ogni filtro ha un diametro di 125 mm ma lo strumento permette uno spostamento massimo, sugli assi x e y, di 50x75 mm. Considerando come viene svolta la fase di filtrazione, si sceglie di focalizzare l'analisi sulla parte centrale del filtro dove idealmente si concentra il filtrato. Per evidenziare la zona si utilizza una maschera che permette di coprire la parte scartata e di muoversi all'interno di un quadrato 30x30 mm, centrato rispetto alle pieghe del filtro. Si attua quindi una sorta di scansione riga per riga, coprendo uno spessore di circa 10 mm a cavallo della piega orizzontale del filtro. Nella figura 5.3 è mostrato un filtro fissato sul portacampione e in figura 5.4 il medesimo filtro con la maschera adoperata.

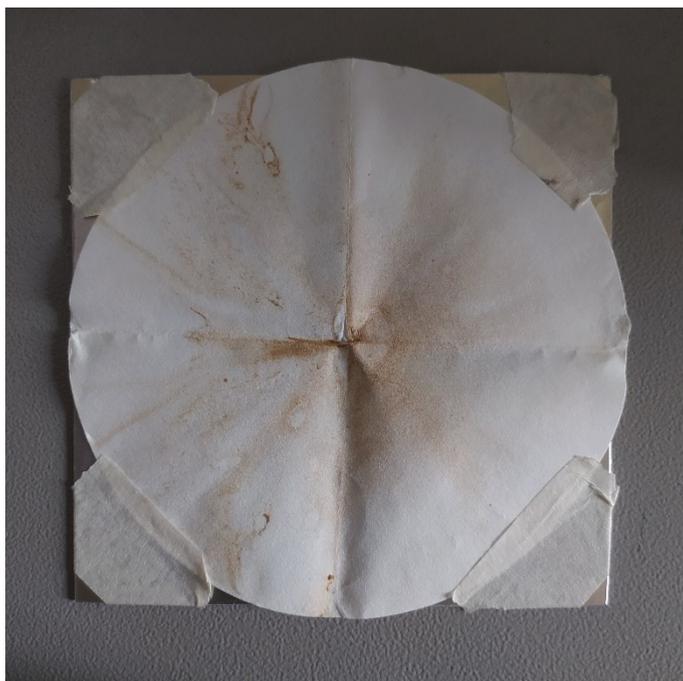


Figura 5.3 – Uno dei filtri scartati per troppa sabbia (n° 57), fissato sul porta campione

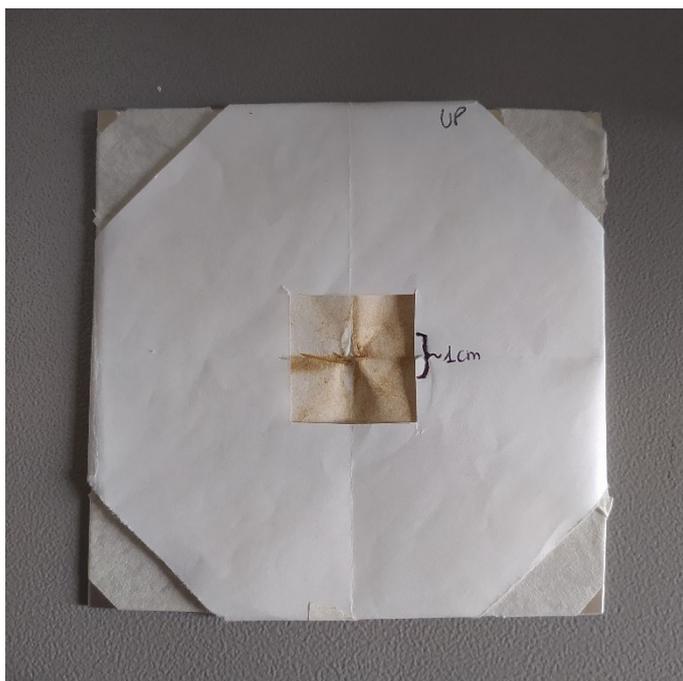


Figura 5.4 – Filtro con maschera pronto per l'analisi

L'analisi ottica si svolge utilizzando l'obiettivo ATR 20x così da poter fare un'analisi FTIR delle particelle d'interesse a mano a mano che vengono individuate. Contestualmente alla scansione si tiene il conto degli oggetti rintracciati, suddividendoli in fibre, particelle nere, colorate, trasparenti, grandi e mix. Questa suddivisione si basa unicamente sull'aspetto estetico di ciò che si riesce a visualizzare: vengono conteggiate come fibre sia quelle derivanti da tessuti sia quelle di origine vegetale; la voce mix fa riferimento alla situazione in cui sono presenti troppe particelle diverse per essere

conteggiate singolarmente, come succede per i filtri contenenti più sabbia; dimensione e colore delle particelle sono, in generale, condizionate dalla risoluzione dello schermo LCD e dell'oculare dello strumento. Nella tabella 5.1 si riassume il conteggio nei campioni analizzati mentre in [appendice B](#) si riportano le tabelle dettagliate dei singoli filtri, comprensive anche delle informazioni relative alle analisi FTIR e delle motivazioni dietro alla scelta di analizzarli o meno.

Tabella 5.1 – Tabella riassuntiva del conteggio del filtrato

	Campione	Fibra	Nero	Colorato	Trasparente	Grandi	Mix	Altro
●	ALP001_A	35	132	82	89	19	29	0
▲	ALP001_B	41	20	11	14	1	0	4
△	ALP001_B Bianco	31	5	0	4	0	0	3
▲	ALP001_B_ter	23	30	19	14	0	55	0
■	ALP001_C	30	68	46	35	38	123	3
○	ALP002_A	27	119	31	18	3	69	1
▲	ALP002_B	10	16	21	13	14	58	24
▲	ALP002_B_bis	27	27	48	31	3	29	1
■	ALP002_C	90	22	9	6	3	0	6
○	ALP003_A	162	32	5	21	5	0	7
○	ALP003_A_bis	62	22	14	22	1	118	0
○	ALP003_A_bis Bianco	46	16	5	20	0	0	0
▲	ALP003_B	72	116	62	38	51	40	0
▲	ALP003_B_bis	18	1	2	2	1	12*	0
■	ALP003_C	53	26	23	42	0	40	0

○	ALP004_A	99	14	16	9	1	0	2
▲	ALP004_B	56	51	47	32	29	116	23
△	ALP004_B Bianco	31	9	1	1	0	0	1
■	ALP004_C	52	36	53	46	0	85	7
○	ALP005_A	20	27	17	22	4	27*	0
▲	ALP005_B	29	58	39	15	24	111*	1
■	ALP005_C	13	15	16	4	0	4	0
□	ALP005_C Bianco	50	16	2	2	2	0	0
■	ALP005_C_bis	25	41	26	23	4	1	3
□	ALP005_C_bis Bianco	82	27	18	26	0	0	0
✕	TORINO	13	19	5	1	1	35*	0
☆	Bianco sale laboratorio	30	2	1	1	0	0	0
☆	Bianco sale lavastoviglie	58	57	31	16	0	82	0

I valori contrassegnati dall'asterisco indicano dei conteggi parziali: si tratta di filtri particolarmente sporchi per i quali un conteggio preciso è quasi impossibile. In alcuni casi i filtri disponibili non sono in condizioni ottimali ma, per avere almeno un riscontro per ogni campione, si prova a fare ugualmente la scansione.

Nella colonna "altro" sono conteggiate le macchie presenti sul filtro, causate prevalentemente dalla polvere rimasta dopo separazione e digestione.

Dopo la scansione al microscopio viene sempre effettuato un controllo "a vista" su tutto il filtro per conteggiare anche le fibre e le particelle che si riescono a vedere senza ingrandimento e si trovano al di fuori dell'area individuata dalla maschera.

5.2. *Analisi spettroscopica*

L'obiettivo ATR, utilizzato per l'analisi ottica, permette di eseguire la spettroscopia non appena si individua un oggetto d'interesse. Prima di eseguire questa analisi, che si svolge o in parallelo alla scansione ottica o in un secondo momento, è necessario impostare correttamente i parametri e registrare il *background* del filtro vergine, così che venga sottratto ad ogni scansione lasciando unicamente lo spettro dell'oggetto individuato. Lo strumento si utilizza in riflessione, con una risoluzione di 4 cm^{-1} , e si eseguono 16 scansioni per ogni analisi. Il grafico che compare a schermo al termine dell'analisi è uno spettro di assorbimento nel range delle frequenze che vanno da 4000 a 600 cm^{-1} . Il software utilizzato, OPUS (ver. 6.5), permette di fare un'immediata ricerca nelle librerie disponibili per identificare il campione. Vengono utilizzate due librerie fornite dalla Bruker, denominate "BPAD" e "POLYMER", entrambe contenenti prevalentemente spettri polimerici.

Per eseguire l'analisi è sufficiente centrare, con l'ausilio dell'oculare, la fibra o la particella d'interesse e abbassare fino al contatto il cristallo del micro-ATR. Si modifica quindi la modalità di utilizzo dello strumento passando da ottica a infrarossa in riflessione e si avvia la scansione, della durata di un paio di minuti, dal software. Si eseguono in totale, fra i diversi campioni, 356 analisi di cui 80 vengono segnalati come polimeri dalla ricerca in libreria, ma di questi solo 19 hanno effettivamente uno spettro apprezzabile. I risultati delle analisi spettroscopiche sono riportati e discussi nel [capitolo 7](#).

In questa fase di analisi vengono riscontrati due problemi principali: la dimensione del filtrato e l'ingente presenza di sabbia. Le fibre individuate, nonostante siano lunghe anche qualche millimetro, hanno uno spessore generalmente inferiore al millimetro e ciò rende difficile farne un'analisi accurata. Inoltre, in molti filtri le particelle che destano più interesse, come quelle colorate o trasparenti, sono spesso circondate da granelli di sabbia che rendono difficoltoso un contatto mirato con il cristallo. Per confermare la natura delle particelle e delle fibre le cui analisi risultano dubbie, si opta per un ingrandimento ulteriore utilizzando un microscopio elettronico a scansione.

