

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI

CAMPUS DI BOLOGNA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN

SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

VALUTAZIONE ECONOMICA DEL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ
AZIENDALE MEDIANTE TELERILEVAMENTO CON VEICOLI AEREI SENZA
PILOTA PER I PAGAMENTI BASATI SUI RISULTATI

Tesi in

82458 - ESTIMO PROFESSIONALE

79277 – C.I. ESTIMO, TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA

Relatore:

Chiar.mo Prof. Davide Viaggi

Candidato: Andrea Miriana Ferro

Matricola N° 0001046520

Correlatore:

Dott. Stefano Targetti

Dott. Ludovico Chieffallo

Prof. Duccio Rocchini

Anno Accademico 2022/2023

ABSTRACT

A fronte delle molteplici iniziative proposte negli anni dalla Commissione Europea per conservare e tutelare la biodiversità, è diventato necessario conoscere, comprendere e controllare la diversità biologica che caratterizza un determinato ambiente o ecosistema. A tal proposito, il monitoraggio è diventato uno strumento fondamentale per acquisire un adeguato livello di conoscenza della biodiversità che caratterizza un territorio e in secondo luogo, il monitoraggio diviene indispensabile per valutare lo stato di conservazione e di evoluzione di essa. La Commissione Europea sta valutando l'ipotesi di mettere a punto degli schemi volontari basati sui risultati, per i quali il pagamento è condizionato al raggiungimento di un risultato ambientale definito. Questa tipologia di pagamenti è ritenuta un'evoluzione in grado di migliorare l'incentivo per gli agricoltori a implementare pratiche rispettose della diversità biologica e per questo motivo potrebbe essere un valido strumento per le politiche agroambientali, grazie al quale la "produzione" biodiversità diventerebbe parte integrante di un sistema agricolo. L'obiettivo di questo studio è spiegare in che modo il telerilevamento assistito da veicoli aerei senza pilota possa contribuire allo studio e alla raccolta di informazioni necessarie per lo sviluppo di paesaggi e sistemi agricoli rispettosi della biodiversità e valutare in che modo questo approccio di raccolta dei dati possa facilitare la diffusione dei regimi di pagamento basati sui risultati. Per raggiungere questo obiettivo, sono stati stimati e confrontati i tempi e i costi del monitoraggio con veicoli aerei senza pilota e il monitoraggio convenzionale svolto in campo da ricercatori o professionisti del settore. Successivamente è stata valutata in modo analitico l'efficienza di entrambe le metodologie di monitoraggio. La stima dei tempi e dei costi si è basata sui dati provenienti dai progetti europei BioBio e SHOWCASE a cui l'Università di Bologna ha preso parte. Lo studio ha, mostrato che attualmente esiste un'equivalenza economica tra i due approcci di monitoraggio, la quale, quindi, suggerisce la fattibilità del monitoraggio assistito da UAV come un potenziale sostituto o almeno un'alternativa paragonabile al monitoraggio convenzionale. Tali risultati potrebbero indicare una prospettiva promettente per l'integrazione del monitoraggio assistito da UAV come parte integrante o anche preferenziale in alcuni contesti, considerando la sua parità economica con il metodo convenzionale. Lo studio ha anche dimostrato che attualmente il costo di questa tecnologia per i regimi di pagamento basati sui risultati rimane un fattore limitante.

INDICE

1 INTRODUZIONE	7
2 BIODIVERSITÀ, SCHEMI BASATI SUI RISULTATI E INDICATORI DI BIODIVERSITÀ.....	14
2.1 L'IMPORTANZA DELLA BIODIVERSITÀ NELLA PAC.....	14
2.1.1 LA BIODIVERSITÀ NELLA PAC 2014-2020.....	15
2.1.2 LA BIODIVERSITÀ NELLA PAC 2023-2027.....	19
2.1.3 PAGAMENTI BASATI SUI RISULTATI PER LA BIODIVERSITÀ	23
2.2 INDICATORI DI BIODIVERSITÀ PROPOSTI PER GLI SCHEMI BASATI SUI RISULTATI NELLA PAC E NELLA LETTERATURA SCIENTIFICA	27
2.2.1 INDICATORI DI BIODIVERSITÀ PROPOSTI PER GLI SCHEMI BASATI SUI RISULTATI NELLA PAC	27
2.2.2 INDICATORI DI BIODIVERSITÀ PROPOSTI PER GLI SCHEMI BASATI SUI RISULTATI NELLA LETTERATURA SCIENTIFICA.....	29
3. MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ.....	33
3.1 PROGETTAZIONE DI UN PROGRAMMA DI MONITORAGGIO	36
3.2 MONITORAGGIO SVOLTO MEDIANTE VEICOLO AERI SENZA PILOTA (UAV)	41
3.2.1 COSTO DEL MONITORAGGIO ASSISTITO DA VEICOLI AEREI SENZA EQUIPAGGIO	47
4 MATERIALI E METODI	50
4.1 MONITORAGGIO CONVENZIONALE <i>IN SITU</i>	52
4.1.1 TEMPI DEL MONITORAGGIO <i>IN SITU</i> DEL CASO BIOBIO	53
4.1.2 COSTI DEL MONITORAGGIO <i>IN SITU</i> DEL CASO BIOBIO	56
4.1.3 TEMPI DEL MONITORAGGIO <i>IN SITU</i> DEL CASO SHOWCASE	56
4.1.4 COSTO DEL MONITORAGGIO <i>IN SITU</i> DEL CASO SHOWCASE.....	58

4.2 MONITORAGGIO ASSISTITO DA VEICOLI AREI SENZA PILOTA.....	59
4.2.1 TEMPI DEL MONITORAGGIO ASSISTITO DA UAV NEL PROGETTO SHOWCASE	60
4.2.2COSTI DEL MONITORAGGIO ASSISTITO DA UAV DEL CASO SHOWCASE	61
4.3 STIMA DEI COSTI PER IL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ AZIENDALE	63
4.4 SCENARI DI ANALISI	65
5 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	67
5.1 TEMPI E COSTI DI LAVORO PER IL MONITORAGGIO CONVENZIONALE DEL CASO BIOBIO	67
5.2 TEMPI E COSTI PER IL MONITORAGGIO CONVENZIONALE DEL CASO SHOWCASE	69
5.3 TEMPI E COSTI DI LAVORO PER IL MONITORAGGIO ASSISTITO DA UAV DEL CASO SHOWCASE.....	71
5.4 STIMA DEI COSTI PER IL MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ AZIENDALE	76
5.5 SCENARI DI ANALISI	78
5.5.1 SCENARIO A	78
5.5.1.1 SCENARIO A.1	78
5.5.1.2 SCENARIO A.2	79
6 CONCLUSIONI	83
BIBLIOGRAFIA	86
SITOGRAFIA.....	93

