



WWF®

ITALIA



GUARDIANI DELLA NATURA
INDAGINI BIOACUSTICHE PER
UN'AGRICOLTURA SOSTENIBILE



Via Po, 25/c - 00198 Roma
tel. 06/844971 - www.wwf.it - email: wwf@wwf.it
© Copyright 2023 WWF Italia ETS; edizione novembre 2023

Testi: S. Scozzafava, A. Iemma
Revisione: M. Galaverni, F. Ferroni, D. Langer

Con contributi di: Susanna D'Antoni (Ispra), Federica Luoni e Laura Silva (Lipu),
Maria Grazia Mammuccini (Federbio)

RINGRAZIAMENTI

Questo progetto non sarebbe stato possibile senza il fondamentale contributo delle persone che stanno dietro al successo del Sistema Oasi: ai loro responsabili e ai volontari che hanno dedicato tempo e passione per condurre l'attività di campo. Si ringraziano quindi per l'insostituibile supporto: Adriano De Ascentiis, Andrea Longo, Bruno Maiolini, Claudio Giancaterino, David Belfiori, Federico Lori, Fernando di Fabrizio, Gianpasquale Chiatante, Giovanni Anibaldi, Guido Sardella, Marco Pietroni, Maurizio Marchese.

Questo lavoro è dedicato alla memoria di Gianni Pavan, il cui impegno instancabile e la passione per la bioacustica lo hanno reso possibile. La sua saggezza e il suo spirito collaborativo hanno lasciato dentro tutte e tutti un'impronta indelebile: sebbene non sia più fisicamente tra noi, l'eco del suo contributo risuona in ogni pagina di questo report. Con questo vogliamo onorare il suo lascito, continuando a perseguire la conoscenza con la stessa dedizione e curiosità che egli ha sempre dimostrato.

WWF ITALIA, NOVEMBRE 2023
ELABORAZIONE GRAFICA: ARIMASLAB

Insieme
per tutelare
la natura
italiana con
la tecnologia.



INDICE

ABSTRACT	2
PREMESSA	3
1. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO.	4
1.1 L'IMPEGNO WWF PER L'AMBIENTE RURALE: BIOLOGICO È MEGLIO!	4
1.2 BIOACUSTICA: LA TECNOLOGIA AL SERVIZIO DELLA BIODIVERSITÀ	6
1.3 LE OASI WWF IN ITALIA	8
2. IL PROGETTO “GUARDIANI DELLA NATURA”: INDAGINI BIOACUSTICHE PER UN'AGRICOLTURA SOSTENIBILE	9
2.1 LA METODOLOGIA	10
2.1.1. Procedura di campionamento	10
2.1.2 Specie target	11
2.1.3 Identificazione sonogrammi.	13
2.2 RISULTATI E DISCUSSIONE	15
2.2.1 Introduzione	15
2.2.2 Confronto fra siti gestiti in agricoltura biologica e in agricoltura convenzionale.	15
2.2.3 Validazione metodologica del censimento ornitologico automatizzato	23
3. PROBLEMATICHE E OPPORTUNITÀ	24
3.1 LIMITI INTRINSECI DELLA BIOACUSTICA	24
3.2 PROSPETTIVE FUTURE PER UNA INTEGRAZIONE DELLA BIOACUSTICA NEL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ	24
4. CONTRIBUTI ESTERNI	26
AGRICOLTURA E BIODIVERSITÀ, L'IMPORTANZA DEL MONITORAGGIO	27
IL CANTO DEGLI UCCELLI: UN INDICE DI SALUTE DELLE NOSTRE CAMPAGNE	28
L'AGRICOLTURA BIOLOGICA È LA CHIAVE PER ARRESTARE LA PERDITA DI BIODIVERSITÀ	29
BIBLIOGRAFIA E LINK UTILI	31



ABSTRACT

The “Nature Guardians” project, a collaboration between Huawei Italy and WWF Italy, with the technical support from Rainforest Connection (RFCx), has reached its second year. In this phase, the focus has been on exploring the applications of bioacoustics in monitoring farmland biodiversity, which is known to be in widely and continuing decline over the whole of Europe, due to unsustainable agricultural practices. The project aims to compare biodiversity in organic farming versus conventional farming across various cropping systems, spanning from the Alps to Sicily. Selected sites include apple orchards, vineyards, olive groves, citrus groves, forage and arable land.

48 Edge devices were deployed in eight WWF Oases: in each site, three devices were placed on organic farming fields, and three were placed in neighbouring farms with similar crops but managed in conventional agriculture. These small devices can be programmed to record automatically at predetermined intervals of time, repeatedly over the day or night. The recordings are stored on SD cards and manually downloaded.

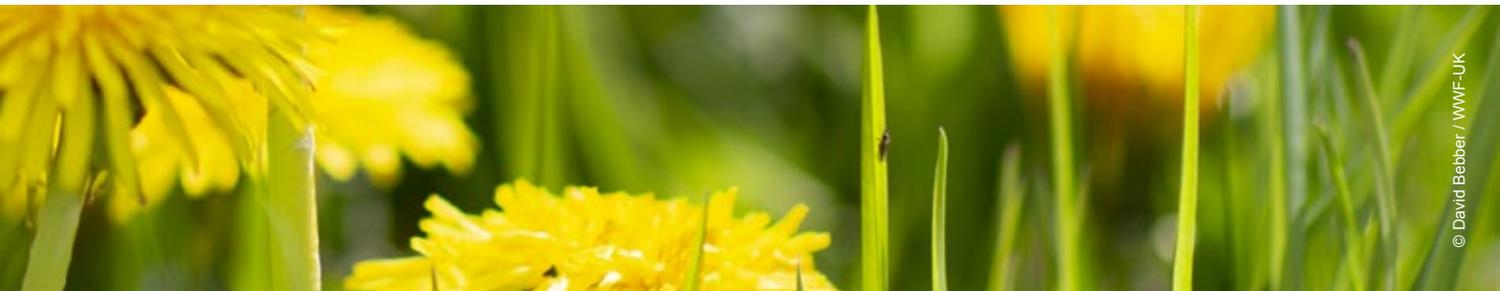
The devices were deployed by Oasis staff throughout spring and summer, and collected a total of over 500.000 audio files, that were uploaded onto RFCx’s cloud platform “Arbimon”. RFCx technical staff then trained an AI algorithm

to identify the calls of a selected list of bird species and validating it with the support of local experts from WWF. The algorithm successfully identified 57 target species.

The comparison between organic farming sites and conventional farming sites showed a significantly greater presence of bird species in organic farms than in conventional farms, and this is particularly striking as the sites were just a few kilometres apart. Not only the number of species is greater, but also the number of identifications, thus implying a greater activity or presence in these sites that confirm to be more suitable for wildlife than conventional farms.

The study showed the feasibility of automated bird monitoring and the applicability to other species with vocal emissions such as amphibians and certain insects, but it also highlighted the need of further analysis to improve the reliability of such tools.

Presently, bioacoustics confirms to offer interesting insights into ecosystem dynamics in farmland; AI applied to bioacoustics is a powerful tool if combined with expert guidance in monitoring design and data analysis, that can expand and increase the accuracy of consolidated monitoring techniques. Further studies may increase its reliability and accuracy, and open new fields of application.



© David Beber / WWF-UK

PREMESSA

L'agricoltura, sebbene rivesta un ruolo cruciale nella società, è anche la principale minaccia per la biodiversità nel nostro paese, uno dei più ricchi d'Europa in termini di flora e fauna. In questo contesto, il WWF Italia si impegna attivamente a promuovere un cambiamento delle pratiche agricole secondo i principi dell'agroecologia, una disciplina nata nel secolo scorso per riunire e conciliare i principi della scienza ecologica con quelli della scienza agronomica. È opportuno evidenziare che agronomia ed ecologia sono due discipline distinte ma non necessariamente contrastanti, benché alcune attività agricole possano danneggiare gli ecosistemi. È possibile conciliare efficacemente i principi di entrambe, per creare sistemi agricoli non solo pienamente produttivi per le esigenze umane, ma anche ospitali per la biodiversità. Il WWF promuove l'agroecologia come riferimento per una riforma dei sistemi agroalimentari, e in questo riconosce l'agricoltura biologica come uno dei modelli produttivi più avanzati e caratterizzati da buone pratiche agronomiche per una agricoltura amica della natura. Il WWF Italia promuove la transizione dell'agricoltura verso una maggiore sostenibilità attraverso tre principi guida. Il primo riguarda la protezione e l'espansione delle aree naturali, fondamentali per la biodiversità nelle zone agricole.

Il secondo principio promuove la riduzione dell'uso di input chimici in agricoltura. Il terzo si focalizza sulla tutela del suolo e dei cicli dei nutrienti. L'applicazione sistematica di questi tre principi da parte di tutte le aziende agricole consente di definire percorsi di transizione verso un'agricoltura più sostenibile.

Anche a livello internazionale, il WWF sostiene il principio di "coltivare con la biodiversità", sostenendo la diffusione su ampia scala di una agricoltura "positiva per la natura", che sia da un lato efficiente nell'uso del suolo ma senza divenire dannosa per la biodiversità. Attualmente, l'agricoltura biologica è il miglior esempio di sistema agricolo rispettoso dell'ambiente. Il recente rapporto ISPRA 330/2020, riferito ad uno studio comparativo

sulla biodiversità presente in aziende agricole biologiche rispetto ad analoghe aziende condotte in regime convenzionale, ha confermato la maggiore biodiversità ospitata nelle aziende biologiche, grazie all'eliminazione di prodotti chimici di sintesi e al limitato utilizzo di prodotti fitosanitari di origine naturale. La promozione dell'agricoltura biologica è quindi tutt'altro che ideologica, ma sostanziata da evidenze scientifiche solide, che esortano eventualmente ad accentuare l'allineamento delle pratiche agricole sempre più verso i principi dell'agroecologia. Il progetto **"Guardiani della Natura - Indagini Bioacustiche per un'Agricoltura Sostenibile"** si inserisce in questa visione e applica il potenziale della tecnologia digitale al monitoraggio della biodiversità negli ambienti agricoli in Italia, per contribuire così, in ultima analisi, alla sua salvaguardia.

Il progetto, sviluppatosi nel corso del 2023, aveva come obiettivo quello di utilizzare la bioacustica, la scienza che ascolta i suoni della Natura, per mettere a confronto la biodiversità nelle aree agricole gestite con metodo biologico, e quella presente in aree agricole limitrofe gestite con metodi convenzionali, in alcune delle Oasi WWF. L'iniziativa ha previsto, infatti, l'utilizzo di dispositivi per la registrazione continua dei suoni in campo, e di piattaforme basate su Cloud e Intelligenza Artificiale (IA) per il riconoscimento automatico delle specie, e ha consentito di mettere a disposizione degli studiosi una notevole quantità di dati, maggiore, per estensione e durata delle misurazioni, rispetto a quanto si ricava ordinariamente dalle tecniche di monitoraggio basate sull'intervento diretto umano di ascolto.

Questo progetto è stato realizzato in collaborazione con Huawei Italia, la sede italiana dell'azienda leader globale per la fornitura di soluzioni di Information and Communication Technology (ICT) tra cui infrastrutture di rete, IT, dispositivi intelligenti e servizi cloud, con il supporto tecnico di Rainforest Connection (RFCx), startup tecnologica californiana senza scopo di lucro.

1. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO

1.1 L'IMPEGNO WWF PER L'AMBIENTE RURALE: BIOLOGICO È MEGLIO!

L'agricoltura è la prima causa di perdita di biodiversità in Europa. La produzione di cibo e altri beni, infatti, entra in diretta competizione con la conservazione della natura in due modi principali: la conversione degli ecosistemi naturali, e le modalità di conduzione delle pratiche produttive, che possono essere più o meno intensive e perturbative dell'ambiente. Nel primo caso, ci riferiamo alla diretta conversione di habitat naturali in terreno agricolo, ad esempio con la bonifica di aree paludose o il disboscamento diretto. Questa modalità al giorno d'oggi è relativamente marginale in Europa, laddove l'agricoltura è una tipologia di uso del suolo ampiamente diffusa da millenni di presenza umana continuativa sul territorio, a differenza di altre parti del mondo dove l'espansione agricola avviene tuttora direttamente a scapito di ecosistemi primari come foreste, savane, aree umide, ecc.

In Europa, attualmente la maggior parte delle attività agricole avviene su terreni già destinati a tale attività da decenni o secoli, con continuità. Il paesaggio rurale occupa estensioni molto ampie nel nostro continente. Ciò implica che di fatto, esiste un elevato numero di specie vegetali ed animali perfettamente adattate all'ambiente rurale "tradizionale", caratterizzato da elevata eterogeneità spaziale e temporale, ed anzi come vedremo sono proprio queste specie ad essere attualmente a rischio. Non dobbiamo tuttavia dimenticare che esistono anche in Europa situazioni di conflitto diretto fra natura e agricoltura, ad esempio laddove l'attività agricola ha semplificato gli agroecosistemi eliminando infrastrutture verdi che caratterizzano il paesaggio rurale tradizionale.

In molte aree di fatto si è passati da un sistema di sussistenza ad un sistema produttivo di tipo industriale, che ha potuto sostenere una transizione sociale con marcata urbanizzazione e aumento del tenore di vita generale.

Ciò ha comportato per l'ambiente rurale una profonda trasformazione con la distruzione o la severa compromissione di una serie di elementi del paesaggio naturale, come le siepi, i filari, la consociazione di colture diverse, le rotazioni pluriennali, la concimazione organica, con ripercussioni ambientali severe. Il declino della biodiversità legato a tale trasformazione è avvenuto in modo meno evidente, ma i suoi effetti disfunzionali sono ormai sotto gli occhi di tutti: pensiamo alla drastica riduzione di numerose specie animali, incluso il declino in massa degli insetti volatori (un esempio prosaico è che fino a pochi decenni fa, pulire il parabrezza dagli insetti durante i lunghi viaggi in auto era comune, ora basta una passata di tergicristallo); o il declino degli impollinatori, di cui la moria delle api, ormai ben nota a tutti, è solo la punta dell'iceberg. Anche il suolo ha sofferto di una grave riduzione del contenuto di sostanza organica, con conseguente minor capacità di ritenzione idrica, maggior rischio di erosione e perdita di fertilità; e non dimentichiamo le falde acquifere, depauperate e contaminate da sostanze che percolano diffusamente dai terreni e restano accumulate nelle acque, fino a renderle a volte inadatte all'uso potabile. La natura ha quindi pagato un prezzo molto elevato affinché la nostra società potesse garantire la possibilità di un riscatto sociale alle popolazioni rurali, sicuramente un tempo più esposte alla miseria e alla marginalizzazione. Senza quindi rimpiangere retoricamente l'agricoltura preindustriale, dobbiamo però prendere atto dell'insostenibilità dell'attuale modello produttivo, per rivolgerci a sistemi più allineati con le esigenze di mantenimento delle necessarie funzionalità ecologiche, funzionalità che nessuna tecnologia o artificio chimico può sostituire. Ripristinare il contenuto di carbonio nel suolo, facilitare la ricarica delle falde acquifere proteggendole dalla contaminazione, e proteggere la rimanente biodiversità rurale, sono priorità non solo per l'ambiente ma anche per la salute e la sicurezza umana.

