

Biodiversità e Innovazione: Strategie per Generare Valore



Pubblicato da CNR Edizioni, 2025



This work is licensed under CC BY-SA 4.0
© Author(s)

Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma
www.edizioni.cnr.it
bookshop@cnr.it

Versioni in lingua italiana:
ISBN (ed. stampa) 978 88 8080 753 7
ISBN (ed. digitale) 978 88 8080 754 4

Versioni in lingua inglese:
ISBN (ed. stampa) 978 88 8080 755 1
ISBN (ed. digitale) 978 88 8080 756 8

Progettazione grafica e impaginazione:
Tancredi Pelà

Biodiversità e Innovazione: Strategie per Generare Valore

Biodiversità e Innovazione:
 Strategie per Generare Valore

CON IL CONTRIBUTO SCIENTIFICO DI:

Altiero Tiziana
 Ancillotto Leonardo
 Andreone Gemma
 Anzolini Chiara
 Arci Eleonora Andrea
 Asnaghi Valentina
 Azzurro Ernesto
 Badano Davide
 Baini Matteo
 Baldacchini Chiara
 Barbanti Andrea
 Baroli Maura
 Basile Maria Carmela
 Baudena Mara
 Benini Elisa
 Bernardini Ilaria
 Bianchelli Silvia
 Bolognini Luca
 Brandoli Sara
 Bertoli Gloria
 Biella Paolo
 Bonaldo Alessio
 Bonari Gianmaria
 Bongiorno Lucia
 Bordoni Rachele
 Bottaro Chiara
 Braga Lorenzo
 Branduardi Paola
 Brundu Gianni
 Brundu Giuseppe
 Bubacco Luigi
 Calfapietra Calo
 Calleri Enrica
 Campanaro Alessandro
 Campostrini Pierpaolo
 Canu Donata
 Capasso Salvatore
 Capotorti Giulia
 Caprio Enrico
 Carapelli Antonio
 Carbone Antonio
 Carboni Stefano
 Carranza Maria Laura
 Castiglione Stefano
 Catalano Chiara
 Celussi Mauro
 Cena Hellas
 Cerini Francesco
 Cerrano Carlo
 Cesaretti Agata
 Cesari Michele
 Chialva Matteo
 Chiantore Mariachiara
 Chiarucci Alessandro
 Chiocchini Raffaella
 Cicatelli Angela
 Citterio Sandra
 Clò Eleonora
 Commisso Mauro
 Coratella Riccardo
 Costabile Francesca
 Cucini Claudio
 Danovaro Roberto
 D'Angeli Chiara
 D'Agostino Fabio
 de Francesco Maria Carla
 De Biase Luca
 De Gara Laura
 de Jorio Rosata de Sangro Jean Paul Alex
 De Vita Daniela
 De Pascale Fabio
 Del Borghi Adriana
 Del Monte Maurizio
 Del Vico Eva
 De Falco Giovanni
 De Giuseppe Rachele
 Di Minin Alberto
 Di Pirro Elena
 Dusi Valentina
 Fabbri Elena
 Falace Annalisa
 Fanelli Emanuela
 Fares Silvano
 Fattorini Niccolò
 Ferrara Alessandra
 Ferretti Francesco
 Finizio Michele
 Fiorentino Luigi
 Fiorucci Paolo
 Florenzano Assunta
 Fogliini Federica
 Fossi Maria Cristina
 Frascchetti Simonetta
 Frati Francesco
 Frigerio Jessica
 Frohlichova Dana
 Funari Rebecca
 Galimberti Andrea x 2
 Gallo Michela
 Gambardella Chiara

Gambi Cristina
 Garaventa Francesca
 Genre Andrea
 Gentili Rodolfo
 Giangrande Adriana
 Gigli Giuseppe
 Giovannelli Alessio
 Giovannini Ilaria
 Gissi Elena
 Gisondi Silvia
 Goffredo Stefano
 Gorga Claudia
 Grande Valentina
 Guarino Francesco
 Guerra Monica
 Guidetti Roberto
 Guidi Nissim Werther
 Guzzetti Lorenzo
 Guzzo Flavia
 Iacono Roberta
 Iamónico Duilio
 Iaria Jacopo
 Kosakyan Anush
 Labra Massimo
 Lanfranco Luisa
 La Marca Claudia Emanuela
 Lapenna Annarita
 La Torre Mattia
 Lazzarini Luca
 Lenzi Alice
 Lepore Laureta
 Lucchetti Alessandro
 Luna Gian Marco
 Luini Letizia
 Magnani Marta
 Majone Costanza
 Malorgio Giulio
 Maricchiolo Giulia
 Mekonnen Damtew Haregewoin
 Menegon Stefano
 Mercuri Anna Maria
 Mereu Simone
 Migliorini Massimo
 Milan Massimo
 Mirto Simone
 Mocavini Giorgio
 Montagnani Chiara
 Montaldi Alessandro
 Moracci Marco
 Mori Emiliano
 Moro Isabella
 Mortada Aya
 Moulins Aurelie
 Mulazzani Alessandro
 Musco Luigi
 Nardi Francesco
 Necci Francesca
 Negri Stefano

Paciaroni Sofia
 Pallari Noemi
 Paoletti Elena
 Paoli Chiara
 Parenti Claudia
 Pastore Maria Chiara
 Persico Greta
 Pezzilli Claudia
 Pica Alessia
 Pioltelli Emiliano
 Piovesan Gianluca
 Prampolini Mariacristina
 Prato Gianluigi
 Punzo Elisa
 Quero Maria Grazia
 Randazzo Basilio
 Ramieri Emiliano
 Rasotto Mariella
 Rebecchi Lorena
 Regoli Francesco
 Ricucci Cristina
 Ridolfi Melissa
 Rinaldi Francesca
 Rindi Fabio
 Rondinini Carlo
 Rossi de Gasperis Sarah
 Rosso Massimiliano
 Rufo Fabrizio
 Ruggeri Francesca
 Saggio Isabella
 Saltari Lorenzo
 Santoianni Lucia Antonietta
 Saponi Francesco
 Sarà Gianluca
 Sarno Diana
 Scarnecchia Giorgio
 Sgarbi Elisabetta
 Solidoro Cosimo
 Sommaggio Daniele
 Sona Giovanna
 Spano Donatella
 Stanisci Angela
 Steccanella Valeria
 Stefanini Irene
 Tasseti Anna Nora
 Tepsich Paola
 Testa Francesco
 Todaro Antonio
 Tommasi Nicola
 Toniolo Chiara
 Traina Anna
 Valeri Simone
 Valle Barbara
 Varricchione Marco
 Vassallo Paolo
 Vezzulli Luigi
 Zappa Jessica
 Zarra Felice

CON IL CONTRIBUTO ORGANIZZATIVO E GESTIONALE DI:

Carbone Antonio
De Biase Luca
Fiorentino Luigi
Frohlichova Dana
Jean Paul De Jorio
Lepore Laureta
Mekonnen Damtew Haregewoin
Paciaroni Sofia
Ridolfi Melissa
Rossi de Gasperis Sarah

CON IL SUPPORTO GRAFICO DI:

Bricalli Martina
Pelà Tancredi

Indice

Prefazione**Introduzione****1.****I ricercatori della biodiversità**

1.1 I numeri di NBFC

2.**Il valore della Biodiversità Marina**

2.1 Conservare la biodiversità marina in Italia
2.2 Implementare la conservazione della biodiversità marina
2.3 Monitoraggio in ambiente marino
2.4 NBFC per il restauro marino
2.5 Pesca sostenibile per la tutela degli ecosistemi
2.6 Pianificazione dello spazio marittimo
2.7 I contaminanti emergenti e gli impatti sulla biodiversità marina

3.**Il valore della Biodiversità Terrestre**

3.1 La conservazione della biodiversità terrestre
3.2 Analisi dei processi dinamici nelle aree protette
3.3 Governance delle aree protette
3.4 Caratterizzare e proteggere le riserve integrali
3.5 Conoscere la Biodiversità terrestre e d'acqua dolce: *every species counts*
3.6 Gli insetti italiani: patrimonio di biodiversità e servizi ecosistemici
3.7 La biodiversità dei mammiferi: specie invasive, biodiversità urbana e risposta ai cambiamenti climatici
3.8 Caratterizzazione e tracciabilità del materiale forestale di base per il ripristino ecosistemico
3.9 La citizen science per il monitoraggio di specie terrestri e il public engagement

4.**Il valore della Biodiversità Urbana**

4.1 Le città come opportunità per la biodiversità
4.2 I numeri della biodiversità urbana
4.3 Gli ecosistemi urbani
4.4 La biodiversità microbica dei suoli urbani
4.5 Il sequestro di carbonio nei suoli urbani
4.6 Pianificare per la biodiversità: i Piani del verde in Italia
4.7 Biodiversità urbana e impatto ambientale
4.8 Gestione delle aree urbane per potenziare il restauro della biodiversità urbana
4.9 Restauro e afforestazione in aree urbanizzate in Italia: metodologie e prospettive nell'attuale contesto climatico

5.**Biodiversità, salute e benessere**

5.1 I numeri della Biodiversità, per il benessere e la salute
5.2 Evoluzione, Biodiversità e One Health
5.3 Le molecole bioattive della flora italiana
5.4 Esposoma e salute dell'uomo
5.5 Vivere nella biodiversità

6.**Biodiversità e Biotecnologie**

6.1 Biodiversità microbica a sostegno di bioprocessi innovativi e della circolarità delle risorse a supporto delle esigenze urbane
6.2 Biodiversità microbica e salute degli ecosistemi
6.3 Il *genome mining* per la scoperta di nuove potenziali *cell factories*

7.**Valore economico della Biodiversità**

7.1 Stime di valore della biodiversità
7.2 Il valore economico della biodiversità in Italia
7.3 Strategie Nature Positive: ripensare il rapporto tra sviluppo e biodiversità
7.4 Le strategie Nature Positive in Italia
7.5 Portare valore al mercato
7.6 La strategia della biodiversità: la Natura come partner co-evolutivo dell'impresa rigenerativa

8.**Il futuro della biodiversità parte dalla società**

8.1 Biodiversità in dialogo: strategie e linguaggi per coinvolgere tutti
8.2 Connessioni vitali: esperienze per comunicare la biodiversità
8.3 Il Biodiversity Gateway: uno spazio open access per cittadini, educatori e studenti

9.**Il regolamento europeo sul ripristino della natura e il ruolo del NBFC**

9.1 I vincoli nel regolamento UE sul ripristino della natura
9.2 La base giuridica, i destinatari del regolamento europeo, la sua attuazione
9.3 Per un sistema nazionale di "crediti per il ripristino della biodiversità"
9.4 NBFC e le azioni di sostegno per l'attuazione del ripristino della biodiversità

Bibliografia

Prefazione

La biodiversità non è solo un patrimonio naturale da tutelare: è la trama vivente che sostiene il benessere delle società umane, la resilienza degli ecosistemi e la stabilità dei processi evolutivi. In un contesto globale segnato da cambiamenti rapidi e spesso irreversibili come quello in cui viviamo oggi, comprendere, monitorare e ripristinare la biodiversità richiede un approccio scientifico integrato, capace di superare le barriere disciplinari, istituzionali e territoriali.

Il National Biodiversity Future Centre, oggi al terzo anno di progetto, rappresenta un modello virtuoso di collaborazione transdisciplinare. Esso svolge un duplice ruolo: da un lato è un punto di convergenza per tutti quegli studiosi che da tempo operano nel campo della biodiversità, offrendo loro una piattaforma sinergica in cui condividere dati, metodologie e visioni; dall'altro si impegna attivamente nella formazione e valorizzazione di una nuova generazione di ricercatrici e ricercatori, perché riconoscere il ruolo centrale dei giovani significa garantire continuità alla ricerca, ma anche arricchirla di nuovi sguardi, nuove domande e nuove sensibilità.

La rete che così si forma non solo amplifica l'efficacia delle azioni scientifiche, ma favorisce l'emergere di nuove prospettive grazie alla contaminazione tra saperi e approcci differenti. Grazie alle attività portate avanti dalla comunità di NBFC siamo in grado di raccogliere e analizzare dati aggiornati sullo stato della biodiversità su scala nazionale, ma soprattutto di generare nuove conoscenze attraverso il confronto tra esperienze e competenze diverse: dalla genetica agli approcci One Health, dalle Nature-based Solution alla sostenibilità economica, dalla Citizen Science alle nuove tecnologie per il monitoraggio ambientale.

Ma il valore dell'integrazione si estende anche oltre i confini della ricerca accademica. Una parte centrale dell'impegno di NBFC è rivolta alla divulgazione scientifica, alla partecipazione pubblica e al coinvolgimento diretto della cittadinanza. Rendere accessibili i dati, tradurre le evidenze scientifiche in linguaggi comprensibili, favorire la partecipazione attiva attraverso iniziative di Citizen Science e progetti educativi significa rafforzare il legame tra scienza e società e generare una consapevolezza diffusa e radicata. Solo attraverso una cittadinanza informata e partecipe è possibile costruire politiche di tutela ambientale efficaci, durature e condivise.

L'integrazione e la diffusione delle conoscenze rappresentano, in questo senso, un autentico valore evolutivo. Come gli ecosistemi più diversificati risultano più resilienti, anche le reti scientifiche e sociali più eterogenee, coese e inclusive riescono ad adattarsi meglio alle sfide emergenti. Lavorare in sinergia favorisce la nascita di linguaggi comuni, strumenti condivisi, strategie più efficaci. È in questo crocevia tra co-

noscenza e azione che si genera innovazione e si rafforza la capacità di trasformare la tutela della biodiversità in un investimento concreto per il benessere collettivo.

Guardando al futuro, il National Biodiversity Future Centre si pone l'obiettivo di consolidare il proprio ruolo non solo a livello nazionale, ma anche nello scenario internazionale, come attore attivo nelle grandi sfide globali legate alla biodiversità. Le collaborazioni già in corso – come quella ormai consolidata con le istituzioni di ricerca cinesi – testimoniano la vocazione internazionale di NBFC e la sua volontà di costruire ponti tra comunità scientifiche, promuovere il dialogo tra Paesi, condividere dati, esperienze e strategie, per rendere più efficace l'azione scientifica e trasformare le buone pratiche sviluppate localmente in modelli replicabili su scala più ampia.

In questo orizzonte, il National Biodiversity Future Centre intende continuare a crescere come infrastruttura aperta, autorevole e connessa, capace di coniugare ricerca d'eccellenza, formazione di giovani talenti, partecipazione attiva della cittadinanza e cooperazione oltre confine.

Lavorare per la conservazione e la valorizzazione della biodiversità oggi significa, quindi, non solo proteggere ciò che esiste, ma anche costruire visioni comuni, fondate su dati solidi e animate da una cooperazione autentica e da un impegno collettivo, verso un futuro più sostenibile.

In questo percorso, NBFC non si sovrappone né si sostituisce alle realtà esistenti, ma le valorizza e le connette, rafforzando l'impatto di ogni contributo attraverso la cooperazione e lo sviluppo di strategie comuni.

Luigi Fiorentino
Presidente di NBFC

Introduzione

La biodiversità rappresenta una delle risorse più preziose per il nostro Paese: è essenziale non solo per il mantenimento degli equilibri ecologici e per la fornitura di servizi ecosistemici, ma anche come motore di innovazione e fonte di valore economico, ambientale, sociale e culturale. Integrare il potenziale della biodiversità nei processi di innovazione è cruciale per costruire strategie di sviluppo sostenibile. L'innovazione può attivare questo potenziale, ma lo fa arrivandoci tramite ondate di "creazione distruttrice", come scriveva l'economista Joseph Schumpeter. La Deep Science è la primaria fonte da cui questo percorso di innovazione radicale prende vita, e l'innovazione che parte da scienza e tecnologia molto spesso abilita l'implementazione di conseguenze inattese. Nuovi prodotti, nuovi modelli di business difficilmente pensabili ex ante sono il risultato di questa maturazione. Stimolare, gestire e sfruttare questo potenziale è fondamentale per il progresso della nostra società, per raggiungere uno sviluppo davvero sostenibile. Ecco perché l'innovazione guidata dalla Deep Science è al centro dei Framework Program della Comunità Europea, e la biodiversità è al centro di questi programmi.

In questo contesto, la ricerca scientifica condotta da NBFC svolge un ruolo fondamentale. Non solo consente di monitorare lo stato di conservazione della biodiversità e la qualità degli habitat, ma si ispira anche alla natura per generare nuovi prodotti e processi. Nell'ultimo anno, molte delle attività di NBFC hanno dato origine a Key Exploitable Results (KERs), risultati innovativi che producono impatti concreti sul territorio. I KERs, infatti, offrono un valore sfruttabile a livello commerciale, sociale, scientifico e politico.

Parliamo di strumenti innovativi per la pianificazione territoriale, software per l'identificazione di nuove molecole farmacologiche e nutraceutiche, tecnologie per la bonifica di aree contaminate. Sono stati sviluppati database interrogabili per valutare gli effetti di interventi antropici, come la costruzione di infrastrutture o i progetti di forestazione. Inoltre, dallo studio dei microrganismi sono stati individuati nuovi enzimi capaci di sostituire catalizzatori inquinanti nei processi industriali, favorendo produzioni più sostenibili.

Tutto ciò avviene in un contesto inedito. Nel suo libro "I robot e noi", la Presidente del CNR Maria Chiara Carrozza ci ricorda che per la prima volta nella storia dell'umanità, la rivoluzione industriale che stiamo vivendo persegue una doppia sostenibilità. Non ci stiamo esclusivamente ponendo un obiettivo di sostenibilità economica. Abbiamo oggi più presente la necessità di preservare e migliorare il rapporto tra uomo e natura. Questa è una novità. Torniamo indietro a inizio Ottocento. Guardiamo le raffigurazioni di Manchester, dell'allora capitale della prima vera rivoluzione industriale. Il cielo denso di nubi che avvolge la città e i fumi sprigionati da centinaia di ciminiere ci confermano che la sostenibilità ambientale e il presidio alla salute pubblica (oggi diremmo il concetto di One Health) avessero dovuto fare un passo indietro rispetto al balzo in avanti che le nuove tecnologie alimentate da vapore e carbone andavano a promettere.

Con NBFC abbiamo imparato che la natura, nelle sue molteplici forme, è una fonte inesauribile di ispirazione per affrontare la sfida della doppia sostenibilità: economica e ambientale. Le Nature-Based Solutions (NBS) offrono risposte concrete per migliorare la qualità dell'ambiente e della biodiversità, con effetti positivi diretti sul benessere umano. Attraverso la valorizzazione della biodiversità possiamo migliorare la nostra alimentazione, depurare le acque e purificare l'aria delle città. La valorizzazione della biodiversità, in altri termini, pone ad imprese piccole e grandi nuove occasioni per differenziarsi e competere. Ciò porta sempre più aziende e istituzioni ad avvicinarsi a queste tematiche. Questo avvicinamento è avvenuto principalmente per una necessità legata a esigenze normative.

Le aziende si avvicinano alla biodiversità perché la corretta gestione del capitale naturale viene sempre più spesso messa al centro di questioni rendicontative, agevolazioni, linee di finanziamento. Alcune di loro però si stanno progressivamente rendendo conto che la ricerca sulla biodiversità può essere fonte di nuovo vantaggio competitivo. La natura apre nuovi mercati, la sua comprensione garantisce la risposta a esigenze di consumatori più consapevoli e anticipa lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi che possono garantire un futuro ai gruppi imprenditoriali che li promuovono. Passare da un approccio legato alla risposta a obblighi di legge, ad un approccio generativo, richiede un cambio radicale di mentalità, ed il passaggio ad un orientamento strategico dove appunto la biodiversità viene percepita come la soluzione da implementare.

Studiosi di management stanno affrontando questa sfida molto seriamente, rendendosi sempre più consapevoli che integrare ricerca, innovazione e sviluppo nell'ambito della biodiversità e nelle aziende non è solamente una questione tecnica. Si tratta di un adattamento ontologico, epistemologico, di teoria dell'impresa. Nuovi prodotti, tecnologie e modelli di business possono essere il fine ultimo di una ricerca applicata che valorizza il capitale naturale, e trae ispirazione dalla natura. La biomimetica e la biorobotica ne sono un esempio evidente: studiare la struttura e la funzione degli organismi viventi può condurre a soluzioni ingegneristiche e tecnologiche all'avanguardia.

Trasformare la biodiversità in innovazione concreta e in valore duraturo richiede un impegno collettivo e sinergico. L'investimento nella ricerca scientifica è centrale, ma è altrettanto importante costruire partenariati tra imprese, istituzioni e comunità locali per valorizzare il capitale naturale del nostro Paese. In questo quadro, NBFC si configura come un catalizzatore strategico: grazie alla sua struttura diffusa e alla presenza capillare sul territorio, il Centro supporta azioni concrete di sostenibilità nei processi industriali, promuovendo un uso responsabile delle risorse biologiche. Un ulteriore compito fondamentale di NBFC è sensibilizzare la società sull'importanza della biodiversità, evidenziando come essa possa non solo creare opportunità di occupazione, ma anche elevare il benessere collettivo.

Biodiversità e innovazione non sono concetti separati, ma parti interconnesse di un'evoluzione necessaria verso un futuro sostenibile. Generare valore dalla biodiversità non significa soltanto trarne vantaggi economici, ma riconoscere il ruolo centrale della natura nella nostra vita. Solo attraverso la conoscenza e la tutela del capitale naturale sarà possibile costruire soluzioni concrete per il benessere globale.

Massimo Labra
Direttore Scientifico di NBFC

Alberto Di Minin
Direttore Innovazione di NBFC

01

I ricercatori della biodiversità

1.1 I numeri di NBFC

CHI SIAMO



PERSONALE RECLUTATO

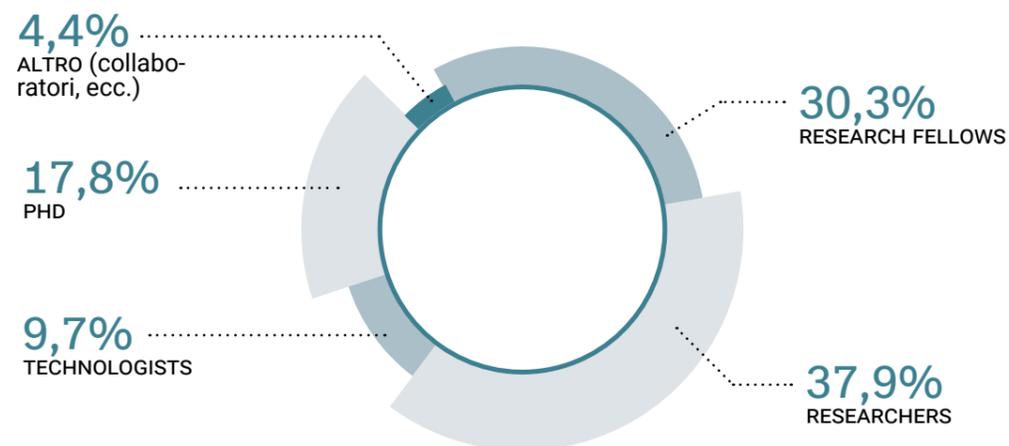
PROVENIENZA GEOGRAFICA



FASCE DI ETÀ



GENERE



I NUMERI DEI DATI



LE PUBBLICAZIONI



PRESENZA SOCIAL



COINVOLGIMENTO DELLE IMPRESE (PMI)

È stato promosso un bando dedicato a integrare le imprese nelle attività di ricerca del centro.



COINVOLGIMENTO DI PARCHI E AREE MARINE PROTETTE

È stato promosso un bando dedicato a integrare parchi e aree protette nelle attività di ricerca del centro.



BANDO DI RICERCA E INNOVAZIONE PER PMI

153

IMPRESE
CANDIDATE

81

IMPRESE
FINANZIATE

LA FORMAZIONE

I NUMERI DEL DOTTORATO NAZIONALE IN BIODIVERSITY



25 ISTITUZIONI/AZIENDE
private coinvolte

A.A. 2023/2024

34

BORSE
ASSEGNATE

85%

UNDER 30

21

FEMMINE

13

MASCHI

A.A. 2024/2025

56

BORSE
ASSEGNATE

75%

UNDER 30

34

FEMMINE

22

MASCHI



2
MASTER



MASTER IN
ONE HEALTH



MASTER IN
MUSEOLOGIA SCIENTIFICA

13 SCUOLE DI SPECIALIZZAZIONE E CORSI DI ALTA FORMAZIONE

- Corso di Alta Formazione in "Museologia, Tassonomia e Comunicazione Scientifica", Università di Roma La Sapienza, 2023/2024
- Corso di Alta Formazione "Scienza in Pubblico ed Empowerment", Università di Roma La Sapienza, 2023/2024
- Corso di Formazione "Citizen Science", Università di Siena, 2024/2025
- Scuola Stagionale "Biodiversity and Business: from Research to Impact"
- Scuola Superiore Sant'Anna, prima edizione 2023/2024, seconda edizione, 2024/2025
- Winter School in "Interdisciplinary Biodiversity"
- Università Ca' Foscari di Venezia, in collaborazione con CNR ISMAR, 2024/2025 Winter School di "Morfologia pollinica: parametri, tassonomia ed evoluzione"
- Università di Modena e Reggio Emilia, 2025-Spoke 3
- School of Higher Education in Biodiversity Topics: "Trait-based ecology: from theory to R tools" - Università di Palermo Spoke 1 - 31/03-04/04-2025 (Palermo)
- Workshop "La Tassonomia in Italia": Palermo 15-16 aprile 2025 - CNR ISMAR & University of Palermo
- School of Higher Education in Biodiversity Topics: "Intensive training on brown seaweed taxonomy with a focus on Mediterranean Sargassaceae and Dictyotaceae" - Università di Palermo Spoke 1 - 26-30/05/2025 (Palermo)
- School of Higher Education in Biodiversity Topics: "Tassonomia dei Poriferi del Mar Mediterraneo" Università di Palermo Spoke 1 - 14- 07-11/07/2025 (Genova)
- School of Higher Education in Biodiversity Topics: "Tassonomia delle Gorgonie e dei Coralli neri del Mar Mediterraneo" Università di Palermo Spoke 1 - 14- 18/07/2025 (Genova)
- School of Higher Education in Biodiversity Topics: "Tassonomia degli Hydrozoa" Università di Palermo Spoke 1 - 1-6/09/2025 (Napoli)
- School of Higher Education in Biodiversity Topics: "Tassonomia degli Scyphozoa" Università di Palermo Spoke 1 - 8-12/09/2025 (Napoli)

02

Il valore della Biodiversità Marina

2.1 Conservare la biodiversità marina in Italia

Attualmente sappiamo che: la superficie protetta nazionale (al netto di sovrapposizioni di aree naturali protette, in acronimo EUAP - Siti Natura2000) è di 5.400.000 ha, pari al 15,5 % delle acque territoriali e ZPE (Zona di Protezione Ecologica).

Per raggiungere l'obiettivo per il 2030 del 30% di aree sotto protezione occorre un incremento del 14,5% (pari a 5.300.000 ettari).

Questo target potrebbe essere raggiunto tramite:

- l'istituzione di nuove aree protette nazionali e regionali;
- l'ampliamento di quelle esistenti;
- l'individuazione di altre efficaci misure di conservazione (Other Area Based Effective Conservation Measure, OECM);
- il completamento della rete Natura 2000 (nelle acque territoriali e nella ZPE);
- il miglioramento della gestione delle aree protette (Stati Generali AAPP, dicembre 2024) (fonte ISPRA).

L'inclusione di OECM, ovvero i siti al di fuori delle aree protette che sono gestiti in modo da garantire la conservazione in situ a lungo termine della biodiversità, è considerato un intervento adeguato per raggiungere il 30% di protezione del territorio marino italiano. In particolare, con il piano 30x30 si prevede il divieto di pesca a strascico a profondità superiori ai 1000 metri, la protezione degli habitat bentonici marini (Ecosistemi Marini Vulnerabili), il divieto di pesca nelle Fishery Restricted Area (FRA) che ospitano habitat essenziali per la fauna ittica (EFHs), alcuni dei quali si trovano vicino alle acque italiane (Fossa di Pomo, al largo di Santa

Maria di Leuca, e due nello Stretto di Sicilia), il raggiungimento del 10% è previsto garantendo che le AMP italiane (non solo le zone A, completamente protette, e B, altamente protette) siano soggette a "protezione rigorosa", attuando misure efficaci per i siti Natura 2000, istituendo nuove AMP (comprese quelle oltre le 12 miglia nautiche).

Grazie agli approfondimenti scientifici e alle evidenze raccolte nei primi due anni di attività del Centro, gli scienziati degli Spoke "Mare" si stanno affermando come interlocutori autorevoli a livello locale, regionale e nazionale, promuovendo con forza la necessità di intraprendere azioni concrete affinché almeno alcune porzioni delle Aree Marine Protette (AMP) italiane siano destinate a una protezione rigorosa.

Allo stesso modo si ritiene importante che la pesca artigianale locale, sostenibile e adeguatamente regolamentata, possa continuare a essere praticata, con il coinvolgimento diretto delle comunità di pescatori. NBFC supporta questo processo di miglioramento della conservazione della biodiversità marina attraverso:

- 1 | Caratterizzazione dello stato della biodiversità all'interno e all'esterno di una selezione di Aree Marine Protette (AMP) italiane, in diversi contesti ambientali e a 20 anni di distanza da un primo monitoraggio coordinato;
- 2 | Determinazione dello stato ecologico di habitat come gli habitat rocciosi (che sono anche i più rappresentati nelle aree marine protette) ed esplorazione della relazione tra le pressioni antropiche e le condizioni ecologiche di tali habitat;
- 3 | Identificazione di aree idonee alla conservazione al fine di ampliare l'attuale sistema di conservazione al fine di raggiungere gli obiettivi del 30x30 e del 10x10.

I risultati di maggior impatto evidenziano che in 14 Aree Marine Protette a distanza di 20 anni che, per la maggior parte delle AMP, evidenze di recupero degli ambienti protetti rimangono rari, con pochi esempi di differenze significative in un confronto tra aree completamente protette e non protette. Tali dati suggeriscono la necessità di migliorare la gestione, il monitoraggio e i controlli locali per rafforzare l'efficacia dell'attuale sistema di conservazione.

Grazie ad un'analisi condotta utilizzando l'Ecosystem-Based Quality Index per valutare lo stato ecologico e la relazione tra le pressioni antropiche e le condizioni degli habitat rocciosi, emergono segnali rilevanti di regressione in habitat ecologicamente importanti, come le foreste di macroalghe. Tuttavia, emergono anche indicazioni di un miglioramento generale dello stato ecologico, nel tempo.

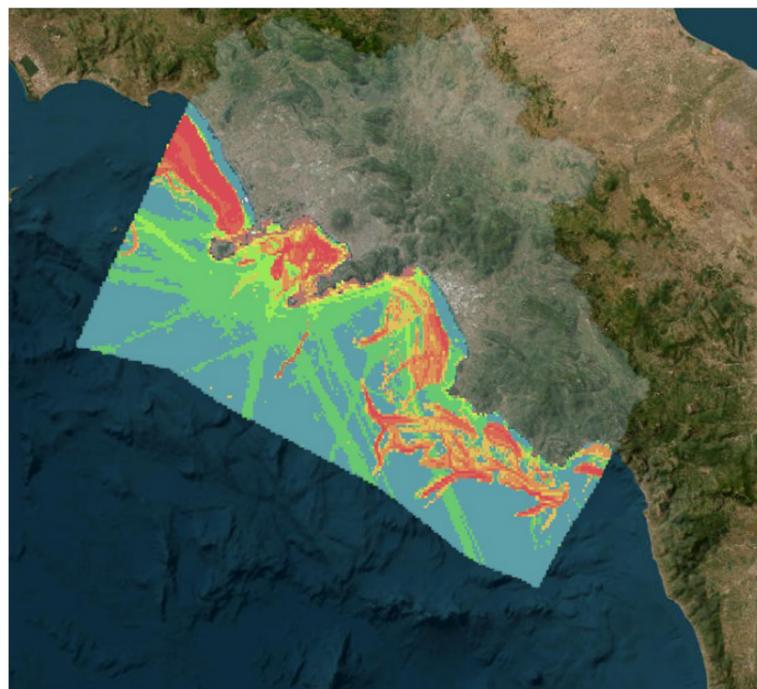
2.2 Implementare la conservazione della biodiversità marina

NBFC ha indagato il potenziale di raggiungere l'obiettivo di conservazione 30x30 in diverse regioni italiane, adottando i principi della Pianificazione Sistemica della Conservazione (Systematic Conservation Planning - SCP). La SCP offre un processo strutturato che comprende la definizione degli obiettivi di conservazione (ad esempio, massimizzare la rappresentatività della biodiversità all'interno delle aree protette), la raccolta di dati georeferenziati sulle componenti di interesse conservazionistico e sulle attività socio-economiche, e l'utilizzo di algoritmi matematici per individuare soluzioni spaziali esplicite di pianificazione ("prioritizzazione"), a supporto dell'attuazione di strategie volte al raggiungimento degli obiettivi (Giakoumi et al., 2025). Come esempio concreto di applicazione di questo approccio, si riportano i primi risultati ottenuti per la regione Campania, che con circa 400 km di costa rappresenta un caso emblematico di hotspot di biodiversità in un contesto marino fortemente antropizzato.

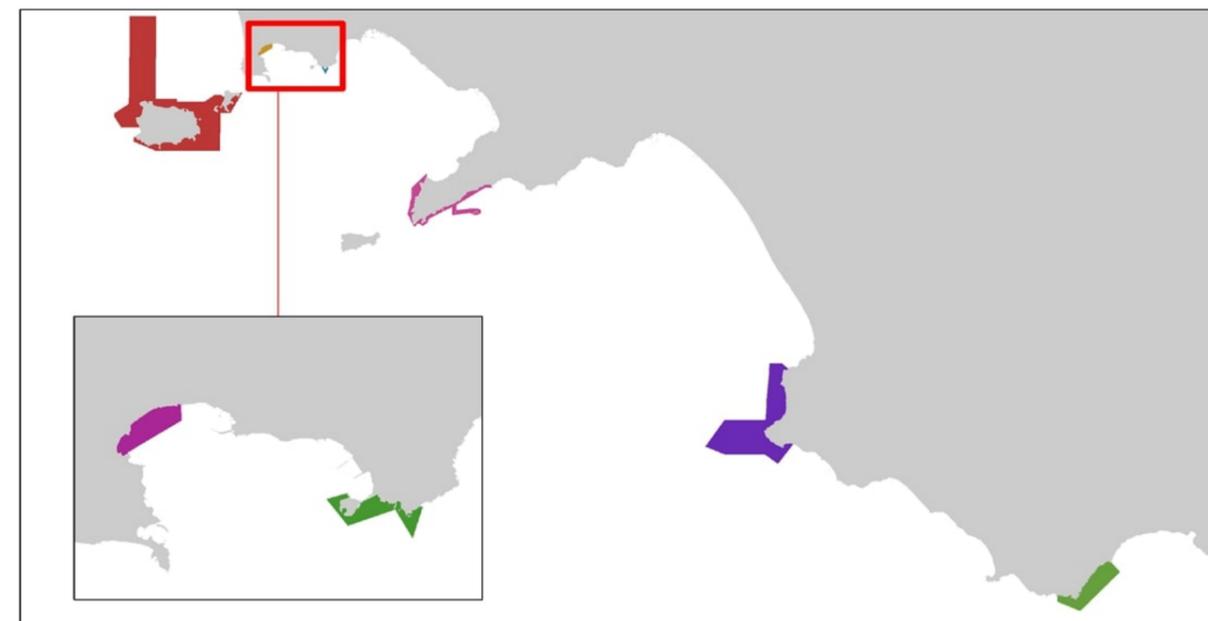
Attualmente, circa il 7% del mare regionale è sottoposto a regimi di protezione, distribuito tra Aree Marine Protette (1,6%), Siti Natura 2000 (4,9%) e aree a protezione integrale (0,1%). Le analisi hanno considerato sia le principali componenti di biodiversità (formazioni

a coralligeno, praterie di fanerogame marine, foreste di macroalghe, letti di maërl, banchi di ostriche profondi, aree importanti per mammiferi marini, avifauna marina e specie ittiche), sia le pressioni antropiche più rilevanti (acquacoltura, pesca industriale e artigianale, trasporto marittimo, turismo, urbanizzazione). Utilizzando il software Marxan with Zones, è stato possibile costruire scenari spaziali che integrano obiettivi di conservazione e di gestione sostenibile delle attività socio-economiche, simulando soluzioni ottimali per il raggiungimento dei target del 30% di protezione totale e del 10% di protezione rigorosa previsti dal Global Biodiversity Framework. I risultati mostrano che, pur riuscendo a includere le aree già protette, il raggiungimento del 30% richiede l'individuazione di nuove aree a basso conflitto d'uso, prevalentemente in zone offshore.

Approcci analoghi sono attualmente in corso di applicazione anche in numerose altre regioni marine italiane, nell'ambito delle attività coordinate da NBFC. L'adozione di una metodologia condivisa e scientificamente robusta contribuisce a costruire una visione nazionale integrata per la conservazione marina, in linea con gli obiettivi della Strategia Europea sulla Biodiversità.

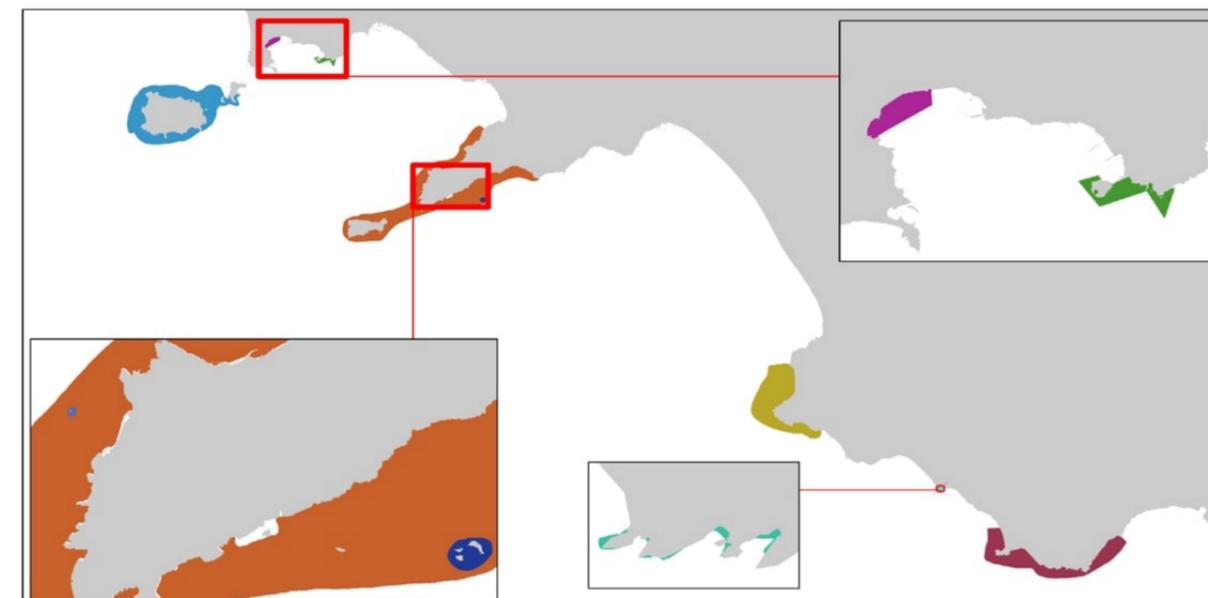


Distribuzione spaziale degli usi antropici considerati nelle analisi. I diversi colori corrispondono ad un gradiente di sovrapposizione.



AMP Campania

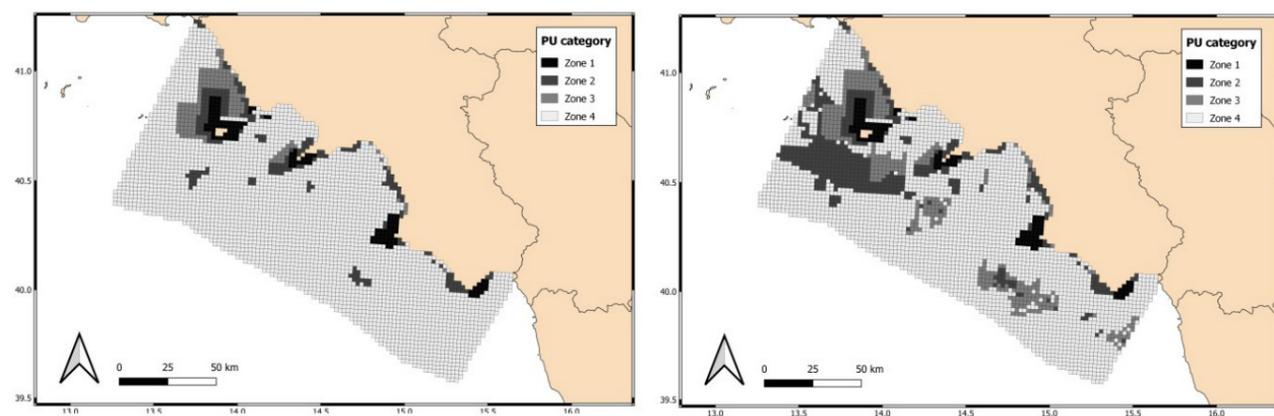
- Area marina protetta Costa degli Infreschi e della Masseta
- Area marina protetta Regno di Nettuno
- Area marina protetta Punta Campanella
- Area marina protetta Santa Maria di Castellabate
- Parco sommerso di Baia
- Parco sommerso di Gaiola



RETE Natura 2000

- Fondali Marini di Baia
- Fondali Marini di Gaiola e Nisida
- Fondali marini di Ischia; Procida e Vivara
- Fondali marini di Punta Campanella e Capri
- Isolotti Li Galli
- Parco marino di Punta degli Infreschi
- Parco marino di S. Maria di Castellabate
- Punta Campanella
- Scoglio del Vervece
- Stazione a Genista cilentana di Ascea

Rappresentazione grafica dello stato attuale della conservazione lungo le coste della regione Campania.



Risultati ottenuti con Marxan with Zones a scala regionale.

IL PROMONTORIO DI PORTOFINO

Uno zoom in un'area iconica, hotspot di biodiversità e di informazioni scientifiche.

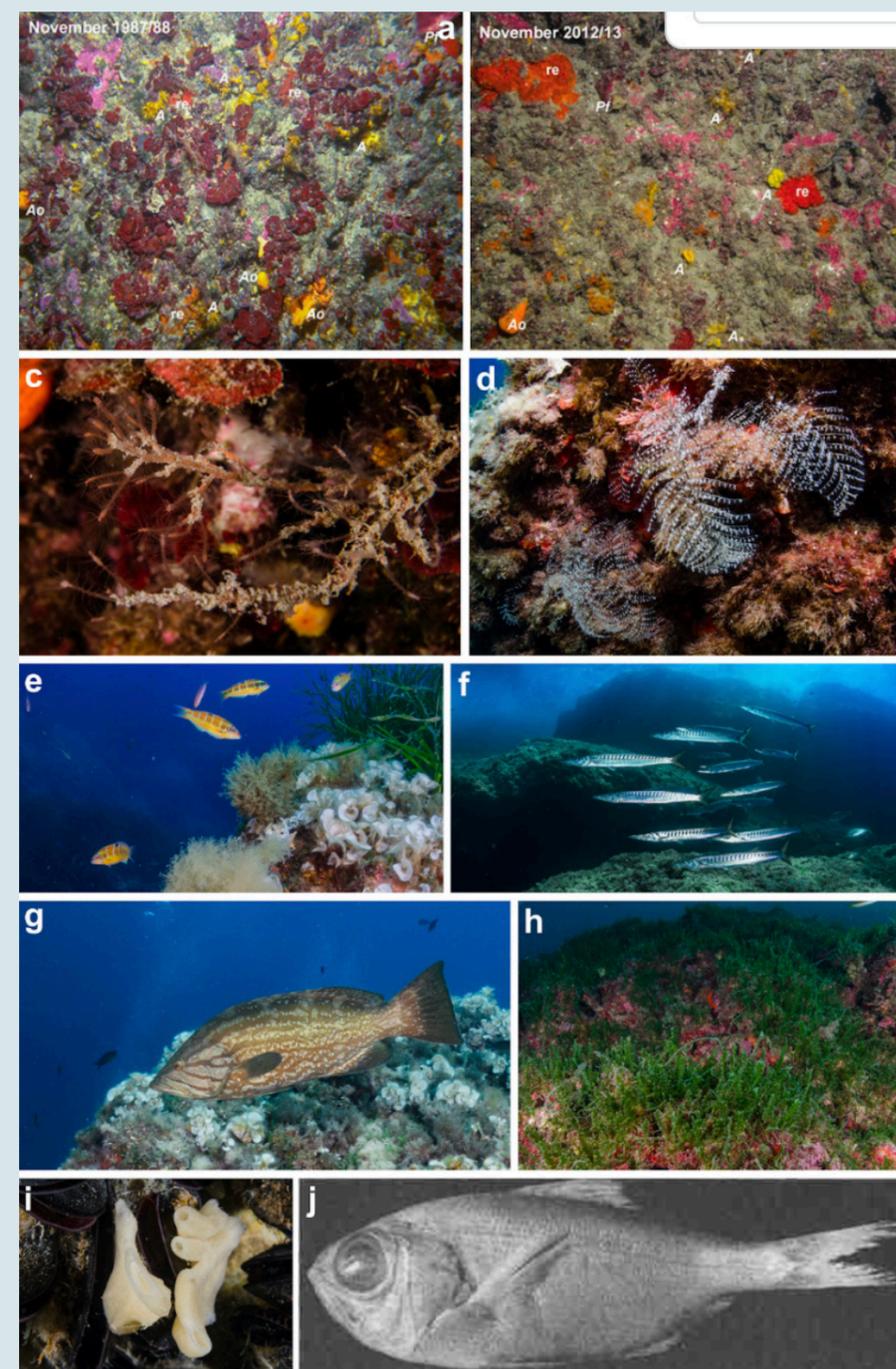
Portofino, AMP dal 1999, è oggi riconosciuto come una delle aree più conosciute al mondo per quanto riguarda le comunità biologiche marine e le loro dinamiche temporali, in particolare in relazione ai cambiamenti climatici attuali. NBFC ha analizzato l'impatto a lungo termine delle attività antropiche solo dopo il primo decennio di questo secolo, grazie all'ampia mole di dati raccolti nel corso degli ultimi 30–40 anni.

Le analisi hanno evidenziato una riduzione della diversità delle specie, in particolare nei mesi estivi, uno spostamento del ciclo vitale verso il periodo più freddo per numerose specie tipiche dell'estate e la discesa a profondità maggiori di alcune specie di superficie. Queste tendenze risultano coerenti con l'aumento della temperatura delle acque. Studi successivi effettuati nel 2018 hanno confermato la forte riduzione della diversità di specie appartenenti al gruppo tassonomico degli idrozoi, l'arrivo o la permanenza prolungata di specie termofile e l'anticipazione dei cicli vitali in termini di picchi di abbondanza e fertilità.

È stata inoltre osservata una significativa riduzione delle macroalghe brune che occupano le rocce più superficiali di Portofino, con conseguente diminuzione della tridimensionalità dell'habitat. Risultati simili sono stati ottenuti confrontando la comunità presente su 6 m² di scogliera a Paraggi, tra i 15 e i 20 metri di profondità, a 25 anni di distanza (Figura xa,b). I risultati hanno mostrato una netta riduzione della copertura

algale, in particolare della componente frondosa. Più complessi i risultati relativi ai poriferi: alcune specie sono diminuite, mentre altre – in particolare quelle incrostanti come *Spirastrella cunctatrix* – hanno mostrato aumenti significativi nel tempo.

Analogamente, confronti effettuati a 10 anni di distanza all'interno delle Zone A e B dell'AMP hanno evidenziato una riduzione della tridimensionalità dell'ambiente bentonico a causa della diminuzione delle macroalghe erette. È stata osservata una sostanziale omogeneizzazione delle comunità a diverse profondità, insieme a cambiamenti importanti nella composizione in specie, con un aumento di specie termofile e non indigene. Maggiori dettagli sono disponibili in Bavestrello et al. (2024).



Effetti dei cambiamenti climatici sulle comunità bentoniche e ittiche a Portofino.

(a,b) Variazione della copertura bentonica registrata sulle scogliere di Paraggi da novembre 1987–1988 (a) a novembre 2012–2013 (b); (c,d) gli idrozoi termofili *Corydendrium parasiticum* (c) e *Pennaria disticha* (d), osservati sempre più frequentemente durante i mesi estivi lungo le scogliere del promontorio; (e–g) specie termofile che stanno espandendo la loro distribuzione

geografica nel Mar Ligure: la donzella pavonina *Thalassoma pavo* (e), il barracuda boccagliata *Sphyrna viridensis* (f), e la cernia rossa *Mycteroperca rubra* (g); (h–j) specie non indigene registrate a Portofino tra cui l'alga *Caulerpa cylindracea* (h), la spugna calcarea *Paraleucilla magna* (i) e il pesce *Beryx splendens*, noto come alfonsino splendido.

