

Manta River Project 2

Studio per la valutazione dei quantitativi di microplastiche nel fiume Po

Report di sintesi



ADBPO

Autorità di bacino distrettuale del fiume Po



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Aree protette
Po piemontese

Dicembre 2024

Metadata

Titolo	Manta River Project 2- Studio per la valutazione dei quantitativi di microplastiche nel Po
Descrizione	Report di sintesi dello studio Manta River Project 2 per la valutazione dei quantitativi di microplastiche presenti nel fiume Po al fine di individuare strategie per contrastare la plastica nelle acque interne e marine del fiume Po
Data creazione	2024-12-06
Data ultima versione	
Stato	Report di sintesi
Creatore	Manta River Project 2
Copertura	Asta fiume Po
Fonti	vedi note a piè di pagina
Lingua	Italiano
Identificatore	MantaRiverProject2_ReportSintesi_2024
Formato	docx, pdf
Relazioni	
Licenza	Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0 
Attribuzione	<i>Manta River Project 2 - Studio per la valutazione dei quantitativi di microplastiche presenti nel fiume Po - Report di sintesi</i> , a cura di Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po, Sapienza Università di Roma-DICMA, ARPAE SOD Emilia-Romagna, AIPo, Ente di gestione delle Aree Protette del Po piemontese, (35 pp.) 2024.

Responsabili tecnico-scientifici

Fernanda Moroni, Elena Barbieri, Irene Ingrandò

Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po

Silvia Serranti

Sapienza Università di Roma- DICMA

Cristina Mazziotti

ARPAE SOD Emilia-Romagna

Giancarlo Focherini

AIPO

Maria Teresa Bergoglio

Ente di gestione delle Aree Protette del Po piemontese

Ringraziamenti

Si ringraziano le associazioni Amici del Po di Casale Monferrato e Amici del Po di Chivasso per il loro fondamentale contributo per l'attività di campionamento nelle stazioni piemontesi.

SOMMARIO

1. PREMESSA E SCOPO DEL PROGETTO	1
2. AMBITO DI INDAGINE	4
3. MATERIALI E METODI	5
3.1 Campionamento: frequenza e modalità	5
3.2 Raccolta e conservazione del campione	8
3.3 Pretrattamento del campione	9
3.4 Analisi di laboratorio	10
3.4.1 Protocollo per la separazione delle microplastiche	10
3.4.2 Caratterizzazione morfologica e morfometrica delle microplastiche	13
3.4.3 Caratterizzazione polimerica delle microplastiche	14
4. RISULTATI	17
4.1 Concentrazione delle microplastiche	17
4.2 Composizione morfologica e morfometrica delle microplastiche	19
4.3 Distribuzione del colore delle microplastiche	22
4.4 Classificazione polimerica delle microplastiche mediante HSI, FT-IR e micro-FT-IR	24
4.5 Considerazioni sul confronto dei risultati HSI, FT-IR e micro-FT-IR	28
5. CONFRONTO MANTA RIVER PROJECT 1 E MANTA RIVER PROJECT 2	29
6. CONCLUSIONI	33

1. PREMESSA E SCOPO DEL PROGETTO

Il tema delle **microplastiche** è diventato nell'ultimo ventennio oggetto di grande attenzione scientifica, sociale, politica e legislativa.

La ricerca scientifica si è concentrata soprattutto sull'ambiente marino, prestando una minore attenzione alla presenza di microplastiche nei sistemi di acque dolci, nonostante il ruolo centrale attribuito ai fiumi come collettori di rifiuti di plastica, e non solo, dall'ambiente terrestre verso quello marino-costiero.

La *Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (2008/56/CE, DSM)* è stata determinante per richiamare l'attenzione, a livello europeo, sulla salute degli ecosistemi marini e per aumentare la consapevolezza di quanto sia grave l'effetto dell'inquinamento terrestre sulla qualità delle acque marine, anche dovuto alla presenza della plastica. Allo stesso tempo, questa direttiva ha definito i criteri e le norme metodologiche per il *buono stato ecologico* delle acque marine, nonché le specifiche e i metodi standardizzati di monitoraggio e di valutazione anche relativamente alla composizione, quantità e distribuzione territoriale delle microplastiche nel litorale, nello strato superficiale della colonna d'acqua e nei sedimenti del fondale.

A differenza degli ambienti marini, **il monitoraggio delle microplastiche nei sistemi di acqua dolce superficiale ad oggi non è previsto da nessuna norma europea e nazionale**. Questo significa che, anche qualora in futuro venissero introdotte norme specifiche, la ricerca in questo campo deve ancora affrontare numerose sfide metodologiche, come la mancanza di un protocollo standardizzato per il campionamento, la quantificazione e la classificazione. La mancanza di procedure normative e standardizzate per il monitoraggio di questo inquinante nelle acque dolci interne non consente infatti di condurre analisi routinarie e replicabili, impedendo così la possibilità di effettuare valutazioni accurate e comparabili nel tempo dell'abbondanza e della composizione delle microplastiche. Di conseguenza, risulta difficile il confronto dei risultati ottenuti da diverse ricerche e la valutazione dell'efficacia delle misure adottate per contrastare il *plastic litter*.

Esiste, quindi, un'urgente necessità di un continuo investimento nella ricerca e nello sviluppo di metodologie analitiche armonizzate e validate per determinare i quantitativi e le tipologie di microplastiche veicolate dalle acque interne verso il mare.

In questo contesto, *l'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po (ADBPO)*, si è posta l'obiettivo di fornire un contributo alla conoscenza del problema dell'inquinamento da microplastiche presenti nelle acque del fiume Po, al fine di:

- **fornire stime realistiche quantitative e qualitative di microplastiche** nel fiume Po e veicolate nel mare Adriatico;
- **testare in ambiente fluviale la metodica di campionamento** e di analisi utilizzata in ambito marino per l'attuazione della DSM;
- offrire **informazioni sull'origine delle microplastiche** e sui loro **meccanismi di diffusione**;
- **innovare i quadri conoscitivi di riferimento** per il riesame del **Piano di Gestione 2021**, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e *ss.mm.ii.*



Per delineare un primo quadro conoscitivo, ADBPO ha, pertanto, avviato nel 2020 il primo progetto di ricerca scientifica italiana sulle microplastiche lungo il corso del fiume Po, denominato **Manta River Project 1**, con il supporto di *ARPAE Emilia-Romagna - Struttura Oceanografica Daphne (SOD)* di Cesenatico e il *Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente (DICMA) della Sapienza Università di Roma*.

Alla luce degli importanti e innovativi risultati ottenuti¹, ADBPO ha ritenuto utile proseguire la sperimentazione con lo studio **Manta River Project 2**, al fine di integrare e consolidare i dati già ottenuti sui quantitativi di microplastiche veicolate dal fiume Po al mare Adriatico.

Rispetto al primo studio, Manta River Project 2 ha previsto un'**intensificazione dell'attività di campionamento**, con un monitoraggio mensile che si è svolto tra il 2022 e il 2023, e l'**estensione dell'area geografica di ricerca** anche al tratto di Po piemontese. Sono state, infatti, ripetute le stazioni di campionamento di Isola Serafini (PC), Boretto (RE), Pontelagoscuro (FE) e Po di Goro (FE), già oggetto di indagine del Manta River Project 1 e, al fine di ottenere un quadro ambientale più rappresentativo dell'intera asta del fiume Po, sono state aggiunte le stazioni piemontesi di campionamento in località Chivasso (TO) e Isola Sant'Antonio (AL).

Oltre ai partner scientifici, già coinvolti nella prima sperimentazione, ADBPO ha continuato ad avvalersi del supporto logistico dell'*Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPo)* e, per la prima volta, dell'*Ente di Gestione delle Aree Protette Po piemontese*, che ha operato tramite l'*Associazione Amici del Po di Casale Monferrato e di Chivasso*.

Il Manta River Project 2 ha rappresentato dunque un'importante opportunità per consolidare un partenariato con un alto profilo professionale, basato su una stretta collaborazione tra istituzioni, Enti di ricerca e associazioni, tutti accomunati da un forte impegno per la tutela e la salvaguardia dell'ambiente. Il progetto, in linea con il punto 6 dell'**Obiettivo 17 Rafforzare le modalità di attuazione e rilanciare il partenariato globale per lo sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile**, intende promuovere e condividere le conoscenze scientifiche fondamentali per affrontare sfide globali come l'inquinamento da microplastiche.

In sintesi, le attività previste dal Manta River Project 2 sono state:

- l'esecuzione della procedura di **campionamento e analisi delle microplastiche**, con *range* dimensionale compreso tra **330 µm e 5 mm**, secondo la **DSM** e quindi mediante manta con rete di 330 µm per la valutazione della **concentrazione** e l'identificazione delle **categorie** e dei **colori** delle microplastiche campionate;
- la **caratterizzazione polimerica** delle microplastiche campionate con la tecnica **HyperSpectral imaging**, già utilizzata nel Manta River Project 1, affiancata dalle tecniche analitiche **FT-IR/micro-FT-IR**;
- il **confronto** dei risultati qualitativi e quantitativi ottenuti con le **diverse tecniche di analisi**;

¹ Fiore, L., Serranti, S., Mazziotti, C. et al. Classification and distribution of freshwater microplastics along the Italian Po River by hyperspectral imaging. *Environ Sci Pollut Res* 29, 48588–48606 (2022).



- il **confronto** dei risultati ottenuti dalle due **campagne di monitoraggio** (Manta River Project 1 e Manta River Project 2);
- la **valutazione** delle possibili principali **fonti di provenienza delle microplastiche** identificate.

2. AMBITO DI INDAGINE

Il fiume Po, con i suoi 652 km di lunghezza è il fiume più lungo interamente compreso nel territorio italiano. La superficie del bacino idrografico del Po si estende per oltre 71.000 km² e comprende quasi tutto il Nord Italia, con oltre 19 milioni di abitanti e grandi centri abitati (es. Milano, Torino, ecc.). I territori appartenenti al bacino idrografico del fiume Po sono caratterizzati da significative diversità territoriali e ambientali e costituiscono la maggiore area agricola e industriale italiana.

Il Grande Fiume fornisce il maggior apporto di acque continentali al mare Adriatico, con una portata media giornaliera a Pontelagoscuro, sezione di chiusura del bacino idrografico del fiume Po, pari a circa 1500 m³/s.

La scelta delle stazioni di campionamento (Figura 1) è stata concordata tra i partner del progetto al fine di soddisfare diverse esigenze, quali la rappresentatività delle stazioni e la geografia dell'asta del fiume Po, nonché la conseguente organizzazione della logistica.

Le attività di campionamento sono state condotte in **sei stazioni**, in corrispondenza delle seguenti località:

1. **Chivasso (TO)**
2. **Isola S. Antonio (AL)**
3. **Isola Serafini (PC)**
4. **Boretto (RE)**
5. **Pontelagoscuro (FE)**
6. **Po di Goro (FE).**

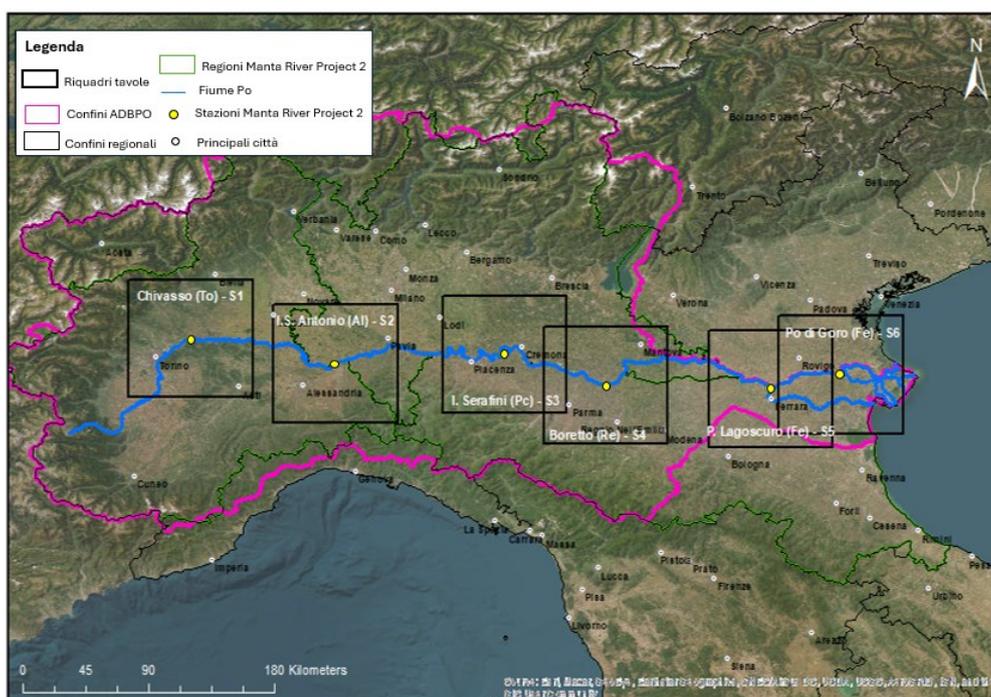


Figura 1 Stazioni di monitoraggio Manta River Project 2

3. MATERIALI E METODI

La **metodica di campionamento e analisi delle microplastiche** utilizzata in questo progetto è quella sviluppata nell'ambito dei monitoraggi per la Strategia Marina dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente **Scheda metodologica, MODULO 2 Analisi delle microplastiche, macroplastiche e altri rifiuti flottanti elaborata in collaborazione con Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, maggio 2018).**

Manta River Project 2, con una sperimentazione della durata di 12 mesi, ha permesso di testare in ambiente fluviale la metodica di campionamento sviluppata per l'ambiente marino, con l'obiettivo ultimo di comprendere la possibilità di replicare in un contesto differente la modalità di campionamento e le successive fasi di analisi.

La caratterizzazione delle microplastiche ha riguardato sia i parametri fisici, quali forma, dimensione e colore, sia quelli chimici, attraverso indagini sulla composizione polimerica.

3.1 Campionamento: frequenza e modalità

Il campionamento è stato svolto con **frequenza mensile**, da **maggio 2022** ad **aprile 2023**, campionando due stazioni al giorno su tre differenti giornate. Durante la prima giornata le stazioni coinvolte sono state Boretto e Isola Serafini, nella seconda giornata Chivasso e Isola Sant'Antonio, ed infine, il terzo giorno, Pontelagoscuro e Po di Goro.

Per il campionamento è stata utilizzata una rete tipo "**manta**", costruita appositamente per operare nello strato superficiale della colonna d'acqua. Essa è costituita da una bocca rettangolare metallica da cui si diparte il cono di rete con un bicchiere raccoglitore finale (Figura 2).

Il galleggiamento in superficie della manta è stato garantito dal polietilene espanso applicato all'esterno della bocca metallica. L'utilizzo della rete ha permesso di campionare grandi volumi d'acqua, trattenendo il materiale d'interesse.