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Strumenti della PAC e collegamenti con strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020.....	17
Figura 2 - Inverdimento.....	18
Figura 3 - Contributo alla biodiversità dal 2021 al 2027 (milioni di euro).....	23
Figura 4 - Fonti di finanziamento per gli RBSP.....	26
Figura 5 - Indicatori di risultato collegati alla biodiversità per la PAC post 2020.....	28
Figura 6 - UAV DJI Matrice 210 RTK.....	43
Figura 7 - Le altitudini operative approssimative delle piattaforme di imaging basate su satellite, aereo e drone.....	44
Figura 8 - DJI Agras T30 in volo.....	45
Figura 9 - Localizzazione delle aziende monitorate nella regione Gulpen.....	59
Figura 10 - Ore impiegate per il monitoraggio completo di un transetto di analisi nei casi studio del progetto BioBio (Grafico1), ore impiegate per monitorare un plot in un'azienda grande, media e piccola (Grafico 2), costi sostenuti per campionare un transetto nei casi studio del progetto BioBio (Grafico 3) e i costi sostenuti per monitorare un plot in un'azienda grande, media e piccola (Grafico 4).....	68
Figura 11 - Tempi e costi impiegati per il monitoraggio in situ di un plot del caso SHOWCASE.....	70
Figura 12 - Tempi e costi impiegati per il monitoraggio assistito da UAV di un plot del caso SHOWCASE.....	72
Figura 13 - Confronto tra le strutture dei costi del caso base e degli scenari A.1 e A.2.....	79

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Ambiti di azione per gli eco-schemi descritti nel regolamento PAC.	21
Tabella 2 - Sintesi degli schemi proposti da Elmiger et al. (2023).	30
Tabella 3 - Descrizione della struttura dei casi studio del progetto BioBio	54
Tabella 4 - Parametri generali presi in considerazione per la stima delle ore impiegate per il monitoraggio svolto dal progetto BioBio.....	55
Tabella 5 - Parametri generali presi in considerazione per la stima delle ore impiegate per il monitoraggio in situ svolto dal progetto SHOWCASE.	58
Tabella 6 - Parametri generali presi in considerazione per la stima delle ore impiegate per il monitoraggio assistito da UAV svolto dal progetto SHOWCASE.....	61
Tabella 7 - Parametri generali presi in considerazione per la stima dei costi totali per il monitoraggio assistito da UAV.	63
Tabella 8 - Numero di plot in base alla dimensione aziendale.	65
Tabella 9- Confronto dei tempi dei vari protocolli di monitoraggio.	74
Tabella 10 - Confronto dei costi dei vari protocolli di monitoraggio.....	75
Tabella 11 - Confronto tra i costi e tempi del monitoraggio delle aziende grandi e piccole con protocollo con UAV e tempi e costi reali.	77
Tabella 12 - Confronto tra i costi e tempi del monitoraggio delle aziende grandi e piccole con protocollo con SHOWCASE e tempi e costi reali.	77

1 Introduzione

Secondo l'Agencia europea dell'ambiente “*Con il termine “biodiversità” si indica la varietà ecosistemica (il capitale naturale), specifica e genetica a livello globale, o di un habitat in particolare. La biodiversità è essenziale al benessere umano, in quanto garantisce servizi alla base delle nostre economie e società. È inoltre cruciale per i servizi ecosistemici forniti dalla natura, quali l’impollinazione, la regolazione del clima, la protezione dalle alluvioni, la fertilità del suolo e la produzione di cibo, combustibile, fibre e medicine” (European Environment Agency,2020).* In altri termini, la biodiversità rappresenta l’elemento centrale per lo sviluppo di un’area, di un habitat o di un ecosistema. Essa è alla base di molti servizi ecosistemici ed è fondamentale per l’economia di ogni paese; basti pensare che gran parte dei modelli di produzione alimentare dipendono dal livello di biodiversità che un territorio detiene. Il mancato riconoscimento del valore economico della biodiversità contribuisce al suo costante declino (*Strategia Nazionale per la Biodiversità;2020*).

Le cinque principali cause dirette della perdita di biodiversità sono riconducibili ai cambiamenti dell'uso del suolo e del mare, allo sfruttamento eccessivo delle risorse, ai cambiamenti climatici, all’ inquinamento e alle specie esotiche invasive; questi cinque fattori stanno facendo rapidamente scomparire l'ambiente naturale (*IPBES;2019*).

La perdita di biodiversità e il collasso degli ecosistemi sono tra le minacce principali che l'umanità affronta da diversi anni e che dovrà affrontare e cercare di contrastare nel prossimo decennio (*Forum economico mondiale,2020*).

Più della metà del PIL mondiale circa, 40 trilioni di euro, dipende dalla natura. Il ripristino della natura sarà un elemento centrale del piano di ripresa dell'UE dalla pandemia di coronavirus, offrendo opportunità commerciali e di investimento immediate per ripristinare l'economia dell'UE. Il mondo ha già perso circa 3,5-18,5 trilioni di euro all'anno in servizi ecosistemici dal 1997 al 2011 e circa 5,5-10,5 trilioni di euro all'anno a causa del degrado del suolo. La biodiversità è alla base della sicurezza alimentare dell'UE e globale. I rischi di perdita di biodiversità mettono a rischio i nostri sistemi alimentari e la nutrizione. La perdita di biodiversità si traduce in una riduzione dei raccolti e delle catture di pesce, maggiori perdite economiche dovute a inondazioni e altri disastri e la perdita di potenziali nuove fonti di medicinali. In media, si prevede che i raccolti medi globali di riso, mais e grano diminuiranno tra il 3% e il 10% per grado di riscaldamento rispetto ai livelli storici (*CE;2020*). Per tutti questi

motivi è necessario tutelare la biodiversità poiché essa apporterebbe molteplici benefici all'economia europea e mondiale. La commissione ha recentemente dichiarato che la conservazione degli stock marini potrebbe aumentare i profitti annuali dell'industria ittica di oltre 49 miliardi di euro. Inoltre, i benefici della rete di protezione della natura "Natura 2000" dell'UE sono valutati tra 200 e 300 miliardi di euro all'anno. la protezione delle zone umide costiere potrebbe far risparmiare al settore assicurativo circa 50 miliardi di euro all'anno riducendo le perdite per danni provocati dalle inondazioni (CE;2020).

L'interesse internazionale per la tutela della diversità biologica e per il suo uso sostenibile è nato solo recentemente. Questo perché il concetto di biodiversità e le nuove tecnologie, che valorizzano le risorse genetiche, si sono sviluppati dagli anni Settanta del XX secolo (Bowman, M; 1995).

Dal 1990 circa il Mondo, e nello specifico l'Europa, ha iniziato ad attuare delle politiche per salvaguardare l'ambiente naturale e i servizi ecosistemici ad esso collegati, con l'obiettivo di sensibilizzare, informare i cittadini e, attraverso azioni specifiche limitare i danni legati alla perdita di biodiversità.