(Bavestrello et al. 2024)

SQUALI DEI SEAMOUNT DEL TIRRENO

Le montagne sottomarine sono formazioni topografiche distintive che si ergono dal fondo dell'oceano, svolgendo un ruolo fondamentale nella circolazione delle masse d'acqua (upwelling) con un aumento dei nutrienti nella colonna d'acqua. Questi sistemi supportano ecosistemi unici e sono stati considerati "oasi" di biodiversità pelagica, tra cui molti predatori top e tra questi diversi squali. L'Italia è impegnata a risolvere una procedura d'infrazione dell'UE per la non rappresentatività della sua rete di siti Natura 2000 per la protezione di alcune specie e habitat prioritari di interesse dell'Unione come i tursiopi, le tartarughe marine, gli uccelli marini e i suoi habitat di acque profonde, tra cui montagne sottomarine e canyon. Allo stesso tempo, l'Italia mira a raggiungere gli obiettivi della EU Biodiversity Strategy, tra cui la protezione del 30% dell'area della sua Zona Economica Esclusiva e del 10% sotto un regime di protezione rigoroso. Per raggiungere questi ambiziosi obiettivi nell'ambito di NBFC è stata promossa la creazione di otto grandi aree protette in alto mare e l'istituzione di nuove aree marine protette pelagiche per proteggere le montagne sottomarine. Attualmente, nessuna delle aree pelagiche previste – ad oggi in fase di pianificazione/designazione nella ZEE italiana – prevede misure di gestione e conservazione specifiche per squali e razze, poiché non sono disponibili dati per queste aree e questi taxa sono trascurati nell'elenco delle specie

di interesse conservazionistico dell'UE. Pertanto si è cercato di colmare questo gap di conoscenza concentrando sforzi di campionamento su due montagne sottomarine (Vercelli e Vavilov). I campionamenti sono stati condotti attraverso i Pelagic Baited Remote Underwater Video systems (BRUV) e sistemi video montati su palangari durante la crociera PELASeam1 a bordo della nave CNR Gaia Blu. Considerando la lunghezza dei video i ricercatori di NBFC hanno sviluppato software altamente efficace assistito dall'intelligenza artificiale per accelerare l'analisi di questi filmati. Questi video hanno permesso al team di documentare molti squali adulti e giovani dell'anno (YOYs), squali mako e verdesche, tartarughe marine *Caretta Caretta*, specie a rischio critico di estinzione secondo la lista rossa IUCN o prioritarie per la Direttiva Habitat. Sebbene siano da considerarsi risultati preliminari, gli alti tassi di presenza di megafauna di interesse conservazionistico registrati in queste montagne sottomarine evidenziano l'importanza ecologica di questi sistemi e sottolineano il loro ruolo di habitat essenziali per queste specie minacciate.

Esemplari di verdesca *Prionace glauca*, tonno alalunga *Thunnus alalunga*, e pesce pilota *Naucrates ductor* che approcciano un BRUV pelagico sul Seamount Vercelli.

(Gabriele Turco (UNIPA))



2.3 Monitoraggio in ambiente marino

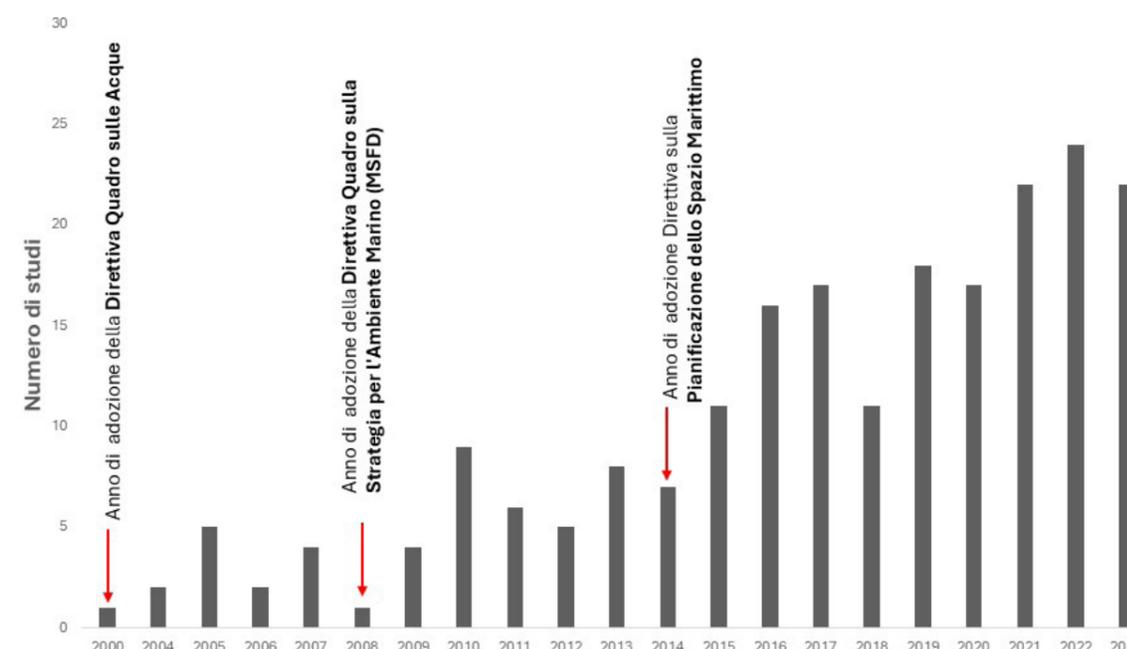
Il monitoraggio ecologico rappresenta la misurazione sistematica di variabili ecologiche di risposta per valutare lo stato di un sistema e comprenderne i cambiamenti nel tempo. Negli ultimi anni, i disturbi antropici sono diventati talmente pervasivi nei mari e lungo le coste italiane da rendere necessario adottare programmi di monitoraggio sempre più strutturati ed innovativi, anche in risposta agli obblighi derivanti dalle Direttive Europee. Tradizionalmente, il monitoraggio si è concentrato sulle variabili ambientali (ad esempio, temperatura, torbidità, nutrienti) e sulla diversità tassonomica delle comunità marine.

Tuttavia, l'approccio innovativo introdotto dai ricercatori marini di NBFC amplia questa prospettiva, integrando il monitoraggio dei tratti funzionali delle specie chiave, ossia quelle caratteristiche che influenzano direttamente le risposte degli organismi alle pressioni ambientali (*response trait*) e il loro contributo ai processi ecosistemici (*effect trait*). Monitorare la variazione spaziale e temporale dei tratti funzionali, in relazione a latitudine, condizioni ambientali e gradienti di disturbo, sta permettendo non solo di interpretare

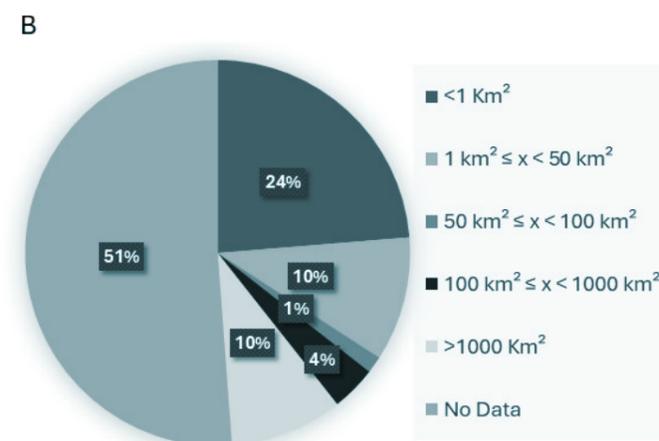
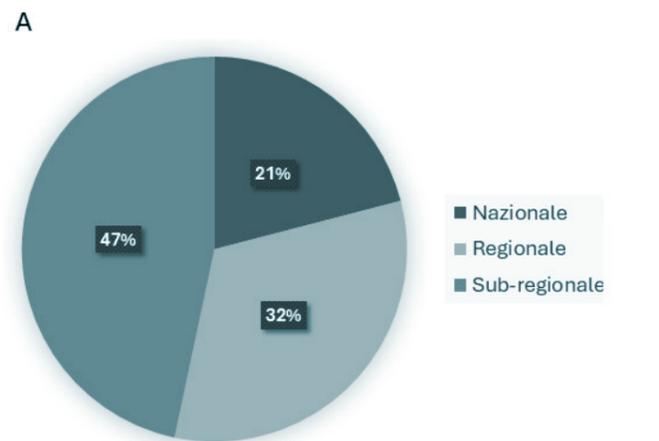
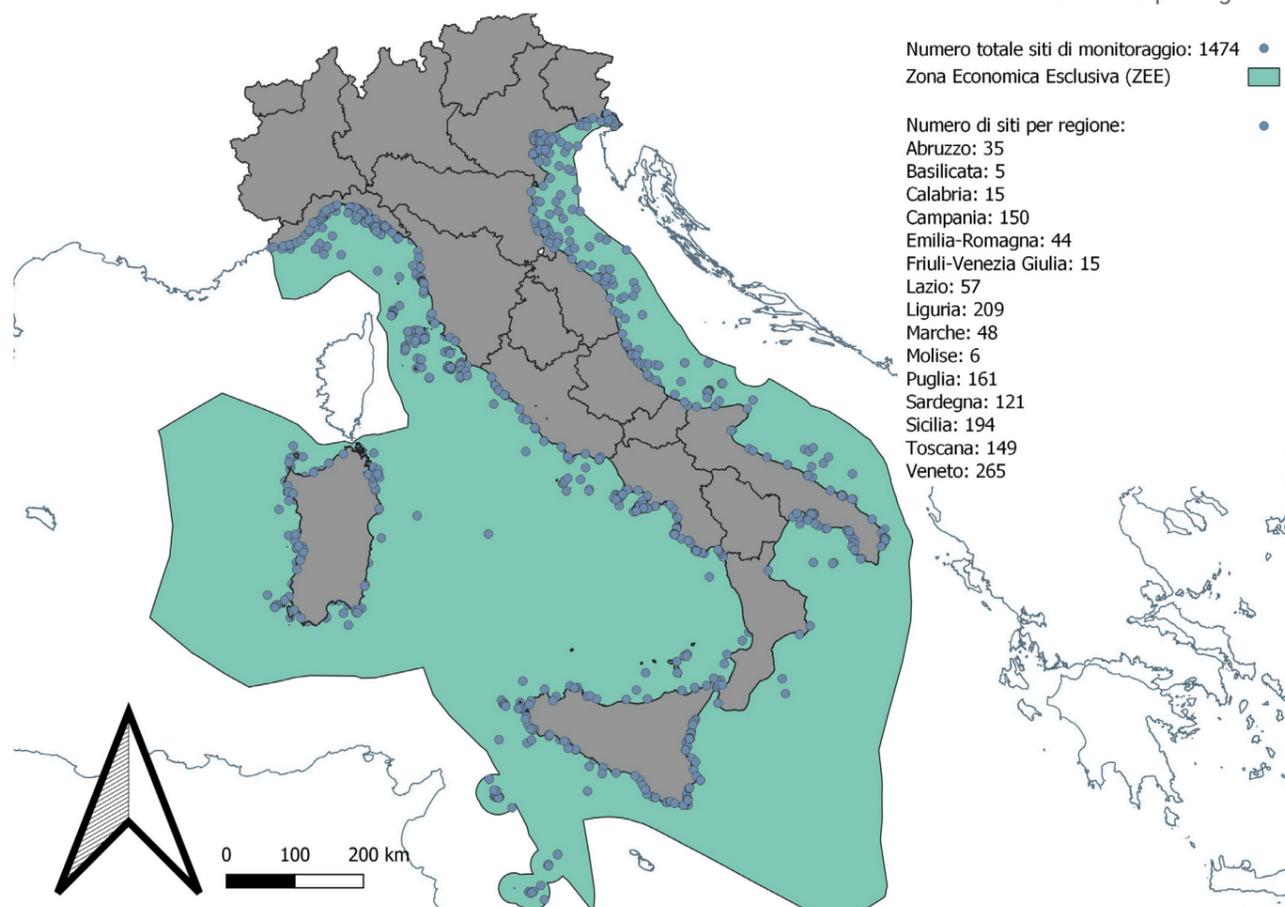
meglio i cambiamenti nella biodiversità, ma anche di collegarli direttamente alle funzioni ecosistemiche e ai servizi ecosistemici erogati (es. produzione primaria, sequestro di carbonio, supporto alla pesca artigianale etc.).

Questa integrazione tra biodiversità, tratti funzionali e funzionamento ecosistemico rappresenta lo *step forward* dell'azione di NBFC nel campo del monitoraggio marino. Essa consente di disporre di indicatori più sensibili e predittivi dello stato di salute degli ecosistemi rispetto al solo monitoraggio fisico-chimico, migliorando l'efficacia delle strategie di conservazione, di ripristino e di gestione adattativa in un contesto di rapidi cambiamenti ambientali e climatici.

L'andamento del numero di studi sul monitoraggio marino lungo le coste italiane dal 2000 al 2023.



In Italia circa 1500 siti sono coinvolti nella valutazione dei cambiamenti della biodiversità, con regioni che risultano caratterizzate da attività molto intense (Veneto, Liguria e Sicilia) e altre in cui probabilmente il monitoraggio potrebbe essere ulteriormente intensificato. Solo il 28% delle attività di monitoraggio viene condotto all'interno di Aree Marine Protette (AMP), mentre il restante 72% si concentra in aree non protette. Dalle analisi di NBFC emerge che gli habitat più frequentemente monitorati sono quelli bentonici, presenti nell'85% degli studi analizzati, mentre quelli pelagici compaiono solo nel restante 15%. Il 18% degli studi analizzati utilizza come variabile di risposta l'abbondanza delle specie, cosa che probabilmente riflette la sua immediatezza nel valutare lo stato degli ecosistemi, l'impatto delle pressioni antropiche e l'efficacia delle misure di conservazione, trascurando aspetti di natura più funzionale. Tra le minacce più frequentemente citate per la biodiversità, si evidenziano le attività di pesca e l'aumento della temperatura dell'acqua. A fronte di questo, solo il 25% delle attività di monitoraggio include esplicitamente la temperatura. Questa mancanza di attenzione al monitoraggio di variabili associate al cambiamento climatico potrebbe avere conseguenze importanti nella nostra capacità di interpretare gli effetti a breve e a lungo termine lungo le nostre coste.



A) Percentuale degli studi di monitoraggio marino lungo le coste italiane in base alla scala nazionale, regionale, subregionale adottata. B) Numero di studi classificati in base all'estensione delle aree monitorate.

Nel 47% dei casi le attività di monitoraggio operano a scala sub-regionale, nel 32% su scala regionale e il 21% su scala nazionale (Figura a sinistra). Per quanto riguarda l'estensione delle aree monitorate (Figura a destra), il 24% si concentra su estensioni inferiori a 1 km². Solo il 10% degli studi riguarda aree di dimensioni maggiori (> 1000 km²), suggerendo come le attività di monitoraggio su ampia scala spaziale siano meno comuni, probabilmente a causa dei maggiori costi e della complessità organizzativa.

Per quanto riguarda la durata temporale degli studi, il 66% supera i 5 anni (soglia adottata per definire uno studio "a lungo termine"). Il restante 34% ha una durata inferiore, e rientra nella categoria dei monitoraggi di breve o medio termine. Questa distinzione è rilevante, poiché il monitoraggio a lungo termine è fondamentale per cogliere dinamiche ecologiche complesse, individuare tendenze di lungo periodo e valutare in modo più robusto gli effetti dei cambiamenti ambientali e delle politiche di gestione.

Nonostante la mole di dati, il monitoraggio in Italia presenta diverse criticità: mancanza di obiettivi ben articolati e di coordinamento fra diversi programmi, disegni sperimentali talvolta poco robusti, necessità di stabilire soglie chiare di cambiamento nei sistemi e sotto diverse combinazioni di stressor, necessità di aumentare l'estensione spaziale e temporale degli sforzi, e una sostanziale carenza di attenzione agli effetti degli impatti globali.

Per quanto riguarda la durata temporale degli studi, il 66% supera i 5 anni (soglia adottata per definire uno studio "a lungo termine"). Il restante 34% ha una durata inferiore, e rientra nella categoria dei monitoraggi di breve o medio termine. Questa distinzione è rilevante, poiché il monitoraggio a lungo termine è fondamentale per cogliere dinamiche ecologiche complesse, individuare tendenze di lungo periodo e valutare in modo più robusto gli effetti dei cambiamenti ambientali e delle politiche di gestione.

Nonostante la mole di dati, il monitoraggio in Italia presenta diverse criticità: mancanza di obiettivi ben articolati e di coordinamento fra diversi programmi, disegni sperimentali talvolta poco robusti, necessità di stabilire soglie chiare di cambiamento nei sistemi e sotto diverse combinazioni di stressor, necessità di aumentare l'estensione spaziale e temporale degli sforzi, e una sostanziale carenza di attenzione agli effetti degli impatti globali.

TRATTI FUNZIONALI E FUNZIONI ECOSISTEMICHE: NUOVE FRONTIERE NEL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ MARINA

Oltre al monitoraggio delle variabili ambientali e della diversità marina lungo le coste italiane (cfr. Figura A, pag. 25), NBFC sta promuovendo un'estensione dei programmi di osservazione alla componente funzionale degli ecosistemi, in relazione diretta con la biodiversità. Un esempio emblematico deriva da uno studio recentemente pubblicato su *Nature Communications* (Schubert et al., 2024), in cui siti italiani sono stati inclusi nel monitoraggio globale della produttività netta di carbonio degli habitat a letti di alghe coralline. I dati raccolti da un team internazionale – con un contributo significativo dei ricercatori NBFC su siti siciliani e pugliesi – hanno evidenziato che la produttività di questi habitat varia significativamente in funzione della disponibilità di luce e della composizione specifica delle comunità.

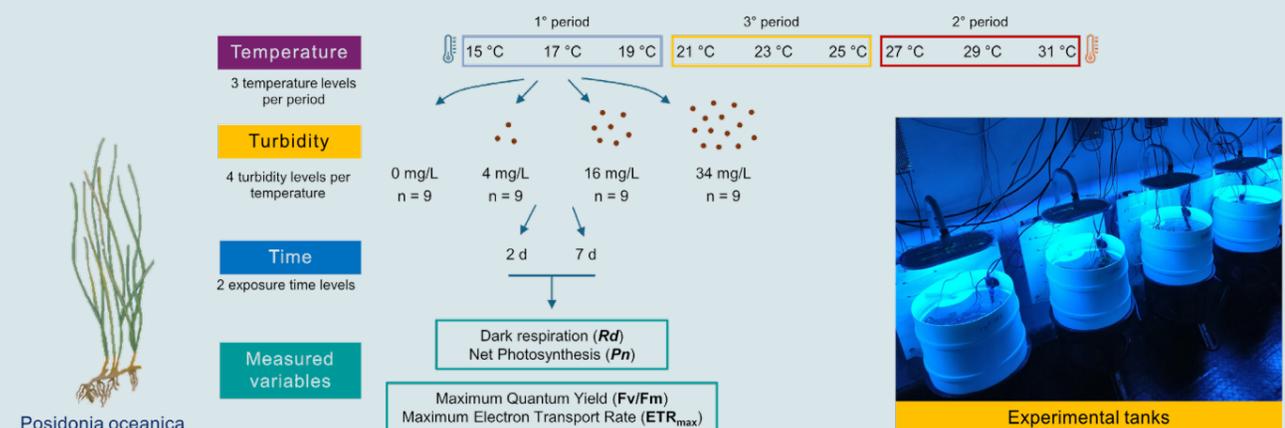
Alcuni letti di alghe coralline si sono rivelati in grado di catturare fino a 1.35 grammi di carbonio per metro quadrato al giorno, superando i tassi di fissazione di carbonio riportati per altri ecosistemi marini, come le foreste di macroalghe. Questo studio sottolinea la necessità di integrare gli habitat di alghe coralline nei programmi di conservazione, come la rete Natura 2000, dove risultano ancora scarsamente rappresentati. In un contesto di crescente acidificazione degli oceani, monitorare il ruolo e la capacità di sequestro del carbonio di questi habitat risulta fondamentale per orientare efficacemente le strategie di conservazione.

In parallelo, ulteriori studi condotti dai ricercatori NBFC, sia in condizioni controllate di mesocosmo sia in campo con metodi non distruttivi tipo camere bentiche e sistemi di *eddy covariance*, si sono focalizzati sul monitoraggio di variabili funzionali, quali i tratti metabolici di specie strutturanti degli ecosistemi, con particolare attenzione a fanerogame come *Posidonia*

oceanica e *Cymodocea nodosa*. Un esempio rilevante è rappresentato dallo studio di Bosch-Belmar et al. (2025, *Journal of Applied Ecology*), che ha analizzato gli effetti combinati di pressioni antropiche – come variazioni nella torbidità e nella temperatura delle acque – sulle risposte metaboliche di *Posidonia oceanica*, in condizioni ecologicamente realistiche e lungo differenti periodi stagionali.

I risultati hanno mostrato che un aumento della torbidità può compromettere il funzionamento della pianta, riducendo la prestazione termica e restringendo finestra e soglie di tolleranza termica, con conseguente alterazione della fotosintesi e potenziale limitazione della crescita con ripercussioni sulla densità della specie negli habitat. Il metabolismo delle piante aumentava con la temperatura fino a un optimum termico identificato a 23°C, oltre il quale si osservava un declino delle performance, particolarmente accentuato nei trattamenti a maggiore torbidità e prolungata esposizione.

Un esempio di come vengono condotti gli esperimenti in mesocosmo in molti laboratori NBFC sparsi sul territorio italiano



1.306.158 ha
Tot *Posidonia* area

2.436.906 t
Tot O₂ released

913.840 t
Tot CO₂ absorbed

3.350.745 t
Tot C fixed

Esempio di come i dati sperimentali raccolti in condizioni di mesocosmo possano essere tradotti in valutazioni spazialmente esplicite di funzioni e servizi ecosistemici. In questo caso specifico, gli esperimenti condotti in mesocosmo hanno permesso di misurare, al variare delle condizioni ambientali, l'assorbimento di CO₂ e la produzione di ossigeno da parte di *Posidonia oceanica*. Queste misure sono state successivamente scalate spazialmente in base alla densità della specie lungo le coste italiane. (Mancuso et al., submitted Ecological Applications)

Queste evidenze sottolineano l'importanza strategica di integrare stabilmente il monitoraggio dei tratti funzionali delle specie chiave all'interno dei piani di osservazione della biodiversità marina. I tratti funzionali, riflettendo direttamente la capacità degli organismi di rispondere agli stress ambientali, rappresentano indicatori precoci e sensibili delle alterazioni ecosistemiche, ben prima che si manifestino cambiamenti visibili a livello di composizione o di struttura delle comunità.

Incorporare la misura e l'analisi dei tratti nei programmi di monitoraggio consente non solo di valutare lo stato di salute degli ecosistemi in modo più tempestivo e predittivo, ma anche di orientare più efficacemente le strategie di conservazione, ripristino e gestione adattativa. In un contesto di pressioni antropiche e cambiamenti climatici in accelerazione, rendere il monitoraggio funzionale una pratica sistematica è una condizione imprescindibile per garantire decisioni basate su solide evidenze ecologiche e per costruire percorsi di gestione più resilienti e lungimiranti.

GEOPORTALE PER LA BIODIVERSITÀ MARINA IN ITALIA

Il Sistema di Osservatorio Nazionale della Biodiversità (Marina) implementato all'interno di NBFC-Spoke1 ha l'obiettivo principale di armonizzare le attuali conoscenze sulla biodiversità marina-costiera e di integrarle in un database. In risposta alle sfide poste dall'eterogeneità e dalla frammentazione della conoscenza della biodiversità, è stata implementata un'infrastruttura di dati spaziali marini (MSDI). Il suo obiettivo

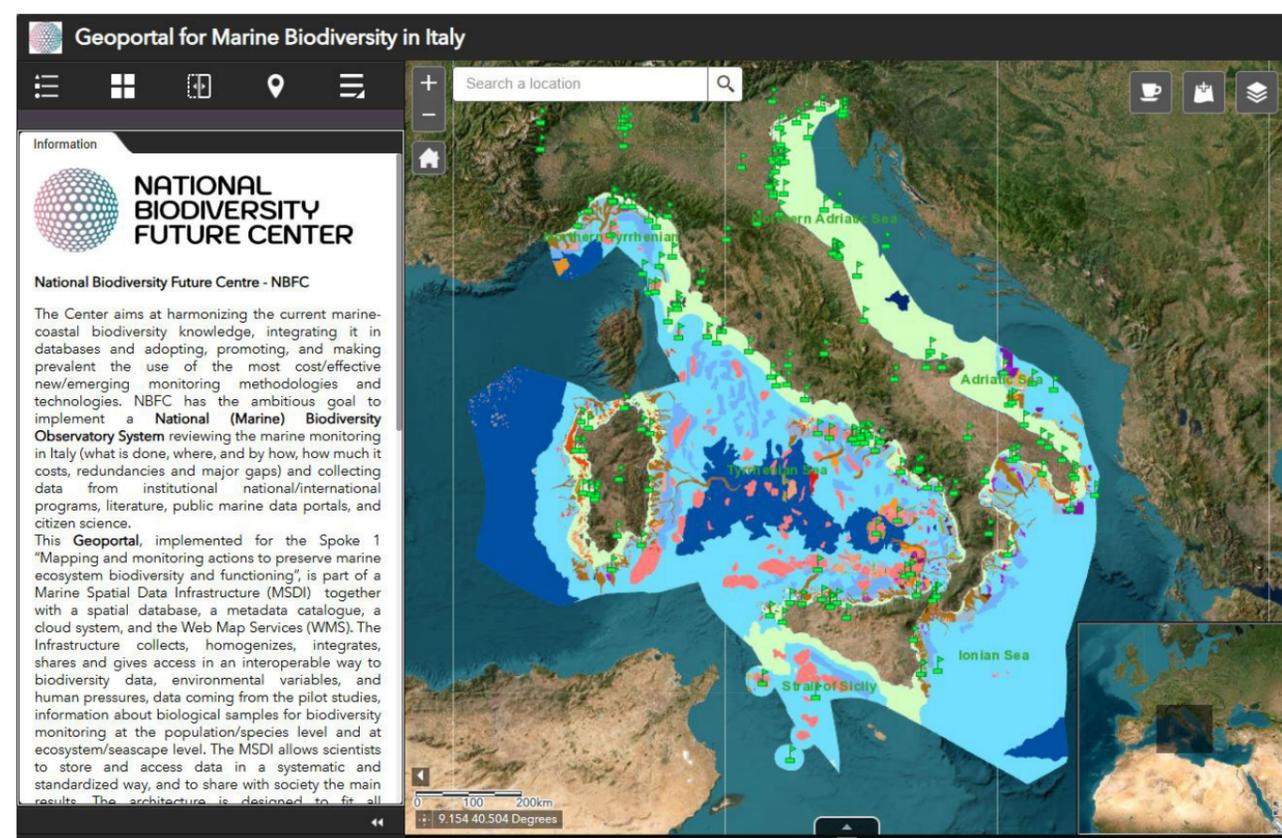
principale è integrare, rendere disponibili, preservare e valorizzare i dati sulla biodiversità, facilitare il loro riutilizzo promuovendo i principi FAIR: reperibilità, accessibilità, interoperabilità e riusabilità.

L'interfaccia utente principale di questa infrastruttura è un GEOPORTALE raggiungibile tramite il Gateway Della Biodiversità <https://www.biodiversitygateway.it>.

Il Geoportale per la biodiversità marina italiana integra dati di biodiversità, variabili ambientali e usi antropici organizzati in gruppi tematici: Siti pilota, Monitoraggio, Tutela e conservazione, Usi antropici, Biodiversità, Geodiversità, Variabili ambientali.

Il Geoportale è uno strumento di facile utilizzo, accessibile gratuitamente, in cui l'utente può visualizzare i dati in modo integrato, identificare e interrogare oggetti e le relative informazioni (ad esempio serie temporali associate). Ad oggi ospita più di 60 mappe che espongono dati provenienti da diverse fonti: pubblicazioni scientifiche, cartografia, attività di monitoraggio passate e attuali e database pubblici. La sfida è quella di armonizzare e integrare informazioni provenienti da tutti i regni (dai cetacei ai batteri) e di diverso tipo: dati spaziali, immagini, video, tabelle, grafici, serie temporali e inventari. Attraverso il Geoportale, gli utenti possono anche esplorare i metadati, che garantiscono la conservazione, la tracciabilità e l'accesso ai dati sulla base delle politiche di accesso e riutilizzo associate. L'architettura è progettata per adattarsi a tutti gli

standard e le migliori pratiche per la raccolta, l'integrazione, la disponibilità e la condivisibilità dei dati, seguendo i principi FAIR. La standardizzazione garantisce l'interoperabilità con altre infrastrutture e migliora la lettura e la preservazione dei dati. Il sistema può supportare l'esplorazione delle dinamiche dell'ecosistema sotto pressioni ambientali e antropiche e i processi di pianificazione dello spazio marittimo. Può essere uno strumento rilevante per le analisi future che si concentreranno sullo sviluppo di indicatori ecologici economicamente vantaggiosi e di strumenti innovativi per il monitoraggio della biodiversità, nonché sulla valutazione della vulnerabilità degli habitat cruciali del Mediterraneo ai fattori di stress legati ai cambiamenti climatici.



↑ Geoportale per la biodiversità marina in Italia
(<https://www.biodiversitygateway.it/>)

2.4 NBFC per il restauro marino

Nel quadro della Missione UE "Starfish 2030: Restore our Ocean and Waters by 2030", parte integrante del Green Deal Europeo e della Ecosystem Restoration Decade delle Nazioni Unite, il restauro degli ecosistemi marini rappresenta una leva strategica della EU Biodiversity Strategy to 2030. L'obiettivo è riportare la biodiversità dei mari italiani su un percorso di recupero entro il 2030, con benefici concreti per l'ambiente, la società e l'economia.

IL PIANO DI SCALABILITÀ DI NBFC

NBFC ha elaborato un piano di scalabilità per il restauro su larga scala, in linea con le priorità dell'UE, con un approccio innovativo e strutturato volto a:

-  CONSOLIDARE PROTOCOLLI DI BUONE PRATICHE riconosciute a livello europeo;
-  POTENZIARE LE AZIONI DI RIPRISTINO MARINO per contribuire agli obiettivi della EU Nature Restoration Law (2024/1991);
-  MAPPARE IL POTENZIALE DI RIPRISTINO degli ecosistemi prioritari, in coerenza con il Global Biodiversity Framework;
-  GARANTIRE LA SOSTENIBILITÀ E L'EFFICACIA A LUNGO TERMINE delle azioni, promuovendo la resilienza ecologica e la coerenza con le strategie di adattamento climatico dell'UE.

Le attività di restauro ecologico marino si sono realizzate all'interno del progetto MARES (Marine Ecosystem Restoration) di NBFC, strutturato sulle seguenti attività:

-  ANALISI DI IDONEITÀ per individuare i siti adatti alla realizzazione di interventi di restauro ecologico, attraverso un approccio modellistico;
-  TEST DI EFFICACIA DI SOLUZIONI INNOVATIVE per il ripristino della biodiversità, con l'obiettivo di ottimizzare interventi scalabili in linea con la normativa UE;
-  MONITORAGGIO DELLA PERFORMANCE DEGLI INTERVENTI sia a livello del benessere delle specie oggetto di restauro che di recupero di funzioni ecosistemiche.

Dettagli della attività svolte sono disponibili nel report NBFC dal titolo 'Il restauro della biodiversità: esperienze e innovazioni della ricerca'.

Ad oggi sono stati oggetto di intervento circa 20 specie, in 12 differenti siti in 7 differenti habitat.



Specie marine oggetto di restauro ecologico nel progetto MARES di NBFC.

HABITAT MARINI OGGETTO DI RESTAURO ECOLOGICO ALL'INTERNO DEL PROGETTO MARES DI NBFC

ECOSISTEMI TARGET (NRL)

AZIONI DI NBFC

Seagrass beds (Annex II; Group 1)

2 specie (*Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*) – Habitat 1120
4 siti; 2 metodi

Algal Forests (Annex II; Group 2)

3 specie (*Ericaria amentacea*, *Gongolaria barbata*, *Fucus virsoides*) – Habitat 1170
3 siti; 2 metodi

Shellfish beds (Annex II; Group 3)

1 specie (*Ostrea edulis*); 1 metodo

Coralligenous (Annex II; Group 5)

2 siti; 2 metodi – Habitat 1170

Soft sediments (Annex II; Group 7)

Deep Sea – Habitat 1110-1130-1160
2 siti; 2 metodi

Restauro di barren grounds attraverso approccio multi-specie (*Cladocora caespitosa* + *Aplysina aerophoba* / *Posidonia oceanica* + *Chondrilla nucula*) – Habitat 1170

Reef e Vermeti – Habitat 1170
1 sito; 1 metodo

Habitat directive and other IUCN endangered species

Pinna nobilis – Annex IV Habitat Directive

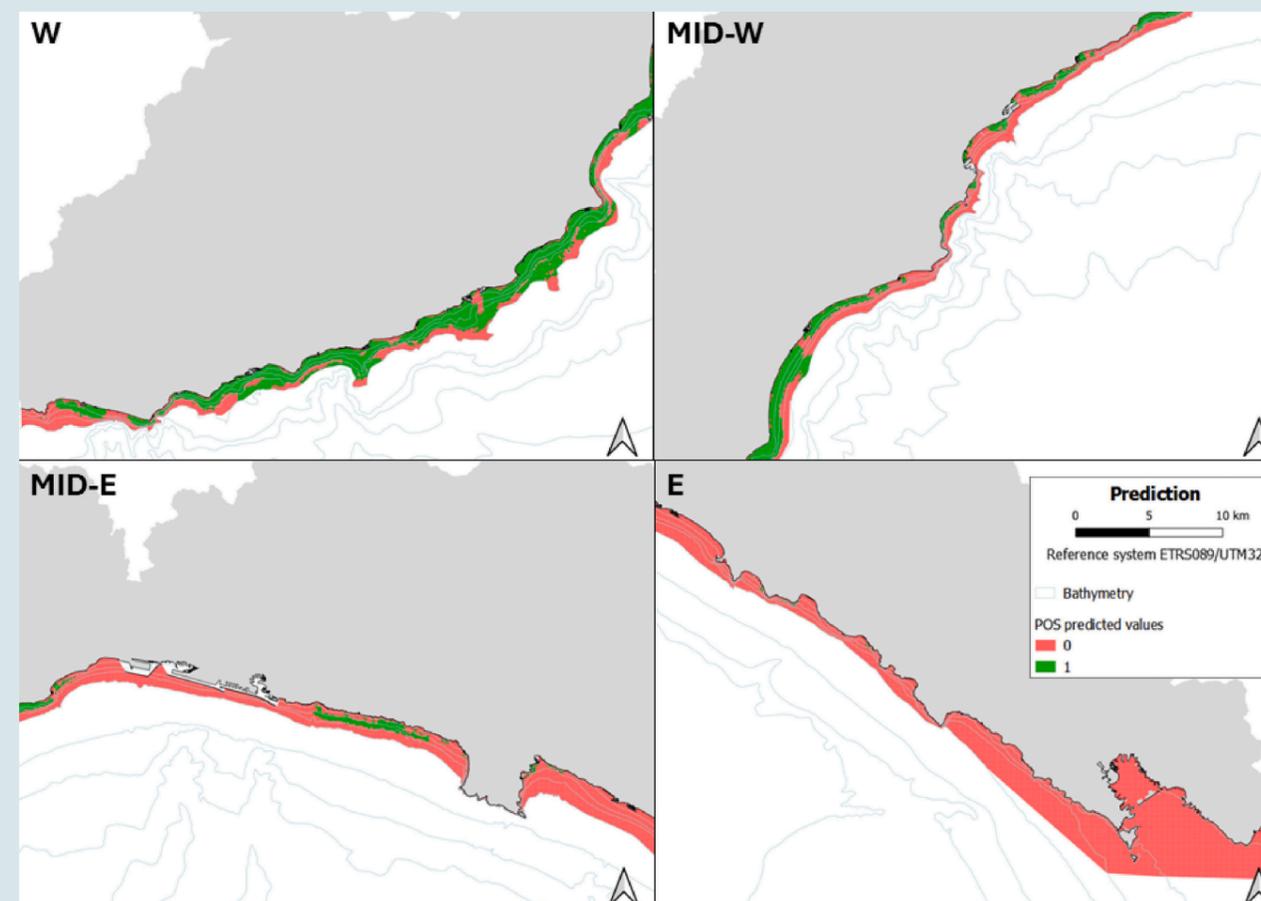
HABITAT SUITABILITY MODELS PER IL RESTAURO DELLA BIODIVERSITÀ

Gli Habitat Suitability Models (HSMs) rappresentano strumenti fondamentali per supportare strategie di ripristino ecologico in quanto, correlano la distribuzione delle specie con le condizioni ambientali, permettendo di mappare le aree più idonee per il restauro. Nell'ambito di NBFC, sono stati sviluppati due modelli HSM per habitat prioritari: le praterie di *Posidonia oceanica* le foreste di *Ericaria amentacea*, entrambi cruciali per la biodiversità marina e riconosciuti dalla Direttiva Habitat (92/43/CEE).

PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA

È stata studiata la distribuzione dalla costa fino a 50 m di profondità lungo i 345 km di costa ligure. Il modello è stato realizzato con l'algoritmo Random Forest, integrando variabili ambientali (salinità, temperatura) e antropiche (pressioni costiere). La precisione predittiva è risultata elevata: 82% per praterie su fondi mobili (POS) e 99% per praterie su fondi rocciosi (POS-R).

Potenziale distribuzione di *Posidonia oceanica* su fondi mobili in Liguria, secondo l'Habitat Suitability Model.



FORESTE DI ERICARIA AMENTACEA

Si tratta di alga bruna di interesse conservazionistico. Utilizzando i dati di presenza combinati con variabili ambientali e antropiche, il modello Random Forest ha identificato 920 nuovi settori potenzialmente idonei al restauro (oltre ai 313 siti noti). Sono state anche eseguite indagini di prioritizzazione, per esempio considerando la prossimità a porti e marine e il sistema ha fornito aree ad alto potenziale di ripristino, considerando sia la qualità dell'habitat sia l'accessibilità logistica.

2.5 Pesca sostenibile per la tutela degli ecosistemi

NBFC ha attivato azioni di ricerca per promuovere la sostenibilità della pesca nel Mediterraneo e la tutela della biodiversità marina. Nello specifico sono state testate e adottate soluzioni per la riduzione delle catture accidentali (bycatch), tra cui dispositivi di selezione come Juvenile Sorting Grids e Turtle Excluder Devices, oltre a pinger interattivi basati su AI per limitare le interazioni dannose con i delfini. L'introduzione di attrezzi alternativi, come le macchine per la pesca al calamaro (squid jigging) e i cavi da traino in Dyneema, ha ridotto sia l'impatto sui fondali che il consumo di carburante. Sono stati sviluppati anche sistemi di monitoraggio, come tag per il tracciamento di cetacei impigliati e idrofoni a basso costo per il monitoraggio acustico passivo.


**SVILUPPATE STRATEGIE PER
LA GESTIONE DELLE SPECIE
NON INDIGENE (NIS)**

Attraverso la piattaforma ORMEF (www.ormef.eu), è stato creato un database aggiornato sulla distribuzione e le caratteristiche ecologiche delle NIS nel Mediterraneo, utile per modellare scenari di gestione. Parallelamente, l'attività ha esplorato le opportunità economiche legate ad alcune specie invasive, come il granchio blu (*Callinectes sapidus*) ed i bivalvi (*Anadara spp.*), analizzandone il potenziale commerciale tramite studi metabolomici e sondaggi tra i consumatori. Un esempio innovativo è la valorizzazione della specie tossica *Lagocephalus sceleratus* nella produzione di articoli in pelle.


PESCA ILLEGALE: (IUU)

L'integrazione di immagini satellitari (SAR e ottiche) con dati AIS ha permesso di sviluppare strumenti avanzati per il rilevamento e la classificazione delle attività di pesca. Algoritmi di deep learning hanno colmato le lacune nei tracciati delle imbarcazioni, mentre dispositivi a basso costo hanno consentito il monitoraggio in tempo reale della pesca artigianale. Un'app di citizen science coinvolge attivamente le comunità costiere nel contrasto alle violazioni.

Biodiversità nella pesca ricreativa: attraverso l'uso di droni, citizen science, marcature e analisi AI-based delle immagini, è stata valutata l'influenza della pesca ricreativa, spesso trascurata, sulla biodiversità marina, in particolare per specie vulnerabili come i cefalopodi. Questi dati saranno fondamentali per includere la pesca ricreativa nei piani di gestione e conservazione.

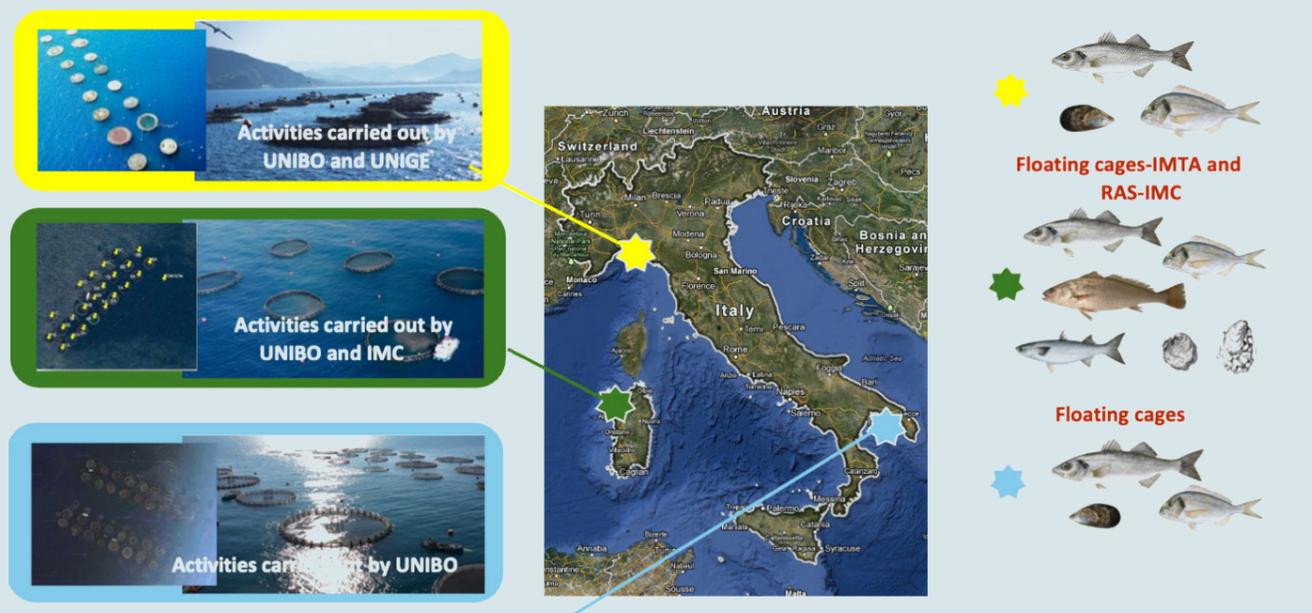
ACQUACOLTURA E BIODIVERSITÀ

NBFC ha attivato ricerche volte a individuare soluzioni di acquacoltura "biodiversity-friendly" che non solo riducono gli impatti sugli ecosistemi, ma favoriscano pratiche rigenerative, tra cui l'Acquacoltura Multi-Trofica Integrata (IMTA), in linea con le strategie della bioeconomia marina e con gli obiettivi di ripristino della biodiversità. Le principali sfide sono la riduzione dell'impatto ambientale attraverso l'ottimizzazione dei mangimi, l'efficienza energetica, l'adozione di metodi produttivi carbon neutral, la gestione delle patologie e la riduzione dell'uso di antibiotici ed il miglioramento genetico per la resilienza e per sviluppare stock più resistenti a malattie e stress ambientali anche grazie al supporto della genomica funzionale.

Tra i risultati di maggiore rilievo vi è la formulazione di mangimi eco-sostenibili e la scelta di specie poco esigenti come il cefalo (*Mugil cephalus*) caratterizzato da una ridotta dipendenza dalla farina di pesce. Sono state testate diverse tipologie di diete (iso-proteiche/lipidiche/energetiche) ed eseguite sperimentazioni su pesci in diversi contesti ambientali. La progressiva riduzione (10-20%) delle proteine convenzionali con farina di insetti (*Hermetia illucens*) sono risultate molto promettenti per la sostenibilità ed il bilancio di crescita, salute intestinale e risposta immunitaria del pesce.

Un altro risultato di successo è stato lo sviluppo di sistemi di biosicurezza per garantire la salute del pesce e prevenire infezioni da agenti patogeni più rilevanti nei diversi sistemi di allevamento. Sono stati individuati ed analizzati i seguenti sistemi:

- IMTA (Integrated Multi-Trophic Aquaculture): Oristano, Sardegna, su spigola, orata, ombrina e ostriche, incluso biofilm su gabbie.
- Gabbie offshore affondabili in Liguria e galleggianti nel Lazio, per il monitoraggio dei patogeni in spigola e orata.
- Recirculating Aquaculture System (RAS): impianto sperimentale IMC per riproduzione di cefali.



Altro tema di rilevanza affrontato riguarda la ricerca di soluzioni alternative agli antibiotici, effettuando test in vitro sulla capacità di formazione del biofilm dei principali batteri patogeni isolati e valutando l'azione probiotica contro batteri patogeni. In parallelo, sono stati raccolti dati sui protocolli vaccinali e altre misure preventive (es. cambio reti, mangimi funzionali) adottate negli allevamenti, da integrare nei risultati finali per ottimizzare le strategie di biosicurezza. La specie indagata sono l'orata (*Sparus aurata*), la spigola (*Dicentrarchus labrax*), l'ombrina (*Argyrosomus regius*), il cefalo (*Mugil cephalus*), il mitilo (*Mytilus galloprovincialis*), l'ostrica piatta (*Ostrea edulis*), e l'ostrica del Pacifico (*Crassostrea gigas*).

MARINE LITTER ED ECONOMIA CIRCOLARE

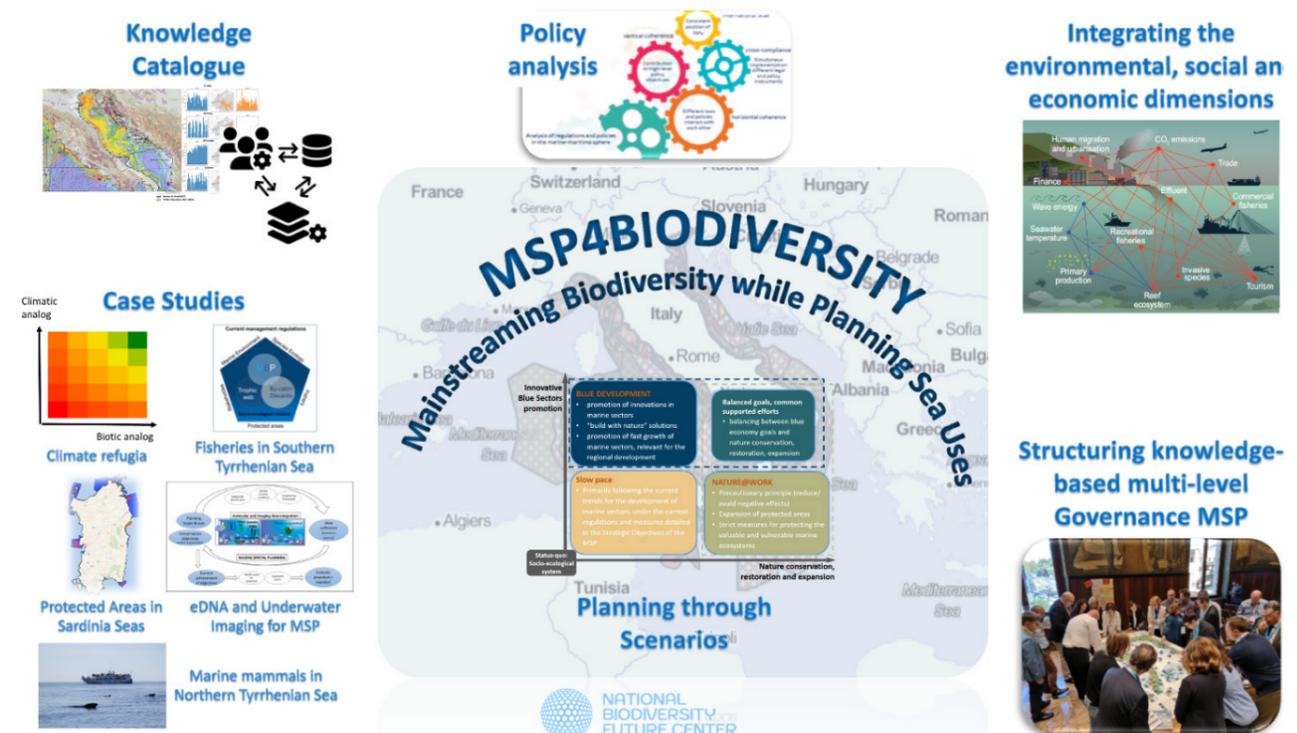
NBFC ha attivato/collaborato a campagne di Fishing-for-Litter che hanno rimosso oltre 745 kg di rifiuti marini, prevalentemente plastica, in pochi mesi. Sono previsti interventi come l'installazione di compattatori di rifiuti a bordo delle imbarcazioni. Inoltre, è stato valutato l'impatto storico della plastica derivante dalla pesca e avviati studi sui microplastiche nelle specie bentoniche di aree ad alta biodiversità, come lo Stretto di Messina, contribuendo alle politiche ambientali europee.