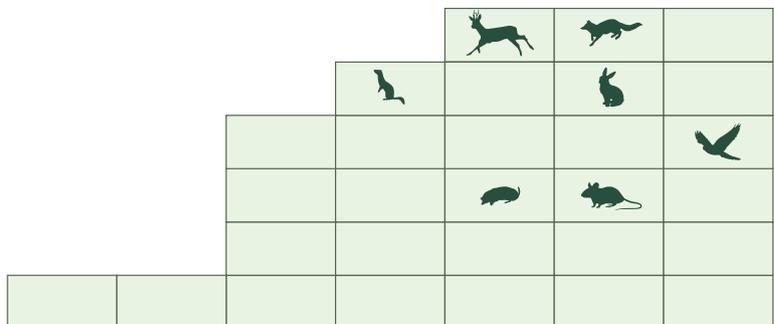
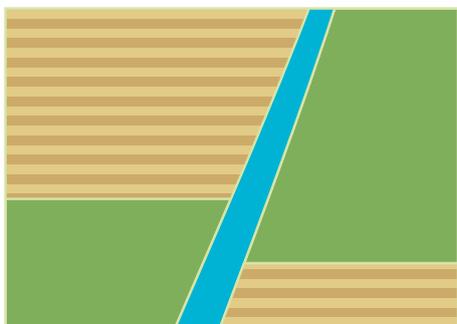
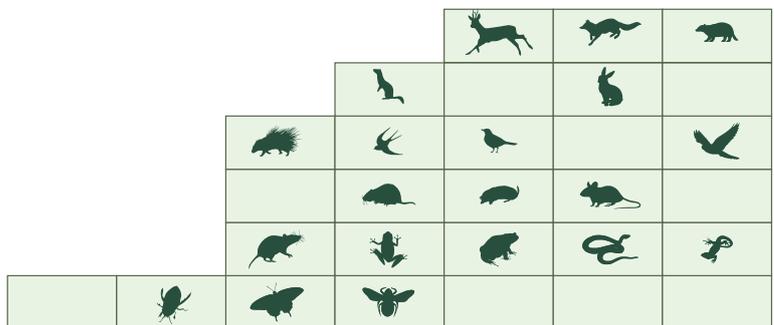
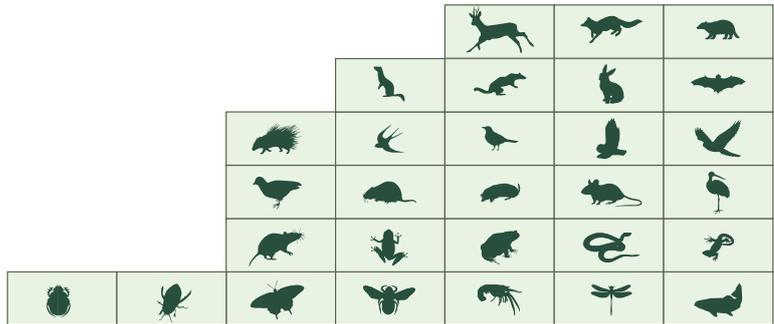


Fig. 1 - Un paesaggio rurale caratterizzato da consociazioni agricole diverse, siepi ed alberi, offre una varietà di ambienti adatti alla vita di un gran numero di specie animali. Man mano che l'agricoltura viene spinta verso una produzione ottimizzata secondo criteri unicamente agronomici ed economici, gli elementi naturali e la diversità strutturale vengono visti come un ostacolo e rimossi, determinando un calo drammatico delle specie presenti. All'estremo di questo processo, sopravvivono solo poche specie, molto adattabili e quindi molto comuni, mentre si perdono le specie di maggior valore conservazionistico. Le modalità di conduzione dell'attività agricola sono quindi estremamente importanti nel determinare se l'agricoltura sia o meno una minaccia diretta per la biodiversità. Dal secondo dopoguerra in poi abbiamo assistito infatti a una rapida intensificazione delle pratiche agricole precedenti (quelle che prima abbiamo associato ai paesaggi rurali "tradizionali"), con diffusione massiccia della meccanizzazione e dell'impiego di sostanze chimiche di sintesi, principalmente pesticidi e fertilizzanti. Il risultato è stato un vertiginoso aumento della produttività agricola, attraverso la standardizzazione delle produzioni, una semplificazione della struttura del paesaggio tradizionale e una generalizzata riduzione dei livelli di biodiversità.

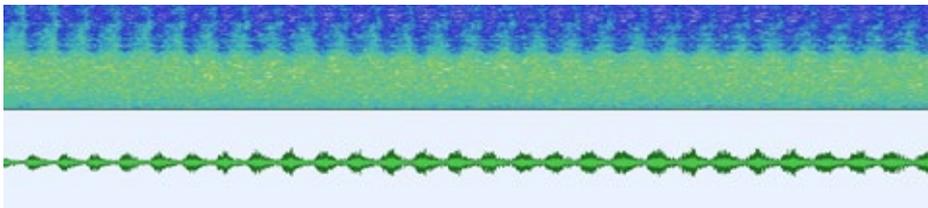


Fig. 2 - spettro delle frequenze e forma d'onda di un tipico canto di una cicala rivelano rispettivamente la ricca gamma di frequenze e l'intensità di emissione sonora - WWF IT

1.2 BIOACUSTICA: LA TECNOLOGIA AL SERVIZIO DELLA BIODIVERSITÀ

Bioacustica è una disciplina che nasce dall'incontro dell'acustica con la biologia, e consiste nello studio dei suoni emessi da organismi viventi. Sappiamo che molti organismi emettono suoni per comunicare fra loro, come gli uccelli canori, o anche per percepire ed interpretare lo spazio intorno a sé, come i pipistrelli. bioacustico "punti d'ascolto", che è stata negli anni messa a punto nella forma di protocolli estremamente rigorosi ed affidabili, come ad esempio il "Farmland Bird Index" (FBI), un indice di biodiversità basato sulla raccolta di dati di presenza e assenza di numerose specie di uccelli più o meno comuni in ambito rurale, e riconosciuto dall'Agenzia Europea per l'Ambiente nonché utilizzato nel monitoraggio ambientale della Politica Agricola Comune. Proprio grazie al costante e sistematico rilevamento di questo indice, per il quale abbiamo una serie completa di dati dal 2000, è oggi possibile avere informazioni aggiornate e allarmanti sulla costante perdita di biodiversità nelle aree agricole, dovuta sia all'intensificazione delle pratiche agricole che all'abbandono di zone agricole meno produttive, economicamente più deboli ma ancora ricche di biodiversità. Il rilevamento del FBI, che si svolge su scala regionale e nazionale con una

maglia chilometrica adeguata a tale scala (10 km x 10 km), evidenzia anche la necessità di effettuare studi più capillari per comprendere meglio le dinamiche ecologiche locali alla base dei declini evidenziati, nonché di aumentare gli sforzi per raccogliere ulteriori dati su alcune specie più elusive o rare, per cui ancora sussistono problematiche di carenza di dati. Le moderne tecnologie per la rilevazione del suono e la raccolta automatizzata di una gran quantità di registrazioni, e ancor più i recenti sviluppi nell'informatica, come l'Intelligenza Artificiale (IA), consentono di effettuare analisi molto più complesse di quanto è attualmente possibile attraverso il rilevamento diretto da parte di ornitologi esperti. Oggi è possibile disporre di dispositivi miniaturizzati che riescono a registrare in modalità continua o programmata ore e ore di rilievi sonori con l'autonomia di una batteria e una scheda dati, o con il supporto di pannelli solari e una scheda per la trasmissione dati in tempo reale. Le applicazioni possibili sono veramente numerose, dalla sorveglianza remota, calibrata su suoni specificamente associati ad attività illecite, al monitoraggio di specie elusive di cui sarebbe difficile catturare le emissioni sonore.

La disponibilità di software sempre più sofisticati per l'analisi dei sonogrammi – termine che indica le rappresentazioni grafiche del suono che consentono di distinguere le diverse frequenze che compongono una singola emissione sonora – consente ora

di riconoscere molte specie in modo automatico su decine di migliaia di registrazioni ambientali, arrivando a una automazione nella rilevazione della presenza/assenza. I progressi in questo ambito sono continui, sia da un punto di vista scientifico che tecnologico. In ambito naturalistico, la ricerca esplora con interesse le nuove vie rese possibili dagli avanzamenti della tecnologia, e questa trae spunto per l'innovazione dalle possibilità di applicazione in ambito naturalistico: in questo campo una delle più recenti acquisizioni è data dall'applicazione dell'Intelligenza Artificiale per il riconoscimento automatico delle specie in suoni e immagini.

L'intelligenza artificiale è rapidamente divenuta un pilastro fondamentale nella moderna ricerca scientifica: quest'ultima ha dimostrato una capacità straordinaria di analizzare e classificare enormi quantità di dati, in questo caso registrazioni audio, con una precisione e in un lasso di tempo che sarebbe impensabile per gli esseri umani. Ma al di là della pura efficienza, il vero valore dell'IA risiede nella sua capacità di collaborare con la mente umana, liberando i ricercatori da compiti ripetitivi e permettendo loro di concentrarsi su sfaccettature più profonde della ricerca. L'IA, con le sue analisi, fornisce una base solida su cui i ricercatori possono costru-

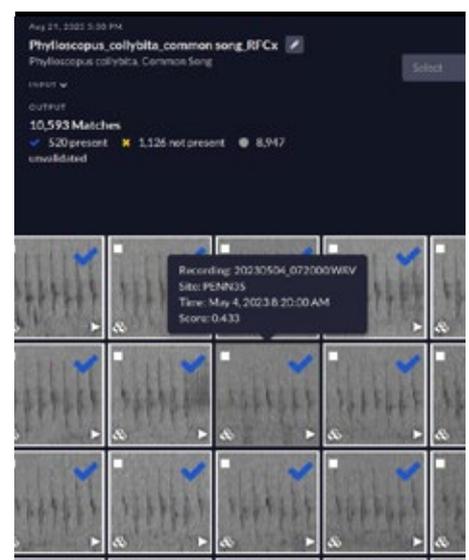


Fig. 3 - Algoritmi avanzati di classificazione dei sonogrammi semplificano e velocizzano il lavoro del ricercatore di campo

1.3 LE OASI WWF IN ITALIA

Nel 1967, il WWF Italia, appena costituito, compì un atto rivoluzionario: l'acquisizione dei diritti di caccia delle terre circostanti il Lago di Burano. Nacque così la prima Oasi WWF e con essa lo spirito dell'associazione: quello di realizzare azioni concrete accanto alla costante innovazione culturale. Ad oggi, le Oasi superano il numero di 100, coprendo complessivamente più di 30.000 ettari di territorio lungo tutta la Penisola e le Isole e rappresentano il primo sistema di aree protette a gestione privata in Italia e uno dei più estesi in Europa. I tre obiettivi principali delle Oasi sono quello di conservazione e ripristino della natura, educazione e sensibilizzazione, e dimostrazione di modalità di fruizione e produzione sostenibili.

Cresciute in parallelo con l'Associazione stessa, le Oasi hanno guadagnato un ruolo sempre più centrale nella conservazione in Italia. Da semplici aree naturalistiche, sono diventate il cuore pulsante di iniziative di protezione ambientale e della sensibilizzazione pubblica del WWF. Questi luoghi, spesso minacciati dalla crescita urbana e delle infrastrutture, localmente hanno anche giocato un ruolo cruciale nella lotta

contro la cementificazione. Si sono dimostrate fondamentali per la preservazione degli habitat in pericolo, comprese le preziose zone umide, le foreste e le aree costiere. Inoltre, sono diventate un baluardo nella difesa delle specie vegetali e animali rare o minacciate.

Queste aree, anche grazie all'aiuto di tantissimi volontari, rappresentano un esempio concreto di sviluppo territoriale sostenibile e di sensibilizzazione alla bellezza e all'importanza della Natura. Nel corso del tempo, infatti, sono diventate anche veri e propri centri di educazione e sensibilizzazione, invitando il pubblico a esplorare la natura attraverso innovativi programmi di educazione ambientale e hanno anche svolto un ruolo chiave nella promozione della ricerca scientifica, fornendo un terreno fertile per studi e monitoraggi sulla biodiversità.

Alcune di esse sono aree protette formalmente riconosciute (Aree Marine Protette, Riserve Naturali Statali o Regionali, Siti Natura 2000, Zone Ramsar, Monumenti Naturali), altre si basano prevalentemente su standard volontari (es. le Oasi affiliate, create e gestite dai rispettivi proprietari privati), pertanto le regole di gestione e fruizione possono cambiare in base all'inquadramento di ciascuna area. Inoltre, alcune

contribuiscono in maniera completa a tutti e tre gli obiettivi strategici, altre sono più focalizzate su uno di essi (es. Oasi Conservazione, primariamente vocate ad azioni di tutela e ripristino ambientale; Oasi Didattiche e Oasi Urbane, prevalentemente orientate all'educazione e alla sensibilizzazione; Oasi affiliate, esempi di come si possano conciliare esigenze private e di produzione sostenibile con quelle della natura).

Ad oggi le Oasi WWF costituiscono una rete di aree territoriali caratterizzate da una diversità di ambienti sorprendente. Possiamo identificarne principalmente cinque tipologie di habitat: oasi fluviali, marine, boschive, lacustri e urbane, ognuna ospitante una variegata popolazione di specie di fauna e flora. In alcune di queste, si svolgono anche attività agricole, improntate all'agricoltura biologica o in transizione, con l'obiettivo di armonizzare la produzione con la tutela dell'ambiente rurale. Nonostante le dimensioni relative di ciascuna Oasi, esse fungono, in effetti, da rifugi per la biodiversità rurale. Nelle sezioni successive, raccontando il progetto *Guardiani della Natura – Indagini bioacustiche per un'Agricoltura Sostenibile*, andremo a esplorare la relazione tra le Oasi WWF e la biodiversità rurale con l'innovativo approccio della bioacustica.

2. IL PROGETTO

“GUARDIANI DELLA NATURA”: INDAGINI BIOACUSTICHE PER UN’AGRICOLTURA SOSTENIBILE



Insieme
per tutelare
la natura
italiana con
la tecnologia.



Il progetto “Nature Guardians”, è nato cinque anni fa dall’iniziativa congiunta di Huawei e dell’organizzazione no-profit Rainforest Connection (RFCx) e si inserisce nell’ambito di TECH4ALL, il programma globale di Huawei che pone la tecnologia al servizio dell’ambiente e delle persone con numerosi progetti portati avanti in tutto il mondo insieme a partner locali e internazionali con l’obiettivo di promuovere la conservazione della natura e l’inclusione digitale.