Al Vertice sulla Terra del 1992 a Rio de Janeiro, i leader mondiali di 172 Paesi hanno concordato una strategia globale di "sviluppo sostenibile" in cui hanno deciso di adottare un accordo noto come "Convenzione sulla Biodiversità". La Convenzione aveva come principali obiettivi la conservazione della biodiversità, l'uso sostenibile della biodiversità e la equa ripartizione dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche.

Un altro obiettivo della Convenzione sulla biodiversità è stato realizzato dal Protocollo di Nagoya, il quale rappresenta un risultato storico in quanto costituisce un possibile anello di congiunzione tra le politiche per la conservazione della biodiversità e quelle per la lotta alla povertà. Esso, infatti, regola l'accesso alle risorse genetiche e garantisce una equa ripartizione dei benefici derivanti dal loro utilizzo. Dunque, la sua applicazione fornisce maggiore equità giuridica e trasparenza, sia per i fornitori che per gli utilizzatori.

Nel 1998 l'Unione Europea ha adottato la "Strategia comunitaria per la diversità biologica", con la quale ha inteso prevedere, prevenire e contrastare le cause della riduzione o perdita di biodiversità (CE; 1998). Questa strategia trova attuazione nella Rete Natura 2000 e in direttive,

come Direttiva “Uccelli” 79/409 e Direttiva “Habitat” 92/430, che contribuiscono alla salvaguardia della biodiversità (*Mase,2023*).

Successivamente, nel 2011 la Commissione Europea ha pubblicato “La strategia per la biodiversità 2020” costituita da sei obiettivi sinergici e interdipendenti. Questi sei obiettivi, da raggiungere entro il 2020, concorrevano tutti ad arrestare la perdita di biodiversità e il degrado dei servizi ecosistemici: gli obiettivi 1 e 2 erano destinati a proteggere e ripristinare la biodiversità e i relativi servizi ecosistemici, gli obiettivi 3, 4 e 5 intendevano potenziare il contributo positivo dell’agricoltura e della silvicoltura e ridurre le pressioni principali esercitate sulla biodiversità nell’UE, mentre l’obiettivo 6 era volto ad intensificare il contributo dell’UE alla biodiversità mondiale (*CE; 2020*).

La strategia che la Commissione Europea ha attualmente in atto è “Strategia dell’UE sulla biodiversità per il 2030; Riportare la natura nella nostra vita”. Attraverso questa strategia l’Unione Europea è pronta a dar prova di ambizione per invertire la perdita di biodiversità, assumendo un ruolo di guida per il resto del mondo entro il 2030. A guidarla dovrebbe essere l’ambizione ultima di garantire che, entro il 2050, tutti gli ecosistemi del pianeta siano ripristinati, resilienti e adeguatamente protetti. Le principali azioni da realizzare entro il 2030 sono la creazione di zone protette comprendenti almeno il 30% della superficie terrestre e marina dell’UE, ampliando in tal modo la copertura delle zone Natura 2000 esistenti; il ripristino degli ecosistemi degradati in tutta l’UE entro il 2030 attraverso una serie di impegni e misure specifici, tra cui la riduzione dell’uso e del rischio dei pesticidi del 50% entro il 2030 e la messa a dimora di tre miliardi di alberi all’interno dell’UE; lo stanziamento di 20 miliardi di euro l’anno per la protezione e la promozione della biodiversità tramite i fondi dell’UE e finanziamenti nazionali e privati; la creazione di un quadro globale ambizioso per la biodiversità (*Consiglio d’Europa,2023*).

La strategia biodiversità 2030 ha diversi punti di contatto con la “Strategia Farm to Fork- Dal produttore al consumatore”, come ad esempio la riduzione dell’uso di pesticidi e fertilizzanti, il ripristino dei terreni agricoli e la gestione delle risorse idriche. Entrambi le strategie sono parte fondamentale del Green Deal europeo.

Il 22 giugno del 2022, la Commissione europea ha proposto al Parlamento europeo l’adozione di una nuova normativa, Nature Restoration Law, volta a ripristinare l’habitat naturale europeo (*Parlamento Europeo;2023*).

Si tratta di un elemento chiave della strategia dell'UE sulla biodiversità , che contiene i seguenti obiettivi specifici:

- obiettivi basati sulla legislazione esistente (per zone umide, foreste, praterie, fiumi e laghi, brughiere, habitat rocciosi e dune) - migliorare e ripristinare gli habitat di biodiversità su larga scala;
- insetti impollinatori: invertire il declino delle popolazioni di impollinatori entro il 2030 e intervenire con delle metodologie di monitoraggio regolare;
- ecosistemi forestali: raggiungimento di una tendenza crescente per legno morto in piedi e sdraiato, foreste invecchiate in modo irregolare, connettività forestale, abbondanza di uccelli forestali comuni e stock di carbonio organico;
- ecosistemi urbani: nessuna perdita netta di spazio verde urbano entro il 2030 e aumento dell'area totale coperta da spazio verde urbano entro il 2040 e il 2050;
- ecosistemi agricoli: aumento delle farfalle e degli uccelli nei terreni agricoli, dello stock di carbonio organico nei terreni minerali dei terreni coltivati e della quota di terreni agricoli con caratteristiche paesaggistiche ad alta diversità; ripristino delle torbiere prosciugate ad uso agricolo;
- ecosistemi marini: ripristino di habitat marini come praterie di fanerogame o fondali di sedimenti che apportano benefici significativi, anche per la mitigazione dei cambiamenti climatici, e ripristino degli habitat di specie marine iconiche come delfini e focene, squali e uccelli marini.
- connettività fluviale: identificazione e rimozione delle barriere che impediscono la connettività delle acque superficiali, in modo che almeno 25 000 km di fiumi tornino allo stato di libero scorrimento entro il 2030 (*CE; 2020*).

Il Consiglio Europeo ha raggiunto un accordo il 20 giugno 2023 sulla proposta di legge sul ripristino della natura. Il Consiglio ha convenuto che gli Stati membri mettano in atto misure di ripristino che portino in buone condizioni almeno il 30% degli habitat negli ecosistemi terrestri, costieri, d'acqua dolce e marini che non sono in buone condizioni entro il 2030. Ciò si applicherebbe ad almeno il 30% della superficie totale dei tipi di habitat ritenuti non in buone condizioni, in contrasto con la superficie per ciascun gruppo di habitat, come inizialmente proposto dalla Commissione. Gli Stati membri stabilirebbero tuttavia misure di ripristino su almeno il 60% entro il 2040 e su almeno il 90% entro il 2050 dell'area di ciascun gruppo di habitat che non è in buone condizioni (*Consiglio d'Europa; 2023*).