2.6 Pianificazione dellspazio marittimo

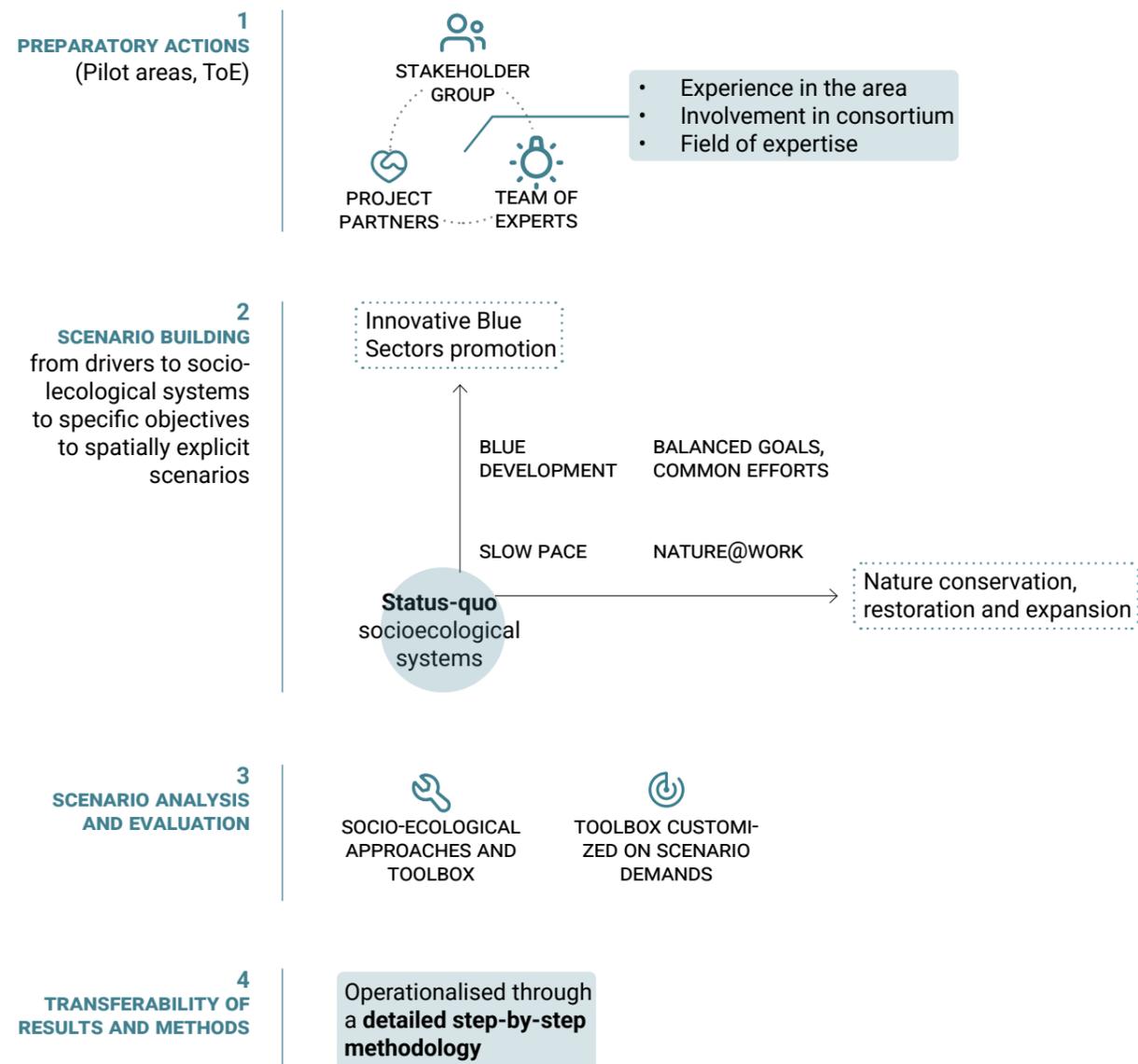
La Pianificazione Spaziale Marittima (MSP), oltre a rappresentare un obbligo derivante dalla Direttiva Europea 2014/89/UE, costituisce un'opportunità chiave per conciliare lo sviluppo sostenibile delle attività marittime e costiere con la conservazione della biodiversità marina. L'obiettivo principale di MSP4BIODIVERSITY di NBFC è integrare la biodiversità nei processi e nelle pratiche della MSP, nelle acque marine italiane e nel contesto mediterraneo, contribuendo alla promozione della Blue Economy Sostenibile (SBE).

Sono stati sviluppati strumenti operativi e soluzioni applicabili per supportare l'attuazione e l'evoluzione dei Piani di Pianificazione Spaziale Marittima recentemente approvati in Italia. L'approccio adottato è socio-ecologico e transdisciplinare. NBFC intende dare continuità al processo tramite la creazione di un Centro Transdisciplinare per la MSP e la Blue Economy Sostenibile, da integrare nel Biodiversity Science Gateway.

STRUTTURA E TASK DI MSP4BIODIVERSITY



Il progetto si articola nella creazione del MSP Knowledge Catalogue, nell'analisi della coerenza tra normative, politiche e strategie marittime, nella definizione di un "maritime space giusto e sicuro" con analisi socio-economiche, nell'integrazione della biodiversità nella MSP mediante la realizzazione ed analisi di scenari futuri.

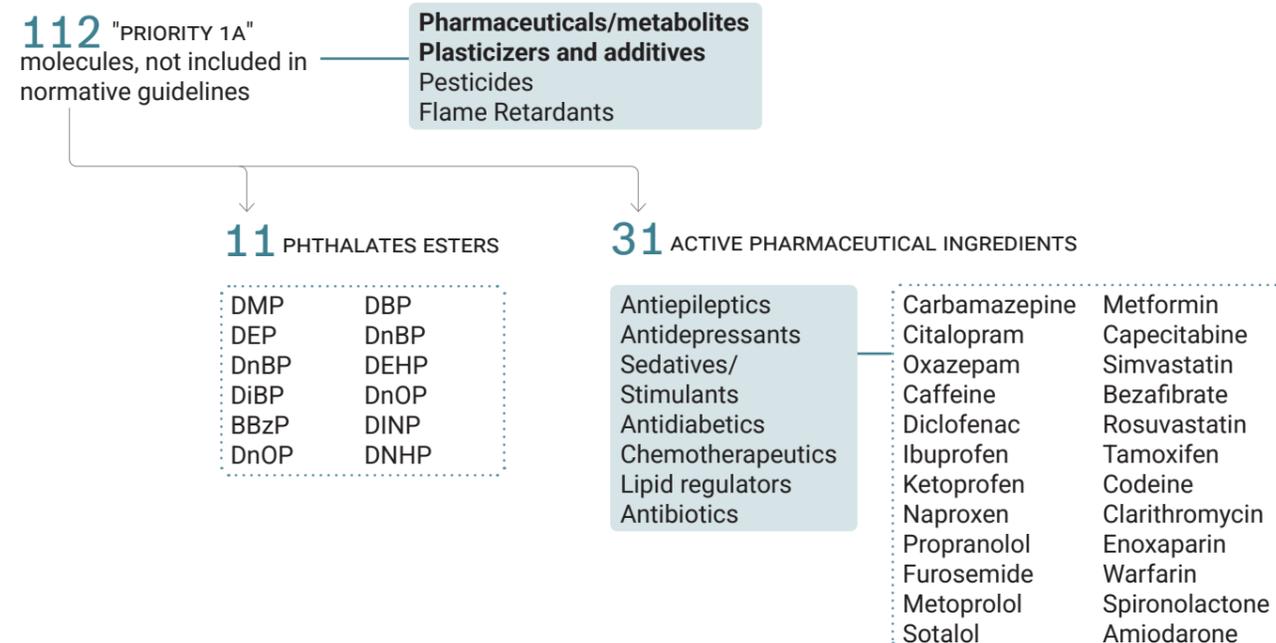


2.7 I contaminanti emergenti e gli impatti sulla biodiversità marina

Una delle cause di erosione della biodiversità sono i contaminanti, molti dei quali ancora sconosciuti e taluni derivati da processi antropici e produzioni industriali recenti. Per questa ragione, NBFC nell'ambito delle attività di monitoraggio marino ha voluto censire e aggiornare la lista di xenobiotici marini. È stato redatto un elenco di 112 contaminanti emergenti (ECs), comprendente farmaci, additivi e plastificanti, alcaloidi e sostanze d'abuso, PFAS, pesticidi ed erbicidi, ritardanti di fiamma e prodotti per la cura personale.

Per sviluppare modelli concettuali e strumenti di simulazione del comportamento di contaminanti selezionati, è stato definito un sottoinsieme ristretto di tali sostanze basato sia su studi precedenti sia sulle normative vigenti. nello specifico su studi precedenti condotti nelle acque italiane e sull'inclusione in almeno uno dei seguenti quadri normativi (Direttive 2000/60/CE (WFD), 2006/118/CE (GWD) e 2008/105/CE (EQSD), Decisione di esecuzione (UE) 2022/1307 della Commissione (22/07/2022) che istituisce la Watch List per il monitoraggio a livello dell'Unione; Registro delle intenzioni di restrizione – ECHA).

PRIORITIZATION



Si è quindi proceduto a mappare la presenza e i livelli di ECs in matrici abiotiche e biotiche in aree campione individuate presso grandi città costiere italiane (Ancona, Genova, Palermo, Trieste), due fiumi (Po e Tevere) e un'area off-shore "pristine" (Isole Tremiti). In ogni caso studio sono stati campionati 6-8 siti rappresentativi per rilevare la presenza e la distribuzione di inquinanti emergenti negli impianti di trattamento delle acque reflue (WWTPs), acque marine, sedimenti e biota.

I risultati evidenziano che:

- 1 | ftalati e BPA mostrano una distribuzione ubiquitaria nel biota mediterraneo pertanto vi è l'urgenza di strategie di mitigazione e quadri normativi più stringenti per ridurre l'inquinamento alla fonte;
- 2 | è stata rilevata una vasta quantità di farmaci tra cui anti-infiammatori, cardiovascolari e psicotropi, in tutti i campioni analizzati. Oltre il 50% degli organismi testati conteneva contemporaneamente almeno 7 principi attivi.

Per valutare lo stato di salute degli organismi marini sono stati adottati 13 modelli in-vivo, 4 in-vitro e 2 ex-vivo, offrendo un ampio spettro di strumenti diagnostici a diversi livelli di organizzazione biologica. Sono stati testati 20 composti, 10 miscele e 3 scenari di stress multipli (acidificazione, riscaldamento, variazioni di salinità). La durata degli esperimenti variava da 3 giorni a un anno, per esaminare gli effetti dei contaminanti emergenti e le loro interazioni con i cambiamenti climatici.

Le simulazioni esplorano gli effetti combinati tra inquinamento e scenari futuri di cambiamento climatico, dai singoli organismi alla biodiversità, e sviluppano modelli predittivi per valutare la vulnerabilità futura alla perdita di biodiversità mediata dall'inquinamento. I test sono attualmente in corso ed i risultati forniranno le basi per la creazione di mappe di rischio dinamiche, fondate su previsioni di distribuzione degli ECs, sensibilità della biodiversità e scenari climatici futuri.

MARINE OMICS OBSERVATORIES

L'Italian Omics Observatory Network of Marine Biodiversity è stato istituito presso quattro stazioni marine (LTER) nel Golfo di Napoli, Promontorio di Portofino, Golfo di Trieste e Meda Senigallia per monitorare ed analizzare la biodiversità mediterranea utilizzando tecnologie avanzate omiche (figura sottostante).

L'Osservatorio affronterà le sfide emergenti nella valutazione e nel monitoraggio della biodiversità, inclusi lo sviluppo di nuovi indicatori molecolari di biodiversità, la valutazione delle specie aliene e delle specie vulnerabili, la rilevazione di patogeni, gli studi di bioprospecting e del microbioma marino.



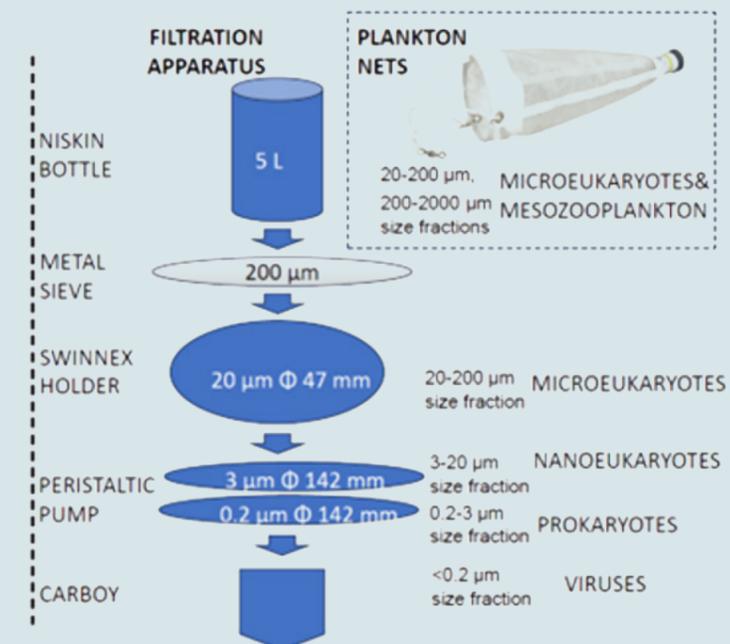
Marine Omics Observatories (LTER stations)

N=12 Monthly for 1 year



Italian Omics Observatory Network of Marine Biodiversity

Standardised Operational Procedures (SOPs) for Omics analysis of Marine Samples



Le Procedure Operative Standard (SOPs) per l'analisi omica dei campioni marini, comprensive di raccolta, conservazione, estrazione degli acidi nucleici e flussi di lavoro analitici, sono state definite. I dati molecolari relativi a protisti e fitoplancton sono stati validati mediante metodi basati sulla microscopia e dispositivi di imaging ad alta produttività.

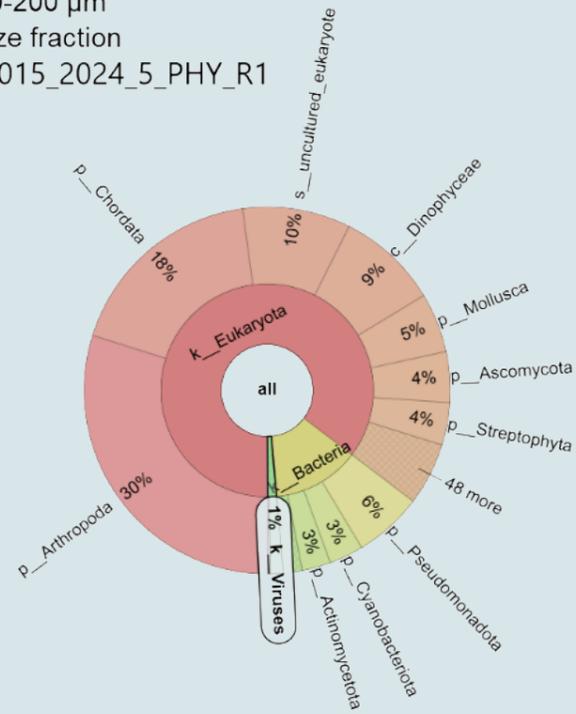
Tecniche avanzate di campionamento sono state impiegate per effettuare filtrazioni frazionate per taglia di grandi volumi d'acqua marina a diverse profondità, con cadenza mensile. I protocolli per l'estrazione del DNA e per il biobanking, insieme all'applicazione delle tecnologie di sequenziamento, sono conformi agli standard internazionali per il metabarcoding e la metagenomica shotgun delle comunità marine.

MICROEUKARYOTES

20-200 µm

size fraction

IT015_2024_5_PHY_R1

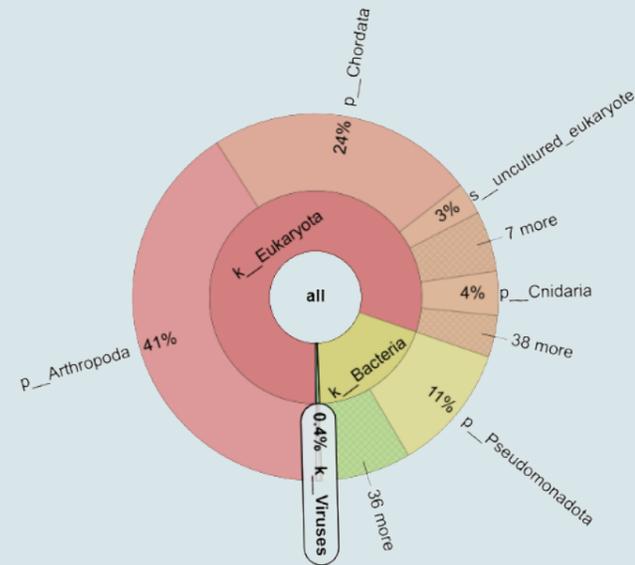


MESOOZOPLANKTON

200-2000 µm

size fraction

IT015_2024_5_ZOO_R1



Esempi di dati generati dall'analisi metagenomica delle frazioni microeucarioti (20-200 µm) e mesozooplankton (200-2000 µm) raccolte all'Osservatorio Marino di Portofino a Maggio 2024 (>70.000.000 reads per ogni campione).

Ad oggi, sono stati raccolti circa 1.600 campioni di DNA, metà destinati alla biobanca e l'altra metà all'analisi di metabarcoding e metagenomica, attualmente in corso. I dati ambientali (ad esempio, temperatura, salinità, nutrienti, Clorofilla-a, DOM) sono stati raccolti in tutte le stazioni e collegati ai dati sulla biodiversità.

Le attività vengono svolte seguendo protocolli consolidati e iniziative internazionali come TARA-Oceans, EMOBON e AtlantECO e saranno resi disponibili attraverso il gateway della biodiversità.

03

Il valore della Biodiversità Terrestre

3.1 La conservazione della biodiversità terrestre

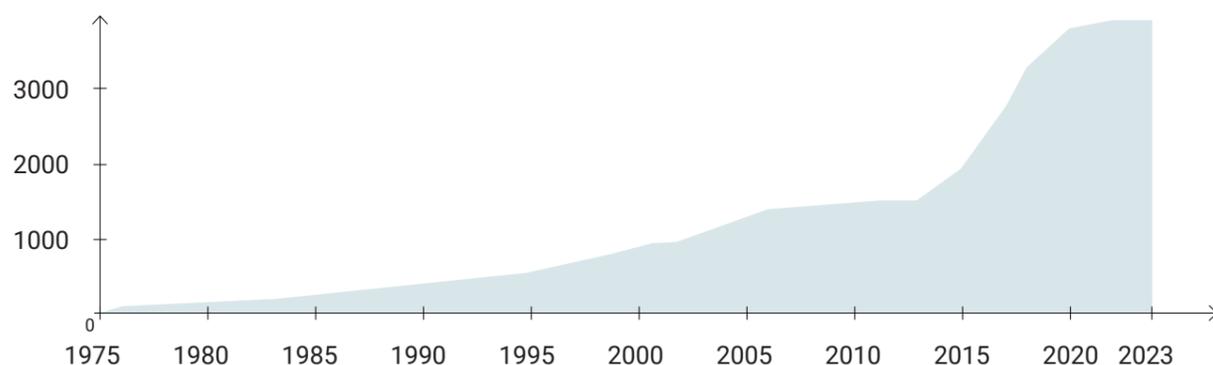
Attualmente, l'Italia protegge il 21,4% del proprio territorio terrestre; un valore inferiore alla media dell'UE che si attesta al 26,4%. La rete di aree protette risulta inoltre altamente frammentata.

Il dato positivo è che il numero di aree protette è cresciuto nel tempo e molti sono gli interventi in essere per incrementare le zone di conservazione.

LE AREE PROTETTE

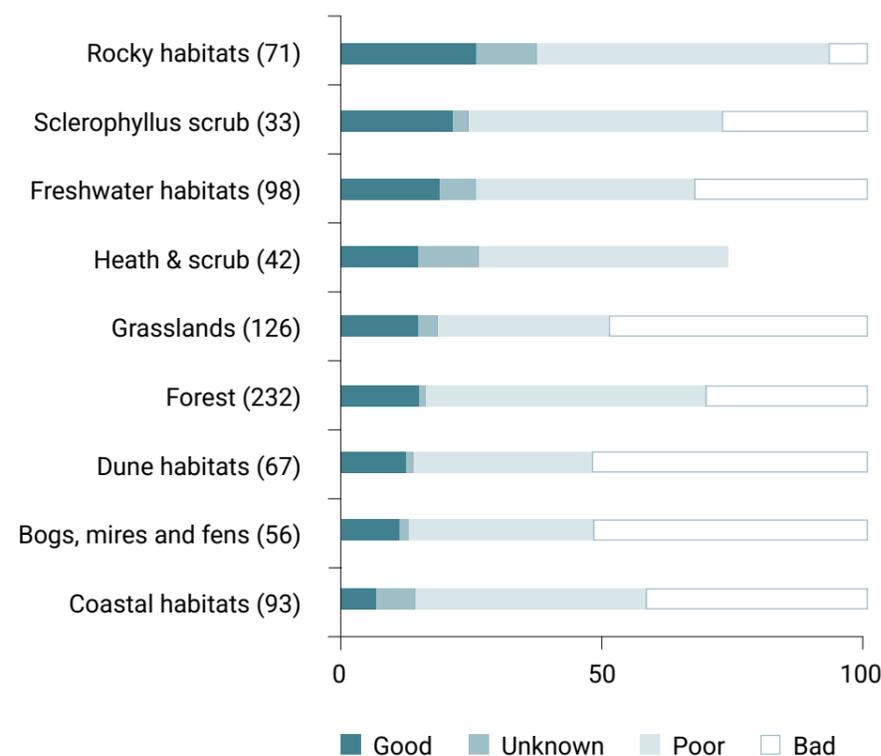


N° AREE PROTETTE IN ITALIA



In generale è stato osservato che nelle aree protette le pressioni legate allo sviluppo urbano, all'agricoltura e alle pressioni infrastrutturali risultano inferiori rispetto alle aree non protette, tuttavia, alcune minacce come la gestione forestale produttiva e le infrastrutture idriche (dighe) restano diffuse o addirittura più elevate all'interno delle aree protette.

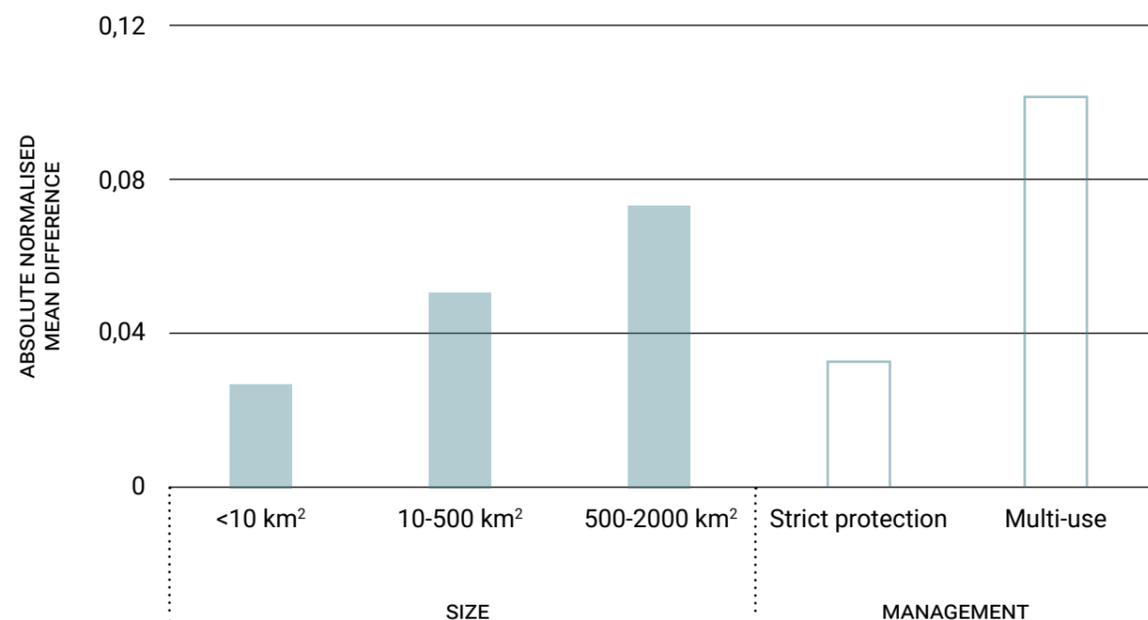
Complessivamente, dalle analisi condotte nell'ambito di NBFC emerge che la rete di aree protette italiane non è ancora sufficiente per promuovere una conservazione efficace dei diversi habitat.



Percentuali di habitat e specie in buono stato, sconosciuto, scarso o cattivo stato di conservazione in Italia. Le dune, insieme a torbiere e paludi, sono gli habitat con uno stato di conservazione più problematico, mentre sono le specie di pesci ad avere la più alta percentuale di stato sfavorevole. (Adattato dall'AEA (2020))

Dagli studi emerge che le aree protette più estese e con livelli di protezione più severi si dimostrano più efficaci nella riduzione delle minacce, mentre le zone a uso multiplo, pur più esposte, offrono comunque prestazioni migliori rispetto a siti analoghi non protetti.

Una delle azioni di ricerca di NBFC è stata quella di analizzare la dimensione e il tipo di protezione delle aree protette italiane.



Si è poi analizzata l'efficacia di protezione utilizzando organismi indicatori. Uno studio sugli insetti predatori come indicatori funzionali per migliorare l'identificazione delle Key Biodiversity Areas (KBA) e un'analisi sulle orchidee terrestri ha rivelato un grado di protezione attuale insufficiente per molte specie endemiche italiane.

↑ Aree protette italiane raggruppate per dimensione e categorie di gestione (Tutela rigorosa: categorie IUCN Ia-IV, Multiuso: categorie IUCN V-VI).

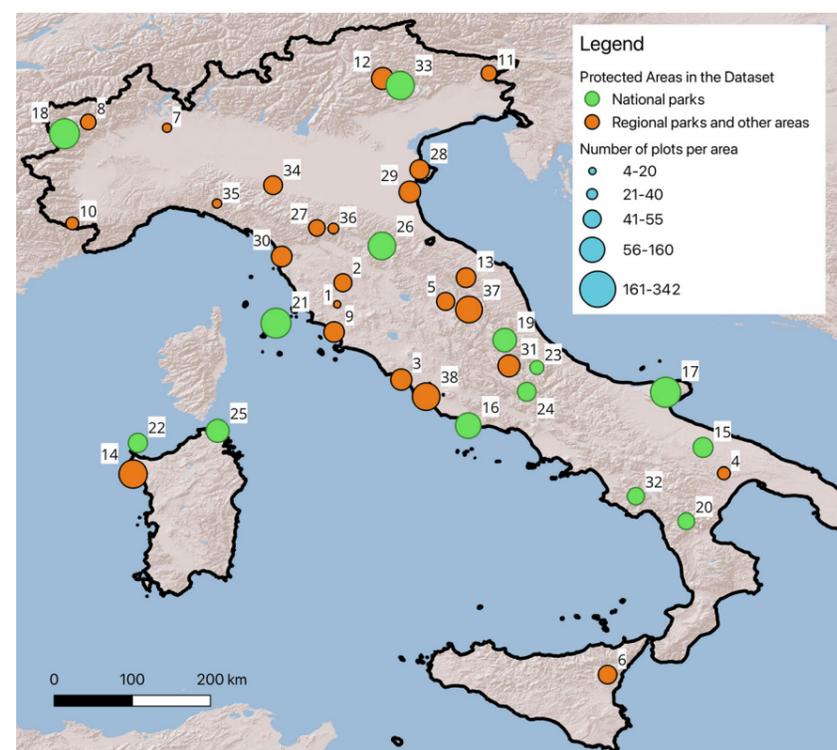
Se si scende di scala e si considera la diversità genetica si constata che i dati di genetica di popolazione non vengono considerati nella pianificazione spaziale delle aree da conservare, mentre il loro utilizzo è fondamentale per incrementare sia la ricchezza genetica sia per promuovere una conservazione resiliente. Una delle azioni di maggiore efficacia nell'ambito di NBFC è quella di mettere a sistema dati sulla distribuzione geografica a scala nazionale della biodiversità genetica e specifica per molti taxa animali e vegetali. Questi vengono combinati con dati di struttura ecologica del territorio (foreste vetuste, aree senza strade, ecc.) con l'obiettivo di arrivare a proporre modelli per una pianificazione integrata della conservazione.

Questo approccio consente di definire diversi scenari per l'espansione delle aree protette che tengano conto del raggiungimento dell'obiettivo di proteggere il 30% del territorio, un terzo del quale (10% del territorio) in modo rigoroso. Tali scenari sono in fase di sviluppo utilizzando le metodologie quantitative dello "Spatial conservation planning", che permettono di sviluppare gli scenari sia in relazione ai valori di riferimento favorevoli, che ai costi.

3.2 Analisi dei processi dinamici nelle aree protette

Uno dei bisogni più urgenti nella pianificazione e gestione della conservazione della biodiversità è quantificare e comprendere l'efficacia delle aree protette (AP) e i fattori ad essa associati. L'efficacia delle aree protette misura quanto bene queste zone raggiungono gli obiettivi di conservazione della biodiversità, del funzionamento degli ecosistemi e anche dei valori culturali presenti. Non si tratta quindi semplicemente di misurare quanti ettari sono protetti, ma è necessario comprendere come la gestione, in termini di progettazione adeguata, risorse sufficienti, azioni efficaci (sorveglianza, ripristino, coinvolgimento delle comunità), consenta di ottenere risultati concreti e misurabili, come la protezione di specie/habitat, il miglioramento dello stato di conservazione degli ecosistemi e del loro funzionamento. Valutare l'efficacia delle aree protette è anche cruciale per migliorare la gestione, allocare le risorse, garantire la trasparenza e adattare/modificare le strategie in modo efficace. In breve, l'efficacia va oltre la mera istituzione di un'area e si concentra sulla sua reale capacità di conservazione attraverso una buona gestione e una governance inclusiva.

In questo contesto, nell'ambito di NBFC sono stati realizzati una serie di studi, tutti collegati alla valutazione dell'efficacia delle aree protette, affrontando fenomeni a diverse scale temporali e considerando le diverse risposte degli organismi. I progetti svolti hanno analizzato l'efficacia delle aree protette partendo dalle dinamiche ecologiche esistenti di lungo termine (3-7000 anni) presenti sul territorio preso in considerazione. Sono state ricostruite le traiettorie ecosistemiche e l'impatto di attività umane (es. pastoralismo, miniere) e del clima in alcune aree modello delle Alpi e degli Appennini. Un gruppo di progetti ha esaminato l'ecosistema a diversi livelli di protezione, confrontando la biodiversità funzionale (es. sirfidi) e la genetica (es. querce) tra aree protette e non. Una serie di aree protette è stata studiata anche mediante la distribuzione di mammiferi tramite fototrappolaggio comparativo. Un'ampia ricerca sul campo (2023-2024) ha confrontato la vegetazione attuale con dati storici (dal 1933 al 2009) in 35 parchi nazionali e regionali per quantificare i cambiamenti ecologici a scala di sistema nazionale di aree protette.



Parchi Nazionali (verde) e parchi regionali (rosa antico) in cui sono stati effettuati studi di ricampionamento della vegetazione utilizzando dati storici.

Un ulteriore studio sta confrontando i pattern di biodiversità di diversi gruppi tassonomici (piante vascolari, coleotteri scolitidi, ditteri, imenotteri e uccelli) tra foreste vetuste e foreste gestite all'interno di parchi nazionali (Abruzzo, Sila, Pollino).



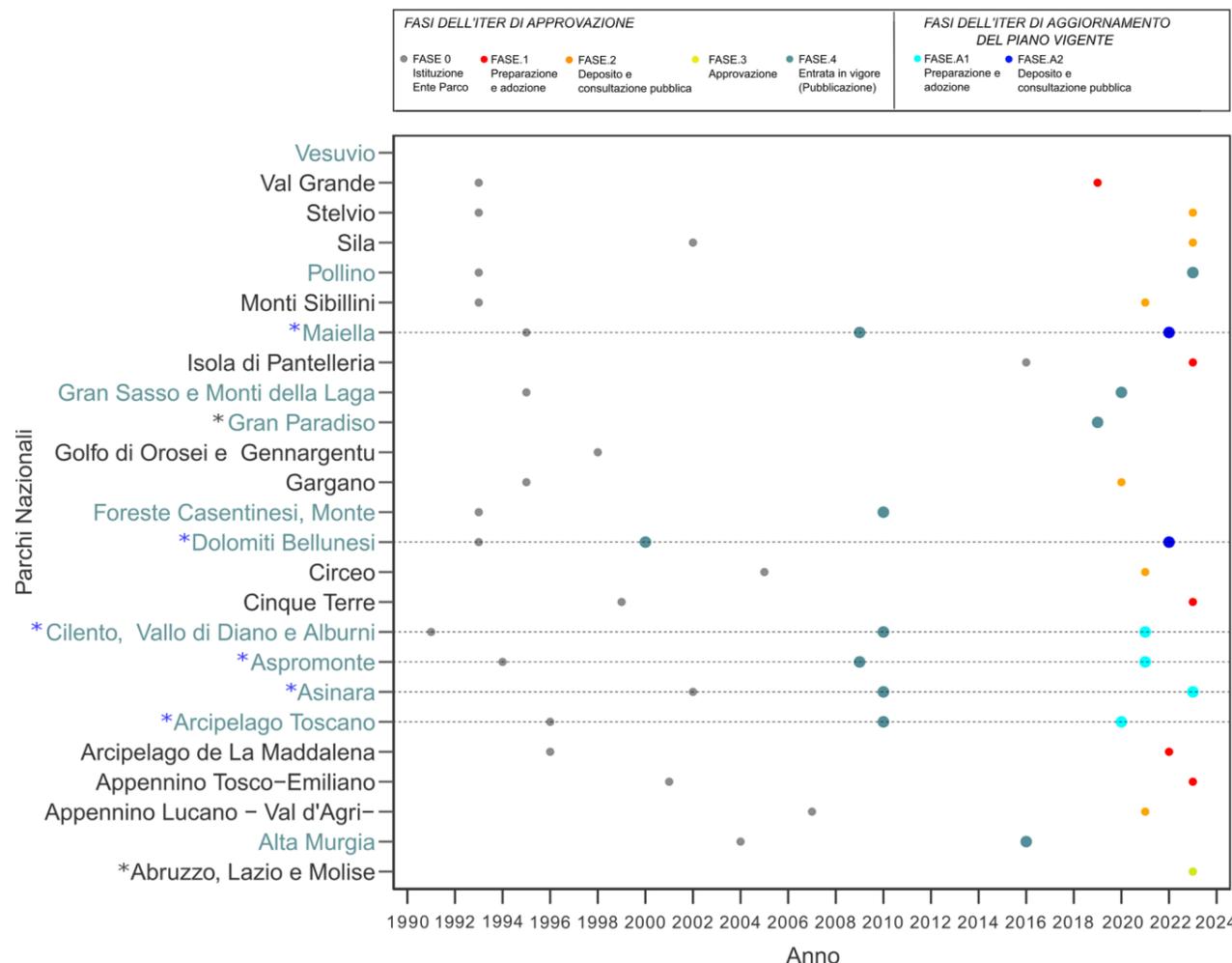
Infine, si stanno studiando le risposte individuali e di popolazione attraverso la genetica del paesaggio, l'ecologia del paesaggio sonoro, la genomica di popolazione, la fisiologia del paesaggio e l'ecologia comportamentale, analizzando l'impatto di fattori ambientali e la risposta delle specie in habitat modificati.

Campionamenti multitaxon per la comparazione della biodiversità tra foreste vetuste (sx) e foreste gestite (dx) all'interno del Parco Nazionale d'Abruzzo.

3.3 Governance delle aree protette

Uno degli obiettivi di NBFC è stata la definizione di strategie di governance efficaci per le aree protette (AP), in linea con gli obiettivi della Convenzione sulla Diversità Biologica e la strategia europea e italiana per la biodiversità. Il piano del parco e la sua zonizzazione sono strumenti chiave per valutare l'efficacia della gestione di un'area protetta rispetto alla conservazione di habitat e specie e all'uso sostenibile delle risorse. Tuttavia, un'analisi ISPRA evidenzia una situazione eterogenea nell'adozione dei piani nei Parchi Nazionali italiani. Nello specifico, a distanza di oltre 30 anni dall'entrata in vigore della legge quadro sulle aree protette (394/91) meno della metà (48%) dei Parchi Nazionali ha un Piano in vigore.

Stato di avanzamento della pianificazione nei Parchi Nazionali:



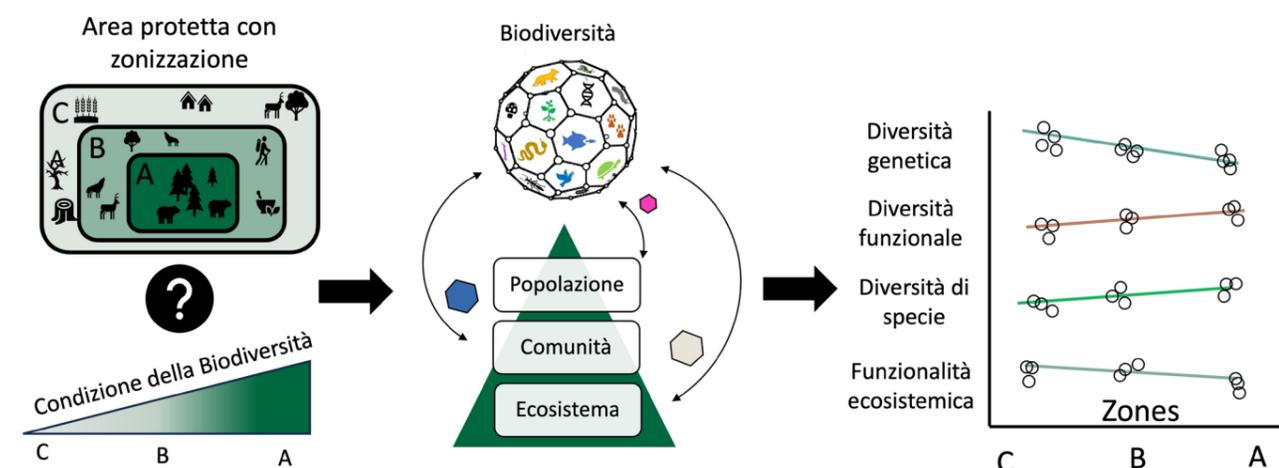
* Istituzione Ente Parco precedente al 1990
 * Ente Parco che ha avviato l'iter di aggiornamento del Piano vigente, evidenziato nel grafico dalla linea tratteggiata
 In verde sono identificati i Parchi in cui Il piano del Parco è entrato in vigore

Stato di avanzamento della pianificazione nei Parchi Nazionali (Elaborata da Michele Baliva; dati Ispra)

Nell'ambito delle attività previste da NBFC è stata quindi approfondita la governance delle aree protette con particolare riferimento al supporto della ricerca scientifica nell'accompagnare i Parchi verso una cultura di autovalutazione per migliorare l'efficacia della gestione. Un primo approfondimento ha riguardato l'efficacia della zonizzazione tramite una recensione della letteratura scientifica a scala globale, con lo scopo di valutare la frequenza e le metodologie con cui si svolgono studi di efficacia dei piani di zonizzazione nelle aree protette del mondo.

Dall'analisi delle pubblicazioni raccolte emerge che l'assunto di base della divisione in zone, cioè che il gradiente di protezione si rifletta in una differenziale condizione della biodiversità, è raramente rispettato. I pochi studi che hanno valutato l'efficacia della zonizzazione nelle aree protette si concentrano su limitate componenti della biodiversità. In particolare, viene considerata quasi esclusivamente la variazione nella diversità di specie come indicatore di efficacia, concentrandosi spesso su taxa di interesse commerciale come le specie arboree utilizzabili per il legname.

Questa indagine fa emergere la necessità di implementare i protocolli di monitoraggio nei parchi applicando un approccio di monitoraggio multidimensionale che tenga conto dei multipli aspetti della biodiversità (dalle popolazioni agli ecosistemi), senza trascurare la dimensione genetica e quella strutturale degli ecosistemi. Con l'implementazione di tale protocollo multiscala nelle aree protette, sarà possibile definire scientificamente se la zonizzazione e la gestione associata sono efficaci nel preservare la biodiversità *in toto*.



Sulla sinistra l'assunto teorico alla base della zonizzazione, una crescente condizione di naturalità della biodiversità dalle zone meno protette a quelle strettamente protette (CBA). Centro e destra: Approccio di monitoraggio multidimensionale per misurare come i diversi aspetti della biodiversità cambiano lungo il gradiente di protezione, potendo quindi valutare scientificamente l'efficacia.

(Elaborata da Francesco Cerini)

3.4 Caratterizzare e proteggere le riserve integrali

Una linea di ricerca rilevante del centro riguarda una ricognizione delle riserve integrali a scala nazionale con lo scopo di monitorare l'impatto dei cambiamenti globali sulla funzionalità di questi ecosistemi ad elevata naturalità. Studi condotti a scala globale dimostrano come le riserve integrali risultino più resistenti degli ecosistemi gestiti dall'uomo ai disturbi climatici e alle invasioni delle specie esotiche per cui appare interessante approfondire la funzionalità degli ecosistemi ad alta naturalità nell'hotspot del Mediterraneo.

A questo fine sono state avviate attività di mappatura e di monitoraggio in alcune riserve integrali distribuite lungo lo stivale, dalla montagna appenninica ai tratti più integri della nostra costa (Vedi Box). I monitoraggi

sulla funzionalità ecologica delle foreste demaniali condotti in collaborazione con i Carabinieri Forestali evidenziano una maggiore resistenza delle riserve integrali ai disturbi climatici, tra cui le ondate di calore in ambiente mediterraneo.

Parallelamente è stata analizzata la governance delle riserve integrali anche grazie a specifici questionari diretti ai gestori e guide del Parco. Le indagini riguardano per esempio le componenti italiane del sito seriale patrimonio mondiale dell'Unesco "Antiche faggete primordiali dei Carpazi e di altre regioni d'Europa" (Figure Piovesan 3 e 4), un modello a scala continentale per promuovere la cultura dell'efficacia nella gestione delle aree protette in senso stretto.



Riserva Integrale di Sasso Fratino, faggeta vetusta patrimonio mondiale dell'Unesco dove nei tratti sommitali gli alberi plurisecolari superano i 500 anni (G. Piovesan)

La collaborazione degli enti gestori per azioni condivise di pianificazione, gestione e monitoraggio finalizzate alla tutela integrale di questi ecosistemi dai caratteri unici rappresenta un modello da replicare per aumentare l'efficacia di gestione delle aree protette. Il monitoraggio periodico dei siti patrimonio dell'umanità, operato tramite il sistema IUCN World Heritage Outlook, costituisce, inoltre, un barometro estremamente importante dell'efficacia dello sforzo complessivo di conservazione della natura.

Faggeta vetusta di V. Infernale, sito UNESCO →
(Foto di G. Piovesan)



IL REWILDING NELLA RISERVA NATURALE REGIONALE FOCE DEL FIUME CRATI

La Riserva naturale regionale Foce del fiume Crati, in provincia di Cosenza, costituisce un importante ecosistema di transizione lungo la costa del Mediterraneo, dove l'acqua dolce si mescola a quella salata, dando vita a un mosaico di habitat che, grazie alla protezione integrale, è in fase di rewilding da circa 30 anni. Si tratta di un prezioso relitto della foresta planiziale igrofila che in antichità copriva la piana alluvionale di Sibari. Le foreste planiziali naturali sono ecosistemi altamente dinamici, molto complessi, capaci di grande resilienza grazie alle favorevoli condizioni ambientali che permettono agli alberi, agli arbusti e alle liane di accrescersi velocemente. Così i processi naturali stanno ricostituendo nel giro di pochi decenni una vegetazione forestale imponente e articolata, dove

prosperano numerose lianose tra cui la vite selvatica. La foresta composta da pioppi bianchi e neri, ontani neri, agnocasto, salici e olmi si snoda lungo la foce del fiume Crati ed è circondata da canneti, stagni, lagune, isole sabbiose, aree dunali e retrodunali. Questo mosaico di ambienti racchiude una straordinaria biodiversità tra cui 180 specie di fauna vertebrata, 135 specie di invertebrati e vertebrati (pesci) dell'area marina e di transizione; 480 specie e sottospecie floristiche; 62 generi di fitoplancton; 43 piante acquatiche (macrofite e microfite). La Riserva si estende su circa 134 ettari, mentre quella della ZSC è di 226 ettari. Gli habitat di interesse comunitario sono 17 (dati forniti dal Direttore della Riserva Agostino Brusco).

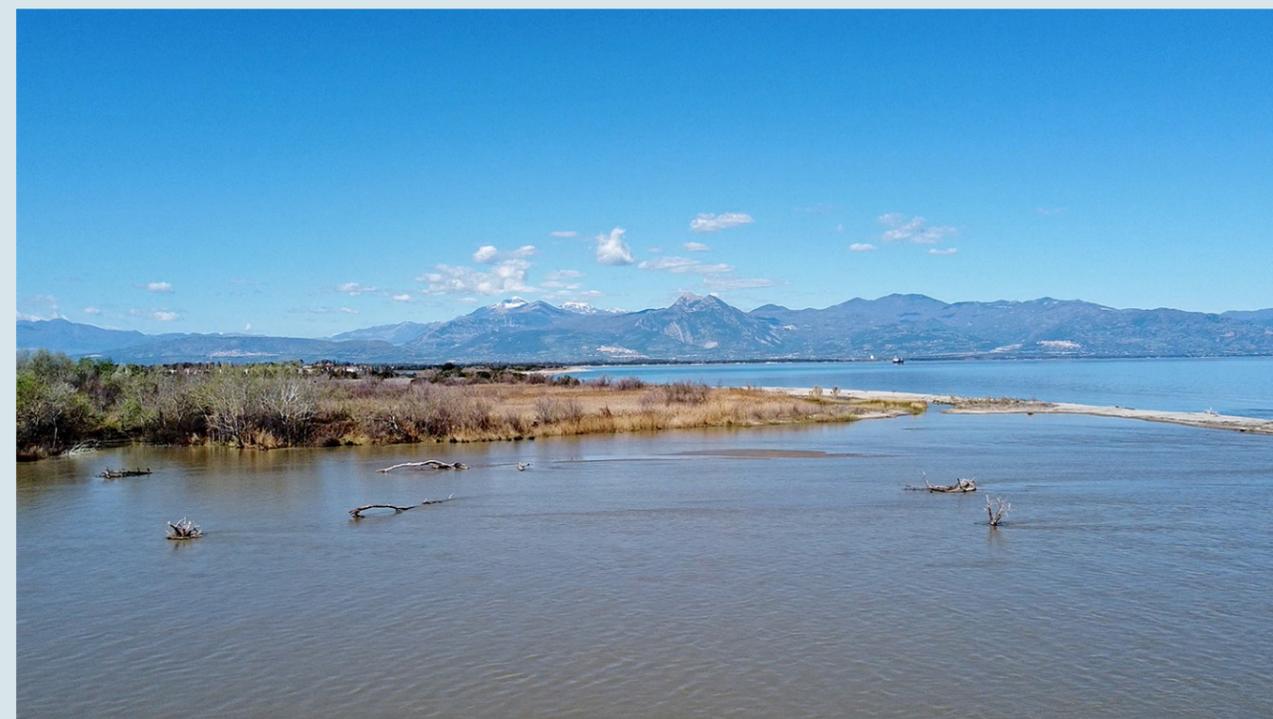


Foto della Riserva naturale regionale Foce del fiume del Crati
(autore Agostino Brusco)

3.5 Conoscere la Biodiversità terrestre e d'acqua dolce: every species counts

I ricercatori di NBFC hanno analizzato la diversità di batteri, funghi, animali vertebrati e invertebrati e piante di ambienti terrestri e d'acqua dolce al fine di conoscere e identificare tendenze, modelli e processi per prevedere e mitigare la potenziale perdita di biodiversità futura come conseguenza dei cambiamenti climatici e delle attività antropiche. Il monitoraggio estensivo sul campo, accompagnato da analisi in laboratorio, ha consentito di raccogliere dati su distribuzione e caratterizzazione morfologica e molecolare di specie locali, minacciate, endemiche ed esotiche, di creare check list, di analizzare dinamiche di popolazione, di sviluppare modelli di distribuzione delle specie nello spazio e nel tempo e di conoscere le condizioni degli habitat, di sviluppare metriche della biodiversità e salute degli ecosistemi con l'identificazione di specie e habitat indicatori chiave da utilizzare come

parametri per valutare il funzionamento, la salute, la resilienza e la fornitura di servizi degli ecosistemi. Tutto questo grazie allo sviluppo e convalida di nuove metodologie e strumenti di analisi che hanno affiancato metodologie tradizionali. Ne sono un esempio i protocolli, i metodi e i disegni sperimentali per condurre indagini sul DNA ambientale (eDNA) e lo sviluppo di nuovi strumenti bioinformatici e database di sequenze di riferimento per l'analisi e l'interpretazione dei dati omici della biodiversità terrestre e di acqua dolce. Non meno importante è stata la collaborazione con le autorità locali e competenti per sostenere le iniziative di monitoraggio della biodiversità e il coinvolgimento della comunità locali nei programmi di raccolta e monitoraggio dei dati, facilitato dalla collaborazione con l'Associazione Italiana Citizen Science.

3.6 Gli insetti italiani: patrimonio di biodiversità e servizi ecosistemici

Gli insetti sono il gruppo animale più diversificato sulla Terra e popolano quasi tutti gli ambienti terrestri. In Italia, il numero di specie è così elevato da risultare difficile da stimare. Oltre al loro valore scientifico, gli insetti rivestono un ruolo importante nei servizi ecosistemici e possono costituire un rischio come specie invasive. I ricercatori del NBFC studiano questi aspetti utilizzando la tassonomia integrata, che unisce metodi tradizionali e tecnologie genetiche moderne.