Dal 2018 a oggi, “Nature Guardians” ha contribuito, con soluzioni tecnologiche innovative basate sulla bioacustica, a proteggere foreste, ecosistemi terrestri e marini e le loro specie animali in ben 32 Paesi in tutto il mondo, tra cui Grecia, Irlanda, Regno Unito, Austria, Cile, Ecuador e Malesia. Approdato e sviluppatosi in Italia a partire dal 2021 grazie alla collaborazione con il WWF Italia, la prima edizione del progetto “Guardiani della Natura” ha avuto il duplice obiettivo di utilizzare la tecnologia per svolgere monitoraggi della biodiversità e per identificare attività illegali a danno della natura in alcune Oasi WWF.

Abbiamo visto sinora quanto l’agricoltura odierna danneggi la biodiversità, e che vi è una esigenza di rafforzare gli sforzi di monitoraggio per comprendere in dettaglio questo fenomeno e sostenere la diffusione di un’agricoltura amica della Natura, come quella praticata all’interno delle Oasi WWF. In questo contesto nasce, grazie alla collaborazione di Huawei Italia, il progetto WWF “Guardiani della Natura – Indagini Bioacustiche per un’Agricoltura Sostenibile”. L’iniziativa, che ha avuto la durata di circa un anno, ha previsto l’utilizzo dei dispositivi Rainforest Connection (RFCx) di monitoraggio bioacustico e di una piattaforma basata su Cloud e AI per la registrazione continua dei suoni all’interno di alcune aziende biologiche presenti nelle Oasi WWF rispetto ad altrettante aziende agricole condotte in modo convenzionale, allo scopo di raccogliere dati utili a valutare la relazione tra le diverse pratiche agricole e la conservazione della biodiversità rurale.

Il progetto mira a:

1. verificare le relazioni tra le diverse pratiche agricole e la conservazione della biodiversità, confrontando le aree condotte con metodi dell’agricoltura biologica e aree con agricoltura convenzionale;
2. valutare l’efficacia di metodi di ricerca innovativi basati sulla bioacustica per il monitoraggio di numerose specie animali presenti negli ambienti agricoli, andando così ad integrare i metodi di indagine tradizionali con una mole di dati continui senza precedenti.

In sintesi, con questo progetto il WWF vuole contribuire a promuovere una transizione ecologica dell’agricoltura, proteggere la biodiversità e sfruttare l’IA per migliorare la ricerca scientifica e il monitoraggio ambientale.

2.1 LA METODOLOGIA

Sono state selezionate otto Oasi, distribuite lungo tutta la Penisola, dove fosse possibile individuare coppie di aziende agricole con stessa qualità di coltura ma di diversi orientamenti produttivi, una in biologico e una in convenzionale, scegliendo l'azienda in convenzionale direttamente all'interno dell'Oasi quando disponibile oppure in un raggio massimo di 10 km dall'Oasi stessa. Le Oasi coinvolte sono state dunque:

- Valle dello Sporeggio
- Bosco di Vanzago
- Ghirardi
- Ripa Bianca
- Calanchi di Atri
- Lago di Penne
- Monte Sant'Elia
- Lago Preola e Gorgi Tondi

In Tabella, un riepilogo della caratterizzazione delle differenti tipologie ambientali rappresentate nel campione. In tutte le Oasi il paesaggio rurale, anche negli immediati dintorni, è comunque variegato, "a mosaico", comprendendo un insieme di appezzamenti più o meno piccoli di differenti tipologie colturali, un mix importante per garantire sufficienti risorse ad una varietà di specie animali e vegetali.



Fig. 5 - Localizzazione delle otto Oasi nel territorio italiano

Nome dell'Oasi	Localizzazione	Altitudine	Tipologia agricola
Valle dello Sporeggio	Nord (Trentino)	montagna (circa 900 m)	colture arboree (meli)
Bosco di Vanzago	Nord (Lombardia)	pianura (circa 100 m)	seminativi
Ghirardi	Nord (Emilia-Romagna)	montagna (circa 600 m)	prati e pascoli
Ripa Bianca	Centro (Marche)	pianura (circa 50 m)	seminativi
Calanchi di Atri	Centro (Abruzzo)	collina (circa 400 m)	vigneti
Lago di Penne	Centro (Abruzzo)	collina (circa 300 m)	oliveti
Monte Sant'Elia	Sud (Puglia)	collina (circa 400 m)	seminativi
Lago Preola e Gorgi Tondi	Sud (Sicilia)	pianura (circa 50 m)	agrumeti

2.1.1. Procedura di campionamento

La raccolta dati è avvenuta attraverso dei particolari dispositivi di registrazione forniti da RFCx: si tratta degli "Edge", sensori acustici a basso costo basati sulla gamma di processori Gecko di Silicon Labs. Gli Edge sono in grado di ascoltare sia le frequenze udibili dall'orecchio umano, sia oltre, fino alle frequenze ultrasoniche. Questi dispositivi sono stati equipaggiati con pacchi batteria da 3000 mAh, una scheda microSD da 64GB e sono stati inseriti così dotati, prima dell'installazione sul campo, in una custodia protettiva impermeabile. I dispositivi sono

stati settati per attivarsi con registrazioni in continuo di 60 secondi, intervallate da periodi di pausa di 240 secondi (4 minuti), in due finestre di attivazione giornaliere, dalle 4 alle 11 di mattina e dalle 18 alle 22 la sera, con leggere variazioni a seconda dell'Oasi, per ottimizzare la possibilità di rilevare specie tipiche di una certa area e il consumo di batteria. Ogni dispositivo è stato lasciato attivo in campo per almeno 20 giorni (sessione), con una certa variabilità nel tempo intercorso fino al recupero, dipendente dalle condizioni meteo, dalla disponibilità dei gestori delle Oasi e dalla durata della batteria: proprio per i limiti di quest'ultima rispetto ai settaggi utilizzati,



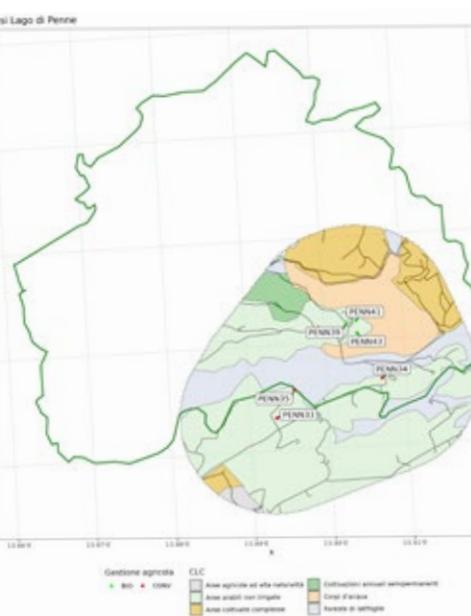
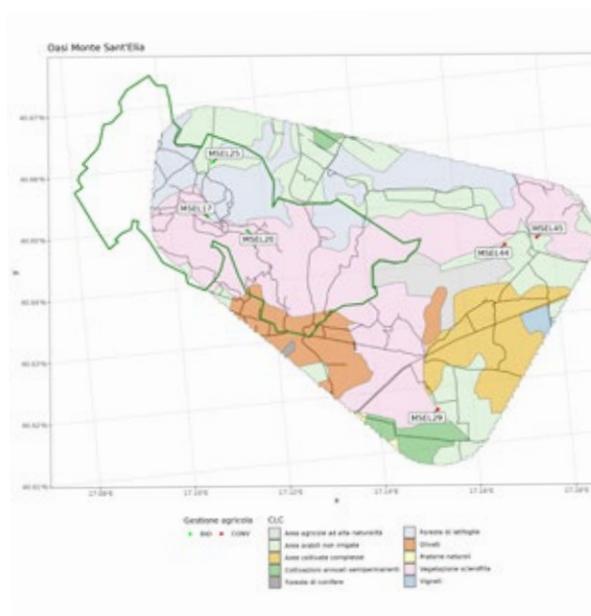
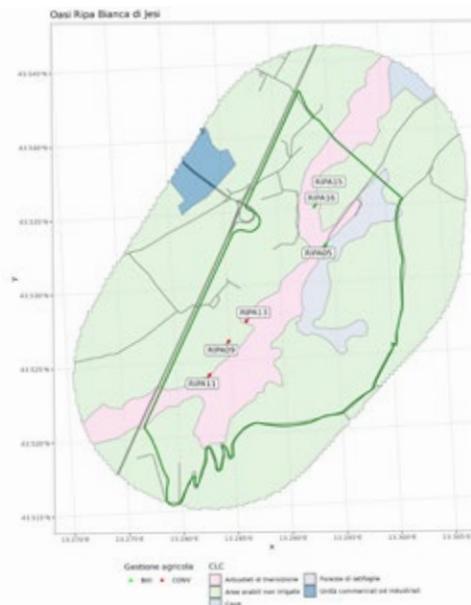
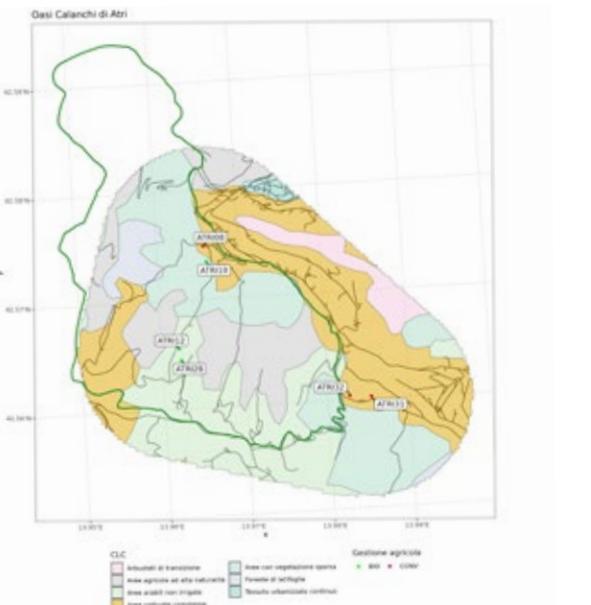
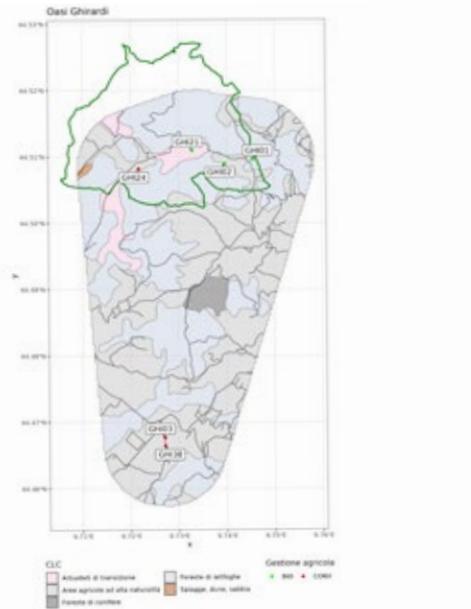
Fig. 6 - Dispositivo di registrazione pronto per il deployment sul campo. Si distinguono in verde la circuiteria del dispositivo stesso e in blu il pacco batteria, protetti da un contenitore ermetico resistente all'acqua - RFCx

nessun dispositivo si è dimostrato in grado di registrare per più di 25 giorni consecutivi. Alla fine di ogni sessione i dispositivi sono stati recuperati, le schede sostituite con altre vuote, e le batterie ricaricate; nel frattempo i dati memorizzati nelle schede SD sono stati trasferiti ad un database centrale per poi essere definitivamente stoccati sulla piattaforma Arbimon su un progetto appositamente creato. Gli Edge, dopo la ricarica delle batterie, sono stati nuovamente posizionati in campo per un successivo ciclo di registrazione, cercando quanto più possibile di minimizzare il tempo trascorso tra due installazioni. In ogni Oasi abbiamo scelto di effettuare il monitoraggio acustico in sei punti di campionamento: tre all'interno di aziende agricole gestite con metodo convenzionale e tre gestite con metodo biologico, distanziati l'uno dall'altro di almeno duecento metri, che abbiamo ritenuto in base alla letteratura disponibile fosse sufficiente ad evitare di captare esattamente lo stesso "evento audio" in due diversi dispositivi.

2.1.2 Specie target

Le specie sulle quali ci siamo focalizzati per il riconoscimento sono quelle di avifauna, con un particolare riferimento a quelle contenute nel Farmland Bird Index (FBI): abbiamo scelto di considerare la presenza di uccelli in quanto specie particolarmente indicatrici della naturalità del paesaggio rurale, nonché facilmente registrabili dai dispositivi. Questi ultimi ovviamente non discriminano in base alla specie, ma registrano tutto ciò che sono in grado di udire: di conseguenza le specie registrate sono potenzialmente molte di più di quelle sulle quali ci siamo focalizzati: ad esempio, non di rado abbiamo notato entro i sonogrammi suoni caratteristici di anfibi ed insetti. Per questi ultimi non è stato purtroppo possibile procedere a ulteriori passaggi di identificazione automatizzata, che tuttavia potranno venire effettuati in un prossimo futuro rimanendo le registrazioni disponibili per ulteriori, future analisi.





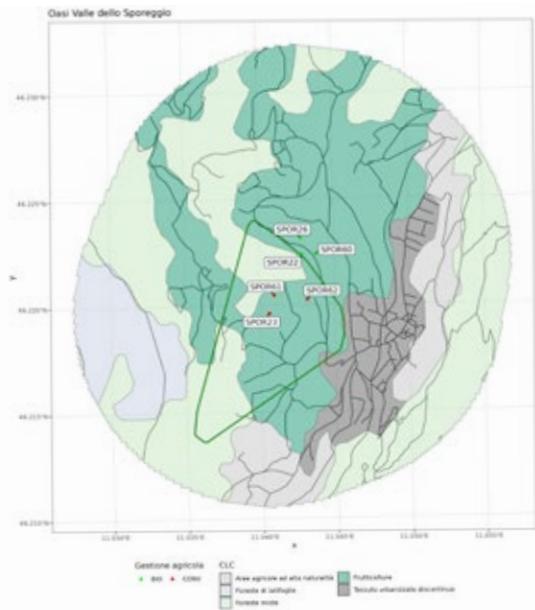


Fig. 7 - Confini delle Oasi WWF interessate dal progetto, con evidenziati i siti di monitoraggio in biologico e convenzionale e come sfondo l'uso del suolo secondo la classificazione CORINE Land Cover del 2018 (EU Copernicus) - WWF IT

2.1.3 Identificazione sonogrammi

Caricate le registrazioni dai 48 siti di campionamento nella piattaforma Arbimon per le analisi e lo sviluppo di modelli, il team RFCx ha incluso le registrazioni di 72 ulteriori siti provenienti dalla prima edizione del progetto con WWF Italia in modo da irrobustire il modello. La metodologia per lo sviluppo dell'algoritmo di intelligenza artificiale è descritta in LeBien *et al.*, e prevede la creazione di un modello di classificazione regionale delle specie. È stato implementato un modello di IA detto "Rete Neurale Convolutionale" (CNN - Convolutional Neural Network) in grado di classificare le specie utilizzando le immagini dei vari sonogrammi. Il team di RFCx ha elaborato un sistema automatizzato per riconoscere specifici suoni di animali con il supporto di utenti della piattaforma Arbimon. Questo sistema si avvale di due strumenti: uno, chiamato Pattern Matching (PM), aiuta gli utenti a trovare suoni simili a un esempio dato (es. la vocalizzazione di una data specie) in un insieme di registrazioni audio.

