

## Aerobiologia e Allergie Occupazionali

***Microplastiche: veicolo per il trasporto di agenti biologici aerodispersi***

La plastica oggi è un materiale indispensabile nelle attività socio-economiche tanto da definire l'epoca in cui viviamo come **Era della plastica**. A causa della sua persistenza, la plastica si accumula facilmente nell'ambiente e l'esposizione a fenomeni fisici, chimici e biologici, ne determina la frammentazione in particelle sempre più piccole nell'ordine di micrometri e nanometri. L'**EFSA** (*European Food Safety Authority* - Autorità europea per la sicurezza alimentare) definisce **microplastiche** le **particelle** di dimensioni comprese tra **0,1  $\mu\text{m}$**  e **5 mm**. Le nanoplastiche misurano da 0,001 a 0,1  $\mu\text{m}$  (ossia da 1 a 100 nanometri). La natura delle microplastiche è varia e le fonti possono essere ad esempio l'abrasione degli pneumatici, i tessuti sintetici e persino i processi di trattamento delle acque reflue.



Immagini a), b), c): Banca dati immagini Inail

Le **microplastiche** così generate si **disperdono** nelle matrici **ambientali** mettendo a **rischio** la **salute** dell'**ecosistema**. Per tale motivo sono ampiamente studiate negli **ambienti marini, d'acqua dolce, terrestre** e recentemente anche nel **contesto atmosferico**. Numerosi studi affermano infatti la presenza di microplastiche nell'aria, ma ancora la loro distribuzione globale non è discussa in modo critico.

La presenza delle microplastiche ambientali nell'immaginario collettivo potrebbe erroneamente essere associata a zone urbane/industriali e limitrofe, ma a causa anche del **cambiamento climatico** in corso alcuni studi ne dimostrano la presenza anche in zone remote del globo.

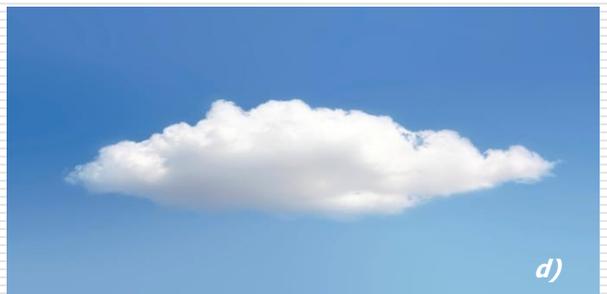
Un esempio si può ritrovare in uno **studio** condotto da Allen *et al.*, 2019 nei Pirenei francesi dove è stato misurato che possono cadere dal cielo fino a 365 particelle di microplastica per metro quadrato al giorno. L'**ubiquità** delle **microplastiche** determina quindi la **possibilità** di essere **inalate** o **ingerite** dagli **esseri viventi rappresentando** un **potenziale rischio** anche per la **salute umana**. Ad oggi gli effetti a lungo termine sulla salute sono ancora oggetto di studio.



Immagini a), b), c), d), e), f):  
Banca dati immagini Inail

Un **ulteriore aspetto**, legato alla **dispersione** delle **microplastiche** nell'**ambiente**, è che queste **possono fungere** da **possibili trasportatori** di **molecole potenzialmente tossiche** e/o di **microrganismi**. A causa della loro natura idrofobica, le microplastiche **adsorbono** facilmente gli **inquinanti organici persistenti** come IPA, PCB, OCP e **metalli pesanti** **amplificandone** **potenzialmente** gli **effetti dannosi**. L'**attuale ricerca** sulla tossicità delle microplastiche **enfatisza** le **interazioni** con composti organici, metalli pesanti e **antibiotici**.

Molti **studi** hanno inoltre dimostrato (soprattutto in **ambienti acquatici**), che le **superfici** delle **microplastiche** sono un **ottimo substrato** di **adesione** per i **microrganismi**, come **batteri** e **alghe**, il che facilita la loro colonizzazione e la formazione di biofilm. Questa **interazione** non solo potrebbe portare a un **aumento** della **quantità** di **microrganismi** nell'**ambiente circostante** ma, grazie ai **fattori atmosferici**, **facilitare** la **diffusione** dei **microrganismi** stessi, compresi quelli **patogeni**, in **nuove aree**.



Immagini a), b), c), d): Banca dati immagini Inail

L'interazione tra **microplastiche** e **comunità microbiche** in **ambiente marino** sono state chiamate "**plastisfera**" in quanto **determinano** la **formazione** di un **vero e proprio ecosistema diversificato** rispetto a quello che avverrebbe in condizioni normali.