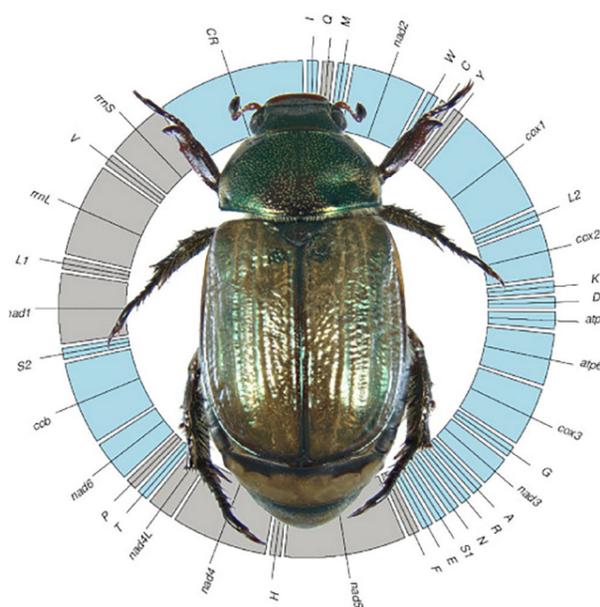
Due servizi ecosistemici di grande importanza sono rappresentati dall'impollinazione e dal controllo biologico, ambiti nei quali un gruppo di grande interesse è quello dei Ditteri Syrphidae. Nel contesto delle attività di monitoraggio svolte da NBFC, si è aggiornata la checklist italiana, permettendo anche, attraverso il confronto con dati storici, di misurare il trend, identificando casi in cui si registra un declino nel numero di specie. Inoltre, l'analisi della diversità di specie in relazione all'altitudine mostra risultati importanti in termini di conservazione delle specie. Pattern di distribuzione della ricchezza in specie di Sirfidi in funzione dell'altitudine (modificato da Sommaggio et al., 2022).

Un altro cruciale servizio ecosistemico è quello svolto dagli insetti del suolo, fondamentali sia in ambito forestale che negli agroecosistemi. In questi contesti, vi è un gruppo di insetti scarsamente conosciuto, quello dei Collemboli, che invece svolge un ruolo fondamentale contribuendo alla decomposizione della materia organica dei suoli e rappresentando, altresì, una risorsa alimentare per invertebrati di maggiori dimensioni. Uno studio condotto nei vigneti delle campagne del Chianti soggetti a diversi metodi di coltivazione (tradizionale e biologica) effettuato mediante approccio di DNA metabarcoding ambientale sono emerse differenze significative nella composizione di microinvertebrati. Ciò suggerisce che il regime di coltivazione, e verosimilmente l'uso di fertilizzanti chimici e/o pesticidi, influenza significativamente la componente organismica edafica. In questo progetto NBFC ha confermato l'importanza della biodiversità come indicatore di qualità.

Tra le minacce rappresentate dagli insetti, invece, la principale resta quella delle specie invasive, che in assenza, spesso, di predatori o 'controllori' naturali, di si diffondono velocemente arrecando danni a diverse specie vegetali, incluse molte di interesse economico. Un esempio paradigmatico è rappresentato dal



Esemplare adulto di *P. japonica*.
(Foto di Luciano Gollini)



Esemplare di *Mimela junii*, con il suo genoma mitocondriale.

cosiddetto coleottero giapponese (*Popillia japonica*). Originario del Giappone ed arrivato una decina di anni fa in Italia, partendo dagli U.S.A., in pochi anni si è ampiamente diffuso in Italia settentrionale (principalmente Piemonte e Lombardia) e nella vicina Svizzera (Nardi et al., 2024a). Avendo caratterizzato la storia evolutiva delle sue rotte di invasione, si è osservato l'elevatissimo potenziale dispersivo di questa specie, sia attraverso la repentina estensione 'su terra' del proprio areale di distribuzione, sia attraverso mezzi di comunicazione aerei. Inoltre, l'analisi del suo genoma completo ha consentito di individuare famiglie geniche altamente espanse (come gli odorant receptors e il citocromo P450), la cui diversificazione è da mettere in relazione con l'estrema polifagia e la resistenza agli insetticidi, suggerendo un certo livello di preadattamento genetico all'invasività e alla dispersione su larga scala (Cucini et al., 2024).

Un altro Scarabeide potenzialmente dannoso è la *Mimela junii*, di cui si è identificata una popolazione in grado di danneggiare il prato di un piccolo giardino domestico. Allo scopo di caratterizzare la specie con più accuratezza, se ne è sequenziato l'intero genoma mitocondriale così da arricchire la conoscenza dell'intero gruppo e facilitare forme di identificazione future

basate su strumenti di barcoding (Nardi et al., 2024b). Il monitoraggio della biodiversità entomologica italiana, tuttavia, non può fermarsi a specie 'utili' o 'dannose', ma deve occuparsi anche di specie che abitano ambienti a rischio conservazionistico, come i ghiacciai. In questi ambienti vincono specie criofiliche, come i Collemboli ('pulci dei ghiacciai'), la cui sopravvivenza è messa a repentaglio dal ritiro dei ghiacci e la frammentazione degli habitat. Da uno studio sistematico, Sono state così identificate e descritte cinque nuove specie sulle Alpi (Valle et al., 2025): *Desoria orobica* sp. nov., *Vertagopus glacialis* sp. nov., *V. psychrophilus* sp. nov., *V. glacieinigræ* sp. nov. e *V. fradustaensis* sp. nov., insieme alle già note *D. saltans* e *V. alpinus*. È stata inoltre segnalata l'evidenza di due ulteriori nuove specie, con la prima presenza di *Gnathosotoma bicolor* per la catena alpina. *Desoria calderoni* è presente sull'unico ghiacciaio degli Appennini.

Questo studio evidenzia la diversità inesplorata e l'interesse ecologico e biogeografico di questi organismi, unitamente alla preoccupazione per la conservazione nel contesto dell'attuale ciclo di riscaldamento, offrendo, infine, nuovi spunti di riflessione sulla fragilità e la ricchezza degli ambienti glaciali, apparentemente inospitali.



Campionamento sul Ghiacciaio dei Forni, luglio 2023 (SO).
Foto M. Gobbi

Come anticipato in precedenza, la genomica sta diventando la nuova frontiera degli studi di tassonomia. In questo contesto, i moderni strumenti di sequenziamento consentono di ottenere rapidamente e a costi contenuti l'intera sequenza del genoma completo di una specie, ad altissima risoluzione.

È il caso, ad esempio, della specie endemica di collembolo *Orchesella dallaii*, appartenente a un genere che conta diverse decine di specie in tutto il mondo, una decina delle quali sono presenti, anche con endemismi, in Italia. Il genoma completo di *Orchesella dallaii* è stato sequenziato, assemblato e completa-



Esemplare di *Orchesella dallaii* →

3.7 La biodiversità dei mammiferi: specie invasive, biodiversità urbana e risposta ai cambiamenti climatici

Accanto agli insetti, l'altro grande gruppo molto conosciuto di animali terrestri sono i Mammiferi. Questi rappresentano un campo di studio particolarmente vasto e interessante per gli aspetti legati alla colonizzazione di ambienti urbani, alle specie invasive, ma anche per la dinamica delle popolazioni in risposta ai cambiamenti ambientali.

Su questo tema, ad esempio, nel capriolo (*Capreolus capreolus*) del Parco della Maremma e nel camoscio alpino (*Rupicapra r. rupicapra*) del Parco Nazionale dello Stelvio si è dimostrato un rallentamento dell'attività diurna con l'aumento della temperatura, e un aumento dell'attività notturna che espone però questi animali a un maggior rischio predatorio da parte di predatori notturni come il lupo.

Come detto, i mammiferi, anche di grandi dimensioni, presenta questioni di coesistenza con gli insediamenti urbani che richiedono accurate misure di monitoraggio, facendo uso anche di strumenti tecnologicamente avanzati come bioacustica e fototrappolaggio. Si è dimostrato che le aree verdi residuali rappresentano luoghi privilegiati per queste specie selvatiche. D'altro canto, invece, l'illuminazione notturna ne riduce la presenza e l'abbondanza, finendo con l'allontanarli dalle zone urbane. Per contemperare una razionale e sostenibile convivenza tra l'uomo e i mammiferi selvatici, inclusi quelli di interesse conservazionistico,



Esemplare di *Capreolus capreolus*.

che rappresentano una componente della biodiversità del nostro paese, occorre quindi realizzare interventi di pianificazione urbana e peri-urbana, privilegiando l'interconnessione delle aree verdi residuali.

Infine, i mammiferi presentano anche un interesse ecosistemico per la potenziale azione distruttiva di specie introdotte, spesso in relazione a eventi di rilascio intenzionale o accidentale di specie allevate per altri fini. Ad esempio, sia il procione (*Procyon lotor*), il cui primo ritrovamento in Italia (la specie ha origini Nord Americane) risale al 2004, ma che si è rapidamente espanso in buona parte della penisola (Garofalo et al., 2024). Gli individui fondatori della popolazione dell'Italia centrale si sono rivelati provenienti da uno zoo-parco privato dal quale erano fuggiti

inavvertitamente, creando ben presto una popolazione riproduttiva in natura.

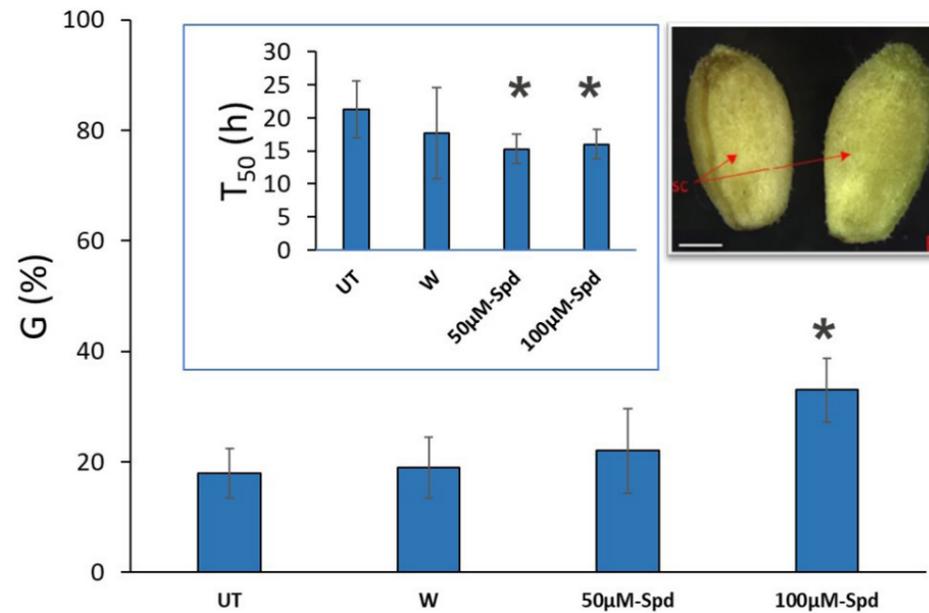
Degno di nota anche il caso della nutria (*Myocastor coypus*), originariamente introdotta in Italia dal Sud America per la produzione della pelliccia, ma poi sfuggita (o intenzionalmente rilasciata) in ambiente selvatico dove si è ampiamente e rapidamente riprodotta e adattata. L'introduzione di queste specie nelle aree urbane può alterare gli equilibri ecologici, minacciare la biodiversità autoctona e persino rappresentare un rischio per le attività e la salute umana. Il monitoraggio, quindi, non è solo uno strumento, ma anche una necessità. E la diagnosi precoce è particolarmente critica per misure di controllo e strategie di mitigazione efficaci.

3.8 Caratterizzazione e tracciabilità del materiale forestale di base per il ripristino ecosistemico

Ottenere materiale forestale di qualità per il ripristino ecologico è spesso complesso per diverse ragioni. La disponibilità di semi e piantine autoctone e geneticamente appropriate è limitata, soprattutto per specie rare o endemiche. Inoltre, la tracciabilità dell'origine del materiale è fondamentale per garantire l'adattamento all'ambiente locale, ma non sempre è garantita. Le filiere produttive sono spesso poco sviluppate e non standardizzate. Tutto ciò rende difficile pianificare interventi efficaci e sostenibili di riforestazione o recupero ambientale. Nell'ambito di NBFC sono stati intraprese diverse azioni di ricerca per incrementare la qualità e la disponibilità di piante per poter supportare le azioni di rimboscimento e forestazione. Tra gli studi affrontati vi sono:

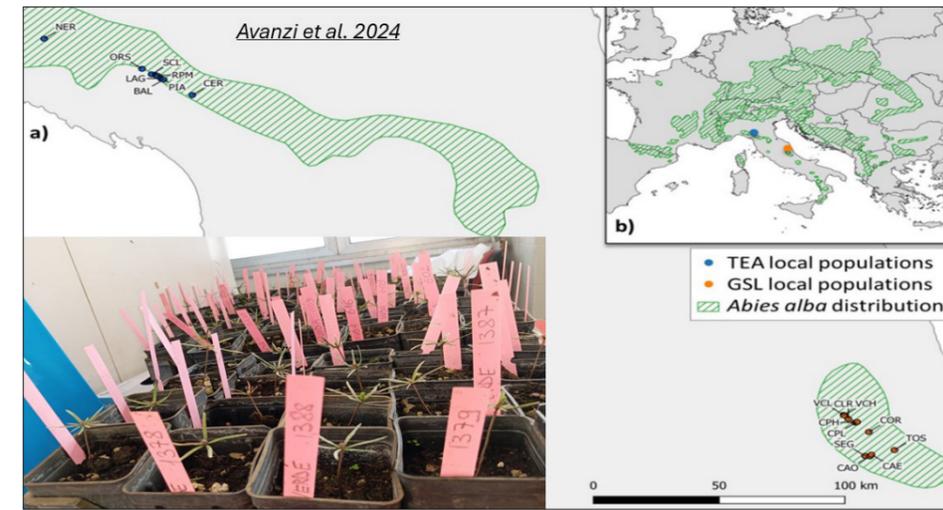
- 1 Implementazione della qualità dei semi e supporto alla germinazione.** Un esempio è stato effettuato sul clone di *Populus alba* 'Villafranca' (pioppo bianco). Lo studio ha affrontato la scarsa qualità e germinabilità dei semi di questo clone molto importante per la biomassa e il ripristino ecologico. Sebbene la propagazione clonale sia comune, è necessario usare anche semi per conservare la variabilità genetica. Sono stati testati trattamenti di priming e ammollo, in particolare con spermidina, per migliorare la germinazione dopo lunga conservazione. Il trattamento con 100 µM di spermidina per 4 ore ha aumentato

significativamente la percentuale e la velocità di germinazione. Inoltre, i semi trattati hanno mostrato livelli più bassi di ROS e un'attivazione favorevole di geni legati alla germinazione.



Effetto del 'seed priming' sulla percentuale di germinazione dei semi del *Populus alba*. (Alma Balestrazzi)

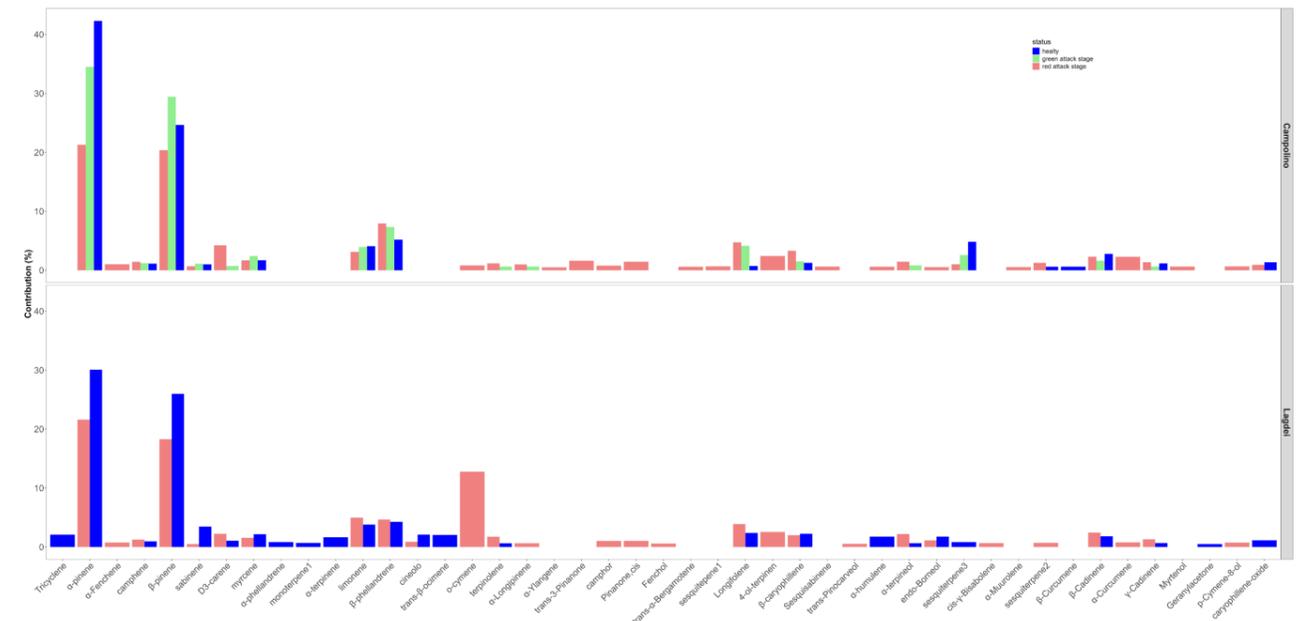
2 Incremento della produttività e resistenza a fenomeni di stress climatico. La resilienza del materiale forestale è essenziale per il successo della riforestazione, soprattutto in risposta a eventi estremi. È fondamentale utilizzare provenienze con alta variabilità genetica, garantendo una buona germinazione dei semi e la sopravvivenza delle plantule. Nonostante le normative esistenti per la conservazione genetica e la certificazione del materiale, persistono dubbi sulle pratiche vivaistiche più efficaci. Tra i principali limiti vi sono la scarsa germinabilità e la bassa sopravvivenza dei semenzali. L'esperimento descritto mira a valutare produttività e risposta alla siccità di semenzali di quattro provenienze di abete bianco con diversa variabilità genetica. I ricercatori di NBFC hanno testato semenzali di un anno sottoposti a stress osmotico tramite PEG in camera di crescita a temperatura controllata. La fenotipizzazione è avvenuta a intervalli regolari durante lo stress. I risultati evidenziano che la variabilità genetica gioca un ruolo chiave nel determinare le prestazioni dei semenzali in vivaio e che questo dovrebbe essere sempre valutato nei programmi di miglioramento varietale.



Selezione e geolocalizzazione delle provenienze appenniniche di abete bianco con bassa ed alta variabilità genetica intra-popolazione.

3 Incremento della produttività e resistenza stress biotico. Uno studio di NBFC si è concentrato a valutare se l'abete rosso di provenienza meridionale possa essere utile per il miglioramento genetico contro il bostrico e il cambiamento climatico. Sono state analizzate due popolazioni alpine coltivate in Appennino, confrontando piante sane e deperenti a contatto con soggetti attaccati. Usando analisi dei composti volatili, dendrocronologia e telerilevamento, si è osservato che le piante sane hanno profili terpenici distinti, potenzialmente legati a una maggiore resistenza.

Profili terpenici di piante sane vs piante attaccate da bostrico.

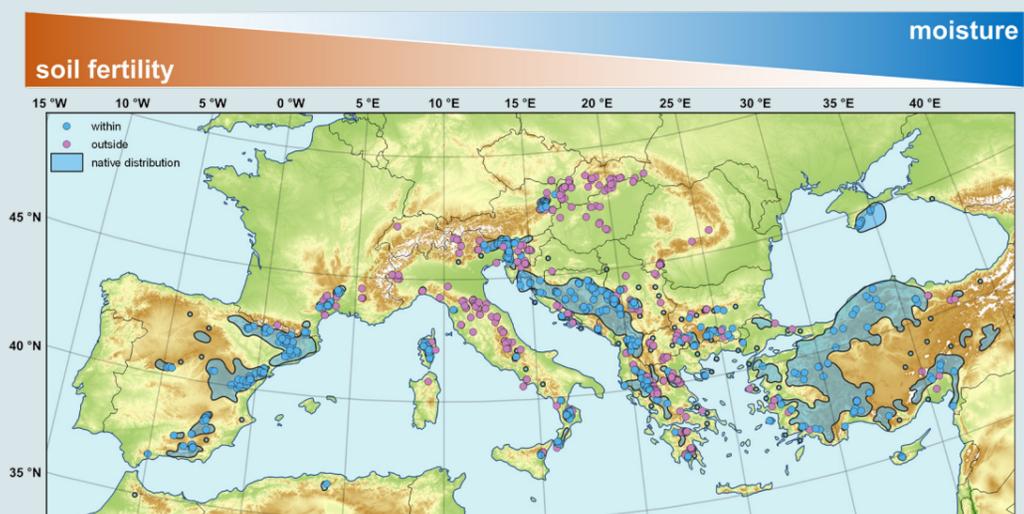
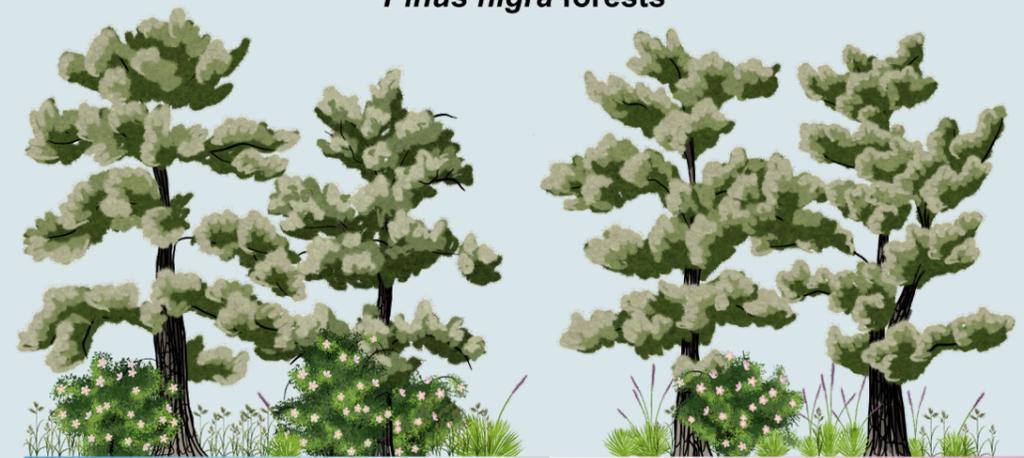


LE FORESTE DI PINO NERO FUORI DAL LORO AREALE NATURALE POSSONO SOSTENERE LA BIODIVERSITÀ

Sono state studiate oltre 1360 foreste di pino nero (*Pinus nigra*) in tutta Europa, confrontando quelle situate all'interno del loro areale nativo con quelle al suo esterno, spesso frutto di rimboschimenti o piantagioni (Bricca et al., 2025). Condizioni ambientali locali, come la fertilità del suolo e l'umidità (inclusa quella derivante dalle precipitazioni), sono fattori chiave nel determinare la composizione della vegetazione, più ancora dell'origine geografica del pino. Se inserite in ambienti adatti le foreste di pino nero al di fuori del loro areale originario possono funzionare in modo ecologicamente simile a quelle native, sostenendo livelli di biodiversità vegetale simili a quelli riscontrati nelle foreste native. Inoltre, molte delle foreste oggi considerate 'fuori areale' si trovano in regioni dove il pino nero era naturalmente presente durante il Pleisto-

cene, prima che i cambiamenti climatici e il secolare impatto umano sul paesaggio europeo ne restringessero l'areale. Questo indica che tali formazioni potrebbero rappresentare una sorta di 'ritorno' in habitat storici, offrendo una preziosa prospettiva paleoecologica. Questo lavoro evidenzia come alcune piantagioni, spesso trascurate nelle strategie di conservazione, possano avere un ruolo ecologico rilevante, offrendo habitat importanti per molte specie vegetali. Esso mette in luce altresì che, anche in ambienti apparentemente familiari come le piantagioni, è cruciale comprendere appieno i processi ecologici e progettare strategie di gestione e conservazione realmente efficaci che ci aiutino a mantenere la biodiversità passata e presente e a preservarne il valore in termini di servizi ecosistemici.

***Pinus nigra* forests**



Distribuzione delle foreste di pino nero in Europa (Bricca et al., 2025)

BIODIVERSITÀ DEI GASTROTRICHI ITALIANI

I gastrotrichi sono un gruppo di microscopici invertebrati acquatici che vivono nei sedimenti di corpi idrici marini e dulciacquicoli (Figura 1). Svolgono un ruolo importante nelle catene alimentari, trasferendo materia ed energia dalle comunità microbiche ai livelli trofici superiori. La biodiversità dei gastrotrichi è poco conosciuta a causa di speciazione criptica, delle poche aree investigate e dal 'taxonomic impediment' ovvero alla scarsità di tassonomi. Grazie al supporto di NBFC è ripreso lo studio della diversità dei gastrotrichi dulciacquicoli del nostro Paese su basi moderne.

Lo studio ha previsto l'iniziale acquisizione e analisi critica dei dati tassonomici pregressi e la georeferenziazione dei siti di rinvenimento con creazione di una Web Map interattiva su base GIS (Figura 2). L'analisi dei dati storici, che coprono 239 anni, ha portato a individuare 92 specie in 61 biotopi di 9 regioni con 19 specie endemiche. Finora sono stati campionati 42 biotopi in 7 regioni, tra cui Marche, Piemonte e Sicilia

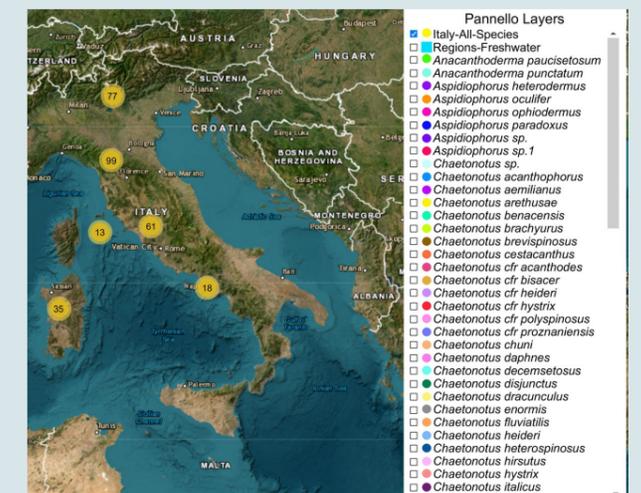
mai investigate prima. Le analisi tassonomiche condotte con microscopia ad alta risoluzione hanno portato all'identificazione di 70 specie, 30 delle quali già note per l'Italia, altre 8 risultano nuove per il Paese e almeno 4 nuove per la scienza che sono state descritte o verranno descritte con approccio integrato morfologico e molecolare. Inoltre, per 63 specie documentate digitalmente, almeno un esemplare è stato conservato per la tipizzazione genetica (18S e 28S rRNA e COI e genoma mitocondriale).

La ricerca ha rivelato una stasi evolutiva nel genoma mitocondriale dei gastrotrichi partenogenetici e una grande variabilità in quelli ermafroditi. Infine, è stato digitalizzato l'archivio fotografico dei gastrotrichi presente presso Unimore costituito da circa 10.000 fotografie risalenti al periodo 1977-1995. Entro il 2025 saranno documentate con immagini digitali e con sequenze geniche 90-100 specie andando a costituire il più corposo archivio di gastrotrichi a livello mondiale, un lascito prezioso per NBFC.



Immagini di Gastrotrichi. A, *Cephalodasy* sp., una specie marina; B, *Lepidodermella squamata*, specie dulciacquicola.

Da Saponi & Todaro 2024. Doi: 10.3390/d16010017



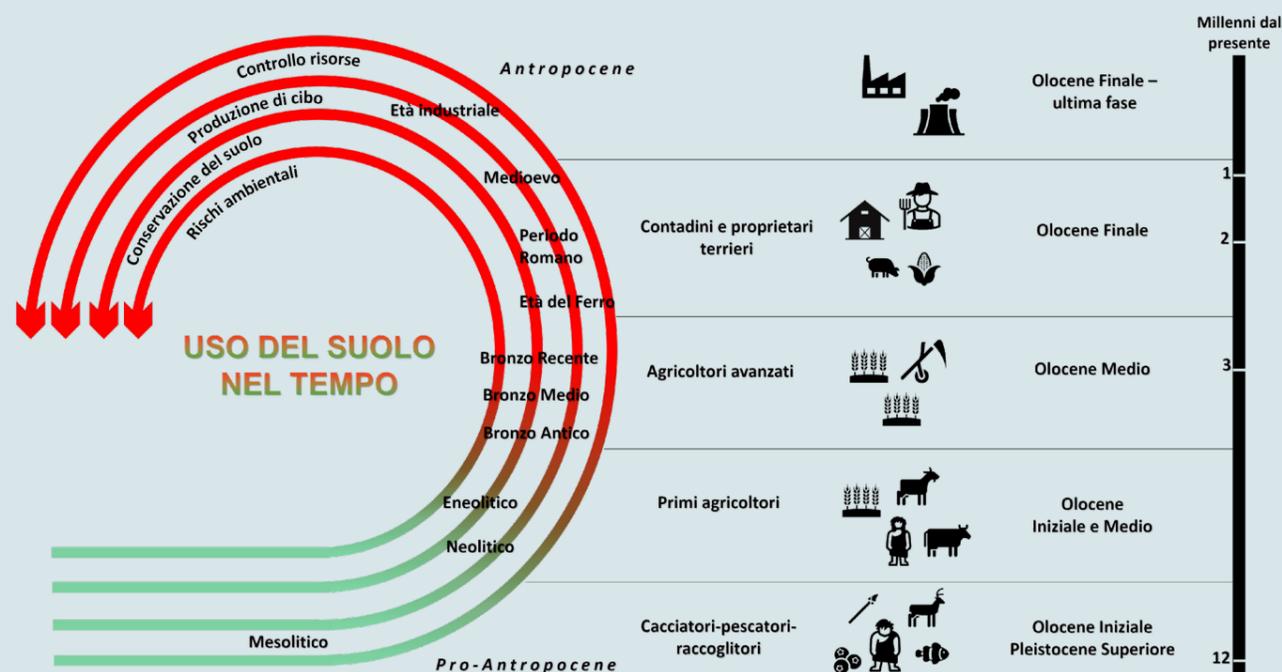
Schermata iniziale della Web Map con il layer 'Italy-All-Species' attivo; sulla destra è visibile il pannello che consente di attivare/distattivare i vari livelli.

Da Saponi & Todaro 2024. Doi: 10.3390/d16010017

TRACCE INVISIBILI DI BIODIVERSITÀ VEGETALE IN 12.000 ANNI DI STORIA AMBIENTALE ITALIANA

La ricerca palinologica su contesti italiani di alto valore naturalistico e culturale permette di sfruttare, in modo fino ad oggi inedito, il potenziale conoscitivo degli archivi ambientali. Gli studi condotti nell'ambito di NBFC riguardano oltre 70 serie polliniche per le quali il riutilizzo innovativo dei dati restituisce la diversità floristica su scala millenaria. Inoltre, nuove analisi mirate a studi integrati di siti archeologici (on-site) e torbiere o laghi (off-site) vedono il polline fossile mostrare cambiamenti climatici o impatto antropico in una rete di siti caratterizzati da gradienti altitudinali, latitudinali e contesti ambientali diversificati, che riflettono l'eterogeneità di habitat e specie su scala spaziale e temporale nella penisola italiana: dal Parco Naturale Regionale delle Alpi Liguri, alla Riserva Naturale del Lago di Burano e al Parco Nazionale del Pollino; zone umide ad alta naturalità nel

bacino del Palù di Livenza e nella torbiera sepolta di Teor-Campomolle, dove pure si registra la presenza di specie relitte (*Linnaea borealis* L., *Rhynchospora alba* (L.), *R. fusca* (L.)). L'analisi pollinica di dettaglio ha mostrato la morfologia intermedia *Tilia cordata/platyphyllos* nelle fasi tardo neolitiche di Colombare di Negrar di Valpolicella-VR, nonché il dimorfismo nella popolazione relitta di *Vitis vinifera* della Riserva Naturale Foce del Crati. Grazie alla prospettiva diacronica della palinologia, spesso incrociata con la geoarcheologia, è stato possibile definire il Pro-Anthropocene come il lungo periodo di uso del suolo che ha preceduto e preparato l'inizio dell'Anthropocene. Gli spettri pollinici delle indagini fin qui condotte dimostrano che, nonostante la lunga influenza dell'uomo sull'ambiente, ogni luogo mantiene una propria unicità e una peculiare biodiversità vegetale.



La visione diacronica delle trasformazioni ambientali vede l'inizio dell'influenza umana nel Pro-Anthropocene, che adotta i comportamenti che preludono e portano all'Anthropocene (<https://doi.org/10.1038/s41598-025-97372-x>, modificato)

3.9 La Citizen Science per il monitoraggio di specie terrestri e il *public engagement*

Da qualche tempo, la Citizen Science, unitamente all'utilizzo di tecnologie digitali avanzate, sta diventando un validissimo strumento di monitoraggio e di *public engagement*. Da un lato, infatti, la supervisione di scienziati professionisti garantisce il rispetto di standard scientifici di alto livello, contribuendo a estendere la capacità di raccolta dati dei professionisti stessi, senza comprometterne la qualità. Dall'altro, il coinvolgimento di una fetta sempre più vasta della popolazione, a partire dalle fasce di età più giovani, in progetti di monitoraggio contribuisce ad aumentare la consapevolezza collettiva dell'importanza della protezione della biodiversità, realizzando una vera e propria educazione scientifica su larga scala.

Il cervo volante (*Lucanus cervus*) è un grosso coleottero Lucanide che abita foreste di bassa quota, prevalentemente di quercia, in Italia e in Europa. Le sue abitudini alimentari saproxiliche gli fanno prediligere il legno morto, restringendo quindi il suo areale a foreste non 'coltivate' per scopi umani, quali la produzione di legno. Essendo protetto dalla Direttiva Habitat, il suo monitoraggio rappresenta un impegno ineludibile da parte della comunità entomologica italiana. A tal fine, è stata messa a punto una App, denominata BOB, finalizzata alla raccolta capillare di informazioni sulla presenza e abbondanza di questa specie nel territorio italiano. Attraverso BOB, scaricabile nel proprio cellulare, ogni cittadino può registrare in tempo reale l'avvistamento di un esemplare che si ritiene appartenere a questa specie, inviando la foto corredata di tutti gli altri particolari dell'avvistamento al centro di controllo.

Qui, entomologi professionisti validano l'avvistamento, confermando l'appartenenza dell'individuo alla specie oggetto del monitoraggio, e inserendolo nel database. Al momento dell'avvistamento e della seguente segnalazione, all'operatore viene data la possibilità di inserire numerosi dati riguardanti il campione, ivi inclusi il sesso, il substrato su cui l'animale

è appoggiato (alberi, foglie, suolo, etc.), l'altezza dal terreno, che cosa sta facendo (riposo o attività). Tutti questi dati, sommati per tutti gli avvistamenti registrati dai cittadini-scienziati, vanno a popolare un database che i ricercatori utilizzano per monitorare questa specie non soltanto dal punto di vista della presenza, distribuzione e abbondanza, ma anche di altri aspetti legati alla sua attività trofica.

Il progetto 'I tardigradi vanno a scuola', invece, affronta un gruppo di invertebrati scarsamente conosciuti. Ciò nonostante, i tardigradi sono entrati nella cultura di massa grazie al loro aspetto curioso e alla loro capacità di resistere a stress estremi (alte e basse temperature, disidratazione, radiazioni). Durante il progetto, che coinvolge le scuole primarie, secondarie di I e II grado per ampliare la conoscenza della distribuzione dei tardigradi in Italia, i ricercatori incontrano gli studenti a cui vengono presentati i tardigradi, le loro peculiarità e l'importanza dello studio della biodiversità. Poi, durante un'attività pratica a scuola, gli studenti raccolgono campioni di muschio dal giardino ed estraggono e osservano i tardigradi utilizzando strumenti di uso quotidiano.

Dopo di che, gli studenti raccolgono altri muschi (es. durante gite scolastiche), compilando una scheda dati fornita dai ricercatori, cercano i tardigradi e inviano la scheda e i muschi coi tardigradi ai ricercatori per una analisi faunistica con un approccio di tassonomia integrata. Alle classi viene consegnato un attestato di partecipazione e il risultato dell'analisi viene fornito grazie a relazioni, incontri o apposito sito web. Ad ora sono stati analizzati 18 campioni di 4 scuole del Nord Italia, rinvenendo numerosi generi (15) e specie (16), tra cui una specie rara e due candidate nuove specie. Il coinvolgimento degli studenti consente di incrementare la conoscenza della biodiversità dei tardigradi muscicoli italiani, promuove la consapevolezza, la responsabilità e l'interesse per animali microscopici e per questioni ambientali tra le giovani generazioni.

TESO – TOOL PER SPECIE ESOTICHE

L'obiettivo di TESO è stato generare una comunità scientifica aggregata capace di operare in modo sinergico sulle specie esotiche volta a:

- 1 | Generare linee guida operative finalizzate al contenimento dell'ingresso nel territorio nazionale e alla gestione della diffusione di specie esotiche;
- 2 | Strutturare una piattaforma per il Biodiversity Gateway capace di fornire informazioni e modelli di gestione delle specie aliene,
- 3 | Informare e coinvolgere la comunità nel prevenire e contrastare la diffusione di specie esotiche infestanti.

I TEMI DELL'ATTIVITÀ SCIENTIFICA DI TESO



MACROECOLOGIA: Analisi dei pattern ecologici delle specie esotiche (SDM, nicchie, ecc.) a grande/media scala



RICOSTRUZIONE & ANALISI della distribuzione delle specie esotiche, finalizzati a migliorare lo stato delle conoscenze e prevenire la diffusione



SVILUPPO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO: Elaborazione di metodologie per il rilievo sistematico e ripetuto di specie, vegetazione, stati ecologici, ecc.



SFRUTTAMENTO ECONOMICO: Utilizzo e valorizzazione economica delle specie esotiche

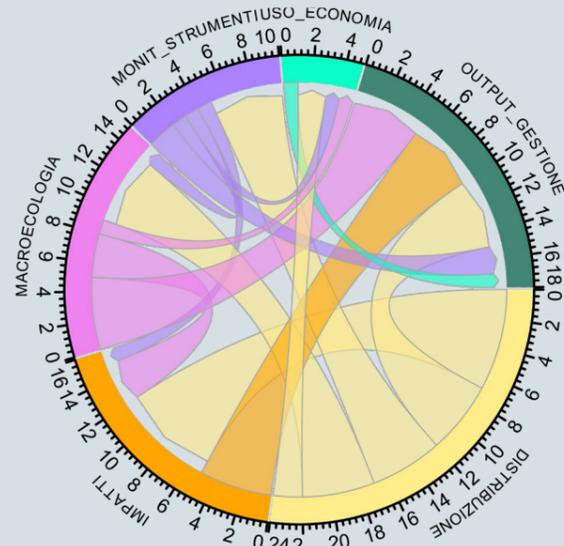


ANALISI DI IMPATTO: Valutare l'impatto delle diverse specie esotiche



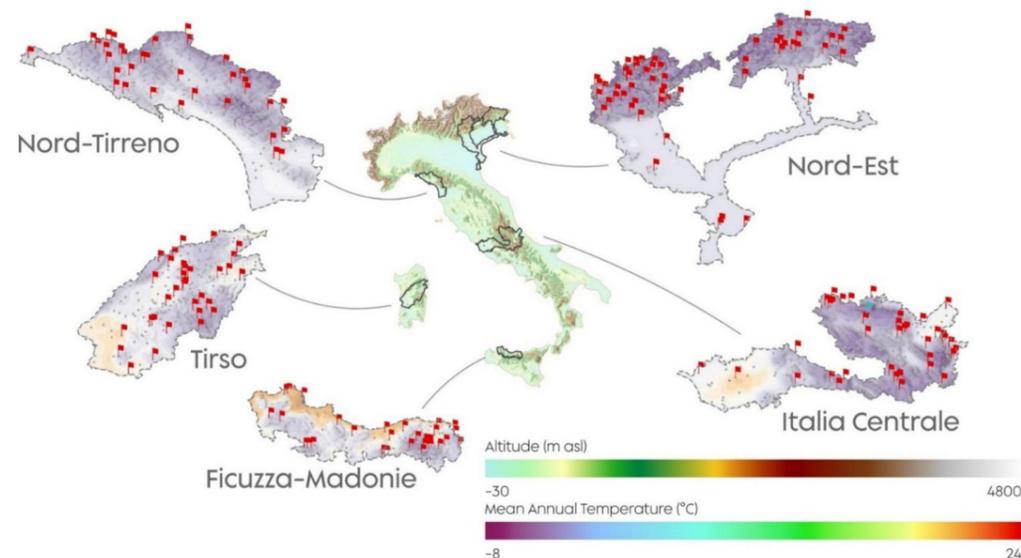
GESTIONE: Sviluppo di tools per la visualizzazione dei dati, modelli di previsione e strumenti di valutazione del rischio per indicazioni gestionali.

→ Network analysis delle aree tematiche indagate dal TESO.



LA RETE NAZIONALE PER IL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ E DELLE FUNZIONI ECOSISTEMICHE (RETE BEF)

La rete BEF è stata istituita per determinare l'Effetto Netto (Net Effect, NE) delle interazioni tra specie sulle funzioni ecosistemiche (EF) e sulla composizione delle comunità biologiche. Il disegno sperimentale infatti si basa sulla selezione di otto delle specie arboree più rappresentative e abbondanti in Italia: *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Quercus cerris*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* e *Quercus suber* trovate come siti in purezza (109 parcelle) o come combinazioni binarie di due delle otto specie, con abbondanza relativa simile (84 parcelle). 60 delle 193 parcelle provengono dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC), 7 parcelle afferenti a siti ICOS e/o LTER, 16 parcelle in boschi vetusti, e 110 parcelle selezionate dai ricercatori sulla base di criteri pedoclimatici.



Il disegno sperimentale che include sia formazioni monospecifiche che miste consente di calcolare l'effetto netto della biodiversità arborea seguendo Hector & Loreau (2004), ovvero di stimare il valore atteso di una funzione (o composizione della comunità) in una parcella con più specie assumendo che in assenza di interazioni con le altre specie arborea il suo valore sia uguale alla comunità monospecifica. La differenza fra il valore osservato (Y_o) e quello atteso (Y_e) equivale all'effetto netto della biodiversità.

$$NE = Y_o - Y_e$$

Una generale relazione positiva fra biodiversità e funzioni ecosistemiche anche in ambito forestale è ben consolidata nella letteratura scientifica, per

esempio è ben assodato come in generale le formazioni forestali con più specie arboree abbiano una capacità di accumulo della biomassa superiore alle formazioni monospecifiche. Tuttavia, ancora non si comprendono i meccanismi per cui questo accade e perché non accade sempre. La rete è stata disegnata per approfondire i meccanismi sottostanti e in particolare determinare come le interazioni variano in base alle condizioni pedoclimatiche. Infatti ognuna delle 14 combinazioni delle 8 specie viene replicata 6 volte ma lungo un gradiente pedoclimatico poiché i siti sono stati selezionati per coprire sia l'intero intervallo delle rispettive nicchie ecologiche, sia l'intera variabilità ambientale del territorio italiano.

Le attività previste vedono la partecipazione di più di 50 ricercatori di vari enti e università distribuite su tutto il territorio nazionale che stanno raccogliendo dati utilizzando un protocollo comune. In particolare si stanno determinando: gli accrescimenti della componente arborea che danno un'indicazione sulla

capacità di assorbimento del carbonio; il tasso di decomposizione che dà un'indicazione sulla funzionalità del suolo ed è rilevante per la determinazione del bilancio del carbonio; quantificazione dei microhabitat, ovvero la moltitudine di superfici su alberi (vivi o morti) che ospitano un gran numero di specie; campioni di suolo e di lettiera da cui ricavare la composizione della comunità microbica e degli invertebrati e vertebrati con la tecnica del DNA ambientale.

Le attività in corso forniranno nuove conoscenze sulle relazioni tra biodiversità e funzioni ecosistemiche per esempio determinare se gli effetti positivi delle interazioni si verificano solo quando sono presenti determinate comunità microbiche suggerendo che le interazioni positive possono essere mediate per esempio da comunità fungine. Oppure determinare in quale contesto climatico le interazioni fra specie arboree sono positive suggerendo pratiche di gestione forestale adeguate per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

INCENDI

In Italia gli incendi boschivi rappresentano una minaccia che il cambiamento climatico sta aggravando, con estati sempre più lunghe e siccitose che favoriscono la propagazione del fuoco non solo in aree naturali ma anche in centri abitati. Questo fenomeno contrasta anche le attività di rinaturazione spontanea che interessano molti territori abbandonati dalla seconda metà del secolo e che potrebbero ricostruire paesaggi più resilienti. Tut-

tavia, la frequenza elevata degli inneschi, sia dolosi che accidentali, mette seriamente a rischio questo processo. Uno degli obiettivi di NBFC è comprendere la relazione tra la struttura degli ecosistemi e gli incendi, identificando e modellando i principali processi che si verificano nella successione ecologica in relazione al tipo di suolo, alle condizioni climatiche attuali e future, ai diversi usi del suolo e alle tipologie di gestione post-incendio.

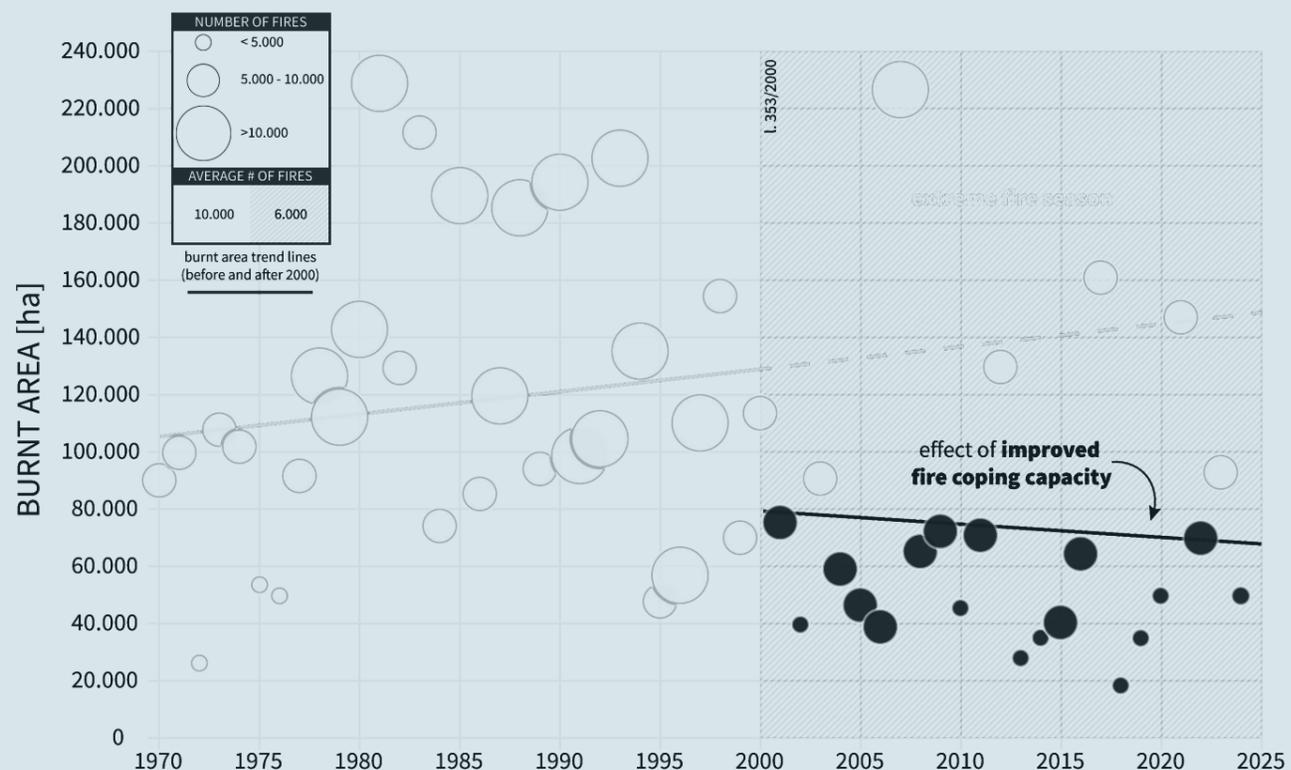
Dagli studi sino ad ora eseguiti emerge che:

- 1 C'è un legame a doppia mandata tra piante e incendi e questo determina la resilienza degli ecosistemi mediterranei. Le piante sono il principale combustibile degli incendi forestali, ma con una diversa vulnerabilità al fuoco. Dagli studi eseguiti negli ultimi 20 anni in Italia emerge che le foreste di conifere mediterranee sono quelle più colpite da incendi in proporzione alla loro estensione (circa il 18%), seguite da arbusteti e macchia mediterranea (~9%), praterie e coltivi (~2.7%) e latifoglie (~2.5%). Le ricerche hanno messo in evidenza che le diverse piante hanno sviluppato specifici adattamenti per sopravvivere agli incendi e per la ricrescita immediatamente successiva all'evento. Questi sono fattori che determinano la resilienza delle foreste mediterranee sul lungo periodo.

