

A photograph of a lush green field with various wildflowers, including yellow daisies and purple blossoms, under natural light. The field is dense with grass and the flowers are scattered throughout.

Studio sulla presenza
di microplastica nei suoli
del Cantone Ticino

Dicembre 2022



Dipartimento
del territorio

Sommario

1	Introduzione	4
2	Metodologia	6
2.1	Scelta dei terreni e metodo di campionamento	6
2.2	Preparazione dei campioni e separazione del materiale plastico	7
2.2.1	Preparazione dei campioni	7
2.2.2	Separazione e caratterizzazione del materiale plastico	8
3	Risultati	10
3.1	Paragone tra i diversi tipi di suolo investigati	10
3.2	Variabilità nei suoli della stessa categoria	12
3.2.1	Quantificazione di plastiche e microplastiche in terreni d'orticoltura	12
3.2.2	Quantificazione di plastiche e microplastiche nei parchi urbani	14
3.2.3	Quantificazione di plastiche e microplastiche nei suoli di campicoltura	16
3.2.4	Variabilità all'interno di un singolo suolo	17
3.2.5	Tipologia chimica	18
4	Discussione	19
5	Conclusioni e prospettive	21
6	Referenze	23
7	Ringraziamenti	25
8	Allegati	26
8.1	Analisi statistiche	26
8.1.1	Paragone tra i diversi tipi di suolo	26
8.1.2	Quantificazione di plastiche e microplastiche nei suoli d'orticoltura	28
8.1.3	Quantificazione di plastiche e microplastiche nei parchi urbani	29
8.1.4	Quantificazione di plastiche e microplastiche in campicoltura	30
8.1.5	Test di recupero	32
8.1.6	Blank test	33
8.2	Dati grezzi	34

1 Introduzione

L'intenso uso di prodotti in plastica combinato ad una gestione e uno smaltimento non appropriato contribuisce ad aumentare la presenza e l'accumulo di questo materiale in tutti i comparti ambientali. Le caratteristiche chimiche e la specifica resistenza a una decomposizione naturale fanno sì che, finendo nel suolo, nelle acque, nei sedimenti e nell'aria, la plastica persista per molto tempo. Le possibili ripercussioni che questo tipo di inquinamento può provocare sugli organismi viventi nei diversi comparti ambientali accresce la preoccupazione, intensificando gli studi, le ricerche e le analisi volte ad approfondirne le potenziali ricadute ecologiche.

Tra le diverse tipologie di materie plastiche rilasciate nell'ambiente, le microplastiche (particelle di plastica più piccole di 5 mm), derivanti principalmente dalla frammentazione e dalla degradazione di prodotti in plastica di taglia più grande (come pneumatici, pellicole di plastica, prodotti utilizzati per l'edilizia e per l'agricoltura), sono seguite con particolare attenzione. Gli studi finora condotti si sono principalmente focalizzati sulla quantificazione e sulla caratterizzazione chimica delle microplastiche sulla superficie di ambienti marini [1] e di acque dolci. In Svizzera, un primo studio effettuato dal Politecnico Federale di Losanna in diversi laghi e corsi d'acqua [2], e un successivo studio eseguito dal Dipartimento del Territorio del Cantone Ticino [3], hanno mostrato che tutti i laghi svizzeri presi in considerazione sono soggetti ad inquinamento da microplastiche. Sulla superficie degli specchi d'acqua dei laghi svizzeri è stata infatti determinata una concentrazione di microplastiche nell'ordine delle 90'000 particelle per km². Benché gli studi fino ad oggi eseguiti si siano principalmente focalizzati sugli ecosistemi acquatici, la concentrazione di plastiche e microplastiche sul e nel suolo sembrano essere più elevate di quelle presenti nelle acque superficiali.

Un recente modello sviluppato per determinare il destino della plastica rilasciata nell'ambiente stima che nei suoli svizzeri vengano rilasciate annualmente circa 600 tonnellate di microplastiche, rispetto alle 15 tonnellate stimate di finire nelle acque dolci dei nostri laghi [4]. A differenza degli ambienti acquatici soggetti ad un ricircolo continuo, nel suolo una volta depositato il materiale la permanenza delle plastiche si può protrarre per molto tempo. Le fonti principali di rilascio di microplastiche nel suolo sono da ricondurre al ciclo di vita di beni di consumo, come i tessuti, i prodotti edili, industriali, domestici e agricoli.

Proprio i suoli utilizzati a scopo agricolo sono considerati particolarmente esposti alla presenza e all'accumulo di microplastiche. In Svizzera, tra gli oggetti più frequentemente utilizzati in ambito agricolo ci sono i teli per pacciamatura. Questi teli, in passato costituiti principalmente da polietilene, vengono utilizzati e stesi direttamente sui suoli coltivati per la produzione di ortaggi e nella coltivazione di frutta e bacche, favorendo la protezione della pianta, migliorando la pulizia del raccolto e ottimizzando il risparmio delle risorse idriche. A causa di un uso ripetuto nel tempo, non è raro che questi teli si lacerino, formando frammenti di macro e microplastiche che possono rimanere nel suolo.

Attualmente la conoscenza riguardo la presenza di microplastiche nel suolo e i rischi ad esse associate è ancora limitata. I rifiuti di plastica nell'ambiente sono così abbondanti da essere considerati una delle principali caratteristiche dell'era Antropocene. Le ripercussioni ecologiche dovute alla presenza di plastiche e microplastiche nel suo-

lo sono tema di discussione, con particolare attenzione rivolta alle conseguenze sulla composizione fisica, chimica e biologica, e pertanto la fertilità stessa del terreno [5]. Sulla scorta di queste considerazioni e dell'attuale mancanza di dati, l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ritiene indispensabile procedere con studi approfonditi per valutare la presenza e l'impatto delle microplastiche nell'ambiente e nel suolo. Per l'UFAM la tematica "microplastiche" è ritenuta una priorità per il periodo 2021-2024. Le principali domande a cui si vuole dare risposta sono: (i) quale tipologia, quale dimensione, e quale concentrazione di microplastiche sono presenti nei differenti comparti ambientali in Svizzera?, (ii) come sono suddivise le microplastiche nei diversi comparti ambientali svizzeri, e quali processi sono rilevanti per il loro comportamento nell'ambiente?, (iii) attraverso quali vie vengono incorporate le microplastiche negli organismi, e quali microplastiche di quale grandezza e con quale caratteristica chimica hanno effetto sugli organismi viventi?

A livello regionale, quanta plastica e microplastica è presente nei suoli del Cantone Ticino? La presenza di microplastiche varia tra le diverse tipologie di terreno? Per rispondere a queste domande, il Dipartimento del Territorio ha condotto nel 2021 una campagna di studio volta a determinare la contaminazione di plastiche e microplastiche in diversi tipi di suolo. Lo studio presentato in questo rapporto si pone lo scopo di fornire, per la prima volta, dei dati quantitativi sull'inquinamento plastico nei suoli del Cantone Ticino. Considerando diverse tipologie di suolo, si è investigato il carico di plastiche e microplastiche nei suoli del Cantone, valutando possibili differenze quantitative tra i diversi tipi di suolo esaminati. Lo studio ha preso in considerazione tre tipologie di suolo: (a) suolo urbano/parco cittadino, (b) suolo di campicoltura (adibito a coltivazione di cereali o pascolo), (c) suolo di orticoltura (coltivazione ortaggi) presso aziende agricole con uso, attuale o passato, di teli per pacciamatura.

2 Metodologia

2.1. Scelta dei terreni e metodo di campionamento

Per questo studio sono state scelte tre tipologie di terreno, corrispondenti a: (a) suoli di parchi urbani, (b) suoli di campicoltura, (c) suoli di orticoltura da aziende agricole (Figura 1A, B, C). Per ogni tipologia di terreno sono stati individuati e scelti quattro suoli in Cantone Ticino, situati nel Sopraceneri e nel Sottoceneri (Figura 1D). La scelta di queste tre tipologie di suolo è stata eseguita per determinare le potenziali fonti di inquinamento, specifiche per tipologia di suolo.

Figura 1:

Immagini rappresentative delle tre tipologie di suolo considerate in questo studio.

(A) Parco urbano,

(B) campicoltura,

(C) orticoltura.

(D) Visualizzazione geografica dei punti di campionamento.



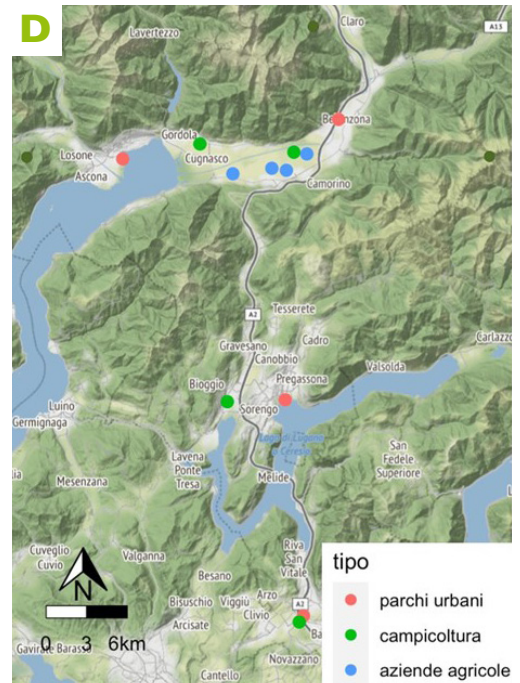
A



B



C

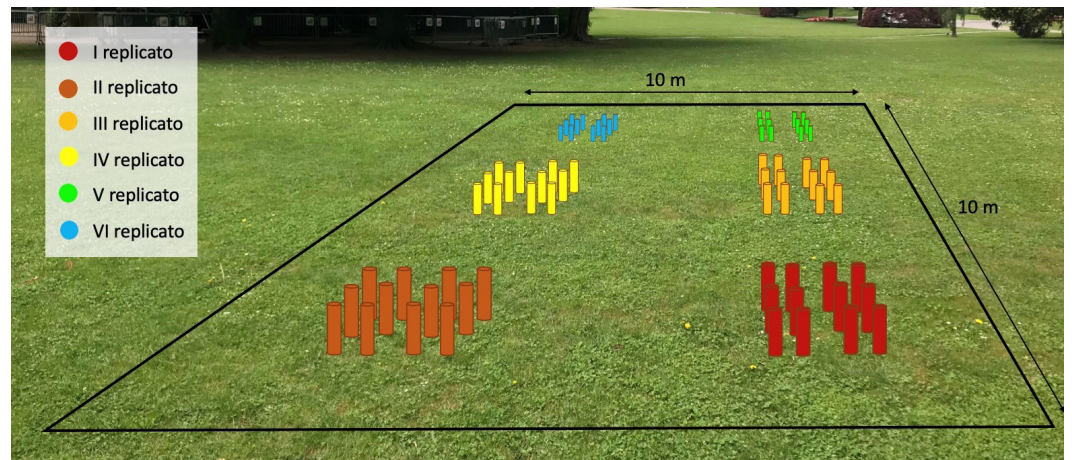


D

Il campionamento di suolo è stato eseguito prelevando, tramite campionatore manuale, carote di terreno dalle dimensioni di 20 cm di profondità per 2.5 centimetri di diametro, in sei punti (sei replicati) ad uguale distanza all'interno di un quadrato dalle dimensioni di 10 x 10 metri (Figura 2). Ogni punto di prelievo è costituito da 12 carote per un totale minimo di materiale di 1 kg (peso secco). I sei punti di prelievo all'interno del quadrato 10 x 10 metri vengono utilizzati per caratterizzare possibili variazioni all'interno del singolo suolo. La zona di campionamento all'interno del suolo è stata scelta in modo casuale.

Figura 2:

Schema di campionamento del suolo condotto in questo studio. In un quadrato di 10 x 10 metri sono stati eseguiti 6 replicati; ogni replicato consiste in 12 prelievi, costituiti da carote di 20 cm di profondità per 5 cm di diametro. Minimo 1 kg di suolo per replicato.



Con questo piano di lavoro, il presente studio ha l'obiettivo di determinare:

- (1) La differenza quantitativa e la tipologia di plastiche e microplastiche (MP) tra i diversi tipi di suolo investigati (urbano, campicoltura, orticoltura);
- (2) La differenza quantitativa e la tipologia di plastiche e MP tra i suoli della stessa tipologia ubicati in diverse zone del Cantone Ticino;
- (3) La differenza quantitativa e la tipologia di plastiche e MP all'interno dello stesso suolo in punti diversi

2.2. Preparazione dei campioni e separazione del materiale plastico

2.2.1 Preparazione dei campioni

Figura 3:
Colonna di setacci utilizzati per separare le diverse frazioni di microplastiche dai campioni di suolo.

I campioni di suolo prelevati del terreno (6 replicati) sono stati portati in laboratorio e trasferiti in sacchetti di carta, pesati, e infine incubati a 60°C (incubatore KT 115, Binder) per una settimana in funzione dell'umidità del terreno. Una volta seccati, i campioni sono stati nuovamente pesati per ottenere il tenore di materiale secco e la corrispondente percentuale di acqua. In seguito, i campioni seccati sono stati setacciati tramite apposite reti di alluminio per ridurre il materiale iniziale, e separare il campione nelle frazioni di diversa granulometria. A tale scopo sono stati utilizzati quattro setacci con maglie di dimensioni di 5 mm, 1 mm, 0,3 mm e 63 µm (ISO 3310, VWR International, Figura 3). Il campione seccato è stato posto in cima alla colonna di setacci con la maglia della grandezza di 5 mm, e dell'acqua è stata aggiunta per mobilizzare il materiale. Questo procedimento è stato ripetuto fin quando l'acqua che fuoriusciva dall'ultimo setaccio non conteneva più materiale organico e/o terra (acqua trasparente).