Gli utenti stessi possono poi confermare se i suoni trovati dallo strumento PM corrispondono effettivamente al suono emesso dall'animale cercato (veri positivi), oppure no (falsi positivi). Queste validazioni o invalidazioni sono usate per allenare un modello di IA a riconoscere quei suoni. In aggiunta al PM, viene usato un altro strumento analitico, detto "Negative Pattern Matching" (NPM): come il nome suggerisce, serve a raccogliere ulteriori suoni che

non corrispondono alla vocalizzazione dell'animale in questione, al fine di insegnare al modello a non confondere altri suoni con quelli dell'animale che si vuole riconoscere, riducendo così il numero di falsi positivi. Questo passaggio è importante perché consente al modello di discriminare una vasta gamma di rumori di fondo evitando errori di classificazione.

Grazie alla collaborazione fra il team RFCx ed esperti WWF locali, sono state analizzate ed etichettate un certo numero di registrazioni identificando con certezza alcuni sonogrammi riferiti a specie target.

I ricercatori hanno usato le registrazioni confermate per creare un certo numero di brevi segmenti audio etichettati correttamente, da usare come set da addestramento, tenendone da parte il 20% come set di verifica del modello. È infatti importante che il modello venga validato su dati che non sono stati utilizzati per la sua costruzione. Entrambi i set di addestramento e validazione comprendevano sia esempi positivi che negativi, per ogni specie, e sono stati bilanciati in modo che ogni specie avesse lo stesso peso sul risultato finale. A questo punto sono state effettuate diverse iterazioni di test, effettuando gli opportuni aggiustamenti, come aggiungendo rumori di fondo o selezionando solo alcune frequenze, per ottenere risultati sempre più affidabili. L'affidabilità complessiva è stata misurata utilizzando diverse metodologie che tenessero conto delle diverse specie, e del tasso di falsi positivi e falsi negativi, nonché la precisione media.

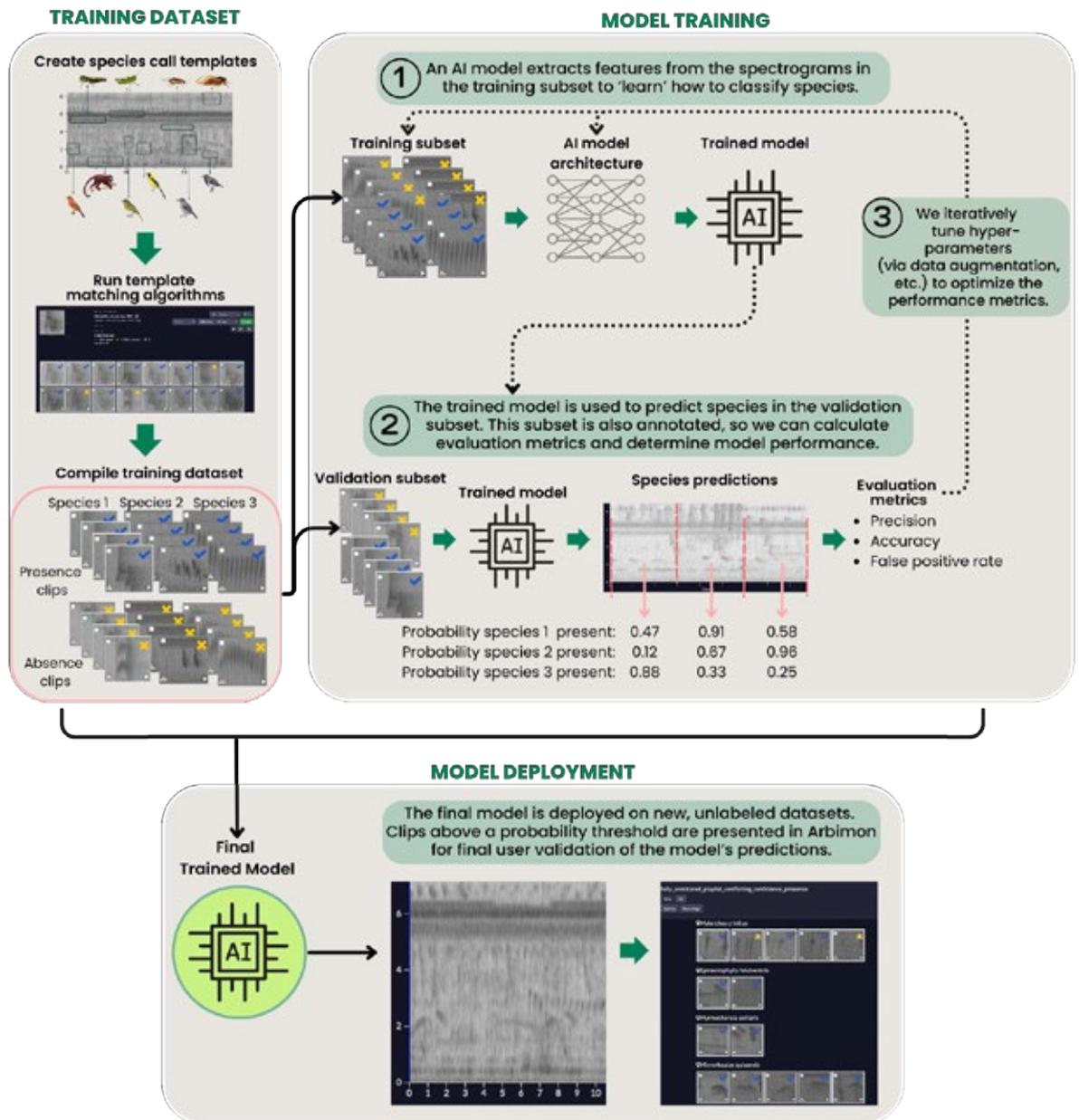


Fig. 8 - Rappresentazione degli step necessari per l'addestramento dell'algoritmo di IA utile alla classificazione dei sonogrammi -RFCx. Un primo dataset viene utilizzato per l'addestramento dell'AI ("Training dataset"), che dapprima impara a "leggere" le immagini dei sonogrammi e poi viene corretta, iterativamente (passaggi 1 - 3), finché la sua capacità di riconoscimento avviene con uno scarto considerato sufficiente. A questo punto il modello addestrato viene applicato al dataset da analizzare, che non è stato usato nella fase di training ("model deployment")

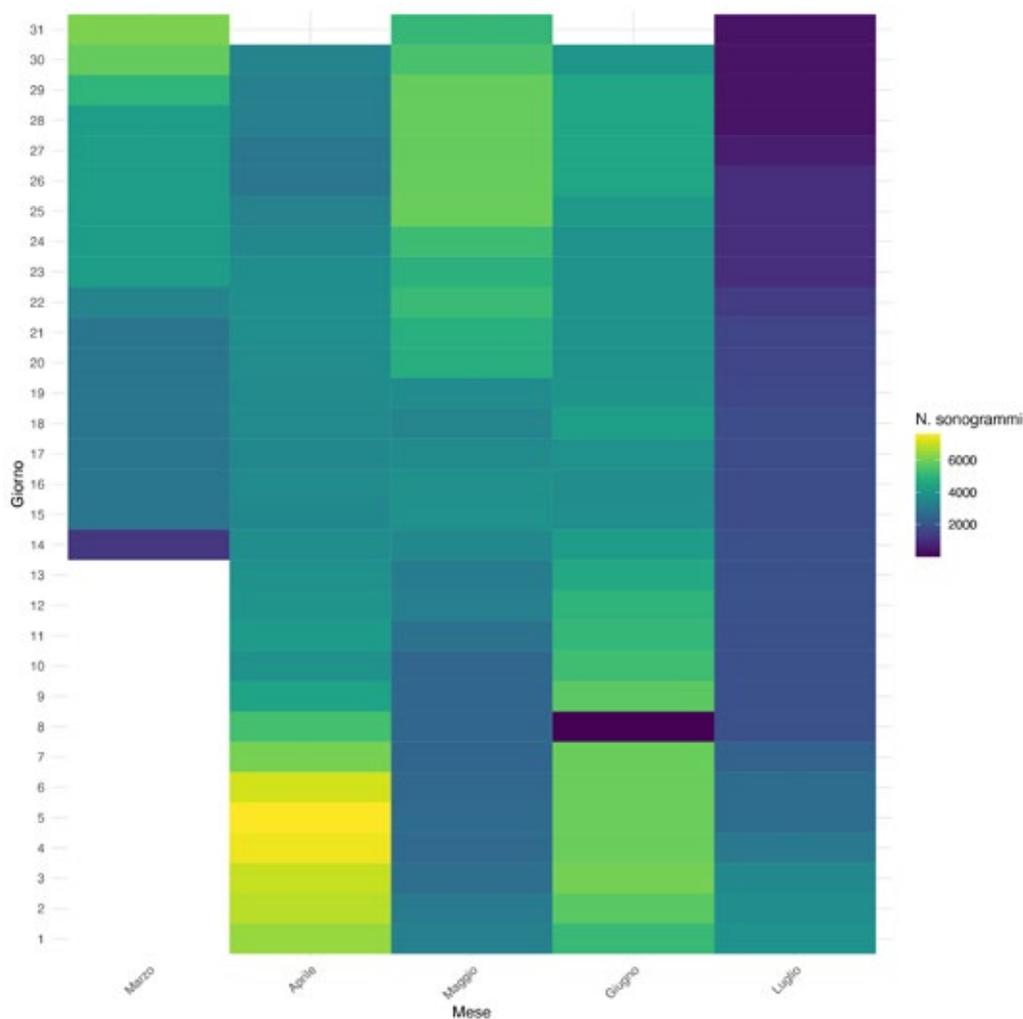


Fig. 9 - Numero di registrazioni giornaliere per tutti i siti, lungo tutto il periodo di campionamento - WWF IT

2.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

2.2.1 Introduzione

Tutte le Oasi hanno completato almeno quattro cicli di registrazione, raccogliendo dati in un periodo compreso tra marzo e luglio, totalizzando circa 500.000 registrazioni di 60 secondi cadauna: se tutte queste fossero collegate in un'unica lunga registrazione, andrebbero a formare un file audio di 347 giorni!

Nel complesso l'algoritmo di IA impiegato ha permesso di riconoscere all'interno del set di dati 57 specie delle 63 target: 6 di queste ultime purtroppo non hanno raggiunto entro i sonogrammi registrati un numero sufficiente di identificazioni per poter essere adeguatamente validate. Delle specie riconosciute sono state esplicitamente validate e riconosciute 8420 tracce, che costituiscono quindi il nostro campione di studio.

2.2.2 Confronto fra siti gestiti in agricoltura biologica e in agricoltura convenzionale

I dati di presenza di avifauna sono stati suddivisi in due gruppi, uno relativo ai siti in agricoltura biologica, l'altro relativo ai siti in agricoltura convenzionale, ed è stato messo a confronto il numero di specie presenti complessivamente nei due gruppi, lungo tutto l'arco del periodo di campionamento.

Mediamente, nei siti gestiti con metodo biologico si sono rilevate l'8,5% di specie in più rispetto ai siti gestiti con metodo convenzionale: i risultati emersi delineano quindi un quadro chiaro dell'impatto benefico che l'agricoltura biologica ha sulla biodiversità. Il numero di specie rilevato nei siti gestiti con pratiche biologiche non solo è mediamente più elevato, ma si mantiene costantemente più elevato per tutto il periodo di studio. Ciò significa che,

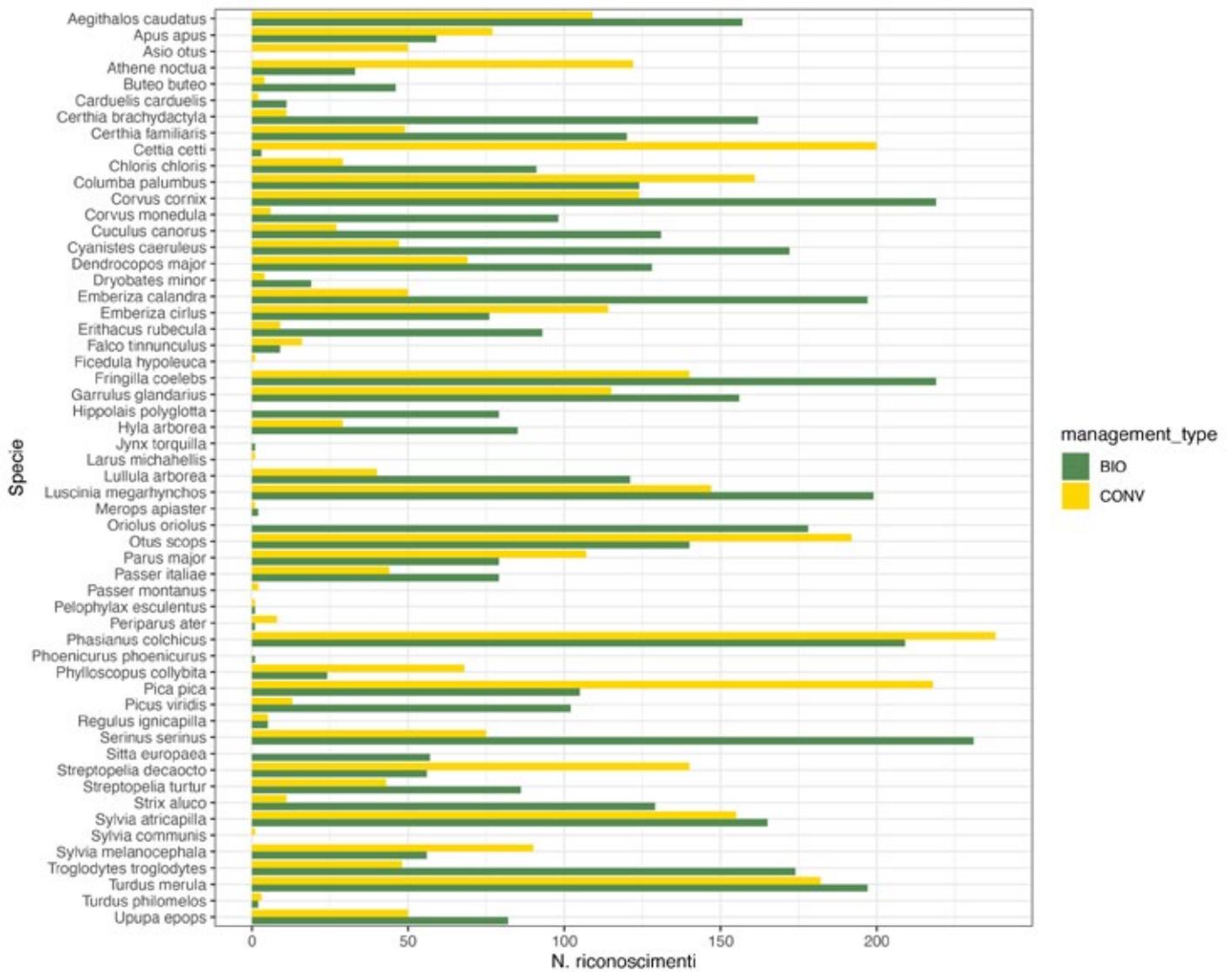


Fig.10 - Raffronto fra numero di riconoscimenti effettuati dal modello di IA in siti con gestione convenzionale (gialli) e biologica (verde) NOTA: una stessa specie è stata riconosciuta al più una sola volta in un singolo sonogramma, anche nel caso in cui il canto fosse ripetuto entro la medesima registrazione - WWF IT