- 2 Esiste una relazione tra tipologia di incendio e specie presenti. E' stato osservato che incendi con caratteristiche simili per area bruciata, severità e frequenza corrispondono a foreste con specie diverse tra loro e, più importante, con tratti funzionali di risposta agli incendi diversi. Emerge, per esempio, che le specie con maggiori adattamenti agli incendi e alle siccità sono distribuite nelle aree più prone agli incendi.
- 3 Le aree soggette ad incendi ripetuti evidenziano che le comunità vegetali che ricrescono dopo i diversi eventi cambiano sia in composizione, sia in funzionalità rendendo l'area anche più prona alle invasioni di specie aliene e quindi alle alterazioni degli ecosistemi.

La complessità degli ecosistemi percorsi da incendio va ben oltre il ruolo delle sole piante in quanto gli incendi possono alterare la chimica e la struttura del terreno, la comunità microbica presente e la velocità dei processi coinvolti nei cicli di carbonio ed azoto. Le analisi hanno messo in luce come la biodiversità può contribuire alla ripresa degli ecosistemi dopo un incendio. Per esempio, è stato osservato che alcune specie di funghi pirofili crescono bene su aree bruciate e contribuiscono a riattivare le funzioni ecosistemiche.

↓ Superficie bruciata (ha) e numero di incendi (dimensione dei cerchi) annuali in Italia dal 1970 al 2024. I dati provengono dal Corpo Forestale dello Stato fino al 2016, dal 2017-2023 dai Carabinieri Forestali (Art. 7, Par. 2 del Decreto-Legge 177/2016) per le Regioni a statuto ordinario, e dalle autorità competenti per le Regioni e Province a statuto speciale; i dati del 2024 sono forniti da EFFIS.



L'ultima azione di NBFC in merito agli incendi riguarda lo sviluppo di modelli che partendo dal rapporto tra piante e incendi includono dati climatici, caratteristiche del suolo e informazioni ricavate da monitoraggi anche storici. I modelli devono anche considerare le dinamiche ecosistemiche mediterranea accedendo ad informazioni storiche e considerando le peculiarità di alcune specie che vivono anche 500 anni. L'obiettivo ultimo è generare modelli

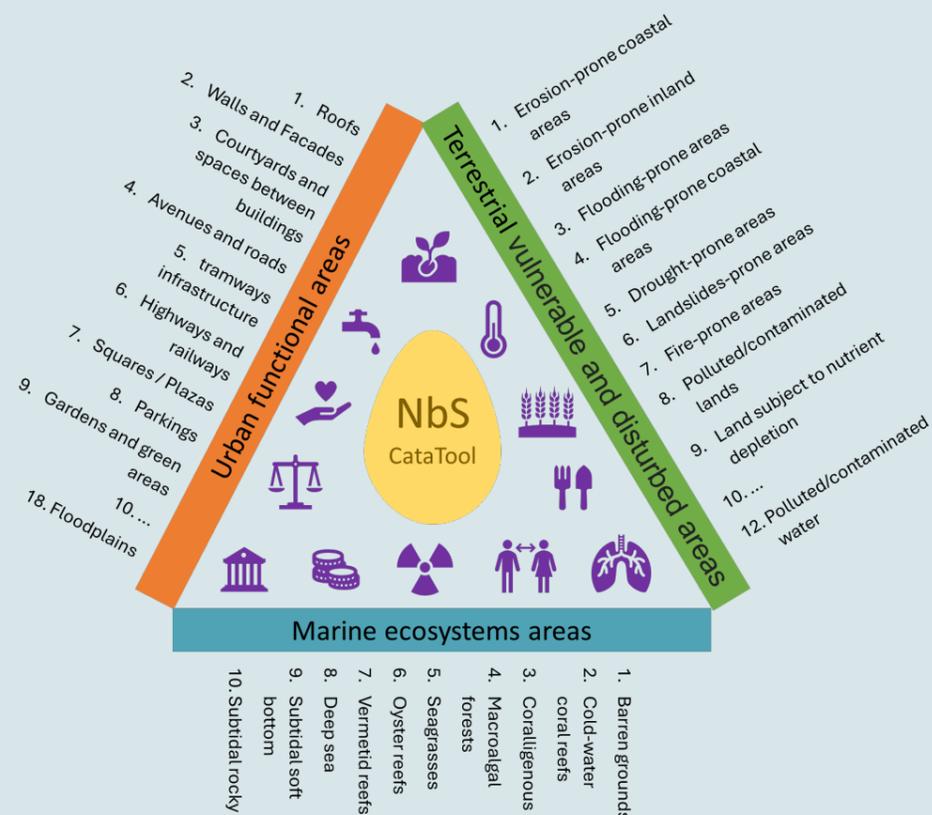
che possano prevedere l'impatto di diversi scenari di gestione forestale, fornendo quindi informazioni integrate al decisore per prevenire questi eventi e per favorire la strutturazione di ecosistemi più resilienti. E' fondamentale infatti un approccio che non si basi solo sulla sorveglianza, ma anche sulla prevenzione e gestione forestale sostenibile, basate su solide evidenze scientifiche sugli effetti a lungo termine delle pratiche di gestione del soprassuolo.

CATATOOL

Il Cata-Tool è uno strumento digitale dedicato alle Nature Based Solutions (NbS) che grazie al catalogo di casi studio reali e di soluzioni teoriche di NbS mediterranee consente di supportare la progettazioni di NbS in contesti terrestri e marini. Questo strumento è stato realizzato con la tassonomia più aggiornata, in linea sia con la Roadmap for 2030 della EC, che con il Global Standard di IUCN per le NbS.

Il Cata-Tool supporta l'utente nella scelta della NbS più adatta in relazione alle esigenze e caratteristiche dell'area. Tra questi, in contesto urbano vi sono le implementazioni funzionali, gli aspetti urbanistici

come edifici, strade e i fattori di rischio ambientali e climatici oltre alle pressioni antropiche. In ambito terrestre sono considerate aree da implementare con particolare riferimento ad ambienti soggetti ad allagamento, aree inquinate oltre che alle aree caratterizzate da ecosistemi particolarmente fragili. In ambiente marino ci si concentra sul editerraneo. In ambito marino il Cata-Tool si concentra sul mediterraneo ed interviene in aree da restaurare e riqualificare caratterizzate, per esempio, da foreste algali e/o da fanerogame, scogliere coralline e ambiente di transizione. Lo schema di seguito descrive le variabili del Cata-Tool.



Una seconda funzione di questo strumento è la capacità di considerare e interpretare le sfide sociali prioritarie rispetto alle aree di intervento, tra le 12 individuate a livello europeo (ref. Roadmap 2030)

IL DATABASE: il cuore del servizio offerto è l'NbS Database composto da soluzioni teoriche arricchito dal 'Case Study Database', ovvero un catalogo di casi studio mediterranei esemplificativi delle soluzioni teoriche in esso presenti, ed estrapolati sia dalle ricerche di NBFC, sia da altri database europei (es., OPPLA). E' inoltre prevista l'interazione con altre piattaforme NBFC, in particolare la piattaforma BEF, al fine di implementare una progettazione più solida e complessiva del sito d'intervento.

GLI OUTPUT: Il cata-tool è totalmente funzionante online tramite un applicativo web interattivo e navigabile in doppia modalità una guidata e una libera.

In entrambi i casi gli utenti otterranno una lista di soluzioni NbS gerarchizzate in funzione della loro performance in relazione alle sfide sociali. I casi studio sono invece spazialmente espliciti e visualizzati su applicativo web-gis. Ogni caso studio così come

le NbS teoriche sono corredate da schede descrittive di dettaglio, oltre che da una descrizione sintetica, possibili da scaricare.

Le soluzioni e i dati contenuti sul tool non sono da considerare statici, ma prevedono un processo di revisione e update tramite l'interazione con gli utenti che potranno caricare dati di monitoraggio dei propri casi studio opportunamente caricati e validati dal gruppo di lavoro.

Infine, sarà sviluppata una grafica riconoscibile e caratterizzante le NbS utile per la realizzazione di carte da gioco per attività didattiche, workshop e un coinvolgimento più ampio degli stakeholder.

Lo strumento consente quindi di:

- adottare e implementare NbS in maniera più consapevole e supportata da dati scientifici;
- realizzare interventi NbS su ampia scala resilienti ed efficaci nel tempo;
- diffondere i concetti generali e know-how specifico sulle NbS tra diversi stakeholders (cittadini, professionisti, decisori politici, ricercatori di diversi ambiti disciplinari, scuole).

04

Il valore della Biodiversità Urbana

4.1 Le città come opportunità per la biodiversità

Grazie a monitoraggi e analisi territoriali, NBFC ha documentato una straordinaria e inattesa presenza di biodiversità nelle città. Sebbene l'urbanizzazione sia spesso vista come una minaccia per la biodiversità, le città possono offrire rifugi e opportunità a numerose specie. In alcuni casi, piante e animali trovano più risorse e condizioni favorevoli nei centri urbani che nei paesaggi rurali circostanti, specialmente se questi ultimi sono degradati. Le città offrono inoltre ambienti nuovi, capaci di ospitare comunità biologiche a volte sorprendentemente complesse. In questo contesto le città possono contribuire alla diversità genetica, offrire habitat di sosta per specie migratorie (ad es. uccelli) e siti idonei e protetti per la nidificazione. Riconoscere e valorizzare questi aspetti positivi può orientare la progettazione di spazi verdi urbani più efficaci per la conservazione.

I ricercatori all'interno di NBFC hanno individuato quattro principali elementi di valore che le città possono offrire alla biodiversità:

- 1 **Mitigazione di pressioni abiotiche presenti nel paesaggio circostante.** Durante periodi di scarsità di risorse o eventi climatici estremi, le città forniscono elementi aggiuntivi come cibo, acqua e aree rifugio. Alcune specie di uccelli e mammiferi e insetti, ad esempio, utilizzano l'ambiente urbano in periodi di siccità per reperire risorse e sopravvivere.

- 2 **Riduzione di predazione, competizione e parassitismo.** In molti casi le aree urbane presentano una riduzione di predatori, soprattutto di grandi dimensioni. La semplificazione di alcuni ecosistemi urbani riduce anche la competizione tra specie. Vi sono poi specie che si adattano rapidamente al disturbo antropico (specie sinantropiche) che addirittura riescono a sopravvivere meglio in città rispetto al contesto extra-urbano come molte piante erbacee annuali.
- 3 **Aumento dell'eterogeneità dell'habitat.** Grazie alla diversità di microecosistemi, le città possono ospitare anche specie rare con esigenze peculiari, specialmente laddove il paesaggio rurale circostante risulta omogeneizzato da agricoltura o altre forme di eccessivo consumo e impoverimento del suolo. In tal senso le città possono diventare rifugio per specie che hanno perso il loro habitat originario e che rischiano il declino.
- 4 **Disponibilità di aree di sosta lungo le rotte migratorie.** Parchi urbani e spazi verdi, anche di piccole dimensioni, possono offrire habitat temporanei ricchi di risorse per uccelli migratori (ad es. frutti carnosì). In contesti altamente urbanizzati, questi spazi, se adeguatamente progettati possono divenire fondamentali per il rifornimento energetico di molte specie in transito.
- 5 **Mantenimento della diversità genetica e pre-adattamento ai cambiamenti climatici.** Alcune popolazioni animali e vegetali urbane mostrano maggiore variabilità genetica o adattamenti a temperature elevate, suggerendo un potenziale ruolo delle città nel "preparare" alcune specie ai futuri scenari climatici. In certi casi, le popolazioni urbane possono anche favorire la connettività genetica regionale.

4.2 I numeri della biodiversità urbana

Attraverso monitoraggi eseguiti da esperti ricercatori, avvalendosi anche di sensori audio/video e analisi indirette (es. DNA ambientale) è stata mappata la biodiversità dei centri urbani del nostro paese con un focus su alcune città campione come Torino, Milano, Roma, Firenze, Napoli, Campobasso. I risultati hanno fornito una fotografia chiara della biodiversità urbana che è fondamentale non solo per la conservazione ma anche per la gestione delle aree urbane in modo che questa ricchezza di specie possa essere protetta e implementata.

UCCELLI



Tra le specie nidificanti degne di nota ci sono alcuni strigiformi (ad es. assiolo *Otus scops* e allocco *Strix aluco*) che utilizzano cavità di alberi nei boschi di ville storiche o di grande estensione, il falco pellegrino (*Falco peregrinus*) sui tetti di edifici molto alti, il picchio rosso minore (*Dryobates minor*) e il Picchio nero (*Dryocopus martius*), bioindicatori di boschi maturi, il tarabusino (*Ixobrychus minutus*) in alcune aree umide ben vegetate urbane e ovviamente la passera d'Italia (*Passer italiae*) specie endemica italiana in forte diminuzione.

Tra le specie alloctone invasive spiccano il parrocchetto dal collare (*Psittacula krameri*) e il parrocchetto monaco (*Myiopsitta monachus*), anche questi sfruttano le cavità degli alberi.

MAMMIFERI



Tra le specie di maggior pregio conservazionistico individuate nelle città indagate ci sono il moscardino (*Muscardinus avellanarius*), il lupo (*Canis lupus*), la puzzola (*Mustela putorius*) e varie specie di chiroterri tra cui l'orecchione grigio (*Plecotus austriacus*) e la nottola comune (*Nyctalus noctula*). Tra le specie alloctone invasive, oggetto di introduzione recente spiccano lo scoiattolo grigio (*Sciurus carolinensis*) e la nutria (*Myocastor coypus*).

RETTILI



Tra le specie di maggior pregio conservazionistico potenzialmente presenti in città a livello italiano spiccano sicuramente la testuggine di Hermann (*Testudo hermanni*) e la testuggine palustre europea (*Emys orbicularis*), entrambe considerate endangered nella lista rossa dei vertebrati italiani. Tra le specie alloctone invasive la maggior parte sono testuggini acquatiche, ad esempio la testuggine palustre americana (*Trachemys scripta*).

ARTROPODI

NBFC ha individuato nelle api selvatiche ottimi indicatori di qualità degli ecosistemi urbani per questo gruppo di animali.

Data l'elevata diversità di questo gruppo e la difficoltà di identificazione per alcuni generi, non è noto il numero di api selvatiche che colonizzano i centri urbani a livello nazionale ma probabilmente si attesta nell'ordine di alcune centinaia. Tra le specie alloctone si segnala in alcune città l'ape resinosa gigante (*Megachile sculpturalis*). Ulteriori indagini sono in corso per quanto riguarda la biodiversità dei coleotteri saproxilici (si nutrono di legno morto) e ragni.

1.050~ SPECIE DI API SELVATICHE In Italia include aree naturali e agrigole



PIANTE

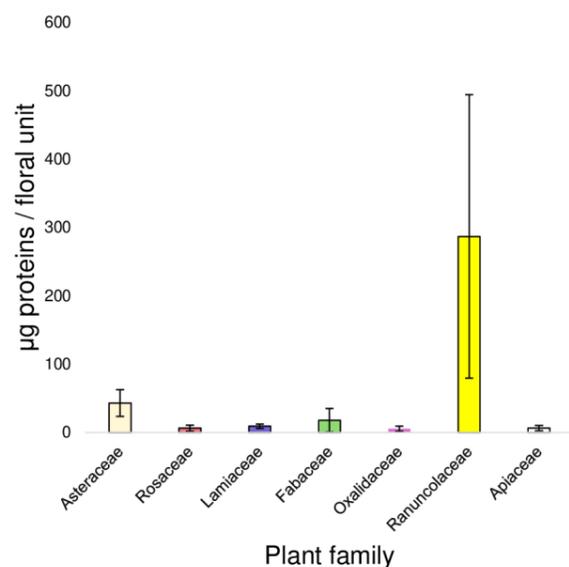
2.202
SPECIE DI PIANTE
in 6 città italiane

6 CITTÀ CAMPIONE **305** ESOTICHE

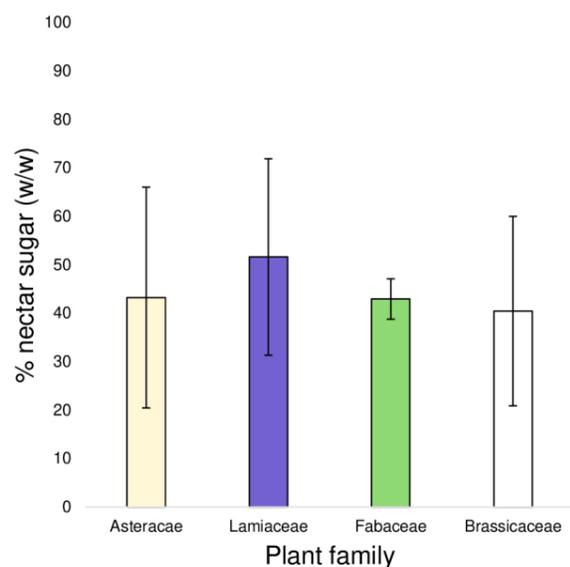
48% specie con DISPERSIONE ZOOCORA **30%** specie ZOOGAME

I dati mostrano che gli ambienti urbani offrono un adeguato sostentamento trofico per la fauna, come gli insetti impollinatori e/o gli animali dispersori dei semi (prevalentemente ornitofauna), proprio grazie all'alta rappresentatività di specie coinvolte nell'interazione trofica con gli animali. Su un subset di circa 50 specie erbacee entomogame sono state effettuate specifiche indagini sulle risorse floreali offerte agli insetti impollinatori, come lo zucchero nel nettare e le proteine nel polline con l'obiettivo di fornire indicazioni funzionali sulla costituzione di sementi pollinator friendly da implementare nella progettazione di *Nature Based Solutions*.

La figura sottostante mostra i dati sul quantitativo di proteine nel polline e di zuccheri nel nettare offerti agli insetti impollinatori da comuni erbe spontanee sottolineando l'importanza di un'adeguata pianificazione delle aree verdi a scopo non solo ornamentale ma anche di supporto nutrizionali per gli animali.



↓ Quantificazione dei principali macronutrienti delle risorse floreali offerti da comuni specie floreali presenti in contesti urbani (dati collassati per famiglie).



IL PROGETTO URBAN-BIODIVERSTY – URBIO

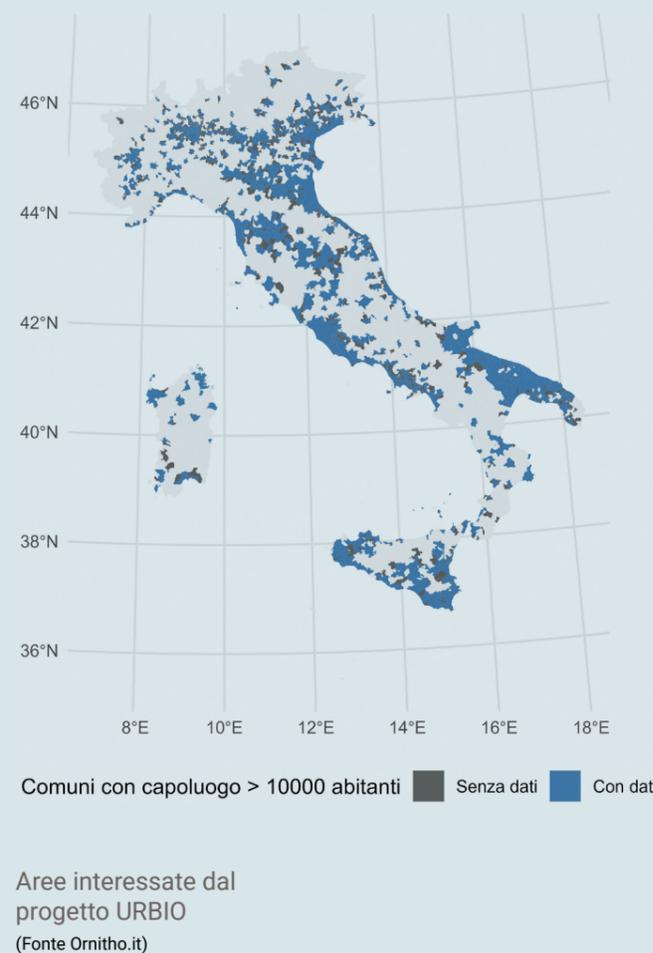
Il progetto Urban-Biodiversty - URBIO - promosso dall'Università di Torino e dall'Università di Milano Statale, rappresenta un'iniziativa innovativa per la conoscenza e la tutela della biodiversità urbana con il coinvolgimento attivo della cittadinanza.

Questo progetto di citizen science che unisce educazione ambientale, monitoraggio della natura urbana e applicazioni nella gestione partecipata degli habitat ha visto l'adesione di oltre 1000 volontari e raccolto oltre 550.000 dati naturalistici attraverso il portale ornitho.it.

Sono state effettuate segnalazioni in ben 1097 comuni italiani inclusi i capoluoghi di provincia e i centri urbani con popolazione superiore ai 10.000 abitanti. Ad oggi sono state segnalate oltre 350 specie di

uccelli, fornendo una fotografia inedita e aggiornata della biodiversità presente nei nostri ambienti urbani. L'approccio adottato mette in evidenza il valore della scienza partecipata non solo come strumento di raccolta dati, ma anche come mezzo per rafforzare il senso di appartenenza, la consapevolezza ambientale e la capacità dei cittadini di essere protagonisti della tutela del territorio, con potenzialità per un monitoraggio a medio e lungo termine.

I dati raccolti sottolineano l'importanza delle città come ambienti vitali per la fauna selvatica e come sia possibile attuare azioni di potenziamento e conservazione della biodiversità anche in contesto urbano. Emerge inoltre la rilevanza dei cittadini come attori attivi nel monitoraggio e gestione degli habitat urbani.



ORCHIDEE IN CITTÀ

Le orchidee sono piante affascinanti e che vivono in molti differenti ambienti, a partire dalle zone tropicali e sub-tropicali dove esse manifestano la maggiore biodiversità in termini di specie. Esse mostrano precise richieste in termini di fattori abiotici ma soprattutto stabiliscono specifiche relazioni ecologiche con funghi simbiotici e con gli impollinatori. Un aspetto interessante è la loro capacità di occupare ambienti antropizzati, aree verdi nelle periferie cittadine e bordi stradali, ma anche parchi pubblici, giardini privati, aiuole e cimiteri.

Uno studio condotto nell'ambito di NBFC nelle città di Modena e a Reggio Emilia, ha portato a identificare orchidee adattate al contesto urbano tra cui *Anacamptis morio* nel cimitero monumentale di Modena con centinaia di individui, e *Spiranthes spiralis*, una piccola orchidea a distribuzione Mediterranea.

Degno di nota è anche la presenza di *Himantoglossum adriaticum* segnalata per il Campus universitario S. Lazzaro a Reggio Emilia con un tasso di riproduzione del 60-70%, assieme a *Orchis purpurea* e *Ophrys apifera*. Queste evidenze mostrano che cambiamenti climatici, cambio di uso del suolo e attività antropiche più sostenibili, possono avere un effetto positivo sulla biodiversità.

Infatti, la stabilità delle popolazioni, l'aumento del numero di individui e la produzione di frutti e semi sono chiare indicazioni della presenza di insetti impollinatori e suoli ricchi di diversità fungina. I risultati ottenuti aprono nuove sfide per l'applicazione di buone pratiche di gestione degli spazi verdi in città e per



↑
Esemplare di *Orchis purpurea* nel campus universitario reggiano.
(Foto di Elisabetta Sgarbi)

→
Esemplare di *Orchis apifera* nel campus universitario reggiano.
(Foto di Elisabetta Sgarbi)

4.3 Gli ecosistemi urbani

Le città come ecosistemi complessi sono caratterizzate da una distintiva relazione, rispetto agli ecosistemi a maggior grado di naturalità, tra biodiversità, processi ecologici e attività umane. Come molte altre parti del mondo, l'Italia è caratterizzata da un notevole grado di urbanizzazione (la superficie dei comuni classificati come città, piccole città e sobborghi rappresenta circa il 40% del territorio nazionale) e da una grande proporzione di popolazione che vive nelle città – 35% circa – (ISTAT, 2023).

Il Paese è quindi chiamato a rispondere efficacemente alle correnti sfide che riguardano sostenibilità e resilienza dei sistemi urbani, tra cui le strategie europee e nazionali relative a sviluppo sostenibile, biodiversità e foreste e di obblighi regolamentari comunitari tra cui il Regolamento per il Ripristino della Natura-EU 2024/1991 e il Regolamento per i Conti degli Ecosistemi - EU 2024/3024.

In questo quadro di riferimento, NBFC ha operato in contesto urbano con azioni specifiche:

- 1 Tipificazione dei diversi sistemi urbani nazionali.**
Questa azione ha permesso di mettere in risalto le similitudini, i caratteri distintivi e le peculiarità dei sistemi urbani italiani a livello di Functional Urban Areas (FUA), variamente distribuite tra i macro-ambiti ecoregionali definiti su base climatica, biogeografica, orografica e vegetazionale. I risultati stanno mettendo in evidenza l'arrangiamento delle FUA italiane in 4 diverse macrotipologie di forma urbana sulla base di indicatori riconosciuti a livello internazionale, quali il grado di urbanizzazione, densità di popolazione, compattezza e forma del tessuto urbano, complessità e configurazione spaziale dell'intero mosaico paesaggistico e andamento del consumo di suolo. Le 4 tipologie vanno dai grandi sistemi urbani, compatti, densamente popolati e ad alta densità di infrastrutture e a minor determinismo ambientale, fino ai sistemi urbani a basso grado di urbanizzazione, caratterizzati dalla permanenza significativa di superfici naturali e semi-naturali e più significativamente collegati alle ecoregioni montuose.



Distribuzione delle 83 Functional Urban Areas d'Italia nelle province ecoregionali.

(da Blasi et al., 2018)

2

Definizione delle potenzialità ecologiche a scala locale.

Per quanto riguarda il contributo dei sistemi urbani alla conservazione della biodiversità, i risultati hanno consentito di mettere in evidenza che le FUA includono quasi tutte le tipologie ecosistemiche italiane (sensu Capotorti et al., 2023) e una significativa proporzione di quelle a rischio (Blasi et al., 2023). Emerge quindi una forte responsabilità per le città relativamente alla conservazione e recupero delle tipologie ecosistemiche gravemente minacciate (Critically Endangered, secondo la terminologia IUCN), ma anche alla necessità di mitigare le pressioni, e quindi la potenziale vulnerabilità, sugli ecosistemi quasi minacciati (Near Threatened). La definizione delle potenzialità ecologiche a livello locale (vegetazione naturale potenziale e rispettivi modelli successionali), sta altresì mettendo in luce la particolare eterogeneità del nostro territorio, che si riflette inevitabilmente anche all'interno dei singoli sistemi urbani. In diversi ambiti, che vanno dagli inventari floristici utili per la pianificazione, alla mappatura e monitoraggio della biodiversità e alla definizione dei modelli di riferimento per gli interventi di ripristino, le ricerche in atto stanno mostrando la loro forte potenzialità, nonostante lo scarso utilizzo di questo approccio a livello internazionale e le lacune conoscitive ancora esistenti, soprattutto nei settori geografici meridionali, che si è iniziato a colmare.

4.4 La biodiversità microbica dei suoli

I suoli urbani sono stati oggetto di studio NBFC in quanto forniscono servizi ecosistemici unici come la gestione dei flussi idrici, il ciclo dei nutrienti, la fissazione del carbonio, la produttività delle piante e la rimozione di inquinanti (Sun et al., 2023). Queste funzionalità dipendono in gran parte dai microrganismi (microbiota) di cui il suolo è il maggior serbatoio di biodiversità (Anthony et al., 2023). Il microbiota contribuisce a funzioni essenziali per gli ecosistemi come il ciclo dei nutrienti, la decomposizione della materia organica e la crescita e la salute delle piante.

Le nostre conoscenze sul microbiota di suoli urbani è tuttavia ancora limitata soprattutto per quanto riguarda gli aspetti funzionali (Simon et al., 2025). Le ricerche condotte da NBFC si sono concentrate sull'analisi dell'ecosistema del suolo in risposta a variazioni di gradienti di urbanizzazione. È stata inoltre considerata anche la relazione con piante arboree comunemente incluse nella vegetazione urbana e ad altre componenti biologiche del suolo come ad esempio gli artropodi.

Una seconda attività ha previsto il monitoraggio della biodiversità microbica del suolo in cinque diverse città campione (Torino, Milano, Firenze, Roma e Napoli) lungo un gradiente latitudinale. In questo caso lo studio ha riguardato parchi pubblici di diverse età (storici, >20 anni e recenti, <20 anni). Sono state indagate svariate componenti biologiche dell'ecosistema (microbiota del suolo e comunità vegetali), integrate da dati climatici e parametri chimico-fisici, che hanno permesso di stimare la qualità dei servizi ecosistemici associati al suolo. I risultati ottenuti suggeriscono che:

- 1 la componente microbica varia al variare dei contesti ambientali e questo ha effetti sui servizi ecosistemici quali decomposizione della materia organica, sequestro di carbonio e produttività primaria netta. Questi risultano essere meno abbondanti in ambiente urbano e, in particolare, nei parchi di recente realizzazione;
- 2 il miglioramento della diversità e del funzionamento delle comunità microbiche può contribuire alla resilienza delle aree verdi urbane, favorendo la salute delle piante, ma anche modellarne i servizi ecosistemici.

L'attività di ricerca ha riguardato anche il monitoraggio della diversità microbica funzionale di un sito sperimentale, situato a Torino e parte del *Turin Living lab* in cui è stato allestito nel 2019 un tecnosuolo (substrato costituito da terra da scavo urbana, compost e inoculi microbici) per riqualificare un'area urbana degradata e renderla così idonea alla riforestazione. Questo tipo di intervento ha confermato la validità di questa *nature-based solution* che consente di limitare lo sfruttamento di suoli agricoli fertili favorendo, in tal modo, la realizzazione di nuove aree verdi urbane maggiormente resilienti grazie a un approccio sostenibile di economia circolare.

4.5 Il sequestro di carbonio nei suoli urbani

I suoli urbani svolgono un ruolo importante nel ciclo del carbonio (C), contribuendo sia al suo sequestro che alla riduzione delle emissioni. Il contenuto di C nei suoli è determinato da un equilibrio complesso che include i processi di fissazione (fotosintesi e chemiosintesi) e rilascio (respirazione e decomposizione). Le indagini eseguite dimostrano inoltre che il contenuto di C è influenzato da diversi modulatori quali i microrganismi del suolo, la vegetazione presente, le comunità edafiche, la topografia, e molti altri (Fiorentino et al., 2025).

Gli studi realizzati nell'ambito del centro sono stati rivolti a valutare come implementare la capacità dei suoli urbani di implementare il sequestro di CO₂. Le sperimentazioni condotte in aree urbane della Campania (Avellino e Fisciano-Salerno) sono state rivolte a valutare come le diverse pratiche gestionali dei suoli urbani influenzi il sequestro del carbonio favorendone al tempo stesso la biodiversità e riducendo le emissioni di gas serra. La sperimentazione ha previsto applicazioni ripetute di fertilizzanti organici (vermicompost e biochar micronizzato, in singole applicazioni o in associazione) o minerali (urea), e il monitoraggio nel tempo di indicatori della funzionalità biologica e chimico-strutturale del suolo, con particolare attenzione alla capacità di sequestro del C e incrementare la biodiversità microbica, edafica e vegetazionale.

L'analisi integrata dei dati acquisiti durante i primi due anni di sperimentazione, suggeriscono che l'applicazione di:

- fertilizzante minerale è associata a flussi elevati di CO₂ dal suolo, elevata attività respiratoria

microbica e di mineralizzazione della sostanza organica, a scarsa biodiversità microbica, ridotta stabilità chimica, suggerendo l'instaurarsi di un "ecosistema suolo" biologicamente attivo ma assai poco resiliente;

- vermicompost apporta miglioramenti alle caratteristiche chimiche del suolo, e in maggior misura alle comunità biologiche in esso instauratesi in termini sia di vitalità che di diversità biologica;
- biochar influenza limitatamente l'attività microbica e la biodiversità del suolo, induce altresì un effetto positivo sulla sua stabilità chimica e fisica, a testimonianza di un ruolo prevalentemente strutturale di tale ammendante;
- vermicompost e biochar in associazione, riducono la respirazione microbica del suolo, ne aumentano la diversità e la stabilità chimico-fisica, suggerendo che la loro applicazione possa essere impiegata nella gestione delle aree verdi urbane proprio per la superiore capacità di stoccaggio e conservazione del C, sostenendo in tal modo le diversificate comunità microbiche, edafiche e vegetazionali.

			
Fertilizzante minerale	Biochar	Vermicompost	Vermicompost e Biochar
elevati flussi di CO ₂ del suolo, elevata attività respiratoria microbica e di mineralizzazione della sostanza organica; scarsa biodiversità microbica, ridotta stabilità chimica.	scarsa influenza sull'attività microbica e sulla biodiversità del suolo; effetto positivo sulla stabilità chimica e fisica	implementa le caratteristiche chimiche del suolo e diversifica le comunità biologiche	riduzione della respirazione microbica del suolo, aumento della diversità microbica e della stabilità chimico-fisica, dello stoccaggio di C
Conseguenza/evidenza: suolo biologicamente attivo ma poco resiliente	Conseguenza/evidenza: ruolo prevalentemente strutturale dell'ammendante	Conseguenza/evidenza: miglioramento delle qualità chimiche, fisiche e biologiche del suolo	Conseguenza/evidenza: miglioramento delle qualità chimiche, fisiche e biologiche del suolo e implementata capacità di stoccaggio e conservazione del C.

IL RESISTOMA

Tra i fattori di 'inquinamento' dei suoli urbani vi sono anche i geni di resistenza agli antibiotici (resistoma) che rappresentano una seria minaccia per la salute umana e animale (Gentile et al., 2024). Nell'ambito delle attività di ricerca di NBFC abbiamo analizzato il resistoma del suolo di otto parchi della città di Torino caratterizzati da un diverso livello di urbanizzazione e di due aree limitrofe, meno urbanizzate, come controllo. Analisi metagenomiche e microbiologiche hanno rivelato una maggiore abbondanza di geni di resistenza agli antibiotici nel suolo di questi parchi urbani rispetto ai controlli. Questo suggerisce che vi è una correlazione tra antibiotico-resistenza microbica e livello di urbanizzazione del sito. L'urbanizzazione sembra avere anche un ruolo nella selezione dei meccanismi di resistenza, risultando associata all'abbondanza di resistenze basate su efflusso del farmaco e inattivazione/alterazione dell'antibiotico. Questo effetto dell'urbanizzazione potrebbe essere causato da un'azione diretta, ad esempio a causa della presenza di inquinanti, oppure indirettamente, mediante alterazione dell'ambiente naturale fram-

mentando l'habitat di macro- e micro-organismi del suolo con l'introduzione di strutture artificiali (ad esempio strade) (Bongiovanni et al., 2025). Inoltre, è in corso l'analisi inerente la resistenza ad alcuni antibiotici di riferimento, per i quali esiste un maggior rischio di comparsa di resistenza, su ceppi batterici isolati dai suoli campionati nei parchi di quattro città italiane (Torino, Milano, Roma e Napoli). Nel complesso questi dati evidenziano la necessità di monitorare in modo puntuale l'antibiotico-resistenza nei suoli dei parchi urbani per comprenderne a fondo la sua diffusione nelle nostre città. La presenza di antibiotico-resistenza, in quanto individuata in microrganismi non patogeni e comunemente presenti in suoli naturali, non risulta un diretto rischio per la salute umana, animale o ambientale, quindi non richiede attività di bonifica diretta. Tuttavia, è necessario considerare la possibilità di trasferimenti di materiale genetico tra i microrganismi innocui e potenziali patogeni, esigendo quindi il monitoraggio ed eventuale trattamento di microrganismi patogeni identificati in suoli di parchi urbani.



Mappa delle diverse attività sperimentali sul microbiota del suolo svolte nell'ambito di NBFC Spoke 5.

4.6 Pianificare per la biodiversità urbana: i Piani del verde in Italia

I Piani del Verde urbani rappresentano lo strumento principale per la transizione ecologica urbana promosso nell'ambito della EU Biodiversity Strategy per l'attuazione dell'EU Green Deal.

NBFC ha eseguito un'indagine critica sulle città e capoluoghi italiane. I numeri su 117 città capoluogo di provincia sono i seguenti:

15 PIANI DEL VERDE sono stati adottati

6 PIANI IN CORSO di elaborazione

MENO DI 1/4 DI CITTÀ capoluogo ha un Piano del Verde adottato

Il numero sale a **20** se si includono anche **ALTRI STRUMENTI** di pianificazione che condividono con i Piani del Verde obiettivi e assetto strategico e operativo, come i piani strategici dell'infrastruttura verde, i masterplan o i piani d'azione del verde.

Se, da un lato, risulta evidente la scarsa diffusione di tale strumento nel nostro paese, uno sguardo più attento rivela che la gran parte dei piani mappati (oltre l'80%) sono stati approvati dopo il 2021, ovvero a valle della EU Biodiversity Strategy ma anche di importanti politiche nazionali, come il decreto ministeriale del 2020 sui Criteri Ambientali Minimi (CAM) per il verde pubblico. Esempi importanti si ritrovano a Brescia e Firenze dove i Piani del Verde sono stati da poco approvati, oppure a Rimini, dove il processo di elaborazione procede speditamente, così come in molte altre città italiane, da nord a sud, dove cresce l'attenzione nei confronti dei Piani del Verde come strumenti necessari non solo per riconoscere il valore delle aree naturali in città ma anche per migliorarne la qualità ecosistemica in ottica di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici.

NBFC ha quindi indagato il ruolo dei Piani del Verde nel guidare l'azione delle amministrazioni comunali e metropolitane verso gli obiettivi di tutela e miglioramento della biodiversità urbana. I risultati hanno evidenziato che sono tre le valenze che la ricerca ha attribuito a tali strumenti.

La prima risiede nella capacità dei Piani del Verde di catalizzare processi di rigenerazione socio-ecologica delle città a partire dal progetto della trama di infrastrutture verdi e blu, a cui gli strumenti attribuiscono il ruolo di asse portante per una convivenza multi-specie.

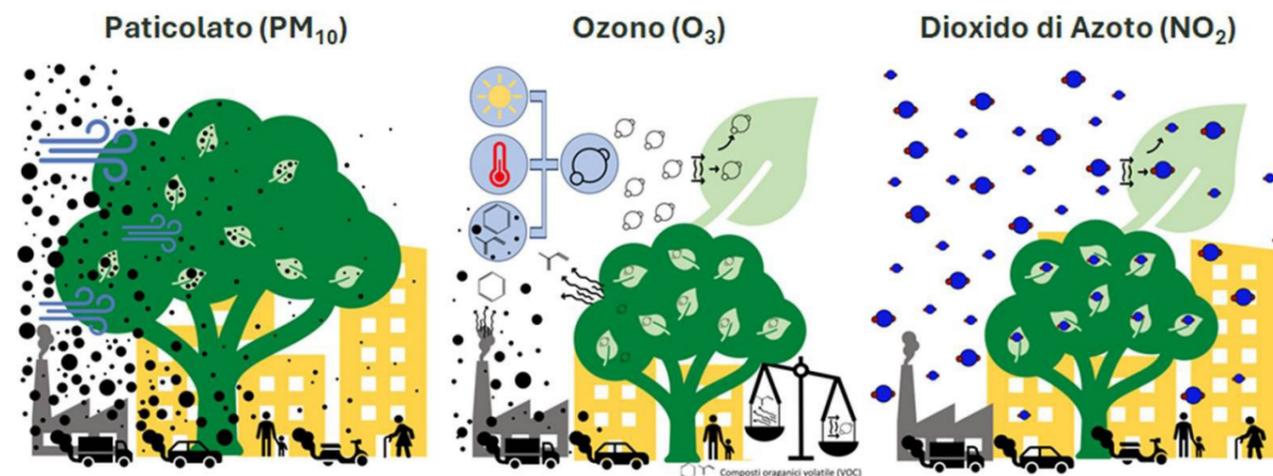
La seconda ragione riguarda il contributo dei Piani del Verde ad informare e orientare i processi e gli strumenti di pianificazione ordinaria verso l'integrazione degli obiettivi ecologico-ambientali. È questo ad esempio il caso di Avellino dove il Piano del Verde approvato nel 2023 nasce come primo nucleo del nuovo piano urbanistico generale, nella consapevolezza che il disegno degli spazi aperti e delle aree ad elevata naturalità giochi un ruolo strutturante nel disegno di pianificazione della città irpina. Così anche il Piano del Verde di Livorno, approvato nel 2023, concepito come asse portante del nuovo piano strutturale della città approvato nell'anno successivo.

Il terzo motivo si riconduce al ruolo importante che i processi di pianificazione del verde analizzati hanno apportato al superamento della settorializzazione che spesso caratterizza l'azione pubblica a livello comunale. Emblematico è il caso del Piano del Verde di Trento dove il dialogo continuo tra diversi settori dell'amministrazione (ambiente, welfare, pianificazione, mobilità, etc.) che ha scandito il processo di elaborazione del piano ha permesso di qualificare strategie e azioni del piano come ambiti trasversali dell'azione pubblica.

4.7 Biodiversità urbana e impatto ambientale

Le linee guida "Urban Trees: A Natural Solution to Air Pollution" rappresentano uno strumento chiave per orientare le scelte strategiche di pianificazione urbana. Grazie a metodologie rigorose e a un approccio integrato, che coniuga ricerca scientifica e applicazioni pratiche, esse forniscono criteri oggettivi e operativi per la scelta delle specie vegetali più idonee a mitigare l'inquinamento atmosferico. Il documento è frutto di una collaborazione multidisciplinare tra esperti in ecologia, ecologia fisiologia e inquinamento atmosferico, basandosi su dati sperimentali e modelli quantitativi in grado di stimare la capacità di rimozione degli inquinanti (PM₁₀, NO₂, O₃).

In particolare, le linee guida evidenziano come alcune specie, grazie alle loro caratteristiche morfologiche – ad esempio, la densità del fogliame e la rugosità della corteccia – siano particolarmente efficaci nel catturare le particelle di PM₁₀, mentre altre, dotate di elevata conduttanza stomatica e basse emissioni di composti organici volatili (VOC), mostrano una marcata capacità di assorbire NO₂ e O₃, contribuendo così alla riduzione della formazione di ozono.

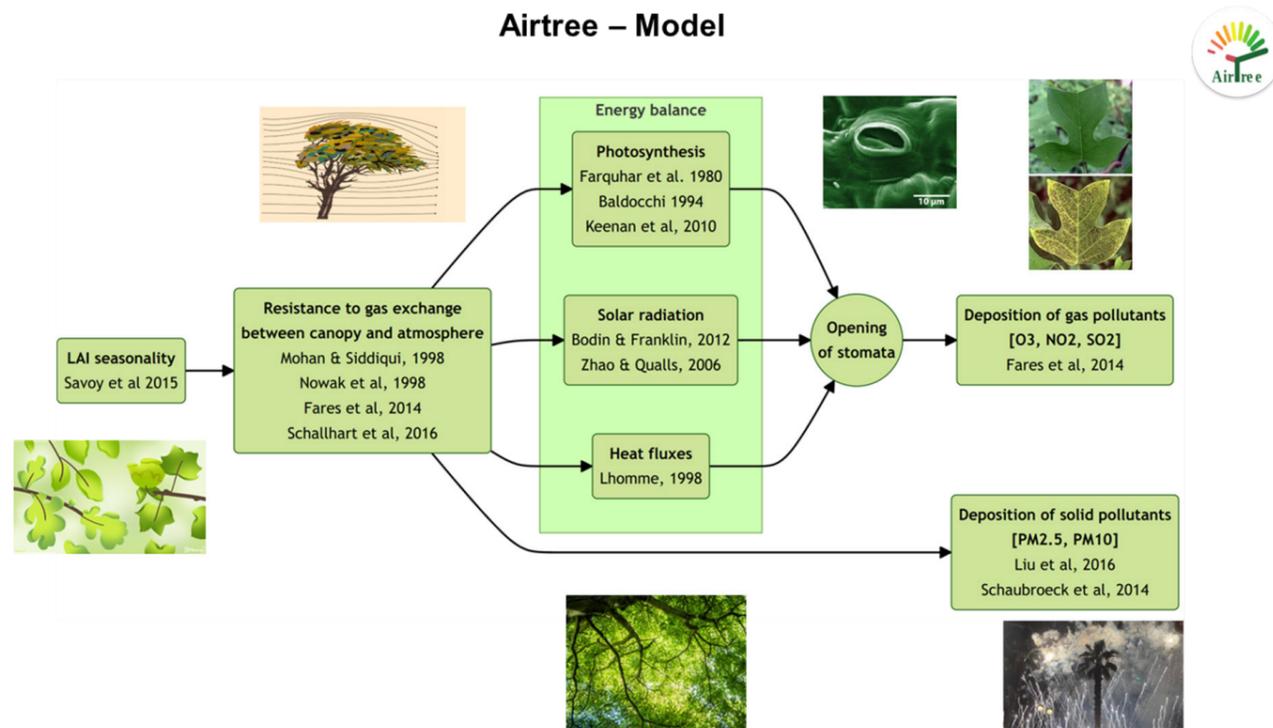


I SOFTWARE PER LA PIANIFICAZIONE URBANA

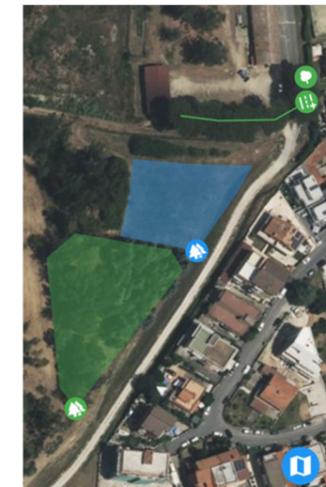
NBFC ha studiato l'ecofisiologia della vegetazione urbana in risposta ad inquinanti atmosferici come polveri sottili (PM10), ossidi di azoto (NO₂) e ozono (O₃). Partendo da un database conoscitivo dei parametri biometrici ed ecofisiologici delle principali specie arboree è stato sviluppato un applicativo web di facile fruizione per capire quali sono le migliori da introdurre

in un determinato contesto urbano per generare servizi ecosistemici e Un primo prodotto testato è il portale AIRTREE (www.air-tree.eu), che consente, su scala nazionale e attraverso un accesso gratuito di simulare la capacità di rimozione di carbonio e inquinanti atmosferici da parte di specie arboree ed arbustive selezionate su mappa.

Airtree – Model



Step 1: Geolocalizzazione



Step 2: inserimento dati

Specie
Pino domestico

Mantieni la specie per il prossimo inserimento

Diametro del fusto (cm)
45

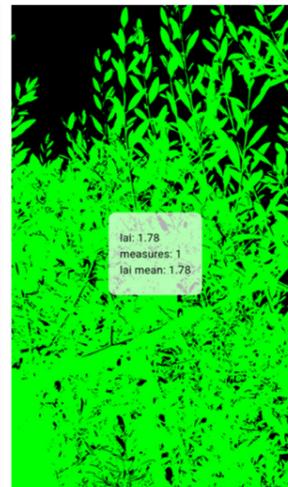
Altezza (m)
14

Altezza di inserzione della chioma (m)
10

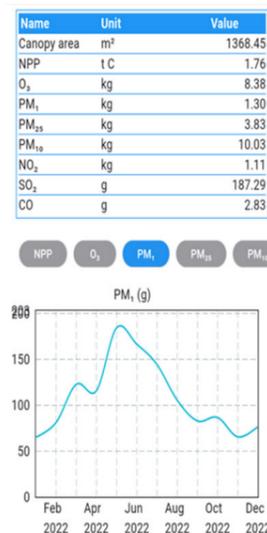
Diametro della chioma (m)
9.8

LAI
3.6

Opzionale: Stima LAI



Valutazione risultati



Questo portale offre anche un secondo applicativo che consente di identificare le migliori specie e cultivar da mettere a dimora sulla base del contesto ambientale e sui servizi ecosistemici attesi.

Un secondo risultato dell'azione progettuale è il database FlorTree, che ha classificato oltre 200 specie arboree sulla base dell'efficacia nella riduzione di inquinanti quali particolato, biossido di azoto e ozono. Questo sistema integra variabili ambientali come temperatura, umidità e livelli di inquinamento e permette

quindi di selezionare specie funzionali e resilienti. FlorTree, che vedrà presto un applicativo web, è stato validato a livello regionale in Toscana per selezionare le specie in grado di assorbire efficacemente gli inquinanti gassosi e particolati, ed in Emilia Romagna per classificazione le specie del catalogo "Alberi per la città".

FlorTree si configura come uno strumento importante per la transizione verso ambienti urbani sani e sostenibili in Italia ed è apprezzato e utilizzato da diversi stakeholders.

IL FITORIMEDIO COME STRUMENTO DI RIGENERAZIONE URBANA

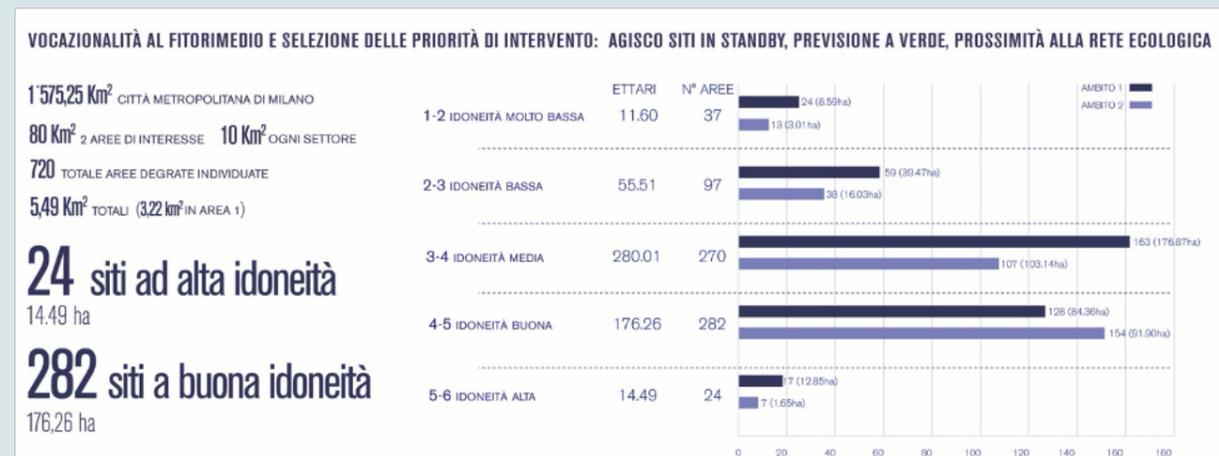
Il fitorimedio è una soluzione basata sulla natura che utilizza le piante e i microrganismi ad esse associati per ridurre la contaminazione ambientale offrendo un'alternativa sostenibile ed economica alle tecniche di bonifica tradizionale.