Secondo un comunicato stampa del Parlamento europeo, il 12 luglio del 2023, 336 deputati hanno votato a favore della Nature Restoration Law e 300 hanno votato contro, con 13 astensioni. Il Parlamento sottolinea che la nuova legge deve contribuire a raggiungere gli impegni internazionali dell'UE. Gli europarlamentari, inoltre, affermano che la legge si applicherà solo quando la Commissione avrà fornito dati sulle condizioni necessarie per garantire la sicurezza alimentare a lungo termine e quando i paesi dell'UE avranno quantificato l'area che deve essere ripristinata per raggiungere gli obiettivi di ripristino per ciascun tipo di habitat. Il Parlamento prevede, inoltre, la possibilità di posticipare gli obiettivi in presenza di conseguenze socioeconomiche eccezionali. Per i mesi futuri è previsto che il Parlamento avvii i negoziati con il Consiglio sulla forma finale della legislazione (*Parlamento Europeo;2023*).

A fronte delle molteplici iniziative proposte negli anni dalla Commissione Europea per conservare e tutelare la biodiversità, è diventato necessario conoscere, comprendere e controllare la biodiversità che caratterizza un determinato ambiente o ecosistema. A tal proposito, di recente, il monitoraggio è diventato uno strumento fondamentale per acquisire un adeguato livello di conoscenza della biodiversità che caratterizza un territorio. In secondo luogo, il monitoraggio diviene indispensabile per valutare lo stato di conservazione e di evoluzione della biodiversità. Infatti, per monitoraggio si intende: *“Osservazione, a scopo di controllo, di una grandezza variabile eseguita mediante appositi strumenti denominati monitor. In senso più ampio, ogni forma di indagine ricorrente e sistematica, di natura biologica, patologica, epidemiologica o di altro genere, compiuta su popolazioni umane, animali o vegetali o anche su ambienti minacciati da inquinamento, che ha come fine la programmazione di interventi miranti alla loro conservazione, gestione o risanamento”* (*Treccani;2023*). Inoltre, da questa definizione si deduce che il monitoraggio non rappresenta un'indagine statica ed effettuata una tantum, ma al contrario, è una registrazione continua o a tempi determinati e che aiuta a capire lo stato di conservazione di un fenomeno.

Il principale problema del monitoraggio della biodiversità è che molto spesso ci si trova a dover interpretare moltissime informazioni tra di loro non connesse, le quali non consentono di avere un quadro chiaro del fenomeno. Per questo motivo, oggi lo studio del monitoraggio ambientale, e nello specifico quello che si occupa della biodiversità, si avvale di indicatori.

Secondo Reid et al. (1993): *“Gli indicatori sono serie statistiche significative, utilizzabili dai decisori e dal pubblico per valutare condizioni e dinamiche, o il raggiungimento di un certo obiettivo. In modo più specifico gli indicatori possono essere usati per fornire ai decisori*

politici informazioni significative sullo stato e le dinamiche della biodiversità e supportarli nella verifica del raggiungimento di obiettivi generali. Gli indicatori servono anche ai politici per accertare se le politiche in essere abbiano raggiunto gli esiti desiderati sulla biodiversità e sono di ausilio nell'individuazione di problemi nella struttura della politica adottata”.

Ovvero, gli indicatori sono degli strumenti necessari, non solo al monitoraggio della conservazione di un fenomeno come la biodiversità, ma potrebbero esserlo anche per i decision makers in quanto essi forniscono indicazioni sul successo e progresso delle politiche.

Inoltre, negli ultimi anni si è fatta strada l'idea che gli indicatori possono essere utilizzati come base contrattuale per i pagamenti agli agricoltori; la Commissione Europea sta valutando l'ipotesi di mettere a punto degli schemi volontari basati sui risultati che incentivano gli agricoltori a implementare pratiche rispettose della biodiversità e che sono stati inseriti nelle politiche agroambientali.

La maggior parte degli schemi agroambientali sono basati sull'azione, cioè gli agricoltori ricevono un contributo per i risultati ottenuti e per l'attuazione di determinate azioni.

Si ritiene che gli schemi basati sui risultati, rispetto a quelli basati sulle azioni, qualora venissero implementati, presenterebbero diversi vantaggi ed è probabile che ci sia una maggiore accettazione da parte degli agricoltori a causa di minori restrizioni e regolamenti (*Elmiger N. et al.;2023*).

Una sfida fondamentale nella progettazione di schemi basati sui risultati orientati alla biodiversità è quella di trovare degli indicatori di biodiversità appropriati che approssimano la biodiversità e in base ai quali viene determinata la valutazione dei risultati, e quindi il pagamento dell'agricoltore. Il principale problema è che gli indici proposti dalla letteratura scientifica sono numerosissimi, mentre la Commissione Europea ha indicato la necessità di una serie limitata di indicatori standard per la valutazione della biodiversità (*Targetti S. et al.;2014*).

Alla luce di quanto è stato detto, le politiche, i programmi di monitoraggio e i loro indicatori, risultano essenziali per contrastare la perdita di biodiversità. Inoltre, è stato dimostrato che esiste una correlazione positiva tra gli sforzi di monitoraggio e l'efficacia delle politiche. Purtroppo, ad oggi molti programmi di monitoraggio e diversi progetti volti all'identificazione di nuovi indicatori sono scarsamente finanziati. Conseguentemente, i limiti di budget e le inadeguate risorse compromettono la realizzazione di tali programmi.

I limitati budget e l'avvento tecnologico, negli ultimi anni hanno portato scienziati e ricercatori a lavorare su nuove tecnologie e approcci per il monitoraggio e per la conservazione della biodiversità. A questo proposito, sono notevolmente studiati gli approcci genetici e genomici, ma soprattutto le nuove tecnologie come i veicoli aerei senza pilota. Entrando più nello specifico, questi sistemi, grazie ad una risoluzione molto fine, possono aiutare a migliorare le misurazioni puntuali sul campo oppure a livello del paesaggio, e potenzialmente verso aree più grandi, colmando il divario tra le indagini sul campo e i dati satellitari (*Alvarez-Vanhard E. et al.;2020*).Gli UAV sono stati sempre più utilizzati nell'ultimo decennio, diventando così uno strumento importante per caratterizzare diversi aspetti e varie componenti della vegetazione in molti ecosistemi in tutto il mondo. Lo strumento è ideale sia per esperimenti di ricerca che per uso operativo mirato; ad esempio, nella protezione della natura (*Müllerová J. et al.;2021*).

Alla luce dei moltissimi lavori scientifici che trattano il tema dell'utilizzo degli UAV in agricoltura e dei risultati che sono stati raggiunti grazie a queste nuove tecnologie, il presente studio, ha come obiettivo confrontare i tempi e i costi del monitoraggio in situ, svolto da tassonomi e tecnici specializzati, con il monitoraggio assistito da veicoli aerei senza pilota (UAV), valutare in modo analitico l'efficienza di entrambe le metodologie di monitoraggio e infine, di valutare se queste tecnologie possano, in futuro, essere applicate ai regimi di pagamento basati sui risultati.