Per quanto ne sappiamo, è **possibile** che questo fenomeno si **verifichi anche** in **atmosfera**, per cui lo **studio** delle **plastisfere aerosolizzate** **potrebbe rivelare informazioni interessanti** in condizioni **atmosferiche difficili** (ad esempio, **temperatura** e **gradiente di umidità relativa, radiazioni UV**, ecc.).

Proprio in questo contesto alcuni ricercatori si sono chiesti quale possano essere le **conseguenze** del **cambiamento climatico** e dell'**inquinamento ambientale** sui **microrganismi** nei loro **habitat naturali**. Come ben sappiamo **temperatura** e **umidità** (o **condensa**) sono **due parametri climatici** molto **importanti** per la **crescita microbica**.



Immagini a), b): Banca dati immagini Inail

È noto come il **bioaerosol** svolga un **ruolo chiave** nel **ciclo biogeochimico globale**, nella **salute umana, animale**, sulle **coltivazioni** e nei **modelli climatici**.

La **vita** dei **microbi** nell'**atmosfera** è **controllata** da **tre fasi principali: emissione, trasporto e deposizione**. Alcuni studi hanno evidenziato come l'**adattamento** alla **radiazione ultravioletta**, la **resistenza** alla **disidratazione** e l'**associazione** con il **particolato**, ad esempio le **microplastiche**, **determinano** un **aumento** della **sopravvivenza microbica** nell'**aerosol**. Lo sguardo dei ricercatori attualmente volge a **comprendere** come il **cambiamento climatico** possa **influenzare** anche la **patogenicità** sia delle cosiddette **plastisfere areosolizzate** che del **bioaerosol** in **generale**.

Le **reazioni chimiche** nei **processi atmosferici** possono **influenzare** in modo significativo il **bioaerosol**. L'**ossidazione**, la **nitrazione** e l'**oligomerizzazione** indotte dai **radicali idrossilici**, dall'**ozono** e dal **biossido di azoto** sono le **principali modifiche chimiche** che interessano i **bioaerosol**, **tutte** possono **aggravare** l'**allergenicità** del **particolato biologico**.

Ovviamente l'**influenza** è del tutto **reciproca**, infatti i **microrganismi** presenti in **atmosfera** **influenzano** notevolmente i **processi globali** di **meteo, clima, ciclo dei nutrienti, biodiversità** e **connettività microbica**, soprattutto nel **contesto** di un **rapido cambiamento globale**.

In generale possiamo quindi affermare che i **bioaerosol** **influenzano** i **processi climatici**, la **salute umana** e l'**ecosistema**. La **diversità** del **bioaerosol** in termini sia **comunità microbica** che di **concentrazione modifica** vari **processi atmosferici**, in particolare l'**associazione bioaerosol-clima-nuvole** è oggetto di studio.

Alcuni ricercatori hanno dimostrato come i **bioaerosol** siano **particelle di nucleazione del ghiaccio (INP)** e anche **nuclei di condensazione delle nuvole (CCN)** regolando l'**inizio delle precipitazioni**, la **formazione delle nuvole** e quindi il **complesso ciclo idrologico**.

Normalmente la nucleazione omogenea avviene a temperature più fredde ( $< -38^{\circ}\text{C}$ ), ma a causa delle loro proprietà uniche, alcuni bioaerosol determinano la nucleazione del ghiaccio a temperature molto più calde ( $\geq -10^{\circ}\text{C}$ ). Queste **rare caratteristiche** dei **bioaerosol** restano in gran parte **inesplorate** per cui sono necessari altri studi.

Un **ulteriore problema** legato alle **microplastiche** e alla loro **interazione** con i **microrganismi**, è la **formazione dei biofilm**. In questi **particolari "ecosistemi microbici"** vi è la concreta **possibilità** di trovare **materiali genetici liberi, contenenti geni di resistenza** agli **antibiotici** (*Antibiotic Resistance Genes, ARGs*).

Recenti studi hanno infatti riportato che la **permanenza nell'ambiente** e il conseguente **deterioramento**, renda le **microplastiche** particolarmente **affini al legame** con ARGs.