Il contenuto raccolto in ogni setaccio è stato trasferito in una piastra di Petri in vetro (per le frazioni di 5 mm e 1 mm) o in un becher (per le frazioni di 0.3 mm e 63 μm). I contenitori sono stati trasferiti in un incubatore a 50°C (incubatore KT 115, Binder) per seccare il materiale. Una volta terminato il processo di essiccazione, si è proceduto ad estrarre manualmente le plastiche della frazione di dimensione maggiore ai 5 mm. Per la frazione di microplastiche della frazione 1-5 mm si è proceduto con la digestione della residua materia organica tramite perossido di idrogeno (H_2O_2 , Eau oxygénée pharma 30%, Reactolab) allo scopo di (1) ridurre il tempo di estrazione e (2) aumentare l'efficacia nella separazione manuale di MP da queste frazioni (Figura 4). Come riportato nel capitolo 8.1.5 Test di recupero, questo procedimento permette di ossidare la materia organica lasciando inalterate le microplastiche in esso contenute. Nello specifico, il campione è stato posto in un becher e in seguito sono stati aggiunti 20 mL di H_2O_2 . Il becher è stato coperto con della pellicola in alluminio, e posto in incubatore a 50°C per velocizzare la reazione. Conclusa la prima reazione, ulteriori 20 mL di H_2O_2 sono stati aggiunti fintanto che il campione non presentava più traccia di materia organica. Il reagente è stato aggiunto a piccole dosi alla volta per evitare la fuoriuscita di schiuma generata in seguito alla reazione di digestione. Al termine della reazione, il campione è stato risciacquato e messo a seccare in incubatore a 50°C. Dopodiché anche dal campione della frazione di grandezza 1-5 mm sono state estratte manualmente le MP contenute in esso tramite l'ausilio di stereomicroscopio. Dopo essere state seccate, sono state riposte nel contenitore originale e stoccate per ulteriori analisi. Per le frazioni inferiori a 1 mm, dopo il frazionamento nessun ulteriore passaggio è stato svolto dato che in questo progetto è stato deciso di concentrarsi sulle plastiche e MP superiori a 1 mm.

Figura 4:

Risultato del processo di ossidazione della materia organica tramite acqua ossigenata per la separazione e identificazione più efficiente di plastica e microplastiche nel campione esaminato.



2.2.2 Separazione e caratterizzazione del materiale plastico

Le plastiche e microplastiche sono state isolate tramite l'uso di stereomicroscopio (Leica EZ4) per le frazioni di dimensione > 5 mm e 1-5 mm, ognuno prelevato con 5 replicati in ogni suolo analizzato (un replicato tenuto come riserva). Le particelle di plastica e MP isolate sono state classificate in sette categorie: pellets, microbiglie, frammenti, fili, fibre, schiume, pellicole. Questa classificazione morfologica è quella più comunemente utilizzata in questo genere di studi [2, 6, 7]. La metodica denominata "hot-needle" è stata applicata nei casi in cui la determinazione quale oggetto in materiale plastico non fosse evidente durante l'identificazione ottica allo stereomicroscopio [8]. Questa tecnica consiste nel posizionare un ago incandescente sulla particella che si vuole caratterizzare quale potenziale plastica, visualizzandola tramite l'ausilio di stereomicroscopio.

Figura 5:
Gemini Analyzer,
spettroscopia agli infrarossi
in trasformata di Fourier

Nel caso in cui la particella fonde, si assume che l'oggetto è di natura plastica. D'altro canto, nel caso in cui l'oggetto brucia o annerisce si conclude che si tratta di materiale organico naturale. Questa metodica è utilizzata per identificare e confermare le MP della categoria "fibre", siccome è l'unico metodo utilizzato in questo studio per differenziare la loro natura sintetica da quella organica. Plastiche (> 5 mm) e le MP (1-5 mm) sono state caratterizzate chimicamente tramite l'ausilio dell'apparecchio Gemini Analyzer (Figura 5) dotato del metodo di analisi spettroscopia agli infrarossi in trasformata di Fourier (FTIR). Il funzionamento di questa tecnica si basa sull'emissione di un fascio di luce a infrarossi sulla particella da identificare, che assorbe e riflette uno spettro di luce specifico. L'apparecchio dopo aver registrato questo spettro specifico lo confronta con spettri di polimeri presenti nel software dello strumento in modo da identificare la composizione chimica del materiale investigato. Il Gemini Analyzer ha il vantaggio di essere molto veloce nell'analisi. L'analisi tramite FTIR Gemini Analyzer non è però applicabile per la categoria "fibre" a causa del diametro di queste particelle inferiore alla dimensione minima necessaria per l'analisi con questo strumento. Pertanto, le fibre sono state unicamente quantificate con la tecnica "hot needle" fornendo informazioni utili anche se meno univoche.



3 Risultati

Le analisi condotte in questo studio hanno permesso di determinare una contaminazione pressoché ubiquitaria di plastica e microplastica in tutti i suoli investigati, con una differenza marcata in funzione della tipologia e della fruizione del terreno. Tra le due frazioni di plastica quantificata (microplastiche 1-5 mm e macroplastiche > 5 mm), la frazione MP 1-5 mm è risultata quella presente in concentrazione maggiore rispetto alla frazione di macroplastiche superiore a 5 mm.

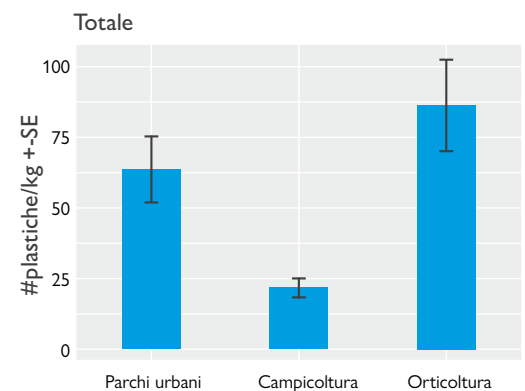
3.1. Paragone tra i diversi tipi di suolo investigati

Figura 6:

Quantificazione della plastica totale in numero di plastiche/kg (oggetti al chilo) per parchi urbani, suoli campicoltura, suoli di orticoltura. La barra indica la media di plastiche per prelievo ($n = 20$) \pm errore standard (SE).

I suoli di campicoltura mostrano una differenza statisticamente significativa rispetto ai parchi urbani e i terreni d'orticoltura (vedi Capitolo 8. Allegati).

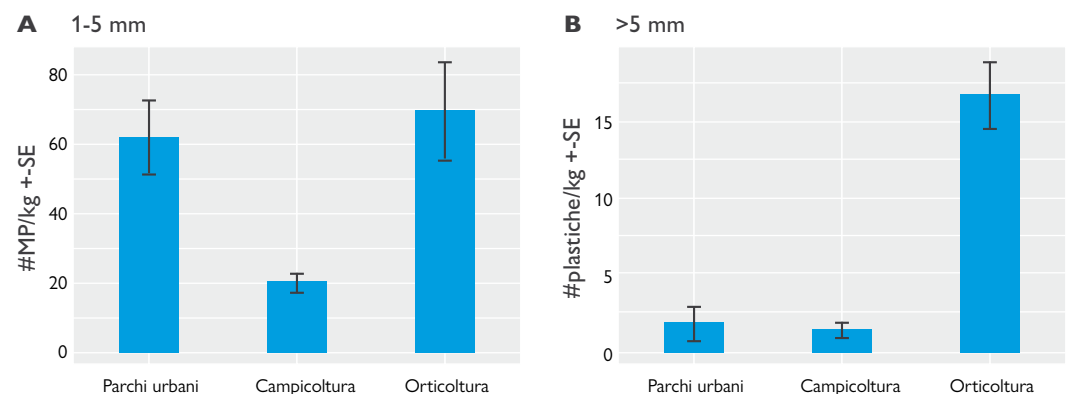
La quantificazione totale eseguita come numero di particelle di plastica al chilo di suolo per le due frazioni (microplastica 1-5 mm e macroplastiche > 5 mm) indica una presenza ubiquitaria nelle tre tipologie di suolo studiate con una media che varia da un minimo di 25 e un massimo di 90 particelle al chilo di suolo ritrovate, rispettivamente, nei suoli di campicoltura e di orticoltura (Figura 6). I suoli di orticoltura e di parchi urbani mostrano una presenza di plastiche tra le 2 e le 4 volte superiore ai suoli di campicoltura; è altrettanto importante sottolineare come questi dati non mostrano differenza significativa in numero di plastiche tra suoli urbani e di orticoltura. Infatti, distinguendo nello specifico tra le frazioni di macroplastiche (> 5mm) e microplastiche (1-5 mm), la frazione delle microplastiche è rinvenuta in tutti i tipi di suolo, con differenze significative unicamente tra i suoli dei parchi urbani e d'orticoltura con suoli di campicoltura (Figura 7A). Le frazioni di macroplastiche > 5 mm sono rinvenute principalmente nei suoli di orticoltura, e limitatamente (con valori medi inferiori a 2 particelle/kg) in parchi urbani e suoli di campicoltura (Figura 7B).



Infatti, distinguendo nello specifico tra le frazioni di macroplastiche (> 5mm) e microplastiche (1-5 mm), la frazione delle microplastiche è rinvenuta in tutti i tipi di suolo, con differenze significative unicamente tra i suoli dei parchi urbani e d'orticoltura con suoli di campicoltura (Figura 7A). Le frazioni di macroplastiche > 5 mm sono rinvenute principalmente nei suoli di orticoltura, e limitatamente (con valori medi inferiori a 2 particelle/kg) in parchi urbani e suoli di campicoltura (Figura 7B).

Figura 7:

Numero di plastiche/kg (oggetti al chilo) per parchi urbani, suoli campicoltura, suoli di orticoltura, per le frazioni (A) microplastiche 1-5 mm, (B) macroplastiche > 5 mm. La barra indica la media di plastiche per prelievo ($n = 20$) \pm errore standard (SE). La frazione di MP 1-5 mm (A) presenta differenze statisticamente significative tra i suoli di campicoltura e le altre due tipologie di suolo, mentre per la frazione > 5 mm (B) differenze statisticamente significative sono osservate tra i suoli d'orticoltura e le altre due tipologie di suolo (capitolo 8. Allegati).

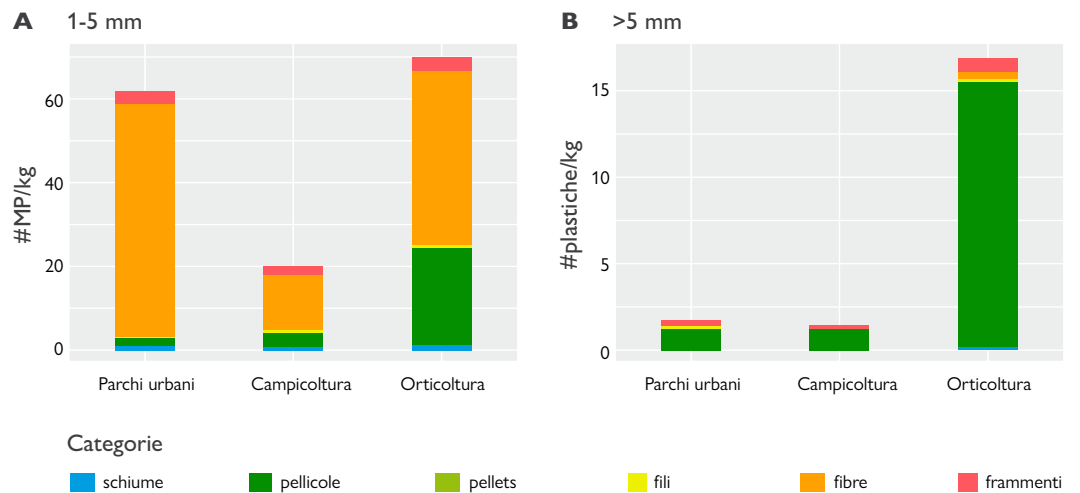


Diversamente da quanto osservato in studi precedenti condotti sulla superficie e sulle rive del Lago Lugano [3,9], nelle tre tipologie di suolo, la categoria “fibre” è quella dominante all’interno della frazione delle microplastiche (1-5 mm). L’alta concentrazione di fibre rinvenuta nelle tre tipologie di suolo (Figura 8) e quantificata per mezzo della tecnica “hot needle” (descritta nel capitolo 2.2.2) si può ricondurre molto probabil-

mente alla dispersione atmosferica di queste particelle, che combinate alle caratteristiche della matrice favoriscono l'accumulo e la loro persistenza. Va inoltre sottolineato che la percentuale delle fibre rispetto al totale delle microplastiche rinvenute è minore per i suoli adibiti ad orticoltura rispetto a quanto quantificato nei parchi urbani e nei terreni di campicoltura (una percentuale di fibre pari circa al 60% nei terreni orticoltura delle aziende agricole, contro circa 85% e 70% in, rispettivamente, parchi urbani e campicoltura). Infatti, l'uso diretto dei teli per pacciamatura sui suoli di orticoltura può influenzare il numero di microplastiche che si accumulano in questi suoli, riducendo la percentuale di fibre rispetto ai suoli urbani e campicoltura (Figura 8). Diversamente, per le frazioni di plastiche superiori a 5 mm, probabilmente a causa del loro maggior peso, l'inquinamento da particelle di plastica è causato piuttosto da un rilascio diretto nel suolo (il che spiega la maggior concentrazione di questa frazione nei suoli agricoli).

Figura 8:

Composizione morfologica delle plastiche quantificate nei parchi urbani, campicoltura, orticoltura, per (A) microplastiche 1-5 mm, (B) macroplastiche > 5 mm. Le categorie morfologiche osservate sono le seguenti: frammenti (rosso), fibre (arancio), fili (giallo), pellets (verde chiaro), pellicole (verde scuro), schiume (azzurro).



3.2. Variabilità nei suoli della stessa categoria

3.2.1 Quantificazione di plastiche e microplastiche in terreni d'orticoltura

In questa campagna, la concentrazione totale di plastiche quantificate nei suoli impiegati ad orticoltura di quattro aziende agricole mostra una significativa variabilità, con valori medi che variano da un massimo di 150 a un minimo di 25 oggetti di plastiche al chilo di suolo (Figura 9). La quantificazione in massa presenta valori che variano dai 2 ai 300 mg di plastica al chilo di suolo (Allegati, Tabella S6). Un trend simile è osservato per le due frazioni considerate; il suolo nel quale sono state quantificate il numero maggiore di microplastiche (Figura 9A, Aa) presenta anche la concentrazione maggiore di macroplastiche (Figura 9B, Aa). Analizzando la categoria morfologica delle microplastiche e plastiche rinvenute, fibre e pellicole risultano le categorie dominanti nei suoli d'orticoltura delle aziende agricole (Figura 10).