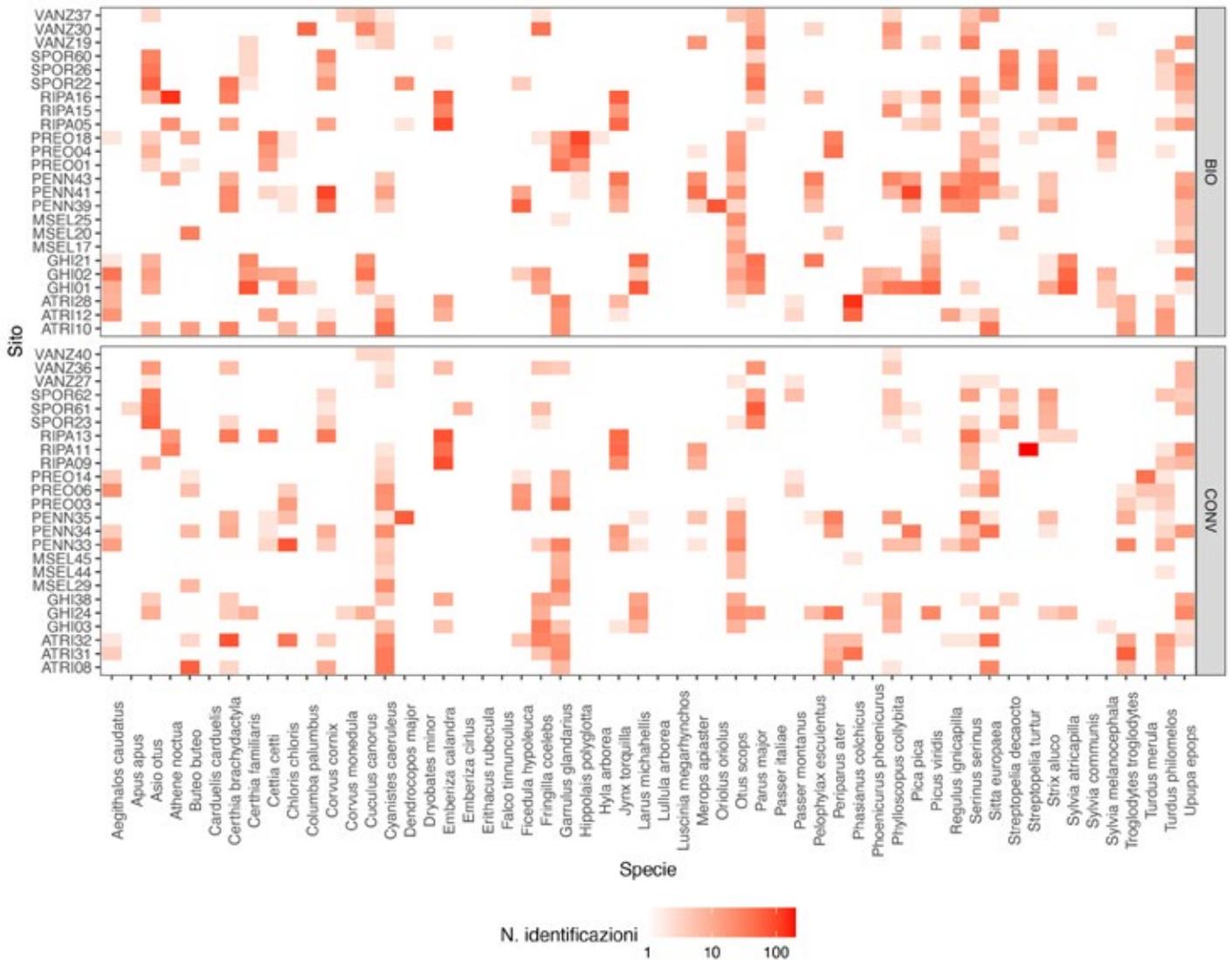


Fig. 11 - Lungo l'asse verticale, i siti di campionamento, distinti per Oasi e per tipologia agricola (siti in biologico e siti in convenzionale). Lungo l'asse orizzontale, le specie oggetto di indagine. L'intensità del colore delle caselle indica per ogni specie per ogni sito. Siti di differente tipologia ambientale hanno diverse associazioni di specie, mentre le specie più generaliste sono presenti con analoga frequenza in tutti i siti - WWF IT

indipendentemente dal momento specifico in cui le registrazioni sono state effettuate, sia al sorgere del sole che a notte avanzata, l'ambiente coltivato biologicamente è caratterizzato da una presenza più ricca e variegata di vita animale. Questa maggiore presenza e persistenza di biodiversità suggerisce che l'agricoltura biologica contribuisce a creare un habitat più stabile e accogliente per un'ampia varietà di specie. Oltre alla diversità in termini di numero di specie, si è osservata anche una

maggiore numerosità delle presenze (maggiore numero di identificazioni nei sonogrammi) nei siti in regime biologico. Gli animali potrebbero essere più numerosi, ma anche semplicemente più attivi o forse meno disturbati, permettendo così una loro maggiore osservazione e registrazione. Questo potrebbe indicare che gli habitat forniti dall'agricoltura biologica sono percepiti dagli animali come ambienti più sicuri o più ricchi di risorse, favorendo la massima espressione dei comportamenti naturali.

Questo effetto è visibile anche in specie generaliste, come il verdone, un passeriforme granivoro a diffusione piuttosto ampia, ma che sta subendo come molte altre specie simili un marcato decremento su tutto il territorio nazionale. In Figura 15 si evidenzia come, cumulativamente, i siti gestiti con agricoltura biologica abbiano un numero di identificazioni più elevato rispetto a quelli in agricoltura convenzionale, indicando una maggior presenza ed una maggiore attività canora (lega-



Fig. 12 - L'agricoltura gestita con metodo convenzionale è spesso associata a paesaggi tendenzialmente banalizzati, poveri di diversità di elementi strutturali (es. siepi, filari, diversità di colture, ecc.) e quindi di nicchie ecologiche in grado di ospitare una ricca biodiversità - DALL'E 3

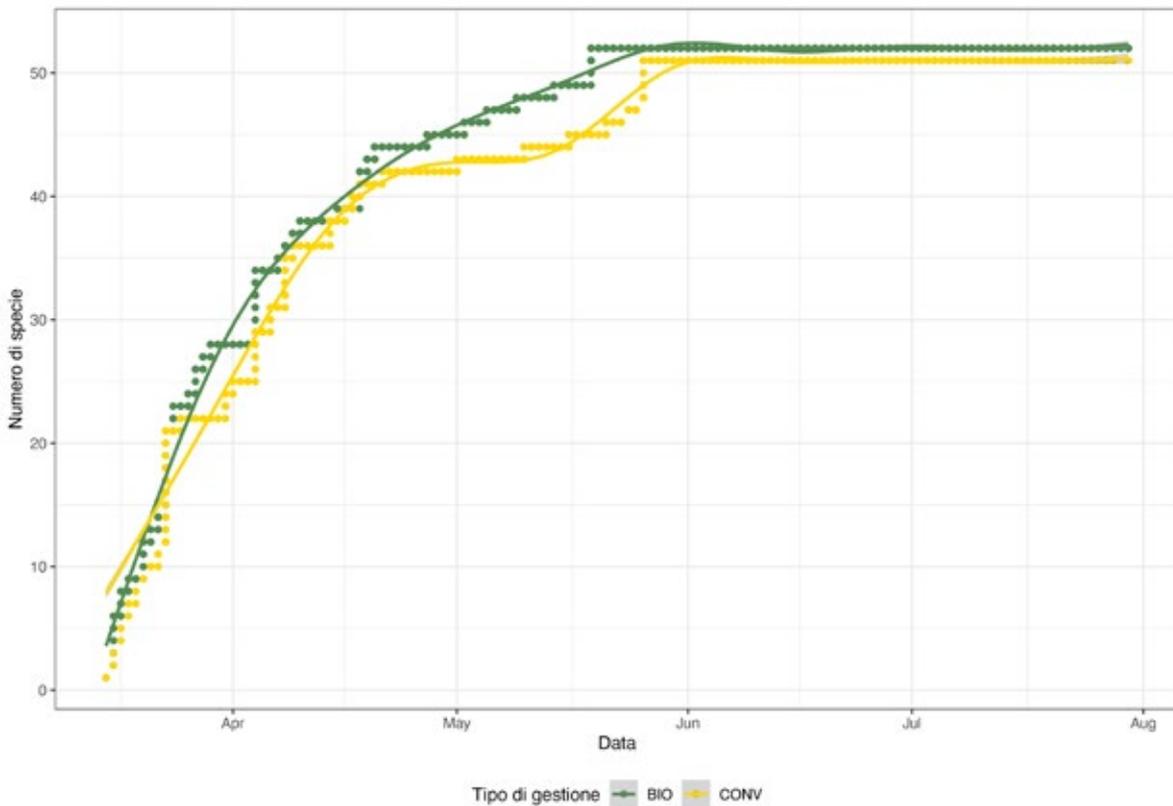


Fig. 13 - numero di specie rilevate giornalmente nell'indagine, in tutti i siti. Il grafico è organizzato in una curva di accumulazione di specie, dove ad ogni giorno viene contato il numero cumulativo di specie identificate fino a quel particolare momento. I siti gestiti in regime di agricoltura biologica hanno un numero di specie stabilmente superiore ai siti gestiti in modo convenzionale, e il rilevamento in tali ambienti raggiunge un numero maggiore di specie in modo più rapido, indicando un possibile effetto di attrazione delle specie verso tali ambienti. RFCx, WWF IT

Numero di identificazioni nel tempo per il verdone

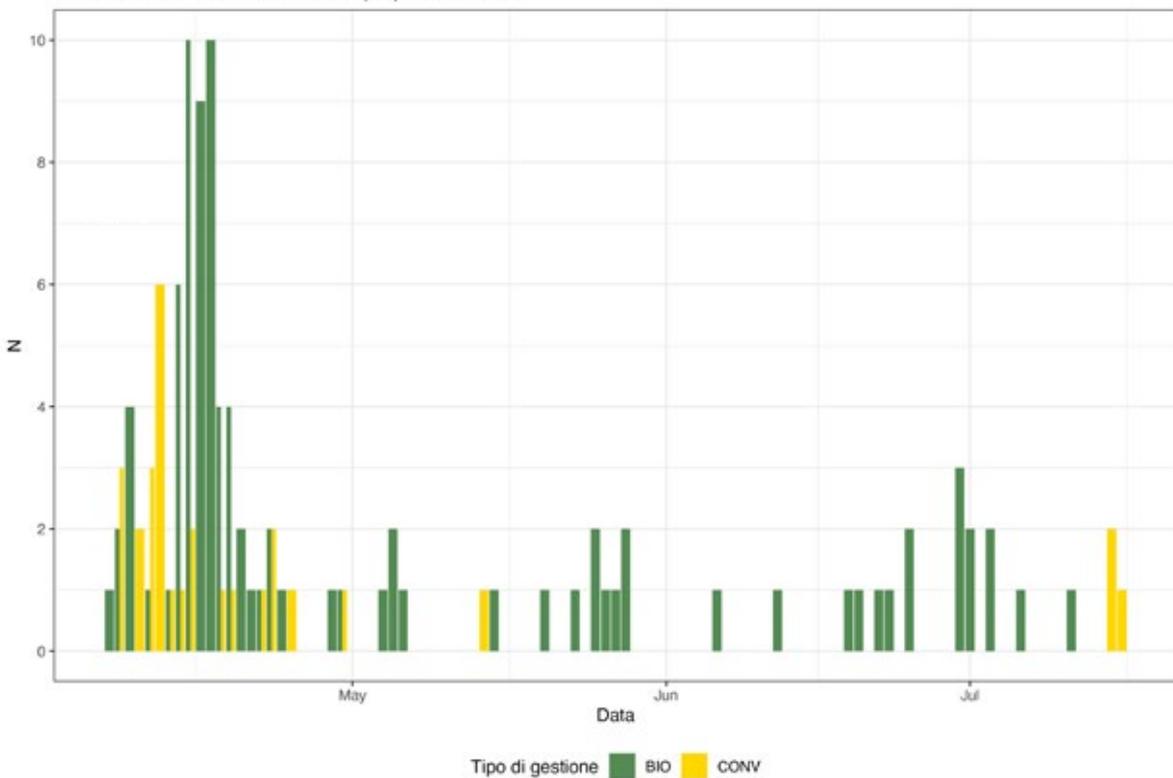


Fig. 14 - numero di identificazioni di verdone nel tempo, con suddivisione per siti gestiti in biologico e in convenzionale. I primi si dimostrano più "ospitali" per questa specie