Figura 2 Strumento utilizzato per il campionamento denominato "manta"

Le caratteristiche della manta utilizzata nel presente studio sono riportate in Tabella 1 .

Tabella 1 Caratteristiche della manta utilizzata

Dimensioni bocca della manta	Larghezza: 60 cm, altezza: 30 cm. Rapporto altezza e larghezza della bocca: 1/2.
Dimensioni maglia della rete	330 µm

La manta è stata calata lentamente dall'imbarcazione e lasciata in galleggiamento, essendo assicurata all'imbarcazione tramite una cima sino alla distanza di 70 cm dalla stessa. Successivamente, la manta è stata trainata fuori dalla scia provocata dall'imbarcazione, tramite l'utilizzo di un tangone laterale, in quanto la turbolenza indotta dalle eliche avrebbe potuto interferire sulla reale distribuzione delle microplastiche presenti sulla superficie dell'acqua (Figura 3).



Figura 3 Campionamento eseguito a bordo dell'imbarcazione di AIPo presso la stazione di Boretto in data 21 giugno 2022 (foto AIPo)

Per le fasi di campionamento è stata posta particolare attenzione al posizionamento delle tirate rispetto al flusso di acqua che scorre nell'alveo. In tutte le stazioni le tirate sono state effettuate scegliendo la parte centrale del fiume, nella consapevolezza che il flusso di portata dell'acqua, essendo dipendente dalla massa di acqua presente, tende a diminuire spostandosi verso la riva. In questo modo si è cercato di limitare le differenze dovute alla variabile ampiezza dell'alveo, in

particolare dovendo confrontare da un lato lo stesso punto/stazione nei 12 mesi e dall'altro le diverse stazioni del fiume Po fra loro.

La **tirata** è stata condotta per una durata di **20 minuti** ad una **velocità compresa tra 1 e 2 nodi**, in modo da permettere alla rete di filtrare l'acqua senza rigurgiti.

Per ogni tirata, tramite l'utilizzo di un sistema GPS satellitare sono state acquisite le coordinate durante tutto il periodo di campionamento, in modo da calcolare a posteriori e con precisione la distanza percorsa nel tempo di traino. Tale distanza è stata poi impiegata nella formula per il calcolo della concentrazione di microplastiche.

Il volume di acqua filtrata (m^3) è stato calcolato mediante la seguente formula:

$$V = l \times h \times d$$

Dove:

- **V** è il volume di acqua campionata con la manta (m^3);
- **l** è la larghezza apertura bocca interna della manta (m);
- **h** è l'altezza apertura bocca interna della manta (m);
- **d** è la lunghezza del percorso lineare campionato (m).

3.2 Raccolta e conservazione del campione

Per il recupero del materiale campionato, l'interno della manta è stata sciacquata con acqua distillata al fine di convogliare verso il bicchiere di raccolta quanto rimasto adeso alla rete. Successivamente, il materiale trattenuto dalla rete è stato trasferito in barattoli di vetro etichettati e fissato con alcol etilico al 70%.

I contenitori sono stati conservati in frigorifero a + 4°C fino al momento dell'analisi.

In Figura 4 sono raffigurati, a titolo esemplificativo, i contenitori dei campioni raccolti nelle sei stazioni nel mese di luglio 2022.



Figura 4 Campioni del mese di luglio 2022 nelle sei stazioni (Chivasso, Isola Sant'Antonio, Boretto, Isola Serafini, Pontelagoscuro, Po di Goro)

In tutti i campioni si è osservata la presenza di un'**abbondante frazione vegetale**, sia autoctona che di trasporto, costituita prevalentemente da foglie, piccoli rami e semi di salice e di pioppo.

Tale criticità è stata riscontrata soprattutto nei campioni primaverili e si è ripresentata, seppur in maniera più contenuta, anche nei mesi successivi. Le stazioni caratterizzate da una maggiore componente vegetale sono state in ordine decrescente: Chivasso, Isola Sant'Antonio, Pontelagoscuro, Boretto, Isola Serafini, e Po di Goro.

La cospicua presenza del materiale vegetale ha determinato non solo un allungamento dei tempi durante le fasi di campionamento (Figura 5), ma anche un rallentamento nelle fasi successive di selezione e analisi delle microplastiche.



Figura 5 Fasi di risciacquo e di recupero della frazione vegetale presso la stazione di Chivasso (TO)

In particolar modo, per le due stazioni piemontesi di Chivasso e Isola Sant'Antonio, dal campionamento di settembre 2022, si è scelto di riporre il materiale vegetale campionato in sacchi inerti che permettessero di recuperare le microplastiche successivamente in laboratorio, al fine di non allungare in modo eccessivo i tempi di stoccaggio *in situ* (Figura 6).

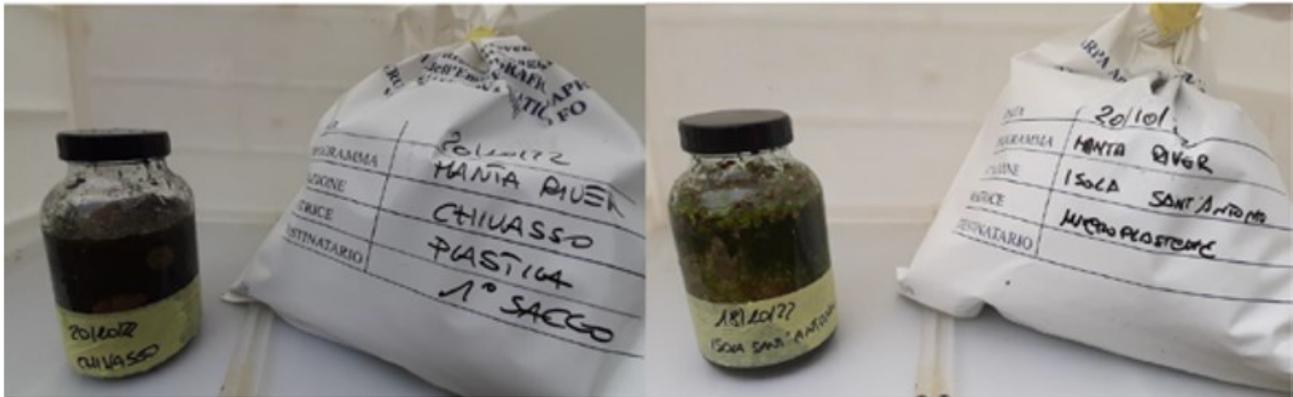


Figura 6 Frazione vegetale delle stazioni di Chivasso (TO) e Isola Sant'Antonio (AL)

3.3 Pretrattamento del campione

Per risolvere la problematica legata alla presenza di materiale organico, su alcune aliquote di campioni di Chivasso prelevati a maggio 2022 si è proceduto a degradare la sostanza vegetale con perossido di idrogeno, a due diverse concentrazioni (15% e 30%).

Il risultato ottenuto non ha soddisfatto le aspettative, in quanto la componente vegetale non è stata degradata e l'unico effetto ottenuto è stato uno sbiancamento della stessa.

Dunque, al fine di eliminare la frazione vegetale dai campioni, si è scelto di procedere con **cicli ripetuti di meticolose setacciate**.

3.4 Analisi di laboratorio

3.4.1 Protocollo per la separazione delle microplastiche

L'analisi è stata eseguita sul campione *in toto* presso i laboratori di ARPAE SOD di Cesenatico, utilizzando uno stereomicroscopio (Nikon SMZ800 10x, obiettivo Plan Apo 1X wd 70 mm, polarizzazione circolare con sorgente di luce fredda Photonic PL 2000 Lumen).

Le diverse fasi del procedimento utilizzato per le analisi di laboratorio sono riportate nel box che segue. Si precisa che durante **tutte le fasi di trasferimento e lavaggio** del campione è stata usata **acqua distillata**.

Procedimento utilizzato

1. Trasferimento di tutto il campione su una serie composta da **due setacci** (da **5 mm** e **330 µm**), sciacquando più volte il contenitore con acqua distillata, per il completo recupero delle microplastiche (Figura 7).
2. **Lavaggio** accurato della **frazione composta da residui vegetali e/o animali** superiori ai **5 mm**, trattenuta dal setaccio con le maglie maggiori.
3. Trasferimento della frazione di campione contenente le microplastiche in un becher di vetro e successivo smistamento dei frammenti di plastica flottanti su piastra Petri con fondo retinato per l'**analisi allo stereomicroscopio**, annotando l'ingrandimento impiegato (Figura 8).
4. **Smistamento** (*sorting*) della componente flottante separando, con l'ausilio di una pinzetta, il **materiale plastico** da altri residui di tipo organico (vegetali, legno, ecc.).
5. **Smistamento del precipitato** per verificare la presenza di microplastiche con una densità maggiore, oppure rimaste "bloccate" dentro ai residui vegetali e/o animali.
6. **Suddivisione e conteggio delle microplastiche** identificate nel campione in base alla **categoria** e al **colore** (bianco, nero, rosso, blu, verde).

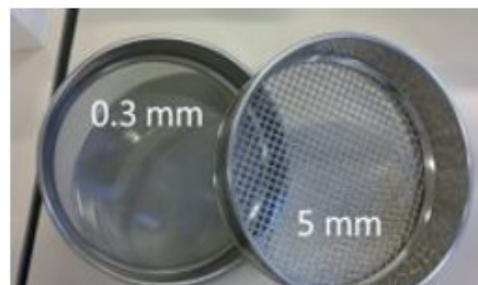


Figura 7 Fase di setacciatura del campione

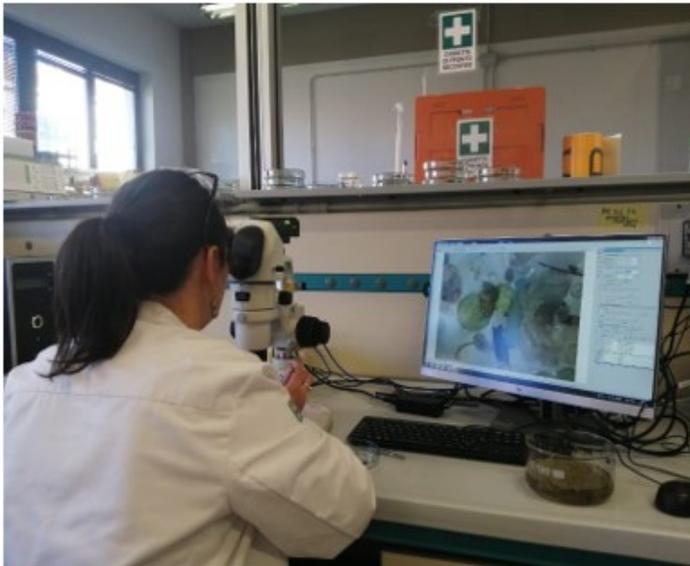


Figura 8 Analisi allo stereomicroscopio presso i laboratori di ARPAE-SOD di Cesenatico

Le sei categorie di microplastiche, rappresentate in Figura 9, sono state utilizzate come criterio di separazione durante l'analisi. Le caratteristiche di ciascuna categoria sono descritte in Tabella 2.



Figura 9 Rappresentazione delle sei categorie di microplastiche

Tabella 2 Categoria microplastiche e descrizione sintetica delle loro caratteristiche

Categoria	Descrizione
Frammento	porzione di plastica dura rotta, può avere contorno subcircolare, angolare, subangolare
Foglio	porzione di plastica morbida rotta spesso di forma angolare o subangolare
Filamento	elemento filiforme, flessibile, di forma allungata, sottile
Foam	forma sferoidale, consistenza morbida (polistirolo)
Granulo	forma sferica irregolare o anche liscia di consistenza dura
Pellet	forma cilindrica, ovoidale, discoidale, sferoidale, piatta

Per le sei categorie, secondo la definizione adottata dall'*United Nations Environment Programme* (UNEP)², è possibile distinguere **due tipologie di microplastiche** in base alla loro **origine**:

- **microplastiche primarie**, prodotte con quel particolare *range* dimensionale, come ad esempio i *microbead*, spesso impiegati come additivi nei prodotti farmaceutici e per la cura personale³; e i pellet, intermedi industriali destinati ad essere fusi per la produzione di manufatti in plastica;
- **microplastiche secondarie**, derivate dalla degradazione di oggetti di plastica di più grandi dimensioni (come imballaggi di vario tipo, bottiglie, rifiuti plastici, ecc.) attraverso diversi processi di alterazione fisica, chimica e biologica - come la fotodegradazione. La frammentazione e la degradazione di manufatti in plastica possono quindi rilasciare nell'ambiente microplastiche secondarie, come frammenti, granuli (con diametro di circa 1 mm), fogli e foam.

Al fine di ottimizzare la successiva fase di analisi presso la Sapienza Università di Roma, le **microplastiche** di dimensioni **inferiori a circa 2-3 mm** sono state disposte su **supporti metallici** circolari ricoperti da un adesivo nero, usualmente impiegati nella microscopia elettronica; mentre quelle di dimensioni **maggiori a 3 mm** sono state raccolte in **piccoli contenitori di vetro o in capsule Petri** e successivamente disposte su supporti rettangolari di colore nero per l'analisi HSI-31 mm e FT-IR (Figura 10 e Figura 11).

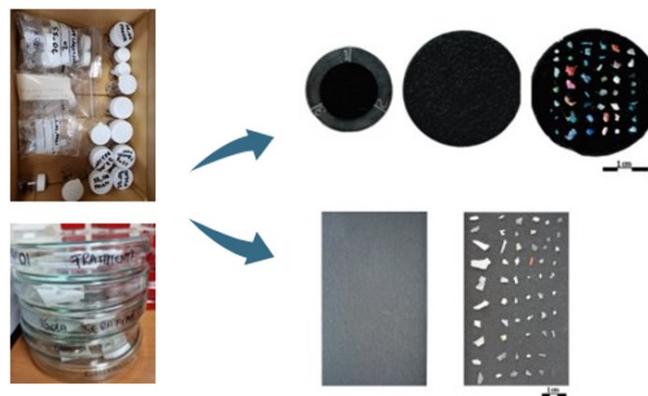


Figura 10 Preparazione dei campioni per analisi HSI e FT-IR/micro-FT-IR



Figura 11 Esempi di bottiglie contenenti microplastiche superiori a 3 mm

² Nikiema, Josiane, et al. "Water pollution by plastics and microplastics: a review of technical solutions from source to sea." (2020).

³ Kiruthika, K. M., and L. Vignesh Rajkumar. "A critical review of the recent trends in source tracing of microplastics in the environment." *Environmental Research* (2023): 117394.