6. Ingrandimento FESEM

Il microscopio elettronico a scansione (SEM) è uno strumento che consente di svolgere un'analisi morfologica della superficie del campione con risoluzione e ingrandimenti molto elevati (anche > 100 000x). Ciò è reso possibile grazie agli elettroni che, sostituendo il classico fascio di luce dei microscopi ottici, permettono una ricostruzione dettagliata della superficie e una buona profondità di campo, restituendo a schermo un'immagine simil-3D del campione in analisi. Il principio di funzionamento del SEM è relativamente semplice: una sorgente termoionica (in W o LaB₆) genera un fascio di elettroni che viene focalizzato attraverso delle lenti magnetiche e indirizzato sul campione, su cui impatta. Il microscopio elettronico a scansione in emissione di campo (FESEM) differisce dal classico SEM nella modalità in cui viene generato il fascio di elettroni: esso utilizza un forte campo elettrico applicato alla sorgente (generalmente in W). In entrambi gli strumenti, l'interazione fra elettroni e campione permette di raccogliere, attraverso diversi rivelatori, gli elettroni secondari (SE), gli elettroni *backscattered* (BSE), gli elettroni Auger o i raggi X generati dall'impatto (in quest'ultimo caso si parla di analisi spettroscopiche EDS e WDS). A seconda della modalità in cui si esegue l'analisi, si possono avere informazioni riguardanti la morfologia o le specie chimiche presenti. Poiché si utilizza un fascio di elettroni con un diametro molto ridotto (10-30 µm per il SEM e 5-20 nm per il FESEM), è necessario operare in condizioni di alto vuoto.

La scelta di eseguire un ingrandimento utilizzando il FESEM è dettata dal fatto che, a differenza dello studio di Parolini *et al.* (2021) preso come riferimento, non vengono individuati molti oggetti di dimensioni apprezzabili con ingrandimenti ottici e inoltre, i risultati derivanti dalle ricerche in libreria degli spettri ottenuti con lo spettrometro micro-FTIR sono spesso poco esaustivi. Operare un ingrandimento maggiore permette di stimare l'origine del filtrato che non si riesce ad analizzare spettroscopicamente, formulando delle ipotesi basate sul suo aspetto. La preparazione dei campioni, tuttavia, risulta distruttiva in quanto si va a danneggiare permanentemente il filtro. Per questo motivo le analisi al SEM vengono divise in due tranche e in [appendice C](#) si riporta la lista dei filtri analizzati.

Il campione che si vuole analizzare va opportunamente posizionato sul *pin stub*, una sorta di bottoncino con un diametro operativo di circa un centimetro, con l'ausilio di un nastro biadesivo al carbonio. Poiché le dimensioni dei filtri sono molto maggiori di quelle dei portacampioni utilizzati, individuato l'oggetto di cui si vuole eseguire l'analisi, si procede prelevando direttamente con il biadesivo la porzione d'interesse. Quando questo non risulta efficace, viene ritagliata la parte di filtro contenente la fibra o la particella selezionata e la si pone sul biadesivo. Lo strumento utilizzato è il FESEM Zeiss modello Merlin (immagini generate dagli elettroni secondari (SE)), con ingrandimenti da 50x a 100 000x.

Le immagini ottenute mostrano la presenza di molti residui di origine organica, come il frammento ligneo visibile in figura 6.1, e confermano la presenza di sabbia e cristalli di sale. Si possono inoltre vedere diverse fibre, alcune delle quali sono di origine naturale mentre altre hanno una natura polimerica. Le fibre sintetiche si riconoscono in quanto risultano più sfilacciate di quelle naturali, come si può notare nelle figure 6.2, 6.3 e 6.4.

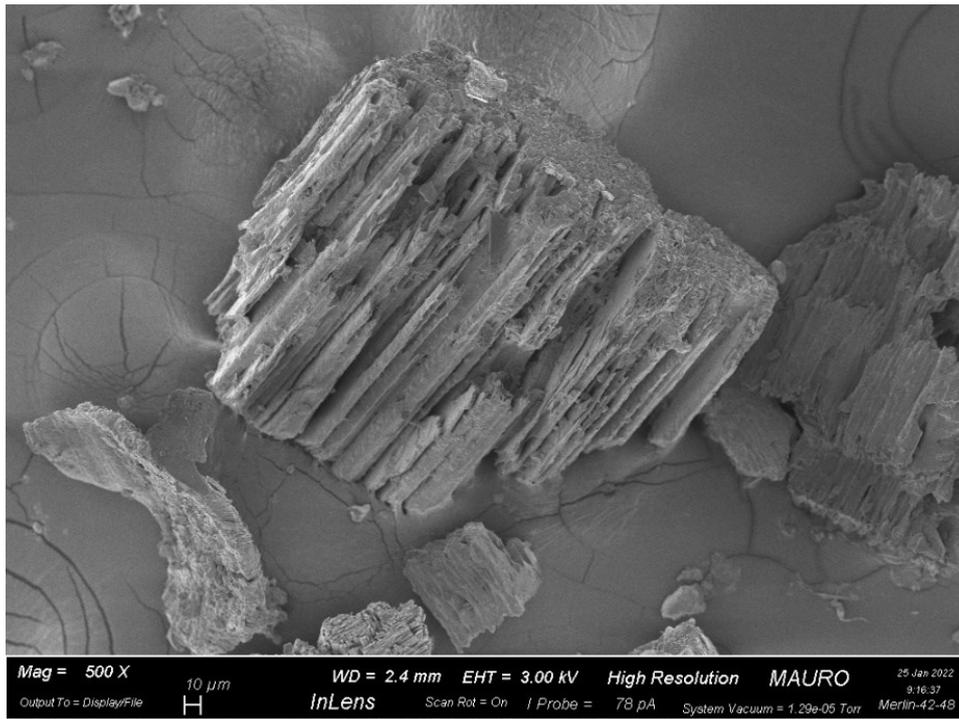


Figura 6.1 – Frammento ligneo dal campione ALP003_B (n° 27)

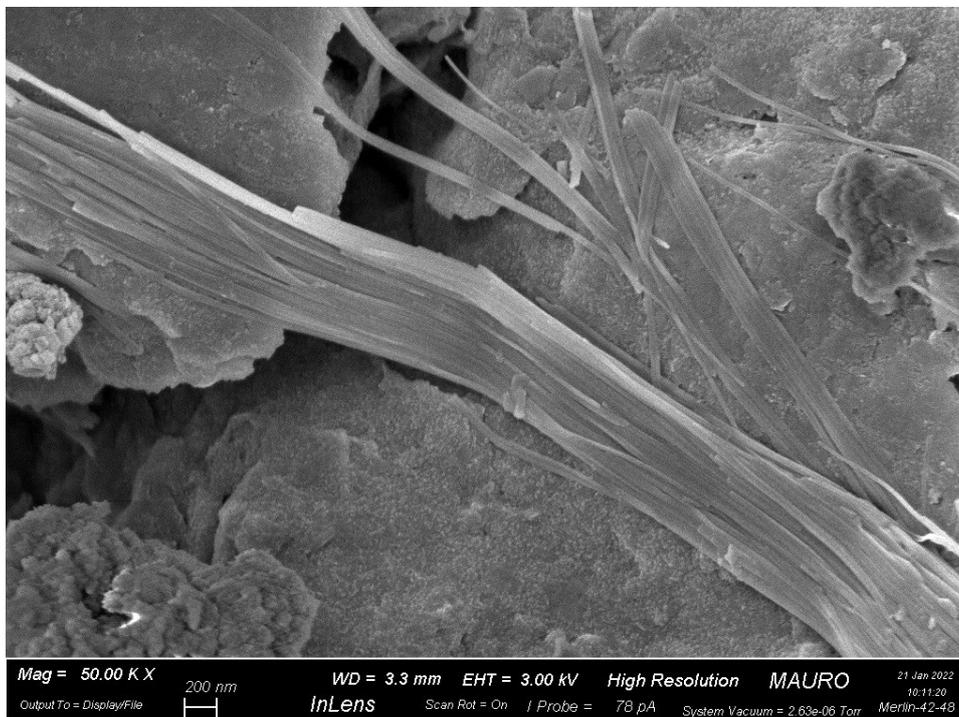


Figura 6.2 – Fibra sintetica dal campione ALP005_B (n° 30)

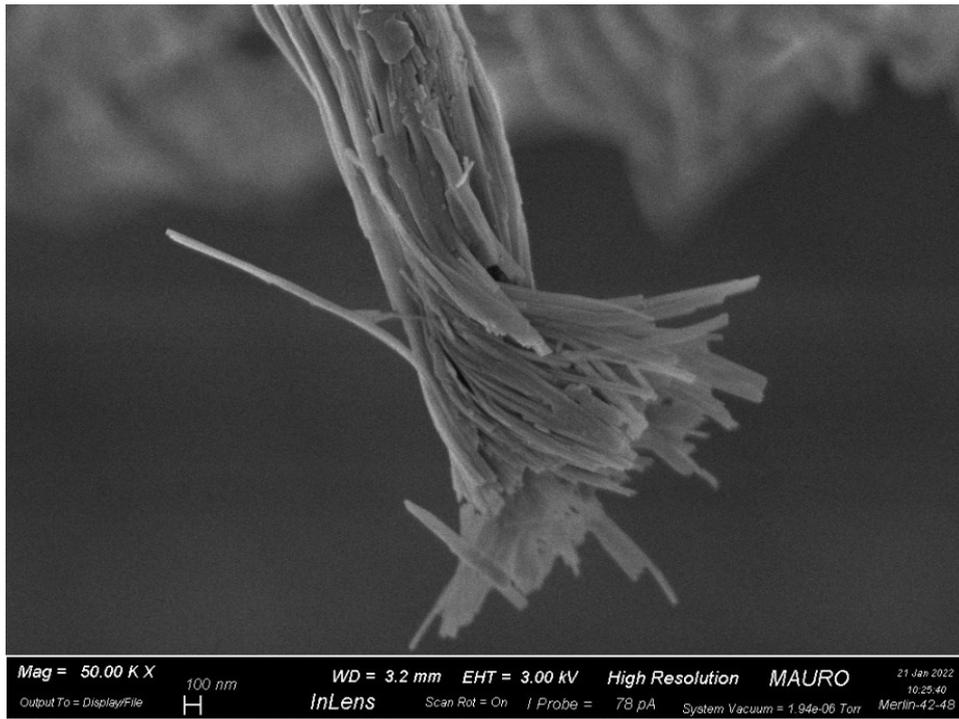


Figura 6.3 – Fibra sintetica dal campione ALP005_B (n° 30)