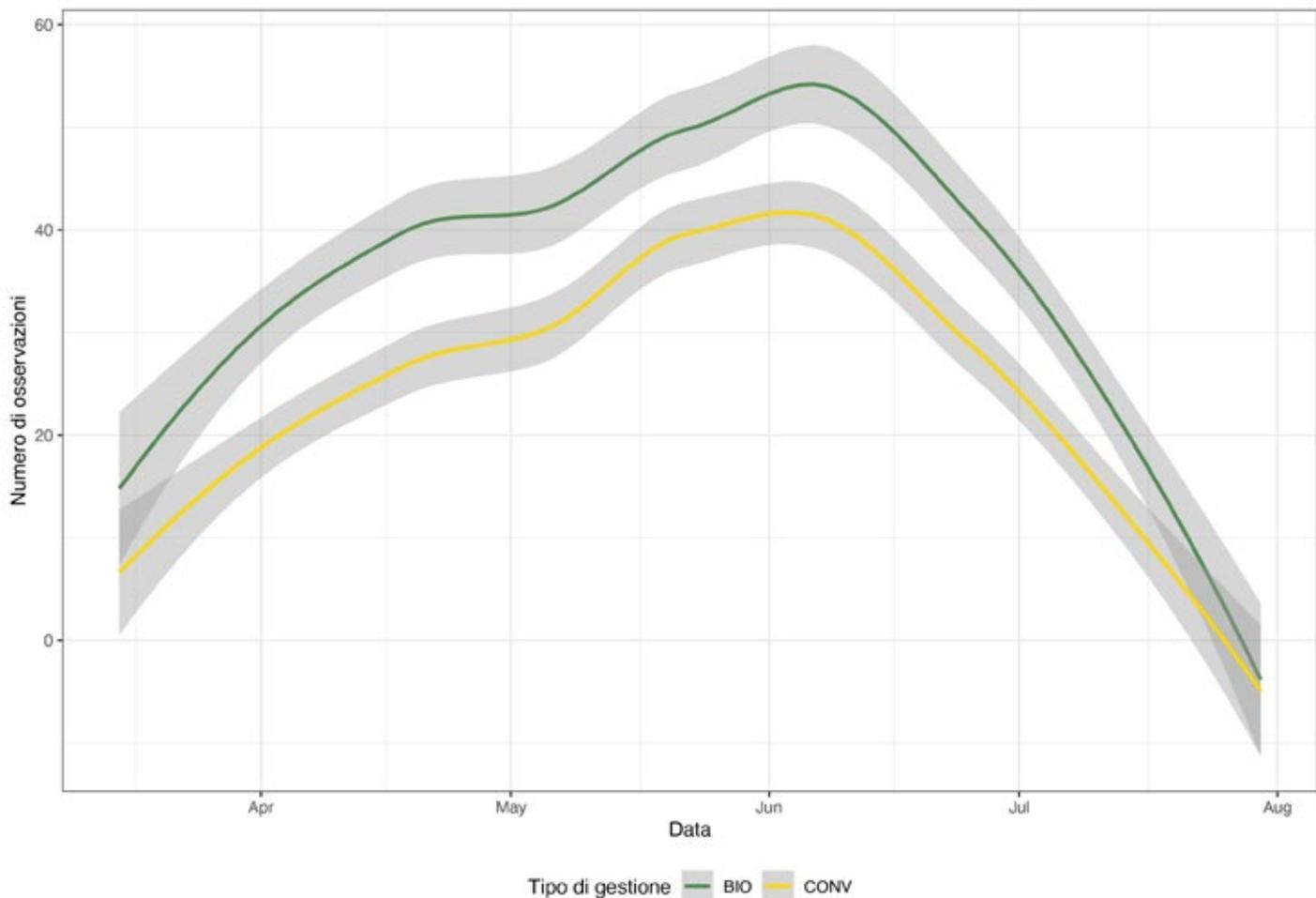


Fig. 15 - numero di osservazioni rilevate per ogni sito. I siti con gestione biologica hanno stabilmente identificazioni più numerose rispetto ai siti in regime agricolo convenzionale, dimostrandosi in ogni momento più "attivi" dal punto di vista ornitologico. RFCx, WWF IT

ta alla nidificazione) nei primi rispetto ai secondi, lungo tutto l'ampio periodo di monitoraggio.

Questi risultati confermano il fatto che l'agricoltura biologica ha un effetto benefico sul paesaggio rurale, rendendolo più idoneo alla vita animale, e rappresentando una strategia ad ampio spettro per la promozione di un ecosistema sano, dove la biodiversità può prosperare. L'agricoltura biologica si afferma quindi non solo come una scelta etica o ambientale, ma come una componente essenziale in un sistema di gestione della terra "rigenerativo", che cerca di mantenere e potenziare la biodiversità, fondamentale per la salute a lungo termine del nostro pianeta.

Più in generale, è evidente l'essenziale ruolo delle pratiche agricole sostenibili nell'ottica di proteggere la salute

dell'ecosistema rurale, ossia la capacità di ospitare una biodiversità fiorente. Il dettaglio che emerge, ossia la presenza di un maggior numero di specie in quasi ogni giorno di registrazione nei campi coltivati biologicamente, e la maggior numerosità e attività animale, mette in risalto come queste aree possano funzionare come rifugi vitali per molte forme di vita, specie in un contesto in cui la biodiversità è sempre più a rischio a causa di pratiche agricole intensive e non sostenibili.

La constatazione che, all'interno del nostro campione di tipologie e di localizzazioni geografiche così variegate, ogni sito gestito in agricoltura biologica ha mostrato una maggiore diversità di specie rispetto alle controparti in agricoltura convenzionale evidenzia l'importanza univer-

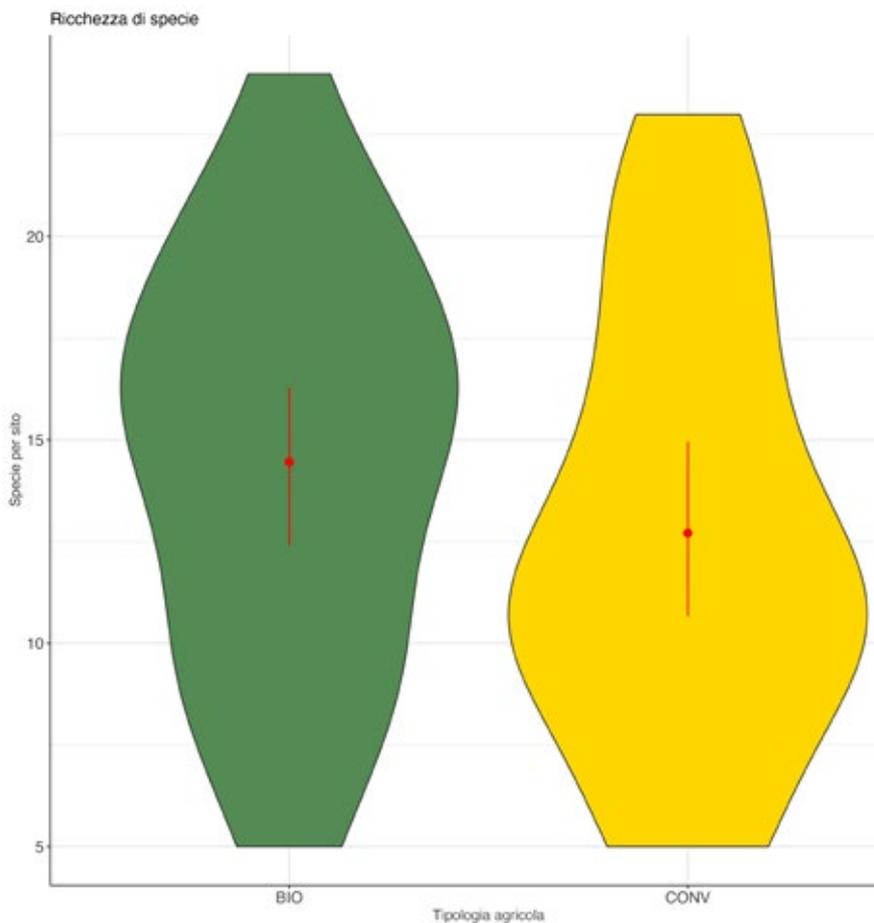


Fig. 16 - comparazione del numero di specie rilevate nei siti a seconda della tipologia agricola, attraverso la rappresentazione del cosiddetto "grafico a violino". La larghezza dei grafici indica il numero di siti nei quali si è rilevato il particolare numero di specie indicato, e mostra come in regime di agricoltura biologica siano più diffusi i siti con un numero più elevato di specie, mentre in agricoltura convenzionale sono predominanti i siti con minore biodiversità. Tale differenza è statisticamente significativa (Welch t-test, $t = -1.17$, $df = 45.895$, $p < 0.05$).

sale e trasversale di tale fenomeno. Tuttavia, è cruciale considerare anche il contesto territoriale più ampio in cui queste aree protette si trovano. Spesso, le aree protette del WWF, e altre simili, possono essere soggette al cosiddetto "effetto isola". Questo significa che, a causa della crescente omogeneizzazione e banalizzazione del paesaggio circostante, queste zone diventano attrattive per molte specie, creando un'oasi in mezzo a un deserto ecologico. Di conseguenza, la presenza elevata di biodiversità potrebbe anche essere influenzata da questo effetto, poiché gli animali cercano rifugio e risorse in queste aree protette. Se da un lato questo dimostra il successo delle aree protette nel fornire un habitat sicuro per molte specie, dall'altro lato evidenzia anche la gravità della situazione al di fuori

di queste zone. La presenza di tali "isole" di biodiversità ribadisce l'importanza di estendere pratiche agricole sostenibili ben al di là delle sole aree protette, affinché possiamo creare paesaggi più eterogenei e resilienti che sostengano la vita in ogni sua forma e in ogni angolo. In breve, mentre celebriamo il successo delle aree protette nel sostenere la biodiversità, dobbiamo anche riconoscere e affrontare la crescente necessità di combattere la banalizzazione del paesaggio in ogni sua forma.



Fig. 17 - i campi condotti con metodo biologico si distinguono anche per la diversità del paesaggio, che crea una infinita serie di nicchie ed opportunità per la ricca biodiversità che contraddistingue il territorio italiano - DALL-E 3

2.2.3 Validazione metodologica del censimento ornitologico automatizzato

Contemporaneamente ai censimenti effettuati con dispositivi di registrazione, in tre Oasi (Spormaggiore, Ghirardi, Ripa Bianca di Jesi) abbiamo effettuato una prova di validazione del modello di monitoraggio automatizzato rispetto alla metodologia classica basata sull'effettuazione di un punto di ascolto da parte di un rilevatore umano esperto. È stata effettuata quindi una uscita di campo in un momento coincidente con un periodo di registrazione dei vari dispositivi, in tutti i siti di monitoraggio entro le tre Oasi, annotando per ogni sito, sia biologico che convenzionale, tutte le specie udite dal rilevatore in 15 minuti continuativi di ascolto. Il nostro desiderio era verificare se un monitoraggio basato su registrazioni estensive accoppiate al riconoscimento automatico effettuato dall'IA potesse rivaleggiare con la tecnica del punto di ascolto: un ascolto molto breve, ma effettuato da personale formato e competente nel riconoscimento delle specie al canto. Questo sforzo, che non è stato possibile estendere ulteriormente a causa di limiti di personale e dal quale non devono quindi essere tratte conclusioni definitive, ha comunque evidenziato quanto segue:

- Esiste una sovrapposizione importante tra le identificazioni offerte dall'IA e quelle effettuate dal personale: considerando il numero di specie rilevate dall'IA fino al momento dell'uscita dei rilevatori, questa si è dimostrata in grado di rilevare quasi tutte le specie identificate dai rilevatori entro il set di specie target.
- Tuttavia, la differenza nello sforzo è evidente: a sua volta il personale è stato in grado di identificare quasi tutte le specie rilevate dall'IA fino a quel momento, ma in 15 minuti di tempo, con uno sforzo di rilevamento molto minore rispetto alle settimane di deployment in campo necessarie ai dispositivi per raccogliere un campione sufficientemente rappresentativo da poter essere analizzato dall'IA.
- Allo stesso modo, i rilevatori sono ovviamente stati in grado di identificare numerose specie al di fuori delle specie target del progetto, per le quali l'IA non era stata specificamente addestrata al riconoscimento.

La conclusione da trarne è quindi duplice: da una parte si conferma l'insostituibilità dei rilevatori di campo, "sensori" preparati, efficienti e soprattutto perfettamente in grado di gestire l'imprevisto (specie insolite e/o inattese). Allo stesso modo, il fatto di non aver potuto effettuare il monitoraggio tramite rilevatori in tutte le Oasi evidenzia l'ovvio limite di questo approccio, ovvero la disponibilità di personale. Se a questo uniamo la possibilità di analizzare nuovamente, anche in un secondo momento, le registrazioni raccolte, e di addestrare l'IA a riconoscere ulteriori specie, è chiaro come tecnologia e sforzo umano non possano che rafforzarsi a vicenda.

3. PROBLEMATICHE E OPPORTUNITÀ

I progressi fin qua evidenziati pongono le basi per una futura espansione del progetto, la cui evoluzione sarà notevolmente semplificata dall'esperienza finora guadagnata da tutto il team di lavoro. Tuttavia, è evidente che sarà necessario un impegno significativo soprattutto per ampliare l'elenco delle specie coinvolte e per ulteriormente migliorare l'accuratezza del sistema di IA fin qui impiegato, in modo da poter offrire una rappresentazione più veritiera della variabilità della biodiversità presente finora limitata al ristretto set di specie al riconoscimento delle quali l'IA è stata addestrata.

3.1 LIMITI INTRINSECI DELLA BIOACUSTICA

Le grandi aspettative aperte da queste prime sperimentazioni non devono farci dimenticare il principale limite di ogni tecnica basata sull'emissione sonora: in primis, l'impossibilità di monitorare specie non canore, come la maggior parte delle specie di insetti, incluse tutte le diverse specie di impollinatori, per non parlare dell'importantissimo e misconosciuto gruppo dei ragni, o di altri artropodi del suolo. Anche rettili e micromammiferi risultano non rilevabili per via acustica. Per alcune specie è invece sufficiente indagare un differente range di frequenze, come ad esempio gli ultrasuoni per gli importantissimi chiroterteri.

In ambito urbano, o comunque di luoghi molto frequentati, è difficilmente ipotizzabile l'installazione di dispositivi che potrebbero registrare conversazioni private e porrebbero quindi problemi di violazione della privacy, non diversamente da come avviene per le fototrappole.

Altro limite intrinseco è, almeno al momento, l'impossibilità di ottenere dati numerici attendibili: è impossibile stabilire se un canto udito due volte sia di due individui diversi o dello stesso individuo, a differenza di quanto potrebbe fare un rilevatore, capace di osservare l'animale o quantomeno di captare la direzione di provenienza dei suoni. La bioacustica è quindi utile soprattutto per verifiche di presenza/assenza, e di una generica maggiore o minore attività, piuttosto che per scopi di vero e proprio censimento.

3.2 PROSPETTIVE FUTURE PER UNA INTEGRAZIONE DELLA BIOACUSTICA NEL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ

Le ricerche in campo zoologico soffrono spesso per la carenza di dati raccolti in modo sistematico e regolare per lunghi periodi di tempo; solo in campo ornitologico esistono protocolli standardizzati che hanno consentito la creazione di serie storiche di dati coerenti, di cui il Farm-land Bird Index è un ottimo esempio. È proprio grazie a questa raccolta così sistematica di dati a scala nazionale e regionale che siamo oggi in grado di seguire il trend di



declino di numerose specie legate agli ambienti agricoli, mentre per specie più elusive e rare sussiste una effettiva difficoltà nel reperire dati adeguati a monitorarne un trend o comprendere le cause di declino. La scarsità di risorse economiche generalmente disponibili in Italia per questo genere di ricerche, e la mancanza di sistematicità nel reperirle, implicano carenze conoscitive anche in relazione a specie di interesse conservazionistico che è urgente cercare di colmare quanto prima.