Successivamente sono state sviluppate due analisi di scenario che prevedono la diminuzione dei costi di queste tecnologie del 20% e del 40%. Dunque, è stato stimato di quanto i costi di tale metodologia di rilevamento possono ridursi nei prossimi anni.

2 Biodiversità, schemi basati sui risultati e indicatori di biodiversità

Al fine di indagare al meglio sul tema della biodiversità e del suo costante declino, in questo capitolo è stato necessario analizzare le politiche per la conservazione e il ripristino degli ecosistemi che l'Unione Europea ha messo in atto.

Dall'analisi del "Manuale di orientamento per pagamenti basati sui risultati" del 2020 è stato possibile risalire alle varie metodologie di pagamento che l'UE ha attuato per finanziare la biodiversità, nello specifico, in questo capitolo è stato necessario soffermarci sui pagamenti basati sui risultati; tali schemi, costituiscono una vera e propria innovazione in quanto pagano gli agricoltori e i gestori dei terreni per i risultati ottenuti, indipendentemente dai metodi utilizzati per raggiungere tali risultati.

Come la letteratura conferma, ad esempio *Di Noemi Elmiger (2023)*, il problema principale per la realizzazione di questi schemi è l'accettazione da parte degli agricoltori e la scelta di indicatori efficaci e di successo per gli schemi a risultato. Per questo motivo sono stati analizzati gli indicatori di biodiversità proposti dalla letteratura scientifica e le caratteristiche che essi devono necessariamente possedere per essere realmente efficaci per l'attuazione degli schemi di pagamento basati sui risultati.

2.1 L'importanza della biodiversità nella PAC

Oltre 40 anni fa l'Unione Europea ha iniziato a lavorare per proteggere la natura e preservare i patrimoni nazionali. In primo luogo, sono state adottate legislazioni dedicate, come le Direttive Habitat e Uccelli, successivamente un grande contributo è stato arrivato dalla Politica Agricola Comune. Con la Riforma Mac Sharry del 1992 furono introdotte per la prima volta le misure agroambientali. Tali misure, che accompagnavano la riforma della PAC, sancite dal regolamento Cee 2078/92, tentavano di limitare la quantità di produzione incentivando l'agricoltura estensiva, e quindi la qualità della produzione stessa. A questo proposito erano previsti aiuti agli agricoltori per l'introduzione o il mantenimento di metodi di produzione agricola compatibili con la tutela dell'ambiente, del paesaggio e delle risorse naturali. Nell'ambito di tale regime sono stati approvati vari programmi di intervento che incoraggiavano l'agricoltore a considerarsi non soltanto un fornitore di prodotti alimentari ma anche tutore dell'ambiente rurale. Per quanto riguarda il rimboschimento, gli aiuti previsti dal Regolamento 2080/92 promuovevano un'utilizzazione alternativa dei terreni agricoli e lo sviluppo di attività forestali nelle aziende agricole (*Vitali G; 2010*). Poiché questa riforma non portò ai risultati

sperati, nel 2000 nacque Agenda 2000 che, tra i molteplici obiettivi, aspirava ad integrare gli obiettivi ambientali nella PAC. Con questa riforma nacquero le eco condizionalità, misure obbligatorie per la salvaguardia e la valorizzazione ambientale (*Olper A., Pertolani R.; 2003*). Successivamente, con la Riforma di medio termine del 2002, le eco condizionalità vennero ulteriormente rafforzate: gli agricoltori dovevano rispettare una serie di norme stringenti per ottenere il sostegno al reddito. Coloro che non rispettavano tali norme potevano perdere completamente il sostegno al reddito o incorrere in sanzioni (*CE; 2023*).

Nei paragrafi che seguono è stato descritto come la PAC 2014-2020 e la PAC 2023-2027 abbiano messo a disposizione una serie di strumenti per sostenere la coesistenza tra agricoltura e biodiversità.

Nel caso specifico della PAC 2014-2020 sono stati analizzati alcuni documenti della Corte dei Conti, come la relazione speciale “Biodiversità nei terreni agricoli: il contributo della PAC non ne ha arrestato il declino” che rivelano carenze nella strategia dell’UE sulla biodiversità fino al 2020 e nel suo coordinamento con la PAC.

2.1.1 La biodiversità nella PAC 2014-2020

Sono ormai molti anni che si osserva un sensibile declino del numero e della varietà di specie che vivono nei terreni agricoli, la cosiddetta “biodiversità nei terreni agricoli” (*Corte dei Conti Europea;2020*). Ragion per cui, la Commissione Europea ha adottato la Strategia sulla biodiversità nel 2011, al fine di arrestare la perdita di biodiversità e il degrado degli ecosistemi entro il 2020 e di consentire quanto prima un loro ripristino. In particolare, si è impegnata ad incrementare il contributo dell’agricoltura e della silvicoltura al mantenimento e al rafforzamento della biodiversità (*Corte dei Conti Europea;2020*). La Commissione aveva inoltre elaborato la PAC 2014-2021 che si componeva di diversi obiettivi tra cui, alcuni di questi, riguardavano il rafforzamento delle misure agroambientali, in modo da contrastare anche la notevole perdita di biodiversità che ancora oggi investe l’Europa.

Il ruolo dell’UE nella protezione e nel miglioramento della biodiversità nei terreni agricoli è fondamentale, dato che l’UE definisce gli standard ambientali attraverso la propria legislazione e cofinanzia la maggior parte della spesa agricola degli Stati membri.

Secondo il rapporto finale “Finanziamento e monitoraggio della biodiversità” della Commissione Europea, risalente al 20 maggio del 2020 (*CE et al.;2022*), per il periodo 2014-2020 la biodiversità in UE è stata finanziata attraverso:

1. Finanziamenti per la biodiversità nell'ambito del quadro finanziario pluriennale 2014-2020;
2. Livelli di finanziamento degli Stati membri nello stesso periodo;
3. Finanziamenti privati per la biodiversità nello stesso periodo.

Per il periodo 2014-2020, la Commissione aveva previsto una spesa pari all'8,1% del bilancio dell'UE (86 miliardi di euro) per la biodiversità, di cui il 77 % (66 miliardi di euro) finanziati dalla politica agricola comune (PAC) (*Corte dei Conti Europea;2020*).

Nel 2020 la Corte dei conti ha redatto una relazione che aveva la finalità di valutare il contributo della PAC al mantenimento della biodiversità e a formulare raccomandazioni per fornire un contributo utile all'elaborazione della legislazione sulla PAC 2021-2027. Secondo il suddetto documento, la Corte ha verificato se la legislazione che disciplinava la PAC nel periodo 2014-2020 fosse stata coerente con la strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020 e con le iniziative nazionali, e se il monitoraggio svolto dalla Commissione avesse fornito informazioni attendibili sulla spesa UE per la biodiversità.

