

QUANTE SONO LE MICROPLASTICHE NEL PO?

IL PROGETTO MANTA RIVER PROJECT 2, COORDINATO DALL'AUTORITÀ DI BACINO DEL PO, HA PERMESSO DI APPROFONDIRE LA CONOSCENZA SULLA PRESENZA DI MICROPLASTICHE IN AMBITO FLUVIALE, CHE È ANCORA POCO ESPLORATA. LE METODOLOGIE APPLICATE CONTRIBUIRANNO AD AVERE RISULTATI PIÙ AFFIDABILI E COMPARABILI CON ALTRI CONTESTI.

Il Po, il più grande fiume italiano, una delle arterie principali del nostro Paese, è diventato il protagonista di un'indagine scientifica volta a quantificare e caratterizzare la presenza di microplastiche nelle sue acque attraverso il progetto denominato Manta river project 2, finanziato e coordinato dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po (Adbpo).

Il Manta river project 2 ha permesso di compiere un importante passo avanti nella ricostruzione di un primo quadro conoscitivo sui potenziali contributi di microplastiche che il fiume Po veicola verso il mare Adriatico. Il Po, strettamente connesso al mare Adriatico, rappresenta infatti un laboratorio naturale per studiare il



FOTO: AIPO

1



FIG. 1 MANTA RIVER PROJECT 2
Le stazioni di campionamento del progetto.

destino delle microplastiche. Studiare il Po significa comprendere meglio i meccanismi di trasporto e accumulo delle microplastiche, che contribuiscono all'inquinamento dei mari. Dopo i promettenti risultati del Manta river project 1, iniziato nel 2020 come prima sperimentazione, la ricerca ha proseguito con il Manta river project 2, che si è rivelato fondamentale per comprendere la complessità e la presenza dell'inquinamento da microplastiche nel fiume Po.

Attraverso Manta river project 2, avviato nel 2022, si sono intensificati gli sforzi di campionamento e di analisi. È stato previsto un ampliamento sia temporale, con un monitoraggio mensile per un intero anno, sia spaziale, estendendo le analisi lungo tutto il fiume Po, dal tratto piemontese al delta.

Infatti, al fine di ottenere un quadro conoscitivo più robusto e rappresentativo della situazione lungo tutto il corso del Po, sono state incluse due nuove stazioni, Chivasso (TO) e Isola Sant'Antonio (AL), e sono state confermate quelle già monitorate nel 2020, Isola Serafini (PC), Boretto (RE), Pontelagoscuro (FE) e Po di Goro (FE) (figura 1).

Per affrontare questa complessa sfida dell'inquinamento da microplastiche, l'Adbpo ha coinvolto e coordinato un team di ricercatori e tecnici esperti di diverse discipline, consolidando la partnership con Arpa Emilia-Romagna - Struttura oceanografica Daphne (Arpa-Sod), il Dipartimento di Ingegneria chimica materiali ambiente (Dicma) della Sapienza Università di Roma e l'Agenzia interregionale per il fiume Po (Aipo). A rafforzare il gruppo di lavoro per Manta river project 2 si è unito l'Ente di gestione delle aree protette Po piemontese, con il supporto dell'associazione Amici del Po di Casale Monferrato e di Chivasso.

Lo studio delle microplastiche nell'ambiente fluviale

Il Manta river project 2 ha dunque rivolto l'attenzione ai corsi d'acqua, ambiti non ancora ben conosciuti e monitorati per le microplastiche, nonostante il ruolo cruciale che i fiumi rivestono come via di collegamento tra l'entroterra e l'ambiente

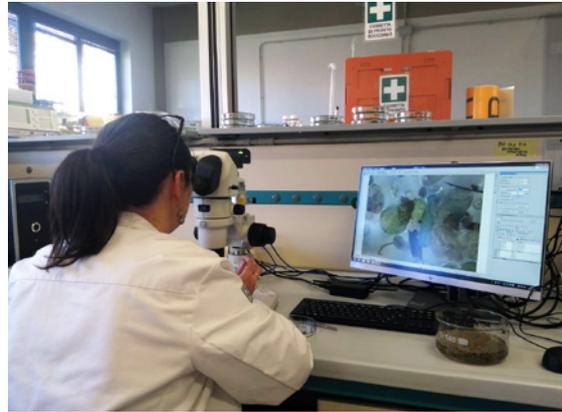
marino. La direttiva quadro sulla Strategia per l'ambiente marino (Dms, direttiva 2008/56/CE) ha indubbiamente stimolato la ricerca sulle microplastiche nei mari, definendo protocolli standardizzati per il monitoraggio, e allo stesso tempo ha rappresentato una svolta per la tutela degli ecosistemi marini, sensibilizzando l'opinione pubblica sull'impatto devastante dell'inquinamento da plastica. Infatti, mentre i mari godono di un'attenzione sempre maggiore per questa tipologia di inquinamento, i nostri fiumi restano in gran parte un territorio inesplorato. Manca ancora un quadro legislativo europeo o nazionale che obblighi un monitoraggio sistematico delle microplastiche nelle acque dolci. Questa lacuna normativa rallenta significativamente la ricerca in questo settore, costringendo il mondo della ricerca scientifica a operare in un contesto frammentato e a dover affrontare ancora numerose sfide metodologiche. La mancanza di un protocollo standardizzato per il campionamento, la quantificazione e la classificazione delle microplastiche rende difficile confrontare i dati ottenuti da studi diversi e tracciare l'evoluzione di questo tipo di inquinamento nel tempo. In altre parole, non abbiamo una mappa chiara dell'inquinamento da microplastiche nei fiumi e di quali siano le sue conseguenze sull'ambiente e sulla salute.

Questa situazione di incertezza rende complicato valutare l'efficacia delle misure adottate per ridurre la dispersione della plastica nell'ambiente e sottolinea l'urgente necessità di sviluppare strumenti e metodi di analisi più affidabili e comparabili.

In questo contesto, l'Adbpo ha deciso di scendere in campo per affrontare questa importante sfida ambientale. L'indagine, condotta con l'ausilio di strumenti e tecniche all'avanguardia, mira a rispondere a una serie di quesiti fondamentali: quali sono le concentrazioni di microplastiche nel fiume Po? Che tipologie di microplastiche possiamo riscontrare? Quali sono i polimeri che compongono le microplastiche campionate? Da dove provengono queste microplastiche? Per rispondere alla prima domanda, le microplastiche, con range dimensionale compreso tra 330 µm e 5 mm, sono state campionate utilizzando la metodica sviluppata nell'ambito dei monitoraggi per la Strategia marina dal Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente. Il coinvolgimento di Arpa-Sod ha permesso di operare in modo efficace e strategico usufruendo della sua lunga



2



3

TAB. 1
CATEGORIA
MICROPLASTICHE

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 e 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



4

esperienza maturata nel monitoraggio delle microplastiche in ambito marino e marino costiero per rispondere alla Dms. Infatti, è stato possibile 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. Lo strumento utilizzato è la manta, una speciale rete costruita appositamente per operare nello strato superficiale della

- 1 Campionamento eseguito a bordo dell'imbarcazione di Aipo presso la stazione di Boretto in data 21 giugno 2022 utilizzando lo strumento denominato "manta".
- 2 Campioni del mese di luglio 2022 nelle sei stazioni (Chivasso, Isola Sant'Antonio, Boretto, Isola Serafini, Pontelagoscuro, Po di Goro)
- 3 Analisi allo stereomicroscopio presso i laboratori di Arpa-Sod di Cesenatico.
- 4 Campioni reali di microplastiche suddivisi in base alle sei categorie.

colonna d'acqua, costituita da una bocca rettangolare metallica da cui si diparte il cono di rete con un bicchiere raccoglitore finale. Questo strumento, da cui il nome del progetto, ha permesso di campionare grandi volumi d'acqua, trattenendo il materiale d'interesse (foto 1).

Il materiale campionato è stato poi successivamente trasferito in barattoli e sottoposto alle successive fasi di analisi di laboratorio (foto 2).

Presso i laboratori di Arpae-Sod di Cesenatico (FC) le microplastiche sono state state conteggiate e analizzate utilizzando uno stereomicroscopio, che fornisce un'immagine ingrandita e tridimensionale dell'oggetto osservato (foto 3). Questo strumento ha permesso di esaminare nel dettaglio le caratteristiche morfologiche di ogni singola particella campionata, come la forma, la dimensione e il colore. Grazie a questa analisi è stato possibile classificare le microplastiche in sei diverse categorie: frammento, foglio, filamento, foam, granulo e pellet (tabella 1).

I risultati delle analisi

L'analisi condotta da Arpae-Sod ha permesso di determinare se le microplastiche campionate fossero il risultato della frammentazione di oggetti di plastica più grandi, come bottiglie o sacchetti, che si sono degradati a causa dell'azione degli agenti atmosferici, come il sole e il vento.

È come cercare di capire da quale oggetto più grande provengono i pezzetti più piccoli. Infatti, la degradazione di manufatti in plastica possono rilasciare nell'ambiente frammenti, fogli, foam e granuli (con diametro di circa 1 mm), che in letteratura scientifica vengono definite microplastiche secondarie.

A queste si contrappongono le microplastiche primarie, che vengono prodotte appositamente di quelle dimensioni e che trovano impiego come additivi in alcuni materiali industriali, in prodotti farmaceutici e per la cura personale.

Tra le sei categorie in cui sono state classificate le microplastiche, i pellet sono microplastiche primarie, intermedi industriali destinati a essere estrusi per la produzione di manufatti in plastica.

Sapere se una microplastica è primaria o secondaria ci aiuta a capire da dove proviene e quali sono i processi che hanno portato alla sua formazione. Si tratta certamente di un lavoro attento, scrupolo e di fondamentale importanza,

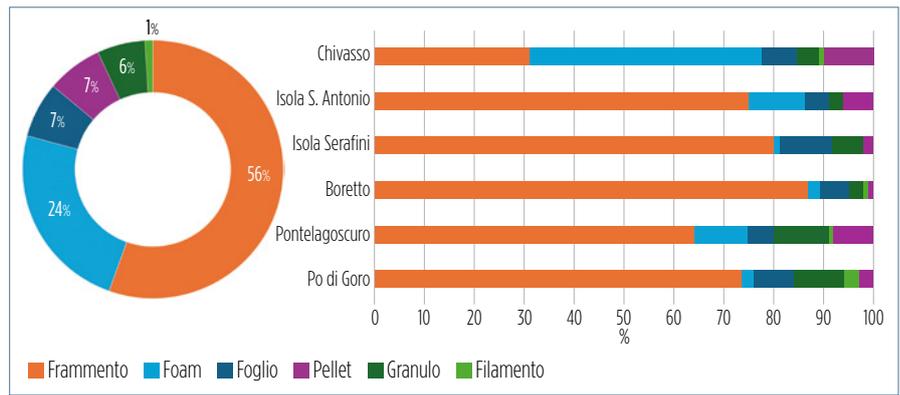


FIG. 2 CATEGORIE DI MICROPLASTICHE
Distribuzione percentuale delle categorie di microplastiche nel fiume Po e nelle stazioni indagate.

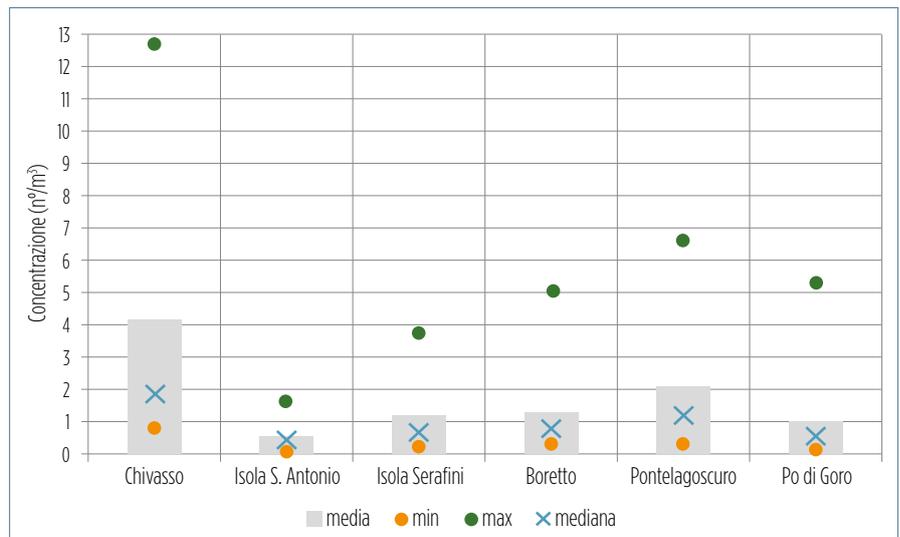


FIG. 3 CONCENTRAZIONE DI MICROPLASTICHE
Concentrazione (media, minima, massima, mediana) delle microplastiche espressa in n°/m³ nelle sei stazioni nei 12 mesi di campionamento.

in quanto permette di ricavare informazioni essenziali per individuare le fonti di inquinamento e mettere in atto misure di prevenzione efficaci per ridurre la loro diffusione nell'ambiente.

La foto 4 mostra una parte delle microplastiche campionate suddivise per categoria.

L'analisi morfologica delle microplastiche ha evidenziato che nel fiume Po i frammenti sono la categoria più frequentemente ritrovata (56%) tra le microplastiche campionate (figura 2). A seguire con percentuali minori sono stati riscontrati foam (24%), pellet e fogli (stessa percentuale, 7%), granuli (6%) e filamenti (1%).

Il grafico a barre di figura 2 presenta la distribuzione percentuale delle sei categorie di microplastiche rinvenute nelle sei stazioni di campionamento dopo un anno di monitoraggio. Ogni barra rappresenta una stazione e la lunghezza di ciascun segmento colorato indica la percentuale di quella particolare categoria rispetto al totale.

I frammenti si confermano la categoria di microplastica più abbondante nelle stazioni di Isola Sant'Antonio, Isola Serafini, Boretto, Pontelagoscuro e Po di Goro, con percentuali comprese tra il 65% e l'87%, a eccezione della stazione 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, mentre nelle restanti stazioni è stata la categoria meno rappresentata, con percentuali inferiori al 3%. 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 raccolta¹. La categoria pellet è stata riscontrata in tutte le stazioni. La percentuale maggiore è stata registrata a Chivasso (11%). La

ridotta presenza di questa categoria di microplastica di origine primaria 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 studi². Nel complesso, nelle sei stazioni, si osserva una predominanza di microplastiche di origine secondaria (frammenti, foam, fogli e 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.