La possibilità di automatizzare il riconoscimento sonoro di un elevato numero di specie, superando una cronica scarsità di risorse destinate all'impiego di operatori specializzati competenti, apre scenari tutti da esplorare circa il livello di dettaglio con cui sarà possibile acquisire dati, per lo meno per tutte quelle specie che si manifestano con emissioni sonore, indipendentemente dalla loro maggiore o minore visibilità. Sarebbe ad esempio estremamente utile poter integrare i dati di contesto, provenienti dal monitoraggio sistematico del Farmland Bird Index, con un sistema di monitoraggio più capillare, applicabile a scala aziendale o comunque comprensoriale, utile per la modulazione degli aiuti economici sulla base dei risultati effettivamente raggiunti in relazione alla tutela della biodiversità, sistema che, se effettuato con strumenti semiautomatici di rilevamento e identificazione, potrebbe avere costi decisamente più accessibili dell'impiego diretto di esperti in persona. L'interesse per il riconoscimento automatico di sonogrammi consente anche di ampliare il monitoraggio a gruppi sinora ancor meno rappresentati rispetto agli uccelli: si pensi ad esempio a molteplici specie di insetti, o anfibi, gruppi tassonomici che richiedono competenze specifiche e ancor meno diffuse rispetto a quelle ornitologiche. Durante il presente studio è stato possibile identificare sonogrammi di ortotteri e cicadidi, come pure di anfibi, per i quali non si è proceduto con l'elaborazione di modelli per il riconoscimento specifico tramite pattern matching per questioni di tempo, ma si tratta di una applicazione sicuramente possibile in futuro.

Il monitoraggio di gruppi tassonomici diversi dagli uccelli è importante anche per la maggior suscettibilità di tali specie agli effetti avversi dei pesticidi, e quindi alla possibilità di ottenere un indicatore più diretto per comparare la sostenibilità dell'agricoltura biologica rispetto a quella convenzionale. Non dimentichiamo inoltre che gli ortotteri costituiscono una componente importante dell'alimentazione di molte altre specie, ornitiche e non, e possono quindi essere considerati un gruppo tassonomico chiave nell'ecosistema.

La possibilità di mantenere per lunghi periodi di tempo una raccolta dati continuativa e coerente consente anche di aumentare il numero di repliche e accrescere la robustezza del dato, soprattutto a scala di singolo sito, e a integrare in modo mirato la raccolta di dati per specie dove vi è carenza di informazioni. La costanza del rilevamento consentirebbe anche di valutare gli impatti di eventi specifici, ad esempio gli eventi di applicazioni di pesticidi, e verificare quanto tali eventi condizionino direttamente le dinamiche della presenza di biodiversità in un dato luogo e nelle sue immediate vicinanze.

L'ampliamento della ricerca attraverso l'uso combinato di dispositivi di registrazione sonora e fototrappole potrebbe rivoluzionare il modo in cui studiamo la biodiversità

e l'impatto delle pratiche agricole su di essa. Mentre le registrazioni sonore possono catturare suoni di animali che si trovano a distanza o che sono attivi durante la notte, le fototrappole possono fornire immagini dettagliate e dirette di fauna in situ, offrendo una visione complementare e multidimensionale dell'ambiente studiato.

Uno dei principali vantaggi dell'utilizzo delle fototrappole è la capacità di identificare specie animali basandosi sulla loro morfologia. Combinando queste immagini con i dati sonori, si può ottenere una visione completa dell'attività animale in un'area, sia di giorno che di notte. Ad esempio, mentre un uccello potrebbe essere identificato dal suo canto tramite una registrazione audio, una fototrappola potrebbe confermare la sua presenza e fornire informazioni aggiuntive, come il comportamento, il numero di individui e l'orario di attività.

Dal punto di vista dell'analisi dei dati, i metodi statistici utilizzati per le fototrappole sono già ben consolidati e possono essere adattati per l'analisi delle registrazioni audio. Ad esempio, tecniche come la modellazione della distribuzione delle specie o le analisi di variazione temporale possono essere applicate sia alle immagini che ai dati sonori. Inoltre, con l'IA, algoritmi di apprendimento automatico e di riconoscimento delle immagini, sviluppati per le fototrappole, possono essere adattati per riconoscere e classificare suoni specifici, accelerando e affinando l'analisi.

Unendo queste due metodologie, la ricerca potrebbe beneficiare non solo di un panorama più ampio della biodiversità, ma anche di un quadro più accurato e dettagliato delle dinamiche dell'ecosistema. Questa combinazione potrebbe inoltre facilitare la scoperta di relazioni tra diverse specie, contribuendo a una migliore comprensione delle reti trofiche e delle interazioni ecologiche all'interno di un'area.

Resta in ogni caso necessario prestare attenzione, in particolare alla bontà delle informazioni generate dall'IA: accade infatti che talvolta le classificazioni di specie siano palesemente implausibili, rendendo l'intervento dell'essere umano una componente indispensabile del processo. Chissà se il lettore di questo nostro scritto si è reso conto che in alcune delle immagini di DALL-E 3 usate come illustrazioni - generate dall'intelligenza artificiale omonima - le specie sia vegetali che animali rappresentate non esistono o sono rappresentate in modo impreciso?

4. CONTRIBUTI ESTERNI



Il WWF collabora attivamente e continuamente con altre realtà che si occupano di tutela della biodiversità in ambiente rurale, inclusi Enti pubblici e altre Associazioni; la Coalizione Cambiamo Agricoltura, di cui il WWF è promotore sia a livello nazionale che europeo, è un coordinamento di quasi 100 associazioni che condividono l'obiettivo di reindirizzare la Politica Agricola Comunitaria (PAC) verso una maggiore sostenibilità.

Abbiamo chiesto ad autorevoli rappresentanti di alcuni di questi Enti di commentare l'importanza di questo progetto per la loro mission.

L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) è un Ente pubblico di ricerca e collabora con numerosi organismi ed istituti ambientali scientifici e tecnici europei ed internazionali, in attuazione dei propri compiti istituzionali ed in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MIPAAF) e del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR). ISPRA partecipa a numerosi progetti europei finanziati da Programmi dell'Unione Europea relativi ad attività di ricerca e sviluppo, scambio di informazioni, training e capacity building (FP7, LIFE, ENPI) ed a numerose iniziative internazionali con la partecipazione di propri esperti a gruppi di lavoro ed a comitati tecnico scientifici. Ospita

ed organizza eventi, riunioni internazionali e study visit di delegazioni di esperti e scienziati stranieri interessati alle attività tecnico scientifiche dell'Istituto.

La LIPU (Lega Italiana Protezione Uccelli) è una Organizzazione di Volontariato dedicata alla protezione degli uccelli, e più in generale alla conservazione della natura e della biodiversità. Su incarico del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, la LIPU coordina il progetto nazionale "L'indicatore Farmland Bird Index nei PSR 2014-2020", per la raccolta dati delle specie di uccelli comuni tipici delle zone agricole nidificanti in Italia, finalizzato a produrre l'indicatore di contesto C35 previsto dalla programmazione 2014-2020 della politica di sviluppo rurale, sia a scala nazionale che regionale.

FederBio è una federazione di organizzazioni di tutta la filiera dell'agricoltura biologica e biodinamica, avente l'obiettivo di tutelarne e favorirne lo sviluppo. FederBio è riconosciuta quale rappresentanza istituzionale di settore nell'ambito di tavoli nazionali e regionali. È socia di IFOAM e ACCREDIA, l'ente italiano per l'accertamento degli Organismi di certificazione. FederBio considera il biologico come l'innovazione agricola e alimentare più importante della fine del XX secolo, basata sulla riscoperta di un approccio ecosistemico, socialmente inclusivo ed economicamente resiliente per la produzione di alimenti e materie prime rinnovabili.

AGRICOLTURA E BIODIVERSITÀ, L'IMPORTANZA DEL MONITORAGGIO

di Susanna D'Antoni, ISPRA- Servizio per la sostenibilità della pianificazione territoriale, per le aree protette e la tutela del paesaggio, della natura e dei servizi ecosistemici terrestri

La semplificazione degli agroecosistemi dovuta all'eliminazione di elementi tradizionali del paesaggio agrario, la pesante meccanizzazione e l'utilizzo diffuso di pesticidi e fertilizzanti chimici, costituiscono minacce alla conservazione di specie e habitat legate agli ambienti agricoli, aggravate ancor più dagli effetti dei cambiamenti climatici. In particolare i prodotti fitosanitari possono provocare effetti tossici sia a breve termine (acuti) che a lungo termine (cronici), letali o sub-letali in specie legate a questi ambienti (Rapporti ISPRA 216/2015 e 330/2020). Dai dati dei report del monitoraggio ex art. 17 della Direttiva Habitat risulta che circa il 40% degli habitat (tot. 108) e circa un terzo delle specie sensibili ai prodotti fitosanitari (tot. 68 specie animali e 12 vegetali) risultano in stato di conservazione cattivo. Per quanto riguarda gli uccelli, su 43 specie (All. I Dir. Uccelli) sensibili ai prodotti fitosanitari, più del 60% rientrano nelle maggiori categorie di minaccia (VU, NT, EN, CR) (Rapporti ISPRA 194/2014, 216/2015, 219/2015, 330/2020). Il declino di queste specie di uccelli è mostrato dai dati relativi dell'indicatore "Popolazioni di uccelli sensibili ai prodotti fitosanitari" ([catori-pan-fitosanitari.isprambiente.it/sys_ind/14\) da cui emerge una loro diminuzione del 63,34 % nel 2014, rispetto al 2000.](https://indi-</p></div><div data-bbox=)

L'Unione Europea ha previsto diverse azioni per contrastare l'impatto dei prodotti fitosanitari sulla biodiversità, ovvero la Direttiva 2009/128/CE (recepita con D.Lgs. n. 150/2012), i due Regolamenti dell'UE in fase di approvazione (sull'uso sostenibile di pesticidi e sul ripristino degli habitat), le Strategie per la Biodiversità 2030 e la Farm to Fork, l'Iniziativa Europea sugli Impollinatori. Quest'ultima ha posto l'utilizzo di prodotti fitosanitari fra le principali minacce per gli impollinatori e per il servizio ecosistemico da questi fornito e prevede il loro monitoraggio secondo un metodo comune (EU-PoMS, Potts *et al.*, 2021). In Italia, i Parchi Nazionali stanno effettuando attività di monitoraggio degli impollinatori (con i fondi del MASE ed il coordinamento tecnico-scientifico di ISPRA e Università di Torino) con la metodologia proposta a livello europeo, al fine di ottenere dei dati confrontabili, assimilabili e comparabili con quelli degli altri Stati europei. Infatti, la raccolta di dati con metodi comuni è un elemento fondamentale per comprendere i trend di specie e habitat ad ampia scala per verificare l'efficacia di strategie e della pianificazione territoriale.

La metodologia di monitoraggio con l'uso della bioacustica sperimentata nel corso del progetto "Guardiani della Natura" sembra andare ancor di più nella direzione del rilevamento di grandi quantità di dati omogenei, oltre a permettere l'ottimizzazione dei tempi del rilevamento e dei relativi costi. I risultati emersi finora appaiono in linea con quelli dello studio coordinato da ISPRA e finanziato

dal MASE, finalizzato alla sperimentazione delle misure previste dal Piano d'Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (PAN) per la tutela della biodiversità previste dal DM 10/3/2015. In generale, i risultati di tale studio mirato a confrontare lo stato di specie indicatrici (specie floristiche e faunistiche, dalla pedofauna fino ai Chiropteri) in risaie, vigneti, seminativi e noccioli, hanno mostrato un migliore stato dei popolamenti floristici e faunistici nei campi biologici rispetto a quelli convenzionali, soprattutto in relazione alle abbondanze di individui (Rapporto 330/2020). Inoltre lo studio di ISPRA ha permesso di mettere a fuoco elementi critici da considerare per un'adeguata pianificazione di questo tipo di monitoraggi, vista la loro complessità, ovvero la necessità di: a) individuare campi biologici e convenzionali quanto più simili in termini di disponibilità di habitat per le specie e di matrici ambientali in cui ricadono; b) misurare le "covariate" (ovvero quelle variabili diverse da quelle su cui si è deciso di indagare, ma che creano un "rumore di fondo" - Macchio *et al.* 2023). Inoltre, è emersa l'importanza di considerare diversi indicatori che segnalano effetti a diverse scale, al fine di avere un quadro complessivo degli impatti causati dalle pratiche agricole e dall'uso di prodotti fitosanitari e di definire le misure idonee alla loro mitigazione. I risultati del progetto descritto nel presente rapporto e in quello di ISPRA, mettono in luce l'importanza della gestione dei coltivi con il metodo biologico, in quanto risulta più compatibile con gli obiettivi di conservazione della biodiversità definiti, in particolare, dalle Strategie Europea e Nazionale per la Biodiversità al 2030.

IL CANTO DEGLI UCCELLI: UN INDICE DI SALUTE DELLE NOSTRE CAMPAGNE

di Federica Luoni e Laura Silva,
Lipu-BirdLife Italia.

Chiunque si occupi di conservazione della fauna e in particolare degli uccelli, si sarà sentito chiedere molte volte, come mai le rondini stanno sparendo? Dove sono finiti i passerii? Domande che scaturiscono spontanee dall'esperienza comune di chi vive o frequenta le campagne italiane e non solo.

Questa constatazione, per passare da puro fatto aneddotico e personale a dato scientifico, deve essere suffragata da dati raccolti in modo omogeneo e standardizzato per un lungo lasso di tempo. Ed è proprio in questo modo che il Farmland Bird Index, l'indicatore che descrive l'andamento delle popolazioni degli uccelli comuni delle aree agricole, viene costruito, confermando il drastico calo delle presenze degli uccelli degli ambienti agricoli, che dal 2000 sono diminuiti del 28,8%. In particolare ben 18 specie, delle 28 considerate nel calcolo di questo indice, risultano in declino, anche molto marcato e sono proprio quelle più strettamente legate al contesto agricolo, come il saltoppalo (-70%), l'allodola (-47%), l'averla piccola (-62%), la cutrettola (-43%) e la Passera d'Italia (-60%).

Il Farmland Bird Index, anche conosciuto con il suo acronimo FBI, è un indicatore di contesto ambientale previsto dalla Politica Agricola Comune (PAC), usato dagli Stati membri dell'Unione europea per monitorare lo stato di salute delle campagne e l'efficacia degli interventi messi attivati da Regioni e Province Autonome, ed è ad oggi uno dei pochissimi indicatori che nel nostro

Paese ha raccolto dati omogenei su una scala temporale ventennale e a scala nazionale.