Figura 9:

Quantificazione della plastica totale (microplastiche e macroplastiche), le microplastiche di 1-5 mm (A), e le macroplastiche > 5 mm (B) in numero di plastiche/kg (oggetti al chilo) per i quattro terreni adibiti ad orticoltura.

La barra indica la media di oggetti per i punti campionati \pm errore standard (SE). Per le MP (1-5 mm),

l'analisi statistica mostra una differenza significativa tra tutti i siti tranne tra i suoli Aa e Ab. Per le macroplastiche una differenza statisticamente significativa è osservata solo tra Aa e Ad (capitolo 8. Allegati).

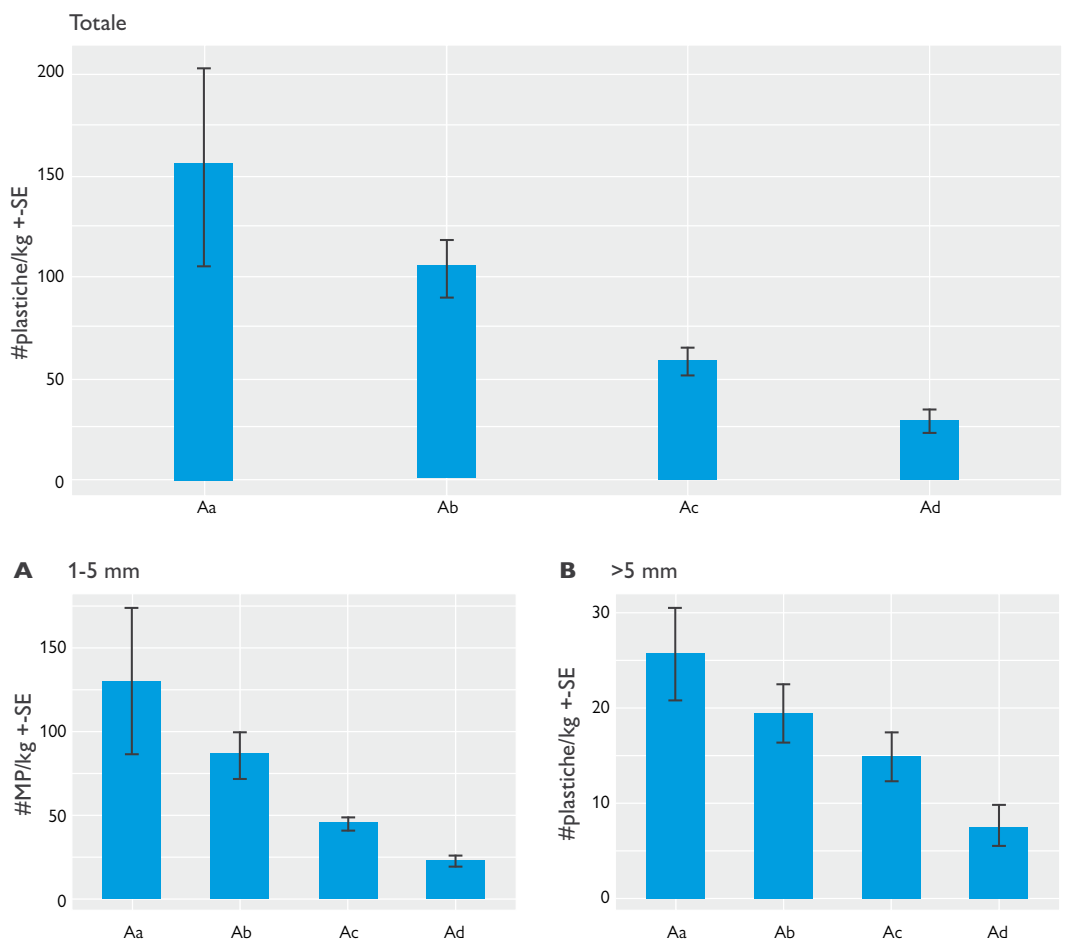
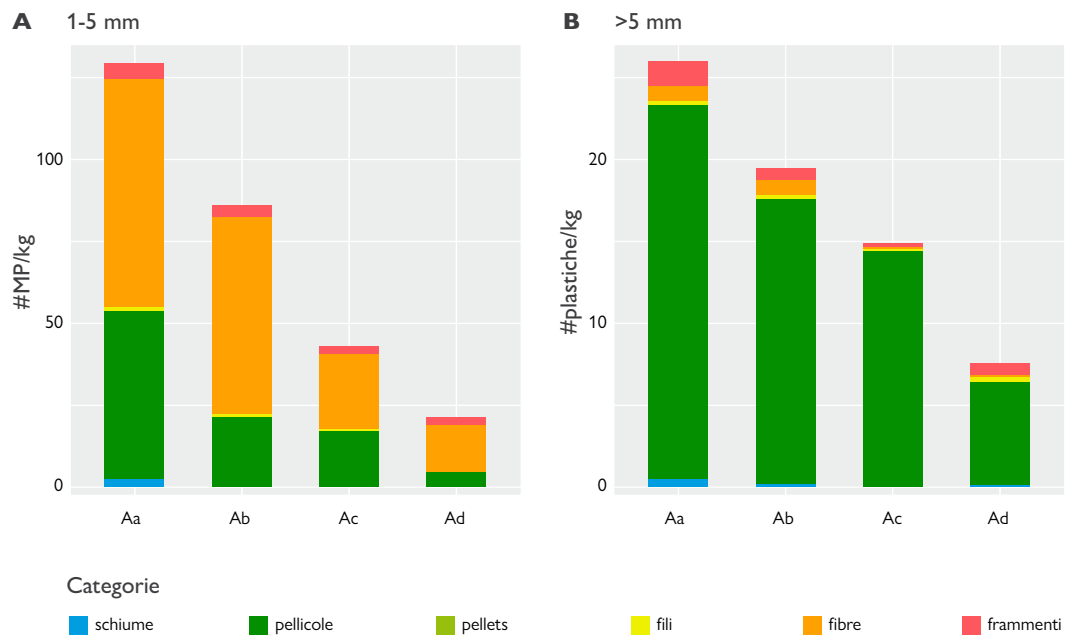


Figura 10:

Concentrazione di plastica/kg quantificata nei terreni adibiti ad orticoltura presso aziende agricole, differenziate per categoria morfologica in frammenti (rosso), fibre (arancio), fili (giallo), pellicole (verde), schiume (azzurro) per (A) microplastiche 1-5 mm, (B) macroplastiche > 5 mm.



Le fibre sono la categoria dominante per la frazione delle microplastiche (1-5 mm), mentre sono poco presenti per le macroplastiche (> 5 mm). D'altro canto, la categoria delle pellicole, che risulta la tipologia dominante per le macroplastiche nei quattro suoli d'orticoltura, è anche presente nella frazione delle microplastiche in concentrazione significativa. Questa osservazione riflette la diversa origine della contaminazione per questi due tipi di microplastiche. Le fibre vengono verosimilmente già liberate nell'ambiente in dimensione inferiore ai 5 mm. Diversamente, le pellicole della frazione delle microplastiche si originano verosimilmente dalla frantumazione delle pellicole di grandezza maggiore (> 5 mm) depositate nel suolo in seguito all'utilizzo diretto.

3.2.2 Quantificazione di plastiche e microplastiche nei parchi urbani

I parchi urbani rappresentano un importante luogo di aggregazione e di svago per la popolazione. In seguito alla loro fruizione, questi siti possono essere soggetti a diverse tipologie di contaminazione, e quello da plastiche e microplastiche non è escluso. Nella presente campagna, ad eccezione del parco denominato Pd per il quale è stata quantificata la maggiore concentrazione di plastiche pari a 100 oggetti/kg, la concentrazione totale di plastiche così come la concentrazione di microplastiche è costante su valori di 50 oggetti/kg (Figura 11). Il numero di macroplastiche (> 5 mm) rinvenute nei parchi urbani è relativamente basso, con un valore medio massimo di 5 plastiche/kg mentre la frazione 1-5 mm è dominante per il contributo al totale. A differenza dei terreni d'orticoltura che presentano per le microplastiche sia la categoria delle fibre che la categoria delle pellicole, nei parchi urbani le fibre sono in maggioranza (Figura 12). Questa categoria può depositarsi e persistere in funzione dalla fruizione dei siti, ma le fibre possono essere trasportate per via atmosferica, diventando ubiquitarie nell'ambiente.

Figura 11:

Quantificazione della plastica totale (microplastiche a macroplastiche) in numero di plastiche/kg (oggetti al chilo) per i quattro parchi urbani considerati nella campagna. La barra indica la media di oggetti per i punti campionati \pm errore standard (SE). (A) Microplastiche di 1-5 mm, (B) macroplastiche > 5 mm. In nessun caso, sia per la frazione delle microplastiche 1-5 mm sia per le macroplastiche > 5 mm, è stata osservata alcuna differenza statisticamente significativa (capitolo 8. Allegati).

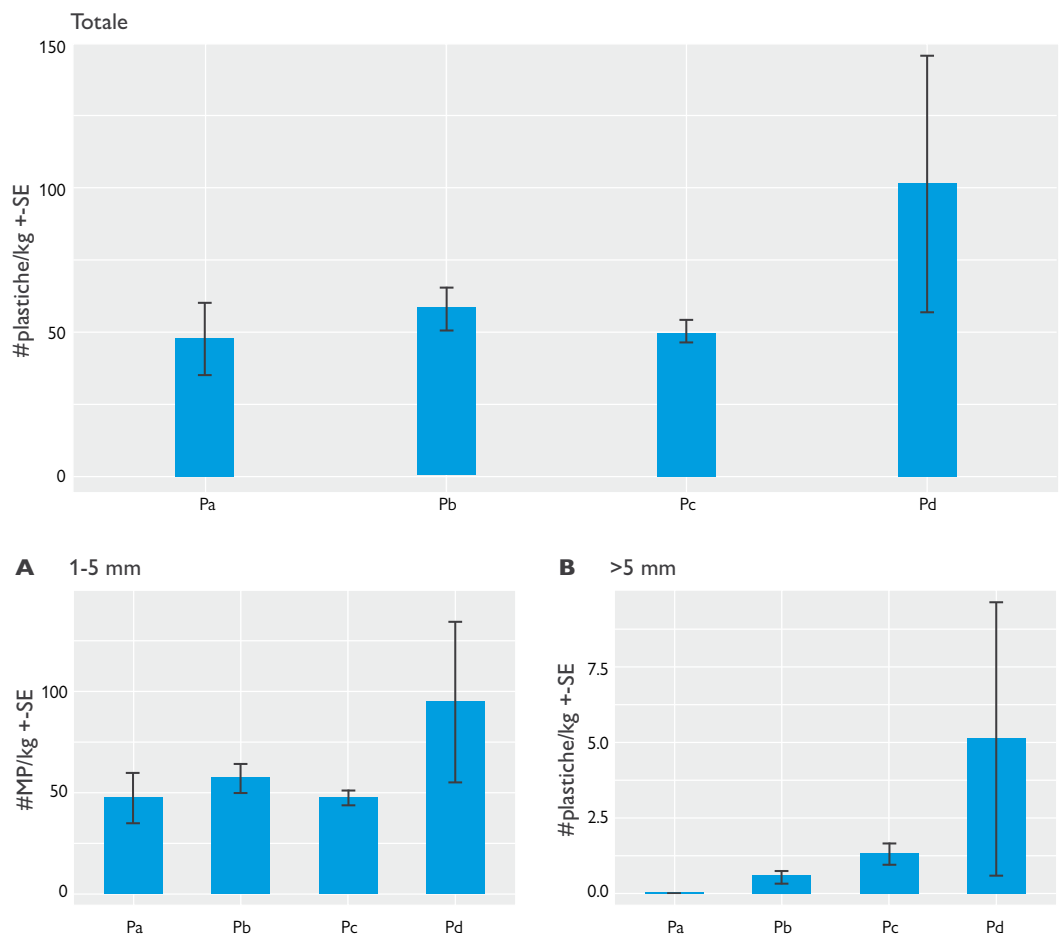
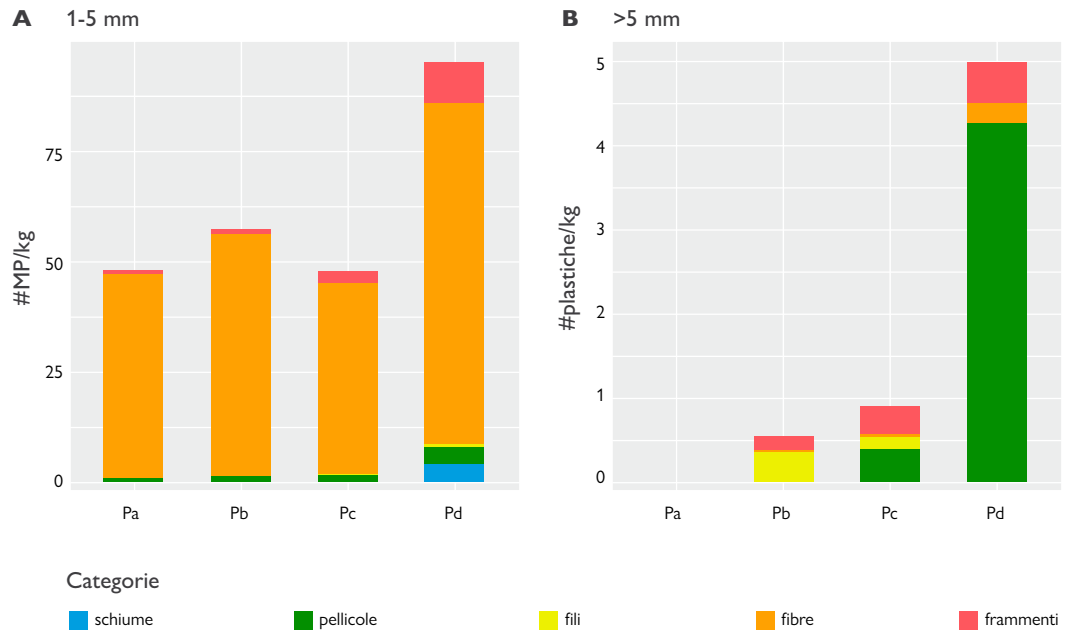


Figura 12:

Concentrazione di plastica/kg quantificata nei quattro siti dei parchi urbani, differenziata per categoria morfologica in frammenti (rosso), fibre (arancio), fili (giallo), pellicole (verde), schiume (azzurro) per (A) microplastiche 1-5 mm, (B) macroplastiche > 5 mm.