Parallelamente all'analisi morfologica è stata valutata la concentrazione delle microplastiche campionate nelle sei stazioni, espressa come numero di particelle per m³ di acqua campionata (n°/m³) (figura 3). Il valore medio più alto è stato registrato nella stazione più a monte, Chivasso (4,2 n°/m³), segue poi Pontelagoscuro (2,1 n°/m³), Boretto (1,3 n°/m³), Isola Serafini (1,2 n°/m³), Po di Goro (1,0 n°/m³) e Isola Sant'Antonio (0,5 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 ottenuti evidenziano una variabilità delle concentrazioni di microplastiche tra le diverse stazioni, che potrebbe essere influenzata da fattori locali, come la presenza di scarichi industriali e urbani, l'idrodinamica e velocità di sedimentazione, sottolineando la complessità del problema. L'analisi bibliografica indica che i grandi fiumi europei, come il Reno, il Danubio e l'Elba, presentano generalmente concentrazioni più elevate rispetto a quelle riscontrate nel fiume Po³, ma la variabilità dei metodi di campionamento e di analisi, come menzionato in precedenza, limita la comparabilità dei risultati. Per superare queste limitazioni, è cruciale armonizzare i protocolli, promuovendo così una migliore comprensione della distribuzione delle microplastiche negli ambienti acquatici.

L'analisi cromatica (figura 4) ha mostrato una distribuzione eterogenea dei colori delle microplastiche nelle sei stazioni, con una predominanza di microplastiche bianche, con percentuali comprese tra il 33% e il 70%. Il nero, il verde, il blu e il

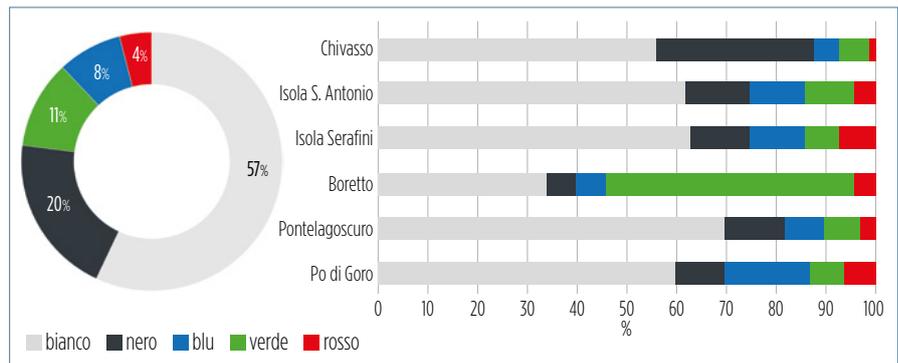


FIG. 4 COLORE DELLE MICROPLASTICHE
Distribuzione percentuale del colore delle microplastiche nel fiume Po e nelle stazioni indagate.

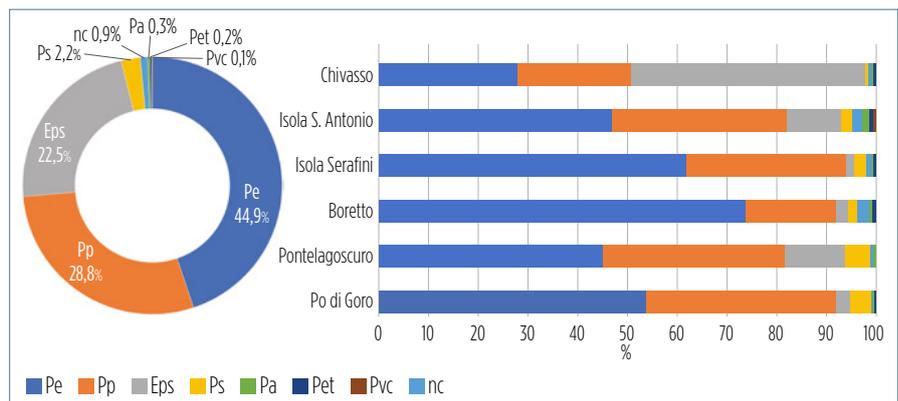


FIG. 5 TIPOLOGIA DI MICROPLASTICHE
Distribuzione percentuale delle tipologie di polimero rilevate mediante analisi Hsi nel fiume Po e nelle stazioni indagate.

rosso sono risultati meno rappresentati, sebbene la stazione di Boretto presenti un'eccezione con un'abbondanza di microplastiche verdi. La diversa colorazione potrebbe influenzare selettivamente l'ingestione da parte degli organismi acquatici, con possibili conseguenze sulla loro salute.

Per concludere l'identikit delle microplastiche campionate, è stata infine condotta l'analisi polimerica dei campioni. Si è scelto di focalizzare l'attenzione sui polimeri più comuni e caratterizzati da una densità inferiore a quella dell'acqua, quali polietilene (Pe), polipropilene (Pp), polistirene (Ps), polistirene espanso (Eps), poliammide (Pa), polietilentereftalato (Pet) e polivinilcloruro (Pvc).

Le analisi sono state effettuate presso il laboratorio RawMaLab del Dicma Sapienza Università di Roma attraverso l'applicazione della spettroscopia iperspettrale (Hsi), che permette il riconoscimento automatizzato dei polimeri. Questa tecnologia consente di raccogliere le informazioni spettrali di un materiale, per ciascun pixel dell'immagine acquisita, in maniera non distruttiva tramite l'interazione tra la luce e la materia. Il suo funzionamento è paragonabile a uno scanner che, puntato

sulle microplastiche poste su un nastro trasportatore, riesce a identificarle in base alla firma spettrale del materiale. Questa tecnica è particolarmente efficace perché ogni polimero è caratterizzato da una firma unica, un po' come un'impronta digitale, che lo distingue dagli altri.

L'analisi condotta (figura 5) ha confermato la predominanza nel fiume Po di polietilene (Pe, 44,9%), polipropilene (Pp, 28,8%) e polistirene espanso (Eps, 22,5%). Il restante 3% è composto da polistirene (Ps), poliammide (Pa), polietilentereftalato (Pet), polivinilcloruro (Pvc) e solo lo 0,9% del totale delle microplastiche non è stato classificato. Pur essendo Pe, Pp ed Eps i polimeri dominanti in tutte le stazioni, si osservano differenze significative nella distribuzione tra le varie località. Questo suggerisce che la composizione dei rifiuti plastici può variare considerevolmente anche su scala locale, probabilmente a causa di fattori quali le abitudini di consumo della popolazione, le modalità di gestione dei rifiuti e le attività industriali presenti nella zona.

Le tipologie di polimeri rinvenute nel fiume Po ricoprono praticamente ogni impiego. Pe, Pp ed Eps sono principalmente utilizzati per la produzione di imballaggi per alimenti e bevande (sacchetti di plastica, pellicole,



5

contenitori, bottiglie, tappi di bottiglie ecc.) e sono quelli caratterizzati da densità inferiori a quella dell'acqua, quindi più facilmente catturabili dalla manta, che opera in superficie e non negli strati più profondi della colonna d'acqua. Inoltre, secondo il rapporto *Plastics - the Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data* di PlasticsEurope, del 2019 questi tre polimeri rappresentano più della metà della domanda europea di plastica. I risultati conseguiti con l'Hsi per la classificazione polimerica sono stati comparati e convalidati con quelli delle tecniche più tradizionali e più comunemente utilizzate, quali Ft-Ir e micro-Ft-Ir, evidenziando una correlazione estremamente elevata, con una discrepanza tra i risultati delle tre tecniche è inferiore all'1%, ma con un notevole vantaggio in termini di tempo. Infatti, l'analisi di 100 particelle di microplastica con l'Hsi richiede circa 8 minuti, con un risparmio di tempo superiore al 97% rispetto all'Ft-Ir e al micro-Ft-Ir. Questa tecnica dell'elevata affidabilità e accuratezza si è dimostrata quindi un'alternativa efficiente rispetto ai metodi tradizionali e più utilizzati per l'identificazione polimerica delle microplastiche

5-6 Strumento utilizzato per il campionamento denominato "manta".

In conclusione, Manta river project 2 ha permesso di fare luce sull'inquinamento da microplastiche nel fiume Po, fornendo dati puntuali sulla loro quantità, distribuzione e tipologia. Questi risultati sono fondamentali per comprendere meglio l'impatto di questo problema ambientale e per adottare misure mirate per contrastarlo. Grazie a questa ricerca, l'Adbpo ha ottenuto dati e informazioni importanti per la qualità delle acque del fiume Po che saranno per la prima volta inseriti nel quadro conoscitivo che supporterà il riesame del Piano di gestione del distretto idrografico del fiume Po (che si concluderà a dicembre 2027) e che guideranno anche la definizione di misure che possano e per contribuire quindi alla sfida della riduzione delle microplastiche nei fiumi e nel mare Adriatico. Nel contempo, d'accordo con tutti i partner, si ritiene che il protocollo di monitoraggio e di analisi delle microplastiche utilizzato e testato in Manta river project possa qualificarsi come un fondamentale contributo verso lo sviluppo e la condivisione di metodologie armonizzate per la progettazione e attuazione di programmi di monitoraggio delle microplastiche nei corsi d'acqua, funzionale e di interesse per le agenzie ambientali e gli enti responsabili della qualità delle acque superficiali, qualora le microplastiche diventino un elemento da monitorare nelle acque dolci e non solo nelle acque marine.



6

Non dobbiamo assolutamente dimenticare che i fiumi sono le arterie del nostro pianeta e, oltre a svolgere importanti servizi ecosistemici sono fondamentali per la biodiversità, per l'approvvigionamento idrico e per le nostre economie. Capire e conoscere l'entità dell'inquinamento da plastica nei fiumi è essenziale per proteggere queste risorse vitali e per mitigare gli effetti a lungo termine sulla salute umana e sull'ambiente.

Irene Ingrando¹, Cristina Mazziotti², Silvia Serranti³

1. Funzionaria tecnica, Autorità di bacino distrettuale del fiume Po
2. Responsabile Struttura oceanografica Daphne, Arpa Emilia-Romagna
3. Dipartimento Ingegneria chimica materiali ambiente, Università La Sapienza, Roma

NOTE

- ¹ Ryan P.G. et al., 2020, "Sampling microfibres at the sea surface: the effects of mesh size, sample volume and water depth", *Environmental Pollution*, 258 (2020): 113413.
- ² Kiruthika K.M., Vignesh Rajkumar L., 2023, "A critical review of the recent trends in source tracing of microplastics in the environment", *Environmental Research* (2023): 117394.
- ³ Gao S. et al., 2024, "A review on microplastics in major European rivers", *WIREs Water*, 11(3), e1713, <https://doi.org/10.1002/wat2.1713>.

LE MICROPLASTICHE NELL'INVASO DI RIDRACOLI

LA DIFFUSIONE DELLA PLASTICA INIZIATA NEGLI ANNI '60 HA PORTATO A UN AUMENTO DELLA PRODUZIONE E ALLA CONSEGUENTE CONTAMINAZIONE AMBIENTALE DA MICRO E NANO PLASTICHE. STUDI COME IL PROGETTO LIFE BLUE LAKES SONO FONDAMENTALI PER IL MONITORAGGIO E LA COMPrensIONE DI QUESTO INQUINANTE.

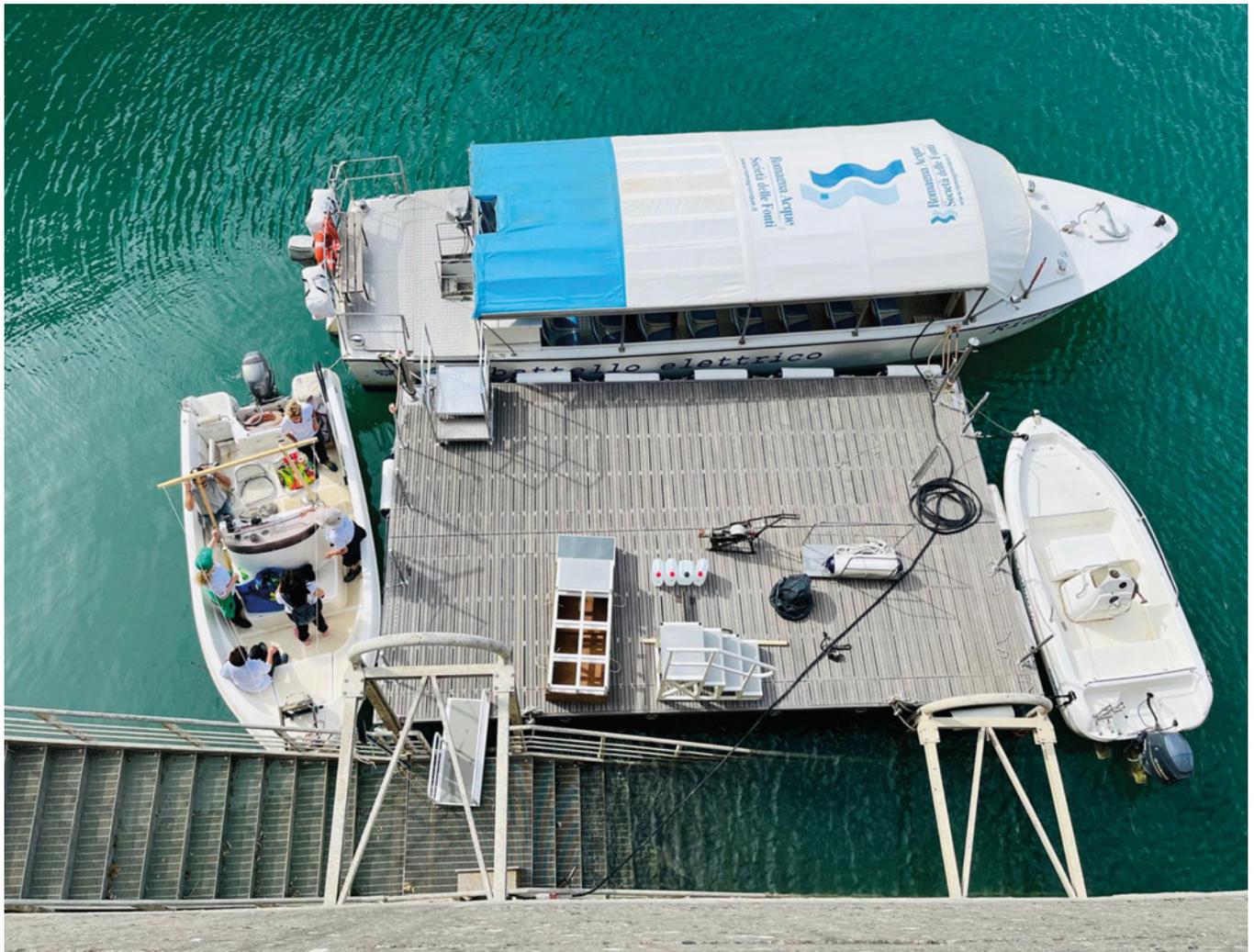
I sistemi naturali sono il nostro laboratorio quotidiano: specie, habitat, ecosistemi, relazioni più o meno evidenti che li tengono insieme in un'armonia e un equilibrio guadagnati faticosamente in migliaia di anni di evoluzione che ha premiato soprattutto l'adattabilità di ciascuna entità. L'organizzazione del vivente e la sua capacità di rispondere agli stimoli e agli stress sono estremamente affascinanti. Occuparsene lascia spesso sorpresi, senza fiato. In altre parole, si prende coscienza di quanto ancora ne comprendiamo poco

e di come, probabilmente, non riusciremo mai a cogliere completamente ciò che governa la sua complessità.