Il presupposto necessario allo svolgimento di tale attività era che la PAC e la strategia Biodiversità al 2020 condividessero degli obiettivi comuni in materia di biodiversità, nonostante la prima fosse stata definita per un periodo di dieci anni e il quadro della politica agricola per un ciclo settennale; nello specifico, il punto d'incontro di queste due era rappresentato dall'obiettivo 3a (*CE; 2011*) della Strategia: "Incrementare il contributo dell'agricoltura al mantenimento e al rafforzamento della biodiversità". Questo obiettivo avrebbe dovuto essere tradotto in termini concreti in fase di elaborazione della riforma della PAC. Questo significa che la PAC ha finanziato la realizzazione della Strategia al fine di impedire la riduzione della biodiversità entro il 2020 (*Corte dei Conti Europea;2020*). Difatti, coerentemente con quanto detto, la Commissione dichiarava che un notevole contributo alla strategia sarebbe dovuto provenire dalla componente "greening" dei pagamenti diretti della PAC. Per cui, la Commissione e gli Stati membri hanno iniziato ad attuare le azioni relative all'obiettivo Agricoltura della strategia UE sulla biodiversità principalmente attraverso i pagamenti diretti (azione 8) e i programmi di sviluppo rurale (azione 9) (Figura 1) (*CE; 2011*). I pagamenti diretti sono aiuti concessi direttamente agli agricoltori per fornire loro una rete di sicurezza. Vengono concessi principalmente sotto forma di sostegno al reddito di base, non legato alla produzione e contribuiscono a stabilizzare il reddito degli agricoltori proveniente dalle vendite sui mercati, soggetti a volatilità. I pagamenti diretti sono erogati dal Fondo

europeo agricolo di garanzia, definito comunemente il “primo pilastro” della PAC (*Corte dei Conti Europea;2017*).

Figura 1 - Strumenti della PAC e collegamenti con strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020.

Strumenti della PAC		Biodiversità Obiettivo 3a
↑ Potenzialità cumulate in termini di benefici per la biodiversità	Sviluppo rurale Aspetto specifico 4A <ul style="list-style-type: none"> • Attuato mediante i programmi di sviluppo rurale • Volontari, compensativi • Massime potenzialità in termini di benefici per la biodiversità 	Azione 9 Azione 10
	Inverdimento <ul style="list-style-type: none"> • Attuato mediante i pagamenti diretti • Obbligatorio, prevede sostegno finanziario (alcuni agricoltori sono esonerati) 	Azione 8a
	Condizionalità <ul style="list-style-type: none"> • Determina la situazione di partenza • Verificata mediante i criteri di gestione obbligatori e le buone condizioni agronomiche e ambientali 	Azione 8b

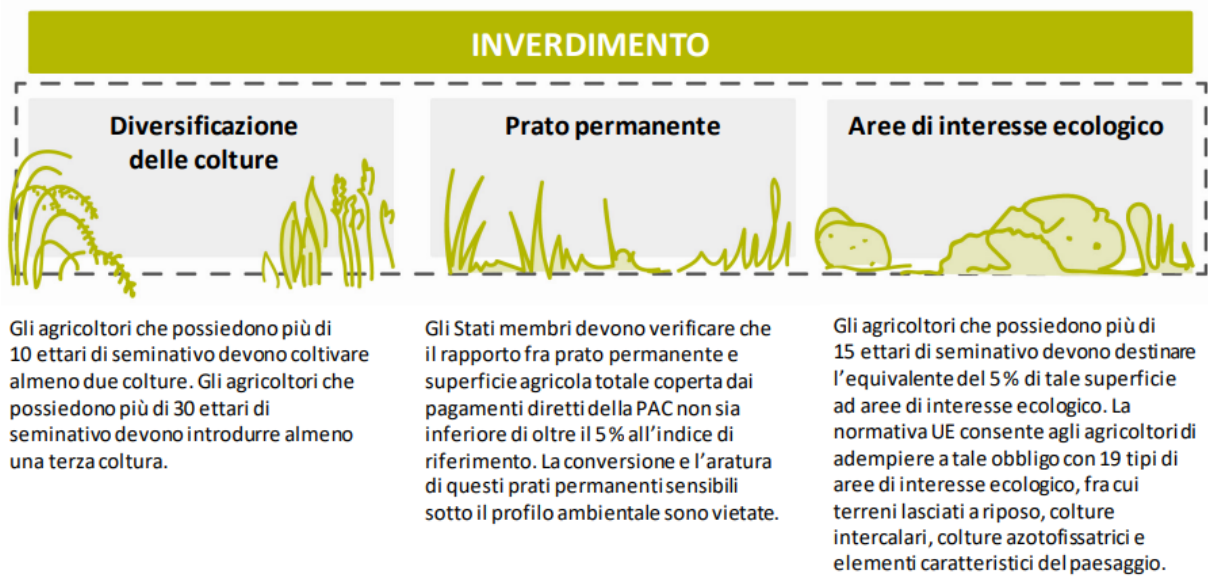
Fonte: Corte dei Conti europea.

Con oltre 40 miliardi di euro, i pagamenti diretti hanno rappresentato oltre il 70 % di tutte le spese agricole dell'UE nel 2019 (*Corte dei Conti Europea;2017*). I regimi di aiuti diretti includono il regime di pagamento di base, nell'ambito del quale gli agricoltori attivano dei diritti all'aiuto in proporzione alle superfici ammissibili da essi dichiarate, pagamento per giovani agricoltori, e la componente “greening”, pagamento forfettario per ettaro che spetta a chi osserva le pratiche ambientali sull'intera superficie aziendale ammissibile.

Quest'ultimo pagamento, anche detto “pagamento verde”, era un nuovo tipo di pagamento diretto agli agricoltori introdotto dalla riforma della politica agricola comune del 2013. Tale pagamento è stato concepito per dare attuazione al principio secondo cui gli agricoltori dovevano essere compensati per i beni che fornivano alla collettività. Il greening è nato per migliorare la performance ambientale della PAC (*Corte dei Conti Europea;2017*).

Esso include tre pratiche agricole finalizzate a produrre effetti benefici sul clima e sull'ambiente (Figura 2).

Figura 2 - Inverdimento.



Fonte: Corte dei Conti europea.

Seconde le autorità degli stati membri degli auditor della Corte, la grande maggioranza dei regimi di pagamenti diretti dell'UE non ha avuto impatto diretto misurabile nei terreni agricoli. (Corte dei Conti Europea;2020).