Il processo può essere **causato** dall'**abrasione meccanica**, dalle **radiazioni solari** e dalla **biodegradazione**, tutti fattori in **grado di aumentare** la **superficie di scambio** delle **microplastiche**, la loro **depimerizzazione** e quindi l'**alterazione** delle loro **proprietà fisico-chimiche**, favorendo l'**adesione microbica** e la **formazione di biofilm**.



a)



Immagini a), b): Banca dati immagini Inail

Generalmente all'interno del **biofilm**, gli **ARGs** possono **propagarsi** ai **batteri patogeni** per **trasferimento genico orizzontale**, attraverso **coniugazione** (trasportati da plasmide, iARGs), **trasformazione** (ARG extracellulari liberi, eARGs) o **trasduzione** (trasportati da fagi, pARGs).

Nel **biofilm adeso** alle **microplastiche**, l'elevata densità e lo **stretto contatto fisico** tra le **cellule facilita** il **trasferimento** degli **ARGs**, oltre a favorirne la resistenza agli **agenti fisici esterni** e quindi la **persistenza ambientale**.

Inoltre nelle **plastisfere**, ricercatori hanno rilevato come il **rilascio** di **sostanze chimiche** derivate dalle depolimerizzazione sia associato ad una **alterazione** della **permeabilità** di **membrana** dei **microrganismi** favorendo così il **trasferimento** degli **ARGs**.

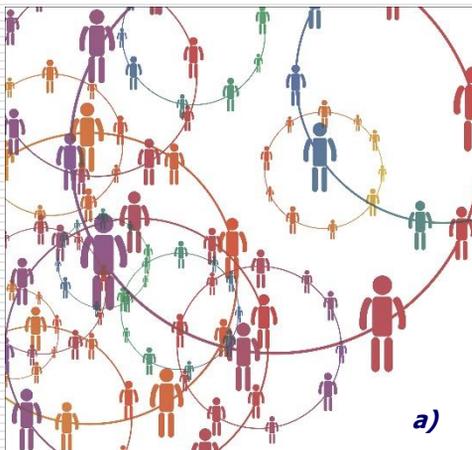
Flach *et al.* 2017, hanno dimostrato che la **presenza** di **rame** e **zinco** sulla **plastica**, come quella trattata con **vernice anti-vegetativa**, può **favorire** il **legame** di **AGRs** per la **resistenza** ai **macrolidi**, **lincosamidi** e **aminoglicosidi** (streptogramina). Non solo gli **inquinanti inorganici**, come i metalli pesanti, ma anche quelli **organici**, come gli idrocarburi policiclici aromatici, hanno rilevato la **capacità** di esercitare una **pressione selettiva** sul **trasferimento** di **ARGs** tramite **co-selezione** o **selezione crociata**.

Possiamo affermare che le **microplastiche** sono in grado di **trasportare** e **favorire** lo **scambio** di **ARGs** e **inquinanti tra** le **diverse** matrici **ambientali** anche a **lunghe distanze**.

Arias-Andres 2019, ha dimostrato che nella **plastisfera** la **frequenza** di **trasferimento genico orizzontale** degli **ARGs** tramite **coniugazione** è di **tre ordini** di **grandezza superiore** rispetto a quella rilevata nelle **comunità planctoniche**.

In **una** delle **plastisfere più grandi** del globo, quella generata dal **vortice subtropicale** del **Nord Pacifico**, Yang *et al.* 2019, attraverso **analisi metagenomiche** del **microbioma**, hanno rilevato una **maggiore abbondanza** e **diversità** di **ARGs** nell'**estratto derivante** da questa **matrice** piuttosto che in quello ottenuto dall'**acqua circostante**.

In conclusione, questo rappresenta un **grave** rischio **espositivo**, poiché le **microplastiche**, oltre ad essere di per sé **tossiche** per gli **esseri viventi**, sono **veicolo** di altri **inquinanti chimici** e **soprattutto biologici**.