La frustrazione della consapevolezza di capire solo in parte i meccanismi è un motore quotidiano di ogni scienziato, ma pervade anche ampi settori della società, basti pensare agli interrogativi che nascono in relazione ai fenomeni emergenti di inquinamento dei quali è difficile definire nel dettaglio l'entità, la dinamica e soprattutto la pericolosità. Fra questi vi è la diffusione delle plastiche, una storia recente, pandemica,

della quale però possiamo definire con esattezza la data di inizio.

Anche se qualche polimero sintetico già si comincia a vedere alla fine dell'800, possiamo dire che l'industria della plastica, per come la conosciamo ora, nasce nei primi anni '60 a seguito della scoperta dei catalizzatori stereospecifici brevettati dai premi Nobel Ziegler e Natta. Da allora la plastica, o meglio ancora i materiali polimerici, hanno avuto e continuano ad avere una larga diffusione grazie alle specifiche



caratteristiche di leggerezza, resistenza e bassi costi di produzione. Malgrado le ultime contingenze economiche mondiali, che hanno visto anche a seguito della pandemia Covid situazioni di crisi non ancora del tutto superate, la produzione della plastica non accenna a diminuire. Secondo PlasticEurope (2024), la produzione globale è aumentata del 3,4% arrivando a 413,8 Mt/anno (figura 1). A livello globale, a seguito del suo ubiquitario utilizzo e talvolta dell'irresponsabile comportamento da parte dei cittadini e di situazioni di smaltimento non ottimali, una parte molto consistente della plastica prodotta finisce nell'ambiente. A causa dei raggi ultravioletti, dell'ossigeno e delle sollecitazioni meccaniche, gli oggetti

di plastica abbandonati nell'ambiente si degradano e frammentano fino a diventare microplastiche (Mp) e nano-plastiche (Np), quest'ultime peraltro molto pericolose poiché in grado di attraversare le pareti cellulari, trasportando al loro interno, oltre ai polimeri, gli additivi che solitamente li accompagnano e un set di altre sostanze e batteri incontrati nel peregrinare in ambienti diversi e adsorbiti sulla loro superficie a causa dei deboli legami formati grazie ai diversi gruppi funzionali derivanti dalla degradazione dei materiali polimerici. La frammentazione inoltre aumenta la diffusione della plastica e oggi non c'è un luogo sul pianeta esente da questo problema (Geyer et al., 2017) pertanto l'elevata persistenza nell'ambiente

di microplastiche e di nanoplastiche rappresenta ormai un tema su scala mondiale. Molti studi hanno verificato i molteplici e dannosi effetti delle microplastiche nell'ambiente, inclusi: l'adsorbimento di contaminanti organici e inorganici tossici (Endo et al., 2005; Rochman et al., 2013), l'ingestione da parte di animali con implicazioni anche per il consumo umano (Rochman et al., 2015); le alterazioni nel trasferimento di calore e nel movimento dell'acqua dei sedimenti (Carson et al. 2011). Le ingenti quantità di plastiche ormai diffuse nell'ambiente, oltre a contribuire alla perdita di qualità paesaggistica (Battisti et al., 2009) entrano in contatto con una moltitudine di specie vegetali e animali. Le Mp sono considerate un "inquinante emergente", pertanto solo di recente sono stati avviati percorsi per mettere a punto protocolli di campionamento, manipolazione delle matrici ambientali e di caratterizzazione delle Mp.

Il progetto Blue Lakes e le plastiche in acque dolci

Con il progetto europeo Life Blue Lakes (<https://lifebluelakes.eu/>) ci siamo concentrati su attività dedicate allo sviluppo di un protocollo di campionamento e caratterizzazione delle Mp presenti in acque dolci. In particolare, ci siamo occupati della presenza di microplastiche nei laghi, habitat fortemente collegati alla vita dell'uomo, su cui insistono molteplici attività e le cui acque hanno diversi usi (potabile, ricreativo, pesca, prelievo a fini irrigui, produzione di energia ecc.). Parallelamente è stato allestito un laboratorio finalizzato allo studio delle microplastiche che attualmente dispone degli strumenti e delle conoscenze necessarie per l'isolamento e l'analisi delle microplastiche con l'obiettivo di valutare e quantificare la loro presenza in vari comparti ambientali. Con il progetto Life Blue Lakes abbiamo studiato molti laghi italiani, concentrando le nostre forze su due "laboratori" privilegiati: i laghi di Bracciano e Trasimeno. Li abbiamo monitorati consecutivamente per tre anni, abbiamo campionato in tutte le stagioni cercando di studiare le dinamiche nelle condizioni più diverse, la diffusione in superficie e in profondità, come nei sedimenti delle spiagge. Sono moltissime le microplastiche sotto forma di frammenti, filamenti,

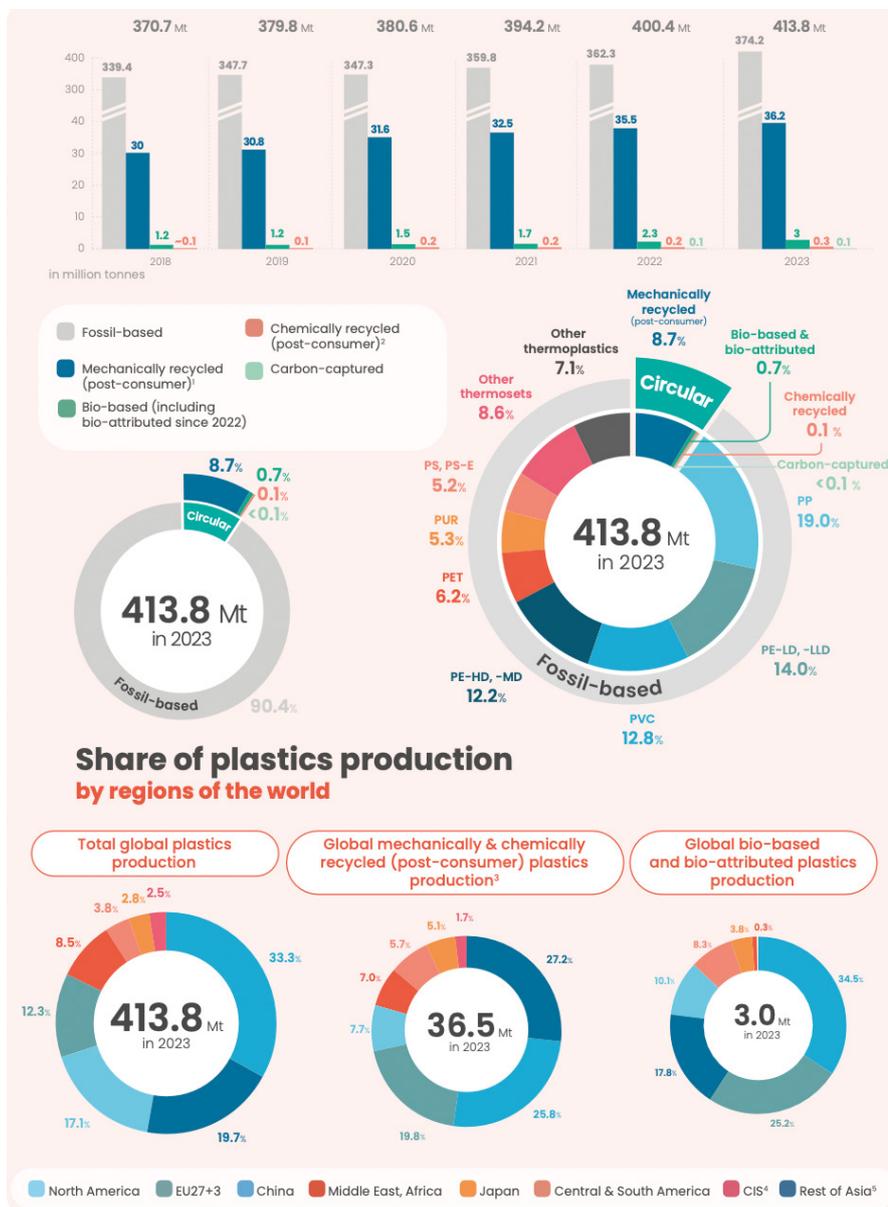


FIG. 1 PRODUZIONE DI PLASTICA
Tipologie di plastiche prodotte nel mondo nel 2023.
Fonte: PlasticEurope 2024

fibre o film campionati, molti i polimeri individuati, a dimostrazione della diversità dei materiali che li hanno generati e che accompagnano le nostre vite. I numeri sono elevati e soprattutto variabili perché le microplastiche si spostano, si diluiscono e si concentrano continuamente sulla superficie dell'acqua. Il protocollo per il monitoraggio delle microplastiche nei laghi è stato sviluppato da Enea e Legambiente, nell'ambito del progetto Life Blue Lakes, entro la fine di novembre 2021, successivamente testato con una seconda campagna di campionamento nel 2022 in entrambi i laghi delle due aree pilota. Il protocollo è stato poi condiviso con i tecnici Arpa/ Appa attraverso un corso di formazione di tre giorni e diffuso attraverso una serie di seminari regionali con le autorità competenti.

Il protocollo Blue Lakes mira a fornire un contributo fondamentale verso lo sviluppo e condivisione di metodologie armonizzate per la progettazione e attuazione di un programma di monitoraggio delle Mp funzionale soprattutto alla gestione della salvaguardia della qualità acque dolci.

L'invaso di Ridracoli come area di "bianco"

Durante lo sviluppo del progetto, sono state individuate anche alcune aree che per ragioni geografiche, ecologiche e di relazione con la comunità umana facevano ben sperare nella possibilità di individuare un "bianco", una matrice lacustre con scarsissima evidenza di microplastiche. Fra questi siti di studio vi è la diga di Ridracoli, ubicata nei comuni di Santa Sofia (FC) e Bagno di Romagna (FC) nell'Appennino romagnolo, all'interno del Parco nazionale delle Foreste casentinesi, monte Falterona e Campigna. L'invaso della diga è utilizzato per l'approvvigionamento idropotabile dell'acquedotto della Romagna e per la produzione di energia elettrica nella centrale Enel Green Power di Isola (comune di Santa Sofia). Si tratta di un lago artificiale formatosi a seguito della costruzione di una diga posizionata a 557 m s.l.m. che sbarrò il corso del fiume Bidente nei pressi dell'abitato di Ridracoli a Bagno di Romagna (FC). Senza ombra di dubbio l'invaso rappresenta la più importante risorsa idrica della Romagna e dagli anni Ottanta fornisce un insostituibile servizio a oltre un milione di persone tra le province di Forlì-Cesena, Rimini e Ravenna.

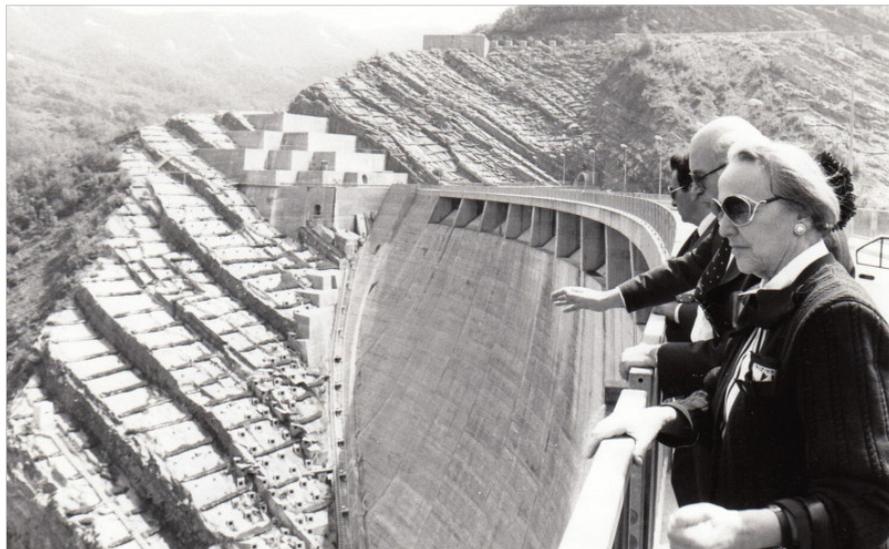


FOTO: FONDO FOTOGRAFICO MICHELE MINISCI

1



2



3

Realizzata negli anni '70/'80, la diga, alta 103,5 metri e con un'ampiezza dell'arco di 432 m, ha dato origine a un lago la cui superficie misura 1.035 km², la profondità delle acque può raggiungere 82 m e può contenere 33,06 milioni di metri cubi d'acqua.

La prima campagna di studio delle Mp nell'invaso di Ridracoli, nell'ambito delle campagne Blue Lakes, ha previsto due campionamenti realizzati da Enea e Arpa Emilia-Romagna con il supporto di tecnici e mezzi di Romagna Acque. I campionamenti sono stati realizzati nel 2023, rispettivamente il 15 marzo e il primo agosto.

Seguendo il protocollo elaborato nel progetto, sono stati utilizzati due retini (rete a strascico bongo, dimensioni maglia 100 µm) dotati di flussimetro trascinati dalla barca a una velocità media di 3 nodi per 15 minuti, mantenuti lungo il lato

sopravvento della barca. In aggiunta è stata utilizzata una manta con una maglia ultrafine (330 µm) e un'apertura 40x20 cm dotata di flussimetro. In totale sono stati realizzati 5 transetti ogni volta prelevando 12 e 10 campioni rispettivamente il 15 marzo e il primo agosto (figura 2).

La preparazione del campione e il *sorting* delle Mp sono stati realizzati da Arpa secondo il protocollo Enea per lo studio delle Mp in acque dolci lacustri definito nell'ambito del progetto Life Blue Lakes.

1 La Presidente della Camera dei Deputati Nilde Iotti visita la diga di Ridracoli accompagnata dal sindaco di Forlì Giorgio Zanniboni, 1988.

2-3 Alcune fasi del campionamento nell'invaso di Ridracoli nell'ambito del progetto Blue Lakes.

Per identificare la composizione chimica delle Mp è stata utilizzata, nei laboratori Enea, la spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (Ft-Ir).