3.2.3 Quantificazione di plastiche e microplastiche nei suoli di campicoltura

Le analisi condotte per questa tipologia di suolo mostrano, come già rinvenuto nei suoli dei parchi urbani, una certa omogeneità con valori medi massimi per le plastiche totali che variano tra i 10 e 30 oggetti/kg di suolo (Figura 13). Analogamente a quanto osservato e descritto per i suoli dei parchi urbani, questa contaminazione è principalmente dovuta alla frazione di microplastiche (Figura 13A), mentre le macroplastiche (> 5 mm, Figura 13B) sono meno presenti (< 4 oggetti/kg).

Come già descritto per le due categorie di suolo presentate precedentemente, anche i suoli di campicoltura presentano una maggioranza di fibre (Figura 14). La categoria delle macroplastiche indica la presenza di pellicole, ma con una concentrazione inferiore del 66% rispetto a quanto è stato quantificato nei terreni di orticoltura delle aziende agricole.

Figura 13:

Quantificazione della plastica totale (microplastiche e macroplastiche) in numero di plastiche/kg (oggetti al chilo) per i quattro siti di campicoltura considerati nello studio. La barra indica la media di oggetti per i punti campionati \pm errore standard (SE).

(A) Microplastiche di 1-5 mm,

(B) macroplastiche > 5 mm.

Per le MP (1-5 mm), l'analisi statistica mostra una differenza significativa tra il sito Ca e Cb. Per le macroplastiche, il sito Cc ha una concentrazione significativamente maggiore di Cb e Cd (capitolo 8. Allegati).

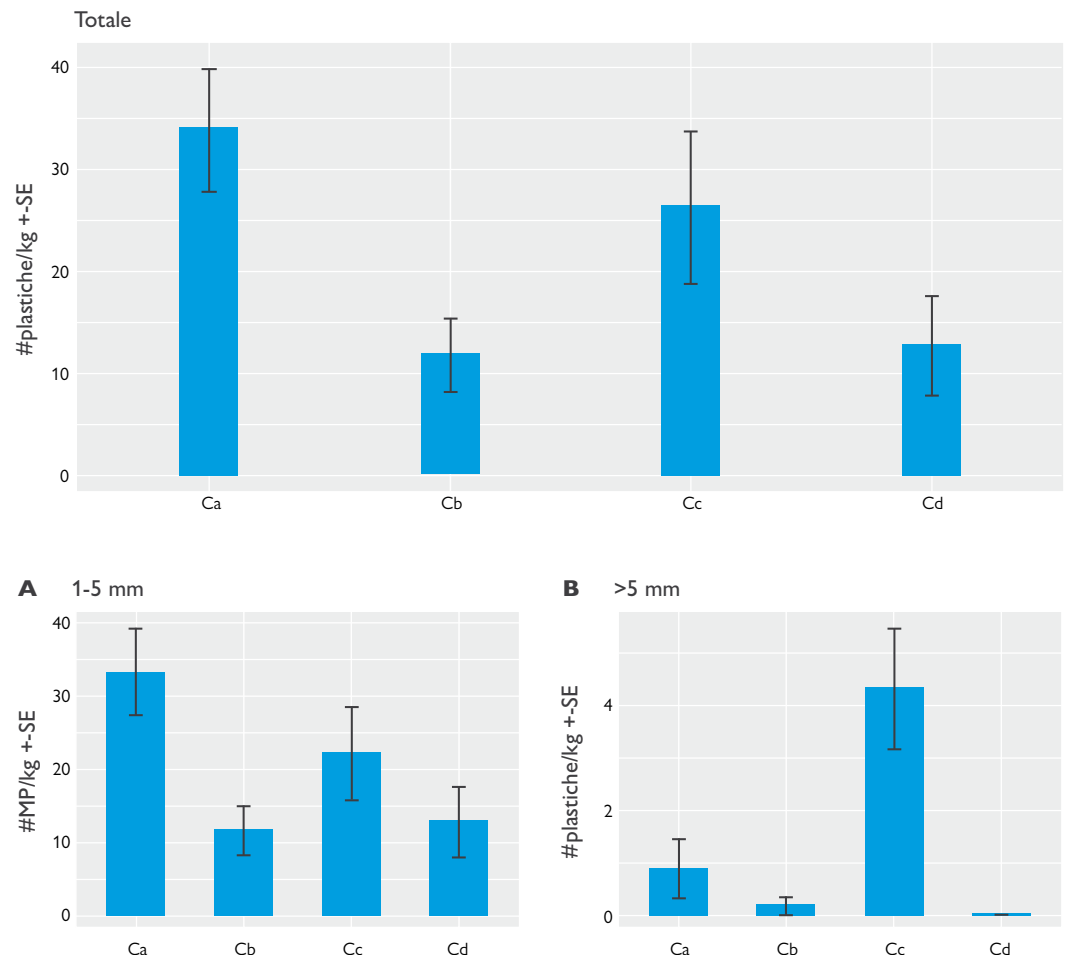
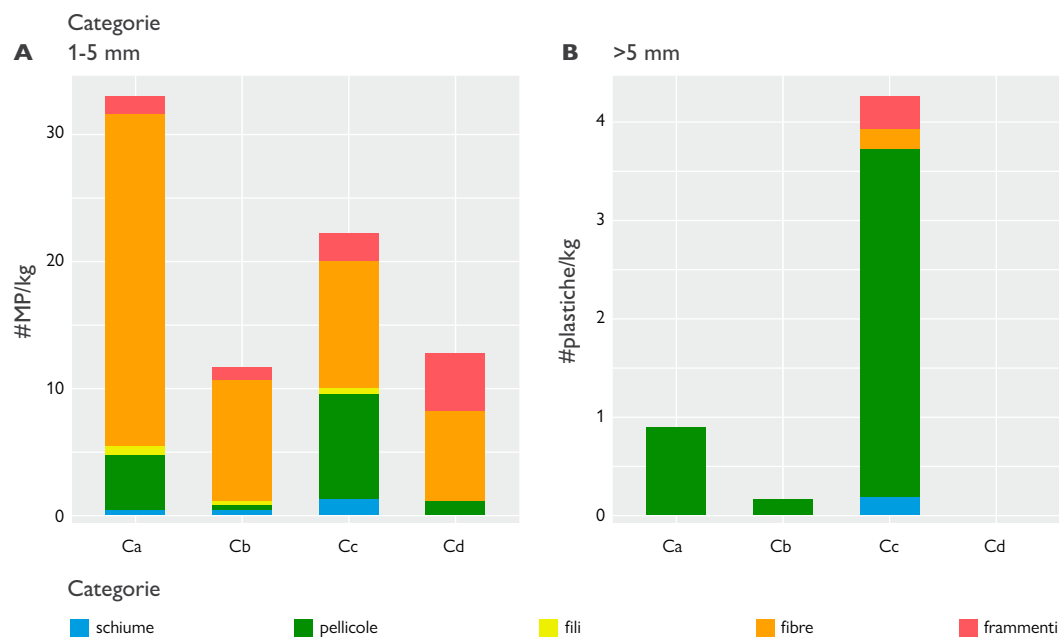


Figura 14:

Concentrazione di plastica/kg quantificata nei quattro suoli adibiti a campicoltura, differenziati per categoria morfologica in frammenti (rosso), fibre (arancio), fili (giallo), pellicole (verde), schiume (azzurro) per (A) microplastiche 1-5 mm, (B) macroplastiche > 5 mm.



3.2.4 Variabilità all'interno di un singolo suolo

Oltre alla variabilità presente tra suoli di tipologia diversa, e tra i diversi suoli della stessa tipologia, è importante sottolineare che è stata rinvenuta anche una sostanziale variabilità nel numero di plastiche e microplastiche per i cinque punti di prelievo relativi a un singolo suolo. Infatti, in tutti i suoli considerati si è osservata una significativa differenza tra i singoli punti di prelievo localizzati a una distanza tra loro di 1-2 metri, come emerge dal valore della varianza dei cinque punti di prelievo riportato in Tabella 1. Di fatto, a dipendenza del punto di campionamento all'interno del quadrato 10 x 10 metri, si sono ritrovate più o meno plastiche e MP. Ciò suggerisce che, benché la presenza sia sostanzialmente ubiquitaria, la distribuzione di MP nei suoli è strettamente dipendente dal rilascio puntuale nel suolo.

Tabella 1:

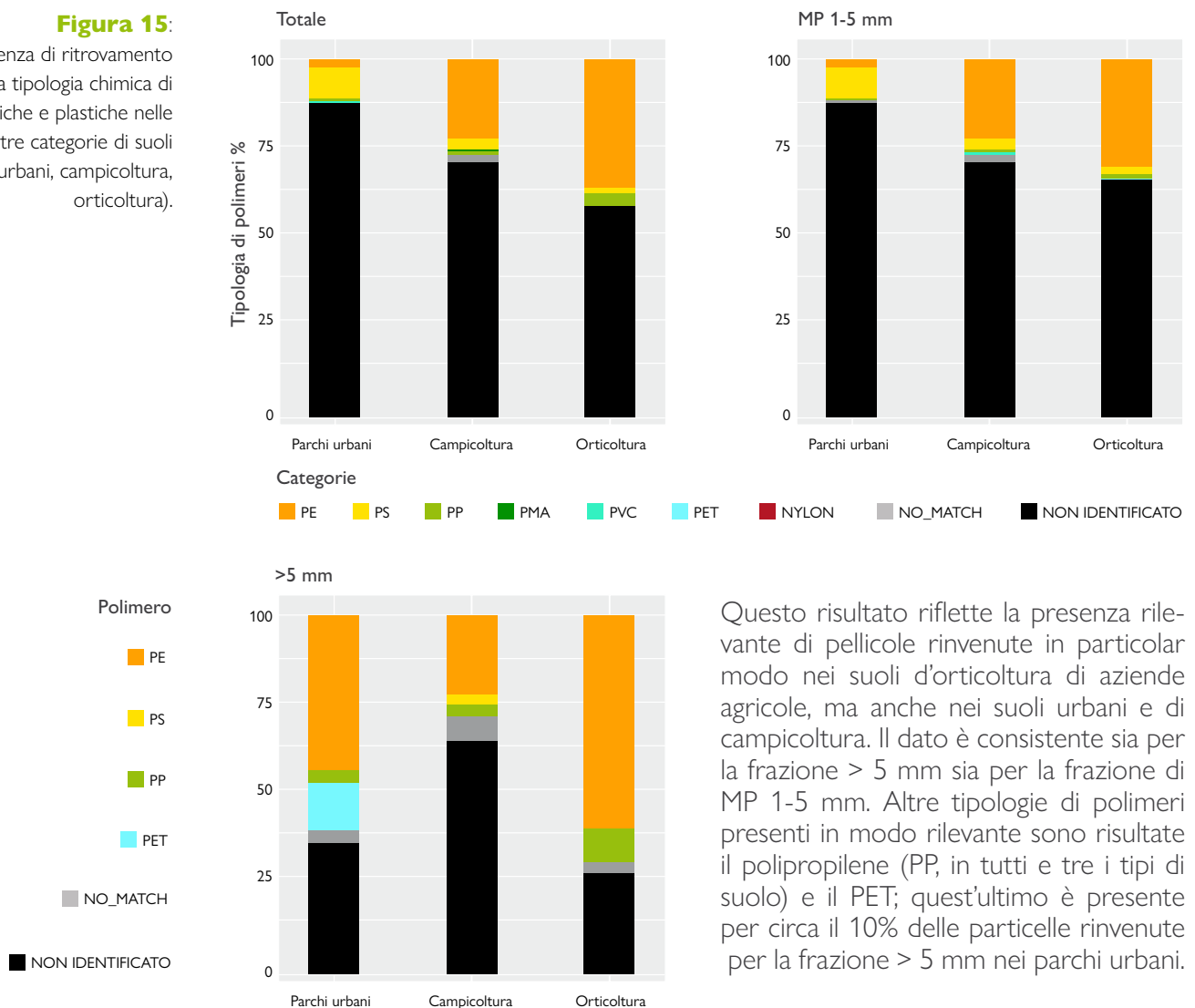
Concentrazione (oggetti/kg) di microplastiche (frazione 1-5 mm) per i cinque punti di prelievo nel singolo suolo, per la diversa tipologia di terreni investigati, e valore della relativa varianza tra i campioni.

Sito	Campione 1	Campione 2	Campione 3	Campione 4	Campione 5	Varianza
Aa	101	303	75	56	111	7925.76
Ab	47	130	72	89	88	732.56
Ac	32	44	52	35	50	63.04
Ad	30	21	11	17	25	42.56
Ca	28	55	29	32	21	134
Cb	19	8	9	2	20	47.44
Cc	40	34	14	5	18	167.36
Cd	31	8	12	6	5	92.24
Pa	87	66	29	24	31	613.84
Pb	37	50	57	80	61	198.8
Pc	59	38	49	48	44	47.44
Pd	78	120	23	19	234	6238.96

3.2.5 Tipologia chimica

La caratterizzazione chimica delle materie plastiche è stata verificata tramite spettroscopia infrarossa FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) per 1155 oggetti. La maggior parte dei materiali rinvenuti nei suoli sono costituiti da polietilene (PE) per una percentuale di 76% del totale delle particelle analizzate, seguiti da altri polimeri quali il polistirene (PS, 16%), polipropilene (PP, 6%) e il polietilene tereftalato (PET, 1%) (Figura 15). Le fibre, pur risultando la categoria con una concentrazione maggiore, non sono state caratterizzate chimicamente a causa della manipolazione d'identificazione (infatti, come descritto nel paragrafo 2.2.2, a seguito dell'identificazione tramite "hot-needle" non risulta più possibile procedere con la loro caratterizzazione chimica FTIR). Inoltre, come descritto in letteratura [10] la tecnica FTIR non è adatta per identificare le fibre, spesso troppo sottili e per questo motivo difficili da rilevare. Di fatto, la percentuale denominata "non identificato" è costituita da questa categoria di MP. Di conseguenza, tra le particelle identificate la maggior parte sono costituite da pellicole di PE. Questa osservazione rispecchia quanto osservato in uno studio precedente per la contaminazione da microplastica di suoli agricoli in Germania [11].