Nella relazione speciale del 2017 "Il greening: un regime di sostegno al reddito più complesso, non ancora efficace sul piano ambientale", la Corte dei Conti europea aveva concluso che il pagamento verde aveva prodotto scarsi risultati, infatti la sua concretizzazione aveva determinato il cambiamento delle pratiche agronomiche soltanto nel 5 % circa delle superfici agricole dell'UE; la stessa relazione inoltre, metteva in luce come non fossero chiare le modalità per cui il greening avrebbe dovuto contribuire ai più ampi obiettivi dell'UE in materia di biodiversità (Corte dei Conti Europea;2017). Anche la diversificazione delle colture ha raramente determinato una modifica delle pratiche di gestione dei terreni, come anche il mantenimento e la protezione dei prati permanenti.

Purtroppo, anche nel 2018, la Commissione ha confermato, citando la propria valutazione del pagamento greening del 2017, che gli Stati membri avrebbero potuto migliorare l'attuazione della misura per raggiungere gli obiettivi stabiliti (CE; 2018).

Concludendo, successivamente, nel 2022, la Corte dei Conti attraverso un suo comunicato stampa ha affermato che la PAC non è stata efficace nell'invertire il declino della biodiversità, che dura ormai da decenni, e l'agricoltura intensiva resta la principale causa di perdita di biodiversità. La Corte, dunque, ha rilevato carenze nella strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020 e nel suo coordinamento con la PAC. Inoltre, il monitoraggio operato dalla

Commissione sulla spesa PAC per favorire la biodiversità è inaffidabile e la maggior parte dei finanziamenti della PAC ha scarso impatto su di essa (*Corte dei Conti Europea;2020*).

2.1.2 La biodiversità nella PAC 2023-2027

Dal 2020 gli Stati Membri sono stati investiti da una serie di novità e sfide per rendere l'Europa più green. Questo perché la Commissione Europea, con il Green Deal e le altre strategie, sta cercando di invertire rotta per garantire benessere ai propri cittadini e alle generazioni future.

La nuova PAC è un elemento sostanziale per garantire il futuro dell'agricoltura e della silvicoltura, nonché per conseguire gli obiettivi del Green Deal europeo.

Per quello che riguarda gli obiettivi in materia biodiversità, la PAC post 2020 si sposa perfettamente con gli obiettivi della Strategia biodiversità 2030; anche per queste due vale il principio per cui la PAC ha finanziato, e finanzia nei prossimi anni, la Strategia biodiversità. Tra i dieci obiettivi della PAC, c'è un obiettivo specifico che riguarda la biodiversità, l'obiettivo 6: “contribuire alla protezione della biodiversità, migliorare i servizi ecosistemici e preservare habitat e paesaggi”. Il documento che descrive questo obiettivo affronta il tema della biodiversità all'interno dell'UE, con particolare attenzione ai legami con il paesaggio agricolo e gli elementi caratteristici del paesaggio. Partendo da questa tematica, tale documento suggerisce alcuni dei cambiamenti che sono necessari nel settore agricolo, illustra come la politica agricola comune post-2020 dovrebbe essere migliorata rispetto alla forma della politica per il periodo 2014-2020; nello specifico esorta ad attuare dei miglioramenti nei dati e nelle misurazioni (indagini, indicatori) in relazione alla biodiversità e ai paesaggi (*CE;2021*).

Una novità importante della PAC 2023-2027 riguarda gli eco-schemi, essi sono un altro mezzo che la Commissione mette a disposizione per raggiungere gli obiettivi del Green Deal.

Gli eco-schemi sono concepiti come pagamenti del I pilastro che vanno oltre gli impegni ambientali obbligatori (Enhanced conditionality) per tutti gli agricoltori beneficiari delle risorse PAC e che si sommano alle misure agroambientali e climatiche finanziate con i fondi del II pilastro (*WWF;2021*). Gli Stati membri dovranno obbligatoriamente stabilire schemi per il clima e l'ambiente (eco-schemi) sulla base delle esigenze e delle priorità che hanno individuato a livello nazionale e/o regionale, prevedendo un pagamento annuale aggiuntivo per superficie agli agricoltori che volontariamente si impegneranno a osservare pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente (*ISMEA; 2020*).

Gli ecoschemi sono destinati a svolgere un ruolo importante nella trasformazione dell'agricoltura europea verso una maggiore sostenibilità. Assegnando un quarto del bilancio del primo pilastro della PAC a questo nuovo strumento politico, nel periodo di programmazione 2023-2027 sarà disponibile molto più denaro per misure volte a fornire benefici ambientali e climatici. Gli eco-schemi sono concettualmente simili ai regimi agroambientali e climatici del secondo pilastro della PAC e la partecipazione a questi schemi è volontaria. A differenza delle precedenti misure di greening definite a livello UE, gli Stati membri sono liberi di scegliere le misure degli ecosistemi. Gli Stati membri partono da punti di partenza diversi in termini di esperienza con i regimi agroambientali e climatici, che guidano la scelta degli eco-schemi. Inoltre, le preferenze ambientali e le impostazioni delle risorse naturali differiscono tra i paesi dell'UE (*Runge T. et al.;2022*).

Per quanto riguarda l'origine delle misure degli ecosistemi, la maggior parte si basa su componenti derivanti da obblighi di greening che non sono diventati obbligatori. Anche se solo i terreni ammissibili al pagamento di base saranno oggetto di ecoschemi, alcuni Stati membri prevedono un'estensione dell'area ammissibile oltre tale limite. La Spagna, ad esempio, intende includere i terreni utilizzati per il pascolo come misura di prevenzione incendi nelle aree boschive e sensibili dalla natura. In Irlanda è prevista una misura di rimboschimento in base alla quale gli agricoltori dovranno piantare alberi autoctoni, mentre i terreni rimarranno ammissibili ai pagamenti dell'eco-schema anche se saranno boschivi (*Runge T. et al.;2022*).

Tabella 1 - Ambiti di azione per gli eco-schemi descritti nel regolamento PAC.

1	Mitigazione del cambiamento climatico, compresa la riduzione delle emissioni di gas serra provenienti dall'agricoltura, nonché il mantenimento dei depositi di carbonio esistenti e il miglioramento del sequestro del carbonio;
2	Adattamento ai cambiamenti climatici, comprese le azioni per migliorare la resilienza della produzione alimentare;
3	Protezione o miglioramento della qualità dell'acqua e riduzione della pressione sulle risorse idriche;
4	Prevenzione del degrado del suolo, ripristino del suolo, miglioramento della fertilità del suolo e dei nutrienti;
5	Protezione della biodiversità, conservazione o ripristino di habitat o specie, compreso il mantenimento e la creazione di elementi caratteristici del paesaggio o aree non produttive;
6	Azioni per un uso sostenibile e ridotto dei pesticidi, in particolare pesticidi che possono comportare un rischio per la salute umana o per l'ambiente;
7	Azioni per migliorare il benessere degli animali o affrontare la resistenza antimicrobica. Sistemi e diversità animale e vegetale per una maggiore resistenza alle malattie e ai cambiamenti climatici.