Gli spettri Ft-Ir sono stati raccolti in modalità di riflettanza totale attenuata (Atr). La composizione chimica delle particelle polimeriche è stata identificata mediante confronto con gli spettri di riferimento nella libreria Atr dei polimeri sintetici con una soglia di similarità >85%.

Risultati

Nel complesso dei campioni di superficie e colonna rilevati nella primavera 2023 (tabella 1 e figura 3) sono stati raccolti

complessivamente 41 microplastiche ($0,04 \text{ Mp/m}^3$), in quella estiva 20 ($0,02 \text{ Mp/m}^3$).

Queste quantità non sono assolutamente paragonabili a quelle riscontrate, ad esempio, nei laghi prealpini o nei laghi di Bracciano e Trasimeno, dove le concentrazioni di Mp hanno superato anche valori medi di 13 Mp/m^3 (lago Bracciano primavera 2022).

Sono stati rinvenuti complessivamente 15 polimeri tra i quali: resina alchidica, derivati della cellulosa, polistirene espanso (Eps), nylon, poliammide (Pa), polibutilentereftalato (Pbt), polietilene (Pe), polietilentereftalato (Pet), polimetilmetacrilato (Pmma), poliammide (Pa), poliestere (Ps), poliuretano (Pu),

polipropilene (Pp), polivinilacetato (Pva) e polivinilcloruro (Pvc).

Tra questi i più frequenti sono: Pe, Pp, Pmma. In tutti i campioni la densità di Mp/m^3 è molto bassa, sia in superficie sia nella colonna d'acqua: il valore minimo è 0 (rinvenuto sia in superficie che in colonna con entrambi i retini), il massimo 2,08 (rinvenuto in superficie), la media si attesta sul valore di 0,56.

È stato particolarmente interessante verificare l'esistenza di Mp fortemente degradate che conferma una prolungata presenza nell'ambiente. Lo spettro Ir del frammento di Pe analizzato (figura 4) mostra infatti la presenza dei picchi riferibili a gruppi funzionali contenenti ossigeno quali: un picco in una regione di $3300\text{--}3400 \text{ cm}^{-1}$ (-OH, gruppi idrossilici) di $1650\text{--}1800 \text{ cm}^{-1}$ (C=O, gruppi carbonilici, visibili in chetoni, acidi carbossilici, esteri e centrati, per composti saturi, a 1.715 cm^{-1} di $1.600\text{--}1.680 \text{ cm}^{-1}$ e a 909 cm^{-1} (C=C, doppi legami di carbonio) e $1.000\text{--}1.250 \text{ cm}^{-1}$ (gruppi eteri C-O-C). La formazione di composti carbonilici è un chiaro segno di ossidazione delle poliolefine che aiuta a valutare il processo di degradazione. Pertanto, utilizzando lo spettro Ir, il Carbonyl index è stato calcolato utilizzando la banda di assorbimento a 1.720 cm^{-1} , vibrazione di stiramento del gruppo carbonilico (C=O), mentre l'assorbanza a 722 cm^{-1} è utilizzata come riferimento ($\text{CI} = 1.720 \text{ cm}^{-1} / 722 \text{ cm}^{-1}$) (Roy et al., 2007). Il valore ottenuto (C.I.=0,16) è dello stesso ordine di grandezza di quanto già osservato in casi analoghi (Pietrelli 2024, Pietrelli et al., 2025).

Considerazioni conclusive

La presenza dei polimeri più frequenti (Pe, Pp) nelle acque del lago di Ridracoli riflette la loro diffusione globale e la loro pervasività nell'ambiente naturale. Il polietilene (Pe) e il polipropilene (Pp) non solo sono i più venduti e quindi impiegati in un'ampia varietà di settori commerciali, ma sono diventati anche un simbolo tangibile dell'inquinamento da plastica che affligge gli ecosistemi acquatici di tutto il pianeta. Sebbene il lago di Ridracoli non si sottragga alla presenza di Mp, la densità è incommensurabilmente più limitata rispetto agli altri specchi lacustri studiati e quindi risultano valide le ipotesi iniziali secondo le quali questo invaso poteva rappresentare un bianco per lo studio di questo fenomeno negli specchi lacustri. Una considerazione specifica va invece

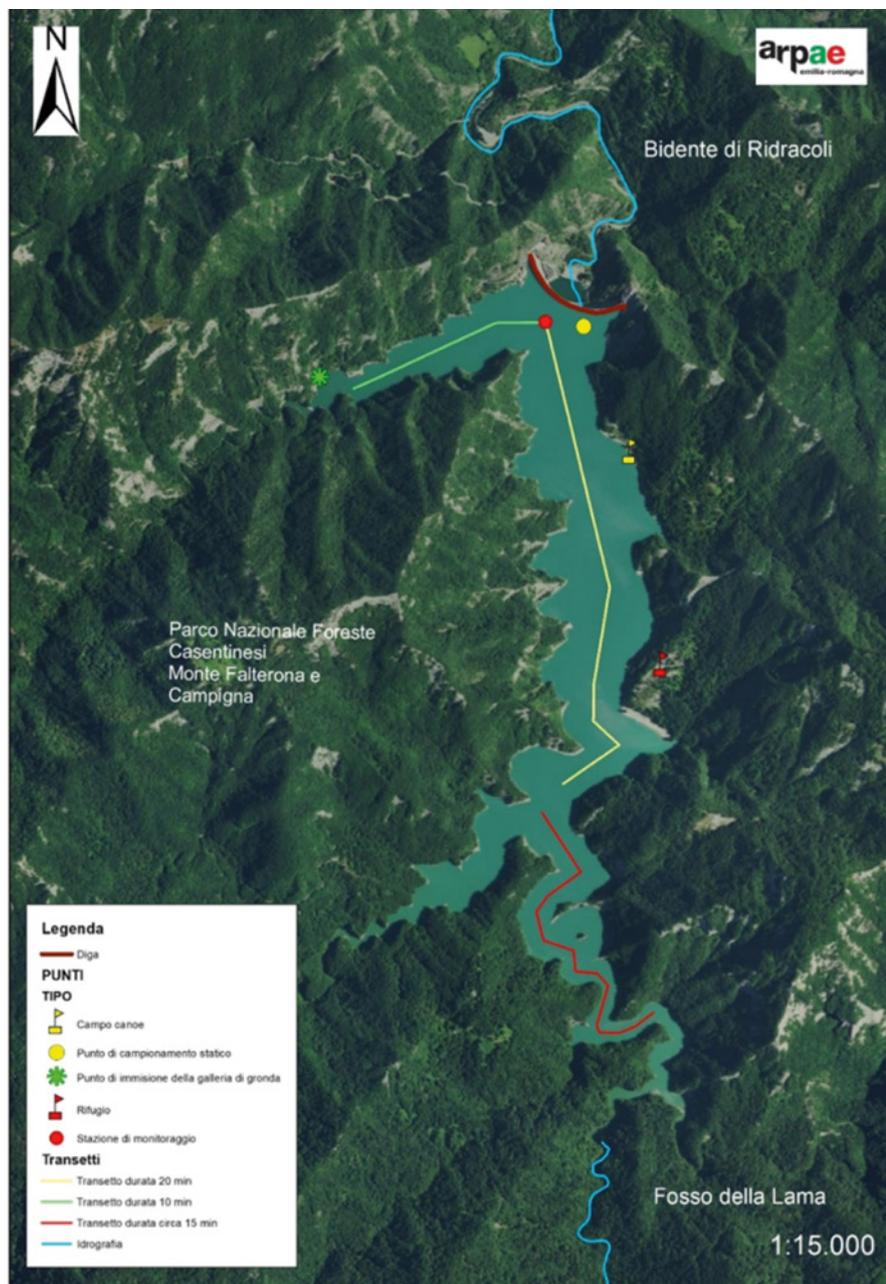


FIG. 2 MAPPA INVASO DI RIDRACOLI
Campagna di campionamento microplastiche.

posta nei riguardi della forma delle Mp (frammenti e film, probabilmente derivanti dalla degradazione dei polimeri) poiché, contrariamente agli altri laghi studiati, nella diga non sono stati mai osservati filamenti e fibre. L'ipotesi più plausibile, anche in considerazione dei risultati interessanti che stiamo rinvenendo in altri studi in Appennino, potrebbe essere attribuibile alla funzione filtro delle foreste nei riguardi di filamenti e fibre trasportate dall'aria. È ormai infatti appurato che le piante, con i loro apparati fogliari, catturano le Mp in forma di fibre che vengono poi, alla caduta delle foglie o in relazione all'azione di lavaggio delle piogge, bloccati nei suoli forestali, limitando il loro transito ad altre matrici. Tra le diverse matrici ambientali è dimostrato che l'acqua e l'aria svolgano un ruolo chiave nella dispersione delle microplastiche facilitandone il trasporto a grandi distanze. In particolare la dispersione atmosferica delle microfibre è stata osservata in aree urbane e remote, suggerendo un trasporto su lunga distanza oltre a una potenziale inalazione da parte di esseri umani e animali (Brahney et al., 2020). Nessun luogo della Terra può dunque essere al riparo da questo fenomeno, dalle aree urbane fino alle alte vette e luoghi remoti ritenuti erroneamente incontaminati. In questo contesto, le foreste giocano un ruolo cruciale nel contenimento delle microplastiche "atmosferiche". Le chiome degli alberi, infatti, possono intercettare e trattenere particolati sospesi, comprese le microfibre sintetiche, riducendone la diffusione negli ecosistemi più vulnerabili (Zhang et al., 2021). La capacità delle foreste di agire come filtri naturali per le microplastiche atmosferiche è un ambito di ricerca in crescita, con importanti implicazioni per la mitigazione dell'inquinamento ambientale e il miglioramento della qualità dell'aria. Recentemente è stata riportata una valutazione della capacità di trattenimento delle Mp da parte delle foglie in funzione della loro morfologia. In particolare, sulla superficie di alcune foglie sono state trovate fino a 0,9 Mp per cm² (Perera et al., 2024). In ambiente urbano, dove le foglie degli alberi possono rappresentare un efficace sistema di biomonitoraggio, sono stati trovati fino a 25 Mp per cm² di superficie fogliare (Leonard et al., 2023).

In sintesi, la diffusione delle microplastiche nell'ambiente rappresenta una sfida globale che richiede approcci multidisciplinari per comprendere pienamente le sue conseguenze

Campionamento del 15/03/2023				Campionamento del 01/08/2023			
Campione	V _{H₂O} (m ³)	n. Mp	n. Mp/m ³	Campione	V _{H₂O} (m ³)	n. Mp	n. Mp/m ³
ISM	110,1	6	0,06	ISM _R	140,4	0	0,00
ISM _R	140,2	2	0,01	2SM	111,9	0	0,00
2SMA	84,5	12	0,14	2SM _R	100,2	0	0,00
2SM _R A	76,4	12	0,16	3SM	173,1	4	0,02
2SMB	84,5	4	0,05	3SM _R	173,1	4	0,02
2SM _R B	76,4	3	0,04	1CBA prof 1/8	38,3	1	0,03
3SM	73,8	0	0,00	1CBA sup 1/8	5,9	1	0,17
3SM _R	73,9	1	0,01	2CBA SUP	20,9	3	0,14
3SM _R B	178,2	0	0,00	CBB SUP	20,9	0	0,00
2SB	49,3	0	0,00	3CBB SUP	19,2	4	0,21
3SB	114,1	1	0,01	3CBA SUP	19,2	3	0,16
1CBB	75,9	0	0,00				

TAB. 1 RISULTATI CAMPIONAMENTI
Microplastiche rinvenute nei campionamenti primaverili ed estivi 2023 nell'invaso di Ridracoli.

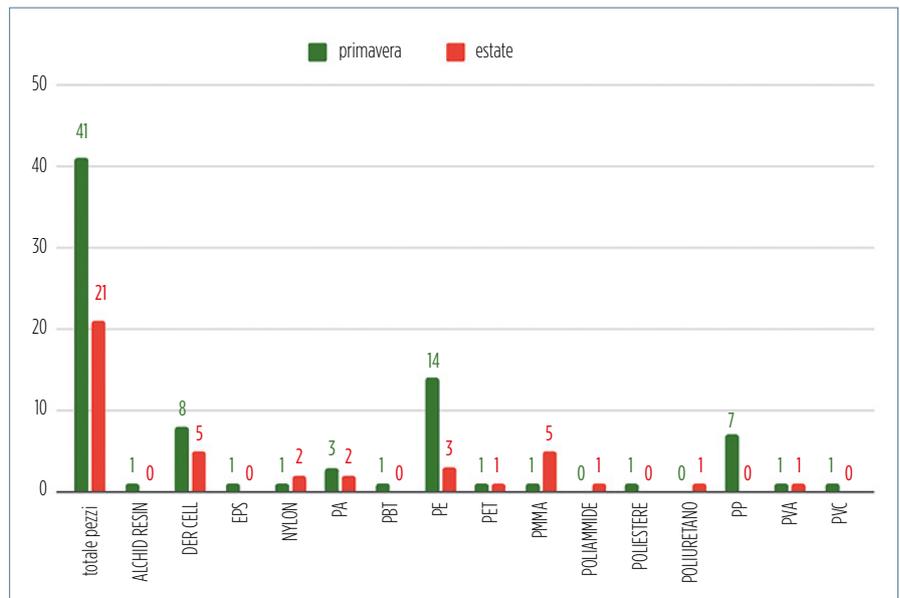


FIG. 3 POLIMERI
Materiali polimerici campagna di studio delle Mp nella diga di Ridracoli (primavera/estate 2023).

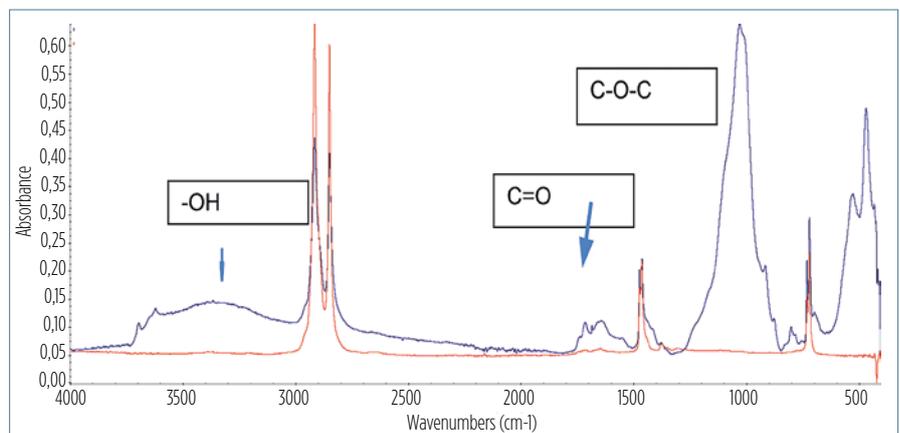


FIG. 4 SPETTRO IR
Spettro Ir di un frammento degradato di Pe (blu) e Pe vergine (rosso).

ecologiche e sanitarie. La protezione delle risorse idriche e il ruolo degli ecosistemi terrestri, come le foreste, nella riduzione della dispersione delle microplastiche sono aspetti fondamentali per il contrasto a questa emergente forma di inquinamento.