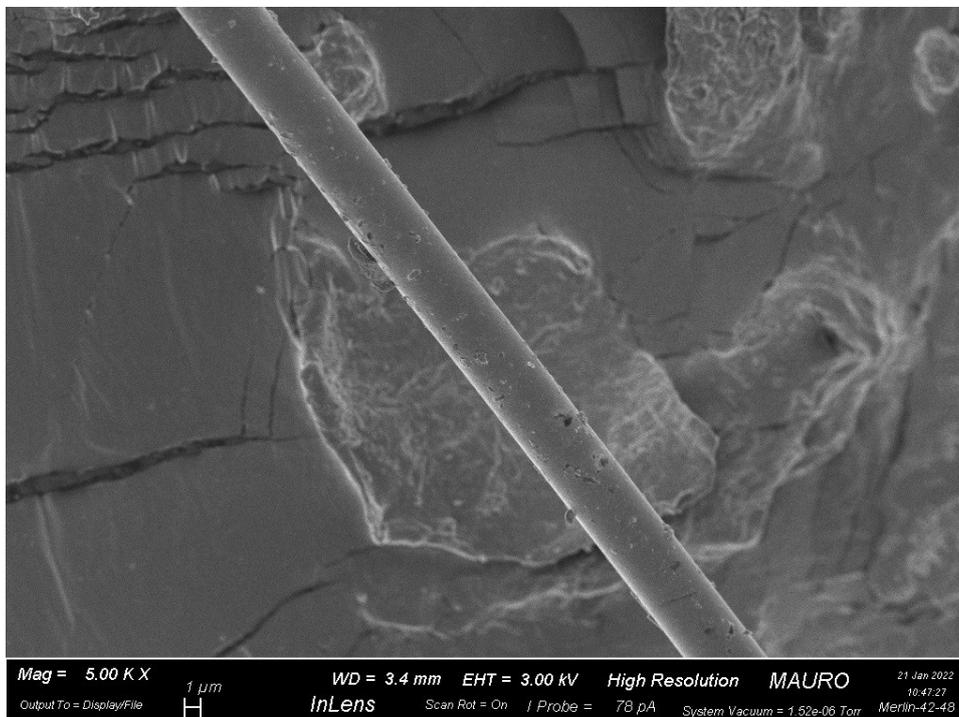


Figura 6.4 – Fibra naturale dal campione ALP002_C (n° 65)

7. Risultati

I dati relativi alle precedenti analisi vengono organizzati e rielaborati per dare informazioni di tipo quantitativo, con una distribuzione del filtrato osservato, e qualitativo, con i risultati delle analisi spettroscopiche.

Di seguito si discutono separatamente i risultati quantitativi, ottenuti inserendo i dati in MATLAB® e ricavandone un grafico della distribuzione, e quelli qualitativi, riportando l'esito delle ricerche in libreria effettuate utilizzando OPUS. Infine, si propone un tentativo di confronto dei risultati con alcuni studi analoghi svolti sulla rilevazione di microplastiche nella neve.

7.1. Distribuzione

Partendo dai dati del conteggio delle particelle trovate, visibili in [tabella 5.1](#), si prova a eseguire un'analisi chemiometrica della distribuzione del filtrato, utilizzando un programma scritto in MATLAB®. Le analisi di questo tipo servono a mettere assieme informazioni diverse riguardanti uno stesso campione per confrontarlo più agevolmente con gli altri. Nel caso in esame si mettono in relazione il luogo del prelievo, la tipologia di filtrato trovato e il periodo in cui si svolge il campionamento per fare un confronto e stabilire quale tipo di relazione possa esserci fra i diversi campioni. Il risultato ottenuto con questo metodo non evidenzia differenze rilevanti nella distribuzione del filtrato, al contrario conferma la somiglianza fra i differenti campioni.

Si sceglie dunque di cambiare approccio e confrontare la concentrazione di filtrato trovato per ogni campione, sempre utilizzando MATLAB® per l'analisi dei dati. Si normalizzano le quantità di particelle (sommando il conteggio delle colonne "nero, colorato, trasparente, grandi e mix") e di fibre sul volume di campione filtrato (colonna "rimanente" visibile nella [tabella 4.1](#)) e si traccia il grafico, riportato in figura 7.1, che mostra in ordinata il conteggio normalizzato di particelle e in ascissa quello di fibre. La colonna denominata "altro" non viene considerata in quanto è un conteggio delle macchie presenti sul filtro. La codifica dei simboli sul grafico è la medesima della [tabella 5.1](#).

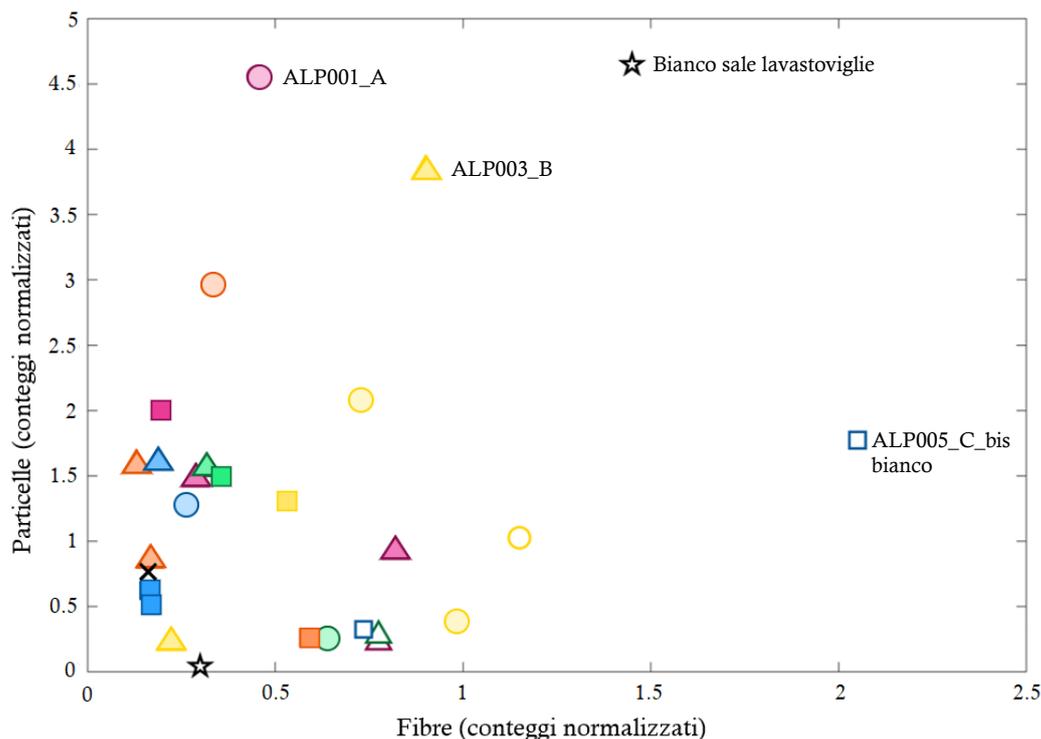


Figura 7.1 – Grafico della distribuzione. Le unità di misura degli assi si intendono in [n.ro/ml]

Dal grafico si può notare una distribuzione omogenea per i diversi campioni fatta eccezione per i quattro di cui è riportata l’etichetta. Nel dettaglio: il campione ALP001_A corrisponde a una delle primissime neviccate della stagione che verosimilmente ha ripulito l’aria; il campione ALP003_B anticipa di circa una settimana la “nevicata rossa” dovuta alla sabbia del Sahara; il bianco del sale da lavastoviglie viene preparato utilizzando l’avanzo di soluzione satura ottenuta con lo stesso durante i diversi mesi di preparazione dei campioni; il campione ALP005_C_bis_bianco, a differenza degli altri campioni ALP005, proviene da una zona molto più accessibile e il volume filtrato, essendo arbitrario, è circa quattro volte inferiore agli altri. Anche gli altri bianchi apparentemente mostrano concentrazioni maggiori se confrontati con i rispettivi campioni ma ciò è sempre dovuto al volume ridotto con cui sono stati preparati.

In generale la concentrazione di particelle è maggiore rispetto alla concentrazione di fibre e ciò è influenzato dalle perturbazioni sabbiose del periodo che hanno inevitabilmente contaminato la neve raccolta.

Per completezza, in [appendice D](#) si riporta il grafico completo di tutte le etichette dei singoli campioni.

7.2. Spettroscopia

L’analisi spettroscopica, effettuata con lo spettrometro micro-FTIR, restituisce uno spettro di assorbimento che va confrontato con quelli contenuti nelle librerie disponibili, “BPAD” e “POLYMER”, per definire la natura dell’oggetto in esame. Vengono effettuate 356 analisi e di queste 80 corrispondono a polimeri secondo i risultati delle ricerche. Tuttavia, la corrispondenza non sempre è attendibile: spesso il polimero compare a metà

della lista e la *hit quality* (una sorta di voto che OPUS assegna alla qualità della corrispondenza fra spettro misurato e spettro in libreria) è bassa. Per questo motivo vengono confermati come polimeri solamente 19 delle 80 corrispondenze e di queste solo 10 presentano spettri confrontabili in maniera apprezzabile. Per meglio comprendere che cosa si intende per apprezzabilità della corrispondenza, si riportano due esempi di spettri ottenuti dalle analisi effettuate. In figura 7.2 è visibile uno spettro con una corrispondenza elevata come *hit quality* ma non altrettanto apprezzabile graficamente. In figura 7.3 si può osservare uno spettro con una corrispondenza grafica ottima e un elevato *hit quality*. In entrambe le figure la curva in rosso rappresenta lo spettro relativo al campione analizzato e la curva in blu lo spettro con cui il programma segnala una corrispondenza, presente in una delle due librerie utilizzate. Al di sotto del grafico delle due curve è visibile la lista dei materiali che presentano una corrispondenza con il campione analizzato, elencati in ordine decrescente, mentre nel riquadro giallo nella metà superiore vengono riportate tutte le informazioni disponibili riguardo il materiale selezionato, compreso il produttore.