Figura 15: Frequenza di ritrovamento della tipologia chimica di microplastiche e plastiche nelle tre categorie di suoli (parchi urbani, campicoltura, orticoltura).



4 Discussione

Questo studio fornisce i primi risultati sulla presenza di plastiche e microplastiche in diverse tipologie di suolo del Cantone Ticino. A nostra conoscenza, i dati qui presentati sono i primi del genere in Svizzera. Negli scorsi anni l'attenzione è stata principalmente indirizzata verso studi legati ad ambienti acquatici come i laghi. Lo studio presentato in questo rapporto ha ricercato (i) quale concentrazione, quale tipologia e quale morfologia di plastiche e microplastiche sono presenti nei diversi suoli, e (ii) con quale differenza plastiche e microplastiche si accumulano nei diversi tipi di suolo. I risultati delle analisi hanno dimostrato che le microplastiche sono presenti in tutti i campioni di tutte e tre le tipologie di suolo analizzati, mentre le macroplastiche nel 60% dei campioni. In particolare, questo studio ha permesso di identificare le categorie di fibre, frammenti e pellicole in ogni tipologia di suolo, confermando la loro presenza ubiquitaria. Mediamente, sono state quantificate tra le 20 e le 70 MP/kg per la frazione 1-5 mm, e tra le 2 e le 17 plastiche/kg per la frazione > 5 mm. Riportando la quantificazione delle plastiche in massa, i valori rinvenuti in questo studio variano da 1 mg/kg di suolo per la frazione 1-5 mm, ad un massimo di 300 mg/kg di suolo per la frazione > 5mm (Allegati, Tabella S4 – S6).

A dipendenza dalla tipologia di suolo, studi passati condotti in diverse parti del mondo hanno indicato una concentrazione di microplastiche molto variabile, da meno di una decina a molte migliaia di particelle per chilogrammo [11, 12]. Le analisi condotte in questi studi, pur permettendo di determinare la differenza tra i suoli adibiti ad uso diverso, mette in luce l'alta variabilità quantificata per le singole misure (come presentato nel capitolo 3.2.4) confermando di fatto la difficoltà nello sviluppare studi indipendenti robusti e comparabili.

Particolare considerazione merita la quantificazione di microplastiche rinvenute nei suoli urbani e di orticoltura; nonostante quest'ultimi utilizzino direttamente materiali plastici e sintetici durante il ciclo di coltivazione, il carico di microplastiche totale è risultato simile a quello presente nei suoli urbani. La ricerca ha però permesso di definire una differenza significativa nella concentrazione di plastiche rinvenute tra i suoli adibiti ad orticoltura e campicoltura. Questo risultato è assai singolare in virtù del fatto che, così come per i suoli d'orticoltura, anche nei suoli di campicoltura venivano immesse, soprattutto in passato, plastiche e altri materiali, presupponendo pertanto di ritrovare un'analogia concentrazione nei due tipi di suolo. Le diverse tecniche di gestione dei suoli potrebbero però aiutare a spiegare tale differenza; con il processo di aratura del terreno fino ad una profondità di 30-40 centimetri nei suoli di campicoltura il materiale plastico presente nei primi 20 centimetri può essere movimentato e trasportato in profondità, fungendo di fatto da "fattore di diluizione". Diversamente, nei suoli d'orticoltura una fresatura limitata ai primi centimetri di suolo mantiene intatta la struttura del terreno. In virtù di queste considerazioni, è opportuno menzionare come in Svizzera oltre ai frammenti che si possono creare dai teli per pacciamatura (specialmente quelli utilizzati in passato costituiti di polietilene), una fonte di plastica che può contaminare i suoli ed in particolar modo i terreni agricoli deriva dal compostaggio all'interno del quale spesso vengono smaltiti in modo inappropriato prodotti in plastica non degradabili che possono sporcare i suoli sui quali lo stesso compost viene applicato. Una campagna d'ispezione condotta nel Cantone Argovia e in altri quattro cantoni svizzeri ha analizzato campioni di compost ritrovando particelle di plastica in 80 dei 89 campioni analizzati [13]. È opportuno menzionare che secondo l'Ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim),

Allegato 2.6 capitolo 2.2, i corpi estranei come metallo, vetro, carta usata, cartone, plastiche presenti nel compost possono rappresentare al massimo lo 0.4% del peso della sostanza secca. A questo proposito, si coglie l'occasione per richiamare l'attenzione di tutta la popolazione sulla buona prassi di gestione e smaltimento di scarti vegetali nel compostaggio, evitando di buttare materiale non compostabile.

La caratterizzazione chimica condotta tramite FTIR ha confermato l'abbondanza di macroplastiche in polietilene derivanti da teli per pacciamatura, presumibilmente riconducibile ad un intenso uso fatto negli anni di questi prodotti. Più di pellicole e frammenti, la tipologia rinvenuta in concentrazione maggiore in ogni tipo di suolo in questo studio corrisponde alle fibre. Infatti per la frazione 1-5 mm, la tipologia fisica che mostra una maggiore concentrazione nei suoli analizzati è quella delle fibre (tra le 15 e 50 MP/kg), seguita dalle pellicole (tra 2 e 25 MP/kg) e dai frammenti (tra 2 e 5 MP/kg). Nonostante la scarsità di pubblicazioni rigorose relative alla presenza di microplastiche nei suoli, alcuni studi condotti fuori dalla Svizzera suggeriscono un trend simile, corroborando l'elevata diffusione delle fibre che si confermano la tipologia di microplastica più presenti nei suoli [14]. Diversi tipi di materiali, come il nylon, l'acrilico, il poliestere, o il polipropilene, vengono utilizzati nella produzione dei più svariati tessuti e indumenti. Secondo le stime dell'Agenzia Ambiente Europea, fibre sintetiche come poliestere e nylon costituiscono il 60% dei vestiti e il 70% dei tessili casalinghi. Il loro consumo, l'usura e il lavaggio di questi prodotti rilasciano una grande quantità di fibre che si possono disperdere nell'ambiente per via aerea, accumulandosi sulla superficie dei suoli [15]. A tal proposito, è stato recentemente caratterizzato come, per la maggior parte dei tessuti tessili, il rilascio di fibre nell'aria dovuto all'utilizzo degli indumenti sia di circa 10 volte superiore rispetto a quanto viene disperso nell'acqua in seguito al lavaggio degli indumenti [16]. A conferma di ciò, è stato dimostrato come il processo di abrasione svolga un ruolo centrale nella formazione di fibre dai tessili sintetici [17].

È giusto sottolineare che i risultati per la categoria di plastica ritrovata nei suoli divergono con quanto osservato negli studi precedenti condotti in Cantone Ticino sulla superficie del Lago Lugano e sulle rive dello stesso [3, 9]. Nel caso della superficie del Lago Lugano e delle sue rive, la tipologia di microplastica (< 5 mm) rinvenuta in concentrazione maggiore era quella dei frammenti. Il diverso accumulo di particelle tra suolo e lago è da ricercare probabilmente nella capacità del suolo di sequestrare in modo maggiore particelle di massa minore come le fibre. Anche se per tipologia d'analisi un paragone diretto tra i dati di questo rapporto e i precedenti riportati per le acque superficiali e le rive del Lago Lugano [3, 8] non è di facile lettura, si può osservare per la frazione MP 1-5 mm che le due matrici ambientali presentano lo stesso ordine d'accumulo (10 ± 13 MP/kg nei sedimenti delle rive del Lago Lugano; tra le 20 e 70 MP/kg nei suoli, a dipendenza dal tipo). Ciò mostra che i suoli, così come già visto per le rive del Lago Lugano, fungono da compartimento di accumulo e di deposizione per le MP.

5 Conclusioni e prospettive

In Svizzera si consuma ogni anno circa un milione di tonnellate di materie plastiche, pari a 125 chilogrammi pro capite. Di queste, circa 250'000 tonnellate permangono come prodotti durevoli, mentre 780'000 tonnellate in impianti di incenerimento dei rifiuti urbani vengono smaltite a fini energetici e circa 80'000 tonnellate vengono riciclate [18]. In Svizzera, nonostante il sistema di recupero e valorizzazione di questo materiale funzioni bene, ci sono ancora migliorie da implementare per ridurre ulteriormente la dispersione di plastiche e microplastiche nell'ambiente.

La criticità della presenza di plastiche e microplastiche, ubiquitaria nei laghi svizzeri [2,3], è emersa anche per i suoli. Le vie d'entrata di questo materiale nel suolo possono essere molteplici. Il trasporto per via aerea è sicuramente tra quelli maggiormente considerati, in virtù del fatto che particelle di plastica sono state rinvenute anche in luoghi remoti e lontani da fonti di emissioni dirette di plastiche [19, 20]. Questa possibilità è assai marcata per le particelle di piccola taglia e massa ridotta; nello studio qui presentato queste possono essere rappresentate dalla categoria delle fibre. Tuttavia, per le fibre l'elevata variabilità presente per le diverse tipologie di suolo suggerisce che questa via di diffusione non è la prevalente rispetto al rilascio diretto, e le conseguenze che possono arrecare sono ancora da definire.

Studi passati suggeriscono che la qualità del suolo e la sua produttività dipenda strettamente dallo stato di salute e dalla funzionalità della componente biotica e microbiologica [21], con quest'ultima che può variare la propria attività in funzione del tipo di polimero e del tempo di esposizione con le microplastiche [22]. Alla luce di quanto presentato in questo studio, una questione aperta e ancora da investigare consiste nel comprendere le ricadute concrete dovute al carico di plastiche rinvenute nei suoli analizzati. Considerando l'importanza di ridurre il più possibile la presenza di oggetti esterni sui suoli, è importante definire se quanto ritrovato possa comportare un effetto reale e concreto sulla salute e funzionalità del suolo. Secondo un recente studio pubblicato da European Chemical Agency (ECHA, 2019), in futuro, rispetto agli ambienti acquatici i suoli potranno essere soggetti a un maggiore rischio ambientale causato da microplastiche.

Bisogna sottolineare come in questo studio ci si è focalizzati in prima misura sulle frazioni di macroplastiche (> 5 mm) e MP (1-5 mm) presenti in diverse categorie di suoli, tralasciando le frazioni di MP inferiori a 1 mm. Oltre alle MP <1mm, una frazione che meriterebbe particolare attenzione riguarda le cosiddette nanoplastiche (10^{-9}). Proprio per le loro dimensioni ridotte e le caratteristiche chimiche, le nanoplastiche sono soggette ad un trasporto atmosferico molto più efficiente delle microplastiche, e possono perciò essere trasportate a una distanza maggiore dalla loro fonte di emissione [20]. Inoltre questa frazione di microparticelle merita particolare attenzione a causa del loro potenziale pericolo; particelle inferiori a 1 μm come le nanoplastiche possono penetrare in profondità nei polmoni e in funzione del diametro ridotto possono passare la barriera della membrana cellulare ed entrare nel flusso sanguigno [23]. Un recente studio di laboratorio condotto dall'Istituto federale per la ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio ha dimostrato che gli alberi del bosco assorbono le particelle di nanoplastica attraverso le radici e le trasportano nelle parti aeree della pianta [24]. Studi attualmente in corso stanno investigando in che modo questo processo possa impattare l'attività

fotosintetica nella pianta, metabolismo chiave per il funzionamento della catena trofica. In orticoltura, in sostituzione dei tradizionali teli per pacciamatura in PE è indicato privilegiare l'uso di teli costituiti da materiale biodegradabile come il copolimero PBAT (polibutilene adipato tereftalato), per il quale è stata dimostrata sperimentalmente la biodegradabilità nel suolo [24]. L'introduzione di questi teli comporta notevoli benefici: diversamente dal PE, i microorganismi presenti nel suolo sono in grado di rompere i legami che costituiscono le molecole di PBAT, utilizzando a loro volta i relativi monomeri come fonte d'energia per la produzione di nuova biomassa. Anche nell'eventualità di resti di teli a base di PBAT nel suolo, l'impatto ambientale ed ecologico di questi residui è fortemente ridotto. In Ticino, per molti orticoltori l'uso di teli in PBAT è pratica comune già da anni; a suggerire l'efficace biodegradabilità di questo materiale nel suolo, va sottolineato il fatto che nei suoli d'orticoltura presi in considerazione in questa ricerca non sono stati rinvenuti frammenti riconducibili a questa categoria chimica (vedi nota allegato 8.1.5).

Allo scopo di sensibilizzare e informare gli interessati sulle pratiche più opportune da adottare nell'uso di questi teli in agricoltura e orticoltura, l'Ufficio della gestione dei rischi ambientali e del suolo (UGRAS) assieme all'Ufficio della consulenza agricola ha recentemente redatto un documento informativo dal titolo "Vendita e impiego dei teli per pacciamatura in agricoltura e giardinaggio" [25].