3.4.2 Caratterizzazione morfologica e morfometrica delle microplastiche

Presso il laboratorio RawMaLab (Raw Materials Laboratory) del DICMA Sapienza Università di Roma, per ogni microplastica è stata acquisita l'immagine pittorica in forma digitale tramite la fotocamera Nikon D5200. L'analisi d'immagine, finalizzata alla segmentazione delle particelle e alla loro caratterizzazione morfologica e morfometrica, è stata effettuata mediante l'utilizzo di uno *script* realizzato *ad hoc* in ambiente Matlab Version 9.14 (R2023a). Per ciascuna particella di microplastica sono stati misurati i parametri morfologici riportati e descritti in Tabella 3.

Tabella 3 Parametri morfologici e morfometrici misurati a partire dalle immagini digitali dei campioni

Parametro	Unità di misura	Descrizione
Area	mm ²	Area dell'oggetto
Aspect	-	Rapporto fra asse maggiore e asse minore dell'ellisse equivalente
Diametro di Feret minimo	mm	Distanza minore tra due tangenti parallele ai lati della particella
Diametro di Feret massimo	mm	Distanza maggiore tra due tangenti parallele ai lati della particella
Diametro di Feret medio	mm	Distanza media tra due tangenti parallele ai lati della particella
Perimetro	mm	Lunghezza del contorno della particella
Circularity	-	Fornisce un'indicazione circa la circolarità dell'oggetto
Roundness	-	Descrittore di forma misurato come inverso dell' <i>aspect</i>

La caratterizzazione morfologica e morfometrica delle microplastiche è stata effettuata seguendo quattro fasi:

1. calibrazione spaziale dell'immagine mediante la conversione dei pixel in millimetri, al fine di misurare i parametri di forma e dimensioni delle particelle presenti;
2. segmentazione dell'immagine, in maniera tale da avere gli oggetti in bianco sul fondo nero per definire gli oggetti da misurare;
3. conteggio delle particelle;
4. misurazione dei parametri morfologici e morfometrici selezionati per ciascuna particella.

In Figura 12 è mostrata la procedura applicata per la conduzione delle analisi.

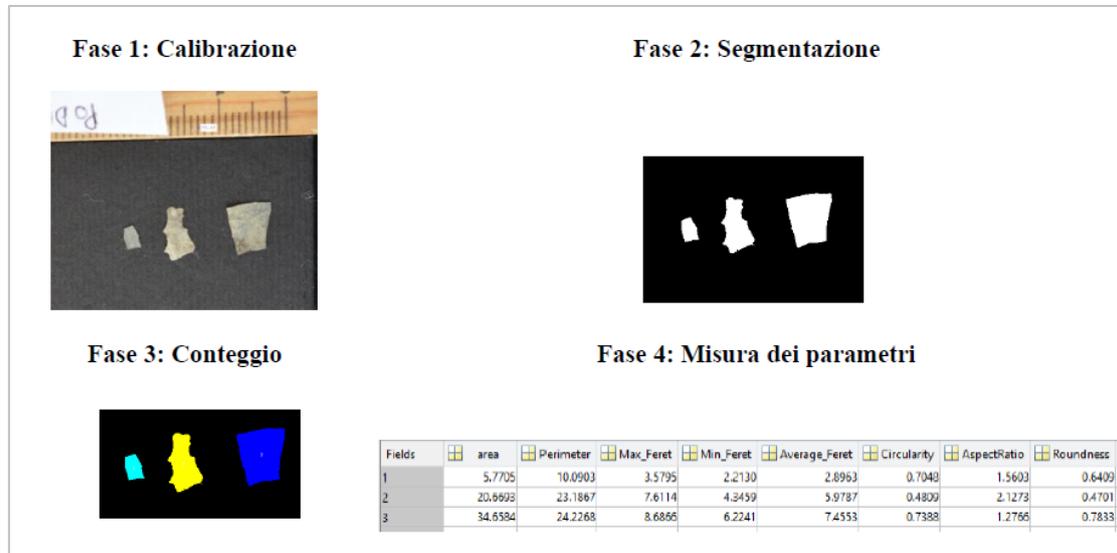


Figura 12 Fasi della procedura applicata per effettuare la caratterizzazione morfologica e morfometrica delle particelle di microplastica mediante analisi d'immagine digitale

3.4.3 Caratterizzazione polimerica delle microplastiche

Il riconoscimento polimerico delle microplastiche è stato effettuato presso il laboratorio RawMaLab del DICMA Sapienza Università di Roma, utilizzando tre diverse tecniche: **analisi di immagine iperspettrale (HSI)**, **FT-IR** e **micro-FT-IR**.

Nel presente studio è stata confermata la scelta di utilizzare la **tecnica HSI**, già testata nel Manta River Project 1, in quanto ha rappresentato un'importante **novità per il riconoscimento automatizzato delle microplastiche** campionate in **ambiente fluviale**, dimostrando la sua efficacia in termini di identificazione simultanea di molti polimeri diversi.

L'**HSI** rispetto ai metodi spettroscopici tradizionali e più utilizzati, come la spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FT-IR) e la spettroscopia Raman, è una **tecnica efficiente** in termini di costi e tempo, poiché consente un **rilevamento accurato, non distruttivo e veloce** delle microplastiche. Combinando i vantaggi della spettroscopia con quelli dell'*imaging* digitale, l'HSI consente di acquisire rapidamente per ciascun pixel dell'immagine iperspettrale uno spettro in un intervallo selezionato di lunghezze d'onda. L'identificazione dei polimeri è particolarmente efficace nelle lunghezze d'onda del vicino infrarosso (*Near InfraRed* – NIR: 1000-1700 nm) e dell'infrarosso a onde corte (*Short-Wave InfraRed* – SWIR: 1000-2500 nm), poiché ciascun polimero presenta un'impronta spettrale unica in queste regioni, caratterizzata da specifici assorbimenti correlati alla sua struttura molecolare.

La **procedura sperimentale** per la caratterizzazione delle microplastiche mediante la **tecnica HSI** ha previsto l'utilizzo della piattaforma iperspettrale SISUChem XLTM Chemical Imaging Workstation (Specim, Finlandia), equipaggiata con lo spettrografo ImSpector™ N25E (Specim, Finlandia) (Figura 13) operante nell'intervallo di lunghezze d'onda dell'infrarosso a onde corte dello SWIR (1000-2500 nm).

Tutte le immagini iperspettrali sono state importate in ambiente MATLAB® (Versione 9.3.0, The Mathworks, Inc.) e successivamente analizzate tramite il PLS_toolbox (versione 8.6; Eigenvector Research, Inc.) e il MIA_toolbox (versione 3.0; Eigenvector Research, Inc.).

In particolare, per la costruzione del **modello di classificazione**, sono state acquisite le immagini iperspettrali di **polimeri di riferimento**, selezionati tra quelli maggiormente diffusi e più precisamente di:

- **poliammide (PA),**
- **polietilene (PE),**
- **polietilentereftalato (PET),**
- **polipropilene (PP),**
- **polivinilcloruro (PVC),**
- **polistirene (PS),**
- **polistirene espanso (EPS).**

Per un approfondimento sul modello gerarchico PLS-DA utilizzato per la classificazione dei polimeri impiegato nel presente studio si rimanda alla pubblicazione di Fiore *et al.* del 2022⁴, riguardante i risultati ottenuti nel *Manta River Project 1*.

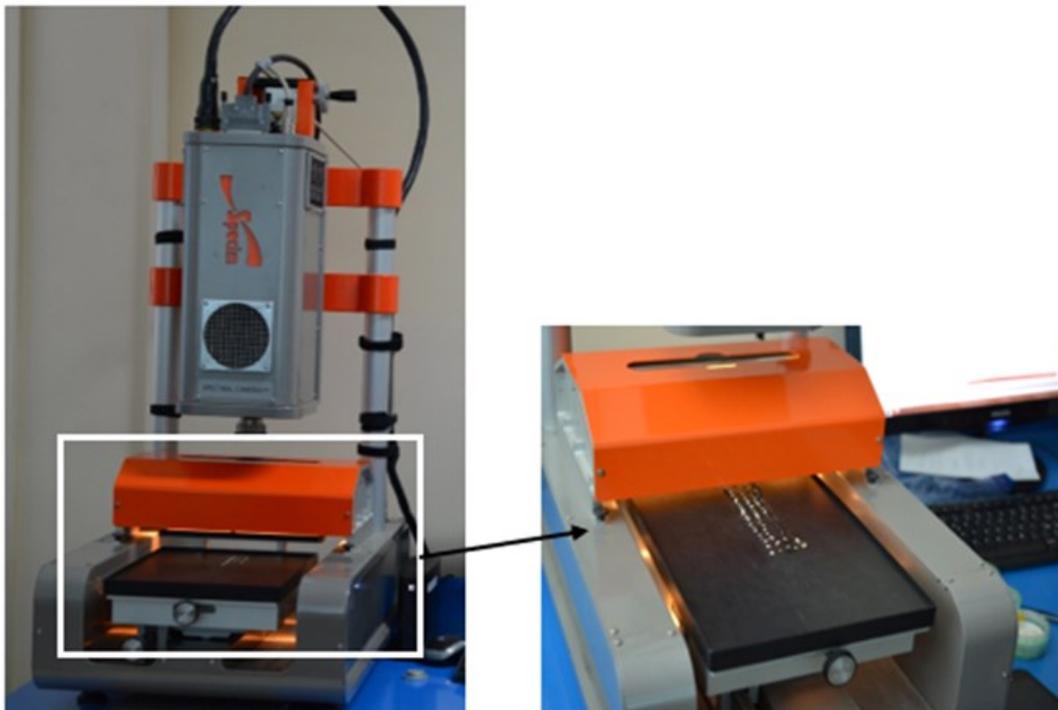


Figura 13 Piattaforma SISUChem XLTM utilizzata per l'acquisizione delle immagini iperspettrali

⁴ Fiore, Ludovica, et al. "Classification and distribution of freshwater microplastics along the Italian Po river by hyperspectral imaging." *Environmental Science and Pollution Research* 29.32 (2022): 48588-48606.

Le **stesse particelle** analizzate con la tecnica HSI sono state caratterizzate anche mediante la **tecnica analitica FT-IR**, utilizzando due diverse strumentazioni, in funzione della **dimensione delle microplastiche** (Figura 14):

- **analisi FT-IR in ATR** nell'intervallo di lunghezze d'onda da 4000 a 400 cm^{-1} , effettuata mediante lo spettrofotometro IRAffinity-1S (Shimadzu) dotato di un interferometro di Michelson (angolo di incidenza 30°). Tale tecnica è stata utilizzata per l'analisi dei **campioni superiori a 2-3 mm**;
- **analisi micro-FT-IR** effettuata mediante strumentazione costituita da un microscopio e un rivelatore MCT (Cadmium Mercurium Telluride) raffreddato ad azoto liquido, che copre il range spettrale 6000-600 cm^{-1} . Il microscopio è collegato ad uno spettrometro a interferenza FT-IR (Vertex 70 della Bruker) equipaggiato con una cella ATR. Tale tecnica è stata utilizzata per l'analisi dei **campioni uguali o inferiori a 3 mm**.

Gli spettri FT-IR ottenuti utilizzando lo strumento IRAffinity-1S sono stati elaborati automaticamente e confrontati con il database dei polimeri fornito da Shimadzu. Per quanto riguarda il micro-FT-IR, attraverso il sistema di *imaging* del software è possibile scegliere il punto di analisi o una griglia di punti sul singolo campione e raccolto lo spettro infrarosso su ogni singolo punto. Lo spettro di interesse ottenuto è stato confrontato con i database a disposizione per il riconoscimento del tipo di polimero.

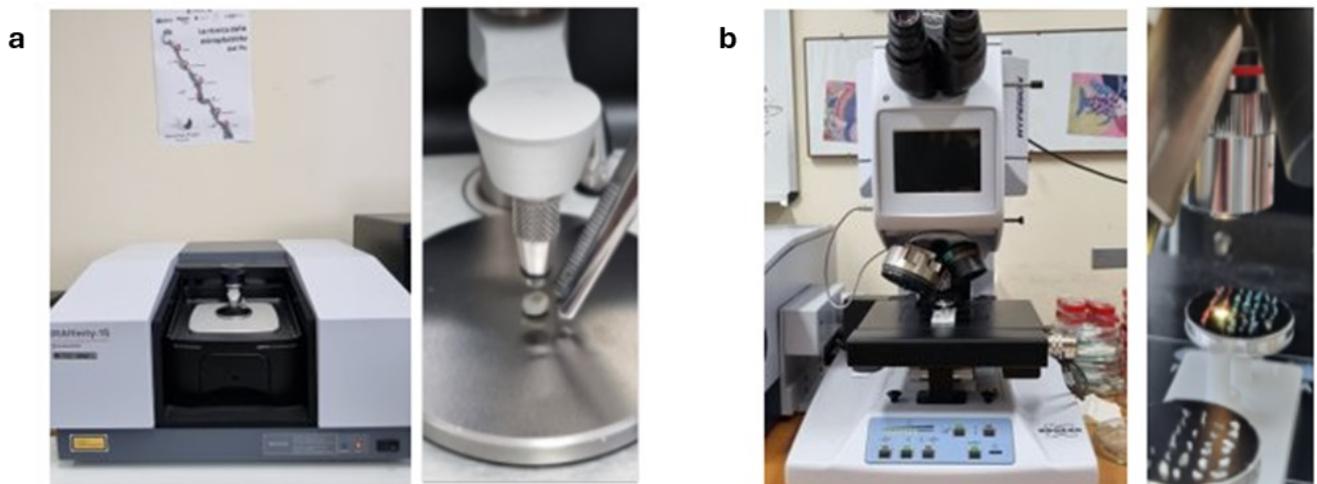


Figura 14 a) Spettrofotometro FT-IR (IRAffinity-1S, Shimadzu); b) Microscopio collegato ad uno spettrometro a interferenza FT-IR (Vertex 70, Bruker)

4. RISULTATI

I successivi paragrafi descrivono i risultati ottenuti con Manta River Project 2, evidenziando la distribuzione delle microplastiche riscontrate nel fiume Po, in termini di concentrazione, composizione morfologica e morfometrica, colore, e composizione polimerica.

4.1 Concentrazione delle microplastiche

In Figura 15 si riporta il valore medio, minimo, massimo, e la mediana della concentrazione di microplastiche riscontrate nelle sei stazioni nei dodici mesi di campionamento. Si precisa che la **concentrazione di microplastiche** è espressa come numero di particelle per m³ di acqua campionata (n°/m³).