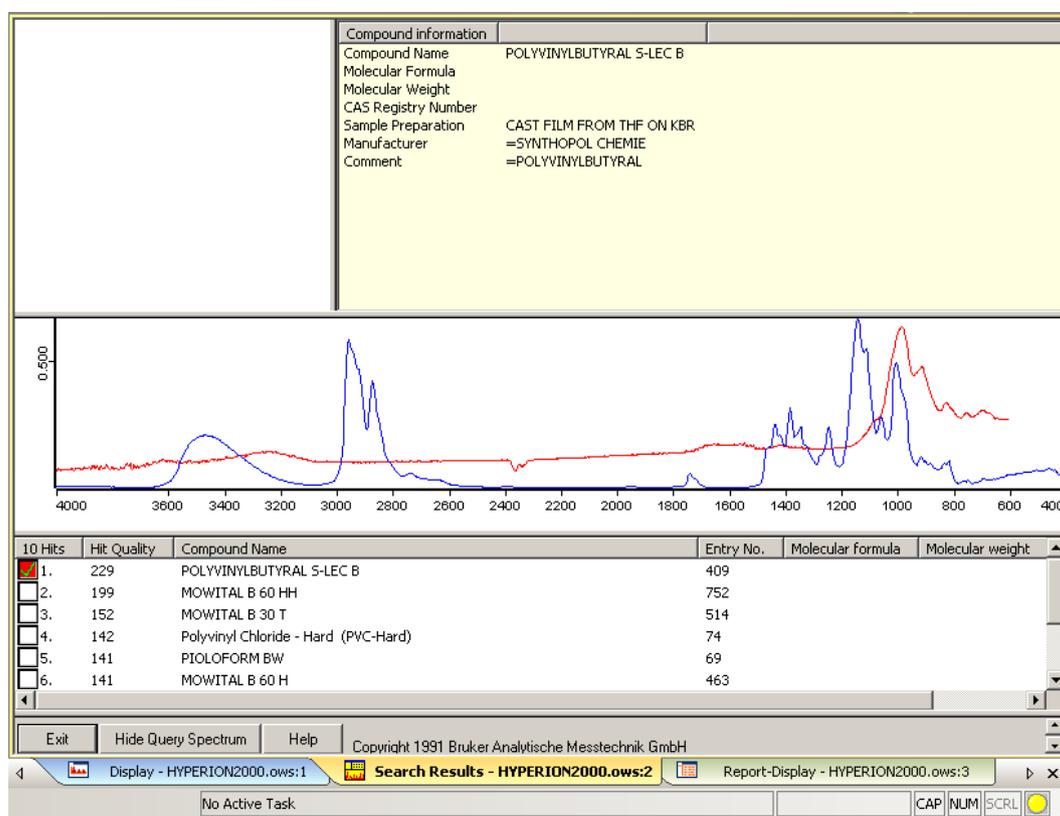


Figura 7.2 – Spettro di una particella colorata dal campione ALP004_A

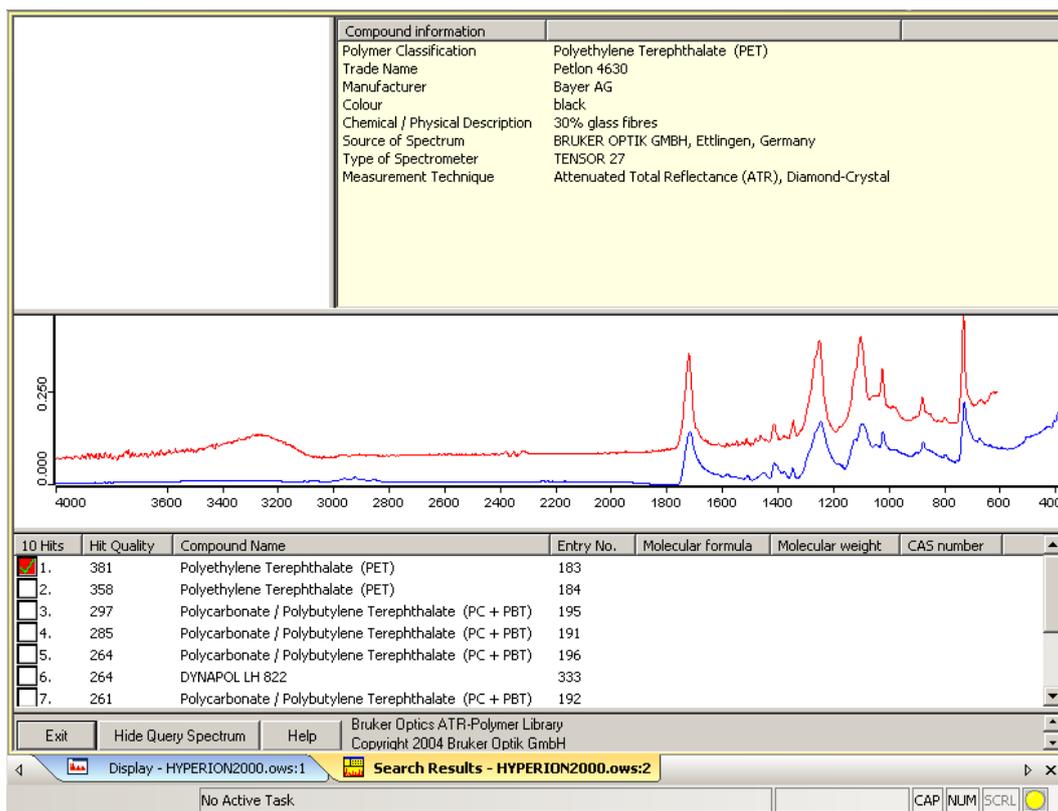


Figura 7.3 – Spettro di una fibra dal campione ALP004_A

In tabella 7.1 si riporta un elenco completo dei risultati delle analisi svolte. La colonna “corrispondenze in libreria” comprende tutti i riscontri segnalati da OPUS mentre nella colonna denominata “polimeri confermati” si riportano le corrispondenze convalidate. Le due colonne riguardanti la tipologia di filtrato e di polimero sono riferite ai risultati confermati.

Tabella 7.1 – Analisi spettroscopiche

	Campione	Analisi effettuate	Corrispondenze in libreria	Polimeri confermati	Tipologia di filtrato	Tipologia di polimero
○	ALP001_A	13	6	0		/
▲	ALP001_B	6	3	1	Particella	Copolimero PVC+PVA
△	ALP001_B bianco	6	0	0		/
▲	ALP001_B_ter	6	1	1	Particelle	PBT
■	ALP001_C	39	14	6	Particella	PS, PP, PP, PVB, PP, PP
	Totale ALP001	70	24	8		

○	ALP002_A	21	10	0		/
△	ALP002_B	6	2	1	Fibra	PP
△	ALP002_B_bis	6	0	0		/
■	ALP002_C	32	7	1	Fibra	PET
Totale ALP002		65	19	2		
○	ALP003_A	69	15	1	Fibra	PET
○	ALP003_A_bis bianco	5	0	0		/
△	ALP003_B	26	3	0		/
△	ALP003_B_bis	5	1	0		/
■	ALP003_C	2	0	0		/
Totale ALP003		107	19	1		
○	ALP004_A	17	3	3	Particella e fibre	PVB, PET, PET
△	ALP004_B	12	1	1	Fibra	Miscela PP+EPDM
△	ALP004_B bianco	4	1	1	Fibra	PET
■	ALP004_C	4	0	0		/
Totale ALP004		37	5	5		
○	ALP005_A	8	1	1	Particella	ABS
△	ALP005_B	19	2	1	Fibra	Copolimero PVC+PVA
■	ALP005_C	9	1	0		/
□	ALP005_C bianco	10	0	1	Fibra	Resina epossidica
■	ALP005_C_bis	9	4	0		/
□	ALP005_C_bis bianco	8	3	0		/
Totale ALP005		63	11	3		

☆	Bianco sale laboratorio	4	0	0	/
☆	Bianco sale lavastoviglie	10	2	0	/
Totale bianchi		14	2	0	/
Totale analisi		356	80	19	

Si evidenzia una prevalenza, pari a 10 spettri su 19 identificativi di polimeri, di PET (polietilentereftalato) e PP (polipropilene). Il PET è comunemente noto per il suo utilizzo nella produzione di bottiglie ma viene anche assai utilizzato in forma di fibre e fiocchi per la produzione di tessuti. Con il PP vengono prodotti contenitori a uso alimentare e tessuti sintetici a elevata resistenza, ma fino a pochi anni fa era uno dei polimeri più utilizzati per la produzione di stoviglie monouso.

I rimanenti risultati corrispondono a: ABS (acrilonitrile butadiene stirene), utilizzato per realizzare oggetti rigidi e leggeri, dai tubi ai mattoncini LEGO®; PBT (polibutilene tereftalato), con cui si producono componenti elettronici e automobilistici; PS (polistirene), diffuso nell'edilizia e negli imballaggi, ma usato soprattutto in ambito alimentare, dai contenitori alle stoviglie usa e getta; PVB (polivinilbutirrale), utilizzato come film rinforzante nei vetri stratificati, additivo nelle vernici e nei materiali compositi. Si registra anche un riscontro con un copolimero commercialmente noto come CORVIC CL 5440 (PVC+PVA, polivinilcloruro e polivinilacetato), utilizzato prevalentemente nelle vernici adesive; una miscela di PP+EPDM (polipropilene e la gomma *Ethylene-Propylene Diene Monomer*), utilizzata ad esempio per l'isolamento in ambito automobilistico e come materiale per la saldatura; infine, una resina epossidica con nome commerciale ARALDIT GT 6099, che è sostanzialmente un adesivo.

In generale la presenza di polimeri si osserva in tutti i campioni analizzati, fanno eccezione solamente i bianchi del laboratorio. Si può dunque ragionevolmente escludere una contaminazione dei campioni durante le fasi di preparazione.

Le analisi spettroscopiche vengono eseguite su una frazione rappresentativa di tutti i campioni, ciò nonostante, si osserva una diversa incidenza di polimeri a seconda che si considerino valide tutte le corrispondenze segnalate dalla ricerca in libreria oppure solamente quelle più rilevanti. Nel primo caso si ha circa il 20% di polimeri sul totale del filtrato analizzato mentre nel secondo caso si scende a circa il 5%.

7.3. Confronto dei dati

Per inquadrare meglio i risultati ottenuti è possibile confrontarli con quelli di altri studi pubblicati sul tema, fermo restando che i dati disponibili sono limitati e che si tratta di stime. Si sceglie di fare un confronto della concentrazione di microplastiche e della quantità di fibre con lo studio di Bergmann *et al.* (2019), svolto fra alcune zone montuose in Europa, nelle isole Svalbard e sulle banchise nello stretto di Fram. La scelta ricade su questo studio poiché è relativamente recente e si presta al confronto in quanto i risultati sono espressi in microplastiche e fibre al litro di filtrato.

Prima di procedere con il confronto, è necessario convertire i dati relativi alla concentrazione, visibili in figura 7.1, da una quantità al millilitro a una al litro moltiplicando i valori per un fattore 10^3 . Inoltre, poiché serve un valore di microplastiche, si utilizzano i risultati della spettroscopia per stimare gli estremi della frazione polimerica sul totale. Se si considerano affidabili tutti i riscontri in libreria, si hanno 80/356 polimeri, pari al 22,5%; se invece si considerano validi solo quelli confermati, si hanno 19/356 polimeri, pari al 5,34%. Le analisi spettroscopiche vengono effettuate sia su fibre sia su particelle per cui la stima che si ottiene si riferisce ad una generica frazione di microplastiche, senza fare distinzioni di forma.

In tabella 7.2 si riassumono i valori massimi, minimi e medi di particelle, fibre e microplastiche, valutate sulla somma di particelle e fibre nelle due percentuali considerate. Si decide di escludere dal conteggio i campioni di Torino e i due bianchi relativi ai sali utilizzati in quanto l'oggetto principale dello studio è la neve delle zone montuose. Il massimo delle particelle si riscontra nel campione ALP001_A e il minimo nel campione ALP003_B_bis, mentre il massimo delle fibre corrisponde al campione ALP005_C_bis bianco e il minimo al campione ALP002_B.