Traditional remediation technique:	Phytoremediation mechanisms:
<p>PROs</p> <ul style="list-style-type: none"> Timeframe allowing a return to use in a short time Certainty of results 	<p>PROs</p> <ul style="list-style-type: none"> Low environmental impact; Contained cost compared to ex-situ or chemical-physical matrices decontamination; Form of ri-naturalization of the sites; Ecosystem services carried out by plants
<p>CONs</p> <ul style="list-style-type: none"> High environmental impact; High costs; 	<p>CONs</p> <ul style="list-style-type: none"> Timeframe not allowing a return to use in a short time; Uncertainty (depending on the type of pollutants to be reduced); Project maintenance

Lo studio, avviato nel 2022 partendo da una ricerca supportata da Fondazione Alia Falk e successivamente implementata grazie a NBFC esplora il potenziale del fitorimedio come strumento di rigenerazione urbana attraverso una valutazione multi-parametrica dei siti per individuare e assegnare una priorità di intervento alle aree che meglio si prestano a questa tecnologia verde.



A partire dall'analisi della relazione tra le caratteristiche del suolo e i processi di bonifica da attuare in diversi contesti urbani a causa della passata attività industriale sono state individuate le aree più idonee all'applicazione di tecniche di fitorimediazione. La prima sperimentazione è stata realizzata nell'area delle città metropolitane di Milano.



Successivamente, sono state identificate le specie vegetali più adatte ai quattro più comuni approcci di fitorimediazione: estrazione, degradazione, volatilizzazione e stabilizzazione. Sulla base di alcune variabili legate al tipo di contaminazione, alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo, alla natura del sito e all'entità delle superfici di intervento sono stati identificati gli approcci di fitorisanamento più promettenti in termini di combinazione di specie e distribuzione spaziale. Questa sperimentazione ha permesso di realizzare un tool semplificato. nello specifico partendo da un'analisi dei dati è stato definito un sistema di prioritizzazione basato sul valore generato e sulla complessità di implementazione.

Attualmente si sta lavorando per portare nel gateway di NBFC un sistema di servizi di supporto alla progettazione di interventi. Si stanno sviluppando tre casi d'uso che sono: la creazione di strumenti di rappresentazione della conoscenza e dei metadati e strumenti a supporto della gestione della qualità dei dati; la definizione di un processo di acquisizione e analisi dati da automatizzare.; la creazione di un sistema per l'identificazione di aree adatte alla rigenerazione tramite fitorimediazione (su scala nazionale ed europea) e il conseguente riconoscimento e mappatura di processi di fitorisanamento già utilizzati in situazioni simili al contesto analizzato.

4.8 Gestione delle aree urbane per potenziare il restauro della biodiversità urbana

Il restauro della biodiversità urbana richiede la definizione di buone pratiche condivise volte a promuovere tre pilastri ecologici:

- l'insediamento della biodiversità (cioè la piantagione/nidificazione),
- l'adeguata acquisizione di risorse (come risorse ambientali, alimenti ecc)
- lo sviluppo di una molteplicità dei livelli biotici dell'ecosistema.

Questi processi sono fondamentali per garantire sviluppo e persistenza della biodiversità soprattutto nei paesaggi alterati.

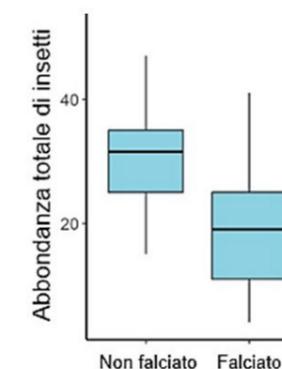
Dalle indagini svolte in contesto urbano, la mancanza di nidificazione, la carenza di risorse trofiche e la presenza di comunità biologiche disarmoniche sono le principali criticità che emergono negli interventi di restauro della biodiversità. Le azioni di ripristino e valorizzazione biotica devono quindi concentrarsi sia sui processi di piantumazione e rafforzamento, sia dell'evoluzione dell'ecosistema e riattivazione del funzionamento e dei servizi dell'ecosistema.

Per quanto riguarda l'insediamento, tra i fattori limitanti in ambiente urbano vi è la difficoltà di promuovere successioni vegetali sempre più stabili e ricche di specie. Questo è vero soprattutto in contesti soggetti ad elevato stress antropico e quando i suoli sono fortemente alterati e/o inquinati. In questi ambienti, oltre ad eliminare i fattori di disturbo è importante l'uso di ammendanti per migliorare le condizioni del sito e quindi garantire la crescita delle piante nel tempo. NBFC suggerisce l'uso di inoculi basati su microbioma del suolo sin dalla fase iniziale di allestimento delle aree da restaurare ed implementare. In molti studi è stato evidenziato che comunità microbiche sintetiche, o SynCom, possono apportare un effetto positivo sia in ecosistemi naturali, sia agricoli. Mentre realizzare prodotti che mimano la complessità del microbiota naturale associato alle piante rimane al di là della nostra attuale portata, diversi studi condotti grazie a NBFC hanno dimostrato l'effetto positivo di singoli microbi su diverse piante coltivate, suggerendo fortemente che questi ceppi microbici possono essere altrettanto efficienti nel sostenere la salute delle piante nelle aree verdi urbane.

Per quanto riguarda la disponibilità di adeguate risorse per supportare la biodiversità uno dei temi

è la gestione degli elementi vegetali delle aree verdi (cotiche erbose, alberature ecc). Mantenere in modo "informale" le aree verdi è una strategia che si ritiene possa beneficiare considerevolmente la biodiversità, in contrasto a gestioni più formali del verde. Ad esempio, un recente studio a Milano ha mostrato che i boschi dei parchi urbani con legni a terra di grandi dimensioni correlano a un maggior numero di insetti impollinatori nel prato adiacente. Un'altra azione di gestione virtuosa è l'adozione di porzioni aree verdi non sfalciate, in cui le varie piante sono libere di crescere. Una sperimentazione condotta da NBFC nella città di Milano ha evidenziato che la presenza di aree non sfalciate ha determinato un aumento del 27% di insetti di molti gruppi biologici rilevati già dal primo anno, mentre la ricchezza di specie floreali nel prato può contribuire del 65% nello stesso contesto.

Infine per promuovere lo sviluppo di più livelli biotici dell'ecosistema è possibile intervenire rafforzando nidificazione, riproduzione e protezione. Nell'ambito dei progetti NBFC sono stati eseguiti interventi per incrementare la biodiversità di vari livelli ecosistemici in aree di recente rimboscimento e in parchi urbani utilizzando il concetto delle "strisce di biodiversità". Sono piccole superfici che adeguatamente rinforzate e gestite hanno effetti positivi e sinergici sui territori limitrofi. L'effetto è stato monitorato e ciò che è stato osservato è che aumentano la diversità dei microhabitat e contribuiscono alle relazioni trofiche tra i diversi taxa presenti.



↑ Abbondanza di insetti in due tipologie di gestione delle cotiche erbose dei parchi urbani, i dati sono stati raccolti in città a Milano nel 2024 e si riferiscono a vari gruppi di insetti a partire da quadrati di osservazione.

IL KIT RBIOURB

Nei paesaggi urbani o periurbani alterati c'è spesso un problema di spazio disponibile dove allocare le misure a sostegno della biodiversità; per questa ragione è stata sviluppata la tecnologia delle "micro-iniezioni". Si tratta di interventi per migliorare la biodiversità a scala molto piccola che permette di trasformare contesti inospitali in habitat capaci di ospitare specie target attraverso semine mirate, inoculi microbici nei suoli o azioni al fine di supportare la nidificazione.

Al fine di testare e replicare questo approccio è stato realizzato un "Kit di rafforzamento di biodiversità urbana" (RbioUrb) pensato non tanto per esperti del settore ma per associazioni e cittadini che intendono promuovere la biodiversità in determinati spazi, pubblici o privati. Il kit comprende una cassetta nido per impollinatori, una cassetta nido per uccelli, un sacchetto di semi di specie erbacee autoctone ed entomofile e un sacchetto con bio inoculi per supportare la crescita delle piante.



↑ Il kit RbioUrb di rafforzamento della biodiversità urbana, costituito da un nido per api solitarie, un nido per cinciallegra, un sacchetto di semi di fiori autoctoni e bioinoculi.

EFFICACIA DEL KIT RBIOURB E DEGLI INTERVENTI

17 CITTÀ
italiane selezionate

146 TOT KIT
completi distribuiti

22 SCUOLE SU 84
partecipanti

32 KIT SU 146
richiesti dalle scuole

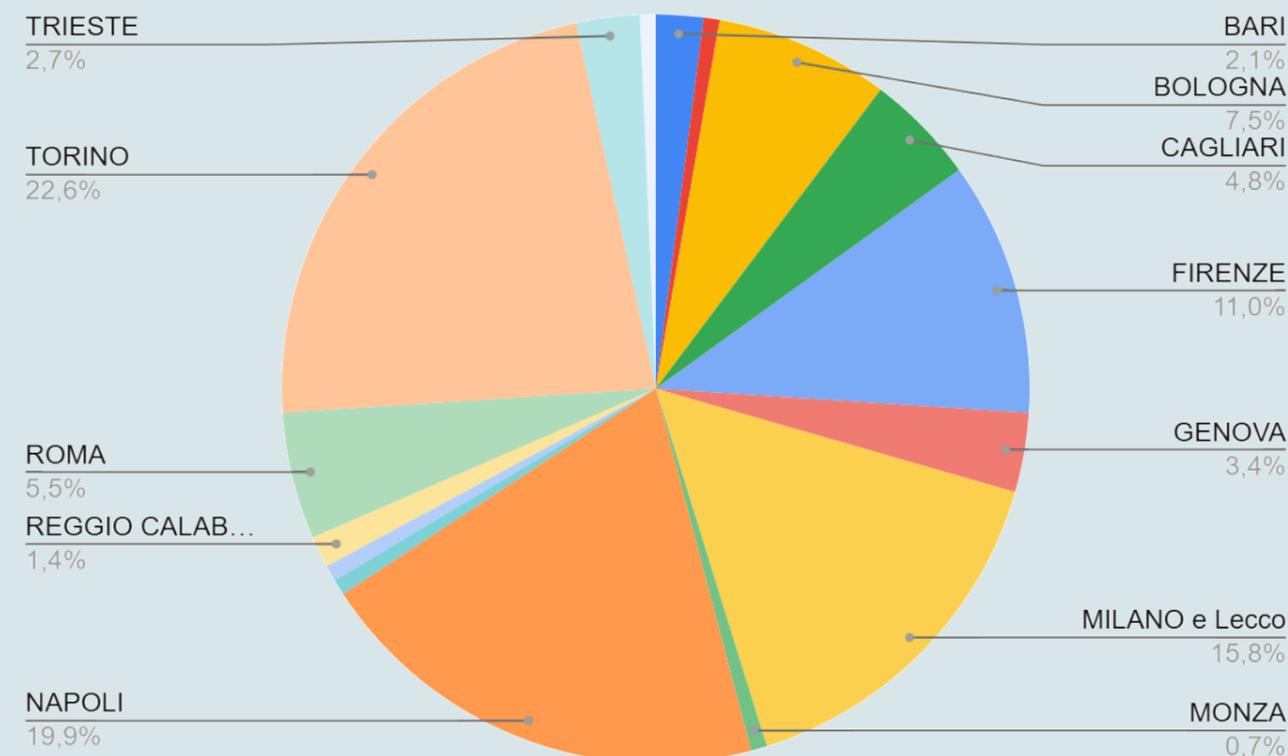
84 ENTI PARTECIPANTI
alla sperimentazione

82 ENTI
DISPONIBILI
a raccogliere dati



2 ENTI
NON DISPONIBILI a
raccolgere dati

DISTRIBUZIONE DEI KIT RBIOURB



Gli enti partecipanti alla sperimentazione sono stati coinvolti in attività di monitoraggio, osservazione e raccolta di dati scientifici, utili a valutare l'impatto del kit sulla biodiversità e sulla comunità di fruitori. I test sono attualmente in essere. Sono inoltre stati raccolti commenti e suggerimenti per migliorare il kit.

POLLINAID: UN TOOL PER SUPPORTARE GLI IMPOLLINATORI IN AMBIENTE URBANO

Il declino degli insetti impollinatori rappresenta una sfida urgente, riconosciuta da recenti strategie politiche europee come la Nature Restoration Law, che pone esplicitamente tra i suoi obiettivi il ripristino della diversità e abbondanza degli impollinatori. Il raggiungimento di questo obiettivo richiede anche interventi mirati, come la creazione di Nature-based Solutions (NbS) progettate per rispondere alle esigenze ecologiche degli impollinatori. Tra queste troviamo aiuole, flower strips, prati multispecie ecc. Una delle azioni più complesse è realizzata tali interventi nel tessuto urbano dove gli spazi verdi sono spesso

dei mosaici e le dimensioni delle aree a disposizione sono modeste. Nonostante le difficoltà le azioni di ricerca realizzate in NBFC hanno permesso di comprendere le necessità ecologiche di diverse tipologie di impollinatori in ambiente urbano e di indagare anche la qualità e quantità delle risorse florali. Attraverso questo studio è stato realizzato uno strumento decisionale basato su conoscenze trasversali che integrano dati derivanti da monitoraggi eseguiti su città campione, informazioni provenienti dalla letteratura scientifica e dati ricavati da piattaforme di citizen science.

Il sistema utilizza parametri ambientali locali combinati con informazioni sulle preferenze estetiche e di gestione definiti dall'utente, per proporre combinazioni di specie erbacee utili ad attrarre, nutrire e ospitare comunità di impollinatori il più possibile diversificate. La selezione tiene inoltre conto di aspetti chiave come la fenologia delle fioriture al fine di massimizzare la continuità delle risorse floreali durante l'intero periodo di attività degli impollinatori.

Grazie a tutte queste informazioni è stato realizzato un web tool, chiamato PollinAld che consente di progettare NBS capaci di promuovere il benessere degli impollinatori. Tramite l'analisi di dati relativi alle interazioni potenziali tra pianta e impollinatori, PollinAld

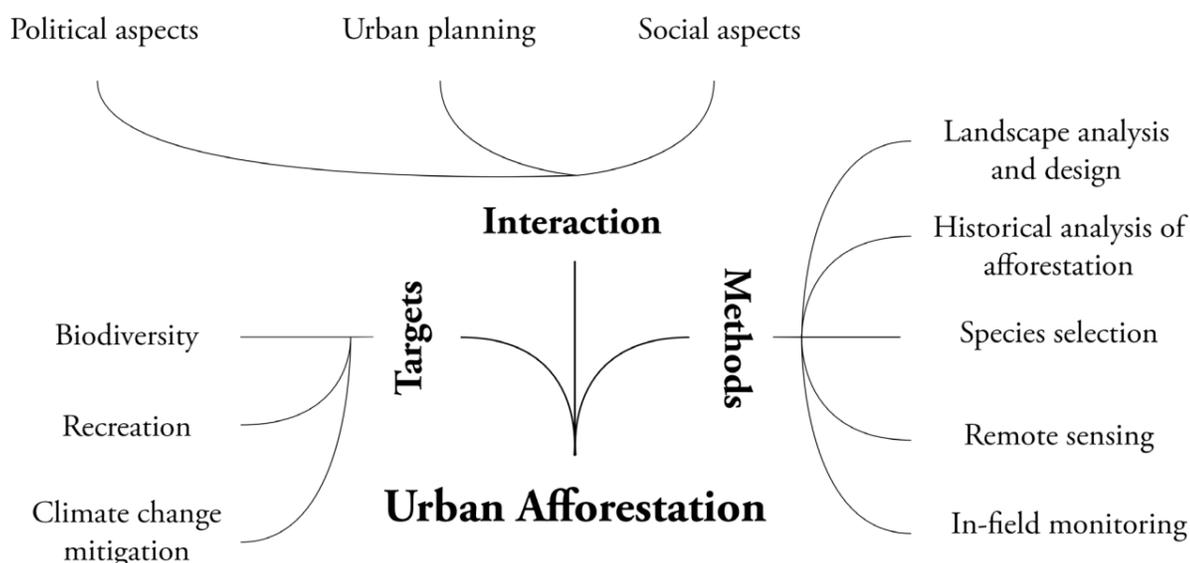
fornisce anche una stima della composizione potenziale della comunità di impollinatori che potrebbe beneficiare dell'intervento. A complemento, vengono generate schede informative strutturate e accessibili, che possono essere utilizzate sia a fini divulgativi verso un pubblico non esperto, sia come supporto operativo per tecnici, progettisti e ricercatori.

L'integrazione tra conoscenze ecologiche, vincoli gestionali e modelli predittivi consente di rendere questo strumento adattabile a diversi contesti urbani, offrendo un approccio scalabile e basato su evidenze scientifiche per trasformare le NbS in strategie efficaci per la conservazione della biodiversità degli insetti impollinatori.

4.9 Restauro e afforestazione in aree urbanizzate Italia: metodologie e prospettive nell'attuale contesto climatico

L'afforestazione nelle aree urbane rappresenta un'importante strategia per implementare la biodiversità e contrastare gli effetti del cambiamento climatico. Realizzare un intervento di afforestazione richiede un'attenta valutazione di diverse variabili come la disponibilità di spazi adeguati, la qualità del suolo, l'analisi delle variabili ambientali e dei fattori di disturbo come descritto nello schema sottostante.

Schema logico per la forestazione di aree urbane degradate. (Da Resemini et al. 2025: Building Greener Cities Together: Urban Afforestation Requires Multiple Skills to Address Social, Ecological, and Climate Challenges. Plants 4(3), 404)



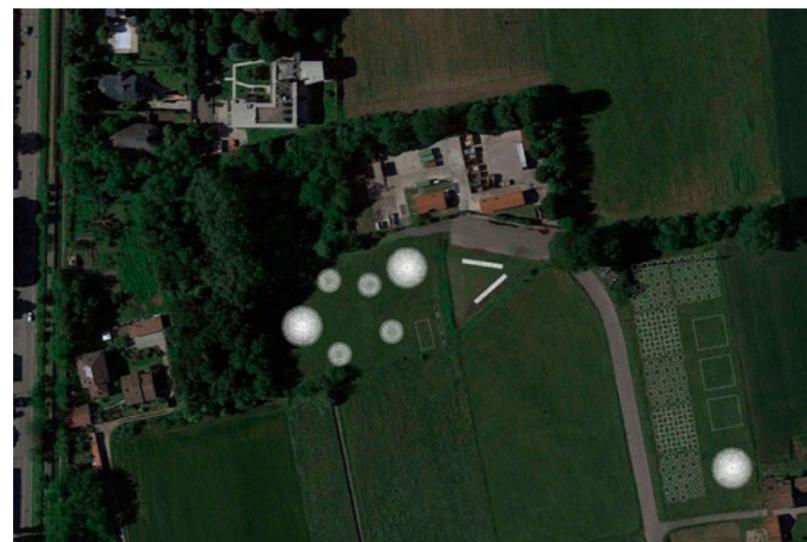
Per comprendere come pesano le diverse variabili e come integrarle in modo appropriato per realizzare interventi efficaci nel tempo è stata attivata una sperimentazione nell'ambito di NBFC in quattro aree metropolitane italiane: Milano, Pistoia-Firenze, Roma e Campobasso.. Questi interventi rappresentano un laboratorio a cielo aperto per testare diverse metodologie e pratiche di intervento e per monitorare gli interventi a breve, medio e lungo termine. Per tutti gli interventi si è proceduto in modo coordinato con:

ANALISI STORICA DEL PAESAGGIO: Sono stati analizzati i catasti storici, quali ad esempio il "Catasto della Seconda Campagna Militare dell'Impero Asburgico (1818-1829)", per identificare le aree che un tempo ospitavano foreste mature e che possono fungere da modello per la valutazione delle nuove piantagioni.

SPERIMENTAZIONE SUL CAMPO: Sono state realizzate parcelle sperimentali con diverse configurazioni di impianto per testare la resilienza delle specie selezionate. In particolare, nelle aree urbane di Milano sono state piantate specie potenzialmente più resistenti alle alte temperature e alla siccità, come *Quercus pubescens*, *Q. cerris* e *Cytisus scoparius*.

Sono stati applicati tre modelli di impianto e un controllo senza piantagione:

1. SCHEMA TRADIZIONALE con il 70% di alberi e il 30% di arbusti.
2. SCHEMA INVERSO con il 30% di alberi e il 70% di arbusti per ridurre il fabbisogno idrico.
3. Tecnica delle "MACCHIE SERIALI", ossia nuclei concentrici ad alta densità per simulare la successione naturale della vegetazione.

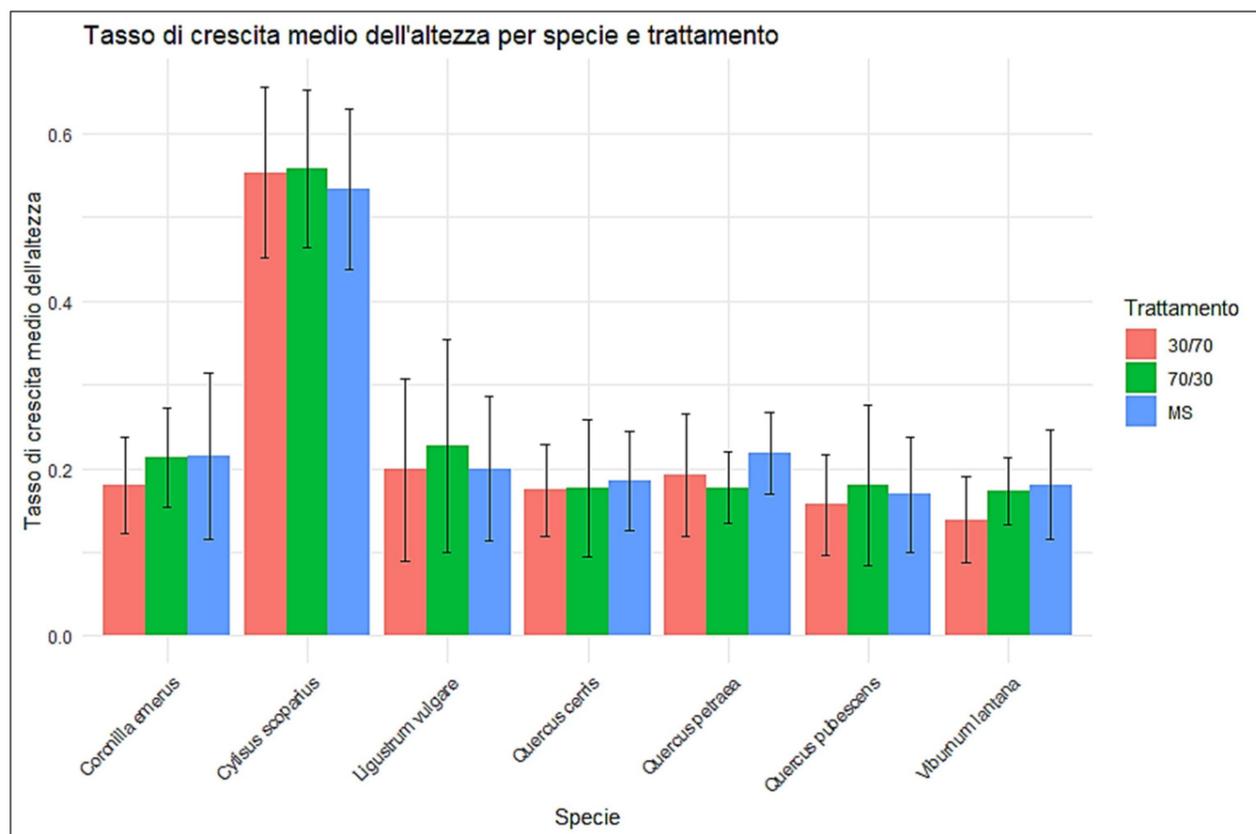


Esempio di schema sperimentale secondo una progettazione coerente con il tessuto urbano circostante. Sono evidenziati impianti tradizionali (quadrati a tessitura grossolana; 70/30), a maggioranza di arbusti (quadrati a tessitura fine, 30/70) e con macchie di alberi e arbusti concentrici (cerchi grandi, MS). Nell'esempio sono presenti anche le aree controllo (quadrati vuoti, C).

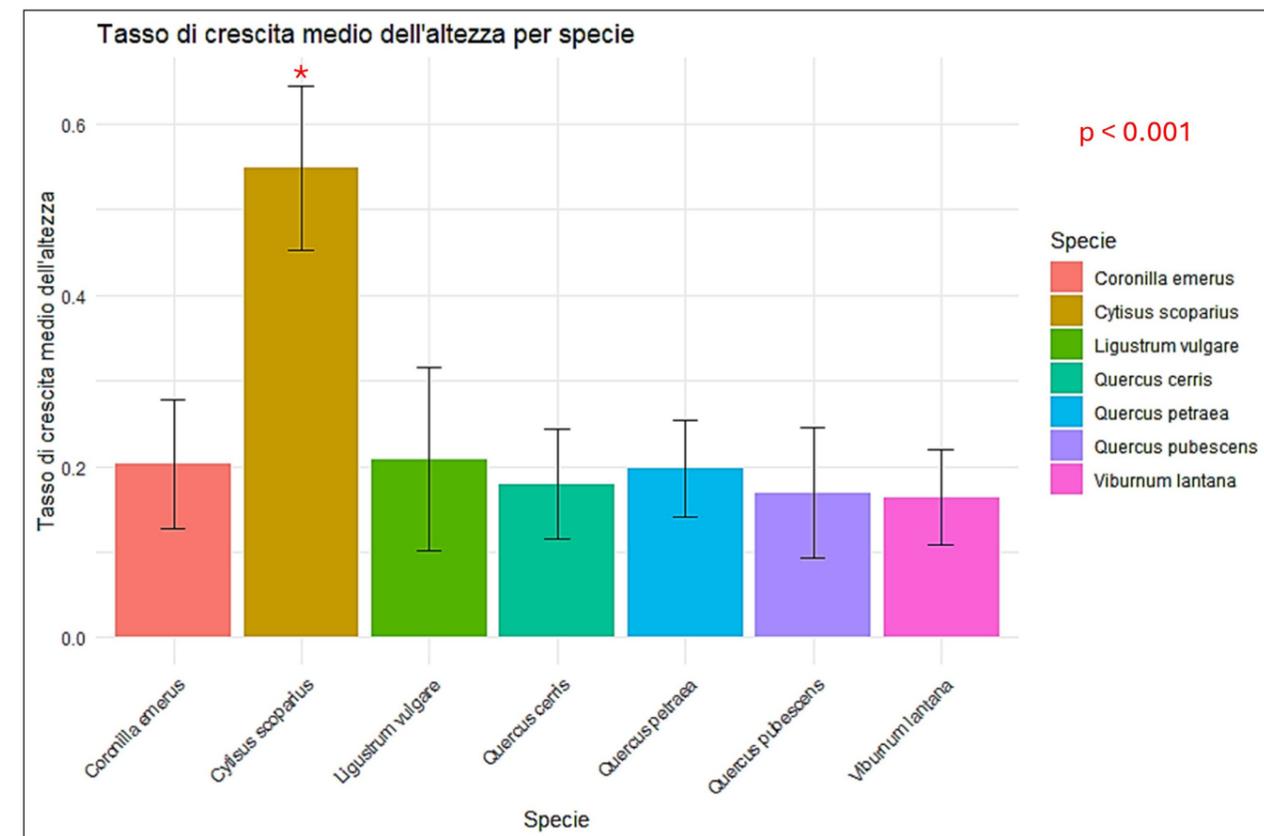
(Tratto Da Resemini et al. 2025: Building Greener Cities Together: Urban Afforestation Requires Multiple Skills to Address Social, Ecological, and Climate Challenges. Plants 4(3), 404)

Per valutare la crescita delle piantagioni e il loro impatto sulla biodiversità, vengono impiegati droni multispettrali, LiDAR e satelliti.

I primi risultati hanno permesso di osservare che vi è un buon tasso di sopravvivenza delle specie piantate (mortalità inferiore al 10% al termine del primo anno), con un impatto positivo sulla biodiversità locale in termini di specie messe a dimora e in prospettiva futura. Nelle figg. qui sotto si riportano a titolo di esempio per l'area di Milano, i risultati del monitoraggio al termine del primo anno dopo l'impianto. Come atteso, nel breve periodo non sono stati riscontrati evidenti differenze tra trattamenti. Riguardo la performance delle specie arbustiva *Corollinna emerus* ha evidenziato una crescita più marcata rispetto alle altre specie.



Nelle aree sperimentali a Milano (Abbiategrasso, Albairate e Corbetta) il maggior tasso di crescita è stato osservato in *Coronilla emerus*, specie che ha anche evidenziato un tasso di mortalità leggermente maggiore rispetto alle altre specie.



Al termine del primo anno i trattamenti (70/30, 30/70 e macchie seriali) messi a dimora nelle aree di Milano non evidenziano differenze significative per le diverse specie.

In conclusione, l'afforestazione urbana richiede un approccio integrato che combini analisi storiche e analisi del paesaggio attuale. La collaborazione tra diversi esperti permette di selezionare le specie migliori e di definire un sistema di messa a dimora delle piante che favorisca l'evoluzione ecologica del bosco e la resilienza nel tempo.

05

Biodiversità, salute e benessere

5.1 I numeri della Biodiversità per il benessere e la salute

La biodiversità è fondamentale per la salute umana, per il sostentamento della nostra specie e più in generale per la salute globale. Ecco alcuni numeri che aiutano a comprendere la portata del problema:

75% DELLE COLTURE ALIMENTARI dipendono dalla biodiversità per impollinazione, fertilità del suolo, regolazione del clima e controllo dei parassiti. L'erosione della biodiversità minaccia quindi la sicurezza alimentare globale.

60% DELLE MALATTIE EMERGENTI negli esseri umani sono zoonosi, cioè trasmesse dagli animali, spesso legata alla distruzione degli ecosistemi e alla perdita di biodiversità.

13 milioni DI DECESSI ALL'ANNO sono attribuibili a fattori ambientali evitabili, molti dei quali legati alla degradazione degli ecosistemi e alla perdita di biodiversità (Subramanian et al., 2021).

Oltre il **30% DEI FARMACI** derivano da composti naturali o loro derivati. La biodiversità è una fonte importante al fine di individuare nuove molecole bioattive.

Le aree con maggiore diversità microbica (microbiota ambientale) sono associate a un **MINOR RISCHIO DI MALATTIE** autoimmuni e allergiche, specialmente nei bambini. La vita in ambienti ricchi di biodiversità può rafforzare il sistema immunitario attraverso un'esposizione più varia a microbi benefici.

Questi dati dimostrano chiaramente come la tutela della biodiversità non sia solo una questione ecologica, ma un investimento diretto nella salute pubblica. Proteggere gli ecosistemi significa ridurre il rischio di pandemie, assicurare la sicurezza alimentare e pre-

5.2 Evoluzione, Biodiversità e One Health

La biodiversità è il risultato dell'evoluzione che, nel tempo, ha determinato la diversificazione degli organismi viventi. Gli organismi vegetali, in particolare, in quanto organismi sessili, hanno potenziato le capacità di interagire con l'ambiente proprio diversificando il loro linguaggio chimico mediante la sintesi di molecole bioattive (metaboliti secondari). Queste vengono usate per farsi riconoscere da insetti o animali utili, ma anche per difendersi da patogeni e da predatori. Le relazioni tra i diversi organismi viventi sono un fattore evolutivo determinante anche per gli animali. Le vitamine ne sono un esempio. La perdita della loro via biosintetica avvenuta in alcuni organismi, tra cui l'uomo, rappresenta il risultato di cambiamenti genetici resi possibili proprio dall'abitudine di alimentarsi di altri organismi, per lo più vegetali, particolarmente ricchi di queste molecole essenziali per la vita. Nel caso di alcune vitamine, per es. la vitamina C, il processo che ha portato alla perdita della sua via biosintetica è ancora ben evidente nel nostro genoma (Nishikimi e Yagi 1991).

Le reti trofiche sono un chiaro esempio della stretta dipendenza tra organismi viventi. La perdita di biodiversità è sicuramente un rischio per l'equilibrio trofico, ma anche la sola alterazione dei ritmi vitali di una specie possono rappresentare un pericolo per la sopravvivenza di altre organismi che popolano lo stesso ecosistema. Pensiamo a quanto è importante che il ciclo vitale di un insetto sia sincronizzato con la fioritura delle piante che dipendono da quell'insetto per l'impollinazione. In questo contesto, i cambiamenti climatici con la loro pressione adattiva sugli organismi viventi, rappresentano una grande sfida per la coevoluzione di specie vegetali, animali e microbiche interdipendenti.

Le tradizioni alimentari delle diverse popolazioni del nostro pianeta sono un altro esempio del ruolo della biodiversità sulla salute. Prendendo ad esempio l'Italia, la stagionalità di frutta e verdura coltivata, arricchita dall'uso di varie specie selvatiche, garantisce in ogni stagione il corretto apporto alimentare di macro e micronutrienti: nelle regioni meridionali la vitamina C, per esempio, era fornita nel periodo autunnale-invernale da corbezzoli, agrumi e da varie verdure stagionali e nel periodo primaverile-estivo da cocomeri, fragole, pomodori ed altre verdure di

stagione. Alcune malattie del passato sono state causate proprio da carenza di biodiversità alimentare. La pellagra, molto diffusa all'inizio del XIX secolo tra le popolazioni rurali di varie regioni italiane, la cui alimentazione si basava quasi esclusivamente sul mais, particolarmente povero di niacina (Vitamina B3). Ma anche oggi molte patologie non trasmissibili sono causate o accentuate dalla cosiddetta "fame nascosta", una carenza di micronutrienti, determinata proprio da una dieta adeguata dal punto di vista energetico ma povera in biodiversità, soprattutto in termini di assunzione di frutta e verdura. La varietà di micronutrienti utili per la nostra salute determina sapori, profumi e colori dei nostri alimenti. Per questo il concetto di biodiversità alimentare, come fattore promotore di salute, è spesso collegato ad una alimentazione il cui la varietà di colori rappresenta un elemento positivo.

Lo stretto rapporto tra salute umana e risorse naturali non si basa solo su una adeguata biodiversità alimentare. Tanti sono i servizi ecosistemici offerti dalla biodiversità che incidono sulla nostra salute. Tra questi: la capacità della vegetazione di ridurre polveri sottili e altri inquinanti, di assorbire CO₂ dall'atmosfera, di agire, mediante la traspirazione, da tampone termico, di promuovere attività fisica e stili di vita più salutari (De Marco et al. 2019, Fini et al. 2023, Kuo 2015, Brauman et al. 2020).

Le sostanze volatili rilasciate nell'ambiente dalle piante sono in grado di modulare positivamente il metabolismo animale, riducendo alcuni parametri di stress ossidativo negli animali. Addirittura la sola vista di aree naturali o immagini di paesaggi naturali può ridurre l'attività nervosa simpatica, attivata in condizioni di stress, e aumentare quella parasimpatica, stimolando il rilassamento e il riposo. Molti sono gli studi che collegano lo stare in ambienti naturali con il potenziamento della capacità di concentrazione e delle risposte cognitive, nonché con la riduzione del rischio di disordini psichiatrici soprattutto nei giovani (Buy et al 2022; Engemann 2019).

Un altro ambito di valorizzazione della biodiversità a favore della salute è legato all'enorme varietà di molecole con attività biologica presenti in piante, funghi e microorganismi. Questo tema è un pilastro centrale di NBFC che sfrutta tecnologie innovative per individuare nuovi composti utili per la salute dell'uomo. Lo studio dell'etnobotanica di aree geografiche che ancora basano la loro capacità di cura sulla biodiversità e l'analisi delle piante alimurgiche rappresentano una risorsa per affrontare problemi sanitari emergenti come l'antibiotico resistenza (Gichuru et al. 2025; Donati et al. submitted).

Tutto ciò sottolinea lo stretto rapporto esistente tra gli organismi viventi, radicato proprio in una loro co-evoluzione che li rende necessariamente interdipendenti. La salute degli uni non può prescindere dalla presenza e dalla salute degli altri, sottolineando una ormai irrinunciabile ottica *One Health*.

5.3 Le molecole bioattive della flora italiana

L'utilizzo delle piante per la cura di patologie umane ha accompagnato tutta la storia e la preistoria dell'uomo. Oggi, il 30% dei farmaci nel mercato deriva o è ispirato da composti naturali, la maggior parte dei quali vegetali. L'aspirina identificata per la prima volta in *Salix alba*, l'antitumorale Paclitaxel proveniente da diverse specie del genere *Taxus*, l'antimalarico artemisinina da *Artemisia annua*, il cardiostimolante digossina da *Digitalis purpurea* sono solo alcuni esempi.

Come sappiamo nei 500 milioni di anni della loro storia le piante hanno evoluto un vastissimo arsenale chimico che rappresenta il loro modo di dialogare e di lottare, se necessario, con il loro ambiente e gli altri esseri che lo popolano. La capacità delle piante di forgiare strutture chimiche diverse e complesse rende questi organismi estremamente preziosi per la salute dell'uomo e per la cura delle malattie, soprattutto se si considera che buona parte del loro potenziale è ancora inesplorato. È stato infatti stimato che solo il 10-15% delle piante siano state investigate per il loro potenziale farmacologico; considerando che al momento si conoscono circa 400.000 specie vegetali, non è esagerato affermare che il regno vegetale rappresenta una miniera, ampia e ampiamente inesplorata, di preziose molecole bioattive che attendono di essere scoperte e/o studiate. Inoltre, fino a questo momento la maggior parte delle ricerche si sono concentrate su specie tradizionalmente ritenute medicinali, ma un recente lavoro di Domingo-Fernandez e collaboratori ha mostrato come le specie non ritenute medicinali, di gran lunga meno studiate, non hanno un potenziale farmacologico minore rispetto alle piante medicinali (Domingo-Fernández et al., 2023).

La flora italiana, con le sue 11.134 specie e sottospecie (delle quali 1673 aliene), e con i suoi tanti endemismi (1702 specie e sottospecie) rappresenta una fetta non trascurabile di questo potenziale da esplorare. Nell'ambito delle attività di NBFC è stata progettata e implementata un'ampia campagna di bioprospezione della flora italiana finalizzata alla sua valorizzazione. Il piano di campionamento include 737 specie (di cui 726 già raccolte), scelte in modo da rappresentare tutte le famiglie della flora vascolare e non vascolare italiana, con un numero di record per famiglia proporzionale alla dimensione della famiglia stessa nel nostro paese. Il rationale che ha guidato la scelta delle

specie è che massimizzare la differenza fra le specie analizzate significa massimizzare la diversità chimica della collezione stessa.

La collezione attualmente include:

- 60 specie di briofite (su 1.220, corrispondenti al 4,9%)
- 38 specie fra licofite e felci (su 146, corrispondenti al 26%);
- 26 specie di Gimnosperme (su 67, corrispondenti al 38,8%);
- 602 specie di Angiosperme (su 9.810, corrispondenti al 6,1%).

Le Angiosperme campionate includono 33 specie di Angiosperme basali e Magnoliidi, 109 specie di monocotiledoni, 181 Superrosidi e Rosidi e 289 Superasteridi e Asteridi. I luoghi della campagna di bioprospezione sono mostrati nella figura sottostante.

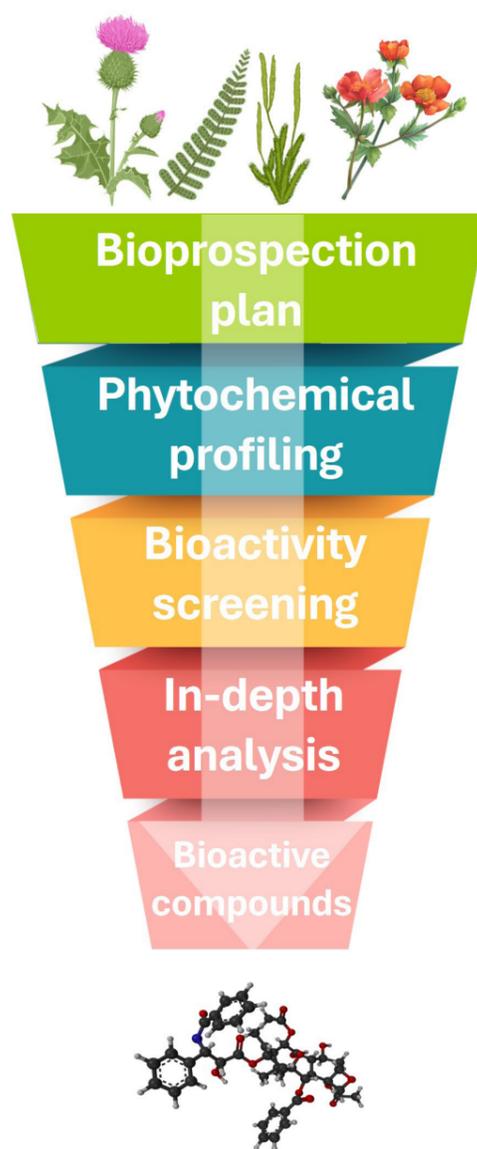


↑ Siti di raccolta della campagna di bioprospezione di NBFC, incluse aree naturali (in azzurro), giardini botanici (in giallo) e nurseries commerciali (in rosa).

Tutte le attività a valle della campagna di bioprospezione sono mostrate nella figura sottostante, e includono il phytochemical profiling di tutte le specie e lo screening di attività di quelle con il profilo fitochimico più interessante, al fine di arrivare alla identificazione delle molecole bioattive più interessanti. Al momento, sono state analizzate chimicamente 416 specie, e 216 sono state testate per una o più attività. Le bioattività testate, da un team altamente articolato di più di 100 ricercatori in tutta Italia, ricadono soprattutto nell'ambito di quelle utili a prevenire/contrastare/curare le malattie non trasmissibili, con un fuoco particolare su malattie degenerative, neurodegenerative e cancro.

Al fine di accelerare lo sviluppo di nuovi prodotti per la salute ispirati alle ricerche di NBFC, i dati prodotti saranno tutti resi disponibili attraverso la piattaforma NBFC digital platform, layer 3 "Biosources, biomolecules and bioactivities". Anche il materiale fisico collezionato (estratti secchi da foglie) sarà reso disponibile da NBFC, come materiale di riferimento già analizzato e per ulteriori ricerche, sotto il nome di Fitocomplessi del mediterraneo ©.

A fronte di un significativo impegno nella ricerca, volto all'identificazione di nuove specie e varietà botaniche potenzialmente utilizzabili nella nutraceutica, si è resa evidente la necessità di superare le attuali restrizioni normative che ne limitano l'impiego. La normativa europea sui novel food (Regolamento UE 2015/2283) infatti, stabilisce che un alimento è considerato nuovo se non è stato consumato in misura significativa nell'Unione Europea prima del 15 maggio 1997, ponendo un vincolo stringente all'introduzione di nuove specie vegetali, indipendentemente dal loro potenziale. Per coniugare sicurezza e valorizzazione della biodiversità, NBFC sta sostenendo la stesura di un libro bianco nell'ambito del progetto PNRR Liberinova, finalizzato a sviluppare raccomandazioni per l'integrazione di nuovi botanicals, anche avvalendosi di tecniche avanzate di analisi fitochimica e di strumenti innovativi, come l'intelligenza artificiale, non ancora contemplati dall'attuale quadro normativo.



↑ Attività a valle della campagna di bioprospezione.

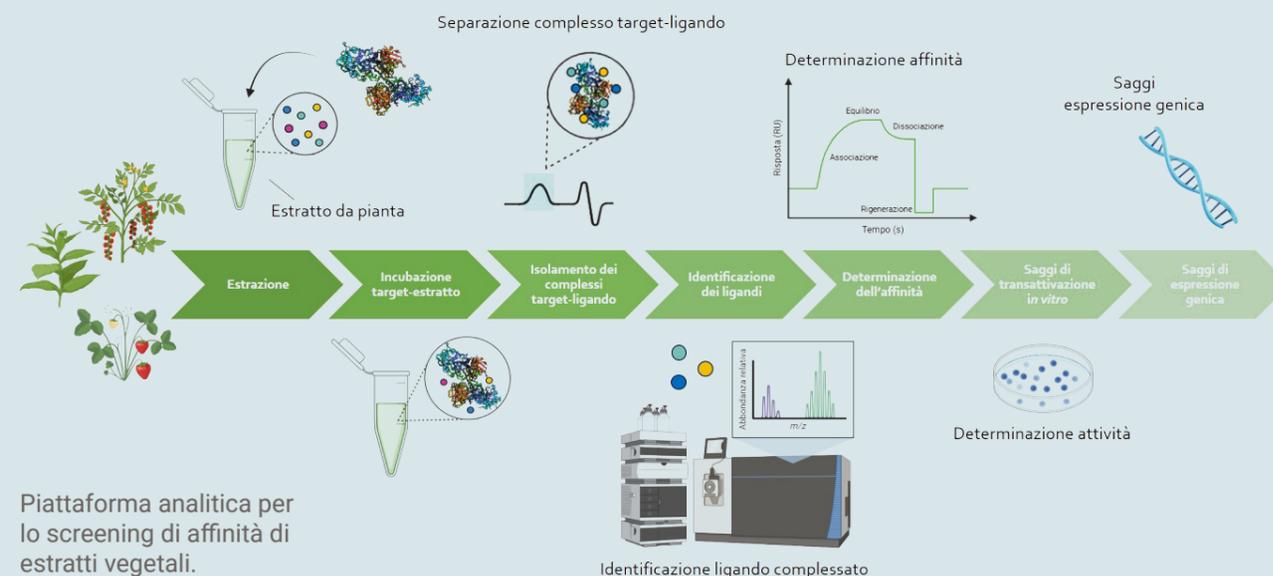
PIATTAFORMA TECNOLOGICA PER INDIVIDUARE MOLECOLE IPOLIPIDEMIZZANTE E IPOGLICEMIZZANTE

Nonostante la rivoluzione biotecnologica e il consolidamento di nuovi paradigmi di ricerca basati sui grandi numeri (high-throughput screening e chimica combinatoriale) si assiste oggi ad un rinnovato interesse nei confronti della biodiversità come fonte di nuove molecole bioattive e di nuovi scaffold molecolari per la progettazione di nuovi farmaci.

Nell'ambito di NBFC, l'Università di Pavia ha sviluppato e convalidata una piattaforma analitica per lo screening di affinità di estratti vegetali nei confronti dei recettori specifici chiamati Peroxisome Proliferator Activated Receptors (PPARs).

Si tratta di recettori nucleari coinvolti nella regolazione del metabolismo lipidico e glucidico, nel differenziamento cellulare, nella risposta infiammatoria e in processi patologici quali diabete di tipo 2, aterosclerosi, obesità e tumori. Considerato il coinvolgimento dei PPARs in questi processi, essi rappresentano un target terapeutico di grande interesse per il trattamento della sindrome metabolica, condizione clinica diffusa ad elevato impatto sociale. PPARs.

Tale piattaforma è stata utilizzata con successo per lo screening di affinità di estratti metanolici di piante provenienti dalla NBFC digital platform layer 3 - mo-



Piattaforma analitica per lo screening di affinità di estratti vegetali.

lecole bioattive. L'analisi ha consentito di individuare alcuni ligandi duali per le isoforme recettoriali alfa e gamma la cui affinità è stata successivamente confermata mediante grating-coupled interferometry. Esperimenti di transattivazione hanno confermato che queste molecole sono in grado di legare i recettori PPARs e stabilito che agiscono come agonisti parziali di PPAR alfa e antagonisti parziali di PPAR gamma. Esperimenti di molecular modelling simulation hanno inoltre fornito le basi chimiche e strutturali del legame con i recettori.

Indagini specifiche hanno confermato che le molecole individuate stimolano l'espressione di geni coinvolti nel trasporto degli acidi grassi nei mitocondri per la beta-ossidazione e nella prima tappa della degradazione degli stessi nei perossisomi. Questo suggerisce che l'esposizione a queste sostanze comporta una

ridotta biosintesi e una incrementata degradazione degli acidi grassi. È stato inoltre dimostrato che anche il metabolismo glucidico viene regolato da queste molecole. Alla luce dei test effettuati emerge che queste sostanze agiscono come agonisti di PPARalfa e modulano il metabolismo lipidico e glucidico con effetti di tipo ipolipidizzante e ipoglicemizzante. Tra i possibili sviluppi dello studio vi è lo sviluppo di nuovi prodotti nutraceutici; inoltre, le molecole individuate potranno essere considerate come nuovi scaffold molecolari in successivi programmi di chimica farmaceutica.

5.4 Esposoma e salute dell'uomo

L'inquinamento dell'aria si configura come uno dei principali fattori di pressione sulla biodiversità urbana e, al contempo, una delle sue più gravi ricadute sulla salute pubblica. Le stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, parlano di circa 4,2 milioni di decessi ogni anno attribuibili all'esposizione a inquinanti atmosferici, mentre in Italia il bilancio annuo di morti riconducibili all'inquinamento urbano sfiora le 60.000 unità.