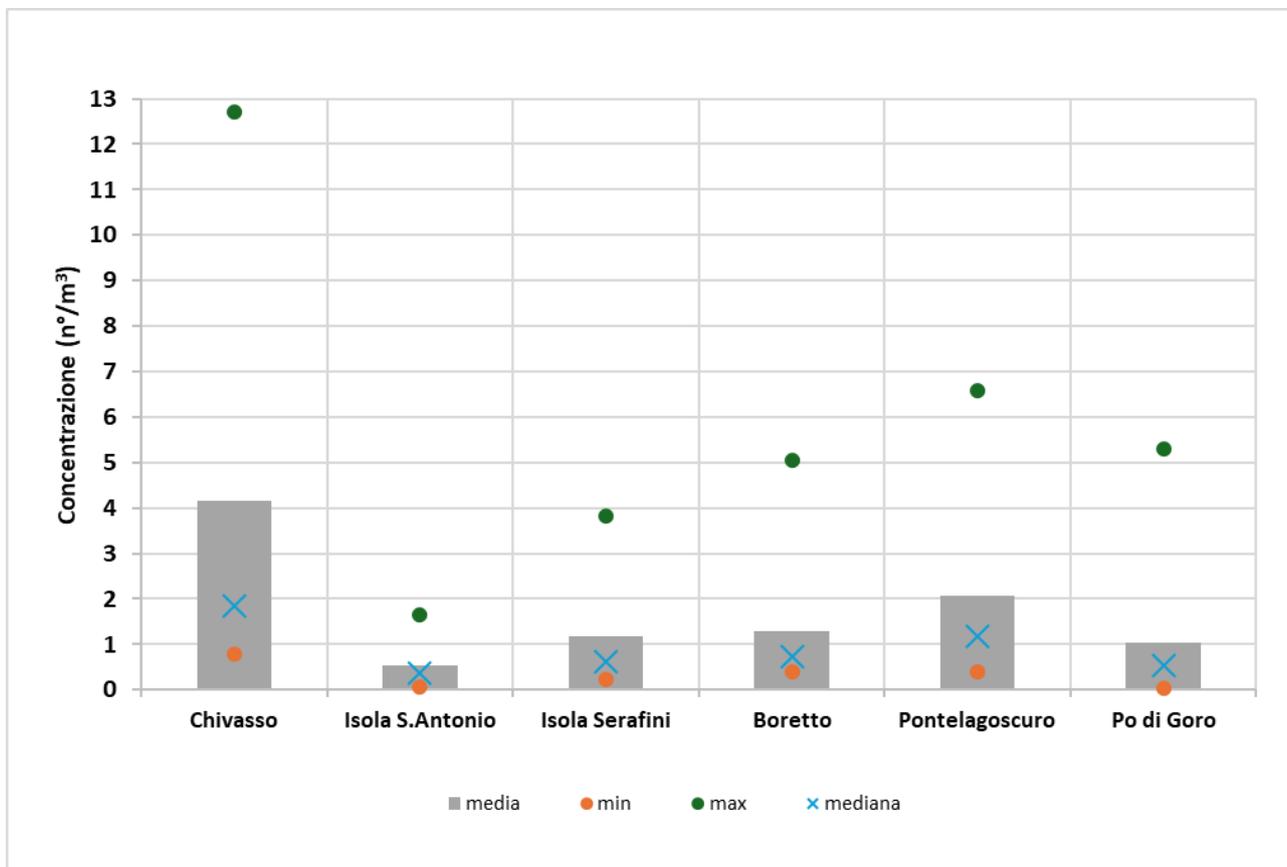


Figura 15 Concentrazione (media, minima, massima, mediana) delle microplastiche espressa in n°/m³ nelle sei stazioni nei 12 mesi di campionamento

Nel corso dei dodici mesi di campionamento, a **Chivasso**, la stazione più a monte, è stato registrato un **valore medio di concentrazione di microplastiche** pari a **4,2 n°/m³**, ben al di sopra dei valori medi di concentrazione riscontrati nelle **restanti cinque stazioni**, che invece hanno mostrato valori compresi tra **0,5 e 2,1 n°/m³**.

La contrazione media più bassa è stata riscontrata nella stazione di Isola Sant'Antonio, pari a 0,5 n°/m³.

Concentrazioni medie simili sono state riscontrate in tre stazioni: Isola Sant'Antonio (1,2 n°/m³), Boretto (1,3 n°/m³) e Po di Goro (1,0 n°/m³).

Anche il valore più alto tra i valori massimi di concentrazione di microplastiche è stato osservato nella stazione di Chivasso, 12,7 n°/m³ registrato nel mese di maggio 2022. Nelle altre stazioni sono stati registrati valori massimi inferiori a 6,6 n°/m³.

I dati mostrati indicano una **grande variabilità di concentrazione di microplastiche** sia temporale sia spaziale. Le possibili cause che possono influenzare in maniera significativa l'eterogeneità della concentrazione di microplastiche nei siti di campionamento sono ascrivibili a diversi fattori, quali la presenza di impianti di trattamento delle acque reflue, le caratteristiche geomorfologiche dei tratti fluviali, la velocità di sedimentazione dovuta alla riduzione della portata del fiume, i rilasci da parte di insediamenti industriali, e gli eventi stagionali e meteorologici^{5 6}. Tutti fattori che dovranno essere oggetto di ulteriori verifiche e accertamenti.

5 Mani, Thomas, et al. "Microplastics profile along the Rhine River." Scientific reports 5.1 (2015): 17988.

6 Kiruthika, K. M., and L. Vignesh Rajkumar. "A critical review of the recent trends in source tracing of microplastics in the environment." Environmental Research (2023): 117394.



4.2 Composizione morfologica e morfometrica delle microplastiche

In Figura 16 si riportano, a titolo esemplificativo, i campioni reali di microplastiche suddivise in base alle sei categorie di riferimento utilizzate.

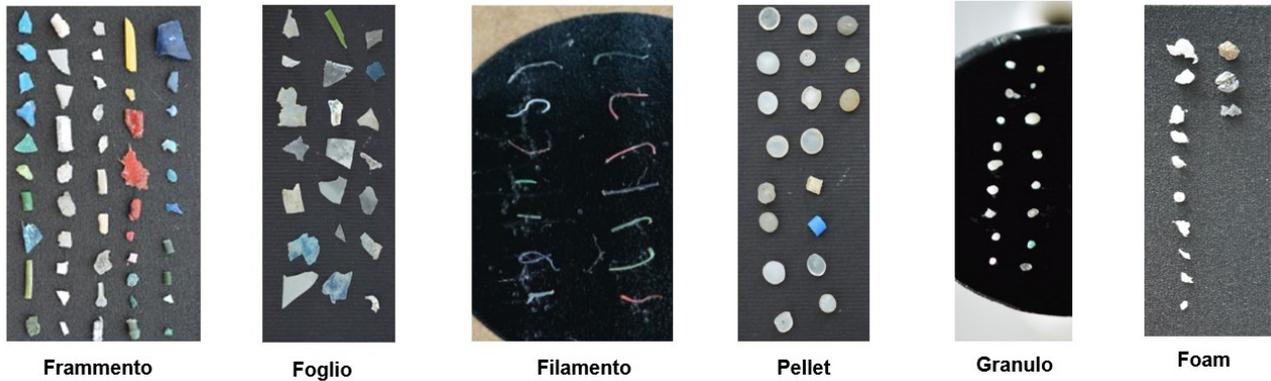


Figura 16 Campioni reali di microplastiche suddividi in base alle sei categorie

L'analisi morfologica delle microplastiche (frammento, filamento, foglio, granulo, pellet, foam) indagate nei campioni prelevati (Figura 17) ha evidenziato che le categorie più rappresentate sono **frammento** (56%) e **foam** (24%), seguite da **pellet** e **fogli** con la stessa percentuale (7%), **granuli** (6%) e **filamenti** (1%).

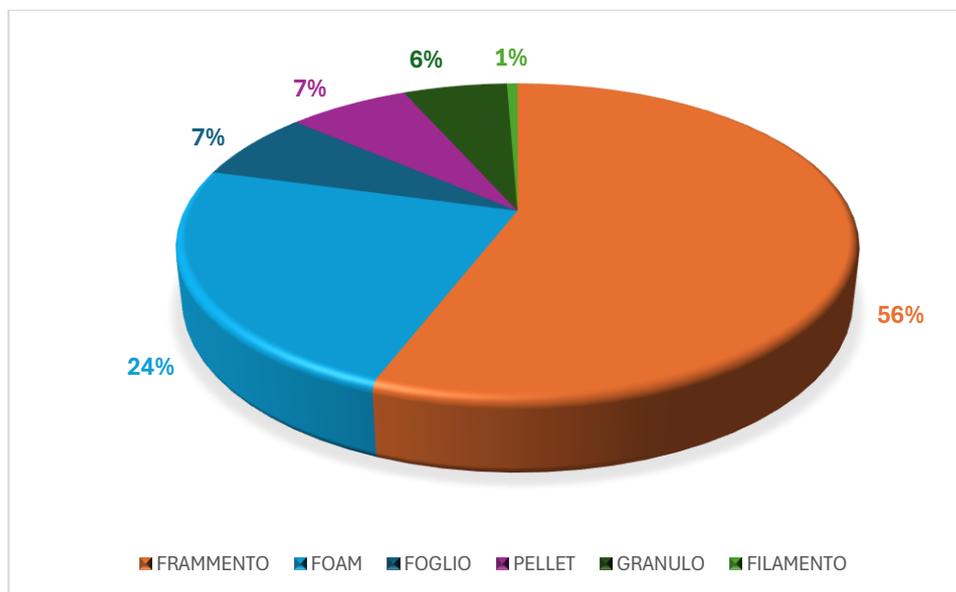


Figura 17 Ripartizione percentuale totale delle categorie di microplastiche nel fiume Po

La ridotta presenza di **pellet**, microplastica di origine primaria, che costituisce complessivamente il **7%** delle microplastiche riscontrate, può indicare l'adozione di corrette azioni da parte delle industrie locali per evitarne la dispersione nell'ambiente, in accordo con quanto osservato anche in altri studi⁷.

La scarsa presenza di **filamenti**, che rappresentano solo l'**1%** della totalità di microplastiche campionate, potrebbe essere giustificata dal fatto che queste microplastiche, elementi filiformi, flessibili, e dalla forma allungata, sono caratterizzate da un diametro minimo inferiore rispetto alle dimensioni della maglia della manta (330 µm), che ne rende difficile la raccolta⁸.

In Figura 18, per ciascuna stazione si riporta in dettaglio la distribuzione media percentuale delle categorie riscontrate nel corso dei dodici campionamenti mensili.

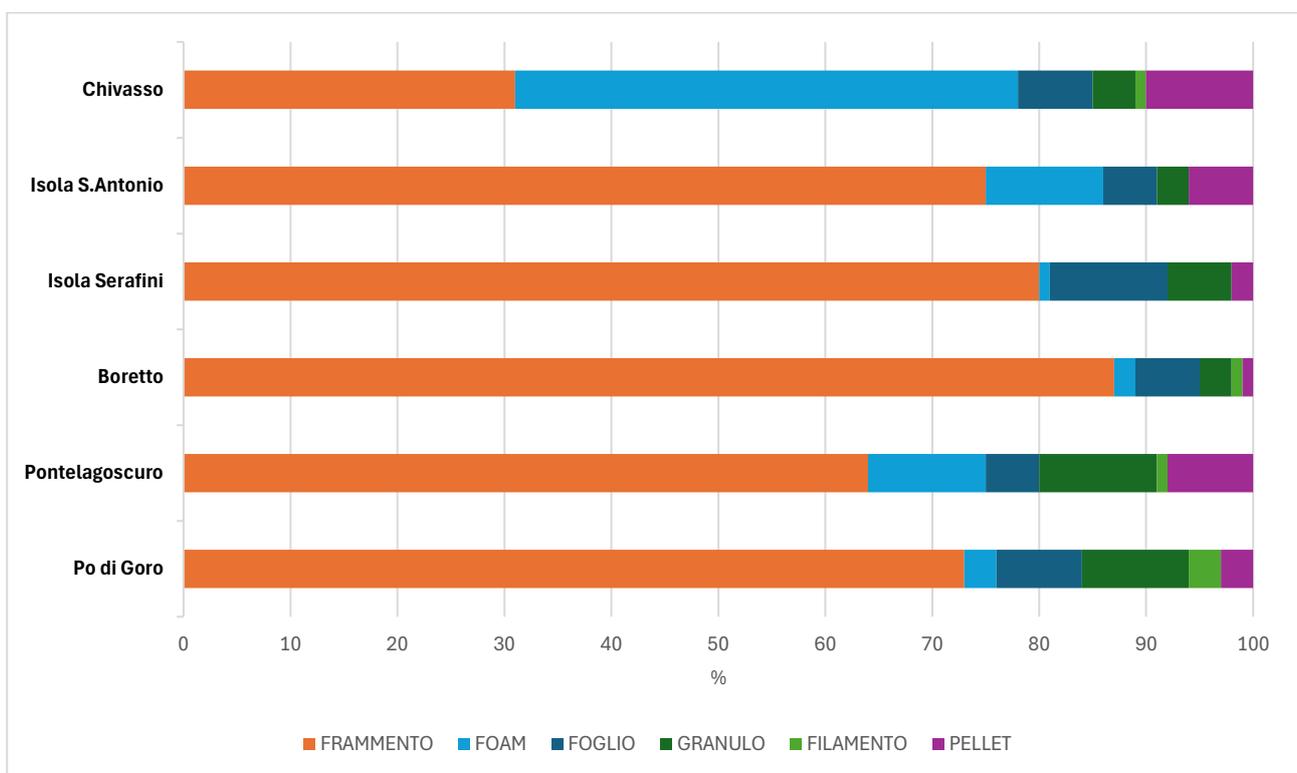


Figura 18 Ripartizione percentuale totale delle categorie di microplastiche nelle stazioni indagate

La categoria più riscontrata nei campioni durante l'anno di indagine in corrispondenza delle stazioni di Isola Sant'Antonio, Isola Serafini, Boretto, Pontelagoscuro, e Po di Goro è stata quella del **frammento** (microplastica secondaria) con percentuali comprese **tra il 65% e l'87%**, ad eccezione dei campioni di **Chivasso**, in cui la categoria più abbondante è risultata quella del **foam (47%)**.

La categoria **filamento** non è stata riscontrata nelle stazioni di Isola Sant'Antonio e Isola Serafini e nelle restanti stazioni è stata la categoria meno rappresentata, con **percentuali inferiori al 3%** (Chivasso 0,2 %, Boretto e Pontelagoscuro 1%, Po di Goro 3%).

⁷ Kiruthika, K. M., and L. Vignesh Rajkumar. "A critical review of the recent trends in source tracing of microplastics in the environment." *Environmental Research* (2023): 117394.

⁸ Ryan, Peter G., et al. "Sampling microfibrils at the sea surface: the effects of mesh size, sample volume and water depth." *Environmental Pollution* 258 (2020): 113413.



La categoria **pellet** è stata riscontrata **in tutte le stazioni**. La percentuale maggiore è stata registrata a Chivasso (11%), segue Pontelagoscuro con il 9%, Isola Sant'Antonio con il 6%, Po di Goro con il 3%, Isola Serafini con il 2% e Boretto con l'1%.