Tabella 7.2 – Concentrazioni di particelle, fibre e microplastiche

	Particelle [n.ro/l]	Fibre [n.ro/l]	Microplastiche (22,5%) [n.ro/l]	Microplastiche (5,34%) [n.ro/l]
<i>Massimo</i>	$4,56 \times 10^3$	$2,05 \times 10^3$	$1,49 \times 10^3$	$0,35 \times 10^3$
<i>Minimo</i>	$0,22 \times 10^3$	$0,13 \times 10^3$	$0,08 \times 10^3$	$0,02 \times 10^3$
<i>Media</i>	$1,36 \times 10^3$	$0,57 \times 10^3$	$0,44 \times 10^3$	$0,1 \times 10^3$

Nello studio di Bergmann *et al.* (2019) si differenziano i valori medi fra campioni raccolti in Europa e sulle banchise. In tabella 7.3, per facilitare il confronto, sono riassunti i valori trovati e la riga denominata “media banchise corretta” evidenzia una correzione effettuata escludendo un campione di microplastiche e uno di fibre che presentavano valori non in linea con gli altri.

Tabella 7.3 – Concentrazioni di fibre e microplastiche dallo studio di Bergmann *et al.* (2019)

	Fibre [n.ro/l]	Microplastiche [n.ro/l]
<i>Media Europa</i>	$1,43 \pm 0,325 \times 10^3$	$24,6 \pm 18,6 \times 10^3$
<i>Media banchise</i>	$1,38 \pm 1,10 \times 10^3$	$1,76 \pm 1,58 \times 10^3$
<i>Media banchise corretta</i>	$0,28 \pm 0,095 \times 10^3$	$0,18 \pm 0,07 \times 10^3$

Se si confrontano le concentrazioni di fibre e microplastiche si può notare come sia la media di $0,57 \times 10^3$ fibre al litro sia l'intervallo medio fra $0,44 \times 10^3$ e $0,1 \times 10^3$ microplastiche al litro trovati siano di poco maggiori della concentrazione media delle banchise (corretta) e sicuramente inferiori ai valori medi in Europa. Questo risultato è coerente con l'ipotesi che la maggior parte dell'inquinamento da microplastiche e fibre sia dovuto alla presenza attiva dell'uomo, drasticamente diminuita a causa delle limitazioni negli spostamenti.

Oltre al confronto fra le concentrazioni, può essere interessante osservare che le dimensioni delle fibre sono, fatta eccezione per un paio di elementi, inferiori ai 3 millimetri in lunghezza e si attestano attorno al millimetro in spessore. Negli studi condotti da Dris *et al.* (2016; 2017) sono presenti due distribuzioni delle lunghezze delle fibre raccolte dall'atmosfera ed entrambe risultano comparabili con le dimensioni di quelle osservate. Si può dunque ipotizzare che le fibre rilevate siano prevalentemente trasportate in aria, anche per lunghe distanze, e portate a terra dalle precipitazioni. Le fibre più lunghe, siano esse naturali o sintetiche, si possono attribuire a fonti prossime ai luoghi di prelievo dei campioni. In generale, la presenza di fibre nell'aria e il relativo impatto sulla salute sono argomenti che necessitano una maggiore attenzione, come viene ribadito nello studio di Gasperi *et al.* (2018).

Inoltre, contaminazioni dovute alle perturbazioni sabbiose si sono osservate anche nel caso dello studio di Allen *et al.* (2019), svolto sui Pirenei, nel quale si riporta una massiccia presenza di polvere riconducibile, come composizione chimica, alla sabbia del Sahara nei campioni raccolti fra gennaio e marzo. Sempre nel medesimo studio, si accenna alla possibilità che le microplastiche possano coprire distanze notevoli se trasportate assieme alle polveri, in maniera analoga alle macro-polveri minerali studiate da van der Does *et al.* (2018), ma questa rimane una teoria da verificare.

8. Conclusioni

La collaborazione con il progetto “*AIQ-Stop the ALPs becoming Plastic Mountains*” ha offerto l’opportunità di studiare ciò che precipita con le nevicate sulle Alpi piemontesi nell’arco di un’intera stagione invernale. L’analisi dei campioni di neve raccolti in questo particolare periodo di pandemia non solo ha permesso di valutare la presenza di microplastiche, ma ha anche reso possibile ipotizzarne la provenienza.

Considerando i risultati ottenuti si può affermare che le concentrazioni al litro di fibre e particelle siano in linea con la letteratura sull’argomento. Non si osservano inquinanti di dimensione macroscopica ma il solo ingrandimento ottico a 20x non risulta sufficiente per individuare tutto il filtrato presente e questo viene confermato dagli ingrandimenti al FESEM che rilevano inoltre alcuni resti organici distinguibili nonostante la fase di digestione. Tuttavia, le analisi spettroscopiche confermano come almeno una parte degli inquinanti trovati nei campioni sia di natura polimerica.

La maggior parte dei polimeri individuati è costituita da PET (polietilentereftalato), PP (polipropilene) e PS (polistirene), utilizzati sia per la produzione di tessuti sia soprattutto per bottiglie, imballaggi e stoviglie monouso. Si segnalano anche tracce di altri polimeri utilizzati in ambiti che spaziano dall’edilizia al settore automobilistico e alle vernici e che potenzialmente provengono da altre zone abitate.

La quantità e le dimensioni ridotte delle microplastiche osservate, anche nei campioni provenienti da zone molto frequentate, può trovare una spiegazione nella limitazione degli spostamenti e delle attività invernali causata dall’emergenza sanitaria. Gli abiti sportivi e le attrezzature da montagna sono spesso prodotti in materiale polimerico per via dell’elevata resistenza che offre questa tipologia di materiali, così come confezioni di cibo e stoviglie monouso spesso presenti quando si fanno escursioni. Una diminuzione generale delle attività umane all’aperto ha ridotto le probabilità di disperdere, anche accidentalmente, rifiuti in natura. Inoltre, analizzando campioni di neve provenienti da zone diverse, si conferma la presenza uniforme di una frazione di microplastiche che probabilmente si sposta, su distanze contenute, in atmosfera e viene portata a terra con le precipitazioni locali. Diverso il discorso della sabbia proveniente dal Sahara che percorre distanze molto maggiori trasportata dalle perturbazioni.

Il procedimento seguito, seppur pratico e facilmente ripetibile, presenta alcune criticità: non si è potuto rimuovere totalmente la sabbia proveniente dal Sahara, il che ha reso difficoltosa l’identificazione di eventuali microplastiche fra le particelle; la scelta del filtro in cellulosa ha potenzialmente ostacolato l’identificazione di fibre in cellulosa in quanto lo strumento le considerava parte del *background*.

Per eventuali studi futuri, si consiglia di agitare la sospensione prima della fase di separazione per ridurre al minimo l’adesione della sabbia alle pareti degli imbuti separatori e di conseguenza la presenza di essa nel filtrato. Inoltre, si raccomanda di valutare la strumentazione disponibile prima di scegliere il filtro in quanto, con un’accurata combinazione filtro-strumento, è possibile effettuare delle analisi semi-automatizzate che riducono notevolmente i tempi e il rischio di errori (Primpke *et al.*, 2017).

Bibliografia

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S. e Galop, D., (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience* [online]. **12**(5), 339–344. [DOI: 10.1038/s41561-019-0335-5] Disponibile al link <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0335-5> [data di accesso 2022-01-22]

Alp-Stop the ALPs becoming Plastic Mountains. Progetto consultabile ai link <https://www.europeanresearchinstitute.eu/a%e2%85%83%ea%9f%bc-stop-the-alps-becoming-plastic-mountains/> https://www.facebook.com/StopALPsbecomingplasticmountains/?ref=page_internal [data di accesso 2022-01-27]

Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A. e Parolini, M., (2019). First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. *Environmental Pollution* [online]. **253**, 297–301. [DOI: 10.1016/j.envpol.2019.07.005] Disponibile al link <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749119316422> [data di accesso 2022-01-24]

ANSA, (2021). Vento dal Sahara, neve rosa sulle montagne del Piemonte. *Redazione ANSA* [online]. 6 febbraio. Disponibile al link https://www.ansa.it/piemonte/notizie/2021/02/06/vento-dal-sahara-neve-rosa-sulle-montagne-del-piemonte_e751cf47-48fc-49e7-85e3-0a70a5fbc99.html [data di accesso 2022-02-08]

Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J. e Gerdtts, G., (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances* [online]. **5**(8), numero dell'articolo: eaax1157 [DOI: 10.1126/sciadv.aax1157] Disponibile al link <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax1157#T1> [data di accesso 2022-01-11]

Cai, L., Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Zhan, Z., Tan, X. e Chen, Q., (2017). Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **24**(32), 24928–24935. [DOI: 10.1007/s11356-017-0116-x] Disponibile al link <https://link-springer-com.ezproxy.biblio.polito.it/article/10.1007/s11356-017-0116-x> [data di accesso 2022-01-22]

Coppock, R. L., Cole, M., Lindeque, P. K., Queirós, A. M. e Galloway, T. S., (2017). A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments. *Environmental Pollution* [online]. **230**, 829–837.
[DOI: 10.1016/j.envpol.2017.07.017] Disponibile al link
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117310576?via%3Dihub#b13> [data di accesso 2022-01-31]

Dehghani, S., Moore, F. e Akhbarizadeh, R., (2017). Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **24**(25), 20360–20371.
[DOI: 10.1007/s11356-017-9674-1] Disponibile al link
<https://link.springer-com.ezproxy.biblio.polito.it/article/10.1007/s11356-017-9674-1>
[data di accesso 2021-01-22]

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C. e Tassin, B., (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin* [online]. **104**(1-2), 290–293.
[DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.006] Disponibile al link
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006> [data di accesso 2022-01-22]

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V. e Tassin, B., (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution* [online]. **221**, 453–458.
[DOI: 10.1016/j.envpol.2016.12.013] Disponibile al link
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116312325> [data di accesso 2022-01-24]

ECHA European Chemicals Agency. Disponibile al link
<https://echa.europa.eu/it/hot-topics/microplastics> [data di accesso 2022-01-11]

Edo, C., Fernández-Alba, A. R., Vejsnæs, F., van der Steen, J. J. M., Fernández-Piñas, F. e Rosal, R., (2021). Honeybees as active samplers for microplastics. *Science of The Total Environment* [online]. 144481.
[DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144481] Disponibile al link
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720380128> [data di accesso 2022-01-24]

EOCA, European Outdoor Conservation Association. Disponibile al link
<https://www.eocaconservation.org/> [data di accesso 2022-01-27]

ERI, European Research Institute. Disponibile al link
<https://www.europeanresearchinstitute.eu/> [data di accesso 2022-01-27]

Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J. e Tassin, B., (2018). Microplastics in air: are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health* [online]. **1**, 1–5. [DOI:10.1016/j.coesh.2017.10.002]. Disponibile al link <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584417300119?via%3Dihub> [data di accesso 2022-03-02]