Tra i soggetti più vulnerabili figurano i portatori di patologie croniche non trasmissibili, come ad esempio pazienti con patologie cardiometaboliche (incluso il diabete di tipo 2) oncologiche e neurodegenerative che soffrono un aggravamento del quadro clinico in presenza di elevati livelli di inquinanti. In quest'ottica NBFC sta valutando l'espressione di biomarker di infiammazione, responsivi alla qualità della vita (fumo, vino, sport, stress), alle fonti di inquinamento presenti nell'area in cui si vive (area urbana o area periurbana), alla dieta, in soggetti affetti da patologie croniche degenerative come IBD/IBS e sclerosi multipla (Giammona et al., 2025).

Nello specifico sono stati sviluppati test specifici per stimare il potere ossidante del particolato urbano e identificare biomarcatori di infiammazione nell'uomo utili per misurare il reale effetto sulla salute. I test sono stati realizzati su campioni di saliva e siero in soggetti reclutati appositamente per questo studio. L'obiettivo ultimo dello studio oltre a trovare una relazione causa-effetto tra l'esposoma urbano e l'aggravamento dell'infiammazione e/o dello stress ossidativo del soggetto è stato anche quello di indagare possibili soluzioni ispirate alla biodiversità. In questo contesto NBFC si è concentrata da un lato sullo sviluppo di NBS – capaci di abbattere gli inquinanti e migliorare la qualità dell'aria e dell'ambiente (si veda Box dedicati). Una seconda azione ha riguardato l'individuazione di composti naturali con attività antiossidante.

In questo contesto è stato intrapreso uno studio direttamente sulla fisiologia dell'uomo per individuare target molecolari coinvolti nei processi antinfiammatori. Dati preliminari hanno permesso di identificare alcuni microRNA, piccoli RNA non codificanti con funzione regolatoria nelle cellule del polmone, la cui espressione correla con l'espressione di alcuni geni

infiammatori. Questi sono anche legati ai processi di detossificazione da specie reattive dell'ossigeno e sembrano rispondere all'esposizione di diverse forme di particolato urbano.

L'integrazione delle diverse attività di ricerca consente di studiare l'esposoma sotto un profilo più funzionale andando ad analizzare le caratteristiche chimiche e fisiche, le risposte cellulari e anche l'effetto della biodiversità nel modularlo migliorandone la qualità e riducendo le molecole più pericolose. L'applicazione pratica di questo modello apre la strada a strategie di prevenzione e intervento molto più mirate: dalle campagne di rimboschimento urbano e di ripristino di corridoi ecologici (per ripristinare il "filtro" naturale dell'aria) fino alla messa a punto di linee guida per l'adozione di uno stile di vita sano, protocolli nutraceutici o farmacologici personalizzati che agiscono sulle vie molecolari individuate come più vulnerabili. Inoltre, l'esposoma funzionale consente di valutare in tempo reale l'efficacia di questi interventi, misurando sia la riduzione degli inquinanti in ambiente sia la modulazione dei biomarcatori nei cittadini coinvolti, anche grazie all'utilizzo di Nature-based Solutions (NbS).

In definitiva, il modello dell'esposoma funzionale trasforma la complessità dei fenomeni ecologici e sanitari in un quadro di dati integrati, in grado di orientare politiche urbane, programmi di salute pubblica e ricerca clinica sulle patologie croniche. Grazie a un approccio multiparametrico e personalizzato, è possibile identificare precocemente i meccanismi responsabili dell'aggravamento delle malattie non trasmissibili, valorizzando il ruolo attivo del ricercatore quale promotore di un'innovazione che fonde rigenerazione della biodiversità urbana e benessere collettivo.

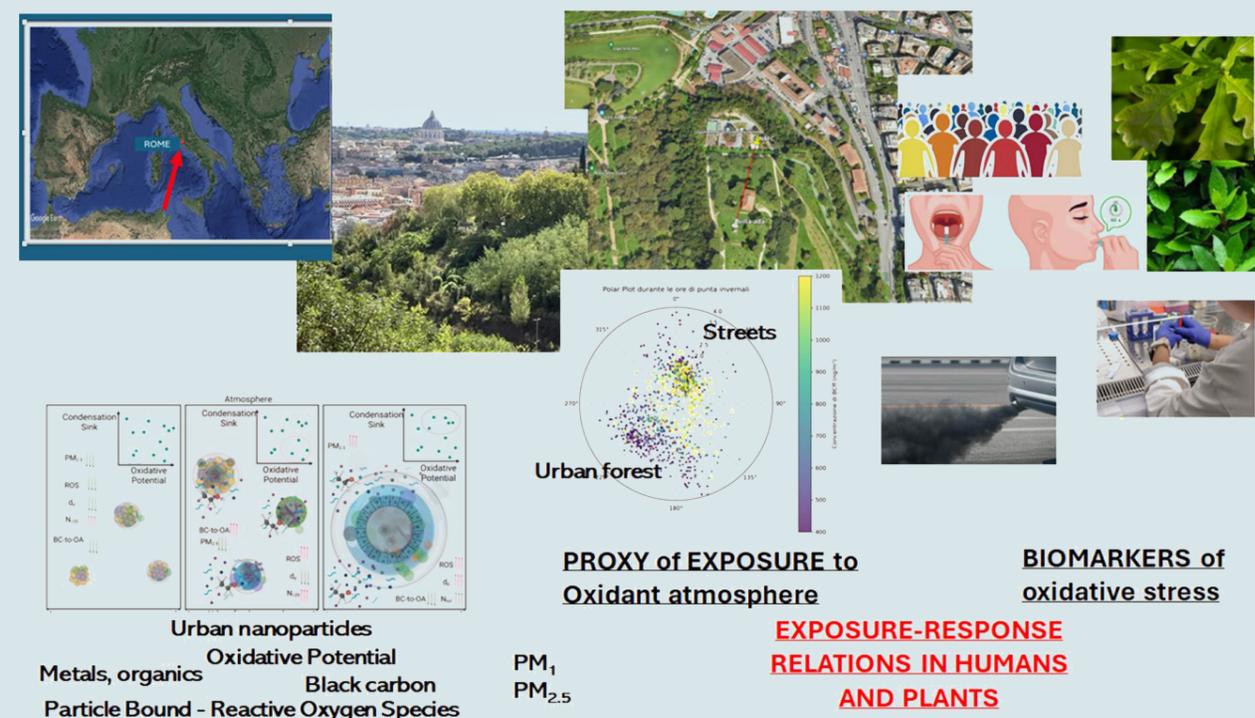
BIODIVERSITÀ URBANA E BENESSERE UMANO NELLA PROSPETTIVA ONE HEALTH

NBFC ha analizzato le connessioni tra biodiversità urbana, cambiamenti climatici e salute, secondo l'approccio One Health, che riconosce l'interdipendenza tra salute umana, animale e ambientale. L'esperimento si svolge nella foresta urbana di Villa Ada a Roma, dove si studia come le condizioni atmosferiche influenzino lo stress ossidativo in piante e uomini, a causa dell'inquinamento urbano. Lo studio valuta il potenziale ossidante dell'aria urbana, cioè la sua capacità di generare stress ossidativo e infiammazione in esseri umani e piante. Tali condizioni sono individuate attraverso indicatori indiretti (proxy), come la concentrazione di nanoparticelle contenenti specie reattive dell'ossigeno (ROS). Queste condizioni si verificano più frequentemente quando, dopo forti piogge o intensa ventilazione, il traffico urbano rilascia inquinanti in presenza di bassi livelli di PM_{2.5}.

In tali condizioni, i proxy atmosferici sono associati a biomarcatori di stress ossidativo in modelli cellulari in vitro e campioni biologici umani (es. sangue o saliva), misurati su scale temporali brevi (minuti/ore). Sono studiati marcatori epigenetici (miRNA) in-vitro e in-vivo in linee cellulari e campioni di fluidi prelevati in una coorte di soggetti umani sani al fine di

comprendere le risposte cellulari precoci allo stress ossidativo causato da esposizione ambientale. parallelamente, sono analizzati tratti funzionali relativi all'apparato fotosintetico su due specie vegetali sempreverdi, *Quercus ilex* L. e *Laurus nobilis* L. L'obiettivo è costruire nuove curve di esposizione-risposta che mettano in relazione le reazioni fisiologiche delle piante e quelle infiammatorie umane alle condizioni atmosferiche fortemente ossidanti. I dati preliminari indicano che la frazione ultrafine dell'aerosol da traffico (<100 nm) è la principale responsabile delle risposte ossidative osservate. Inoltre, è emersa un'interazione tra questa componente e l'indice di area fogliare della vegetazione urbana.

Queste analisi potranno dimostrare una relazione causa-effetto tra inquinamento urbano a breve termine e stress ossidativo in piante e persone, con potenziali implicazioni anche a lungo termine. Confrontare le risposte delle piante e degli esseri umani a uguali livelli di esposizione permetterà di individuare meccanismi comuni e divergenti. Le strategie adattive delle piante potrebbero ispirare nuovi approcci per la tutela della salute umana e ambientale, supportando politiche di resilienza al cambiamento climatico.



5.5 Vivere nella biodiversità

Dalle indagini condotte in NBFC emerge che la ricchezza di specie e habitat tipica degli ambienti ad elevata biodiversità si rivela un fattore determinante nella prevenzione delle malattie croniche non trasmissibili, agendo sui molteplici livelli dell'esposizione e quindi della fisiologia umana. Innanzitutto, la varietà biologica conferisce resilienza agli ecosistemi e, di conseguenza, alla nostra salute, perché dalle comunità microbiche del suolo fino agli alberi urbani più imponenti ciascun organismo contribuisce a regolare i cicli naturali, a filtrare inquinanti e a modulare lo stress ambientale. I parchi e i corridoi verdi caratterizzati da un'eterogenea copertura arborea e da una ricca componente floristica dimostrano, infatti, di contenere più efficacemente le concentrazioni di particolato fine e di ossidi di azoto rispetto a spazi verdi monolitici, con riscontri oggettivi sia nella riduzione della pressione arteriosa sia nel miglioramento dei sintomi asmatici e allergici.

Il contatto quotidiano con un'ampia gamma di microorganismi ambientali sostiene lo sviluppo di un microbioma intestinale diversificato, rafforzando l'equilibrio immunitario e riducendo l'incidenza di malattie infiammatorie croniche quali diabete di tipo 2, sindrome metabolica e patologie autoimmuni. Tale concetto trova fondamento nell'"ipotesi della biodiversità", secondo cui l'esposizione precoce e regolare a suoli, piante e animali favorisce l'induzione di risposte immunitarie protettive: in particolare, le cellule batteriche del microbiota interagiscono con il sistema immunitario inducendo il rilascio di metaboliti anti-infiammatori e riducendo la permeabilità intestinale che altrimenti favorirebbe l'ingresso di molecole pro-infiammatorie nel circolo ematico. Parallelamente, esperienze immersive in contesti naturali ad alta biodiversità hanno evidenziato una modulazione favorevole dei marcatori di stress ossidativo e una riduzione dei livelli di cortisolo e del battito cardiaco a riposo.

Questi cambiamenti biochimici e fisiologici, che in media comportano una diminuzione della pressione arteriosa di circa 2 mmHg, si traducono in una riduzione dei livelli di cortisolo, ormone dello stress, in un minor tasso di mortalità cardiovascolare e in un rallentamento dell'insorgenza di obesità e diabete di tipo 2. Contesti culturali diversi confermano

inoltre che la semplice presenza di elementi naturali variegati all'interno dell'ambiente abitativo o lavorativo si associa a un miglioramento del benessere psicologico, con cali significativi di sintomi ansiosi e depressivi e con un innalzamento della qualità della vita complessiva.

Non meno importante è il ruolo di un'alimentazione che proviene dalla biodiversità. Una dieta varia, ricca di molecole bioattive presenti in frutta e verdura, incrementano l'apporto di macro- e micronutrienti essenziali e promuovono un microbiota più equilibrato. In questo modo si ottiene una doppia azione protettiva, sia sulla componente immunitaria sia sulla modulazione delle vie metaboliche coinvolte nello stress ossidativo e nell'infiammazione cronica.

Pertanto, l'adozione di modelli urbani che valorizzano la biodiversità non rappresenta soltanto un'opzione ecologica, ma una strategia di sanità pubblica fondata su solide evidenze scientifiche per tutelare e promuovere la salute nel lungo periodo.

BIODIVERSITÀ E BENESSERE MENTALE

Un numero crescente di studi scientifici documenta il legame tra biodiversità, esposizione alla natura e salute mentale. Il contatto diretto con ambienti naturali è associato a riduzioni significative di stress, ansia e sintomi depressivi, nonché a un miglioramento dell'umore e delle capacità cognitive. Anche la semplice esposizione visiva a paesaggi naturali può avere un effetto rigenerante sul sistema nervoso parasimpatico, contribuendo al rilassamento e alla regolazione dell'umore (Bratman et al., 2019).

Interventi terapeutici che prevedono il contatto attivo con ambienti naturali, noti come nature-based therapies, stanno acquisendo crescente riconoscimento nel campo della promozione della salute mentale. Tra queste, degne di nota, il Forest bathing (shin-

rin-yoku), pratica di immersione sensoriale nei boschi, nata in Giappone, che ha dimostrato effetti benefici sulla pressione sanguigna, cortisolo e umore (Hansen et al., 2017); l'ortoterapia ovvero l'attività di giardinaggio o coltivazione per finalità terapeutiche, particolarmente efficace con anziani, persone con disabilità o disturbi psichiatrici e utilizzata con successo anche in contesti educativi. Infine l'eco-terapia: pratiche guidate in natura finalizzate al benessere psicologico, sempre più impiegate in ambito clinico e psicosociale.

Queste terapie trovano sempre più spazio nei programmi di salute pubblica, come strumenti complementari a quelli tradizionali.

06

Biodiversità e Biotecnologie

6.1 Biodiversità microbica a sostegno di bioprocessi innovativi e della circolarità delle risorse, a supporto delle esigenze urbane

BIODIVERSITÀ MICROBICA PER LA CIRCOLARITÀ DELLE RISORSE

Sebbene sia ormai chiaro il valore della biodiversità (il 45% delle aziende italiane riconosce rischi e opportunità legati alla biodiversità), la capacità di valutare concretamente e agire su questi aspetti è ancora limitata e solo il 25% delle imprese valuta il proprio impatto. L'era post-genomica ha fornito strumenti senza precedenti per esplorare la diversità biologica e il potenziale metabolico degli organismi, in particolare dei microrganismi, che costituiscono la maggior parte della biomassa e della diversità genetica del pianeta. La metagenomica, che analizza il DNA collettivo estratto direttamente da campioni ambientali, e il *genome mining*, che setaccia i genomi alla ricerca di geni di interesse, sono al centro di questa rivoluzione (Ziemert et al., 2016). Le tecnologie emerse offrono soluzioni innovative per monitorare la salute degli ecosistemi, descrivere nuove capacità metaboliche, gestire i rifiuti e scoprire nuovi prodotti naturali. La biodiversità microbica è ampia e diffusa e vi sono numerosi approcci per studiarla anche in ambienti estremi.

Gli ambienti geotermali per esempio, rappresentano "laboratori naturali" unici, caratterizzati da condizioni fisico-chimiche estreme come le alte temperature. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, questi ambienti pullulano di vita microbica altamente specializzata (principalmente Archaea e Batteri) (Inskeep et al., 2013). Gli organismi che vi abitano, gli estremofili, hanno evoluto adattamenti biochimici e fisiologici

straordinari, tra cui enzimi (estremozimi) intrinsecamente stabili e attivi a temperature elevate, condizioni che denaturerebbero la maggior parte delle proteine convenzionali. Questo patrimonio genetico unico rappresenta una risorsa preziosa e largamente non sfruttata per l'innovazione biotecnologica. Nell'ambito di NBFC la capacità di studiare questi ecosistemi tramite metagenomica e di identificare geni di interesse tramite genome mining sta aprendo nuove vie per lo sviluppo di prodotti e processi industriali più efficienti, sostenibili ed economicamente vantaggiosi (Sharma et al., 2025).

Una delle principali linee di attività riguarda l'individuazione in microrganismi estremofili di enzimi (biocatalizzatori robusti) capaci di sostituire catalizzatori chimici con conseguente riduzione del consumo energetico e utilizzo di materie prime rinnovabili.

Una seconda azione riguarda lo studio di microrganismi e consorzi microbici con capacità degradative uniche che possono essere utilizzati per la gestione dei rifiuti industriali, dei residui forestali e dei prodotti a fine vita. Ad esempio, attraverso l'uso di microrganismi ed enzimi capaci di degradare inquinanti specifici come il PET (Ercolano et al., 2024), o convertire residui e rifiuti della filiera agro-alimentare in prodotti

a maggior valore (*upcycling*) (Gallo et al., 2024), si possono sviluppare processi di biorisanamento *in situ* o *ex situ* più economici e sostenibili rispetto ai metodi chimico-fisici tradizionali, e produrre prodotti di interesse per la salute umana ed animale, come dimostrato dai ricercatori del NBFC per la produzione di carotenoidi, o ancora di glucosinolati (Maestroni et al., 2023).

Grazie alle nuove frontiere della biologia sintetica e della biomanifattura (*biomanufacturing*), la biodiversità microbica entra in gioco: microrganismi ed enzimi divengono attori per la trasformazione di prodotti a fine vita in nuovi materiali, piattaforme chimiche ed ingredienti per formulazioni innovative. Ad esempio, dalla degradazione e successivo *upcycling* microbico del PET è stato possibile ricavare ingredienti per la formulazione di cosmetici a basso impatto, e valorizzando la biodiversità dei lieviti e le condizioni di fermentazione è stato possibile massimizzare le performance di processo (Senatore et al., 2024; Senatore et al., 2025). In questo modo, i ricercatori del NBFC hanno potuto dimostrare che non solo biomasse di scarto di fresca sintesi possono essere rimesse in un circolo virtuoso, ma addirittura prodotti di scarto della filiera petrolchimica, che grazie all'*upcycling* rientrano in un pool di scambio ed allungano il loro ciclo vitale.

LA BIODIVERSITÀ MICROBICA INTESTINALE NEGLI INSETTI CHE DEGRADANO LA PLASTICA

La biodiversità batterica nell'intestino degli insetti plastivori è fondamentale per comprendere come alcuni artropodi siano in grado di degradare i materiali plastici. In questo contesto, il batterio *Stenotrophomonas indicatrix* DA12/m, è stato isolato dall'intestino del coleottero *Alphitobius diaperinus*, e coltivato in un terreno contenente polistirene (PS) come unica fonte di carbonio.

Il genoma di *S. indicatrix* è stato sequenziato e analizzato, rivelando vie conservate di degradazione dello stirene (Zarra et al., 2025). Al momento, si stanno identificando altri ceppi batterici potenzialmente coinvolti nella degradazione della plastica mediante allevamento selettivo di larve di *A. diaperinus* allevati con diete diverse.

6.2 Biodiversità microbica e salute degli ecosistemi

La biodiversità microbica è un indicatore sensibile della salute e della resilienza degli ecosistemi. Le attività antropiche come inquinamento, cambiamento climatico, urbanizzazione possono alterare drasticamente la struttura e la funzione delle comunità microbiche (Delgado-Baquerizo et al., 2025). La composizione delle comunità microbiche geotermali è sensibile a variazioni geochimiche e termiche. Il monitoraggio metagenomico può fornire indicatori precoci di cambiamenti ambientali, naturali o indotti dall'uomo (es. sfruttamento dell'energia geotermica) (Delgado-Baquerizo et al., 2018). Questo permette una gestione proattiva dei rischi ambientali e la prevenzione di potenziali sanzioni o costi di ripristino (Delgado-Baquerizo et al., 2018).

La perdita di biodiversità non è solo un danno ecologico, ma anche la perdita di potenziali geni, enzimi o microrganismi con future applicazioni industriali. Al contempo, mentre l'inquinamento antropico associato ad hotspot urbani determina una riduzione della biodiversità, in alcuni casi arricchisce in specie ancora non descritte che possono avere una azione di biodegradazione su materiali dispersi in ambiente, come le microplastiche o gli elastomeri. NBFC ha sviluppato gli strumenti molecolari per eseguire il monitoraggio metagenomico in diversi contesti e questo può essere visto come uno strumento per potenziare asset *tracking* del capitale naturale microbico.

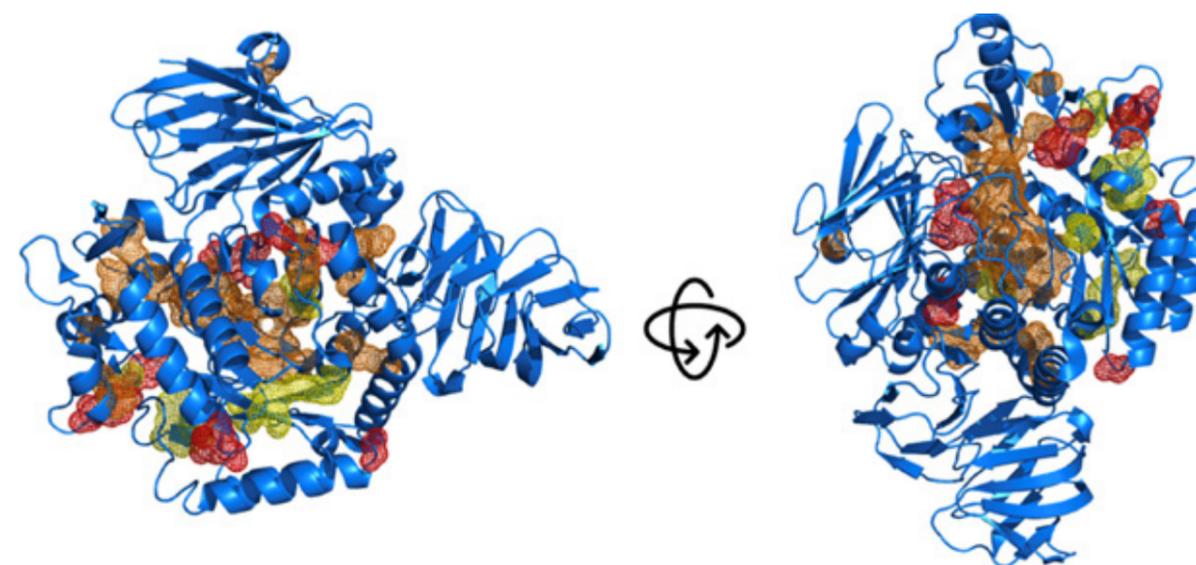
6.3 Il *genome mining* per la scoperta di nuove potenziali *cell factories*

Il *genome mining* permette di predire la funzione di un gene, focalizzando gli sforzi sperimentali solo sui geni con potenziale applicativo di interesse. Questo approccio è decisamente più rapido ed economico rispetto ai metodi tradizionali basati su lunghe sperimentazioni. In NBFC questo sistema ha permesso di valorizzare l'enorme patrimonio di dati genetici già esistente, sfruttando al massimo le informazioni che abbiamo già a disposizione grazie alle ricerche precedenti.

Gli studi approfonditi sul portfolio di enzimi attivi sui carboidrati dalle sorgenti geotermali sviluppatto nell'ambito del centro la ricchezza e la potenziale applicabilità (Iacono et al., 2020; Strazzulli et al., 2020). Il valore economico non risiede solo nella scoperta diretta di nuovi estremozimi, ma anche nel loro uso

come strumenti per altre aree di ricerca e sviluppo. La loro stabilità li rende strumenti preziosi per la ricerca biomedica, fungendo da modelli robusti per accelerare lo studio di malattie e lo sviluppo di nuove terapie (Iacono et al., 2025). Recentemente, nell'ambito del progetto NBFC, l' α -glucosidasi MalA da *Saccharolobus solfataricus* è stata usata come modello per lo studio dell' α -glucosidasi acida lisosomiale (GAA) umana, il cui *deficit* porta allo sviluppo della malattia di Pompe.

Molti enzimi umani coinvolti in malattie sono instabili o difficili da produrre e studiare *in vitro*. I loro omologhi stabili da estremofili possono fungere da modelli eccellenti (Iacono et al., 2025). In questo modo, si potrà accelerare la scoperta di nuovi farmaci per le malattie genetiche, come le terapie per la malattia di Pompe.



Nella loro ancora largamente inesplorata biodiversità, i microrganismi offrono soluzioni, molecole, attività, proprietà, capacità di creare così come di degradare materiali, e tutto con azioni compatibili con la vita. Tutto questo può essere tradotto nella progettazione di processi produttivi che siano a basso impatto, che recuperino risorse dagli scarti, che permettano di allungare il ciclo di vita dei prodotti, e che svelino non solo agli addetti ai lavori ma anche all'intera società quanto la biodiversità sia un alleato per le nostre più impegnative ed impellenti sfide.

↑ Struttura dell'enzima MalA (da *Saccharolobus solfataricus*) in due diverse angolazioni. Sono colorati 39 punti specifici i cui cambiamenti provocano mutazioni responsabili della malattia di Pompe. I colori dal giallo al rosso indicano il grado di severità della malattia causata da quella specifica mutazione.

07

Valore economico della Biodiversità

7.1 Stime di valore della biodiversità

 Nel 2023 oltre la metà del PIL totale mondiale – **58 TRILIONI DI DOLLARI** – è stato generato da settori dipendenti dalla natura in misura moderata o elevata. (Fonte IPBES, 2024. Transformative Change Assessment: Summary for Policymakers)

 Nel 2020, le industrie altamente dipendenti dalla natura hanno generato il **15% DEL PIL GLOBALE** e le industrie moderatamente dipendenti hanno generato il **37% DEL PIL GLOBALE** (Fonte IPBES, 2024. Transformative Change Assessment: Summary for Policymakers).

 L'erosione della biodiversità potrebbe ridurre il **PIL GLOBALE DEL 2,3% ENTRO IL 2050** (Fonte: OCSE, 2019, Biodiversity: Finance and the Economic and Business Case for Action).

 Per arrestare il declino della biodiversità entro il 2030, occorre colmare un funding gap passando da una spesa di 124-134 miliardi di dollari l'anno a **722-824 MILIARDI DI DOLLARI** (The Nature Conservancy, 2020)

 Servizi ecosistemici forestali: **16,2 TRILIONI DI DOLLARI ALL'ANNO** (Fonte: De Groot et al., 2021 Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services).

 Il valore annuo dell'impollinazione è di circa **235-577 MILIARDI** di dollari all'anno (Fonte: IPBES – Pollinators, Pollination and Food Production, 2016).

 Valore degli oceani: **24 TRILIONI DI DOLLARI** (Fonte WWF)

 I cittadini europei sono disposti a destinare **OLTRE 30 MILIARDI DI EURO** all'anno per la tutela della biodiversità.

Secondo l'Impact Assessment Study della Commissione Europea, gli investimenti in progetti di conservazione e ripristino della biodiversità potrebbero portare benefici economici significativi, stimati in 69,6 miliardi di euro entro il 2050. Il rapporto benefici/costi legato a tali interventi risulterebbe pari a 14,7, il che equivale a dire che ogni euro investito in biodiversità è in grado di generare un ritorno di 14,7 euro sotto forma di benefici per la collettività.

7.2 Il valore economico della biodiversità in Italia

Dalle indagini di letteratura di NBFC emerge che il valore dei servizi ecosistemici italiani, calcolato con il metodo del "benefit transfer", è stimabile in circa 71,3 miliardi di euro. Le amministrazioni pubbliche e il settore no-profit rappresentano il 40% degli investimenti totali nella tutela della biodiversità, con una quota di poco più di 3 miliardi di euro su 67 miliardi complessivi.

Per quanto riguarda i privati, secondo un'indagine di Etifor (<https://www.etifor.com/it/pubblicazioni/biodiversita-settore-privato/>) solo il 25% delle imprese italiane valuta attivamente il proprio impatto sulla biodiversità, mentre il 48% prevede di farlo nei prossimi cinque anni. Solo il 33% include già la biodiversità nel proprio rapporto di sostenibilità, ma solo il 19% ha adottato gli European Sustainability Reporting Standards (ESRS) richiesti dalla Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Nello stesso documento di Etifor, si suggerisce che le imprese italiane dovrebbero investire almeno 93 euro per ogni milione di euro di fatturato nel ripristino della biodiversità.

Infine, in merito ai cittadini, vi è certamente una migliore sensibilità al tema. Un rapporto dell'ISPRA ha stimato la disponibilità media a pagare annua per residente in area costiera italiana pari a 323,56 € per la conservazione degli ecosistemi costieri, delle spiagge e delle loro amenità.

Nell'ambito di NBFC i ricercatori stanno attivando progettualità specifiche non solo per dare un valore economico alla biodiversità ma anche per prevenire perdite rilevanti di specie, habitat ed ecosistemi. Secondo i dati riportati nel report di Etifor nel nostro paese i danni economici provocati dai disastri naturali sono estremamente elevati, raggiungendo i 90,1 miliardi di euro tra il 1980 e il 2020; il terzo importo più alto nell'Unione Europea, dopo Germania e Francia.

Nel 2023, l'alluvione che ha colpito l'Emilia-Romagna a maggio si è classificata come la sesta catastrofe naturale più costosa a livello globale, con perdite stimate in 9,8 miliardi di dollari. A questi si sono aggiunti circa 2 miliardi di euro di ulteriori danni economici causati da tempeste ricorrenti nel Nord Italia e dalle inondazioni che hanno interessato la Toscana.

In conclusione, stimare quanto vale la biodiversità non è un tema semplice in quanto ad oggi non vi sono misure univoche condivise a livello internazionali. Spesso si parla del valore del rischio della perdita di biodiversità e di impatti sul PIL. In altri casi si prova a dare delle stime sui servizi derivati dalla natura. Per esempio, si stima che il valore complessivo dei servizi ecosistemici in Italia sia pari a 240 miliardi di euro all'anno (Fonte: Terzo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia, 2019); tuttavia è abbastanza chiaro che ciascun servizio offerto dall'ecosistema ha un valore variabile a seconda del contesto e dell'esigenza. In alcuni Paesi si stanno generando politiche che impongono misure di compensazione; in altri si stanno generando crediti simili a quelli usati per il carbonio.

Un credito di biodiversità rappresenta una quantità misurabile di miglioramento in un ecosistema, come la protezione di specie a rischio o la rigenerazione di un habitat. Alcuni enti si stanno anche attrezzando per emettere e certificare tali crediti. L'obiettivo finale è un mercato in cui la biodiversità ha un valore economico riconosciuto, spingendo imprese e governi a integrare la tutela della natura nella loro pianificazione economica. Senza un sistema di misurazione chiaro, condiviso e universale è difficile poter attuare politiche globali efficaci.

7.3 Strategie Nature Positive: Ripensare il rapporto tra sviluppo e biodiversità

Nature Positive significa invertire la perdita di biodiversità, rigenerare gli ecosistemi e costruire economie sostenibili capaci di tutelare la natura e aumentare la salute del pianeta. Questo processo impone un superamento dell'idea che la biodiversità vada solo conservata. E' necessario intervenire con il restauro di contesti alterati, rafforzare le specie minacciate, migliorare la qualità delle risorse ambientali e dare valore alla biodiversità partendo con il sostenere i diritti delle popolazioni indigene che vivono in simbiosi con la natura.

Gli ingredienti della **strategia Nature Positive** sono:

- 1 | Misurazione del capitale naturale: monitorare lo stato di ecosistemi, habitat e specie attraverso indicatori chiari e comparabili. Obiettivi vincolanti: fissare target specifici come la protezione del 30% delle terre e del mare entro il 2030. Questi target possono anche essere specifici per determinate aree o Paesi.
- 2 | Sviluppare e introdurre a diversi livelli modelli di business per la biodiversità. La natura deve diventare una componente centrale nella gestione del rischio e delle opportunità economiche per le aziende e per il mercato.
- 3 | Innovazione finanziaria: sviluppare strumenti come i crediti di biodiversità e i fondi per il ripristino della natura, per mobilitare capitali privati e pubblici.
- 4 | Responsabilità e trasparenza: assicurare che le dichiarazioni e gli impegni siano supportati da azioni concrete, verificabili e sottoposte a controlli indipendenti da enti esperti con competenze scientifiche.

NBFC collabora con numerosi enti nazionali e internazionali per promuovere strategie Nature Positive attraverso tre linee operative principali.

La prima riguarda lo sviluppo e l'adozione di strumenti efficaci per la misurazione della biodiversità, capaci di adattarsi a differenti contesti ambientali e territoriali.

La seconda linea di intervento si concentra sul coinvolgimento di imprese ed enti nei programmi di tutela e valorizzazione del capitale naturale, sia attraverso la creazione di progettualità congiunte sia mediante l'attivazione di "bandi a cascata", che permettono a parchi, riserve e aziende di realizzare iniziative specifiche con impatti concreti e duraturi sulla biodiversità.

La terza area d'azione riguarda le attività di policy e diplomazia scientifica internazionale, finalizzate a promuovere interventi che non solo aumentino il livello di biodiversità, ma che generino anche valore economico, sociale e ambientale a beneficio delle comunità e dei

7.4 Strategie Nature Positive in Italia

La Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), adottata in Italia il 10 settembre 2024, introduce l'obbligo per le aziende di rendicontare le proprie performance ESG a partire dai bilanci 2024, in base alla loro dimensione. La direttiva mira non solo a migliorare la trasparenza, ma anche a spingere le imprese a sviluppare strategie di sostenibilità orientate al miglioramento della biodiversità, in linea con gli obiettivi della Legge sul Ripristino della Natura.

L'obbligo si applicherà inizialmente alle grandi aziende, estendendosi entro il 2028 alle grandi imprese non quotate e alle PMI quotate. Le aziende dovranno utilizzare gli European Sustainability Reporting Standards (ESRS), incluso l'ESRS E4 specifico per la biodiversità. In Italia, si prevede che le aziende coinvolte passeranno da circa 200 a oltre 4.000 entro il 2028.

Secondo i dati raccolti da Etifof (www.etifor.com) che ha effettuato un'indagine mirata alle imprese italiane emerge che solo il 25% delle aziende valuta oggi il proprio impatto sulla biodiversità, ma il 48% prevede di integrarlo nelle strategie entro i prossimi cinque anni. Attualmente, il 33% riporta informazioni sulla biodiversità e solo il 19% segue gli standard ESRS richiesti.

Le imprese italiane devono quindi compiere progressi significativi per conformarsi alle normative e migliorare le proprie performance ESG. Sebbene il 45% riconosca i rischi legati al cambiamento climatico e alla perdita di biodiversità, è necessaria una maggiore attenzione alle metodologie di valutazione per misurare concretamente l'impegno aziendale. E' evidente che sono necessari strumenti specifici per le imprese

affinché si adotti concretamente una strategia 'Nature Positive' che possa generare valore per il Paese. Una degli strumenti viene fornito dalla Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) che propone un sistema chiaro e trasparente nelle pratiche di rendicontazione della sostenibilità aziendale.

Tra le principali innovazioni introdotte figurano:

- **Verifica dei report di sostenibilità:** le imprese devono ottenere una limited assurance sui loro report, con l'obiettivo di arrivare progressivamente a una reasonable assurance, attraverso revisori legali certificati.
- **Digitalizzazione dei report:** tutti i dati relativi agli aspetti ambientali, sociali e di governance (ESG) devono essere digitalizzati e contrassegnati tramite specifici tag elettronici.
- **Integrazione con i bilanci finanziari:** le informazioni sulla sostenibilità devono essere incorporate nella Relazione sulla Gestione, per favorire un'integrazione più coerente tra dati finanziari e non finanziari.
- **Adozione di uno standard unico di rendicontazione:** diventa obbligatorio l'uso degli European Sustainability Reporting Standards (ESRS), che assicurano una maggiore uniformità tra i settori e includono linee guida ad hoc per le piccole e medie imprese.
- **Approccio della doppia materialità:** le organizzazioni sono chiamate a valutare e comunicare sia gli impatti finanziari legati alla biodiversità sia gli effetti delle loro attività sull'ambiente e sulla società.
- **Strategie di sostenibilità e governance:** le aziende devono illustrare come gli obiettivi ESG siano integrati nelle loro strategie complessive e quale sia il ruolo del management nella supervisione di tali tematiche.

All'interno degli standard ESRS, lo standard E4 si concentra specificamente sulla biodiversità, imponendo alle imprese di fornire informazioni dettagliate attraverso sei aree fondamentali:

- **PIANO DI TRANSIZIONE:** descrizione dell'allineamento con gli obiettivi globali di conservazione della biodiversità.
- **POLITICHE PER LA BIODIVERSITÀ:** strategie adottate per affrontare rischi e opportunità legati alla biodiversità.
- **AZIONI E RISORSE:** progetti e investimenti finalizzati alla protezione degli ecosistemi.
- **OBIETTIVI DI BIODIVERSITÀ:** definizione e monitoraggio dei target di conservazione.
- **METRICHE DI IMPATTO:** misurazione degli effetti aziendali sulla biodiversità, inclusi indicatori relativi allo stato di specie e habitat.
- **EFFETTI FINANZIARI:** valutazione delle implicazioni economiche derivanti dai rischi e dalle opportunità connessi alla biodiversità.

Fonte: Biodiversity and the private sector in Italy. Etifor

7.5 Portare valore al mercato

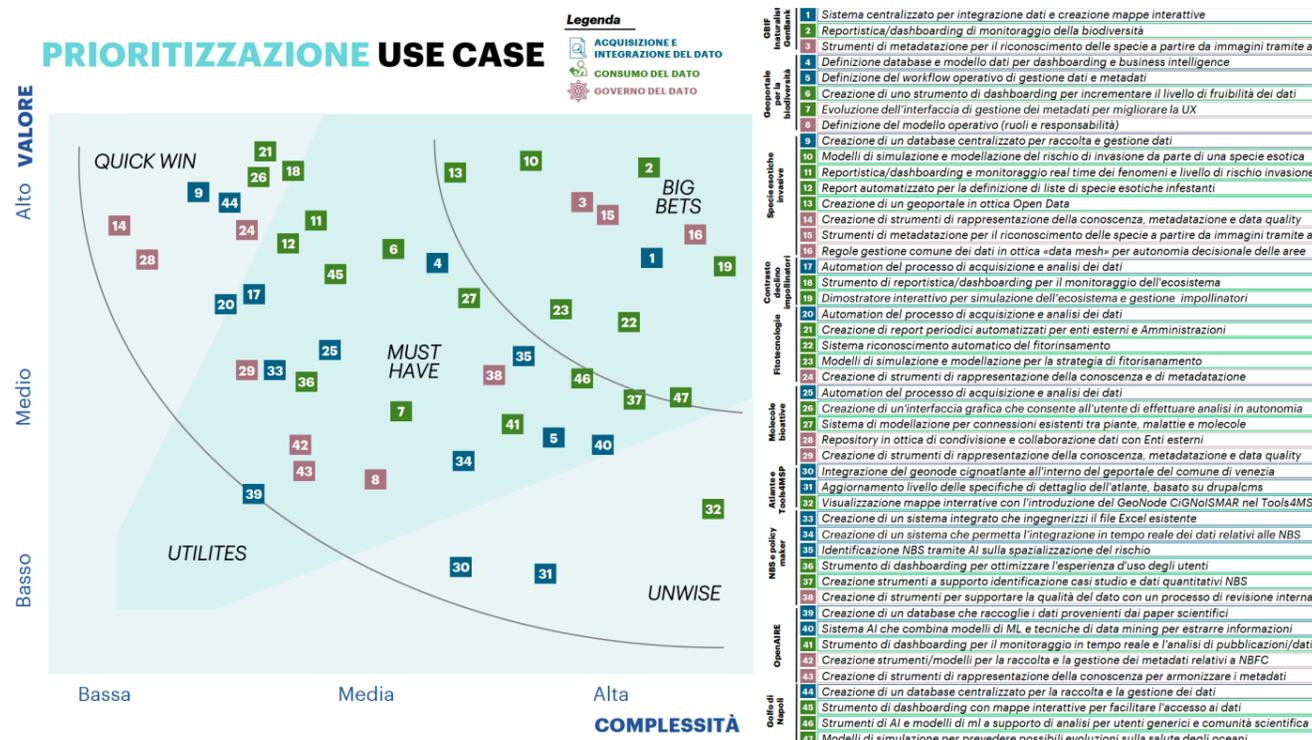
Durante il secondo anno di progetto, NBFC ha eseguito una mappatura della azioni di ricerca che hanno prodotto risultati valorizzabili. Questi **Key Exploitable Results** (KERs) sono stati raccolti dai responsabili degli spoke. In totale, sono stati individuati **63 risultati** con un elevato grado di avanzamento e rilevanza per il territorio (ad esempio imprese, organizzazioni e cittadini). Il Comitato Scientifico di NBFC, in collaborazione con la Direzione Innovazione, ha selezionato e classificato **47 di questi casi** sulla base di tre indicatori: i) Livello di maturità della proposta; ii) impatto potenziale sulla conservazione della biodiversità; iii) originalità e competitività sul mercato della proposta.

I 47 casi studio sono stati analizzati dal gruppo di lavoro che si occupa di innovazione nell'ambito del gateway della biodiversità che ha condotto interviste mirate con i proponenti per valutare ogni KER secondo due variabili:

- **VALORE:** in base al potenziale atteso in termini di evoluzione della ricerca, innovazione, scalabilità e possibilità di monetizzazione

- **COMPLESSITÀ:** considerando gli aspetti organizzativi, tecnologici e operativi

Sulla base di queste analisi è stata elaborata una **matrice di priorità**, che ha permesso di focalizzare l'attenzione sui **KER più promettenti e trasferibili** – definiti **USE CASE** all'interno del Gateway. I risultati ottenuti sono schematizzati nella figura sottostante.



Al momento sono stati selezionati USE CASE che sono in fase di implementazione. Nella tabella sottostante, è riportato un esempio di alcuni use case.

THEMATIC AREA	DESCRIPTION OF THE THEMATIC AREA	ID	PROTOTYPES
EXOTIC SPECIES	Invasive alien species pose threats to biodiversity, ecosystems, health, and economies. Understanding their spread is key to developing effective management strategies to mitigate impacts.	9	Acquisition and integration of heterogeneous data for the construction of a centralized database for the unified collection of research data
		11	Creation of a tool for visualization and analysis of the phenomena of colonization of exotic species on Italian territory
		14	Creation of metadata and data quality management tools (business glossary, data dictionary, quality controls)
PHYTOTECHNOLOGIES	Phytoremediation uses plants and associated microorganisms to reduce environmental contamination, offering a sustainable alternative to traditional methods through site evaluations and tailored green technologies.	24	Creation of metadata and data quality management tools (business glossary, data dictionary, quality controls)
REVERSING POLLINATOR DECLINE	The tool aids in designing Nature-Based Solutions (NBS) to support pollinators by integrating environmental data, species phenology, and insect-plant interactions, fostering biodiversity and ecosystem resilience.	17	Acquisition and integration of heterogeneous data for the construction of a centralized database
		18	Development of an interactive tool to help the user in designing NBS to combat pollinator decline
BIOACTIVE MOLECULES	Phylogenetic methods identify plant species with pharmaceutical potential, using scientific data and databases. The PM-4MP software on GitHub aids in selecting plants for treating major diseases.	29	Creation of metadata and data quality management tools (business glossary, data dictionary, quality controls)
NBS	The CataTool helps select resilient Nature-Based Solutions (NBS) based on intervention type, context, and social challenges, leveraging a relational database for informed decision-making.		Automation of the acquisition and updating process of the Nature Based Solution catalogue (cata-tool)
		36	Creation of a tool for browsing the NBS catalogue via a graphical interface
GULF OF NAPLES	Enhanced LTER integrates historical and omics data to deepen understanding of marine ecosystems, enabling multi-scale analyses in the context of biodiversity and global changes	44	Creation of a centralized database for data collection and management
		45	Creation of a dashboard to visualize physical/chemical data related to sampling carried out in the Gulf of Naples

Da questi 'Use Case' si è proceduto alla realizzazione di i prototipi: Sono stati attivati team congiunti con esperti informatici e di comunicazione con l'obiettivo di favorire la co-creazione di strumenti efficaci per l'impresa e la società. Tutti i prodotti sono in fase di completamento ed a breve saranno valutati in ambiente operativo.

ABOCA E NBFC: RICERCA-IMPRESA PER LA BIODIVERSITÀ

NBFC ha avviato per la prima volta una collaborazione strutturata con un'azienda – Aboca – per contribuire alla definizione e analisi di una strategia aziendale per la biodiversità. Si è trattato di una prima volta in Italia. Un'impresa privata ha chiesto alla comunità scientifica di NBFC di svolgere un ruolo attivo nella revisione critica e costruttiva di un documento strategico, frutto di una linea progettuale attivata dall'azienda all'interno di NBFC. Questo caso dimostra che la comunità della biodiversità italiana, quando agisce in modo coordinato, può generare valore concreto e diventare punto di riferimento anche per l'innovazione d'impresa. Si tratta di un caso di studio che abbiamo pensato fosse interessante da inserire nel report annuale, in quanto evidenzia una dimensione di impatto di NBFC forse non del tutto banale, che si fonda sull'azione del collettivo, più che del contributo dei singoli.

Aboca è un'impresa partner di NBFC, leader nell'healthcare naturale, fondata nel 1978 a Sansepolcro. Con oltre 1700 dipendenti, coltivazioni biologiche dirette e un'impostazione sistemica ("impresa come sistema vivente"), l'azienda ha posto il capitale naturale al centro della propria identità, adottando la forme giuridica di Società Benefit e ottenendo certificazioni e rating ESG (B Corp, SDGs Action Manager, EcoVadis). Nel 2024 ha elaborato una Strategia per la Biodiversità 2025–2030, documento ambizioso che nasce con lo scopo di mettere a sistema le attività già poste in essere dall'azienda, stabilire un percorso di miglioramento e dotarsi di un sistema di monitoraggio, in linea con gli obiettivi europei e con la visione One Health. Il documento, che sarà pubblicato dall'azienda, vuole coniugare un'impostazione scientifica con una forma divulgativa e comprensibile dal vasto pubblico dei propri stakeholder.

Il coinvolgimento di NBFC ha avuto luogo su richiesta diretta del top management, desideroso di sottoporre la bozza della strategia a un vaglio scientifico esterno. Il workshop di valutazione si è svolto l'8 aprile e ha visto il coordinamento congiunto delle

Direzioni Innovazione e Ricerca di NBFC. Hanno partecipato esperti di ecologia, genetica, fitochimica, economia e scienze sociali. Il confronto ha prodotto osservazioni su terminologia, approccio concettuale, uso di indicatori, tecnologie di monitoraggio, agrofornestazione, impollinatori, ruolo delle politiche UE e coinvolgimento territoriale.

Aboca ha recepito con apertura e rapidità i suggerimenti ricevuti, integrandoli nella versione finale della strategia. Sono stati inseriti riferimenti più chiari al paradigma One Health, ai concetti di biodiversità, genetica e biochimica, alle Nature-Based Solutions, e al contributo di NBFC come partner scientifico. Il documento rivisto prevederà anche l'elaborazione di una strategia climatica parallela, indicatori allineati alla Relazione d'Impatto e un'esplicita sezione su partecipazione territoriale e open innovation.

Il caso Aboca-NBFC rappresenta un esempio concreto di co-progettazione tra impresa e scienza, condotto con grande coinvolgimento e soprattutto una forte volontà congiunta. Ha permesso a NBFC di sperimentare un nuovo ruolo: non solo centro di produzione scientifica o di singole innovazioni, ma anche di soggetto validatore di una strategia sulla biodiversità. In Italia, NBFC è uno dei pochi soggetti in grado di aggregare le competenze per poter fornire ad un soggetto privato i feedback necessari per sviluppare un ragionato percorso che metta la natura al centro non tanto di un percorso di sfruttamento, ma bensì veda nella natura un elemento costitutivo del modello aziendale. L'esperienza è replicabile. Avanti il prossimo, anche oltre il PNRR.

7.6 La strategia della biodiversità: la Natura come partner co-evolutivo dell'impresa rigenerativa

Negli ultimi anni, la relazione tra strategia d'impresa e biodiversità è emersa come una frontiera critica per la sostenibilità. Gran parte dei lettori di questo rapporto annuale, scienziati e studiosi delle diverse discipline che ci permettono di comprendere la natura sono convinti: la biodiversità è la soluzione. Nel comprendere la valorizzazione delle ricerche NBFC sui sistemi economici, da studiosi di impresa dobbiamo chiederci: può anche un'azienda abbracciare l'idea che la biodiversità sia la soluzione? La risposta del management è che per rinnovare le fonti del proprio vantaggio competitivo non è sempre possibile/necessario/conveniente adottare questa idea, ma un'azienda a questa convinzione può gradualmente arrivarci. Ci siamo ispirati ai modelli di maturità sviluppati negli anni '90 dal Software Engineering Institute della Carnegie Mellon University, per aiutare le organizzazioni a migliorare i propri processi in modo progressivo (Chrissis, Konrad, and Shrum 2003).

Il risultato è un modello articolato in cinque livelli. Ciascun livello rappresenta un modo qualitativamente diverso di concepire il rapporto tra impresa e natura, ed evidenzia una progressione dalla mera conformità normativa verso una leadership rigenerativa e co-evolutiva.

LIVELLO 1 – REATTIVO (Guidato alla conformità)

La biodiversità è percepita come un vincolo. Le azioni sono minime e spesso motivate da obblighi normativi o da pressioni reputazionali. Le pratiche sono frammentarie e affidate a funzioni marginali (es. CSR o compliance). Manca una visione strategica.

INTUIZIONE:
"Facciamo il minimo per non avere problemi."