6 Referenze

- [1] Eriksen M, Lebreton LCM, Carson HS, Thiel M, Moore CJ, Borerro JC, et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE* 9(12): e111913.
- [2] Faure F., De Alencastro F. Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Rapport final. EPFL. June 2014.
- [3] Studio sulla presenza di microplastiche nel Ceresio. Dipartimento del Territorio, Repubblica e Canton Ticino. Novembre 2018.
- [4] Nowack B., Kawecki-Wenger D. Modellierung von Plastik in der Umwelt. *Aqua & Gas* N°2, 2020.
- [5] Seeley M., Song B., Passie R., Hale R. Microplastics affect sedimentary microbial communities and nitrogen cycling. *Nature Communications*. 2020.
- [6] Free C., Jensen O., Mason S , Eriksen M., Williamson N., Boldgiv B. High levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*. 2014.
- [7] Wu C., Zhang K., Xiong X. Microplastics pollution in inland waters focusing on Asia. 2018.
- [8] Lusher A. L., Brate I., Munno K., Hurley K., Welden N. Is it or isn't it. The importance of visual classification in microplastic characterization. *Applied Spectroscopy*. 2020.
- [9] Valutazione dell'inquinamento da microplastiche nelle rive del Lago Ceresio. Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere. Rapporto annuale 2019-2020. A cura di Istituto Microbiologia, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana.
- [10] K ppler A., Fischer D., Oberbeckmann S., Schernewski G., Labrenz M., Eichhorn K., Voit B. Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? *Anal Bioanal Chem*. 2016.
- [11] Piehl S., Leibner A., L der M., Dris R., Bogner C., Laforsch C. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific Reports*. 2018.
- [12] Bl sing M., Amelung W. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Sci Total Environ*. 2018.
- [13] Tom Hofmann. Wie Sauber ist unser Kompost. *Umwelt Aargau*, September 2019.
- [14] Rafique A., Irfan M., Mumtaz M., Qadir A. Spatial distribution of microplastics in soil with context of human activities: a case study from the urban center. *Environ Monit Assess*. 2020.
- [15] European Environment Agency. Plastic in textiles: potential for circularity and reduced environmental and climate impacts.

- [16] Cai Y., Yang T., Mitrano D.M, Heuberger M., Hufenus R., Nowack B. Systematic study of microplastic fiber release from 12 different polyester textiles during washing. *Environ. Sci. Technol.* 2020.
- [17] Cai Y., Mitrano D.M, Hufenus R., Nowack B. Formation of fiber fragments during abrasion of polyester textiles. *Environ. Sci. Technol.* 2021.
- [18] Sito web UFAM: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/rifiuti/guida-ai-rifiuti-az/materie-plastiche.html>
- [19] Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David J., Tröger J., et al. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Sci. Tot. Environ.* 550, 690-705.
- [20] Materic D., Ludewig E., Brunner D., Röckmann T., Holzinger R. Nanoplastic transport to the remote, high-altitude Alps. *Environmental Pollution* 288. 2021.
- [21] Rillig MC, Ingraffia R and de Souza Machado AA (2017) Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems. *Front. Plant Sci.* 8:1805. doi: 10.3389/fpls.2017.01805
- [22] Zhao, Lozano, Rillig. Microplastics increase soil pH and decrease microbial activities as a function of microplastic shape, polymer type, and exposure time. *Frontiers in Environmental Science.* 2021
- [23] Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B., 2019. Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environ. Sci. Technol.* 53, 1748–1765.
- [24] Zumstein MT, Schintlmeister A, Nelson TF, Baumgartner R, Woebken D, Wagner M, Kohler HP E, McNeill K, Sander M.: Biodegradation of synthetic polymers in soils: Tracking carbon into CO₂ and microbial biomass. *Science Advances* (2018)
- [25] Il foglio informativo è disponibile al sito della SPAAS: www.ti.ch/microplastiche → Per saperne di più → Documentazione

7 Ringraziamenti

Il presente studio è stato possibile grazie alla disponibilità dei proprietari dei fondi considerati per l'analisi (per campi di orticoltura delle aziende agricole e campicoltura), e dei comuni proprietari dei campi urbani. Lo studio è stato coordinato dalla Sezione della protezione dell'aria dell'acqua e del suolo del Dipartimento del territorio, ed eseguito su mandato da parte dell'Istituto Microbiologia della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (IM SUPSI). La redazione del rapporto è a cura del DT SPAAS e IM SUPSI. Si ringrazia l'Ufficio della consulenza agricola per il supporto fornito con i proprietari delle aziende d'orticoltura e per la revisione del documento.

8 Allegati

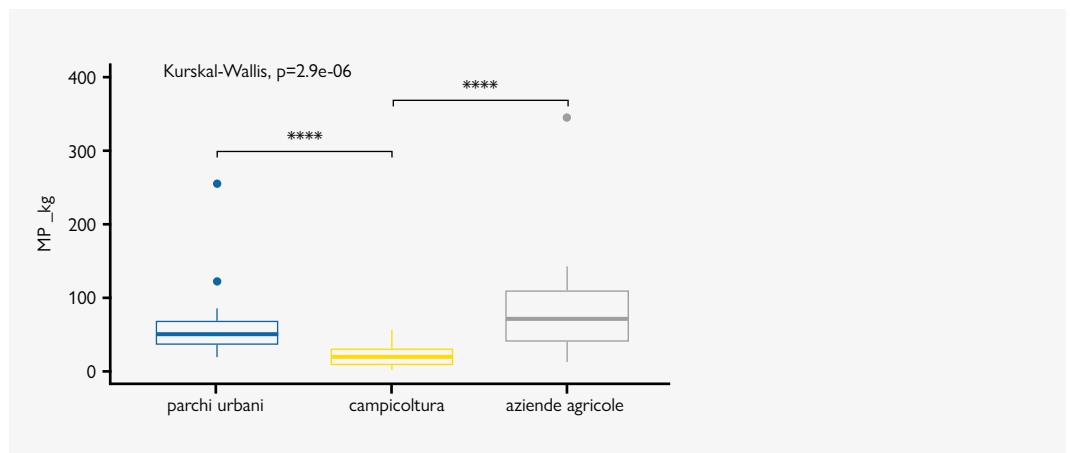
8.1. Analisi statistiche

I test statistici sono stati eseguiti con il programma R (R 3.6.1) sulla piattaforma R Studio (versione 1.3.1093). Per tutti i test statistici condotti in questo studio il valore p è stato fissato a 0.05. Ciò significa che l'ipotesi nulla, ovvero che due o più gruppi in questione hanno una media diversa tra loro, viene rifiutata qualora il livello di scarto è inferiore a 0.05. Per verificare la differenza tra le varie concentrazioni di microplastica nei diversi tipi di suolo e diversi siti, test ANOVA è stato eseguito qualora possibile. Più precisamente nei casi in cui i dati rispettavano la distribuzione normale e l'omogeneità delle varianze. In caso contrario è stato eseguito il test non parametrico Kruskal Wallis.

8.1.1 Paragone tra i diversi tipi di suolo

Allegato 1:

Rappresentazione grafica delle concentrazioni totali di plastica e microplastica ($> 5\text{mm}$, $1\text{-}5\text{mm}$) per le diverse tipologie di suolo: parchi urbani, campicoltura e aziende agricole. Il risultato Kruskal-Wallis test valuta la differenza statistica tra le diverse tipologie di suolo, che in questo caso è significativa (valore $p < 0.05$).



Allegato 2:

Risultati del Kruskal-Wallis test per verificare la differenza statistica delle concentrazioni totali di plastica ($> 5\text{mm}$, $1\text{-}5\text{mm}$) tra le tre tipologie di suoli. Il valore p è minore di 0.05, dunque si assume che c'è una differenza statisticamente significativa della concentrazione totale di plastica e microplastica tra le varie tipologie di suolo. Di seguito sono riportati i risultati dei post hoc test, il Wilcoxon test e il Dunn test, che approfondiscono il risultato del Kruskal-Wallis test per ogni combinazione possibile. In questo caso, da entrambi i test si ottiene la conferma che c'è una differenza statisticamente significativa tra le concentrazioni nei suoli di campicoltura e delle aziende agricole; e tra campicoltura e i parchi urbani.

```
> kruskal.test(MP_kg ~ tipo_suolo, data = MPTOT)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: MP_kg by tipo_suolo
Kruskal-Wallis chi-squared = 25.484, df = 2, p-value = 2.926e-06

> pairwise.wilcox.test(MPTOT$MP_kg, MPTOT$tipo_suolo,
+ p.adjust.method = "BH")

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test

data: MPTOT$MP_kg and MPTOT$tipo_suolo

      aziende_agricole campicoltura
campicoltura 5.0e-06          -
parchi_urbani 0.17          1.7e-05

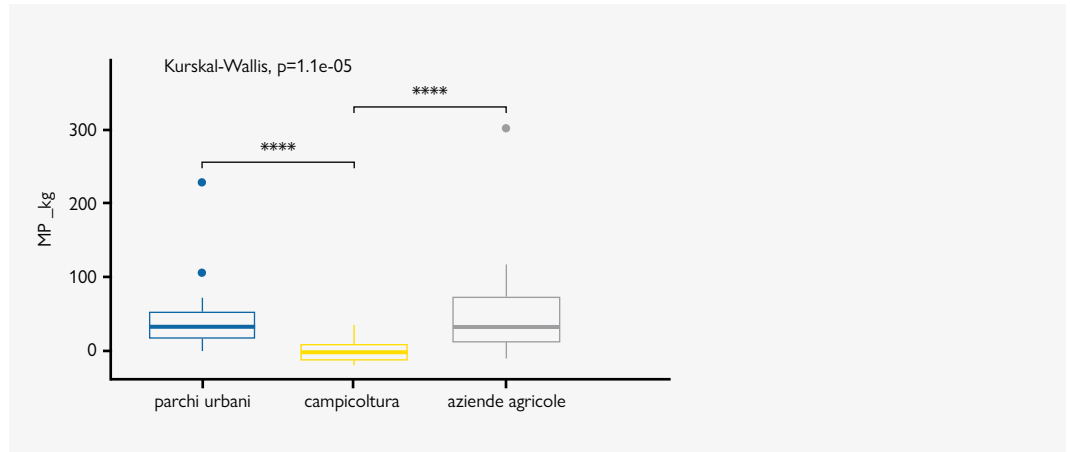
> dunnTest(MP_kg ~ tipo_suolo, data = MPTOT, method="bh") # Adjusts
es for multiple comparisons;
Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

      Comparison      Z      P.unadj      P.adj
1 aziende_agricole - campicoltura 4.798395 1.599425e-06 4.798275e-06
2 aziende_agricole - parchi_urbani 1.041161 2.978008e-01 2.978008e-01
3 campicoltura - parchi_urbani -3.757233 1.718022e-04 2.577033e-04
```

Allegato 3:

Rappresentazione grafica delle concentrazioni di microplastica (1 - 5 mm) tra le diverse tipologie di suoli: parchi urbani, campicoltura e aziende agricole.

Il risultato del Kruskal Wallis test dimostra una differenza statisticamente significativa tra le diverse tipologie di suolo (valore $p < 0.05$). Più precisamente, le concentrazioni di microplastica sono statisticamente diverse tra i parchi urbani e i campicoltura e tra campicoltura e le aziende agricole.



Allegato 4:

Risultati del Kruskal-Wallis test eseguito per verificare la differenza statistica delle concentrazioni di microplastica (1 - 5 mm) tra le tre tipologie di suolo. Il valore p è minore di 0,05, dunque si conclude che c'è una differenza statisticamente significativa della concentrazione di microplastica tra le varie tipologie di suolo. Di seguito sono anche riportati i risultati dei post hoc test, il Wilcoxon test e il Dunn test, che calcola il valore p per ogni combinazione possibile. In questo caso, da entrambi i test si ottiene la conferma che c'è una differenza statisticamente significativa tra le concentrazioni nei suoli dei campi e delle aziende agricole; e tra i campi e i parchi urbani.

```
> kruskal.test(MP_kg ~ tipo_suolo, data = MPS1)
```

```
Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
data: MP_kg by tipo_suolo
```

```
Kruskal-Wallis chi-squared = 22.876, df = 2, p-value = 1.078e-05
```

```
> pairwise.wilcox.test(MPS1$MP_kg, MPS1$tipo_suolo,
+                       p.adjust.method = "BH")
```

```
Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test
```

```
data: MPS1$MP_kg and MPS1$tipo_suolo
```

	aziende_agricole	campicoltura
campicoltura	4.3e-05	-
parchi_urbani	0.84	1.0e-05

```
> dunnTest(MP_kg ~ tipo_suolo, data = MPS1, method="bh") # Adjusts p-
s for multiple comparisons;
```

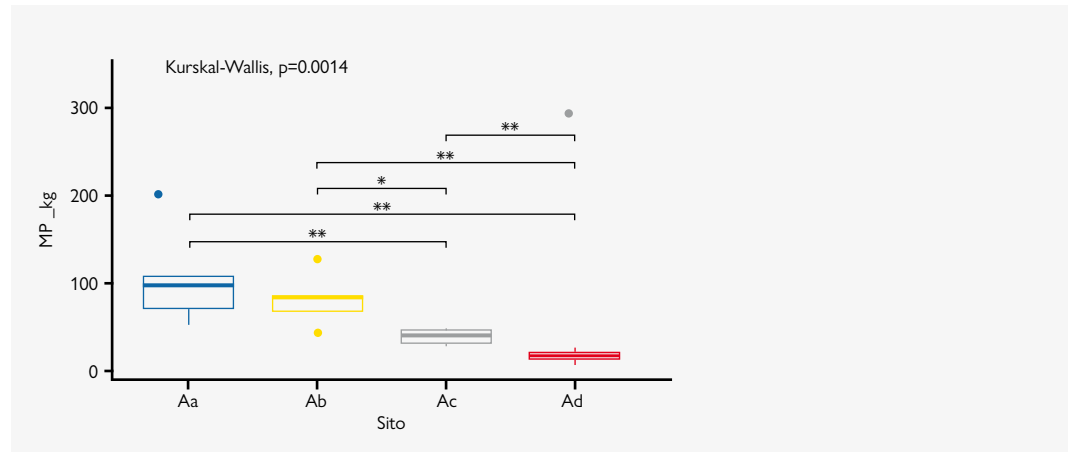
```
Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.
```

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	aziende_agricole - campicoltura	4.15559074	3.244481e-05	9.733444e-05
2	aziende_agricole - parchi_urbani	0.02716072	9.783315e-01	9.783315e-01
3	campicoltura - parchi_urbani	-4.12843002	3.652486e-05	5.478728e-05

8.1.2 Quantificazione di plastiche e microplastiche nei suoli d'orticoltura

Allegato 5:

Rappresentazione grafica delle concentrazioni totali di plastica e microplastica (> 5mm, 1-5 mm) per le diverse tipologie di suolo: parchi urbani, campicoltura e aziende agricole. Il risultato Kruskal-Wallis test valuta la differenza statistica tra le diverse tipologie di suolo, che in questo caso è significativa (valore $p < 0.05$).