In Italia è elaborato grazie al Progetto FBI, che dal 2009 la Lipu porta avanti, su incarico del Ministero dell'Agricoltura della Sovranità Alimentare e delle Foreste, finanziato nell'ambito della Rete Rurale Nazionale, coordinando una rete di 350 persone tra ricercatori, rilevatori e tecnici. Il Progetto FBI ha integrato un precedente progetto di raccolta dati (denominato MITO2000) con il risultato finale di disporre ad oggi di una serie storica di 23 anni, con 1,7 milioni di osservazioni distribuite su 28.908 celle per un totale del 10% della superficie nazionale, per un totale di quasi 550 persone coinvolte che hanno effettuato 26 mila ore di ascolto e osservazione diretta.

È, infatti, la combinazione di ascolto e osservazione effettuato in condizioni simili che permette di poter ricavare un dato standardizzato e quindi confrontabile nel tempo e nello spazio, cosa che ad oggi le tecniche di AI non sono ancora in grado di replicare, così come il riconoscimento dell'individuo cantore o di indici di nidificazione certa, come il trasporto di cibo al nido. Tutti dati fondamentali per la costruzione degli indici delle specie nidificanti, come sono quelli che vanno a formare il FBI.

La tecnologia sperimentata in questo progetto e in altri studi simili potrà sicuramente essere un'utile integrazione al lavoro di monitoraggio di campo, soprattutto per progetti specifici e/o in situazioni dove occorre un monitoraggio di tipo continuativo, come ad esempio lo studio delle migrazioni, o in luoghi difficilmente raggiungibili.

Inoltre, la possibilità di automatizzare alcuni rilevamenti potrà facilitare l'erogazione di sussidi agricoli per la biodiversità basati sui risultati, poiché sarà più semplice anche per i

singoli agricoltori attuare i monitoraggi necessari.

La raccolta di dati ornitologici alle diverse scale, spaziali e temporali, così come per diverse tipologie di specie, come quelle più comuni, così per le specie più elusive o rare è fondamentale sia per monitorare lo stato di conservazione sia per poter implementare adeguati interventi di conservazione. Per questo ogni strumento che incrementa la conoscenza della biodiversità è fondamentale, e la bioacustica unita all'AI è uno di questi.

Al contempo è però necessario utilizzare i dati raccolti per agire concretamente. Purtroppo questo molto spesso non avviene, così come dimostrano gli scarsi passi avanti che sono stati fatti all'interno della Politica Agricola Comune ed in particolare nel Piano Strategico Nazionale Italiano, ancora carente, soprattutto nella declinazione regionale, in interventi atti a frenare ed invertire la perdita di biodiversità, o le continue deroghe alla condizionalità, ed in particolare all'obbligo di destinare spazi alla natura, azione fondamentale, insieme alla riduzione dell'uso dei prodotti fitosanitari, per conservare l'avifauna e l'intera biodiversità. Questo progetto conferma, da un lato come gli uccelli siano ottimi indicatori ecologici, dall'altro come essi rispondano positivamente al ripristino di agroecosistemi a basso impatto ambientale, come quelli presenti nelle Oasi WWF monitorate. Numerosi studi scientifici mostrano, infatti, che la combinazione di agricoltura biologica con la presenza degli elementi naturaliformi del paesaggio può supportare comunità ornitiche ben strutturate. Solo un impegno comune a modificare i nostri modelli di produzione e consumo agendo insieme per una reale transizione agroecologica, permetterà di continuare ad osservare gli uccelli e ascoltare il loro canto, sia a noi che all'AI.

L'AGRICOLTURA BIOLOGICA È LA CHIAVE PER ARRESTARE LA PERDITA DI BIODIVERSITÀ

di Maria Grazia Mammuccini,
Federbio

La più importante valutazione globale sulla biodiversità degli ultimi 15 anni, è il Rapporto ONU del 2019, sul quale hanno lavorato per 3 anni 150 esperti provenienti da 50 nazioni. Lo studio lancia un allarme globale: nei prossimi decenni fino a un milione di specie vegetali e animali sarà a rischio estinzione. Ricerche approfondite rivelano che un terzo delle api e degli insetti è a rischio estinzione. Circa un ottavo degli 8 milioni di specie presenti sulla Terra è dunque destinato a scomparire a causa delle conseguenze dell'impronta impressa dall'uomo sugli ecosistemi, tra cui urbanizzazione, metodi di sfruttamento delle terre e delle risorse naturali, agricoltura intensiva e uso di pesticidi.

Tra i principi del metodo biologico, la biodiversità è fondamentale per l'agricoltura e la produzione alimentare perché è dalla diversità che si attivano connessioni e interazioni tra specie creando agroecosistemi dinamici, produttivi e sostenibili.

L'agricoltura biologica svolge quindi un ruolo importante nella conservazione e implementazione della biodiversità, non solo per quanto riguarda le specie selvatiche ma anche per le specie vegetali per la coltivazione e per le razze animali per l'allevamento, utilizzando nei diversi territori le

varietà più adatte alle specificità degli ecosistemi locali (agrobiodiversità).

La maggior parte delle pratiche agronomiche impiegate in agricoltura biologica influiscono positivamente sulla biodiversità, ad esempio l'impiego di concimi organici e il divieto di utilizzare pesticidi e fertilizzanti sintetici incrementano la biodiversità del suolo e quindi aumentano la concentrazione dei microrganismi che vivono nel terreno. L'applicazione corretta del metodo biologico rappresenta quindi uno strumento di salvaguardia e valorizzazione della biodiversità sia naturale che rurale. La Strategia europea per la biodiversità punta sull'agroecologia per il ripristino degli ecosistemi e sottolinea con chiarezza il ruolo portante dell'adozione del metodo bio in agricoltura per la preservazione degli habitat naturali e il contrasto ai cambiamenti climatici. Il testo della Commissione Europea, presentato il 20 maggio 2020, considera essenziale puntare ad un aumento delle superfici agricole coltivate a bio su scala europea, passando dall'attuale 8% ad almeno il 25% entro il 2030. Parallelamente viene indicata la necessità di tagliare l'uso dei pesticidi del 50% e quello dei fertilizzanti del 20%.

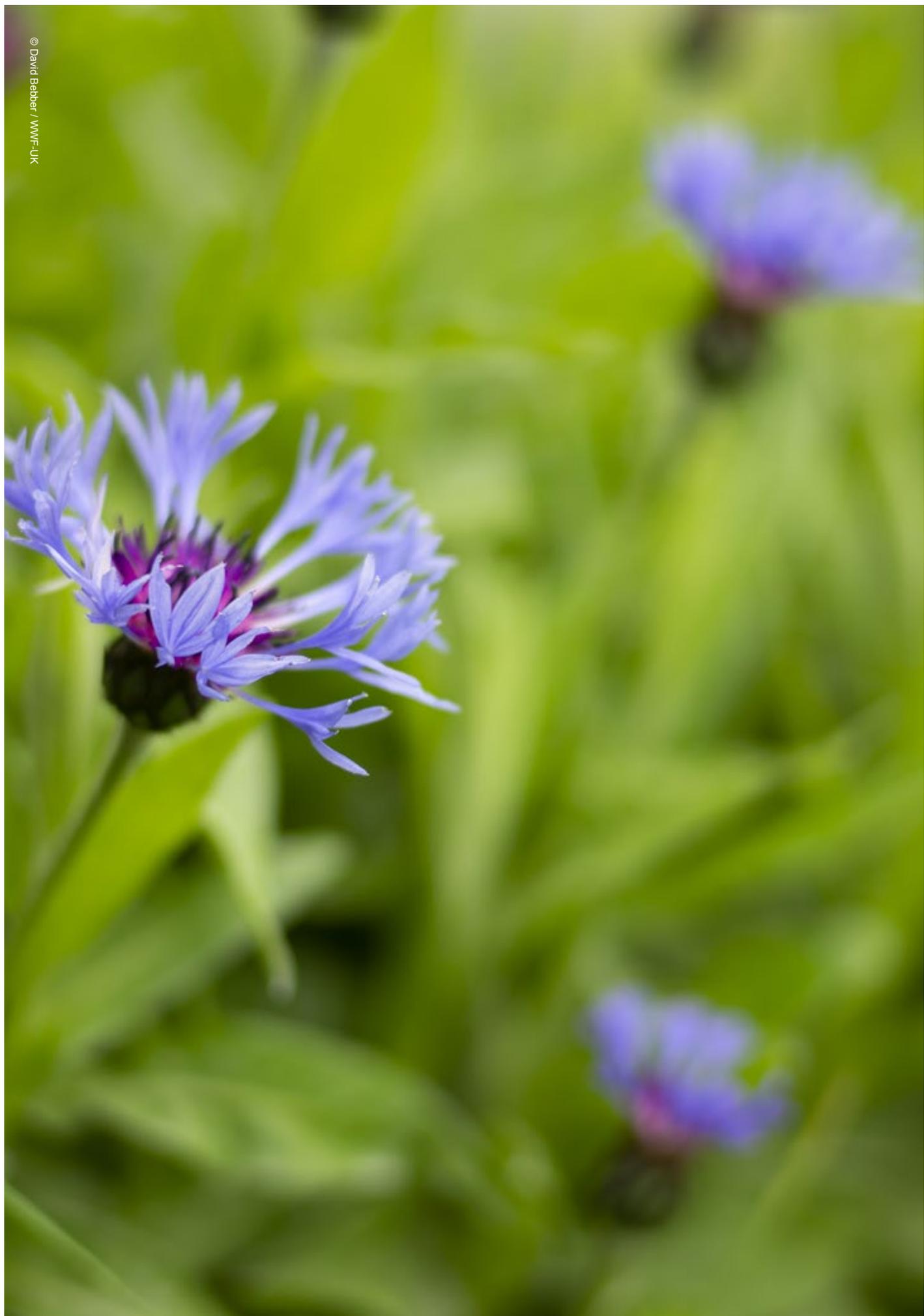
Il Rapporto di Nicolas Lampkin e Katrin Padel per IFOAM (2022), presentato e diffuso in occasione di BIOFACH 2023, delinea e quantifica i benefici - in termini ambientali, di mitigazione dei cambiamenti climatici, riduzione dell'inquinamento da azoto e miglioramento della biodiversità - che si otterrebbero con il raggiungimento del 25% di terreni agricoli biologici nell'Ue.

Lo studio sottolinea che le emissioni

totali di gas serra sarebbero ridotte fino a 68 milioni di tonnellate di CO₂ l'anno con una diminuzione del 15% delle emissioni totali di gas serra dell'agricoltura dell'UE-27, mentre la biodiversità aumenterebbe del 30% sui terreni agricoli biologici rispetto a quelli non bio.

Lo studio evidenzia, inoltre, che la conversione al biologico determinerebbe la riduzione del 90-95% dell'uso dei pesticidi, consentendo così di raggiungere un altro obiettivo ambizioso della strategia Farm to Fork: la diminuzione del 50% dell'utilizzo dei pesticidi chimici entro il 2030.

Da ricordare inoltre una metanalisi pubblicata a febbraio 2020 sulla rivista *Organic Agriculture* (Steinbachinger *et al.* 2021), che integra i dati di 98 studi e conferma che l'agricoltura biologica rappresenta una strategia efficace per combattere la perdita di biodiversità. La ricerca ha analizzato 474 aziende agricole convenzionali e biologiche. La diversità e l'abbondanza di specie complessive è risultata per il 58% più elevata nelle aziende agricole biologiche, in particolare le piante hanno fatto rilevare una presenza del 95% superiore nelle terre coltivate con metodo bio e del 21% maggiore nei margini dei campi. È quindi indispensabile spingere sulla transizione agroecologica per cambiare rapidamente sia il modo di produrre che di consumare cibo passando dall'attuale modello di agricoltura intensiva all'agroecologia, di cui il biologico e il biodinamico sono gli esempi più diffusi, in grado di mettere a disposizione soluzioni concrete per la tutela della biodiversità e di tutte le forme di vita che popolano la Terra.



BIBLIOGRAFIA E LINK UTILI

- AA.VV., 2021. *Transizione Ecologica Aperta - Dove va l'ambiente italiano?* Ispra.
<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/pubblicazioni-di-pregio/transizione-ecologica-aperta>
- Assandri G., 2016. *Biodiversity conservation in permanent crops and grasslands*, tesi di dottorato. Università degli Studi di Padova, anno accademico 2013-2016 (ciclo XXIX)
- D'Antoni S., Bonelli S., Gori M., Macchio S., Maggi C., Nazzini L., Onorati F., Rivella E., Vercelli M., 2020. *La sperimentazione dell'efficacia delle Misure del Piano d'Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (PAN) per la tutela della biodiversità*. ISPRA, Serie Rapporti, 330/2020
https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-330-2020_web_-1.pdf
- Lampkin N, Padel K., 2022. *Environmental impacts of achieving the EU's 25% organic land by 2030 target: a preliminary assessment*. IFOAM Organics Europe, Brussels.
https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2023/02/ifoameu_policy_FarmToFork_25EnviBenefits_202212.pdf?dd
- Macchio S., Vercelli M., Gori M., Nazzini L., Bellucci V., Bianco P.M., Jacomini C., Rivella E., D'Antoni S., 2023. *A standardized method for estimating environmental and agronomic covariates to discriminate the explanatory variables effects on bioindicators: a case study on soil fauna*. International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics. DOI: 10.1504/IJSAMI.2023.10058368
- LeBien, J., Zhong, M., Campos-Cerqueira, M., Velez, P. J., Dodhia, R., Ferres, J. L., Aide, T., M., 2020 - *A pipeline for identification of bird and frog species in tropical soundscape recordings using a convolutional neural network*, Ecological Informatics, vol. 59
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954120300637>
- Rete Rurale Nazionale & Lipu (2023). *Farmland Bird Index nazionale e andamenti di popolazione delle specie in Italia nel periodo 2000-2022*
- Stein-Bachinger, K., Gottwald, F., Haub, A. et al. , 2021. *To what extent does organic farming promote species richness and abundance in temperate climates? A review*. Organic Agriculture vol. 11, 1–12.
<https://doi.org/10.1007/s13165-020-00279-2>
- <https://www.openacousticdevices.info/audiomoth>
- <https://arbimon.rfcx.org>
- <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.12955>
- https://agridata.ec.europa.eu/Qlik_Downloads/InfoSheetEnvironmental/infoC35.html





5 milioni di sostenitori nel mondo.
Una rete globale attiva in oltre 100 Paesi.
1300 progetti di conservazione.
In Italia oltre 100 Oasi protette.
Migliaia le specie interessate dall'azione del WWF sul campo.

WWF Italia
Via Po, 25/c
00198 Roma

Tel: 06844971
e-mail: wwf@wwf.it
sito: www.wwf.it