GESAMP, Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p. Disponibile al link <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90> [data di accesso 2022-01-24]

Gewert, B., Plassmann, M. M. e MacLeod, M., (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes & Impacts* [online]. **17**(9), 1513–1521. [DOI: 10.1039/c5em00207a] Disponibile al link <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/EM/C5EM00207A> [data di accesso 2022-01-24]

Google Earth, disponibile online al link <https://www.google.it/intl/it/earth/> [data di accesso 2022-01-27]

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C. e Thiel, M., (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology* [online]. **46**(6), 3060–3075. [DOI: 10.1021/es2031505] Disponibile al link <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2031505> [data di accesso 2022-01-31]

Mautino, B., 2020. *La scienza nascosta dei cosmetici*. Milano: Chiarelettere

MATLAB®, sviluppato dalla MathWorks®. Link al sito ufficiale del prodotto <https://it.mathworks.com/products/matlab.html> [data di accesso 2022-02-19]

OPUS, vibrational spectroscopy software, sviluppato dalla Bruker Corporation. Link al sito ufficiale del prodotto <https://www.bruker.com/it/products-and-solutions/infrared-and-raman/opus-spectroscopy-software.html> [data di accesso 2022-02-19]

Osseiran, N. e Lindmeier, C., (2019). WHO calls for more research into microplastics and a crackdown on plastic pollution. *WHO News* [online]. 22 agosto. Disponibile al link <https://www.who.int/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution> [data di accesso 2022-01-24]

Parolini, M., Antonioli, D., Borgogno, F., Gibellino, M. C., Fresta, J., Albonico, C., De Felice, B., Canuto, S., Concedi, D., Romani, A., Rosio, E., Gianotti, V., Laus, M., Ambrosini, R. e Cavallo, R., (2021). Microplastic contamination in snow from western Italian Alps. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **18**(2), 768. [DOI: 10.3390/ijerph18020768] Disponibile al link <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/2/768/htm> [data di accesso 2022-01-22]

Primpke, S., Lorenz, C., Rascher-Friesenhausen, R. e Gerdts, G., (2017). An automated approach for microplastics analysis using focal plane array (FPA) FTIR microscopy and image analysis. *Analytical Methods* [online]. **9**(9), 1499–1511. [DOI: 10.1039/c6ay02476a] Disponibile al link <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/ay/c6ay02476a> [data di accesso 2022-03-02]

Rifugio Guido Muzio, link al sito <https://www.rifugioguidomuzio.com/> [data di accesso 2022-01-28]

Rifugio Les Montagnards, link al sito <https://www.lesmontagnards.it/> [data di accesso 2022-01-28]

Rifugio Pagari, link al sito di cuneotrekking <https://cuneotrekking.com/struttura/rifugio-pagari/> [data di accesso 2022-01-28]

Rifugio Selleries, link al sito <https://www.rifugioselleries.it/> [data di accesso 2022-01-28]

SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. (2019). *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society*. Berlin: SAPEA. [DOI: 10.26356/microplastics] Disponibile al link <https://www.sapea.info/topics/microplastics/> [data di accesso 2022-01-24]

Shahul Hamid, F., Bhatti, M. S., Anuar, N., Anuar, N., Mohan, P. e Periathamby, A., (2018). Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation? *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [online]. **36**(10), 873–897. [DOI: 10.1177/0734242x18785730] Disponibile al link https://www.researchgate.net/publication/327022295_Worldwide_distribution_and_abundance_of_microplastic_How_dire_is_the_situation [data di accesso 2022-01-24]

Shim, W. J., Hong, S. H. e Eo, S. E., (2017). Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical Methods* [online]. **9**(9), 1384–1391. [DOI: 10.1039/c6ay02558g] Disponibile al link <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/AY/C6AY02558G> [data di accesso 2022-02-05]

Tor des Géants®, link al sito della competizione <https://torxtrail.com/it> [data di accesso 2022-01-24]

van der Does, M., Knippertz, P., Zschenderlein, P., Giles Harrison, R. e Stuu, J.-B. W., (2018). The mysterious long-range transport of giant mineral dust particles. *Science Advances* [online]. **4**(12), numero dell'articolo: eaau2768. [DOI: 10.1126/sciadv.aau2768]. Disponibile al link <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aau2768> [data di accesso 2022-03-02]

Ringraziamenti

Giunti al termine di questo lungo anno, ci tengo a ringraziare il responsabile del progetto “*ALP-Stop the ALPs becoming Plastic Mountains*”, Franco Borgogno, e la professoressa Debora Fino senza i quali non sarebbe stato possibile realizzare la presente tesi.

Un enorme ringraziamento va alla correlatrice Camilla Galletti per l’infinita disponibilità e la pazienza dimostrata in ogni imprevisto, a Silvia per tutto l’aiuto che mi ha dato nei diversi laboratori e a Nicola per aver riorganizzato più di una volta i dati ottenuti.

A mio padre, mia madre e mia sorella va il più sentito ringraziamento, poiché mi hanno permesso di gestire gli studi con i miei tempi, senza mai farmi pesare il passare degli anni.

Grazie anche ai numerosi cugini e a quei pochi, fra i vari zii e zie, che più ci sono stati vicini e soprattutto grazie alle prozie e ai prozii che, nonostante gli attriti inevitabili quando si è così numerosi, hanno sempre trovato il tempo per una visita o una telefonata.

Qui, nei ringraziamenti, è d’obbligo citare i miei amici, Emanuele, Mattia, Arturo e Aldo, conosciuti durante i primi anni di Politecnico, con cui ho condiviso infinite ansie legate a studio, esami, scadenze, vita in generale ma anche momenti di memorabile spensieratezza: senza la loro presenza sarebbe stato tutto un po’ più grigio e noioso. E un ringraziamento va anche agli amici di vecchia data con cui ancora capita di fare interminabili telefonate e partite a pallavolo.

Grazie a due ragazze che ormai sono come sorelle per me, Rachele e Matilde, e ai loro genitori per fare parte della mia vita da talmente tanti anni da essere diventati una seconda famiglia su cui so di poter fare pieno affidamento.

Un grazie di cuore a Lorenzo, con cui sono passata dalla padella del liceo alla brace dell’università, per esser il miglior amico di cui non pensavo di aver bisogno, soprattutto nei momenti difficili che ci si trova ad affrontare. E ancora di più per avermi presentato Riccardo, ultimo di questa sfilza di ringraziamenti ma sicuramente non per importanza, a cui va la mia gratitudine per essermi stato a fianco durante questi anni di magistrale in cui è successo di tutto e per aver sopportato i miei infiniti dubbi su qualsiasi cosa.

Per concludere, vorrei dedicare questa tesi a mia nonna Kumiko, che ha sempre fatto sembrare la distanza di un terzo di mondo qualcosa di ridicolo, e a mio nonno Luigi, che aveva la passione per le montagne e che mi piace pensare avrebbe apprezzato il tema scelto.

Appendice A

Tabella completa dei campioni preparati in laboratorio.

Campione e filtro		Separazione						Digestione [1:1]				Filtraggio ed essiccazione		Petri	Commenti
<i>Etichetta</i>	<i>N°</i>	<i>Data</i>	<i>[ml]</i>	<i>Sale [g]</i>	<i>Wash [ml]</i>	<i>≈ Tot [ml]</i>	<i>Data</i>	<i>Scarto [ml]</i>	<i>[ml]</i>	<i>H₂O₂ [ml]</i>	<i>Tot [ml]</i>	<i>Data</i>	<i>Data</i>	<i>Commenti</i>	
▲	ALP001_B	1	2021-03-16	200	70	60	270	2021-03-18	220	50	50	100	2021-03-19	2021-03-24	Risciacquo con H ₂ O
▲	ALP001_B	2	2021-03-16	200	70	60	280	2021-03-18	230	50	50	100	2021-03-19	2021-03-24	Risciacquo con H ₂ O
▲	ALP001_B	3	2021-03-19	270	95	60	360	2021-03-22	260	100	100	200	2021-03-23	2021-03-25	Risciacquo con H ₂ O
▲	ALP001_B	4	2021-03-19	270	95	60	360	2021-03-22	260	100	100	200	2021-03-23	2021-03-25	Risciacquo con H ₂ O
▲	ALP001_B	5	2021-03-19	270	95	60	360	2021-03-22	260	100	100	200	2021-03-23	2021-03-30	Risciacquo con H ₂ O
●	ALP003_A	6	2021-03-22	270	95	60	360	2021-03-23	280	85	85	170	2021-03-24	2021-03-30	
●	ALP003_A	7	2021-03-22	270	95	60	360	2021-03-23	280	90	90	180	2021-03-24	2021-03-31	
●	ALP003_A	8	2021-03-23	280	98	50	360	2021-03-24	295	70	70	140	2021-03-25	2021-03-31	

○	ALP003_A	9	2021-03-23	280	98	50	360	2021-03-24	295	65	65	130	2021-03-25	2021-03-31	
○	ALP003_A	10	2021-03-26	270	95	60	360	2021-03-29	290	75	75	150	2021-03-30	2021-04-07	
○	ALP003_A	11	2021-03-26	270	95	60	360	2021-03-29	295	65	65	130	2021-03-30	2021-04-07	
△	ALP004_B	12	2021-03-29	270	95	60	360	2021-03-30	290	77	77	154	2021-03-31	2021-04-07	Sale lavastoviglie
△	ALP004_B	13	2021-03-29	270	95	60	360	2021-03-30	290	73	73	146	2021-03-31	2021-04-07	Sale lavastoviglie
△	ALP004_B	14	2021-03-29	270	95	60	360	2021-03-30	290	76	76	152	2021-03-31	2021-04-07	Sale lavastoviglie
●	ALP001_A	15	2021-04-07	270	95	60	360	2021-04-08	290	68	68	136	2021-04-09	2021-04-14	Sale lavastoviglie
●	ALP001_A	16	2021-04-07	270	95	60	360	2021-04-08	290	71	71	142	2021-04-09	2021-04-14	Sale lavastoviglie
☆	Bianco sale lavastoviglie	17	2021-04-07	183	sat	0	183	2021-04-08	143	40	40	80	2021-04-09	2021-04-14	Sale lavastoviglie
●	ALP004_A	18	2021-04-09	270	95	60	360	2021-04-13	290	77	77	154	2021-04-14	2021-04-16	Sale lavastoviglie
●	ALP004_A	19	2021-04-09	270	95	60	360	2021-04-13	290	69	69	138	2021-04-14	2021-04-16	Sale lavastoviglie
●	ALP004_A	20	2021-04-09	270	95	60	360	2021-04-13	290	72	72	144	2021-04-14	2021-04-16	Sale lavastoviglie