LIVELLO 2 – GESTITO (Orientato all'efficienza)

L'impresa inizia a integrare la biodiversità in alcune decisioni operative, tipicamente attraverso programmi di riduzione degli impatti o di mitigazione dei rischi. La biodiversità è trattata come una variabile di performance, spesso all'interno di quadri ESG standardizzati.

INTUIZIONE:
"Riduciamo i danni e miglioriamo l'efficienza."

LIVELLO 3 – STRATEGICO (Integrazione nel business case)

La biodiversità viene riconosciuta come rilevante per la strategia d'impresa. Le aziende iniziano a identificare rischi e dipendenze dagli ecosistemi, integrando tali aspetti nei modelli di business e nella catena del valore. Tuttavia, il valore della biodiversità resta prevalentemente strumentale, funzionale alla creazione di vantaggio competitivo.

INTUIZIONE:
"La natura è materiale: sfruttiamola bene."

LIVELLO 4 – SISTEMICO (Incorporazione relazionale)

Si abbandona una visione estrattiva e si abbraccia una prospettiva relazionale. L'impresa riconosce la propria interdipendenza con i sistemi ecologici e incorpora la biodiversità nei valori, nei processi decisionali e nella governance. Le azioni mirano alla conservazione e alla rigenerazione, attraverso collaborazioni con attori locali e scientifici.

INTUIZIONE:
"Siamo parte della natura: agiamo di conseguenza."

LIVELLO 5 – RIGENERATIVO (Leadership co-evolutiva)

L'impresa diventa un attore trasformativo. La biodiversità è parte della sua identità e missione. L'innovazione si ispira alla natura (es. biomimetica, cicli chiusi), e la performance è valutata anche in termini di impatto positivo sugli ecosistemi. L'azienda agisce come custode attiva del capitale naturale.

INTUIZIONE:
"Non c'è impresa senza biodiversità."

La maggioranza delle aziende si colloca oggi tra il secondo e il terzo livello. In particolare, il livello 3 rappresenta spesso il punto di arrivo, l'obiettivo da raggiungere: la biodiversità entra nel business-as-usual, valorizzata solo se utile al profitto. Gran parte del mercato si sta impegnando per andare a fornire soluzioni alle imprese per arrivare a questo traguardo.

Ma questo non basta e forse ci stiamo perdendo per strada un'enorme possibilità. Innanzitutto perché l'integrazione strumentale non è sufficiente per affrontare la crisi ecologica globale. Per generare un impatto duraturo, è necessario procedere verso i livelli 4 e 5, dove la biodiversità è riconosciuta come condizione sistemica per la sopravvivenza e la prosperità condivisa.

Il livello 5 implica un'evoluzione strategica: non basta più integrare, ma occorre rigenerare. Questo comporta ridefinire la ragion d'essere dell'impresa – non solo come entità che rispetta i limiti ecologici, ma come soggetto che contribuisce attivamente al benessere degli ecosistemi. Adottare i limiti planetari come principi progettuali significa considerare la natura non come capitale da preservare, ma come partner co-evolutivo nella creazione di valore.

Un'azienda rigenerativa investe nella rigenerazione reciproca con la propria filiera, sviluppando pratiche e conoscenze condivise che ripristinano suolo, acqua e biodiversità, anche attraverso la localizzazione

delle catene di approvvigionamento. Le comunità locali diventano alleati strategici: non stakeholder da gestire, ma co-protagonisti di innovazioni radicate nei territori, fondate su saperi tradizionali e modelli di co-beneficio.

La policy pubblica è un fattore abilitante chiave. Le imprese operano all'interno di contesto multi-attore, e quadri normativi favorevoli – incentivi, regolazioni, co-creazione – possono accelerare il cambiamento. Le imprese devono anche partecipare attivamente alla costruzione di questi strumenti, proponendo metriche alternative al PIL e logiche diverse dal profitto a breve termine.

Questa è anche una sfida (la sfida?) per NBFC che, con il suo approccio sistemico e l'ampio spettro di competenze scientifiche e manageriali, può diventare un punto di riferimento nazionale e internazionale. In particolare, NBFC ha l'opportunità di supportare i partner aziendali nel comprendere e valorizzare le opportunità che emergono dai livelli 4 e 5 di maturità.

La ricerca collaborativa è fondamentale per colmare il divario tra teoria e pratica. Le strategie rigenerative richiedono percorsi implementativi solidi, co-prodotti tra imprese, studiosi, ecologisti e attori locali. Questa ricerca deve essere transdisciplinare, orientata all'azione e radicata in sperimentazioni reali. Proprio come NBFC.

08

Il futuro della biodiversità parte dalla società

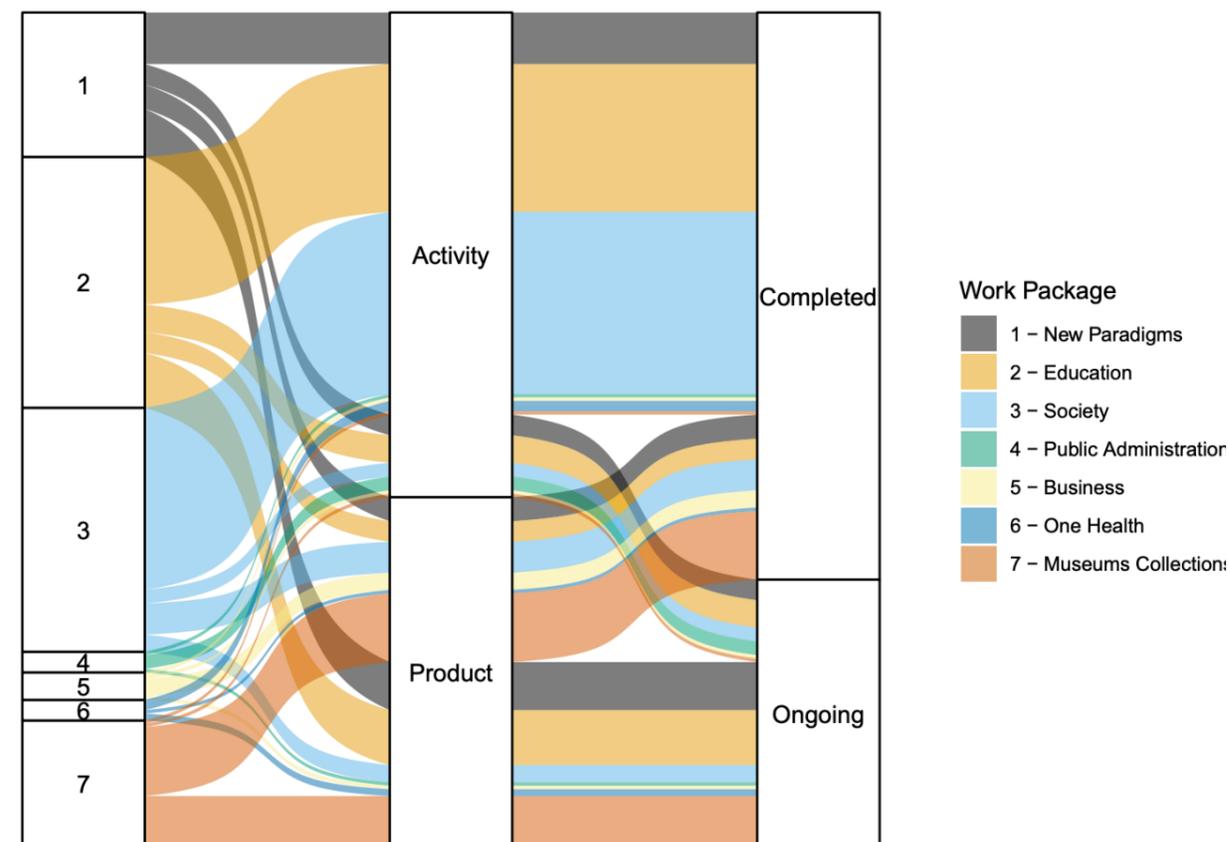
8.1 Biodiversità in dialogo: strategie e linguaggi per coinvolgere tutti

L'idea alla base della comunicazione del National Biodiversity Future Center (NBFC) è che non può realizzarsi una concreta difesa e valorizzazione ambientale senza un forte impegno sociale verso la biodiversità sia come valore che come garanzia della nostra sopravvivenza, nonché come elemento di resilienza degli ecosistemi e risorsa per la ripresa economica. Il punto di partenza è stata la consapevolezza che la conoscenza e la difesa della biodiversità necessitano di nuove strategie per sensibilizzare la società sul valore della biodiversità e sulla necessità di cambiamenti comportamentali collettivi per promuovere e preservare le risorse naturali e biologiche. Le attività intraprese da NBFC in quest'ottica hanno, da un lato, operato nella trasmissione più specialistica di informazioni scientifiche e, dall'altro, cercato di sfruttare nuovi linguaggi e nuove strategie per coinvolgere in modo paritario diverse fasce di pubblico attraverso percorsi interdisciplinari.

Nel complesso delle oltre 280 attività svolte ad oggi, circa il 50% è rappresentato da una divulgazione scientifica classica, attraverso pubblicazioni, report, book of abstract e tavole rotonde. Destinate ad un pubblico esperto, queste attività sono mirate in particolare alla sensibilizzazione di imprese, associazioni e amministratori locali. Un esempio per tutti è il Libro bianco, una raccolta, guidata dalla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, di casi di studio virtuosi di aziende in relazione alla salvaguardia della biodiversità. La divulgazione dedicata a raggiungere un pubblico più ampio si è avvalsa, in parte (circa il 15% delle attività

complessive), dei media e di piattaforme digitali, attraverso trasmissioni radiofoniche e televisive, video, l'editing di pagine di Wikipedia e podcast. In questi casi, utilizzando un linguaggio il più inclusivo possibile, si è valorizzato sia il lavoro di ricerca sviluppato nei diversi spoke di NBFC che la ricchezza di biodiversità che caratterizza gli ambienti marini, terrestri e urbani italiani. Esempi ne sono i numerosi podcast, quali *Figlie di Nettuno*, della Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, *Le città del Mediterraneo* dell'Università di Milano-Bicocca, *2050: Italia futura* dell'Università di Padova, i video *La biodiversità al centro* e il docu-film *BLU – Viaggio in Italia attraverso il mare*, di prossima uscita, sulle Aree Marine Protette italiane, entrambi dell'Università di Padova.

Infine, sul fronte della divulgazione dedicata a tutti, un gruppo di attività ha avuto un approccio artistico-espressivo, con la realizzazione di spettacoli teatrali, installazioni sonore, collezioni di moda, concorsi fotografici e mostre. Sebbene nel totale delle attività svolte queste rappresentino solo il 7%, i prodotti artistici sono tra quelli che maggiormente sposano l'obiettivo iniziale della multidisciplinarietà, sensibilizzando nel profondo gli utenti. Ne sono esempi di successo, testimoniati dall'attenzione della stampa e dall'affluenza del pubblico, gli spettacoli *Allegro Bestiale* e *Nomadic: canto per la biodiversità*, entrambi dell'Università di Padova, la mostra nazionale *Elogio della diversità*, a cura dell'Università di Roma La Sapienza, e il concorso fotografico *Vallisneri Photo Contest*, anch'esso dell'Università di Padova. L'organizzazione ed i risultati di



queste ultime attività, per il loro approccio innovativo alla comunicazione della biodiversità, vengono presentati in una sezione a parte.

Le altre tipologie di attività si sono rivolte prevalentemente alla sensibilizzazione del pubblico più giovane, sia con azioni specificamente mirate a loro che con altre dedicate invece ad adulti ed insegnanti. Tra queste, la produzione di giochi, esclusivamente digitali o sia in versione cartacea che digitale, e le esperienze di immersione in realtà virtuali rappresentano circa il 6% delle attività complessive e mirano a sensibilizzare il pubblico più giovane attraverso un'esperienza ludica. Un grande sforzo (circa il 16% delle attività totali) è stato poi dedicato all'interazione diretta, attraverso visite ed escursioni guidate e laboratori di formazione.

Nella gran parte dei casi si è trattato di esperienze dedicate ai giovani, attività spesso sporadiche, racchiuse in una giornata o all'interno di un evento generale quale la Notte dei Ricercatori, ma che, attraverso la visita a siti di particolare interesse naturalistico e culturale, il disegno naturalistico o le esperienze di laboratorio, permettono il contatto diretto, sensoriale, con l'ambiente. Alcune di queste attività, quali ad esempio *Why Ortica is Beautiful*, organizzata dall'Università

di Milano-Bicocca, hanno coinvolto anche cittadini e turisti, nell'intento di valorizzare gli ambienti prossimi, quali quelli urbani.

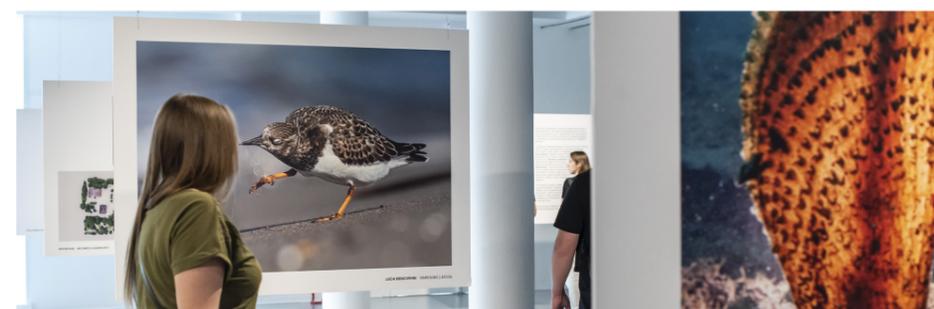
Infine, sempre nell'ottica del coinvolgimento di giovani ed educatori, sono stati prodotti diversi libri e manuali. Tra i primi, sia libri e manuali illustrati che fumetti, tra cui i numeri 3574 e 3575 di *Topolino* e il volume *The Biodiversity Issue* di Comics&Science, tutti a cura dell'Università di Padova. Tra i manuali per educatori, insegnanti e più in generale tutti gli adulti potenzialmente interessati, sono ottimi esempi dell'approccio comunicativo di NBFC quelli che spingono alla riflessione sulle sfide cruciali che la società di oggi è chiamata ad affrontare. In particolare è da evidenziare *Educare alla Biodiversità*, dell'Università di Milano-Bicocca: il volume – che ha avuto nei primi sei mesi dalla pubblicazione oltre 11.000 download – affronta il tema cruciale del contributo che il mondo dell'educazione può dare alla crisi ambientale, fornendo chiavi di lettura e strumenti fondamentali per chiunque abbia la responsabilità della crescita delle nuove generazioni. Dedicato ad un'altra importante sfida è il volume, di recente pubblicazione, *One Health – Pensare le emergenze del pianeta*, a cura dell'Università di Roma La Sapienza, che, superando la frammentazione delle

conoscenze, raccoglie contributi multidisciplinari per far riflettere su che cosa significhi oggi operare per l'integrazione della salute ambientale, animale e umana.



8.2 Connessioni vitali: esperienze per comunicare la biodiversità

Nell'ambito delle azioni promosse dal National Biodiversity Future Center (NBFC), la comunicazione della biodiversità si è arricchita di strumenti artistici capaci di coinvolgere pubblici diversi e stimolare nuovi sguardi sul rapporto tra esseri umani e natura. Mostre, concorsi fotografici e spettacoli teatrali hanno offerto esperienze immersive, emotive e riflessive, contribuendo a diffondere consapevolezza sulla crisi ecologica e sulle possibili risposte culturali e sociali. Tre progetti ne rappresentano emblematicamente lo spirito: *Elogio della Diversità*, il *Vallisneri Photo Contest* e *NOMADIC – Canto per la Biodiversità*.



ELOGIO DELLA DIVERSITÀ

La mostra si è svolta a Roma, tra novembre 2024 e marzo 2025, in uno dei più prestigiosi spazi espositivi della capitale, e ha coinvolto oltre 35.000 visitatori. Su una superficie di 900 metri quadrati, ha proposto una collezione di oltre 250 oggetti scientifici provenienti da importanti musei italiani: barattoli zoologici, tassidermie terrestri e marine, scatole entomologiche, modelli botanici, stampe antiche e un'opera originale dell'artista Manuel Felise dedicata all'impatto antropico sul pianeta. A questi si sono aggiunti exhibit interattivi, supporti digitali, una sala cinema e un fitto programma di eventi collaterali, tra cui laboratori per le scuole, seminari e rassegne cinematografiche. La mostra è stata promossa da un comitato scientifico d'eccezione, presieduto dal Premio Nobel per la Fisica Giorgio Parisi e composto da figure autorevoli come Antonella Polimeni, Maria Chiara Carrozza, Stefano Boeri ed Enrico Giovannini. Il percorso espositivo si è ispirato all'approccio "One Health", sottolineando la necessità di integrare saperi scientifici, artistici e tecnologici per affrontare la crisi della biodiversità. L'interesse suscitato a livello internazionale ha portato il gruppo organizzativo di Expo 2025 Osaka a includere alcuni elementi simbolici della mostra, che saranno esposti attraverso un vodcast immersivo in 3D, offrendo al pubblico globale un'esperienza virtuale di Elogio della Diversità.

VALLISNERI PHOTO CONTEST: L'ARTE PER RENDERE VISIBILE LA CRISI ECOLOGICA

Promosso dal Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova, il Vallisneri Photo Contest è nato con l'obiettivo di raccontare la crisi della biodiversità attraverso il linguaggio potente e universale dell'immagine. Il tema della prima edizione, "Biodiversità in crisi", ha invitato i partecipanti a esprimere la propria visione attraverso una fotografia singola, un reportage o anche opere generate con intelligenza artificiale. La risposta è stata straordinaria: oltre 150 opere sono giunte in sei mesi, mettendo alla prova la giuria, chiamata a valutarne la qualità estetica e la capacità evocativa. Le sette opere vincitrici sono state raccolte in un catalogo pubblicato da Contrasto Editore, che sarà reso disponibile in open access sul Biodiversity Gateway. Ogni immagine è un invito a guardare il mondo con occhi nuovi, riconoscendo l'urgenza di agire per proteggere le forme di vita che popolano il pianeta. La fotografia, in questo contesto, diventa uno strumento di consapevolezza e una chiamata all'azione, capace di trasformare l'emozione in responsabilità.

NOMADIC – CANTO PER LA BIODIVERSITÀ

Realizzato da Telmo Pievani e Gianni Maroccolo, NOMADIC – Canto per la Biodiversità è uno spettacolo inedito che unisce musica, parole, immagini e animazioni per raccontare la biodiversità attraverso il

tema delle migrazioni. Le migrazioni – umane e animali – sono da sempre un motore fondamentale della diversità biologica e culturale. Tuttavia, oggi queste dinamiche naturali si scontrano con barriere artificiali, cambiamenti climatici e tensioni geopolitiche. Lo spettacolo offre una narrazione intensa e poetica, priva di didascalismi, che restituisce la profondità di una verità condivisa: la migrazione è parte della natura stessa delle specie viventi, e la diversità che ne deriva è una risorsa fondamentale per affrontare le sfide del presente. In questo senso, NOMADIC – Canto per la Biodiversità si configura come un ponte tra arte e scienza, un inno alla connessione tra tutte le forme di vita e alla resilienza come valore collettivo.

Queste tre esperienze, seppur diverse per linguaggi e strumenti, condividono l'idea che l'arte possa offrire nuovi modi di comunicare la scienza e affrontare tematiche complesse come quella della perdita di biodiversità. Attraverso emozioni, simboli e immagini condivisi, i linguaggi artistici riescono a coinvolgere le persone su un piano più profondo, contribuendo alla costruzione di una coscienza ecologica collettiva. Il Biodiversity Gateway si propone come spazio privilegiato per raccogliere, valorizzare e rendere accessibili queste esperienze, offrendo a cittadini, studenti ed educatori strumenti innovativi per comprendere, immaginare e agire.

RACCONTARE LA BIODIVERSITÀ ATTRAVERSO LA FOTOGRAFIA

La mostra *Il Paese della biodiversità – Il patrimonio naturale italiano*, promossa dal National Biodiversity Future Center (NBFC) in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, propone un viaggio visivo nella ricchezza naturalistica del nostro Paese. Il percorso espositivo si articola in tre ambienti – terrestre, acquatico (marino e d'acqua dolce) e vegetale – e racconta, attraverso l'obiettivo di alcuni tra i più noti fotografi naturalisti italiani, le meraviglie e le fragilità della biodiversità italiana.

Una selezione di circa cinquanta scatti realizzati da *The Wild Line* – il collettivo composto da Marco Colombo, Bruno D'Amicis e Ugo Mellone – e curata da *National Geographic Italia*, accompagna il pubblico alla scoperta del lato selvaggio del territorio italiano. Le immagini esplorano la complessa relazione tra natura e attività umane, soffermandosi sulle principali minacce ambientali, in particolare quelle legate ai cambiamenti climatici, e sulla necessità di interventi concreti per la conservazione.

La mostra è stata pensata anche come occasione educativa. Per le scuole sono state organizzate visite guidate con approfondimenti tematici su: gestione delle specie aliene invasive, conflitti tra fauna selvatica e comunità locali, impatti della crisi climatica sugli ecosistemi, ruolo della ricerca scientifica per la tutela della biodiversità.

Le attività didattiche collegate alla mostra hanno coinvolto le classi in esperienze diversificate: il quiz *La ruota della biodiversità*, destinato alla scuola primaria e alla secondaria di primo grado, ha permesso di esplorare in modo ludico le caratteristiche dei principali ecosistemi italiani; la simulazione della progettazione di un piano di conservazione del lupo, rivolta alle scuole secondarie di secondo grado, ha offerto uno spunto di riflessione su strategie di coesistenza e coinvolgimento della cittadinanza. La mostra ha registrato la partecipazione di circa 600 persone tra studenti, docenti e cittadini, confermando l'efficacia del linguaggio fotografico nel generare consapevolezza e coinvolgimento verso i temi della biodiversità.

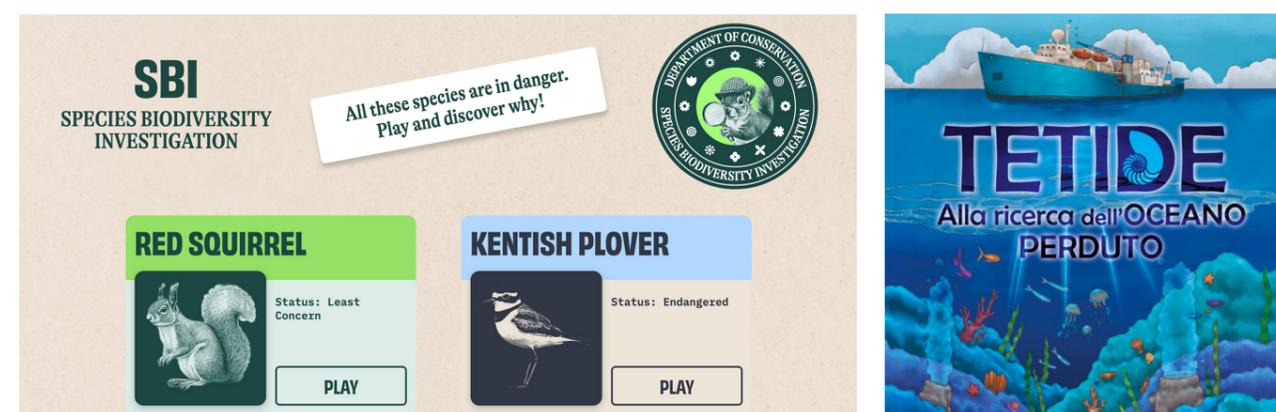


8.3 Il Biodiversity Gateway: uno spazio open access per cittadini, educatori e studenti

Le attività dello Spoke 7 del NBFC dedicate alla comunicazione e al coinvolgimento sui temi della biodiversità, hanno portato alla realizzazione di numerosi prodotti divulgativi ed educativi. Questi materiali andranno a costituire una sezione open access del Biodiversity Gateway, pensata per cittadini, educatori e studenti interessati ad approfondire il valore della biodiversità e le sfide legate alla sua tutela.

Questa nuova sezione del portale sarà inizialmente popolata dai prodotti NBFC già disponibili, ma resterà aperta all'inserimento di nuovi contenuti che condividano gli stessi obiettivi e approcci, ampliando nel tempo l'offerta e adattandola a una pluralità di utenti. Attualmente i prodotti identificati sono 124, suddivisi in cinque macro-categorie per facilitarne la consultazione:

- 1 **EBOOK** (n=17): Comprendono testi generali sull'educazione alla biodiversità, frutto delle competenze pedagogiche dell'Università di Milano-Bicocca, libri illustrati e fumetti ideati dall'Università di Padova, fino a materiali più scolastici, come i volumi *La natura va a scuola* del CNR, dedicati al compostaggio e alla *Drosophila*.
- 2 **GIOCHI** (n=8): Alcuni sono disponibili solo in versione online, accompagnati da un breve video introduttivo; altri sono scaricabili in formato PDF per essere stampati e ritagliati. Tra questi SBI – Species Biodiversity Investigation, *Tetide* e *PlayDecide – Where the Wild Beings Are* sono già stati sperimentati con successo al festival Play di Bologna.
- 3 **STRUMENTI MULTIMEDIALI** (n=60, suddivisi in 15 gruppi): Comprendono podcast (18,4% del totale) e video di varia durata e scopo. I podcast esplorano tematiche legate alla biodiversità marina, alla gestione sostenibile delle risorse e a visioni future dell'ambiente e della società italiana. I video affrontano un ampio spettro di argomenti: dal rapporto tra uomo e biodiversità alle ricerche NBFC, fino a materiali didattici e pillole educative. Tra questi, il gruppo *“Educare alla biodiversità”* propone otto video pensati per integrare la formazione degli insegnanti, corredati anche da un toolkit metodologico. Non mancano contenuti emozionali e testimonianze di buone pratiche adottate da imprese, pescatori e agricoltori.



- 4 **PROPOSTE EDUCATIVE E DIDATTICHE** (n=26, suddivise in 5 gruppi): Rivolti principalmente a insegnanti ed educatori, questi materiali includono un censimento di risorse online open access già disponibili – come *Nexus Island* dell'EMBL – e prodotti sviluppati specificamente nell'ambito del NBFC. Tra questi, il *Toolkit Biodiversità* e 24 percorsi didattici completi di schede, carte e istruzioni. L'obiettivo non è solo trasmettere informazioni, ma promuovere il coinvolgimento attivo e l'esperienza diretta dei ragazzi.
- 5 **EVENTI** (n=3): Attualmente la sezione ospita due spettacoli teatrali – *Allego bestiale* e *Nomadic: canto per la biodiversità* – e il docufilm *BLU - Viaggio in Italia attraverso il mare*, realizzato dall'Università di Padova in collaborazione con la Stazione Zoologica Anton Dohrn e le Aree Marine Protette italiane. In futuro questa sezione potrà diventare uno spazio aggiornato su mostre, conferenze, iniziative di citizen science e attività formative. Potrà inoltre ospitare informazioni sui corsi promossi dal NBFC, come il *Dottorato di Interesse Nazionale (DIN) in Biodiversità*, giunto al terzo ciclo, e il *Master One Health*, oggi alla sua seconda edizione. Questi percorsi formativi promuovono un approccio multidisciplinare e professionale, preparando i giovani a rispondere alle sfide della biodiversità con competenze trasversali e reti solide.

09

Il regolamento europeo sul ripristino della natura e il ruolo del NBFC

9.1 I vincoli nel regolamento UE sul ripristino della natura

Il Regolamento UE sul ripristino della natura introduce un insieme articolato di obblighi per gli Stati membri, finalizzati al recupero degli ecosistemi degradati entro il 2050. Sebbene gli obblighi siano formalmente in capo agli Stati, essi si traducono in vincoli diretti o indiretti per le imprese, in particolare nei settori agricolo, forestale, energetico, edilizio, infrastrutturale e della pesca.

Nel settore agricolo, l'articolo 11 impone agli Stati membri di rafforzare la biodiversità degli ecosistemi agricoli. Ciò include l'obbligo di migliorare almeno due dei tre indicatori elencati nell'Allegato IV (indice delle farfalle comuni, stock di carbonio organico nei suoli, elementi del paesaggio ad alta diversità) e di invertire il declino dell'avifauna agricola (Allegato V). Inoltre, l'articolo 11, paragrafo 4, stabilisce obiettivi vincolanti per la riqualificazione delle torbiere agricole drenate, con soglie progressive al 2030, 2040 e 2050. Sebbene il ripristino idrico delle torbiere sia formalmente volontaria per agricoltori e proprietari privati, gli Stati devono incentivarla, come previsto anche dall'articolo 14, paragrafo 12.

Nel comparto forestale, l'articolo 12 impone il rafforzamento della biodiversità forestale attraverso il miglioramento di almeno sei su sette indicatori elencati nell'Allegato VI, tra cui legno morto, connettività forestale, stock di carbonio e diversità delle specie arboree. Le imprese forestali dovranno adeguare le pratiche gestionali per contribuire al raggiungimento di tali obiettivi.

Per il settore edilizio e urbanistico, l'articolo 8 stabilisce che entro il 2030 non vi debba essere alcuna perdita netta di spazi verdi urbani e di copertura arborea urbana. Dal 2031, è richiesto un incremento progressivo di tali elementi. Questi vincoli incidono direttamente sulla pianificazione urbana e sulle attività edilizie, imponendo l'integrazione di criteri ecologici nei progetti.

Nel settore energetico, l'articolo 6 riconosce i progetti per la produzione di energia da fonti rinnovabili come di interesse pubblico prevalente. Ciò consente deroghe a vincoli ambientali, ma solo se sono effettuate valutazioni ambientali strategiche (VAS) o valutazioni di impatto ambientale (VIA). Gli Stati possono limitare l'applicazione di tali deroghe a specifiche aree o tecnologie, come previsto dal paragrafo 2 dello stesso articolo.

Il settore delle infrastrutture è interessato dall'articolo 9, che impone la rimozione delle barriere artificiali nei corsi d'acqua per ripristinare almeno 25.000 Km di fiumi a scorrimento libero entro il 2030. Le imprese che gestiscono dighe, sbarramenti o infrastrutture idrauliche dovranno adeguarsi a questi obblighi, con priorità alla rimozione delle strutture obsolete. Anche il settore della pesca è coinvolto. L'articolo 18 prevede che le misure di conservazione da adottare nell'ambito della politica comune della pesca (PCP) siano coordinate con i Piani nazionali di ripristino. Gli Stati membri devono avviare consultazioni con le imprese del settore per la definizione di raccomandazioni comuni.

Il regolamento, inoltre, introduce vincoli trasversali. L'articolo 4, paragrafi 11 e 12, e l'articolo 5, paragrafi 9 e 10, impongono il divieto di deterioramento delle aree già ripristinate o in buono stato. L'articolo 15 stabilisce che i piani nazionali di ripristino debbano includere valutazioni d'impatto socioeconomico, misure di compensazione e indicazioni sulle fonti di finanziamento. L'articolo 20 impone obblighi di monitoraggio, mentre l'articolo 21 disciplina la comunicazione periodica dei dati alla Commissione. Sono previste deroghe in caso di forza maggiore, trasformazioni inevitabili dovute ai cambiamenti climatici, progetti di interesse pubblico prevalente o azioni di

paesi terzi (articoli 4, paragrafi 14–16, e 5, paragrafi 11–13). L'articolo 6 consente ulteriori deroghe per impianti di energia rinnovabile, mentre l'articolo 7 introduce esenzioni per le attività militari. In conclusione, il Regolamento rappresenta un cambiamento strutturale nel rapporto tra attività economiche e tutela ambientale. Le imprese sono chiamate a contribuire attivamente al ripristino della natura, ma possono anche beneficiare di strumenti di sostegno e di nuove opportunità legate alla transizione ecologica. La corretta interpretazione e applicazione delle disposizioni regolamentari sarà fondamentale per garantire un equilibrio tra sviluppo economico e tutela degli ecosistemi.

9.2 La base giuridica, i destinatari del regolamento europeo, la sua attuazione

L'Unione europea non è un ordinamento a fini generali ma interviene solo sugli ambiti nei quali i Trattati gli riconoscono una specifica competenza. La politica ambientale dell'Unione europea si basa sull'articolo 191 del Trattato sul funzionamento dell'Unione europea (TFUE) e ha come obiettivo la salvaguardia, la tutela e il miglioramento della qualità dell'ambiente, nonché la protezione della salute umana. Inoltre, tale disposizione si riferisce all'uso accorto e razionale delle risorse naturali e la promozione sul piano internazionale di misure volte a fronteggiare problemi ambientali a livello regionale o mondiale, quali i cambiamenti climatici e la perdita della biodiversità. Tale politica si basa sui principi di precauzione e di azione preventiva, di correzione alla fonte e di «chi inquina paga».

Le azioni in settori della politica ambientale come l'inquinamento dell'aria e delle acque, la protezione e il ripristino della natura, la gestione dei rifiuti e i cambiamenti climatici sono sotto la giurisdizione dell'Unione europea. Tuttavia, il principio di sussidiarietà limita l'ambito dell'azione dell'Unione in materia di questioni fiscali, pianificazione spaziale e utilizzo del terreno, nonché nella gestione quantitativa delle risorse idriche.

Le politiche ambientali unionali sono strutturate in maniera tale da velocizzare la transizione verso un'economia sostenibile, innovativa e circolare, in cui la biodiversità è protetta, valorizzata e ripristinata, e i rischi sanitari connessi all'ambiente ridotti al minimo. Tali politiche mirano a rafforzare la resilienza dell'Unione e a svincolare la crescita dall'uso delle risorse.

Nella risoluzione del 1° marzo 2019, l'Assemblea generale delle Nazioni Unite ha proclamato il periodo 2021-2030 il decennio delle Nazioni Unite per il ripristino degli ecosistemi, con l'obiettivo di sostenere e intensificare gli sforzi per prevenire, fermare e invertire il degrado degli ecosistemi in tutto il mondo e sensibilizzare in merito all'importanza del ripristino degli ecosistemi. La strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030 mira a garantire che la biodiversità europea sia riportata sulla via della ripresa entro il 2030, nell'interesse delle persone, del pianeta, del clima e dell'economia. Stabilisce un ambizioso piano dell'UE di ripristino della natura corredato di una serie di impegni fondamentali, tra cui quello di presen-

tare una proposta di obiettivi di ripristino della natura nell'UE giuridicamente vincolanti al fine di ripristinare gli ecosistemi degradati, in particolare quelli potenzialmente più in grado di catturare e stoccare il carbonio nonché di prevenire e ridurre l'impatto delle catastrofi naturali.

Prima di esaminare la struttura del Regolamento europeo pare utile una precisazione rivolta in particolare ai non giuristi. I regolamenti europei sono le fonti del diritto sovranazionale self executing. Divengono vincolanti per Stati e soggetti dell'ordinamento senza bisogno di alcun atto nazionale di trasposizione (a differenza delle direttive). In altre parole, i regolamenti funzionano come una legge nazionale, anzi sono più forti perché in caso di contrasto prevalgono sulle disposizioni interne. Semplificando molto, con le direttive, l'UE si rivolge agli Stati chiedendo loro di adottare misure per il raggiungimento di obiettivi comuni, mentre con i regolamenti l'Unione costruisce direttamente parti comuni dell'ordinamento vincolanti per tutti. Il tratto caratteristico del regolamento sul ripristino della natura è che destinatari di obblighi e obiettivi sono gli Stati membri.

La formula prevalentemente usata dal regolamento è che gli Stati membri adottano misure efficaci e tempestive per il ripristino degli ecosistemi terrestri, costieri e di acqua dolce (art. 4), degli ecosistemi marini (art. 5), degli ecosistemi urbani (art. 8), della connettività naturale dei fiumi e delle funzioni naturali delle relative pianure alluvionali (art. 9), delle popolazioni di impollinatori (art. 10), degli ecosistemi agricoli (art. 11), degli ecosistemi forestali (art. 12), e per la messa a dimora di tre miliardi di nuovi alberi (art. 13). Ciascuno Stato membro prepara un piano nazionale di ripristino ed effettua il monitoraggio e le ricerche preliminari opportuni per individuare le misure necessarie per conseguire gli obiettivi di ripristino e adempiere gli obblighi e contribuire agli obiettivi dell'Unione, tenendo conto delle evidenze scientifiche più recenti.

La logica seguita dal regolamento è lo Stato membro come punto unico di contatto nonché centro di imputazione della responsabilità anche giuridica nell'osservanza del diritto sovranazionale. Come si evince intuitivamente dalla vastità dei campi di intervento nelle attività di ripristino, ad essere coinvolto è

l'intero sistema amministrativo nazionale. Le misure necessarie lambiscono le competenze di molteplici amministrazioni centrali e locali. Lo strumento per guidare la polisinodia amministrativa è il "piano nazionale" che va predisposto entro il 1° settembre 2026. Guardiamo poi ad un altro aspetto: il ripristino passa attraverso "obiettivi" e "obblighi". I primi si indirizzano al legislatore e all'amministrazione nazionale. I secondi tanto alle istituzioni quanto alle imprese e in generale ai cittadini. L'attuazione del regolamento di ripristino richiederà un intenso sforzo di elaborazione di strategie amministrative nonché l'adozione di molteplici misure normative interne per meglio declinare gli obblighi e trovare altri strumenti necessari al raggiungimento degli obiettivi che pur essendo tratteggiati in modo analitico nel regolamento non si traducono sempre in misure self executing.

9.3 Per un sistema nazionale di "crediti per il ripristino della biodiversità"

Alla luce degli obblighi imposti dal Regolamento UE sul ripristino della natura, si propone l'istituzione di un sistema nazionale di crediti di biodiversità, finalizzato a incentivare la partecipazione del settore privato al raggiungimento degli obiettivi di ripristino ecologico. Tale sistema si fonderebbe su un principio di misurabilità e certificazione degli interventi di ripristino effettuati da soggetti privati, in particolare imprese agricole, forestali, energetiche, immobiliari e infrastrutturali.

Il meccanismo proposto si ispira, nella sua logica di funzionamento, al mercato europeo dei diritti di emissione di anidride carbonica (EU ETS), che ha dimostrato come un sistema regolato di scambio di quote possa generare incentivi economici efficaci per la riduzione delle emissioni. Analogamente, un sistema di crediti di biodiversità potrebbe stimolare la realizzazione di interventi volontari di ripristino da parte delle imprese, valorizzando economicamente i benefici ambientali generati. Il funzionamento del sistema si articolerebbe attorno alla creazione di un registro nazionale, gestito da un'autorità competente, nel quale verrebbero accreditati gli interventi di ripristino realizzati su base volontaria da soggetti privati.

Ogni intervento, per essere riconosciuto, dovrebbe rispettare criteri tecnici e scientifici definiti a livello nazionale, coerenti con gli allegati del regolamento europeo e con i piani nazionali di ripristino. Una volta verificata la conformità dell'intervento, il soggetto promotore riceverebbe un numero di crediti proporzionale alla superficie ripristinata, alla qualità ecologica raggiunta e alla durata dell'impegno di conservazione.

I crediti così generati non avrebbero valore monetario diretto, ma potrebbero essere utilizzati in diversi contesti. In primo luogo, potrebbero essere impiegati per compensare impatti residui derivanti da progetti infrastrutturali o urbanistici, secondo il principio del "nonet loss" di biodiversità. In secondo luogo, potrebbero essere valorizzati nell'ambito della rendicontazione ESG (Environmental, Social and Governance) o integrati in strumenti di finanza sostenibile, come i green bond o i fondi di investimento a impatto ambientale. In terzo luogo, potrebbero essere scambiati su base volontaria tra imprese, in un mercato regolato, con l'obiettivo di favorire la cooperazione tra settori economici e la diffusione di buone pratiche. Il sistema dovrebbe essere accompagnato da un quadro normativo chiaro, che definisca le modalità di

accreditamento, monitoraggio, verifica e revoca dei crediti, nonché da un'infrastruttura digitale trasparente e accessibile. Sarebbe inoltre opportuno prevedere meccanismi di premialità fiscale o contributiva per le imprese che partecipano attivamente al sistema, al fine di stimolare la domanda e garantire la sostenibilità economica dell'iniziativa. Questa proposta si inserisce in una visione integrata della transizione ecologica, in cui la tutela della biodiversità non è più solo un vincolo normativo, ma diventa un'opportunità di innovazione, reputazione e competitività per il sistema produttivo. L'introduzione di un sistema di crediti di biodiversità rappresenterebbe un passo avanti verso la costruzione di un'economia rigenerativa, capace di coniugare crescita e resilienza ecologica, sulla scia del successo già dimostrato dal mercato europeo del carbonio.

9.4 NBFC e le azioni di sostegno per l'attuazione del ripristino della biodiversità

Come osservato in precedenza la chiave dalla prospettiva giuridica è che il Regolamento pone obiettivi e obblighi per gli Stati membri, i quali sono chiamati a redigere il "Piano nazionale di ripristino" (a proposito "ripristino" e non "restauro", leggendo dalla traduzione ufficiale dall'inglese) entro il 1° settembre del 2026. Si tratta di uno strumento che, dal lato pubblicitario, non può che essere "corale", incidendo su competenze di una pluralità di amministrazioni e livelli di governo, e, dalla prospettiva del coinvolgimento dei privati, non può che essere "inclusivo", nella misura in cui il mondo delle imprese deve necessariamente partecipare al conseguimento degli obiettivi.

Qui si vede una distinzione. Vi sono obiettivi settoriali come, ad esempio, in materia agricola. Lì è possibile la posizione di obblighi "di fare" o "di astenersi" per gli operatori economici di settore (le imprese agricole). Poi vi sono obiettivi necessariamente generali, come la messa a dimora di alberi per un numero davvero notevole. Qui, mutuando da altri campi della regolazione delle attività d'impresa, è possibile immaginare l'applicazione del criterio play or pay e, per far funzionare la seconda parte, il meccanismo

dei crediti per la biodiversità per tutte le imprese, di cui sopra, pare una soluzione particolarmente interessante. Tutto questo richiede un'intensa attività amministrativa e normativa rispetto alla quale NBFC potrebbe giocare un fondamentale ruolo di advocacy o di sostegno o assistenza tecnica, specie se nella posizione di mediazione tra il mondo della scienza, dell'impresa e delle istituzioni (Parlamento, governo, regioni, enti locali, ecc.).

A ciò si aggiungono ulteriori elementi di riflessione. In primo luogo, il successo del Piano nazionale di ripristino dipenderà anche dalla capacità di coinvolgere attivamente la cittadinanza e le comunità locali. La partecipazione pubblica, attraverso consultazioni, strumenti digitali di monitoraggio civico o processi deliberativi, può rafforzare la legittimità democratica delle scelte e favorire una maggiore consapevolezza ambientale. Anche in questo ambito, NBFC potrebbe svolgere un ruolo chiave nel promuovere e facilitare la partecipazione pubblica, grazie alla sua capacità di connettere ricerca scientifica e il grande pubblico attraverso le attività di comunicazione e divulgazione.

In secondo luogo, l'approccio "corale" richiede un solido coordinamento inter-istituzionale. In un contesto come quello italiano, caratterizzato da una distribuzione multilivello delle competenze ambientali, è essenziale prevedere meccanismi stabili di governance condivisa, come conferenze permanenti o cabine di regia, per garantire coerenza e tempestività nell'attuazione. NBFC, in quanto soggetto trasversale ed espressione della comunità scientifica, può contribuire a facilitare questo coordinamento, fungendo da piattaforma di dialogo tra i diversi livelli istituzionali. Infine, il Piano di ripristino dovrà essere accompagnato da un solido sistema di monitoraggio e valutazione, con indicatori chiari, rapporti trasparenti e meccanismi di revisione periodica, per garantire l'efficacia delle politiche e la loro adattabilità nel tempo. Anche su questo fronte, NBFC potrebbe offrire un contributo rilevante, mettendo a disposizione le competenze scientifiche, i dati e gli strumenti per supportare un monitoraggio rigoroso, tecnico e indipendente.

Bibliografia

- Anthony, M.A. et al. (2023). *Enumerating soil biodiversity*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 120, e2304663120.
- Ascenzi, A. et al. (2025). *Neglected predatory insects trigger potential Key Biodiversity Areas in threatened coastal habitats*. Biodiversity and Conservation.
- Blasi, C. et al. (2018). *A first revision of the Italian Ecoregion map*. Plant Biosystems, 152(6), 1201–1204.
- Bongiovanni, D. et al. (2025). *Impact of urbanization on antimicrobial resistance in soil microbial communities*. Sci Rep, 15, 633.
- Brauman, K.A. et al. (2020). *Global trends in nature's contributions to people*. PNAS, 117(51), 32799–32805.
- Bratman, G.N. et al. (2019). *Nature and mental health: An ecosystem service perspective*. PNAS, 116(47), 1152–1158.
- Bricca, A. et al. (2025). *Biodiversity within and beyond the native distribution of Pinus nigra forests in Europe*. Global Ecology & Biogeography, 34, e70036.
- Byun, K. et al. (2022). *Auditory and visual stimuli for recovery after stress: protocol for a randomized trial*. Front Psychol., 13, 897241.
- Cena, H., Labra, M. & NBFC Collaborator Group (2024). *Biodiversity and planetary health: a call for integrated action*. Lancet, 403(10440), 1985–1986.
- Chatzimontor, A. et al. (2020). *Green infrastructure research in Europe: Challenges and opportunities*. Landscape and Urban Planning, 198, 103775.
- Chiocchio, A. et al. (2024). *Conserving genetic diversity hotspots under climate change*. Biological Conservation, 299, 110991.
- De Marco, A. et al. (2019). *Impacts of air pollution on human and ecosystem health in Italy*. Environ Int., 125, 320–333.
- Delgado-Baquerizo, M. et al. (2018). *A global atlas of dominant bacteria in soil*. Science, 359(6373), 320–325.
- Delgado-Baquerizo, M. et al. (2021). *Homogenization of urban greenspace soil microbiomes*. Sci Adv, 7, eabg5809.
- Delgado-Baquerizo, M. et al. (2025). *Soil biodiversity and function under global change*. PLoS Biol., 23(3), e3003093.
- Donati, E. et al. (in press). *Bioprospecting of Mediterranean wild edible plants*. Scientific Reports.
- Engemann, K. et al. (2019). *Childhood green space and psychiatric disorders*. PNAS, 116(11), 5188–5193.
- Ercolano, C. et al. (2024). *Thermophilic PETase characterization*. Manuscript.
- European Commission (2020). *EU biodiversity strategy for 2030*. COM(2020) 380.
- European Economic Community (1992). *Council Directive 92/43/EEC on habitats*. OJ L 206.
- European Environment Agency (2020). *State of nature in the EU 2013–2018*. EEA Report No. 10/2020.
- Fiorentino, A. et al. (2025). *Carbon stock roles of plants and urban soils*. Plants, 14, 546.
- Fini, A. et al. (2024). *CO₂ assimilation by urban trees – corrigendum*. Sci Total Environ, 927, 172355.
- Gallo, G. et al. (2024). *The potential of thermophiles in industrial processes*. Int J Mol Sci, 25(14), 7685.
- Gentile, A. et al. (2024). *Antibiotic resistance in urban soils*. Environ Res, 263, 120120.
- Gichuru, V. et al. (2025). *Antioxidant and antimicrobial properties of Kenyan plants*. Sci Rep, 15(1), 1459.
- Giammona, A. et al. (2025). *miRNAs and chronic GI disorders*. Int J Mol Sci, 26(1), 413.
- Iacono, R. et al. (2020). *Spatial metagenomics of geothermal sites in Italy*. Molecules, 25(17), 4023.
- Iacono, R. et al. (2025). *GH31 α -glucosidase as model for glycogen storage disease II*. J Enzyme Inhib Med Chem, 40(1), 2468859.
- Inskeep, W.P. et al. (2013). *Microbial distribution in Yellowstone geothermal ecosystem*. Front Microbiol, 4, 67.
- ISPRA (2023). *Stato dei Piani dei Parchi Nazionali*. <https://www.isprambiente.gov.it>
- Lussu, M. et al. (2024). *Gap analysis of orchid conservation in Italy*. Biol Conserv, 289, 110385.
- Maestroni, L. et al. (2023). *Easy-MISE toolkit for engineering S. cerevisiae*. ACS Synth Biol, 12(5), 1508–1519.
- Masson, S. et al. (2025). *Geographic and taxonomic biases in urban soil microbiome research*. Environ Microbiome, 20, 17.
- Nania, D. et al. (2024). *Insects as indicators of Key Biodiversity Areas*. Insect Conserv Divers, 17(3), 464–473.
- Nishikimi, M. & Yagi, K. (1991). *Vitamin C biosynthesis deficiency in humans*. Am J Clin Nutr, 54(6 Suppl), 1203S–1208S.
- Senatore, V.G. et al. (2024). *Yeast biodiversity for glycolic acid production*. FEMS Yeast Res., foae024.
- Senatore, V.G. et al. (2025). *Challenges in ethylene glycol metabolism in S. cerevisiae*. FEMS Yeast Res., foaf006.
- Sharma, N. et al. (2025). *Extremophiles in hot springs*. Geomicrobiol J, 42(1), 40–52.
- Subramanian, S.M. & Payyappallimana, U. (2021). *Environment, biodiversity and planetary health*. In Kickbusch et al. (Eds.), Handbook of Global Health. Springer.
- Sun, X. et al. (2023). *Soil biodiversity for human health in cities*. npj Urban Sustain, 3, 1–8.
- Valle, B. et al. (2024). *Alpine springtails and snow ecology*. Rendiconti Lincei.
- Valle, B. et al. (2025). *Biodiversity of glacier fleas in European mountains*. J Zool Syst Evol Res.
- Ziemert, N. et al. (2016). *Evolution of genome mining in microbes*. Nat Prod Rep, 33(8), 988–1005.