Immagini a), b), c), d), e), f):  
Banca dati immagini Inail

## Bibliografia

- Allen S, Allen D, Phoenix VR, Le Roux G, Durántez Jiménez P, Simonneau A, Binet S, Galop D. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat Geosci* 2019; 12, 339-344. doi: [10.1038/s41561-019-0335-5](https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5)
- Amaral-Zettler LA, Ballerini T, Zettler ER, Abdala Asbun A, Adame A, Casotti R, Dumontet B, Donnarumma V, Engelmann JC, Frère L, Mansui J, Philippon M, Pietrelli L, Sighicelli M. Diversity and predicted inter- and intra-domain interactions in the Mediterranean Plastisphere. *Environ Pollut* 2021; 286:117439. doi: [10.1016/j.envpol.2021.117439](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117439)
- Arias-Andres M. Who is where in the Plastisphere, and why does it matter? *Mol Ecol Resour* 2020; 20: 617–619. doi: [10.1111/1755-0998.13161](https://doi.org/10.1111/1755-0998.13161)
- Flach CF, Pal C, Svensson CJ, Kristiansson E, Ostman M, Bengtsson-Palme J, Tysklind M, Larsson DGJ. Does antifouling paint select for antibiotic resistance? *Sci Total Environ* 2017; 590:461-468. doi: [10.1016/j.scitotenv.2017.01.213](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.213)
- Lappan R, Thakar J, Molares Moncayo L, Besser A, Bradley JA, Goordial J, Trembath-Reichert E, Greening C. The atmosphere: a transport medium or an active microbial ecosystem? *ISME J* 2024;18:wrae092. doi: [10.1093/ismejo/wrae092](https://doi.org/10.1093/ismejo/wrae092)
- Li A, Qiu X, Jiang X, Shi X, Liu J, Cheng Z, Chai Q, Zhu T. Alteration of the health effects of bioaerosols by chemical modification in the atmosphere: a review. *Fundam Res* 2023;4:463-470. doi: [10.1016/j.fmre.2023.10.017](https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.10.017)
- Li T, Liu R, Wang Q, Rao J, Liu Y, Dai Z, Gooneratne R, Wang J, Xie Q, Zhang X. A review of the influence of environmental pollutants (microplastics, pesticides, antibiotics, air pollutants, viruses, bacteria) on animal viruses. *J Hazard Mater* 2024;468:133831. doi: [10.1016/j.jhazmat.2024.133831](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133831)
- Liu J, Zheng L. Microplastic migration and transformation pathways and exposure health risks. *Environ Pollut* 2025;368:125700. doi: [10.1016/j.envpol.2025.125700](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125700)
- Mammo FK, Amoah ID, Gani KM, Pillay L, Ratha SK, Bux F, Kumari S. Microplastics in the environment: interactions with microbes and chemical contaminants. *Sci Total Environ* 2020;743:140518. doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.140518](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140518)
- Tastassa AC, Sharaby Y, Lang-Yona N. Aeromicrobiology: a global review of the cycling and relationships of bioaerosols with the atmosphere. *Sci Total Environ* 2024;912:168478. doi: [10.1016/j.scitotenv.2023.168478](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168478)
- Siller P, Skopeck B, Rosen K, Bartel A, Friese A, Rösler U. Impact of air humidity on the tenacity of different agents in bioaerosols. *PLoS One* 2024;19:e0297193. doi: [10.1371/journal.pone.0297193](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297193)
- Yang Y, Liu G, Song W, Ye C, Lin H, Li Z, Liu W. Plastics in the marine environment are reservoirs for antibiotic and metal resistance genes. *Environ Int* 2019; 123:79-86. doi: [10.1016/j.envint.2018.11.061](https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.061)

**Autori:**

**Angela Giofrè<sup>1</sup>, Ida Elena Rosamaria Montesanti<sup>1</sup>, Pasquale Samele<sup>1</sup>, Pasquale Capone<sup>2</sup>, Renato Ariano<sup>3</sup>, Daniela Pigini<sup>2</sup>, Raffaella Casotti<sup>4</sup>, Vincenzo Saggiomo<sup>5</sup>, Maria Concetta D'Ovidio<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Lamezia Terme (Catanzaro)*

*<sup>2</sup>Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale (DiMEILA), Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL), Monte Porzio Catone (Roma)*

*<sup>3</sup>Associazione Allergologi Immunologi Italiani Territoriali e Ospedalieri (AAIITO)*

*<sup>4</sup>Microbiologa marina, Stazione zoologica A. Dohrn, Napoli, Dipartimento di Ecologia Marina Integrata*

*<sup>5</sup>Ecologo marino, Chair e Ricercatore Associato presso Stazione Zoologica A. Dohrn di Napoli, Vice Presidente Fondazione Dohrn*

**Ideazione ChemiAeroSheets:**

**Maria Concetta D'Ovidio<sup>1</sup>, Daniela Pigini<sup>1</sup>, Paola Castellano<sup>1</sup>**

**Curatori ChemiAeroSheet:**

**Maria Concetta D'Ovidio<sup>1</sup>, Daniela Pigini<sup>1</sup>**

**Contatti ChemiAeroSheet:**

**[m.dovidio@inail.it](mailto:m.dovidio@inail.it), [d.pigini@inail.it](mailto:d.pigini@inail.it)**