○	ALP002_A	21	2021-04-13	270	95	60	360	2021-04-14	290	81	81	162	2021-04-15	2021-04-20	Sale lavastoviglie2
○	ALP002_A	22	2021-04-13	270	95	60	360	2021-04-14	290	102	102	204	2021-04-15	2021-04-20	Sale lavastoviglie2
△	ALP002_B	23	2021-04-14	270	95	60	360	2021-04-15	290	80	80	160	2021-04-16	2021-04-20	Sale lavastoviglie2. In imbuto
△	ALP002_B	24	2021-04-14	270	95	60	360	2021-04-15	290	80	80	160	2021-04-16	2021-04-20	Sale lavastoviglie2. In imbuto
✘	TORINO_1	25	2021-04-14	270	95	60	360	2021-04-15	290	80	80	160	2021-04-16	2021-04-20	Sale lavastoviglie2. In imbuto
△	ALP003_B	26	2021-04-16	270	95	60	360	2021-04-19	290	65	65	130	2021-04-20	2021-04-23	Sale lavastoviglie2. In imbuto
△	ALP003_B	27	2021-04-16	270	95	60	360	2021-04-19	290	71	71	142	2021-04-20	2021-04-23	Sale lavastoviglie2. In imbuto
△	ALP003_B	28	2021-04-16	270	95	60	360	2021-04-19	290	75	75	150	2021-04-20	2021-04-23	Sale lavastoviglie2. In imbuto (perde)
△	ALP005_B	29	2021-04-21	270	95	60	360	2021-04-22	290	74	74	148	2021-04-23	2021-04-28	Sale lavastoviglie3. In imbuto
△	ALP005_B	30	2021-04-21	270	95	60	360	2021-04-22	290	80	80	160	2021-04-23	2021-04-28	Sale lavastoviglie3. In imbuto
△	ALP005_B	31	2021-04-21	270	95	60	360	2021-04-22	290	89	89	178	2021-04-23	2021-04-28	Sale lavastoviglie3. In imbuto
○	ALP005_A	32	2021-04-26	270	94,7	60	360	2021-04-27	295	76	76	152	2021-04-28	2021-04-30	Sale lavastoviglie3. In imbuto

▲	ALP003_B_bis	33	2021-04-26	270	94,7	60	360	2021-04-27	292	81	81	162	2021-04-28	2021-04-30	Sale lavastoviglie3. In imbuto. Molto rossiccio.
▲	ALP001_B_ter	34	2021-04-28	270	94,5	60	360	2021-04-29	290	80	80	160	2021-04-30	2021-05-05	Sale lavastoviglie3. In imbuto
▲	ALP001_B_ter	35	2021-04-28	270	94,5	60	360	2021-04-29	290	83	83	166	2021-04-30	2021-05-05	Sale lavastoviglie3. In imbuto
✘	TORINO_2	36	2021-04-28	270	94,5	60	360	2021-04-29	290	81	81	162	2021-04-30	2021-05-05	Sale lavastoviglie3. In imbuto
○	ALP003_A_bis	37	2021-05-03	270	94,5	60	360	2021-05-04	290	95	95	190	2021-05-05	2021-05-12	Sale lavastoviglie4. In imbuto
○	ALP003_A_bis	38	2021-05-03	270	94,5	60	360	2021-05-04	290	90	90	180	2021-05-05	2021-05-12	Sale lavastoviglie4. In imbuto
○	ALP003_A_bis	39	2021-05-03	270	94,5	60	360	2021-05-04	290	90	90	180	2021-05-05	2021-05-12	Sale lavastoviglie4. In imbuto
○	ALP003_A_bis	40	2021-05-05	270	94,5	60	360	2021-05-06	290	85	85	170	2021-05-07	2021-05-12	Sale lavastoviglie4. In imbuto
○	ALP003_A_bis	41	2021-05-05	270	94,5	60	360	2021-05-06	290	79	79	158	2021-05-07	2021-05-12	Sale lavastoviglie4. In imbuto
▲	ALP003_B	42	2021-05-05	270	94,5	60	360	2021-05-06	290	80	80	160	2021-05-07	2021-05-12	Sale lavastoviglie4. In imbuto
▲	ALP003_B	43	2021-05-10	270	94,5	60	360	2021-05-11	290	92	92	184	2021-05-12	2021-05-20	Sale lavastoviglie4. In imbuto
○	ALP001_A	44	2021-05-10	270	94,5	60	360	2021-05-11	310	77	77	154	2021-05-12	2021-05-20	Sale lavastoviglie4. In imbuto

	ALP001_A	45	2021-05-10	270	94,5	60	360	2021-05-11	310	74	74	148	2021-05-12	2021-05-20	Sale lavastoviglie4. In imbuto
	ALP003_C	46	2021-05-12	270	94,5	60	360	2021-05-13	290	83	83	166	2021-05-14	2021-05-25	Sale lavastoviglie4. In imbuto
	ALP003_C	47	2021-05-12	270	94,5	60	360	2021-05-13	300	79	79	158	2021-05-14	2021-05-25	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP003_C	48	2021-05-12	270	94,5	60	360	2021-05-13	290	85	85	170	2021-05-14	2021-05-25	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP001_C	49	2021-05-19	270	94,5	60	360	2021-05-20	290	79	79	158	2021-05-21	2021-05-29	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP001_C	50	2021-05-19	270	94,5	60	360	2021-05-20	290	76	76	152	2021-05-21	2021-05-29	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP001_C	51	2021-05-19	270	94,5	60	360	2021-05-20	290	78	78	156	2021-05-21	2021-05-29	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP001_C	52	2021-05-21	285	99,7	50	365	2021-05-24	300	80	80	160	2021-05-25	2021-05-29	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP001_C	53	2021-05-21	285	99,7	50	365	2021-05-24	300	83	83	166	2021-05-25	2021-05-29	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP001_C	54	2021-05-21	285	99,7	50	365	2021-05-24	300	74	74	148	2021-05-25	2021-05-29	Molto sporco. Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP004_C	55	2021-05-26	280	98	50	360	2021-05-27	290	85	85	170	2021-05-28	2021-06-01	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP004_C	56	2021-05-26	280	98	50	360	2021-05-27	290	82	82	164	2021-05-28	2021-06-01	Sale lavastoviglie5. In imbuto

	ALP004_C	57	2021-05-26	280	98	50	360	2021-05-27	290	80	80	160	2021-05-28	2021-06-01	Sale lavastoviglie5. In imbuto
	ALP005_C_bis	58	2021-05-28	270	94,5	60	360	2021-05-31	290	75	75	150	2021-06-01	2021-06-10	NaCl laboratorio da ora in avanti. In imbuto
	ALP005_C_bis	59	2021-05-28	270	94,5	60	360	2021-05-31	290	78	78	156	2021-06-01	2021-06-10	In imbuto
	ALP005_C_bis	60	2021-05-28	270	94,5	60	360	2021-05-31	290	76	76	152	2021-06-01	2021-06-10	In imbuto
	ALP005_C_bis	61	2021-06-01	270	95	60	360	2021-06-03	290	75	75	150	2021-06-04	2021-06-10	In imbuto
	ALP005_C	62	2021-06-01	270	95	60	360	2021-06-03	290	77	77	154	2021-06-04	2021-06-10	In imbuto
	ALP005_C Bianco	63	2021-06-01	200	70	///	200	2021-06-03	160	68	68	136	2021-06-04	2021-06-10	In imbuto
	ALP002_C	64	2021-06-07	250	87,5	60	340	2021-06-09	270	68	68	136	2021-06-10	2021-06-16	In imbuto
	ALP002_C	65	2021-06-07	250	87,5	60	340	2021-06-09	270	82	82	164	2021-06-10	2021-06-16	In imbuto
	ALP002_C	66	2021-06-07	250	87,5	60	340	2021-06-09	270	71	71	142	2021-06-10	2021-06-16	In imbuto
	ALP004_B Bianco	67	2021-06-14	200	70	///	200	2021-06-15	160	40	40	80	2021-06-16	2021-06-22	In imbuto
	ALP001_B Bianco	68	2021-06-14	200	70	///	200	2021-06-15	160	40	40	80	2021-06-16	2021-06-22	In imbuto

□	ALP005_C_bis Bianco	69	2021-06-14	200	70	///	200	2021-06-15	160	40	40	80	2021-06-16	2021-06-22	In imbuto
○	ALP003_A_bis Bianco	70	2021-06-16	200	70	///	200	2021-06-17	160	40	40	80	2021-06-18	2021-06-22	In imbuto
△	ALP002_B_bis	71	2021-06-16	270	95	60	360	2021-06-17	290	85	85	170	2021-06-18	2021-06-22	In imbuto
△	ALP002_B_bis	72	2021-06-16	270	95	60	360	2021-06-17	290	77	77	154	2021-06-18	2021-06-22	In imbuto
△	ALP002_B_bis	73	2021-06-18	275	96,3	55	360	2021-06-21	290	76	76	152	2021-06-22	2021-06-29	In imbuto
△	ALP002_B_bis	74	2021-06-18	275	96,3	55	360	2021-06-21	290	80	80	160	2021-06-22	2021-06-29	In imbuto
✘	TORINO_3	75	2021-06-18	200	70	60	260	2021-06-21	210	78	78	156	2021-06-22	2021-06-29	In imbuto
△	ALP002_B	76	2021-06-22	250	87,5	60	340	2021-06-23	270	75	75	150	2021-06-25	2021-06-30	In imbuto
△	ALP002_B	77	2021-06-22	250	87,5	60	340	2021-06-23	270	77	77	154	2021-06-25	2021-06-30	In imbuto
■	ALP003_C	78	2021-06-22	260	91	60	350	2021-06-23	280	78	78	156	2021-06-25	2021-06-30	In imbuto
■	ALP003_C	79	2021-06-25	250	87,5	60	340	2021-06-28	270	77	100	200	2021-06-29	2021-07-01	Digestione in becher 77+23 H ₂ O risciacquo
■	ALP003_C	80	2021-06-25	250	87,5	60	340	2021-06-28	270	80	100	200	2021-06-29	2021-07-01	Digestione in becher 80+20 H ₂ O risciacquo

▲	ALP004_B	81	2021-06-25	270	94,5	60	360	2021-06-28	290	75	100	200	2021-06-29	2021-07-01	Digestione in becher 75+25 H ₂ O risciacquo
▲	ALP004_B	82	2021-06-28	270	94,5	60	360	2021-06-29	290	75	100	200	2021-06-30	2021-07-05	Digestione in becher 75+25 H ₂ O risciacquo
●	ALP004_A	83	2021-06-28	355	124,25	40	390	2021-06-29	300	110	155	310	2021-06-30	2021-07-05	Digestione in becher 110+45 H ₂ O risciacquo
●	ALP004_A	84	2021-06-28	355	124,25	40	390	2021-06-29	300	110	155	310	2021-06-30	2021-07-05	Digestione in becher 110+45 H ₂ O risciacquo
■	ALP004_C	85	2021-06-29	270	94,5	60	360	2021-06-30	290	80	80	160	2021-07-01	2021-07-05	In imbuto
■	ALP004_C	86	2021-06-29	270	94,5	60	360	2021-06-30	290	82	82	164	2021-07-01	2021-07-05	In imbuto
■	ALP004_C	87	2021-06-29	270	94,5	60	360	2021-06-30	290	67	67	134	2021-07-01	2021-07-05	In imbuto
☆	Bianco sale laboratorio	88	2021-06-29	100	35	///	100	2021-06-30	///	100	100	200	2021-07-01	2021-07-05	
	Bianco vuoto	89	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	2021-07-01	
Totale				23 068	8 025,1		30 098		24 085	6 789	6 972	13 944			

Appendice B

Tabelle complete dei conteggi e delle analisi svolte. Con “FTIR” si sottintende una scansione ottica precedente all’analisi mentre con “ottica + FTIR” si indica l’esecuzione di analisi ottica e spettroscopica nello stesso giorno. Le caselle evidenziate in giallo corrispondono ai conteggi sottostimati per via dell’eccessiva presenza di sabbia sul filtro e le colonne “trasp.” e “color.” significano rispettivamente “trasparente” e “colorato”, riferite all’aspetto delle particelle osservate.