Si ritiene dunque molto importante poter approfondire la funzione filtro delle foreste Casentinesi con uno studio specifico, da svolgere in prossimità della diga di Ridracoli, per contribuire a descrivere e quantificare l'importante servizio di cattura e stoccaggio delle Mp dell'aria, svolto dalle foreste.

In questo contesto l'uomo si sente sempre più personaggio secondario, fuori dalla storia della maggior parte dei fenomeni e dunque dalla responsabilità e utilità dell'agire. Non vediamo la maggior parte dei fenomeni e come il fenomeno conosciuto come *plant blindness* che ci impedisce di percepire il mondo vegetale dal quale deriva ogni possibilità della nostra esistenza, così una sorta di *waste blindness* ci attanaglia rendendoci incapaci di vedere il nesso diretto e imprescindibile che c'è tra la dispersione dei rifiuti nell'ambiente e in particolare l'uso sempre più pervasivo di plastica nelle nostre vite accompagnato da un irresponsabile gestione di oggetti che divengono sempre più velocemente rifiuti di cui disfarsi persino in ambiti frequentati quotidianamente per passare qualche ora di serenità (Pietrelli et al., 2025). La responsabilità dell'individuo si dissolve in una noncuranza comunitaria, le scelte diventano distanti e ogni uomo o donna finisce per sentirsi sollevato da un fenomeno sfuggente che sembra generarsi in un "altrove" poco identificabile. Nel loro vagare le microparticelle trasportano, come zattere alla deriva, molecole di ogni tipo più o meno inquinanti e complesse comunità batteriche. Nel loro rimpicciolirsi attraversano gli habitat, entrano in contatto con molte specie, parecchi organismi, e purtroppo non sempre sono incontri dagli esiti felici.

**Patrizia Menegoni¹, Maria Sighicelli¹,
Loris Pietrelli², Veronica Menna³,
Marta Bacchi³**

1. Enea, Laboratorio biodiversità ed ecosistemi
2. Legambiente
3. Arpa Emilia-Romagna

Si ringraziano Alberto Sommacal, Eleonora Leonardi, Emanuela Peroncini, Katia Baio e Morrone Fabiola di Arpa Emilia-Romagna, che hanno collaborato nelle attività di campo e nelle attività di laboratorio

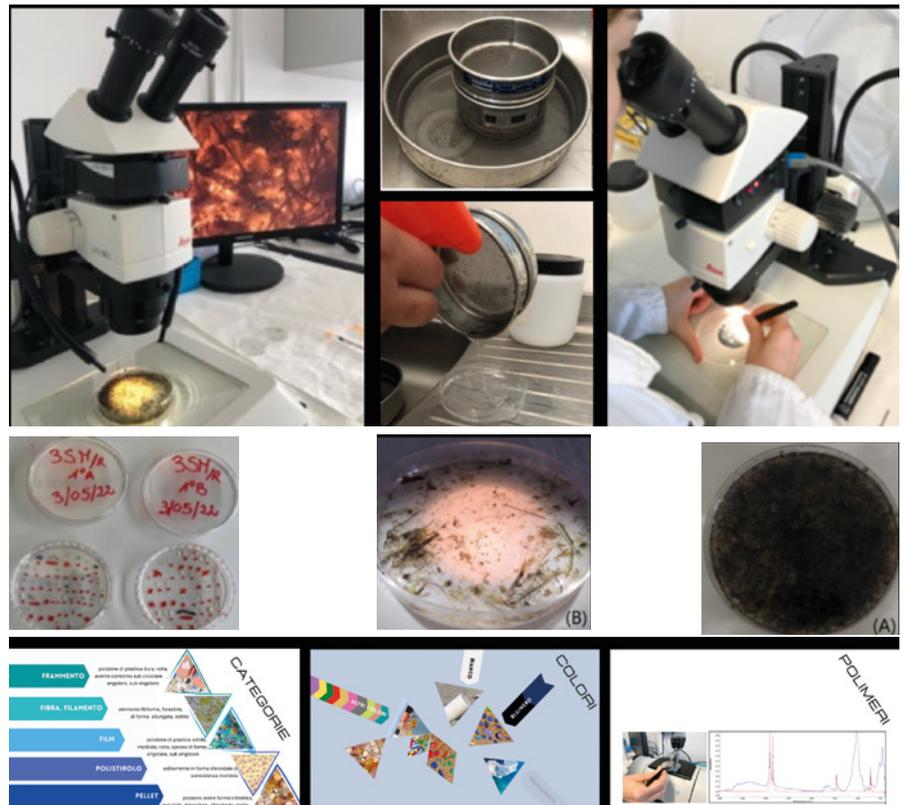


FIG. 5 STUDIO DEI CAMPIONI

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Battisti C., Poeta G., Pietrelli L., Fanelli G., Acosta G., 2017, "Plastisphere in action: evidence for an interaction between expanded polystyrene and dunal plants", *Env. Science & Pollution Research*, 24(12):11856-11859.
- Carson H.S., Colbert S.L., Kaylor M.J., McDermid K.J., 2011, "Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments", *Mar. Pollut. Bull.*, 62, 1708-1713, doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.032.
- Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K., Kanehiro H. et al., 2005, "Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences", *Mar. Pollut. Bull.*, 50, 1103-1114, doi: 10.1016/j.marpolbul.2005.04.030.
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L., 2017, "Production, use, and fate of all plastics ever made", *Science Advance*, 3, 1700782.
- Leonard J., Borthakur A., Koutnik V.S., Brar J., Glasman J., Cowger W., Dittrich T.M., Mohanty S.K., 2023, "Challenges of using leaves as a biomonitoring system to assess airborne microplastic deposition on urban tree canopies", *Atmospheric Pollution Research*, 14, doi.org/10.1016/j.apr.2023.101651.
- Perera K., Ziajahromi S., Bengtson Nash S., Leusch F.D.L., 2024, "Evaluating the retention of airborne microplastics on plant leaf: Influence of leaf morphology", *Environmental Pollution*, Volume 346, doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123673.
- Pietrelli L., 2024, "Fate of the biofilm chips overflowed from a wastewater treatment plant", *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116142.
- Pietrelli L., Di Vito S., Lacolla E., Piozzi A., Scocchera E., 2025, "Characterization of urban park litter pollution", *Waste Management*, 193, 95-104.
- Plastics Europe, 2024, *Plastics - the Facts 2024*, <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/>
- Rochman C.M., Manzano C., Hentschel B.T., Simonich S.L.M. Hoh E., 2013, "Polystyrene plastic: a source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment", *Environ. Sci. Technol.*, 47, 13976, doi: 10.1021/es403605f.
- Rochman C.M., Tahir A., Williams S.L., Baxa D.V., Lam R., Miller J.T. et al., 2015, "Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption", *Sci. Rep.* 5:14340, doi: 10.1038/srep14340.

IMPRESE UE E SOSTENIBILITÀ: ANDARE OLTRE LA COMPLIANCE

LE DIRETTIVE “CORPORATE SUSTAINABILITY REPORTING” E “CORPORATE SUSTAINABILITY DUE DILIGENCE” TRASFORMANO LA SOSTENIBILITÀ IN UN VOLANO STRATEGICO PER GENERARE VALORE CONDIVISO, FIDUCIA E OPPORTUNITÀ REPUTAZIONALI. LA COMUNICAZIONE, IN QUESTO CONTESTO, È IL COLLANTE CHE PUÒ UNIRE STRATEGIA, AZIONE E RISULTATI.

La sostenibilità aziendale in Europa sta attraversando una trasformazione profonda, guidata da due normative che stanno ridefinendo regole e responsabilità: la Csr (Corporate sustainability reporting directive) e la Cs3d (Corporate sustainability due diligence directive). Queste direttive¹ non sono semplici adempimenti, ma possiedono una forte capacità trasformativa, essendo strumenti di cambiamento sistemico, che spingono le imprese verso una transizione sostenibile profonda.

Qual è dunque la chiave interpretativa prima e operativa poi per accreditare questa fase? Innanzitutto, riconoscere che la sostenibilità non può essere relegata entro i confini aziendali, ma deve estendersi lungo tutta la catena del valore, e che per abilitarla sostanzialmente è necessario svelarla e raccontarla, legittimando il ruolo centrale dei processi di comunicazione strategica come filtri tra l'organizzazione stessa e i suoi pubblici, non casualmente sempre più ampi per aspettative e caratteristiche.

Una rivoluzione normativa per la sostenibilità aziendale

Rispetto alla sostanziale premessa di apertura, le direttive Csr e Cs3d rappresentano, in tal senso, due tasselli complementari di un nuovo paradigma.

La Csr, approvata nel 2021 e divenuta legge nel corso degli ultimi mesi, obbliga tutte le imprese interessate a rendicontare in modo trasparente e dettagliato le proprie performance di sostenibilità. Già da solo questo aspetto implica un passaggio epocale dalle dichiarazioni d'intenti a un vero e proprio piano di metriche standardizzate e verificabili e, più in generale, a una integrazione della logica sostenibile nel piano industriale.



La Cs3d, introdotta nel 2023, amplia ulteriormente le responsabilità in capo alle aziende, imponendo loro la gestione dei rischi ambientali e di quelli relativi ai diritti umani lungo l'intera filiera produttiva. Introducendo, così, un principio e un approccio cruciali, per cui non basta agire in modo sostenibile all'interno dei propri luoghi produttivi, ma è necessario garantire che tutti gli attori coinvolti nella filiera produttiva rispettino standard rigorosi.

In un raro esempio di sincronismo legislativo, le due normative riescono, quindi, a spalleggiarsi e a rafforzarsi reciprocamente. Se la Csr impone alle imprese di raccogliere dati oltre i confini aziendali, la Cs3d stabilisce che la responsabilità dell'organizzazione non si esaurisce con il primo fornitore. Insieme, queste direttive modellano un quadro normativo ambizioso e nel contempo necessario che invita le aziende a ripensare un modello di business tradizionale, trasformando la sostenibilità da obbligo (spesso mal digerito) a vero e proprio volano strategico che genera

valore condiviso e, nel contempo, innesca opportunità reputazionali per differenziarsi dai propri competitor.

La catena del valore al centro del cambiamento

Come abbiamo già accennato, il grande merito di queste direttive è quello di aver progressivamente spostato l'attenzione dal singolo comportamento aziendale alla filiera produttiva globale. La catena del valore, così, diventa oggi il vero teatro di una azione sostenibile responsabile e coesa. Tutte le macrofasi che la contraddistinguono (*upstream*, *downstream* e *on operations*) vanno attentamente analizzate e misurate nei diversi impatti che vengono generati. Per farlo – e per fare in modo che diventi consuetudine comportamentale – è essenziale ingaggiare e coinvolgere tutti gli stakeholder impattati lungo l'intera catena del valore, dal fornitore al cliente finale, senza dimenticare il troppo spesso sottovalutato fenomeno del “fine vita”.

Questo approccio rinnovato, oltre a richiedere la presenza di dotazioni tecnologiche avanzate per la raccolta e la verifica dei dati, necessita prioritariamente di una vera e propria visione culturale che consenta di interpretare il coinvolgimento degli attori della catena non come l'ennesimo obbligo proprio di uno stile di conduzione sempre più farraginoso, bensì come una vera e propria opportunità, per attivare e alimentare un circolo sostenibile virtuoso. Riconoscendo che in un mondo interconnesso, nel bene e nel male, l'impatto di un'azienda si estende ben oltre i propri confini, e che le normative europee altro non sono che la certificazione di questa realtà, trasformata in una leva di innovazione e competitività.

Le grandi aziende, per la loro posizione centrale, diventano quindi punti di riferimento per guidare e sostenere questo cambiamento. In particolare, nei confronti dei propri fornitori che spesso necessitano di essere accompagnati in un percorso più sostenibile e costruendo una rete virtuosa in grado di rispondere alle sfide del futuro. Perché adattarsi alle nuove richieste non è più solo un tema di *compliance* normativa ma di vera e propria resistenza e resilienza del business, qualunque esso sia.

Le pmi – nel contempo segmento rilevante del tessuto produttivo italiano ma spesso viste come soggetti più vulnerabili – possono trovare in questo nuovo quadro normativo un'occasione per rafforzarsi. Collaborando con imprese più grandi, per esempio o adottando tecnologie innovative e sviluppando competenze mirate, con l'obiettivo di diventare protagonisti di una transizione inclusiva e sostenibile.

La comunicazione come motore di cambiamento

Come spesso e trasversalmente sottolineato², la sostenibilità, se non accompagnata da una comunicazione efficace, rischia di rimanere un esercizio teorico e autoreferenziale. In uno scenario sempre più regolamentato, comunicare in modo trasparente e autentico è essenziale per costruire fiducia e coinvolgere gli stakeholder.

Non si tratta solo di pubblicare report, ma di raccontare un percorso alimentato da successi, sfide e impegni futuri. Tanto più questa narrazione riuscirà a essere

coerente e verificabile, tanto più la credibilità e l'autorevolezza dell'impresa si rafforzeranno agli occhi di investitori, consumatori e istituzioni.

La comunicazione diventa così un collante dai molteplici significanti: da una parte il tradizionale "mettere in comune" che se consapevolmente governato genera fiducia e coinvolgimento lungo tutta la catena del valore. Dall'altra, un vero e proprio ruolo pedagogico che non si limita a informare, ma si preoccupa anche di promuovere quotidianamente una cultura della sostenibilità, di volta in volta istillando consapevolezza o contrastando quei fenomeni di scetticismo ancora presenti e pervasivi³.

Le aziende che riusciranno a integrare la comunicazione in modo efficace diventeranno ambasciatrici del cambiamento, ispirando altre realtà a seguire il loro esempio.

Conclusioni

La Csr e la Cs3d richiedono alle imprese di ripensare il proprio ruolo nella società, adottando un approccio sistemico e collaborativo alla sostenibilità. La comunicazione, in questo contesto, non è un accessorio, ma il collante che unisce strategia, azione e risultati. È lo strumento attraverso cui le aziende possono costruire fiducia, coinvolgere gli stakeholder e trasformare gli obblighi normativi in opportunità di crescita.