Allegato 6:

Risultati del Kruskal-Wallis test effettuato per verificare la differenza statistica delle concentrazioni di microplastica (1 - 5 mm) tra i quattro siti di aziende agricole. Il valore p è minore di 0,05, dunque si assume che c'è una differenza statisticamente significativa della concentrazione di microplastica tra i quattro siti. Di seguito sono riportati i risultati dei post hoc test, il Wilcoxon test e il Dunn test, che calcolano il valore p per ogni combinazione possibile. In questo caso, da entrambi i test si ottiene la conferma che c'è una differenza statisticamente significativa tra le concentrazioni di microplastica tra i siti: Aa-Ac, Aa-Ad, Ab-Ac (solo Wilcoxon test), Ab-Ad, Ac-Ad (solo Wilcoxon test).

```
> pairwise.wilcox.test(SAP1$MP, SAP1$sito, p.adjust.method
```

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test

data: SAP1\$MP and SAP1\$sito

	CAD	GIU	QUA
GIU	0.548	-	-
QUA	0.012	0.038	-
SAN	0.012	0.012	0.012

P value adjustment method: BH

```
> kruskal.test(MP ~ sito, data = SAP1)
```

Kruskal-Wallis rank sum test

data: MP by sito

Kruskal-Wallis chi-squared = 15.48, df = 3, p-value = 0.001449

```
> dunnTest(MP ~ sito, data = SAP1, method="bh") # Adjusts p
tiple comparisons;
```

Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 CAD - GIU	0.4810702	0.630466582	0.630466582
2 CAD - QUA	2.0846377	0.037102201	0.074204402
3 GIU - QUA	1.6035675	0.108809430	0.163214145
4 CAD - SAN	3.5278484	0.000418952	0.002513712
5 GIU - SAN	3.0467782	0.002313084	0.006939251
6 QUA - SAN	1.4432107	0.148961124	0.178753349

8.1.3 Quantificazione di plastiche e microplastiche nei parchi urbani

Allegato 7:

Risultati del Kruskal-Wallis test per verificare la differenza statistica delle concentrazioni di plastica (>5 mm) tra i quattro siti di parchi urbani campionati. Il valore p è maggiore di 0,05, si assume perciò che non c'è una differenza statisticamente significativa della concentrazione di plastica tra i quattro siti.

```
> kruskal.test(MPkg ~ sito, data = SP5)
```

```
Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
data: MPkg by sito
Kruskal-Wallis chi-squared = 5.7034, df = 3, p-value = 0.127
```

```
> pairwise.wilcox.test(SP5$MPkg, SP5$sito, p.adjust.method = "BH")
```

```
Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test
```

```
data: SP5$MPkg and SP5$sito
```

```
   OSC PC  PG
PC 0.22 -  -
PG 0.15 0.31 -
PI 0.31 1.00 1.00
```

```
> dunnTest(MPkg ~ sito, data = SP5,method="bh") #
# multiple comparisons;
Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
# p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.
```

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 OSC - PC	-1.3457307	0.17838940	0.3567788
2 OSC - PG	-2.3404011	0.01926304	0.1155782
3 PC - PG	-0.9946705	0.31989655	0.4798448
4 OSC - PI	-1.5797708	0.11415937	0.3424781
5 PC - PI	-0.2340401	0.81495384	0.8149538
6 PG - PI	0.7606304	0.44687788	0.5362535

Allegato 8:

Risultati del Kruskal-Wallis test per verificare la differenza statistica delle concentrazioni di microplastica (1-5 mm) tra i quattro siti di parchi urbani campionati. Il valore p è maggiore di 0,05, dunque si assume che non c'è una differenza statisticamente significativa della concentrazione di microplastica tra i quattro siti.

```
> kruskal.test(MPkg ~ sito, data = SP1)
```

```
Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
data: MPkg by sito
Kruskal-Wallis chi-squared = 0.98857, df = 3, p-value = 0.804
```

```
> pairwise.wilcox.test(SP1$MPkg, SP1$sito, p.adjust.method = "BH")
```

```
Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test
```

```
data: SP1$MPkg and SP1$sito
```

```
   OSC PC  PG
PC 0.84 -  -
PG 0.84 0.84 -
PI 0.84 0.84 0.84
```

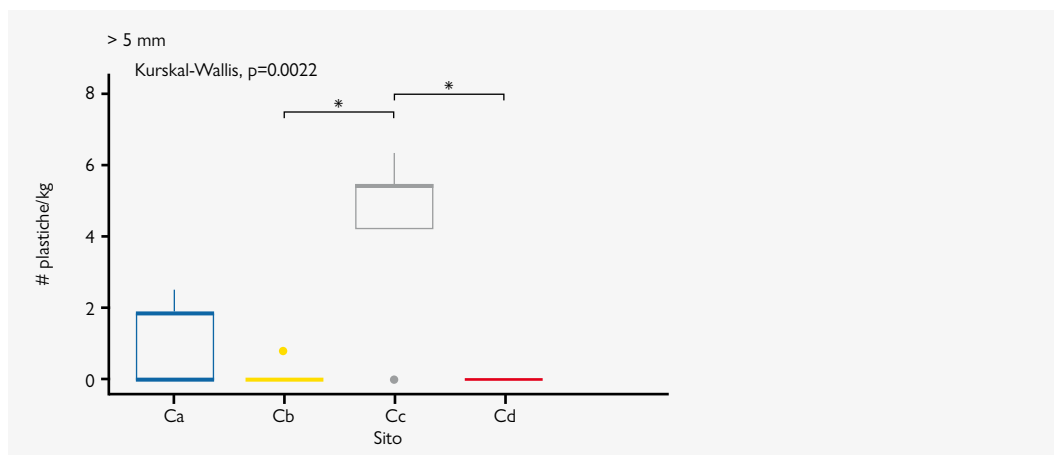
```
> dunnTest(MPkg ~ sito, data = SP1,method="bh") #
# multiple comparisons;
Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
# p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.
```

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 OSC - PC	-0.8017837	0.4226781	1.0000000
2 OSC - PG	-0.1069045	0.9148647	0.9148647
3 PC - PG	0.6948792	0.4871310	0.9742620
4 OSC - PI	-0.6948792	0.4871310	1.0000000
5 PC - PI	0.1069045	0.9148647	1.0000000
6 PG - PI	-0.5879747	0.5565493	0.8348239

8.1.4 Quantificazione di plastiche e microplastiche in campicoltura

Allegato 9:

Rappresentazione grafica delle concentrazioni di plastica (> 5 mm) nei quattro siti di campi agricoli campionati (Ca, Cb, Cc e Cd). Il risultato del Kruskal Wallis test mostra una differenza statisticamente significativa tra i quattro siti di campi agricoli campionati. Più precisamente, le concentrazioni di microplastica sono statisticamente diverse tra i siti: Cb-Cc e Cc-Cd.



Allegato 10:

Risultati del Kruskal-Wallis test per verificare la differenza statistica delle concentrazioni di plastica (> 5 mm) nei quattro siti di campi agricoli campionati. Il valore p è minore di 0.05, dunque si assume che c'è una differenza statisticamente significativa della concentrazione di plastica tra i quattro siti. Di seguito sono riportati i risultati dei post hoc test, il Wilcoxon test e il Dunn test, che approfondiscono il risultato del Kruskal Wallis test per ogni combinazione possibile. In questo caso si ottiene la conferma che c'è una differenza statisticamente significativa nelle concentrazioni tra i siti: Cb-Cc e Cc-Cd (solo Dunn test).

```
> kruskal.test(MPkg ~ sito, data = CP5)
```

Kruskal-Wallis rank sum test

data: MPkg by sito

Kruskal-Wallis chi-squared = 9.6692, df = 3, p-value = 0.0216

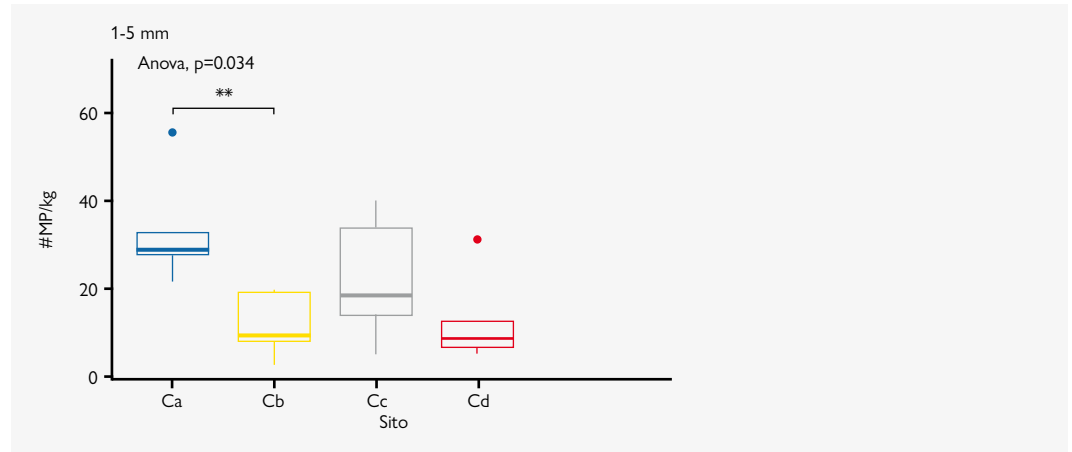
```
> dunnTest(MPkg ~ sito, data = CP5, method="bh") # Adjusts
multiple comparisons;
```

Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 AG - COL	0.6271959	0.530530807	0.63663697
2 AG - GUD	1.0662331	0.286318287	0.42947743
3 COL - GUD	0.4390372	0.660634615	0.66063461
4 AG - RIA	-1.8188682	0.068931539	0.13786308
5 COL - RIA	-2.4460641	0.014442530	0.04332759
6 GUD - RIA	-2.8851013	0.003912877	0.02347726

Allegato 11:

Rappresentazione grafica delle concentrazioni di microplastica (1 - 5 mm) nei quattro siti di campi agricoli campionati (Ca, Cb, Cc e Cd). Il risultato dell'Anova dimostra l'esistenza di una differenza statisticamente significativa tra i quattro siti di campi agricoli. Più precisamente, le concentrazioni di microplastica sono statisticamente diverse tra i siti: Cb-Cc e Cc-Cd.



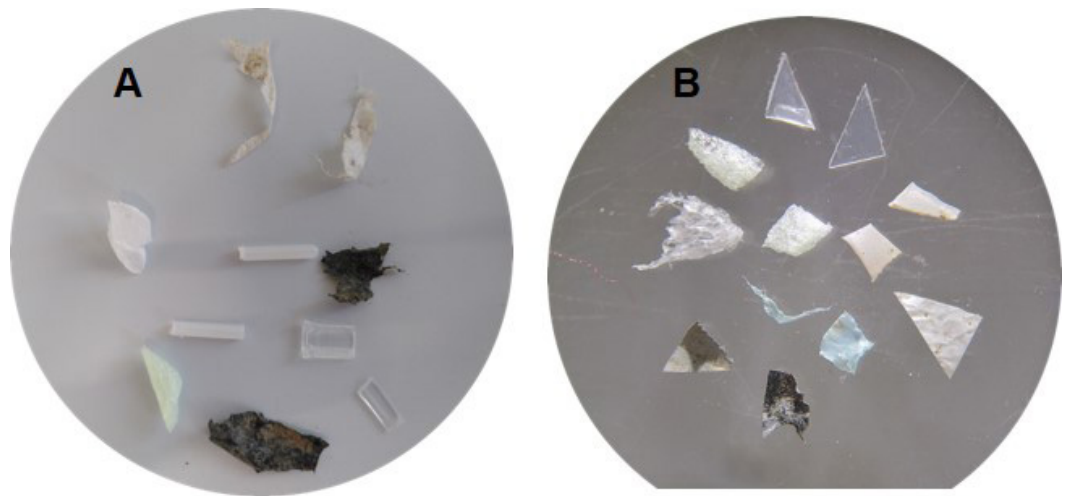
8.1.5 Test di recupero

Il test di recupero è stato eseguito per valutare l'efficacia del metodo di estrazione delle microplastiche, basato in questo studio su tre passaggi: il frazionamento, la digestione organica (solo per la frazione da 1-5 mm) e l'identificazione visiva tramite stereomicroscopio. Questo test permette di quantificare la percentuale di microplastiche che non vengono identificate o che vengono perse durante i vari passaggi di estrazione. A tale scopo, sono stati eseguiti tre replicati per le due frazioni di grandezza, da 1-5 mm e > 5 mm. Per il test, un numero noto di particelle di plastica e MP sono state aggiunte al campione iniziale, dopodiché tutti i passaggi di estrazione sono stati eseguiti come per i campioni originali. Dopo aver contato le particelle di plastica e MP ritrovate nei campioni, si sono confrontati alla somma totale di particelle introdotte inizialmente ottenendo così il tasso di recupero in percentuale.

Per quanto riguarda la frazione delle plastiche > 5 mm, per ogni campione sono state inserite 10 particelle (2 schiume, 4 frammenti e 4 pellicole) in 300 g del campione iniziale (Figura S1A). Per la frazione delle MP da 1-5 mm invece, sono state inserite 17 particelle (4 schiume, 4 frammenti, 4 fibre e 5 pellicole) in 300 g del campione iniziale (Figura S1B). Queste categorie di plastica sono state scelte perché sono le più comunemente osservate nei campioni di suolo.

Figura S1:

(A) Plastiche (> 5 mm) usate per il test di recupero. (B) MP (1-5 mm) usate per il test di recupero. Ingrandimento di 8x (Leica EZ4).



Il tasso medio di recupero delle plastiche > 5 mm è del 100% (Tabella S1). In effetti le plastiche di questa dimensione sono facilmente visibili ad occhio nudo e difficilmente vanno perse.