Nel complesso, nelle sei stazioni, si osserva una **predominanza di microplastiche di origine secondaria** (frammenti, foam, fogli, granuli) e questo suggerisce che il principale fattore di inquinamento da microplastica sia la degradazione di plastiche più grandi provenienti da fonti terrestri, come discariche o rifiuti abbandonati volontariamente o accidentalmente nell'ambiente.

Per le microplastiche campionate sono stati misurati, a partire dalle immagini digitali dei campioni, i **parametri morfologici e morfometrici**, che hanno evidenziato un'**ampia variabilità di forma e di dimensione**. Nella maggior parte dei casi i campioni analizzati rientrano nella dimensione *standard* definita per le microplastiche. Infatti, prendendo in considerazione per tutte le microplastiche analizzate il parametro **diametro di Feret massimo**, definito come la distanza maggiore tra due tangenti parallele ai lati della particella, questo è risultato **inferiore a 5 mm**.

In dettaglio, esaminando le diverse morfologie di microplastiche, è stato osservato che la forma allungata dei **filamenti** è confermata da **valori elevati del parametro Aspect** e da piccoli valori del parametro *Area* rispetto a grandi valori del parametro *Perimetro*.

I **pellet** mostrano **dimensioni e forme piuttosto omogenee**, per lo più sferiche/cilindriche, in accordo con la loro origine, quindi minima variabilità dei parametri misurati.

I **foam e fogli**, a differenza dei pellet, presentano una **variazione significativa** di tutti i parametri **dimensionali** e di **forma** analizzati.

Per quanto riguarda i **granuli**, invece, si evidenzia come essi siano caratterizzati da una **ridotta variabilità in termini dimensionali**, presentando anch'essi una forma abbastanza circolare, ma generalmente di dimensioni minori rispetto ai pellet.

Infine, i **frammenti** evidenziano una **grande variabilità** per la maggior parte dei parametri di **dimensione e forma** e risultano, in accordo con i valori riscontrati, meno arrotondati rispetto ai pellet e ai granuli.

4.3 Distribuzione del colore delle microplastiche

I colori vengono aggiunti alle materie plastiche tramite pigmenti, al fine di ottenere prodotti in plastica più attraenti e in linea con le effettive esigenze di mercato e di utilizzo.

Il colore gioca un ruolo chiave nel processo di fotoinvecchiamento della plastica, accelerando il processo di degradazione e di formazione delle microplastiche nell'ambiente.

Le microplastiche, spesso scambiate per cibo a causa delle loro dimensioni e del loro colore, rappresentano una grave minaccia per la vita acquatica. Infatti, tali caratteristiche cromatiche potrebbero influenzare selettivamente l'ingestione da parte degli organismi acquatici, con potenziali conseguenze negative per la loro salute.

Nel complesso lungo l'asta del fiume Po il colore dominante delle microplastiche è il **bianco** (57%), segue il **nero** con il 20%, il **verde** con l'11%, il **blu** con l'8% e infine il **rosso** con il 4% (Figura 19).

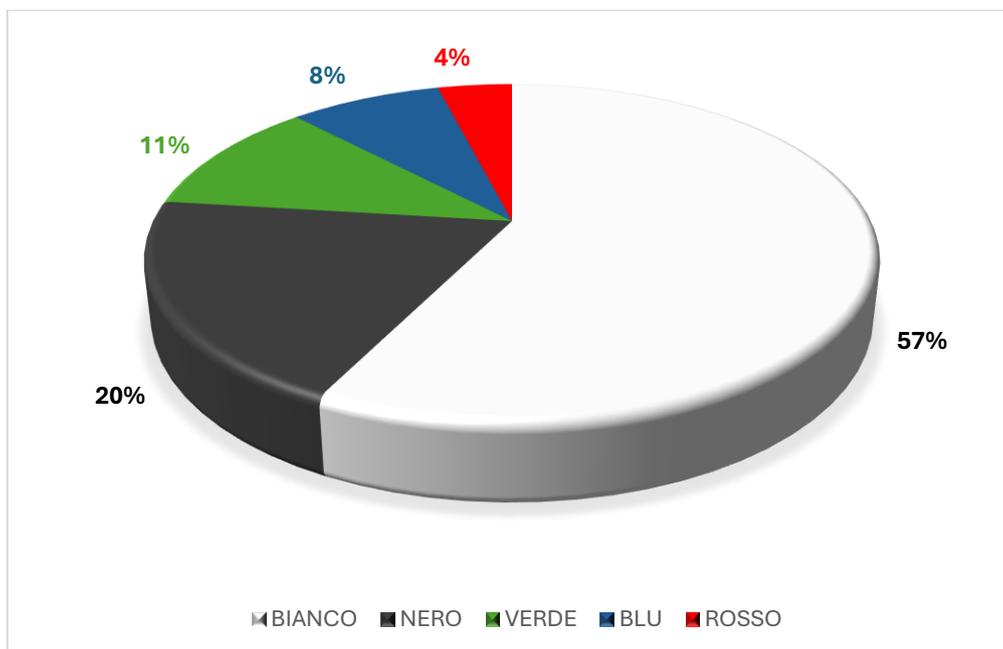


Figura 19 Distribuzione del colore delle microplastiche nel fiume Po

I colori indagati, seppur con percentuali differenti, sono stati **tutti ritrovati lungo l'asta del fiume Po**.

Di seguito, per le sei stazioni, si riporta la distribuzione totale percentuale del colore delle microplastiche (bianco, nero, rosso, blu e verde) riscontrate nei dodici campionamenti mensili (Figura 20).

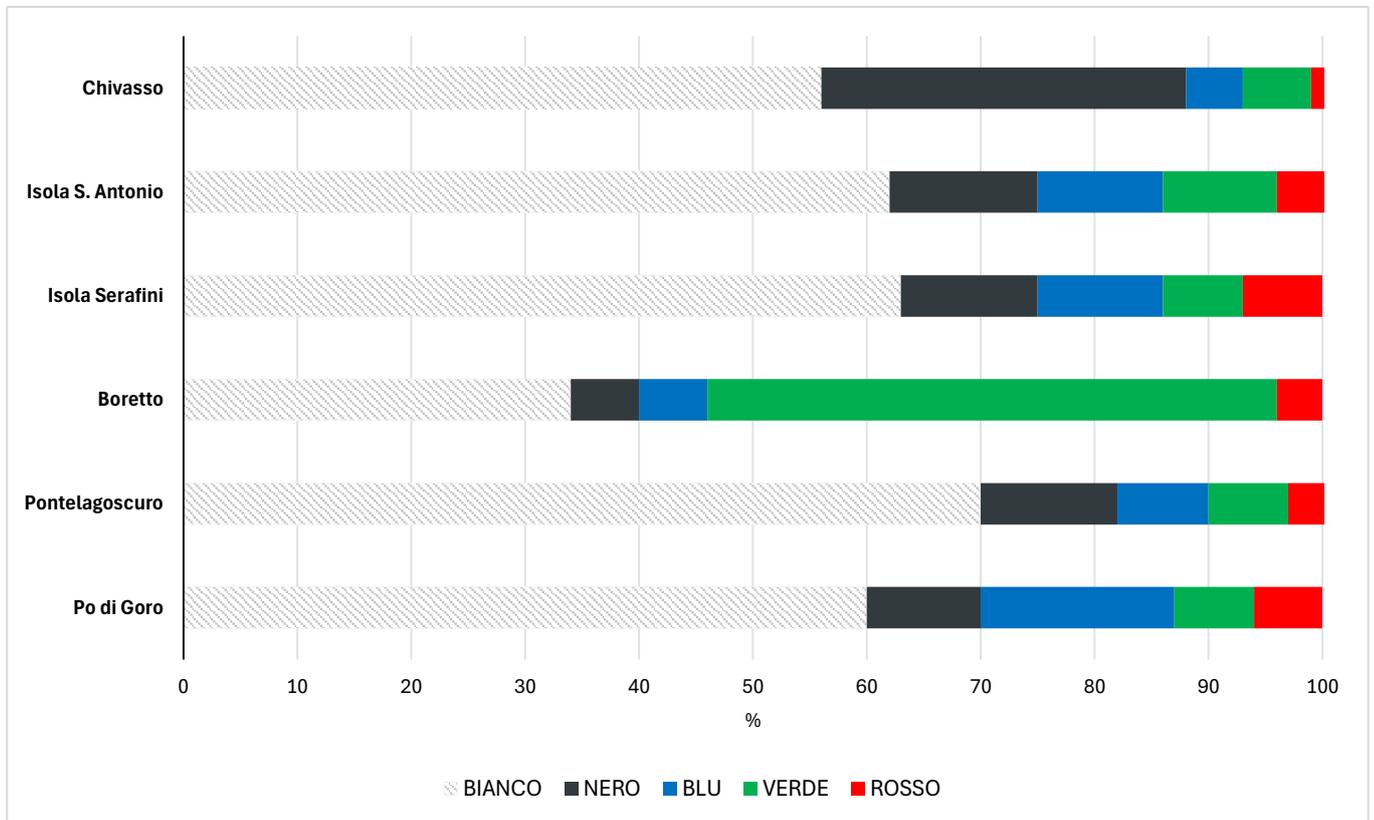


Figura 20 Distribuzione del colore delle microplastiche nelle stazioni indagate

Nelle stazioni di Chivasso, Isola Sant'Antonio, Isola Serafini, Pontelagoscuro e Po di Goro, il colore delle microplastiche più riscontrato è stato il bianco, con una percentuale compresa tra il 56% e il 70%. Nella sola stazione di Boretto, invece, prevalgono le microplastiche di colore verde, che rappresentano il 50% delle microplastiche campionate. Una percentuale così elevata di microplastiche di colore verde è riconducibile al campionamento di luglio 2022, che ha fatto registrare 558 particelle verdi su un totale di 1236 microplastiche campionate nel corso dei 12 mesi.

4.4 Classificazione polimerica delle microplastiche mediante HSI, FT-IR e micro-FT-IR

L'utilizzo delle tecniche di analisi HSI, FT-IR e micro-FT-IR ha consentito di ottenere una **classificazione completa** delle particelle di microplastica campionate relativamente alla loro **composizione polimerica**.

In Figura 21 vengono riportati i risultati per il fiume Po relativi alla distribuzione complessiva percentuale delle tipologie di polimeri classificate mediante **analisi HSI** (escluse le particelle nere e incluse le particelle non classificate - NC dal modello HSI).

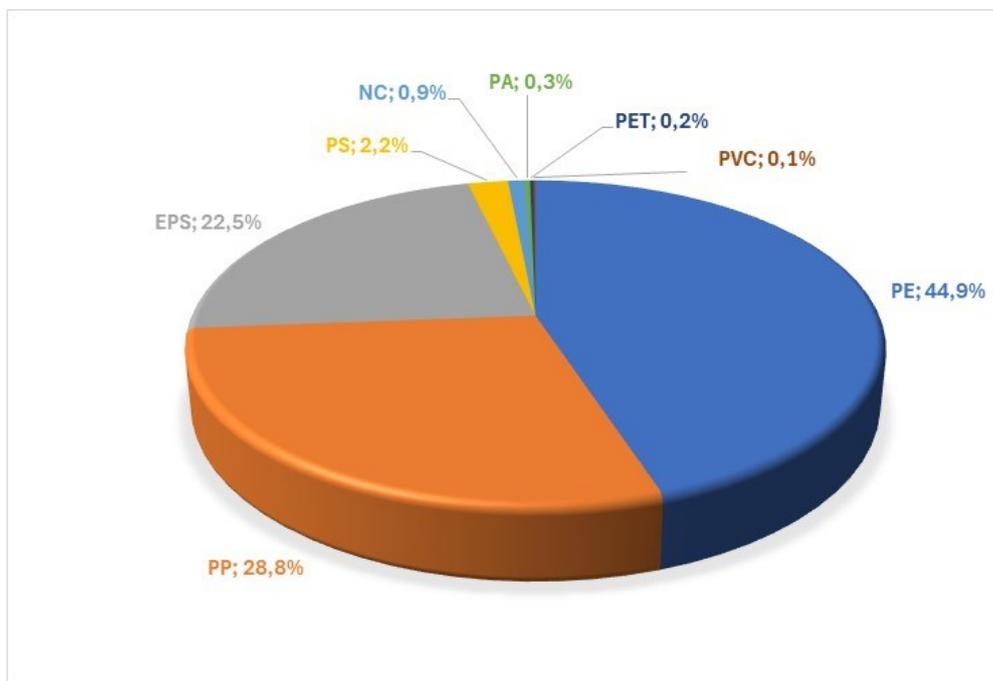


Figura 21 Distribuzione delle tipologie di polimero (%) rilevate mediante analisi HSI

La composizione di tutte le microplastiche esaminate mediante HSI ha evidenziato la presenza dominante di **PE**, che rappresenta il **44,9%** del totale. Gli altri polimeri individuati sono stati il **PP** (28,8%), l'**EPS** (22,5%), il **PS** (2,2%), e quantità minori di **PA** (0,3%), **PET** (0,2%) e **PVC** (0,1%).

Analizzando nel dettaglio quanto emerso dall'analisi dei campioni per stazione (Figura 22), è stato riscontrato che nelle stazioni di Isola Sant'Antonio, Isola Serafini, Boretto, Pontelagoscuro e Po di Goro i due polimeri più abbondanti sono:

- il **PE** (Isola Sant'Antonio 46,5 %, Isola Serafini 62,2%; Boretto 74 %, Pontelagoscuro 45,2 %, Po di Goro 53,8%);
- il **PP** (Isola Sant'Antonio 35,1 %, Isola Serafini 32,1%; Boretto 18 %, Pontelagoscuro 37,2 %, Po di Goro 38,6%).