Il futuro sarà scritto da chi saprà guardare oltre la conformità, riconoscendo che la

sostenibilità non è solo una responsabilità o un onere, ma una leva per innovare, competere sul mercato e rafforzare le relazioni con le parti interessate, generando impatti positivi su persone e ambiente. La catena del valore – da elemento quasi invisibile del processo produttivo – si trasforma così nel cuore pulsante di un nuovo modello di sviluppo.

Le imprese che coglieranno questa sfida non saranno solo conformi, ma protagoniste di una transizione epocale.

Giulia Devani¹, Stefano Martello²

1. Responsabile Area reporting, Amapola società benefit
2. Componente tavolo "Ambiente e sostenibilità", Pa Social

NOTE

¹ Il 26 febbraio 2025 la Commissione europea ha pubblicato una proposta denominata "Pacchetto Omnibus" con focus specifico sulla sostenibilità. Il pacchetto, che propone modifiche al regolamento sulla tassonomia europea, alla Csr e alla Cs3d, intende semplificare gli obblighi di reporting per le aziende ed eliminare eventuali ridondanze tra le varie normative. Alcune aziende e organizzazioni vedono in questa azione di semplificazione alcuni rischi di deregolazione e dei possibili passi indietro rispetto agli obblighi di sostenibilità. Non rimane che attendere la fine dell'iter legislativo che è appena cominciato.

² Giulia Devani, Stefano Martello, "La responsabilità del report di sostenibilità", *Ecoscienza* 3/2024.

³ Utile, in tal senso, Lee McIntyre, "Come parlare con chi nega la scienza", *FrancoAngeli*, 2023.



FOTO: THAMMUNUN/UNSPASH

PERCHÉ È DIFFICILE PARLARE DI CAMBIAMENTI CLIMATICI?

IL TEMA RIGUARDA PROFONDAMENTE LA NOSTRA ATTUALE E FUTURA ESISTENZA ED È COSÌ COMPLESSO E INTRICATO DA SFUGGIRE ALLA NOSTRA CAPACITÀ DI COMPRENDERE, CONCEPIRE E ACCETTARE DATI E INFORMAZIONI. IN QUESTO E IN TRE ARTICOLI SUCCESSIVI CI CHIEDIAMO SE ESISTA UN MODO ADEGUATO PER RACCONTARE LA CRISI DEL CLIMA.

Pochi temi, come i cambiamenti climatici, riguardano così profondamente la nostra attuale e futura esistenza e sono, al tempo stesso, così complessi e intricati da sfuggire alla capacità umana di comprendere, concepire, accettare.

Per questo viene spontaneo chiedersi: può esistere un modo adeguato per comunicare i cambiamenti climatici? E, innanzitutto, è corretto utilizzare queste parole, o piuttosto dovremmo parlare di crisi climatica, o emergenza climatica, o più nello specifico di riscaldamento globale?

Ammessi di avere individuato – o che esista – la terminologia corretta, c'è un'altra domanda da porsi: cosa vuol dire comunicare i cambiamenti climatici?

A questo, e simili interrogativi, tenta di rispondere, dai primi anni 2000, la ricerca sulla comunicazione climatica, senza essere, però, ancora giunta a una visione condivisa¹. Qui proponiamo la definizione dello *Yale program on climate change communication*:

“In superficie, la comunicazione dei cambiamenti climatici consiste nell'educare, informare, avvertire, persuadere, mobilitare e risolvere questo problema critico. A un livello più profondo, la comunicazione dei cambiamenti climatici è plasmata dalle nostre diverse esperienze, dai nostri modelli mentali e culturali, dai valori e dalle nostre visioni del mondo”².

Emerge in queste parole la complessità di una materia che interagisce con gli aspetti più soggettivi e sfuggenti della natura umana.

Infatti, da quando i cambiamenti climatici sono diventati un argomento centrale, è stato chiaro che non sarebbe stato facile far pervenire e far percepire il messaggio a tutti e che, soprattutto, non sarebbero bastati i dati, l'accumulo di evidenze e il consenso scientifico sempre più consistente ad allinearci tutti sulla stessa consapevolezza. Anzi, è stato chiaro che proprio una comunicazione

incentrata sull'insistenza su questi aspetti alimenta quegli stessi processi divisivi e polarizzanti che si propone di disinnescare.

Per questo motivo, di cambiamenti climatici non si occupano solo le discipline tecnico-scientifiche, ma il tema è sempre più oggetto di studio anche delle scienze umane, come la sociologia, la psicologia e le scienze della comunicazione.

Il nostro modo di sperimentare e comprendere la realtà, infatti, ha poco

a che fare con i numeri e i dati e molto a che fare con la nostra percezione delle cose, che è frutto di numerosi elementi individuali e collettivi, come il nostro vissuto, le convinzioni politiche, il contesto geografico e familiare, la spiritualità e molti altri. Parlare di cambiamenti climatici significa portare sul tavolo un argomento che può mettere in crisi e potenzialmente sconvolgere quegli elementi. Infatti, quando questo messaggio incontra il



muro della negazione, dello scetticismo o di altre forme di reazioni avverse, inclusa la paura, è probabile che il motivo non sia da rintracciare in un'incapacità di comprendere la scienza e i dati, ma piuttosto in un meccanismo di difesa di valori e convinzioni profondamente radicati in chi ascolta. Anche il modo stesso di comunicare i cambiamenti climatici può contribuire all'incomprensione e al disallineamento su questo tema.

Per tentare di sviscerare questa complessità, proponiamo qui, per comodità di analisi, una suddivisione del processo comunicativo in tre elementi fondamentali: messaggero (chi comunica), messaggio (l'oggetto della comunicazione) e destinatario (chi riceve il messaggio). Contrariamente alla direzione naturale del processo comunicativo, l'analisi di questi tre elementi, che troverà spazio in approfondimenti successivi, seguirà l'ordine inverso.

Nel prossimo numero di questa rivista partiremo quindi dal destinatario, per analizzare i meccanismi psicologici e gli aspetti sociali che regolano il modo in cui gli individui recepiscono le informazioni. Vedremo che le possibili reazioni a uno stesso messaggio, invece di essere simili, possono essere lontane tra loro: negazionismo, depressione, complottismo, "ecoansia", sfiducia nella scienza, scientismo e tante altre. E vedremo che dietro a ogni modo di porsi nei confronti dei cambiamenti climatici – e di tutto ciò che questo termine parziale porta con sé – non c'è quasi mai una ragione banale, e che liquidare e ridicolizzare certe visioni è quanto di più povero e ottuso possa fare chi comunica. Così come è limitato, sempre da parte di chi comunica, non dedicare la stessa meticolosa attenzione agli altri due elementi del processo comunicativo.

Nel numero successivo passeremo quindi al messaggio, per cercare di capire quali sono gli effettivi contenuti della comunicazione sui cambiamenti climatici, ovvero quali informazioni precise veicoliamo quando ne parliamo e quale peso può avere in chi ascolta ogni diversa porzione del nostro messaggio. Prenderemo in considerazione anche il tema dell'incertezza, in quanto profondamente legato al nostro modo di comunicare la scienza e i suoi limiti. E infine parleremo del mittente, cioè di quella figura trasversale che si occupa di tradurre l'informazione scientifica in un linguaggio accessibile al destinatario (politici, cittadini, tecnici ecc.). Tra i possibili mittenti possiamo annoverare



figure diverse: giornalisti, insegnanti, *influencer*, gli stessi scienziati, ognuno con il suo specifico modo di comunicare e con diversi mezzi a disposizione e un differente pubblico all'ascolto. Per ognuno di loro si potrebbe aprire un capitolo dedicato, ma non vuole essere questa la sede per farlo. Qui si tratterà più che altro di cogliere i punti in comune tra mittenti e destinatari, ricordando che il messaggio non è schermato solamente dai filtri cognitivi di chi lo riceve, ma anche, e in ugual misura, dai filtri di chi lo confeziona; anche il mittente è condizionato dalle proprie visioni del mondo, ha un vissuto che lo influenza, un'educazione, un orientamento politico, una spiritualità che fanno inevitabilmente crollare la presunta oggettività del suo messaggio. Chi comunica, insomma, vive e sperimenta gli stessi limiti del destinatario, ma lo fa da una posizione diversa. Anche su questo è necessario interrogarsi, sul concetto di ruolo e di responsabilità, ma anche e soprattutto sul confine sfumato tra chi parla e chi ascolta, sulla distanza che li separa

e il terreno di sovrapposizione. Chi comunica, infatti, non è solo un mittente ma anche un destinatario.

È su questi e altri nodi che rifletteremo nei prossimi numeri, con il tentativo di tenere a mente un'ultima domanda: perché parliamo di cambiamenti climatici? Forse il senso del *comunicare* risiede proprio nella sua etimologia: "mettere in comune", non imporre una visione, ma accorciare un po' le distanze e trovare un punto di partenza per provare a ripensare il nostro modo di stare al mondo, i cui limiti e contraddizioni sono così chiaramente messi in luce dai cambiamenti climatici.

Alice Vecchi, Gabriele Antolini

Arpae Emilia-Romagna

NOTE

¹ Meifen Wu et al., 2022.

² <https://climatecommunication.yale.edu/about/what-is-climate-change-communication/>

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Meifen Wu et al., 2022, "Evolution of the knowledge mapping of climate change communication research: basic status, research hotspots, and prospects", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, Sep 8;19(18):11305, doi: 10.3390/ijerph191811305 2022.

Hoffman A.J., 2015, *How culture shapes the climate change debate*, Stanford University Press, Stanford.

Fantini A., 2023, *Un autunno caldo. Crisi ecologica, emergenza climatica e altre catastrofi innaturali*, Codice edizioni.

Jamieson D., 2014, *Reason in a dark time. Why the struggle against climate change failed and what it means for our future*, Oxford University Press, New York (ed. it. *Il tramonto della ragione. L'uomo e la sfida del clima*, Treccani, 2021).

IA, PREVENZIONE E CONTRASTO DEGLI ILLECITI AMBIENTALI

I SISTEMI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE VANNO CONSIDERATI COME UN SUPPORTO NELL'AMBITO DI INDAGINI SPECIFICHE CONDOTTE DA OPERATORI ADDESTRATI E PERFETTAMENTE CONSAPEVOLI DELLE CRITICITÀ PRESENTI. BASI DI DATI ESTESE E AFFIDABILI RAPPRESENTANO UN FATTORE ABILITANTE FONDAMENTALE PER IL LORO SVILUPPO.

L'uso dell'intelligenza artificiale (Ia) può esprimere un enorme potenziale nella prevenzione e nel contrasto degli illeciti ambientali, anche nelle prospettive indicate dalla nuova direttiva (Ue) 2024/1203 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 aprile 2024 sulla tutela penale dell'ambiente, che contiene riferimenti alla necessità di utilizzo di strumenti investigativi efficaci e proporzionati, inclusi quelli speciali come quelli utilizzati per contrastare la criminalità organizzata o per altri gravi reati (art. 13), di tecniche e tecnologie adeguate di contrasto ai crimini ambientali (art. 17), di adeguata formazione al riguardo di giudici, pubblici ministeri e personale di polizia (art. 18). Già in precedenza, a questo tema è stato dedicato uno studio preliminare, coordinato dagli scriventi, promosso dalla Fondazione Occorsio la quale, a partire dal 2020, ha avviato una serie di ricerche sull'uso dell'intelligenza artificiale anche per il contrasto agli illeciti ambientali. I risultati di quel lavoro vengono in questa sede riassunti e commentati anche alla luce del regolamento (Ue) 2024/1689 che stabilisce regole sull'uso dell'intelligenza artificiale, l'*Artificial intelligence act* o *Ai act*.

L'intelligenza artificiale, nell'*Ai act* (art. 3, n. 1) è definita come "un sistema automatizzato progettato per funzionare con livelli di autonomia variabili e che può presentare adattabilità dopo la diffusione e che, per obiettivi espliciti o impliciti, deduce dall'input che riceve come generare output quali previsioni, contenuti, raccomandazioni o decisioni che possono influenzare ambienti fisici o virtuali". Sono noti i molteplici vantaggi dell'uso dell'Ia, ma nella definizione sono evidenziati aspetti tecnici che coincidono con rischi relativi ai diritti fondamentali delle persone, la cui protezione è una delle finalità preminenti dell'*Ai act*. L'uso dell'Ia per il contrasto dei reati ambientali è oggi, tutto sommato,

limitato, probabilmente perché il settore, molto specialistico, sta solo ora acquisendo la consapevolezza delle potenzialità e prospettive di questo tipo di *tool* in questo specifico settore. Questo scritto ha anche la finalità di agevolare una riflessione che possa portare a scelte consapevoli per l'attivazione delle iniziative che possano fare entrare l'Ia, e i benefici che può esprimere, tra gli strumenti destinati alla lotta agli illeciti e alla criminalità ambientale anche nella realtà italiana.

L'applicazione dell'Ia nella giurisdizione ambientale

Lo studio condotto ha portato a identificare alcune principali applicazioni di sistemi di Ia nel campo della giurisdizione ambientale:

- analisi di rischio (*risk assessment*): quale stima preventiva del rischio attribuibile a un soggetto, persona fisica o giuridica, per la commissione di un illecito
 - analisi di dati (*data analytics*): per individuare anomalie in complessi insiemi di dati correlabili a violazioni e falsificazioni
 - visione artificiale (*computer vision*): interpretazione di immagini ove la morfologia di oggetti e situazioni è correlabile a un illecito.
- Di queste tecniche verranno forniti esempi, perché più maturi e trasferibili in altre realtà. Altre aree di impiego si affacciano all'orizzonte, anche sulla scorta di esperienze sviluppate in altri settori, come ad esempio l'attività di *predictive policing*, per il presidio del territorio e per attività di prevenzione ad hoc, o l'uso di *large language models* per l'interpretazione e l'estrazione da testi di informazioni rilevanti, a beneficio del trattamento elettronico di documenti e dell'ampliamento dei database. Queste aree non verranno trattate, se non superficialmente, in questo rapporto.

Analisi di rischio su rifiuti e scarichi negli Stati Uniti

L'approccio utilizzato dall'*Environment protection agency* statunitense (Us-Epa), nella pianificazione dei controlli è mirato a massimizzare l'individuazione di non conformità e i sistemi di Ia utilizzati sono stati addestrati sulla base di questo obiettivo.

Per l'addestramento dei sistemi di Ia, Us-Epa ha utilizzato il vasto inventario di dati relativi agli esiti delle ispezioni e degli autocontrolli costruito nell'ambito del programma di digitalizzazione delle informazioni sui controlli *Next generation compliance*, iniziato nel 2013.