Per la frazione delle MP da 1 a 5 mm invece, il tasso di recupero medio è del 75% e del 92% escludendo le fibre (Tabella S2). Sono valori più bassi rispetto alle plastiche > 5 mm perché essendo MP, sono più difficili da vedere e più facili da perdere durante i vari passaggi di estrazione.

Dai risultati ottenuti, le fibre sono la categoria di plastica maggiormente persa durante i vari passaggi di estrazione. Ciò significa che le fibre sono sottostimate in questi risultati e che nei campioni originali se ne possono trovare in quantità maggiore.

Tabella S1:

Risultati del test di recupero (TR) per le plastiche > 5 mm in percentuale per ogni replicato.

Replicato	Sito	Tasso di recupero (TR) [%]
1	Pc	100
2	Cc	100
3	Ad	100
Media		100

Tabella S2:

Risultati del test di recupero (TR) per le MP (1-5 mm) e TR escludendo la categorie delle fibre (TR – fibre) in percentuale per ogni replicato.

Replicato	Sito	Tasso di recupero (TR) [%]	TR – fibre [%]
1	Pc	75	92
2	Cc	76.25	85
3	Ad	75	100
Media		75	92

Nota:

Il test di ossidazione eseguito come controllo della metodica in relazione a eventuali residui di PBAT ha dimostrato la robustezza del metodo impiegato.

8.1.6 Blank test

Per quantificare la contaminazione dei campioni durante le fasi di estrazione delle MP di dimensione 1-5 mm in laboratorio, è stato eseguito un blank test con tre replicati. Ogni passaggio di estrazione - il frazionamento, la digestione organica e l'estrazione visuale delle MP - è stato eseguito senza alcun campione.

Dai risultati la contaminazione risulta essere minima, dato che in ogni replicato è stata trovata solamente una fibra (Tabella S3).

Tabella S3:

Risultati (microplastiche trovate) del blank test per tre replicati e la rispettiva media.

Replicato	MP trovata
1	1 fibra
2	1 fibra
3	1 fibra
Media	1 fibra

8.2. Dati grezzi

Tabella S4:

Dati parchi urbani. (FR: frammenti; P: pellets; M: microbiglie; FIL: filii; FIB: fibre; PEL: pellicole; SC: schiume; C: carboni; VET: vetri)

Sito	Campione	Frazione [mm]	FR	P	M	FIL	FIB	PEL	SC	C	VET	Totale	Totale senza fibre	Kg suolo	MP / kg	MP senza fibre / kg	Massa plastica [mg]	Mg plastica/ kg suolo
Pc	1	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	1.07	2	2	2.4	2.24
Pc	1	1	5	0	0	1	57	0	0	0	0	63	6	1.07	59	6	12.2	11.4
Pc	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.20	0	0	0	0
Pc	2	1	2	0	0	0	43	0	1	0	0	46	3	1.20	38	2	1.1	0.92
Pc	3	5	1	0	0	1	0	0	0	0	1	2	2	1.14	2	2	9.4	8.24
Pc	3	1	3	0	0	0	49	3	1	0	5	56	7	1.14	49	6	24.7	21.6
Pc	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.17	1	1	0.3	0.26
Pc	4	1	4	0	0	1	49	2	0	0	2	56	7	1.17	48	6	21.8	18.6
Pc	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1.02	2	2	25.3	24.8
Pc	5	1	1	0	0	0	44	0	0	0	1	45	1	1.02	44	1	0	0
Pb	1	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1.10	1	1	0.3	0.26
Pb	1	1	1	0	0	0	40	0	0	0	1	41	1	1.10	37	1	0	0
Pb	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.13	0	0	0	0
Pb	2	1	1	0	0	0	55	0	0	0	0	56	1	1.13	50	1	0	0
Pb	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.02	0	0	0	0
Pb	3	1	1	0	0	0	57	0	0	0	0	58	1	1.02	57	1	0.2	0.19
Pb	4	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1.07	1	1	39	3.64
Pb	4	1	1	0	0	0	82	2	1	0	1	86	4	1.07	80	4	8.6	8.03
Pb	5	5	1	0	0	0	69	1	1	0	2	72	3	1.17	1	1	1.3	1.11
Pb	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.17	61	3	0	0
Pa	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.08	0	0	0	0
Pa	1	1	0	0	0	0	93	1	0	0	2	94	1	1.08	87	1	0	0
Pa	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.15	0	0	0	0
Pa	2	1	1	0	0	0	74	0	1	0	1	76	2	1.15	66	2	5.1	4.43
Pa	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.01	0	0	0	0
Pa	3	1	0	0	0	0	29	0	0	0	9	29	0	1.01	29	0	0	0
Pa	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0	0
Pa	4	1	0	0	0	0	23	0	0	0	0	23	0	0.95	24	0	0	0
Pa	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.93	0	0	0	0
Pa	5	1	0	0	0	0	29	0	0	0	3	29	0	0.93	31	0	0	0
Pd	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.89	0	0	0	0
Pd	1	1	4	0	0	0	64	0	1	0	0	69	5	0.89	78	6	6.1	6.85
Pd	2	5	1	0	0	0	0	1	0	0	2	2	2	0.86	2	2	41.1	47.8
Pd	2	1	7	0	0	0	94	1	1	0	5	103	9	0.86	120	10	15.2	17.7
Pd	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.21	0	0	0	0
Pd	3	1	2	0	0	0	25	1	0	0	0	28	3	1.21	23	2	5.5	4.54
Pd	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	0	0	0	0
Pd	4	1	1	0	0	0	20	0	3	0	1	24	4	1.25	19	3	1.3	1.04
Pd	5	5	1	0	0	0	1	17	0	0	0	19	18	0.84	23	22	35.7	42.5
Pd	5	1	25	0	0	1	143	15	12	0	0	196	53	0.84	234	63	32.9	39.2

Tabella S5:

Dati campicoltura. (FR: frammenti; P: pellets; M: microbigne; FIL: fili; FIB: fibre; PEL: pellicole; SC: schiume; C: carboni; VET: vetri)

Sito	Campione	Frazione [mm]	FR	P	M	FIL	FIB	PEL	SC	C	VET	Totale	Totale senza fibre	Kg suolo	MP / kg	MP senza fibre / kg	Massa plastica [mg]	Mg plastica/kg suolo
Ca	1	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	3	1.20	3	3		
Ca	1	1	3	0	0	0	24	6	0	0	0	33	9	1.20	28	8	1.3	1.08
Ca	2	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	1.07	2	2		
Ca	2	1	2	0	0	0	46	9	2	0	1	59	13	1.07	55	12	5.7	5.33
Ca	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.01	0	0	1.1	1.09
Ca	3	1	0	0	0	0	26	3	0	0	1	29	3	1.01	29	3		
Ca	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.20	0	0		
Ca	4	1	2	0	0	0	33	4	0	0	0	39	6	1.20	32	5	2	1.66
Ca	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.12	0	0		
Ca	5	1	1	0	0	4	17	2	0	0	1	24	7	1.12	21	6	0.5	0.45
Cb	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.06	0	0		
Cb	1	1	2	0	0	0	17	0	1	0	0	20	3	1.06	19	3	3.2	3.01
Cb	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03	0	0		
Cb	2	1	2	0	0	0	6	0	0	0	1	8	2	1.03	8	2	2.6	2.52
Cb	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.10	0	0		
Cb	3	1	0	0	0	0	9	1	0	0	0	10	1	1.10	9	1	0	0
Cb	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1.21	0	0		
Cb	4	1	0	0	0	1	2	0	0	0	4	3	1	1.21	2	0		
Cb	5	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1.23	1	1		
Cb	5	1	1	0	0	1	20	1	1	0	3	24	4	1.23	20	3	0.8	0.65
Cc	1	5	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	7	1.10	6	6	230.7	209.7
Cc	1	1	7	0	0	0	20	15	2	0	21	44	24	1.10	40	22	9.1	8.27
Cc	2	5	1	0	0	0	1	4	0	0	0	6	5	1.10	5	5		
Cc	2	1	2	0	0	2	12	19	2	0	10	37	25	1.10	34	23	20.7	18.8
Cc	3	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	4	0.94	4	4	33.3	35.4
Cc	3	1	0	0	0	0	9	4	0	0	8	13	4	0.94	14	4	0.8	0.85
Cc	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.04	0	0		
Cc	4	1	0	0	0	0	3	2	0	0	1	5	2	1.04	5	2	0	0
Cc	5	5	1	0	0	0	0	4	1	0	1	6	6	1.10	5	5	36.5	33.2
Cc	5	1	2	0	0	0	10	5	3	0	21	20	10	1.10	18	9	13.4	12.2
Cd	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.13	0	0		
Cd	1	1	23	0	0	0	10	2	0	0	13	35	25	1.13	31	22	12.5	11.06
Cd	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.19	0	0		
Cd	2	1	3	0	0	0	6	1	0	0	0	10	4	1.19	8	3	0	0
Cd	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.22	0	0		
Cd	3	1	0	0	0	0	12	3	0	0	0	15	3	1.22	12	2	0.6	0.49
Cd	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.24	0	0		
Cd	4	1	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8	0	1.24	6	0		
Cd	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.19	0	0		
Cd	5	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	1.19	5	0		

Tabella S6:

Dati orticoltura. (FR: frammenti; P: pellets; M: microbiglie; FIL: filii; FIB: fibre; PEL: pellicole; SC: schiume; C: carboni; VET: vetri)

Sito	Campione	Frazione [mm]	FR	P	M	FIL	FIB	PEL	SC	C	VET	Totale	Totale senza fibre	Kg suolo	MP / kg	MP senza fibre / kg	Massa plastica [mg]	Mg plastica/kg suolo
Ac	1	5	1	0	0	0	0	7	0	0	0	8	8	1.30	6	6	31.3	24
Ac	1	1	3	0	0	0	12	27	0	0	0	42	30	1.30	23	23	22	16.9
Ac	2	5	0	0	0	0	0	15	0	0	0	15	15	1.10	14	14	40.3	36.6
Ac	2	1	2	0	0	0	36	16	1	0	5	49	19	1.10	17	17	15.4	14
Ac	3	5	0	0	0	1	1	21	0	0	1	23	22	1.07	21	21	65.1	60.8
Ac	3	1	2	0	0	1	36	17	0	0	1	56	20	1.07	19	19	19.1	17.8
Ac	4	5	0	0	0	0	0	14	0	0	0	14	14	1.01	14	14	22.5	22.3
Ac	4	1	1	0	0	0	17	18	0	0	4	36	19	1.01	19	19	19.1	18.9
Ac	5	5	0	0	0	0	0	19	0	0	0	19	19	1.03	18	18	41.5	40.3
Ac	5	1	4	0	0	0	30	18	0	0	5	52	22	1.03	21	21	25.7	24.9
Aa	1	5	1	0	0	0	2	29	0	0	0	32	30	1.23	24	24	66.2	53.8
Aa	1	1	4	0	0	1	79	38	2	0	15	124	45	1.23	37	37	29.5	23.9
Aa	2	5	3	0	0	0	2	48	0	0	0	53	51	1.18	43	43	355.6	301.4
Aa	2	1	6	0	0	1	163	184	5	0	1	359	196	1.18	165	165	95.8	81.2
Aa	3	5	1	0	0	1	0	12	1	0	0	15	15	0.94	16	16	38.9	41.4
Aa	3	1	7	0	0	1	42	18	3	0	0	71	29	0.94	31	31	19.3	20.5
Aa	4	5	0	0	0	0	1	22	1	0	0	24	23	1.02	23	23	120.1	117.7
Aa	4	1	4	0	0	0	36	15	2	0	3	57	21	1.02	21	21	33.5	32.8
Aa	5	5	3	0	0	0	0	16	0	0	0	19	19	1.03	18	18	244	236.9
Aa	5	1	4	0	0	0	70	37	4	0	0	115	45	1.03	44	44	55.3	53.7
Ab	1	5	1	0	0	0	0	19	0	0	3	20	20	1.54	13	13	9.2	5.97
Ab	1	1	1	0	0	0	56	15	0	0	11	72	16	1.54	10	10	8.6	5.58
Ab	2	5	2	0	0	0	6	9	1	0	0	18	12	1.41	8	8	96.9	68.7
Ab	2	1	8	0	0	0	160	15	1	0	5	184	24	1.41	17	17	26.3	18.6
Ab	3	5	0	0	0	1	0	26	0	0	0	27	27	1.29	21	21	56.1	43.5
Ab	3	1	3	0	0	1	65	23	1	0	9	93	28	1.29	22	22	30.1	23.3
Ab	4	5	1	0	0	0	0	38	0	0	2	39	39	1.32	30	30	93.4	70.8
Ab	4	1	4	1	0	0	71	41	0	0	9	117	46	1.32	35	35	78.8	59.7
Ab	5	5	1	0	0	1	0	26	0	0	0	28	28	1.41	20	20	54.1	38.4
Ab	5	1	8	0	0	4	62	47	2	0	7	123	61	1.41	88	43	29.6	21
Ad	1	5	0	0	0	1	1	14	0	0	0	16	15	1.36	11	11	36.3	26.7
Ad	1	1	0	0	0	0	36	4	1	0	11	41	5	1.36	4	4	12.3	9.04
Ad	2	5	1	0	0	0	0	9	1	0	0	11	11	1.33	8	8	14.5	10.9
Ad	2	1	4	0	0	0	17	7	0	0	2	28	11	1.33	8	8	9.6	7.22
Ad	3	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	1.41	1	1		
Ad	3	1	0	0	0	0	11	4	0	0	1	15	4	1.41	3	3	3	2.13
Ad	4	5	1	0	0	0	0	4	0	0	0	5	5	1.33	4	4	1.7	1.28
Ad	4	1	4	0	0	0	13	5	1	0	2	23	10	1.33	7	7	3.8	2.86
Ad	5	5	2	0	0	0	0	12	0	0	0	14	14	1.26	11	11	6.1	4.84
Ad	5	1	2	0	0	0	18	10	1	0	1	31	13	1.26	10	10	8.8	6.98



Per ulteriori informazioni

**Ufficio della gestione dei
rischi ambientali e del suolo**

Dipartimento del territorio
Divisione dell'ambiente

Via Franco Zorzi 13
6501 Bellinzona

©Dipartimento del territorio, 2022 www.ti.ch