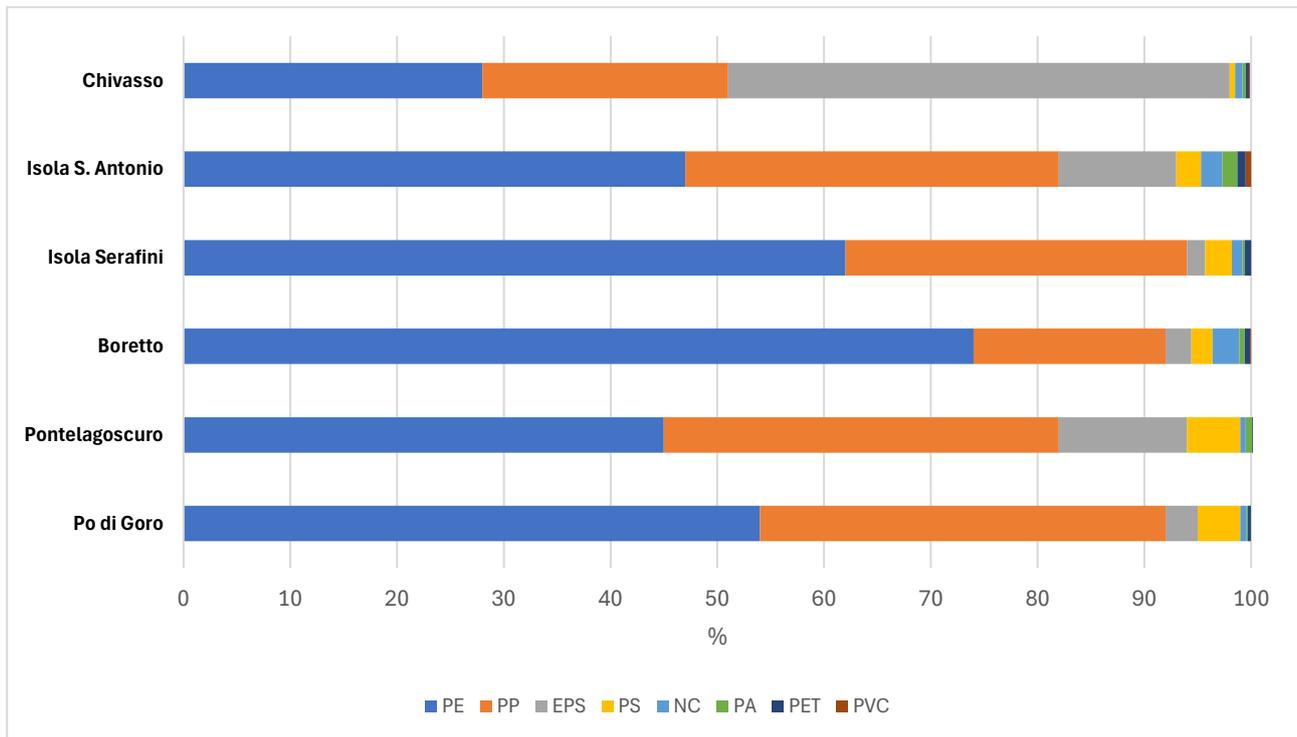


Figura 22 Distribuzione delle tipologie di polimero (%) rilevate mediante analisi HSI nelle sei stazioni a seguito dei 12 mesi di campionamento

Nelle stazioni di Isola Sant'Antonio, Pontelagoscuro e Boretto l'ordine di abbondanza dei polimeri è lo stesso, ovvero in ordine decrescente: **PE, PP, EPS e PS**. In dettaglio, nelle stazioni di Isola Sant'Antonio e Pontelagoscuro sono state riscontrate percentuali pressoché analoghe di PE e PP, e segue il PS con percentuali rispettivamente pari a 2,3% e 4,9%.

Nei campioni di microplastica delle stazioni di Isola Serafini e Po di Goro, l'ordine decrescente di abbondanza è il seguente: **PE, PP, PS** ed **EPS**. Si denota come l'ordine di abbondanza dei polimeri PS e EPS risulta invertito rispetto a quello osservato nelle stazioni menzionate precedentemente.

Nella sola stazione di Chivasso, invece, il polimero più abbondante è l'**EPS** (47%), con una percentuale nettamente maggiore rispetto alle altre cinque stazioni, seguito da **PE** (27,9%) e **PP** (23,4%).

I polimeri **PA, PVC** e **PET** costituiscono una frazione trascurabile nelle stazioni indagate.

I polimeri PA e PET sono stati rilevati in tutte le stazioni ma con percentuali rispettivamente inferiori a 1,3% e 0,7%. In dettaglio, PA: Chivasso 0,2%, Isola Sant'Antonio 1,3%, Isola Serafini 0,2%, Boretto 0,5%, Pontelagoscuro 0,6% e Po di Goro 0,1%; PET: Chivasso 0,1%, Isola Sant'Antonio 0,7%, Isola Serafini 0,4%, Boretto 0,5%, Pontelagoscuro e Po di Goro stessa percentuale, pari allo 0,2%.

Per quanto riguarda il PVC, questo non è stato rilevato nelle stazioni di Isola Serafini, Pontelagoscuro e Po di Goro, mentre nelle stazioni di Isola Sant'Antonio e Boretto è stata rilevata una sola particella, corrispondente rispettivamente allo 0,3% e 0,1%, e nella stazione di Chivasso ne sono state rilevate 4, pari allo 0,1%.

Le microplastiche che sono state classificate dal modello HSI e attribuite alla classe **NC**, risultano comprese tra lo 0,5 e il 2,5%.

In Figura 23 si riportano i risultati relativi alla distribuzione complessiva, espressa in percentuale, delle tipologie di polimeri classificate mediante **FT-IR** e **micro-FT-IR** (incluse le particelle nere e altri materiali naturali e sintetici, denominati "Altro").

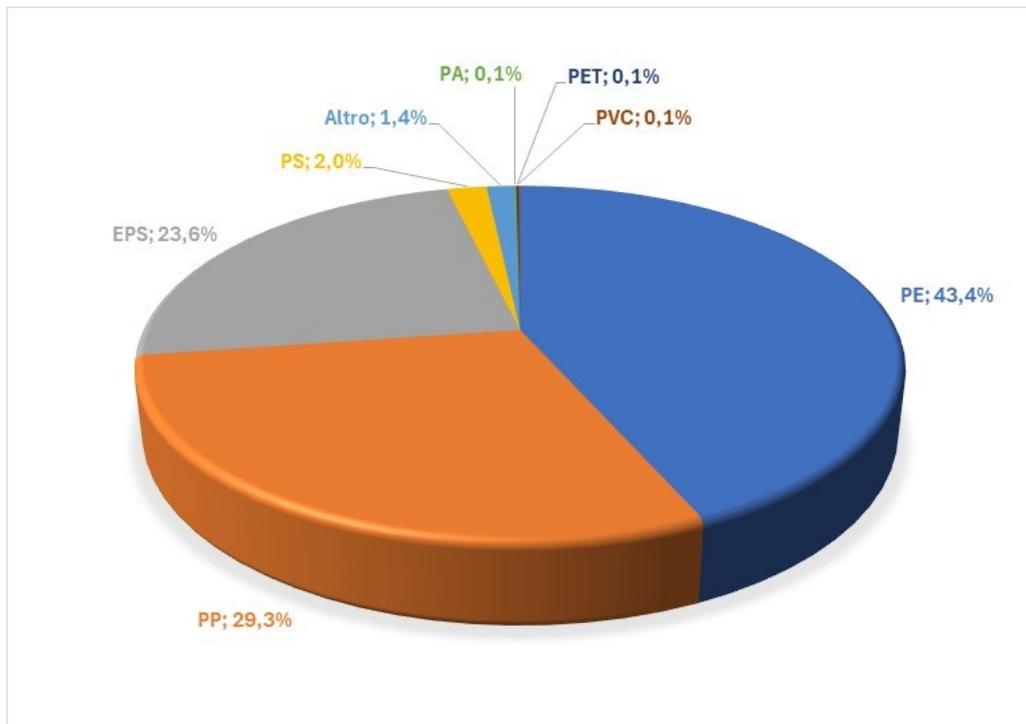


Figura 23 Distribuzione complessiva (%) dei polimeri individuati mediante analisi FT-IR e micro-FT-IR nei dodici mesi di campionamento

I campioni di microplastica oggetto dell'indagine risultano costituiti principalmente da **PE** (43,4%), **PP** (29,3%) e **EPS** (23,6%), seguiti da percentuali minori di **PS** (2%), **Altro** (complessivamente pari all'1,4%), **PA**, **PET** e **PVC** con le stesse percentuali pari allo 0,1%.

Di seguito vengono riportati in dettaglio i risultati ottenuti per le sei stazioni di campionamento nel corso dei dodici mesi (Figura 24).

In particolare, si osserva che in tutte le stazioni le poliolefine **PE** e **PP** sono i polimeri maggiormente individuati, con una singola eccezione riscontrata nella stazione di Chivasso, in cui è l'**EPS** il polimero più abbondante.

La classe **Altro**, costituita da differenti materiali naturali e sintetici, è stata riscontrata in tutte le stazioni con una percentuale compresa tra l'1,1 e il 2,9 %.

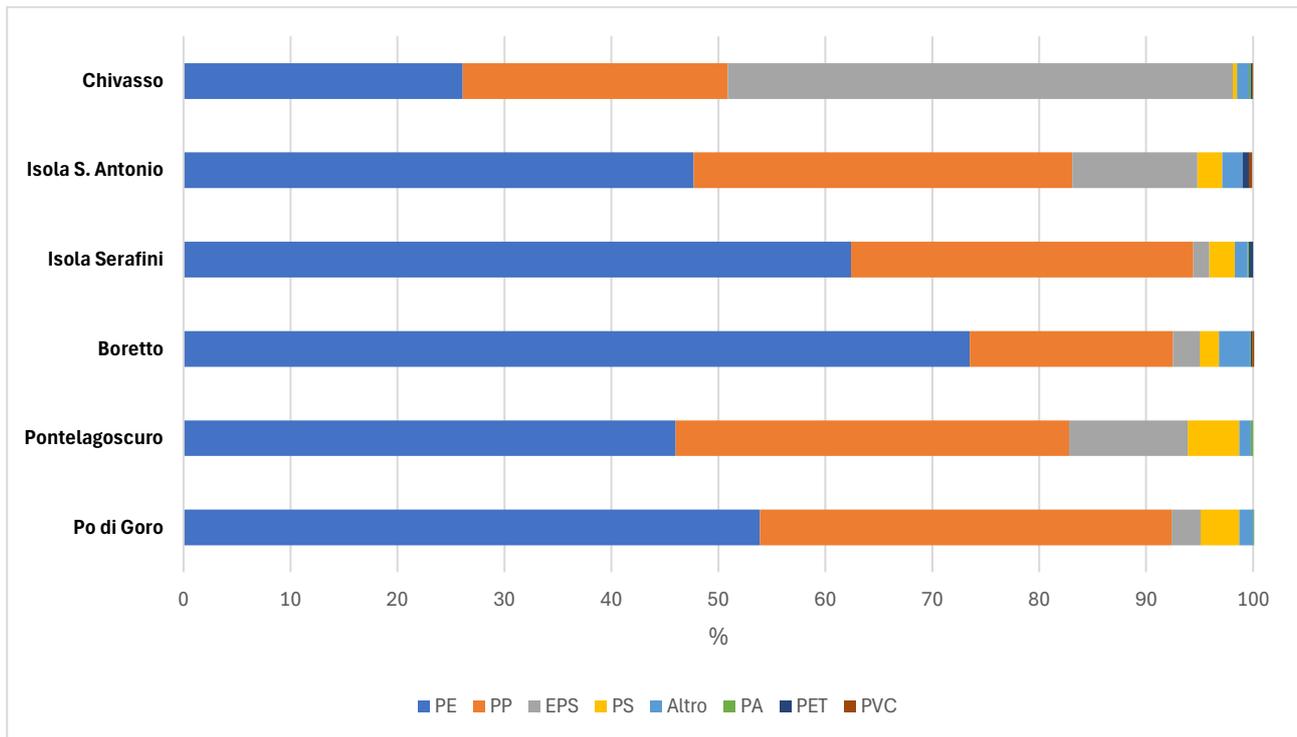


Figura 24 Distribuzione delle tipologie di polimero (%) rilevate mediante analisi FT-IR e micro-FT-IR nelle sei stazioni a seguito di dodici campionamenti (comprese le particelle di colore nero)

Sul totale dei campioni analizzati, pari a 11.828, **968 campioni** sono di **colore nero**, corrispondenti all'8,2% del totale. Di questi campioni neri, i polimeri identificati sono EPS (36,9%, pari a 356 particelle), PP (32,2%, pari a 312 particelle) e PE (27,8%, pari a 269 particelle), seguiti da PA (0,6%, pari a 6 particelle), PS (0,1%, pari a 1 particella) e PVC (0,1%, pari a 1 particella). È stata inoltre attribuito alla classe "Altro" il 2,4% delle particelle analizzate, pari a 23 particelle.

Considerando i risultati complessivi ottenuti dalle analisi FT-IR/micro-FT-IR, con e senza le particelle nere, si osserva che la variazione nella distribuzione dei polimeri è relativamente piccola, indicando che le particelle nere non alterano drasticamente la composizione generale delle microplastiche, confermando quindi la presenza predominante dei polimeri **PE, PP e EPS**.

Le **tipologie di polimeri** rinvenute nel fiume Po ricoprono praticamente **ogni impiego**. Infatti, **PE, PP, PET** sono principalmente utilizzati per la produzione di imballaggi per alimenti e bevande (sacchetti di plastica, pellicole, contenitori, bottiglie, tappi di bottiglie, etc.)

L'**EPS**, che si presenta in forma di schiuma bianca leggera, spesso modellata in sferette, è comunemente impegnato come materiale per l'imballaggio di alimenti, e il trasporto delle merci per proteggerli dagli urti e l'isolamento.

Il **PS** viene utilizzato per la produzione di posate e stoviglie di plastica usa e getta, invece la **PA** per pellicole per imballaggio alimentare e materiali tessili.

Le applicazioni più rilevanti del **PVC** includono tubi per edilizia, isolamento di cavi e pavimentazioni.

Inoltre, si evidenzia che i **polimeri più abbondanti** individuati, quali **PE, PP e EPS**, campionati nello strato superficiale della colonna d'acqua, sono quelli caratterizzati da **densità inferiori a quella**

dell'acqua (Tabella 4), quindi più facilmente catturabili dalla manta, che opera in superficie e non negli strati più profondi della colonna d'acqua.

Tabella 4 Valori di densità (g/cm³) dei polimeri individuati mediante analisi HSI, FT-IR/micro-FT-IR

Polimero	Densità (g/cm ³)
EPS	0,011 – 0,032
PA	1,020 – 1,050
PE	0,917 – 0,965
PET	1,240 – 2,300
PP	0,900 – 0,910
PS	1,040 – 1,100
PVC	1,160 – 1,580

4.5 Considerazioni sul confronto dei risultati HSI, FT-IR e micro-FT-IR

Dai dati sulla composizione delle microplastiche in esame, ottenuti mediante HSI, FT-IR e micro-FT-IR si osserva che, a parità di campioni, e quindi escludendo le particelle di colore nero, i risultati ottenuti dalle diverse tecniche analitiche sopracitate non presentano differenze significative, le discrepanze sono inferiori all'1%, confermando la **validità** e l'**efficienza della tecnica HSI per la classificazione delle microplastiche**.

Inoltre, l'applicazione della tecnica **HSI** ha il notevole vantaggio di un'**estrema riduzione dei tempi di analisi** rispetto a quelli necessari per le corrispondenti classificazioni mediante le altre due tecniche, ovvero FT-IR e micro-FT-IR. Infatti, sono stati stimati i tempi di analisi delle tre differenti tecniche utilizzate (Tabella 5) e si evince che per analizzare 100 particelle di microplastica con **HSI** sono necessari **8 minuti**, con **FT-IR** 5 ore (**300 minuti**) e con **micro-FT-IR** più di 8 ore (**500 minuti**).