Esempi di quest'approccio sono la pianificazione delle attività ispettive sugli scarichi idrici e sulla gestione dei rifiuti. Nel caso della programmazione dei controlli sugli scarichi idrici, il *training set* del sistema di Ia è stato costituito da 316.030 imprese estratte da 1.831.032 catalogate in questo settore. Questo sistema ha previsto correttamente l'esito dei controlli nel 94,1% dei casi, sulla base di test di tipo retrospettivo.

Il sistema invece allestito per i controlli sulle aziende del ciclo dei rifiuti ha dimostrato la capacità di portare al 56% la frazione di ispezioni che individuano almeno una violazione, rispetto al 38% della programmazione di tipo tradizionale.

Data analytics: il trattamento dei dati alla ricerca di non conformità

L'Ia si presenta come uno strumento ottimale per i compiti di analisi di database, sostituendosi a complesse attività di programmazione dei sistemi e di costruzioni di *query*. La Fondazione Occorsio ha svolto approfondimenti sul tema analizzando le potenzialità presenti, prendendo a

riferimento la filiera nazionale dei rifiuti, come rappresentata nei database dedicati italiani.

Infatti, è attraente l'ipotesi di poter identificare, attraverso sistemi di *data analytics* avanzati, nessi e relazioni in prima approssimazione non evidenti tra situazioni, operazioni di vario tipo e soggetti nell'ambito di indagini penali, oltre che per estendere la visuale sulle responsabilità implicate nei reati perseguiti e per una ricerca mirata di prove. L'attività di *data analytics* può supportare inoltre operazioni di *predictive policing* (polizia predittiva) a supporto del dispiegamento mirato di risorse per il contrasto di attività criminali.

Nello studio citato si era prospettata inoltre la realizzazione di una banca dati nazionale in materia di criminalità ambientale per consentire un approccio molto più selettivo del materiale rispetto alla consultazione della sola banca dati Sidra-Sidra la quale, oltre a includere solo dati relativi al delitto di cui all'art. 452-quaterdecies c.p. (di competenza della Dda), contiene molto "rumore", ossia dati che non pertengono allo specifico tema della criminalità ambientale e che complicano la ricerca. Sarebbe inoltre necessaria la disponibilità, in forma digitale, di informazioni sull'attività di polizia amministrativa e dell'attività giurisdizionale nel settore dei rifiuti, per etichettare le aziende presenti nei database a disposizione al fine di addestrare i sistemi di Ia.

Il contrasto alla falsificazione degli autocontrolli

Un altro interessante esempio di applicazione di strumenti di *data analytics* e di Ia è la ricerca di falsificazioni nei dati degli autocontrolli obbligatoriamente effettuati e trasmessi dalle aziende a Us-Epa.

L'alterazione di dati trasmessi all'autorità competente è, anche negli Stati Uniti, un reato penale e la disponibilità di un sistema di *screening* delle falsificazioni rappresenta un notevole elemento di deterrenza.

La verifica sulla falsificazione dei dati è, ad esempio, applicata ai *discharge monitoring report* (Dmr), relativi agli esiti degli autocontrolli sulle acque di scarico. La ricerca di anomalie viene effettuata attraverso filtri statistici estratti dall'analisi di un numero elevato di Dmr. Il discostamento da tracciati standard può essere sintomo di un'alterazione volontaria dei dati. Il sospetto di alterazione dei dati diviene un elemento di priorità nella programmazione delle ispezioni.

L'esperienza è interessante per il dibattito nazionale sugli autocontrolli, sulla loro affidabilità, sul loro valore ai fini dell'assicurazione della conformità ambientale.

Il tema è rilevante, infatti, nell'applicazione del Testo unico ambientale (Tua) il quale prevede in diversi casi la comunicazione dei dati emersi in sede di autocontrollo. Basti

pensare alla disciplina dell'autorizzazione integrata ambientale in cui il superamento dei limiti di emissione può dipendere, oltre che dall'accertamento emerso nell'ambito delle ispezioni da parte dell'autorità di controllo o degli organi di vigilanza (art. 29-decies, rispettivamente commi 4 e 7, Tua), anche dall'emersione della violazione dei valori limite di emissione in sede di autocontrollo da parte del gestore, attività disciplinata dall'art. 29-decies, comma 2, secondo cui a far data dall'invio della comunicazione di avvio dell'installazione, il gestore trasmette all'autorità competente e ai Comuni interessati, nonché all'ente responsabile degli accertamenti, i dati relativi ai controlli delle emissioni richiesti dall'autorizzazione integrata ambientale (Aia), secondo modalità e frequenze stabilite nell'autorizzazione stessa.

La disciplina sanzionatoria è prevista dall'art. 29-quattordices:

- al comma 8, che prevede come illecito amministrativo l'omessa comunicazione dei dati relativi alle misurazioni delle emissioni di cui all'art. 29-decies, comma 2
- al comma 9, che prevede l'applicazione della pena di cui all'art. 483 c.p. se con tale comunicazione il gestore fornisca dati falsificati o alterati.

Si pone la questione se il reato di violazione delle prescrizioni sia configurabile qualora il superamento dei limiti delle emissioni emerga in sede di autocontrollo e venga a conoscenza dell'amministrazione a seguito della

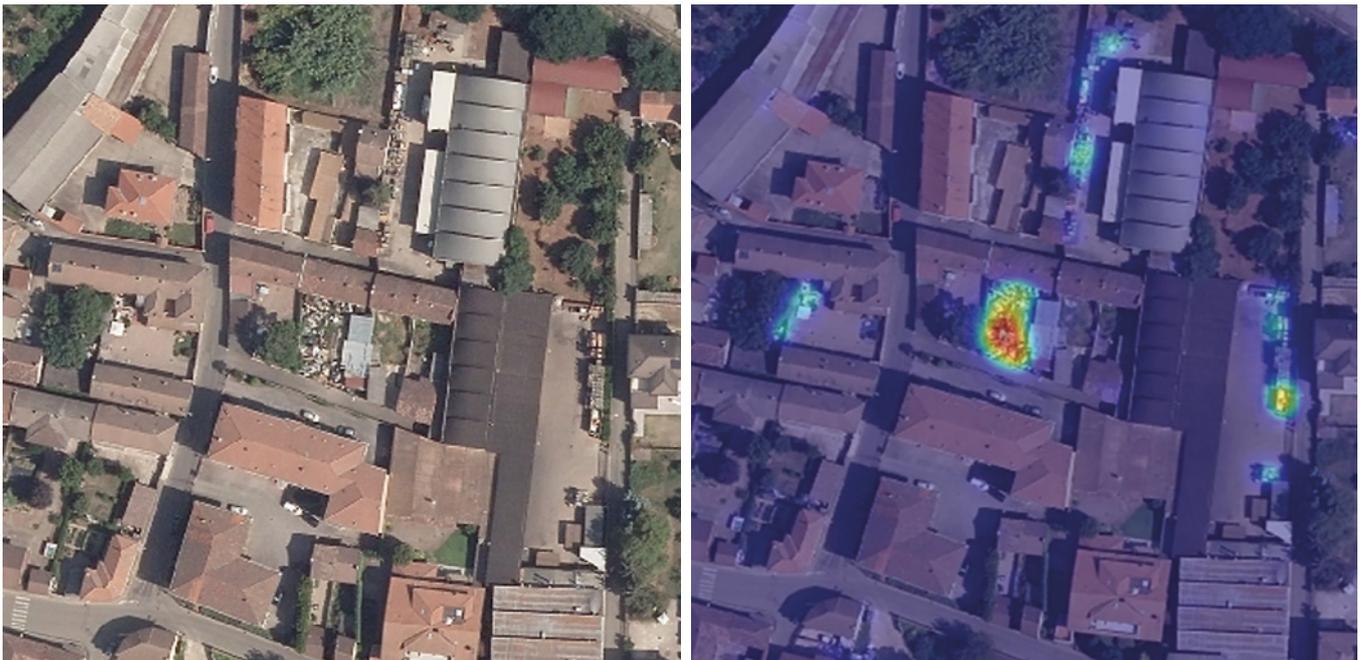


FIG. 1 PROGETTO SAVAGER

Immagine aerea Rgb di una zona contenente un deposito illegale di rifiuti ed elaborazione con un sistema di computer vision che mette in evidenza tale deposito ("Class Activation Map"). Materiale illustrativo della fase preparatoria del progetto Savager di Arpa Lombardia per la ricerca di depositi illegali di rifiuti, 2020.

obbligatoria comunicazione dei dati da parte del gestore della installazione. La Cassazione ha ritenuto che “la violazione delle prescrizioni ben può scaturire dalla comunicazione obbligatoria da parte del gestore dell’impianto dei risultati in sede di autocontrollo, essendo il gestore soggetto tenuto all’effettuazione di analisi in sede di autocontrollo e poi all’inoltro dei dati così rilevati e, in tale ambito, la previsione della sanzione penale è coerente con la *ratio legis* e si colloca a chiusura della disciplina di settore che pone obblighi precisi, indicati nell’Aia, al gestore dell’impianto che è tenuto a procedura di autocontrollo, e costituisce un presidio sanzionatorio all’osservanza delle prescrizioni imposte nell’Aia, con la punizione dell’inosservanza alle prescrizioni imposte a tutela dell’ambiente.

Quanto alla responsabilità connessa alla posizione del gestore che è destinatario della richiesta di inoltro dei dati, in esito a procedure di autocontrollo, essa non contrasta con il diritto costituzionale di difesa sul presupposto che, in tal modo, si imporrebbe agli stessi un obbligo di possibile autodenuncia, in quanto le suddette richieste derivano da specifici obblighi normativi per consentire lo svolgimento della vigilanza amministrativa demandata agli organi indicati nel comma 3, e, come tali, da un lato assoggettano l’imprenditore allo stesso trattamento riservato a ogni cittadino sottoposto ad atti di controllo amministrativi per fini di interesse generale.

Non di meno, dal tenore delle norme di settore e dal riferimento alla “tolleranza” per frequenza e entità, non c’è alcuna automaticità che potrebbe avere profili di dubbia compatibilità con il diritto di difesa, nel senso che la sanzione penale non consegue al mero dato del rilevamento in sede di autocontrollo del superamento, nel nostro caso, delle emissioni, ma dalla complessiva valutazione, cui è tenuto il giudice del merito, anche a fronte delle allegazioni difensive, dei dati provenienti dai sistemi di autocontrollo e della tolleranza delle violazioni.

Visione automatica e contrasto ai reati ambientali

È oggi disponibile un imponente patrimonio, anche aggiornato in tempo reale o “quasi reale” di immagini terrestri, usato anche per il contrasto agli illeciti ambientali, rilevate attraverso satelliti

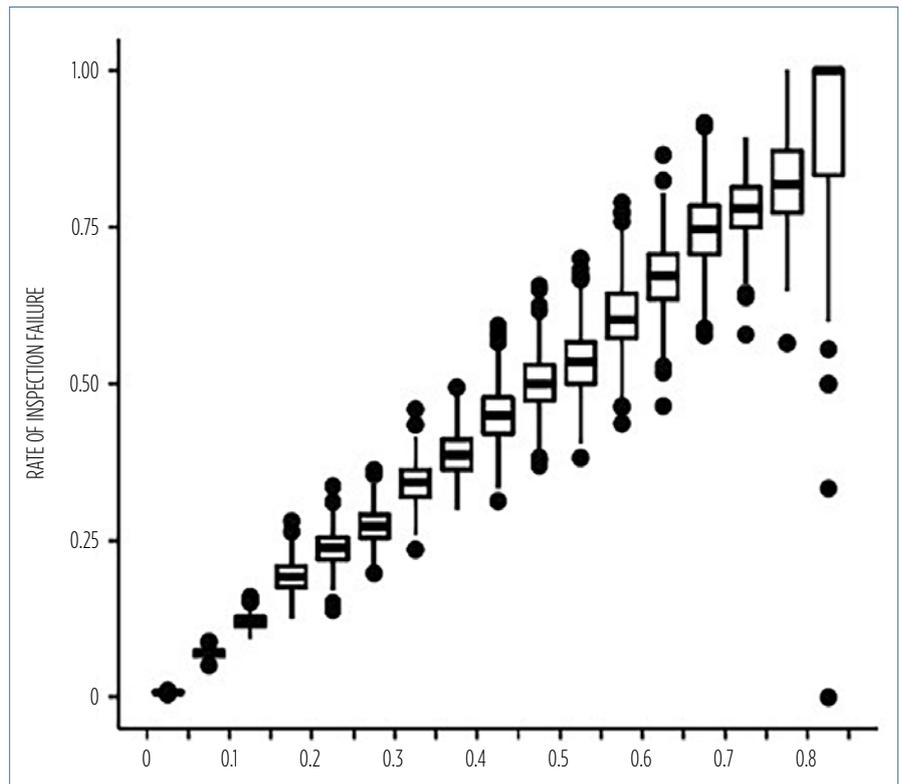


FIG. 2 INTELLIGENZA ARTIFICIALE E CONTROLLO AMBIENTALE

Relazione tra il livello di rischio valutato attraverso un specifico sistema di intelligenza artificiale e la percentuale di casi nei quali un controllo ha evidenziato una non conformità - settore degli scarichi idrici negli Usa.

Fonte: Hino M., Benami E., Brooks N., 2018, “Machine learning for environmental monitoring”, *Nature Sustainability*, vol. 1, October 2018, 583-588, www.nature.com/natsustain

o mezzi o aerei, offerto da numerose fonti, compreso il progetto Copernicus dell’Unione europea.

La *computer vision* basata su Ia ha enormemente potenziato le attività di osservazione terrestre, svincolandola dalle tempistiche necessarie per attività simili condotte dall’uomo e migliorandone l’efficacia.

Gli esempi di *computer vision* che seguono sono stati sviluppati tramite sistemi di *AI-deep learning* con l’uso di reti neurali convoluzionali (Cnn).

I due esempi principali di questa applicazione per la ricerca di non conformità sono rappresentati dall’attività statunitense per la ricerca degli allevamenti intensivi di suini e pollame (*concentrated animal feeding operation*, Cafo) non dotati di autorizzazioni allo scarico e dal progetto Savager (sorveglianza avanzata gestione rifiuti) sviluppato da Arpa Lombardia, a partire dal 2018.

Per quanto riguarda il caso statunitense, Us Epa ha stimato che circa il 60% delle installazioni Cafo, al 2011, non era in possesso di un’autorizzazione per la gestione dei reflui zootecnici, contribuendo in modo elevatissimo all’inquinamento da nitrati e, per la

ricerca sistematica di queste installazioni, è stato previsto l’uso della tecnica di *computer vision*.