 ALP001_A										
<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo di analisi</i>
15	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + piante	/	/
16	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + piante	/	/
44	35	132	82	89	19	29	0		77	Ottica + FTIR
45	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + taglio FESEM	/	/
<i>TOT</i>	35	132	82	89	19	29	0		77	

 ALP001_B										
<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo di analisi</i>
1	/	/	/	/	/	/	/	Rotto	/	/
2	41	20	11	14	1	0	4	Altro = vedi foto	50	FTIR
3	/	/	/	/	/	/	/	Bucato	/	/
4	/	/	/	/	/	/	/	Strappato sui bordi	/	/
5	/	/	/	/	/	/	/	Bordi rovinati + pianta	/	/
<i>TOT</i>	41	20	11	14	1	0	4		50	

△ ALP001_B_bianco

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo di analisi</i>
68	31	5	0	4	0	0	3		40	FTIR

△ ALP001_B_ter

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo di analisi</i>
34	23	30	19	14	0	55	0		80	FTIR
35	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato di sabbia	/	/
<i>TOT</i>	23	30	19	14	0	55	0		80	

■ ALP001_C

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo di analisi</i>
49	11	40	20	20	32	55	2	Altro = macchie	79	Ottica + FTIR
50	19	28	26	15	6	68	1		76	Ottica + FTIR
51	/	/	/	/	/	/	/	Polvere	/	/
52	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + polvere	/	/
53	/	/	/	/	/	/	/	Taglio FESEM + polvere	/	/
54	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + bordi rovinati	/	/
<i>TOT</i>	30	68	46	35	38	123	3		155	

○ ALP002_A

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
21	27	119	31	18	3	69	1	Altro = macchia	81	Ottica + FTIR
22	/	/	/	/	/	/	/	Rotto	/	/
TOT	27	119	31	18	3	69	1		81	

△ ALP002_B

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
23	/	/	/	/	/	/	/	Tanta polvere	/	/
24	/	/	/	/	/	/	/	Tanta polvere	/	/
76	/	/	/	/	/	/	/	Bucato + sabbia	/	/
77	10	16	21	13	14	58	24	Altro = macchie	77	FTIR
TOT	10	16	21	13	14	58	24		77	

△ ALP002_B_bis

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
71	12	7	18	5	0	0	1	Altro = macchia	85	Ottica
72	15	20	30	26	3	29	0		77	Ottica + FTIR
73	/	/	/	/	/	/	/	Bucato	/	/
74	/	/	/	/	/	/	/	Rotto	/	/
TOT	27	27	48	31	3	29	1		162	

 **ALP002_C**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
64	/	/	/	/	/	/	/	Vuoto	/	/
65	44	12	5	4	1	0	4		82	FTIR
66	46	10	4	2	2	0	2		71	Ottica + FTIR
TOT	90	22	9	6	3	0	6		153	

 **ALP003_A**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
6	/	/	/	/	/	/	/	Piante	/	/
7	84	15	2	0	0	0	5		90	Ottica + FTIR
8	/	/	/	/	/	/	/	Rotto	/	/
9	/	/	/	/	/	/	/	Bordi rovinati + vuoto	/	/
10	78	17	3	21	5	0	2		75	Ottica + FTIR
11	/	/	/	/	/	/	/	Rotto	/	/
TOT	162	32	5	21	5	0	7		165	

○ ALP003_A_bis

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
37	/	/	/	/	/	/	/	Polvere	/	/
38	/	/	/	/	/	/	/	Polvere	/	/
39	/	/	/	/	/	/	/	Bucato + polvere	/	/
40	62	22	14	22	1	118	0	Filtro sporco	85	Ottica
41	/	/	/	/	/	/	/	Polvere	/	/
TOT	62	22	14	22	1	118	0		85	

○ ALP003_A_bis_bianco

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
70	46	16	5	20	0	0	0		40	FTIR

△ ALP003_B

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
26	/	/	/	/	/	/	/	Rotto	/	/
27	/	/	/	/	/	/	/	Molto sporco + polvere e sabbia	/	/
28	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + polvere	/	/
42	72	116	62	38	51	40	0		80	Ottica + FTIR
43	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + polvere	/	/
TOT	72	116	62	38	51	40	0		80	

 **ALP003_B_bis**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
33	18	1	2	2	1	12	0	filtro sporco, mix non reali	81	FTIR

 **ALP003_C**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
46	/	/	/	/	/	/	/	Polvere	/	/
47	/	/	/	/	/	/	/	Polvere	/	/
48	/	/	/	/	/	/	/	Polvere + pelo	/	/
78	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato	/	/
79	53	26	23	42	0	40	0		77	FTIR
80	/	/	/	/	/	/	/	Stropicciato	/	/
TOT	53	26	23	42	0	40	0		77	

 **ALP004_A**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
18	/	/	/	/	/	/	/	Sporco	/	/
19	/	/	/	/	/	/	/	Sporco	/	/
20	/	/	/	/	/	/	/	Sporco	/	/
83	99	14	16	9	1	0	2		110	Ottica + FTIR
84	/	/	/	/	/	/	/	Strappato sui bordi + piante	/	/
TOT	99	14	16	9	1	0	2		110	

 **ALP004_B**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
12	25	29	28	21	28	116	2		77	Ottica + FTIR
13	/	/	/	/	/	/	/	Sabbia	/	/
14	/	/	/	/	/	/	/	Sabbia	/	/
81	31	22	19	11	1	0	21	Altro = macchie	75	Ottica
82	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato	/	/
TOT	56	51	47	32	29	116	23		152	

 **ALP004_B_bianco**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
67	31	9	1	1	0	0	1	Altro = macchia	40	FTIR

 **ALP004_C**

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
55	/	/	/	/	/	/	/	Bucato	/	/
56	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + seme	/	/
57	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + polvere	/	/
85	47	27	30	32	0	50	4	Altro = macchie	80	Ottica
86	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + piante	/	/
87	5	9	23	14	0	35	3		67	Ottica + FTIR
TOT	52	36	53	46	0	85	7		147	

● ALP005_A

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
32	20	27	17	22	4	27	Macchie	Filtro sporco	76	FTIR

▲ ALP005_B

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
29	11	18	9	1	1	21	Qualche macchia	Filtro sporco	74	Ottica
30	18	40	30	14	23	90	1	Altro = macchie	80	Ottica + FTIR
31	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato	/	/
<i>TOT</i>	29	58	39	15	24	111	1		154	

■ ALP005_C

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
62	13	15	16	4	0	4	Qualche macchia		77	FTIR

□ ALP005_C_bianco

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
63	50	16	2	2	2	0	0		68	FTIR

□ ALP005_C_bis

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
58	11	16	5	4	0	0	0	Abbastanza pulito	75	Ottica
59	14	25	21	19	4	1	3	Altro = macchie	78	Ottica + FTIR
60	/	/	/	/	/	/	/	Bucato	/	/
61	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + vuoto	/	/
TOT	25	41	26	23	4	1	3		153	

□ ALP005_C_bis_bianco

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
69	82	27	18	26	0	0	0		40	FTIR

☆ Bianco sale laboratorio

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
88	30	2	1	1	0	0	0		100	FTIR

☆ Bianco sale lavastoviglie

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
17	58	57	31	16	0	82	0		40	FTIR

× ALP00X_TORINO

<i>Filtro</i>	<i>Fibra</i>	<i>Nero</i>	<i>Color.</i>	<i>Trasp.</i>	<i>Grandi</i>	<i>Mix</i>	<i>Altro</i>	<i>Commenti</i>	<i>Volume filtrato [ml]</i>	<i>Tipo analisi</i>
25	13	19	5	1	1	35	0	Molto sporco, polvere	80	Ottica
36	/	/	/	/	/	/	/	Macchiato + taglio FESEM	/	/
75	/	/	/	/	/	/	/	Bucato	/	/
<i>TOT</i>	13	19	5	1	1	35	0		80	

Appendice C

Tabelle riassuntive degli ingrandimenti effettuati utilizzando il FESEM. I campioni di maggio sono stati selezionati scegliendo fra i doppioni presenti mentre i campioni di gennaio sono stati precedentemente ingranditi fino a 20x con il microscopio ottico, permettendo di selezionare meglio il filtrato per l'ingrandimento al FESEM.

Ingrandimenti maggio 2021				Ingrandimenti gennaio 2022			
	<i>Campione</i>	<i>Filtro</i>	<i>Sample FESEM</i>		<i>Campione</i>	<i>Filtro</i>	<i>Sample FESEM</i>
	Filtro pulito (per il bianco)	/	1		ALP005_B	30	1
	ALP003_A	7	2		ALP005_B	30	2
	ALP003_A	7	3		ALP005_C	62	3
	ALP003_A	11	4		ALP002_C	65	4
	ALP002_A	22	5		ALP001_C	49	5
	ALP005_B	31	6		ALP003_A_bis	41	6
	ALP00X Torino	36	7		ALP003_B	27	7
	ALP003_A_bis	39	8		ALP004_B	12	8
	ALP003_B	26	9		ALP004_A	83	9
	ALP001_A	45	10		ALP001_A	44	10
	ALP003_A	7	11		ALP002_B	77	11

Appendice D

Grafico delle concentrazioni di fibre e particelle nei campioni di neve raccolti con le etichette di ogni campione. La colonna 1 (ascisse) è riferita alla quantità di fibre su volume di campione filtrato; la colonna 2 (ordinate) indica la quantità di particelle su volume di campione filtrato.