Tabella 5 Confronto fra i tempi impiegati (in minuti) necessari per l'analisi di 100 particelle di microplastica tramite le diverse tecniche di analisi

Tecnica di analisi	n. particelle	Tempo (m)
HSI	100	8
FT-IR	100	300
Micro-FT-IR	100	500

5. CONFRONTO MANTA RIVER PROJECT 1 E MANTA RIVER PROJECT 2

Come anticipato in premessa, Manta River Project 1 ha riguardato solo alcune stazioni del Manta River Project 2 e un solo mese di campionamento.

Nel febbraio 2020, anno in cui è stata realizzata la prima sperimentazione, è stato effettuato un campionamento nelle stazioni di Isola Serafini (PC), Boretto (RE), Pontelagoscuro (FE) e Po di Goro (FE). Al fine di fornire un confronto dei risultati ottenuti nelle medesime stazioni e nello stesso mese di campionamento, si riporta la **concentrazione di microplastiche** per queste quattro stazioni riferite al mese di **febbraio 2020 e 2023** (Figura 25).

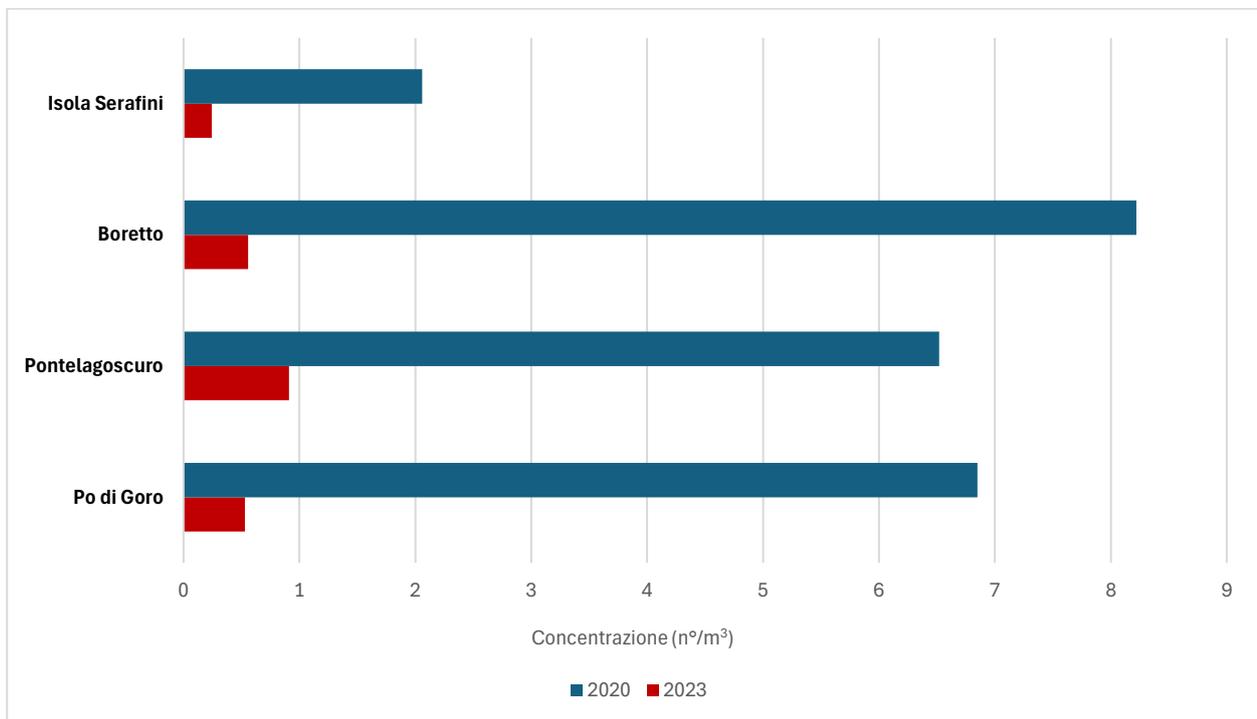


Figura 25 Confronto delle concentrazioni (n°/m³) nelle stazioni di Isola Serafini, Pontelagoscuro, Boretto e Po di Goro (febbraio 2020 e 2023)

Dal confronto emerge una marcata diminuzione delle concentrazioni totali dal 2020 al 2023 in tutte e quattro le stazioni.

In dettaglio, nel 2020 la concentrazione più alta era stata registrata nella stazione di Boretto (8,2 n°/m³), mentre nel 2023 a Pontelagoscuro (0,9 n°/m³).

In entrambi gli anni i valori più bassi sono stati registrati nella stazione di Isola Serafini, con concentrazioni pari a 2,1 n°/m³ nel 2020 e 0,2 n°/m³ nel 2023.

Essendo la diffusione delle microplastiche ormai ubiquitaria, ne consegue che la misura di portata rappresenti un elemento che ne regola l'abbondanza ritrovata; infatti, in periodi siccitosi, viene a mancare il dilavamento da fonti diffuse, che viceversa in condizioni di abbondanti precipitazioni convoglia le microplastiche nei corsi d'acqua. Pertanto, al fine di indagare l'evidente diminuzione di concentrazioni di microplastiche registrata nel febbraio 2023, sono stati presi in considerazione i

valori di portata media giornaliera registrati nel febbraio 2020 e 2023 per le stazioni in cui tale dato fosse disponibile: Isola Serafini, Pontelagoscuro, Boretto (Tabella 6).

Tabella 6 Valori di portata media (m³/s) registrati a febbraio 2020 e 2023

Stazione	Data campionamento	Portata media (m ³ /s)
Isola Serafini	12/02/2020	653
	14/02/2023	269
Boretto	06/02/2020	882
	14/02/2023	434
Pontelagoscuro	10/02/2020	1056
	16/02/2023	539

I dati riportati evidenziano come nel 2023 nelle tre stazioni si è registrato un dimezzamento delle portate, che possono aver influenzato le concentrazioni di microplastiche rilevate.

In Figura 26 si riporta il confronto tra le distribuzioni delle categorie in percentuale per le 4 stazioni campionate nel mese di febbraio 2020 e 2023.

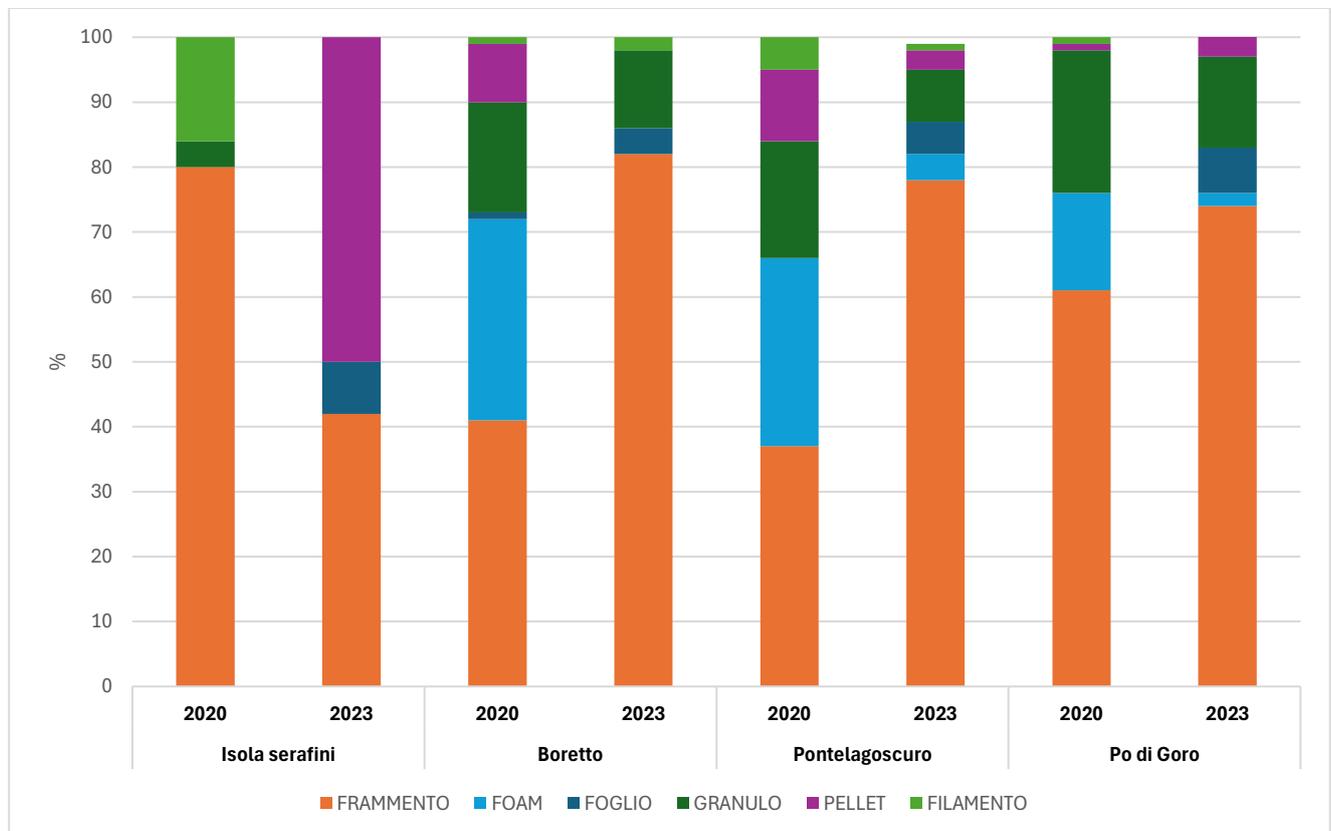


Figura 26 Confronto della ripartizione percentuale delle categorie di microplastica (febbraio 2020 e febbraio 2023) nelle quattro stazioni di campionamento

Dal confronto emerge come la categoria **frammento** sia sempre quella maggiormente rappresentata, con percentuali superiori al 37% nel 2020 e 42% nel 2023.

In tutte e quattro le stazioni nel 2023 si osserva un aumento dei **fogli** e una diminuzione dei **granuli**. In tutte le stazioni, ad eccezione di Boretto, diminuiscono i **filamenti**.

La categoria **pellet**, assente nel campionamento di febbraio 2020 a Isola Serafini, risulta invece pari al 50% nel mese di febbraio 2023. Situazione opposta si verifica nelle restanti stazioni, in cui invece si verifica mediamente una diminuzione.

Nelle stazioni di Boretto, Pontelagoscuro e Po di Goro nel 2023 si registra una diminuzione di **foam**, mentre nella stazione di Isola Serafini non è stato mai riscontrato.

In Figura 27 è riportata la distribuzione dei polimeri riscontrata in ciascuna delle quattro stazioni di campionamento del mese di febbraio 2020 e febbraio 2023.

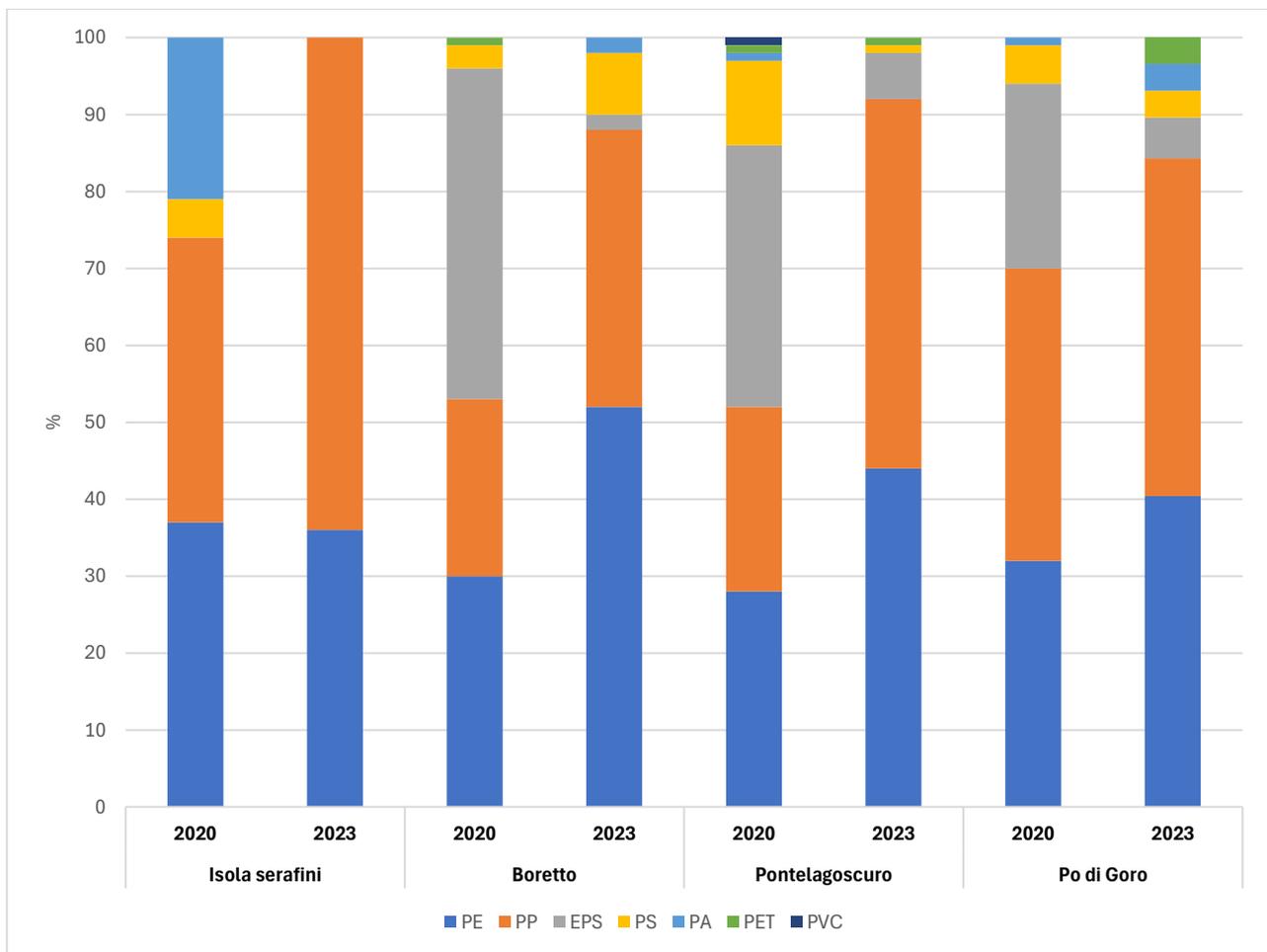


Figura 27 Confronto della distribuzione percentuale (febbraio 2020-febbraio 2023) dei polimeri individuati tramite analisi HSI nelle quattro stazioni di campionamento

A Boretto, Pontelagoscuro e Po di Goro la presenza di **EPS** diminuisce da febbraio 2020 a febbraio 2023, rispettivamente dal 43% al 2%, dal 34% al 6%, dal 24% al 5%. Si riscontra dunque una notevole

riduzione in quest'ultime stazioni, tranne ad Isola Serafini in cui è assente. Il decremento di EPS è dovuto a una riduzione dei *foam*, come evidenziato precedentemente (Figura 26), essendo composti quasi esclusivamente da questa tipologia di polimero.