Le prime esperienze sono state realizzate nel North Carolina, utilizzando come *training set* immagini contenute nell’archivio del Dipartimento dell’Agricoltura degli Stati Uniti. Dal totale di 1.684.879 immagini dello Stato a disposizione ne sono state estratte un totale di 24.440; oltre a immagini “negative” il *training set* ne conteneva 3.385 relative ad allevamenti di pollame e 1.559 di suini, suddivise casualmente nei gruppi *training set* (60%), di validazione (15%) e test retrospettivo (25%). L’accuratezza del sistema è stata misurata attraverso l’indicatore precisione, pari al 91,7% per gli allevamenti di pollame e al 92,35% per i suini e con uno specifico indicatore, Roc, che combina sensibilità e specificità, pari al 97,2 % e al 98,6% per pollame e sui suini. Oltre a essere più efficace del 15% rispetto a operatori umani, il sistema di ricerca automatizzato ha permesso l’abbattimento delle risorse umane da impiegare per l’attività tra il 90 e il 98%.

Il progetto italiano Savager nasce per il contrasto al fenomeno degli incendi nei depositi illegali di rifiuti, particolarmente intenso a partire dal 2018, attraverso

l'individuazione precoce delle situazioni a rischio. Il primo test ha previsto l'analisi, manuale e automatizzata, del territorio di 63 Comuni, per un totale di 1.357 chilometri quadrati, in provincia di Pavia. La sperimentazione è stata realizzata in collaborazione con il Politecnico di Milano. Come *training set* è stato utilizzato un insieme di 3.000 immagini, delle quali il 30% era rappresentato da campioni positivi, selezionate da operatori esperti tra le immagini a disposizione. L'analisi della qualità delle prestazioni è stata misurata attraverso il descrittore statistico precisione, superiore al 94% al livello di sensibilità pari al 89%. La *computer vision* si è dimostrata estremamente efficace per lo *screening* di ampie superfici, a livello delle dimensioni di una regione o di uno Stato, a condizione di disporre di un campione di immagini relativo alla stessa tipologia del caso da ricercare sufficientemente esteso.

Ai act e controlli ambientali

I sistemi di intelligenza artificiale utilizzati a supporto delle autorità di contrasto ai crimini, compresi quelli ambientali, sono qualificati dall'*Ai act* ad alto rischio (art. 6, comma 2 e allegato III, n. 6) – con applicazione della relativa restrittiva disciplina in tema di produzione e utilizzo. Inoltre, i reati ambientali rientrano tra quelli di cui all'allegato II, per i quali l'art. 5, comma 1, lett. h prevede la deroga al divieto di uso di sistemi di identificazione biometrica remota "in tempo reale" in spazi accessibili al pubblico a fini di attività di contrasto, quando "e nella misura in cui tale uso sia strettamente necessario" per "la localizzazione o l'identificazione di una persona sospettata di aver commesso un reato, ai fini dello svolgimento di un'indagine penale, dell'esercizio di un'azione penale o dell'esecuzione di una sanzione penale per i reati di cui all'allegato II, punibile nello Stato membro interessato con una pena o una misura di sicurezza privativa della libertà della durata massima di almeno quattro anni" (il divieto, ad esempio, non opera nel contrasto ai reati di attività organizzate per il traffico illecito di rifiuti di cui all'art. 452-quaterdecies TUA o di inquinamento o disastro ambientali di cui agli artt. 452-bis e quater c.p., puniti con una pena massima superiore a tale soglia).

Quanto alla polizia predittiva, la sua praticabilità va analizzata in relazione al divieto (art. 5, lett. d) di immissione sul

mercato, messa in servizio per tale finalità specifica o uso "di un sistema di Ia per effettuare valutazioni del rischio relative a persone fisiche al fine di valutare o prevedere la probabilità che una persona fisica commetta un reato, unicamente sulla base della profilazione di una persona fisica o della valutazione dei tratti e delle caratteristiche della personalità; tale divieto non si applica ai sistemi di Ia utilizzati a sostegno della valutazione umana del coinvolgimento di una persona in un'attività criminosa, che si basa già su fatti oggettivi e verificabili direttamente connessi a un'attività criminosa". La portata di tale divieto è spiegata dal considerando 42, per il quale: "In linea con la presunzione di innocenza, le persone fisiche nell'Unione dovrebbero sempre essere giudicate in base al loro comportamento effettivo. Le persone fisiche non dovrebbero mai essere giudicate sulla base di un comportamento previsto dall'Ia basato unicamente sulla profilazione, sui tratti della personalità o su caratteristiche quali la cittadinanza, il luogo di nascita o di residenza, il numero di figli, il livello di indebitamento o il tipo di automobile, senza che vi sia un ragionevole sospetto che la persona sia coinvolta in un'attività criminosa sulla base di fatti oggettivi verificabili e senza una valutazione umana al riguardo. Pertanto, dovrebbero essere vietate le valutazioni del rischio effettuate in relazione a persone fisiche intese a determinare il rischio che queste ultime commettano un reato o volte a prevedere il verificarsi di un reato effettivo o potenziale unicamente sulla base della loro profilazione o della valutazione dei loro tratti della personalità e delle loro caratteristiche. In ogni caso, tale divieto non fa riferimento né riguarda l'analisi del rischio che non è basata sulla profilazione delle persone o sui tratti della personalità e sulle caratteristiche delle persone, come i sistemi di Ia che utilizzano l'analisi dei rischi per valutare il rischio di frode finanziaria da parte di imprese sulla base di transazioni sospette o di strumenti di analisi del rischio per prevedere la probabilità di localizzazione di stupefacenti o merci illecite da parte delle autorità doganali, ad esempio sulla base di rotte di traffico conosciute". L'uso dell'Ia nella polizia predittiva nel campo degli illeciti ambientali deve quindi ritenersi consentita in tutti i casi in cui non si basi esclusivamente su condotte pregresse della persona fisica interessata ricavando il rischio da valutazioni unicamente personalistiche, ma, contemporaneamente:

- si fondi su dati oggettivi, quali la

struttura dell'organizzazione nella quale opera, i profili logistici e territoriali, i rapporti commerciali, l'analisi fiscale e i dati ricavabili dalle banche dati - sia finalizzato all'accertamento di un'attività criminosa.

A maggior ragione il divieto non si applica quando l'analisi di rischio riguarda la struttura organizzativa in sé e non la persona fisica che in essa opera (d'altra parte, sia la direttiva 27/04/2016, n. 2016/680/UE relativa alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali da parte delle autorità competenti a fini di prevenzione, indagine, accertamento e perseguimento di reati o esecuzione di sanzioni penali, nonché alla libera circolazione di tali dati, sia il Dlgs 18 maggio 2018, n. 51 che la recepisce fanno ripetuto riferimento, quale destinataria della tutela, alla persona fisica e, quale *ratio* della disciplina, alla protezione dei suoi dati personali).

Considerazioni finali

Dall'interpretazione critica delle esperienze illustrate, anche alla luce della conoscenza almeno elementare delle basi concettuali e tecniche dell'Ia, emergono alcuni aspetti che è opportuno mettere in evidenza.

I sistemi di Ia lavorano con una logica inferenziale e sono pronti a trasferire nelle loro analisi tutti gli errori, i pregiudizi e le limitazioni presenti nel *training set* utilizzato per il loro addestramento. Per questi motivi, gli esiti di ogni analisi effettuata attraverso intelligenza artificiale non devono essere utilizzati come un giudizio applicabile *tout court*, ma devono essere considerati essenzialmente come un supporto nell'ambito di indagini specifiche condotte da operatori addestrati e perfettamente consapevoli delle criticità presenti, o come un iniziatore di un percorso probatorio condotto poi sulla base di valutazioni umane esperte. I temi citati sono fortemente regolamentati, tra l'altro, nell'*Ai act*.

La validazione dell'affidabilità dei sistemi di Ia nella ricostruzione degli illeciti ambientali costituisce poi una condizione necessaria per l'ingresso nel processo penale dei dati da essi provenienti, se non quale prova scientifica, almeno quali indizi gravi, precisi e concordanti ai sensi dell'art. 192, comma 2 c.p.p.

La possibilità di avere a disposizione basi di dati estese e affidabili rappresenta poi

un fattore abilitante fondamentale per lo sviluppo di strumenti di Ia.

È quindi opportuno, anche ai fini della piena attuazione della direttiva (UE) 2024/1203 sulla tutela penale dell'ambiente, un impegno profondo sulla raccolta della casistica da utilizzare per l'impiego di strumenti di Ia nel campo della *compliance* ambientale nei Paesi europei ed extraeuropei, al fine di determinare standard essenziali per i database da utilizzare per lo sviluppo di sistemi di Ia e, non secondariamente, per la formazione del personale delle strutture pubbliche di controllo e della giurisdizione in campo ambientale.

È opportuno ricordare, per quanto riguarda il panorama normativo

italiano, che il recente Dlgs 103/2024 all'art. 9 detta l'obbligo di adottare misure di automatizzazione delle proprie attività, a fini di semplificazione, "ricorrendo a soluzioni tecnologiche, ivi incluse quelle di intelligenza artificiale in coerenza con il principio di proporzionalità al rischio". L'insieme dei fascicoli di impresa di cui alla L 580/1993, anch'esso richiamato nel decreto, può costituire la base sulla quale "addestrare" appositi sistemi di Ia, "al fine di [...] programmare l'attività ispettiva in ragione del profilo di rischio".

Tra l'altro, la massa di dati che dovrebbe essere inoltrata al Rentri (Registro elettronico nazionale per la tracciabilità dei rifiuti, Dm 4 aprile 2023, n. 59) ben potrebbe essere utilizzata da sistemi

di Ia in grado di individuare, anche in modo selettivo, criticità e contraddizioni. La previsione dell'uso del registro in questo senso, però, non è esplicita, e ciò rischia di non permettere lo sfruttamento profondo attraverso strumenti di Ia delle informazioni raccolte per un approccio sistemico per la prevenzione e la repressione dei crimini ambientali.

Pasquale Fimiani¹, Giuseppe Sgorbati²

1. Avvocato generale, Procura generale Corte di cassazione, membro del Comitato scientifico della Fondazione Occorsio per le attività nel campo della legalità ambientale

2. Già direttore tecnico scientifico di Arpa Lombardia, *special advisor* della ricerca "Intelligenza artificiale e illeciti ambientali" della Fondazione Occorsio

REFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Berk R.A., 2020, "Artificial intelligence, predictive policing and risk assessment for law enforcement", www.annualreviews.org.

Butti L., 2022, "Attribution science: la scienza che studia il possibile nesso causale tra alcuni eventi meteorologici estremi e il riscaldamento globale", *Rivista giuridica dell'ambiente*, www.rgaonline.it, n. 32.

Calisai F., 2021, "Intelligenza artificiale e ambiente", *Giust. civ.*, n. 4, 2021, 895.

Handan-Nader C., Ho D.E., 2019, "Deep learning to map concentrated animal feeding operations", *Nature Sustainability*, 2(4):298-306 2019.

Ciaralli C.A., 2023, "Intelligenza artificiale, decisione politica e transizione ambientale: sfide e prospettive per il costituzionalismo", *Federalismi*, 2023.

Cogode M., 2021, "L'impatto dell'intelligenza artificiale sulla profilazione", *Diritto di Internet*.

D'Avanzo W., 2019, "Le applicazioni dell'intelligenza artificiale a tutela dell'ambiente", *Diritto e giur. agraria e dell'ambiente*, n. 2.

D'Avanzo W., 2021, "Riflessioni di informatica giuridica per l'ambiente. Digitalizzazione pubblica e applicazioni di intelligenza artificiale", www.hal.science.it.

Di Florio M., 2021, "Il diritto penale che verrà. Brevi considerazioni sul possibile impiego dell'ia per prevenire il rischio di disastri colposi", www.archiviopenale.it.

Di Stefano V., 2023, "L'utilizzo della blockchain nel settore forestale per la prevenzione degli illeciti", *Diritto e giur. agraria e dell'ambiente*, n. 1.

Du L. et al., 2023, "Assessing and predicting the illegal dumping risks in relation to road characteristics", www.sciencedirect.com.

Epa, 2011, "National pollutant discharge elimination system (Npdes) concentrated animal feeding operation (Cafo) reporting rule", www.federalregister.gov

Epa, 2013, "Literature review of contaminants in livestock and poultry manure and implications for water quality report", <https://nepis.epa.gov>

Eea, 2021, "Digital technologies will deliver more efficient waste management in Europe", www.eea.europa.eu

Fimiani P., 2022, *La tutela penale dell'ambiente*, Giuffrè, Milano.

Fimiani P., Sgorbati G., 2022, "Ia e reati ambientali", in Atti del workshop organizzato dalla Fondazione Occorsio (19 novembre 2021), www.sistemapenale.it.

Fimiani P., Sgorbati G., 2023, "Artificial intelligence and its application in environmental crimes", in Atti della IV *Networks conference, Cooperation in strengthening environmental enforcement*, Roma, , www.environmentalprosecutors.eu

Francisco M., 2023, "Artificial intelligence for environmental security: national, international, human and ecological perspectives", www.sciencedirect.com

Graham J.P. et al., 2010, "Managing waste from confined animal feeding operations in the United States: the need for sanitary reform", www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

Kirsanova N. et al., 2021, "The use of digital technologies in the administration of justice in the field of environmental crime", www.e3s-conferences.org

Maher H. et al., 2022, "How Ai can be a powerful tool in the fight against climate change", www.preventionweb.net.

Mason C. (ed.), 2019, *Artificial intelligence and the environment. Ai blueprints for 16 environmental projects pioneering sustainability*, 978-1-7335248-0-3.

Nespor S., 2023, "L'attribution science e i danni provocati dal cambiamento climatico", www.rgaonline.it, n. 45.

Poccianti P., 2019, "Impatto ambientale: la grande sfida dell'Intelligenza artificiale", www.agendadigitale.eu.

Quaranta A., 2021, "Digitale e ambiente: strumenti di sostenibilità (al plurale)", *Ambiente&Sviluppo*, n. 2, 117.

Rolnick D. et al., 2019, "Tackling climate change with machine learning", www.arxiv.org

Ruggeri L., 2023, "Ambiente e tecnologie: nuove sfide per la tutela della persona", www.ambientediritto.it, n. 3.

Sabia R., 2020, "Artificial intelligence and environmental criminal compliance", *Revue Internationale de Droit pénal*, n. 1, 179.

Sharma R. et al., 2020, "Applying machine learning to predict illegal dumpsites", www.omdena.com

Spangaro A., 2022, "Profilazione e privacy. Il concetto di profilazione tra 'direttiva madre' e Gdpr", *Giur. it.*, n. 7, 1577.

Vigl L.E. et al., 2021, "Harnessing artificial intelligence technology and social media data to support cultural ecosystem service assessments", <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com>

Vinuesa R. et al., 2020, "The role of artificial intelligence in achieving the sustainable development goals", www.nature.com
World economic forum, 2018, *Harnessing artificial intelligence for the Earth*, www.weforum.org