Il confronto relativo alle singole stazioni di campionamento mostra che le tipologie di polimero **PE** e **PP** sono le uniche ad essere presenti in tutte le stazioni nei due differenti periodi di campionamento, con una percentuale superiore al 23% ciascuna.

Le differenze osservate per gli altri polimeri (**PS**, **PA**, **PET** e **PVC**) non sono rilevanti, considerando la loro scarsa presenza in entrambi gli anni.

A Isola Serafini il **PA** nel periodo di febbraio 2020 rappresentava il 21% ed era appartenente alla categoria filamento (in ogni caso si tratta solo di 4 particelle), invece nel febbraio 2023 è assente.

Infine, in Figura 28 si riporta la distribuzione complessiva dei polimeri individuati nel mese di febbraio 2020 e 2023.

I polimeri più abbondanti nel 2020 sono l'**EPS** (30,8%), il **PE** (30,4%) e il **PP** (29,1%). I polimeri meno comuni sono **PS** (6,7%), **PA** (2,0%), **PET** (0,7%) e **PVC** (0,3%).

I polimeri più abbondanti nel 2023 sono il **PE** (44,7%) e il **PP** (44,2%). Le restanti categorie di polimeri sono notevolmente inferiori: **EPS** (4,2%), **PS** (3,7%), **PET** (1,6%) e **PA** (1,6%).

PE e **PP** si confermano tra i polimeri più abbondanti in entrambi i campionamenti.

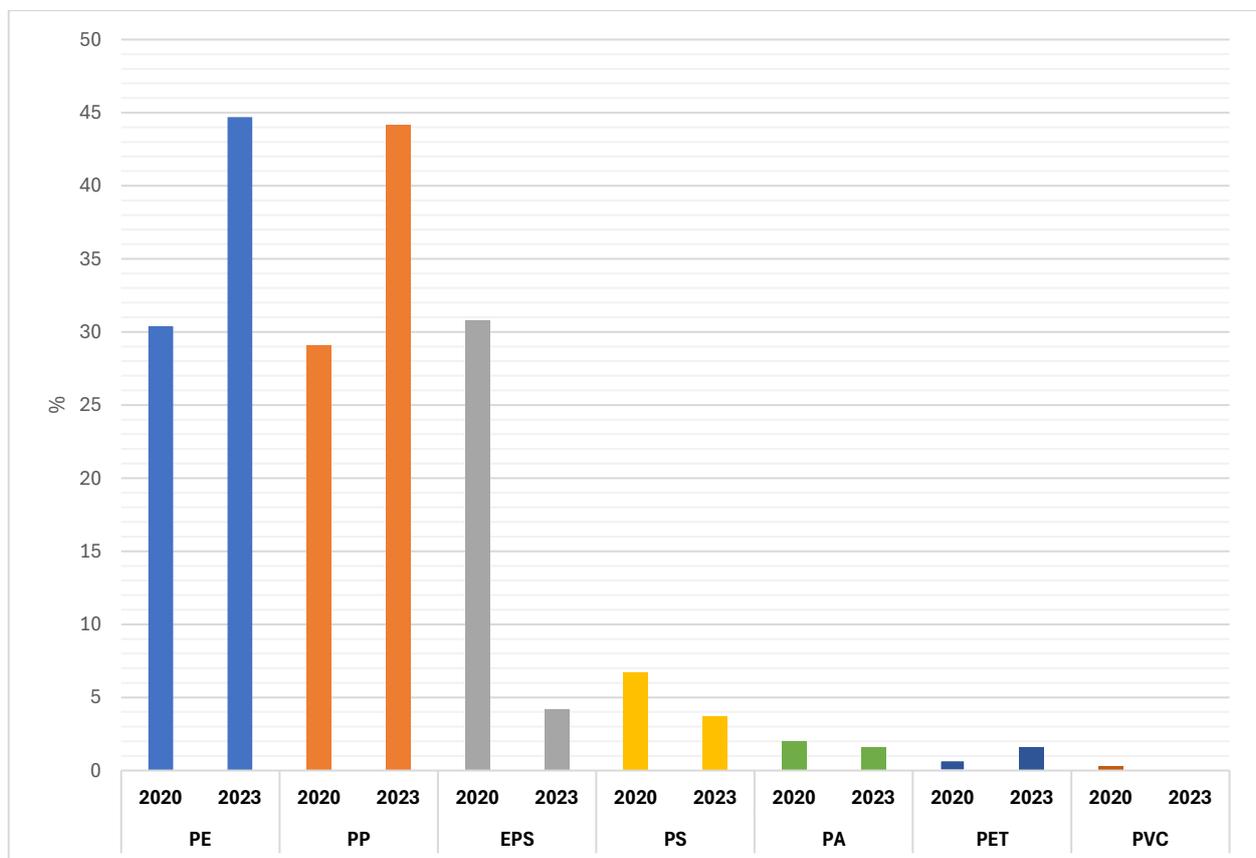


Figura 28 Confronto della distribuzione complessiva percentuale (febbraio 2020- febbraio 2023) dei polimeri individuati rilevati mediante analisi HSI

6. CONCLUSIONI

Le informazioni raccolte nel corso delle due progettualità, Manta River Project 1 e 2, hanno dunque fornito un **primo quadro conoscitivo** in merito ai **potenziali contributi di microplastiche** che il fiume Po veicola verso il mare Adriatico, fornendo allo stesso tempo una risposta alla richiesta della *Direttiva Quadro Acque* (2000/60/CE, DQA) che, pur non riportando alcun riferimento specifico a questa tipologia di inquinante, mira al mantenimento della qualità generale delle acque e stabilisce che la quantità di inquinanti deve essere minimizzata.

In particolare, i risultati conseguiti con **Manta River Project 2** hanno consentito di indagare e quantificare in modo strutturato la presenza di **microplastiche nel fiume Po**, in termini di **concentrazione, distribuzione, e composizione**.

L'esecuzione dei **dodici campionamenti mensili**, da maggio 2022 ad aprile 2023, nelle **sei stazioni** lungo l'asta del **fiume Po** (Chivasso, Isola Sant'Antonio, Isola Serafini, Boretto, Pontelagoscuro e Po di Goro) ha previsto l'utilizzo della **procedura di campionamento e di analisi standardizzata** per le microplastiche sviluppata dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente per i monitoraggi in mare per la Strategia Marina.

Tale procedura è stata **applicata per la prima volta in modo sistematico in ambito fluviale** e ha permesso un elevato grado di confrontabilità del *dataset* ottenuto.

Analizzando le **concentrazioni di microplastiche** dell'intera campagna, si osserva che il *valore medio* più alto è stato registrato nella stazione di Chivasso ($4,2 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$), segue Pontelagoscuro con $2,1 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$, Boretto con $1,3 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$, Isola Serafini con $1,2 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$, Po di Goro con $1,0 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$ e infine Isola Sant'Antonio con $0,5 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$.

La stazione con le concentrazioni più basse nel corso dei dodici campionamenti è sempre stata Isola Sant'Antonio, in cui il *valore massimo* registrato è stato $1,6 \text{ n}^\circ/\text{m}^3$.

I dati ottenuti in termini di concentrazione costituiscono una stima dell'abbondanza di microplastiche nel fiume Po. È importante considerare che questi dati possono essere influenzati da fattori ambientali quali la portata, le condizioni meteorologiche, i fenomeni di dilavamento e la diversità intrinseca dei luoghi di campionamento.

In tutte le stazioni la **categoria più frequente** è stata quella del *frammento*, con percentuali comprese tra il 65 e l'87%, ad eccezione della stazione di Chivasso in cui la categoria più rappresentata è stata quella del *foam* (47%). La categoria *pellet* risulta più abbondante nella stazione di Chivasso, con una percentuale pari al 10%.

Per quanto riguarda il **colore**, la maggior parte delle microplastiche ritrovate sono di *colore bianco*, seguite poi da quelle di *colore nero*. Gli altri colori (verde, blu e rosso) sono stati riscontrati con una minore frequenza.

Le microplastiche analizzate in questo studio hanno mostrato una grande variabilità di forma, dimensione e colore, tutte caratteristiche che potrebbero influenzare la loro ingestione da parte degli organismi acquatici.

La procedura sviluppata per il riconoscimento delle tipologie di polimero delle microplastiche campionate ha permesso di mettere a **confronto differenti tecniche spettroscopiche**, quali **HSI**, come tecnica innovativa e speditiva, e **FT-IR/micro-FT-IR**, come tecniche più comuni e tradizionali; al fine di ottenere un'analisi completa delle microplastiche campionate nel fiume Po.



I risultati complessivi ottenuti sulla **composizione delle microplastiche** indagate, escludendo dai risultati HSI le particelle nere, pari rispettivamente a 8,2% del totale campionato, mostrano la **presenza predominante dei tre polimeri**:

- PE (pari al 44,9% per l'analisi HSI; 43,4% per l'analisi FT-IR/micro-FT-IR);
- PP (28,8% per l'analisi HSI; 29,3% per l'analisi FT-IR/micro-FT-IR);
- EPS (22,5% per l'analisi HSI; 23,6% per l'analisi FT-IR/micro-FT-IR).

Seguono con percentuali minori:

- PS (2,2% per le analisi HSI; 2% per l'analisi FT-IR/micro-FT-IR),
- PET, PA (ciascuno pari allo 0,2% per l'analisi HSI; pari allo 0,1% per l'analisi FT-IR/micro-FT-IR)
- PVC (0,1%), pressoché trascurabili.

Inoltre, confrontando i risultati FT-IR, con e senza le particelle nere, si osserva che la presenza di tali particelle, con la loro composizione, influisce moderatamente sulla distribuzione complessiva dei polimeri, confermando la presenza predominante di PE, PP e EPS nel totale analizzato.

La presenza dei **polimeri più abbondanti (PE, PP e EPS)** può essere collegata ai loro valori di densità, inferiori a quelli dell'acqua, confermando i dati ottenuti nella prima sperimentazione Manta River Project 1. Solo una piccola percentuale, pari all'1,3%, risulta appartenere alla classe Altro, in cui sono inclusi vari materiali sintetici e naturali identificati mediante FT-IR/micro-FT-IR e non considerati dal modello di classificazione HSI.

Per quanto concerne il **confronto delle tecniche di analisi HSI, FT-IR e micro-FT-IR**, si evince che, a parità di campioni, e quindi escludendo le particelle di colore nero, le **discrepanze sono inferiori all'1%**, confermando la validità e l'efficienza della tecnica HSI per la classificazione delle microplastiche.

L'applicazione della tecnica **HSI** nel presente studio conferma il notevole vantaggio dell'**estrema riduzione dei tempi di analisi** rispetto a quelli necessari per le corrispondenti analisi mediante le altre due tecniche FT-IR e micro-FT-IR. Infatti, dal calcolo effettuato sulla stima di tali tempi si evince che per analizzare **100 particelle di microplastica** sono necessari all'incirca **8 minuti** con l'HSI, 5 ore (300 minuti) con l'FT-IR e più di 8 ore (500 minuti) con il micro-FT-IR.

Nel complesso, i risultati ottenuti dimostrano chiaramente la capacità della tecnica HSI per la caratterizzazione polimerica delle microplastiche in ambiente fluviale. Infatti, è stato riscontrato uno stretto accordo tra i dati ottenuti con la più innovativa tecnica HSI e quelli ottenuti con le più tradizionali tecniche (FT-IR/micro-FT-IR), con un significativo vantaggio in termini di **rapidità di tempo**. Tale tecnica può essere quindi considerata un **metodo innovativo, affidabile e non distruttivo** per la caratterizzazione e la classificazione delle microplastiche e potrebbe essere proposta come **tecnica speditiva da utilizzare in monitoraggi routinari**.

Il **protocollo di monitoraggio e di analisi delle microplastiche** utilizzato in Manta River Project 2 fornisce un **fondamentale contributo** verso lo sviluppo e condivisione di **metodologie armonizzate** per la progettazione e attuazione di **programmi di monitoraggio delle microplastiche** nei corsi d'acqua, funzionale alle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale e agli Enti responsabili della qualità delle acque superficiali nell'ambito dell'attuazione di future direttive europee.

Infatti, in prospettiva della revisione della *DQA* e della *Direttiva sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento* (2006/118/CE), le microplastiche saranno considerate elemento di valutazione della qualità delle acque superficiali e sotterranee, incluse negli elenchi di controllo per le acque, e dovranno essere monitorate non appena saranno elaborati, a livello comunitario, metodi standard e orientamenti di misurazione armonizzati.

Inoltre, la *Direttiva concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano* (2020/2184/UE), recepita in tutti gli Stati membri dell'Unione europea nel gennaio 2023, ha già disciplinato un'ampia gamma di inquinanti tra cui le microplastiche.

Anche per la *Direttiva concernente il trattamento delle acque reflue urbane* (91/271/CEE), per la quale è stata presentata una proposta di revisione, la tematica dei microinquinanti rappresenta una sfida fondamentale.

Le proposte di revisione delle direttive sopracitate concorreranno ad allineare più rapidamente il quadro giuridico alle risultanti scientifiche per intervenire con maggiore tempestività nella gestione dei contaminanti che destano nuova preoccupazione.

Alla luce dell'obiettivo generale della politica dell'Unione europea in materia di acque, che include il miglioramento della protezione della salute umana e degli ecosistemi naturali, in linea con il *Piano d'azione "Verso l'inquinamento zero per l'aria, l'acqua e il suolo"* e la *Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030*, e tenuto conto dei risultati raggiunti dal presente studio, è intento di **ADBPO** continuare ad **aggiornare ed implementare il quadro conoscitivo a livello distrettuale sull'inquinamento da microplastiche**. Questo consentirebbe l'individuazione e la definizione di un programma di misure specifiche, come richiesto dell'art. 11 paragrafo 6 della *DQA*, da mettere in atto per la riduzione dei fattori determinanti alla *marine litter*, con l'obiettivo di monitorare e di minimizzare la quantità di microplastiche presenti nell'ambiente fluviale, i danni che possono causare alla catena trofica, e concorrere così al raggiungimento dello *stato ambientale buono* per i corpi idrici del distretto, fissato ai sensi della stessa *DQA*.

La ricerca scientifica delle *microplastiche* nel Fiume Po



Manta River Project