Fonte: WWF, *I regimi ecologici della PAC saranno degni di questo nome? Una valutazione dei progetti di regimi ecologici proposti dagli Stati membri.*

In quattordici paesi la tutela della biodiversità è un ambito di azione; in undici paesi la biodiversità è affrontata come priorità con misure dedicate. Le misure tipiche sono la definizione di elementi caratteristici del paesaggio; in Romania una misura riguarda i prati sensibili dal punto di vista ambientale a rischio di invasione da parte della vegetazione forestale. Altre opzioni per il miglioramento della biodiversità sono il mantenimento dei seminativi non produttivi al di là degli obblighi di condizionalità, il pascolo estensivo, ad esempio in Bulgaria, e i prati permanenti con diversità di specie, ma anche pratiche di protezione delle piante ridotte o favorevoli agli impollinatori. La Germania prevede una misura destinata alle aree Natura 2000 (Runge T. et al.;2022).

L'obiettivo degli eco-schemi è premiare gli agricoltori che già gestiscono la terra in modo rispettoso della natura e incentivare l'adozione di pratiche agricole specifiche alle condizioni climatiche e ambientali, o benefici per la biodiversità, nonché interventi per migliorare il benessere degli animali e combattere la resistenza.

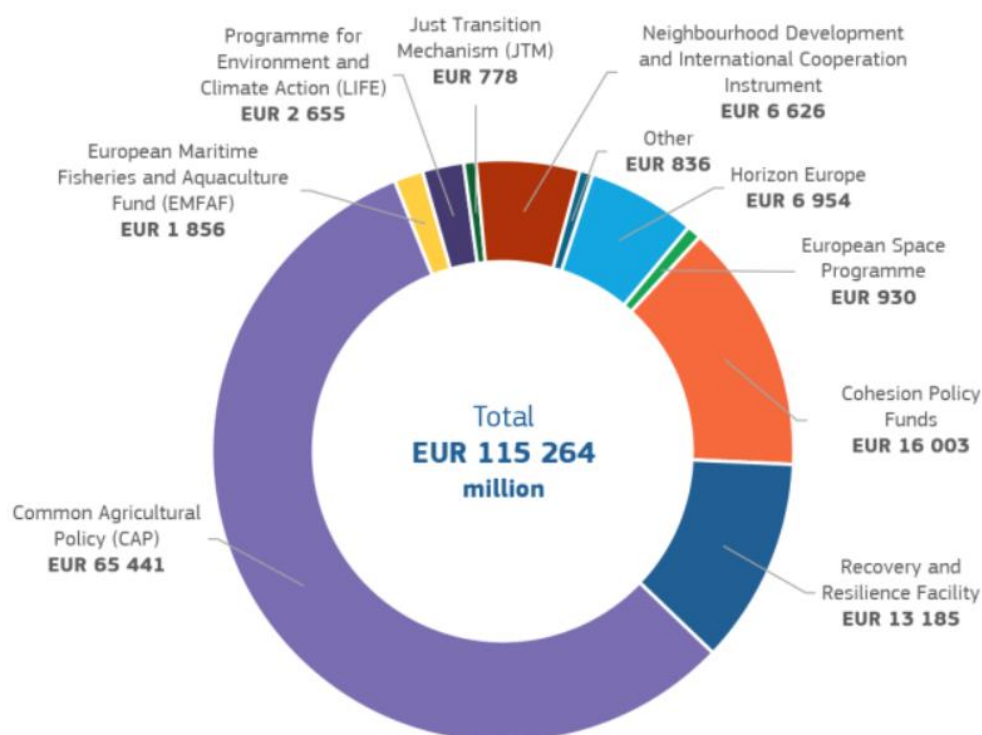
Dopo il fallimento dei pagamenti per l'inverdimento della PAC 2014-2020, che sono stati il primo tentativo di utilizzare i pagamenti diretti per scopi agroambientali, ci sono grandi aspettative sugli eco-schemi. Per realizzare il loro pieno potenziale, essi potrebbero imparare dall'esperienza di greening della PAC per evitare due grandi insidie: non dovrebbero essere utilizzati per pagare le pratiche agricole di base, né come pagamento forfettario per tutti gli agricoltori (*WWF; 2022*).

Secondo le stime fatte dal “Finanziamento e monitoraggio della biodiversità ambientale”, nel 2020 l'entità della di base a sostegno della biodiversità è stimata a 26.36 miliardi di euro all'anno. Il team che ha calcolato il suddetto valore ha anche ipotizzato la necessità di questa spesa di base ogni anno dal 2021 al 2030, per sostenere la biodiversità esistente (*CE et al.;2022*).

Lo stesso documento stima che il fabbisogno totale finanziario per raggiungere gli obiettivi della Strategia Biodiversità al 2030 ammonta a circa 481.48 miliardi di euro (non attualizzati) tra il 2021 e il 2030 (*CE et al.;2022*). Ciò si traduce in generale in un fabbisogno finanziario annuo di 48,15 miliardi di euro all'anno, valore ben più alto rispetto ai 20 miliardi di euro l'anno che sono stati stanziati per la protezione e la promozione della biodiversità tramite i fondi dell'UE e finanziamenti nazionali e privati (*CE ;2020*).

La Commissione ha dichiarato che per il periodo 2021-2027, il bilancio dell'UE, stanziava 115 miliardi di EUR, pari al 6,5 % del quadro finanziario pluriennale, alla lotta contro la perdita di biodiversità (Figura 3).

Figura 3 - Contributo alla biodiversità dal 2021 al 2027 (milioni di euro).



Fonte: Commissione Europea.

Attualmente non è possibile valutare l'efficacia della nuova PAC e la Commissione non ha ancora prodotto documenti in merito a questo. Certamente ci si aspetta che questa PAC ottenga dei risultati migliori della precedente politica, che non cada negli stessi errori che sono stati commessi nei sette anni precedenti e che sia in grado di contribuire in modo incisivo agli obiettivi del Green Deal.

2.1.3 Pagamenti basati sui risultati per la biodiversità

In Europa un'importante fonte di finanziamento che incentiva gli agricoltori a conservare e proteggere gli habitat e la fauna selvatica presente sui loro terreni agricoli sono i regimi di pagamento agroambientale.

Questi regimi si dividono in:

- Pagamenti basati sui risultati, per i quali il pagamento si riferisce al raggiungimento di un risultato ambientale definito. In questo caso all'agricoltore o al gestore del territorio è concessa la flessibilità di scegliere la gestione più appropriata per raggiungere tale

risultato. Questa forma di pagamento è attualmente poco presente e limitata in genere a casi pilota.

- Pagamenti basati sulla gestione, per i quali il pagamento si riferisce a determinati requisiti di gestione agricola che devono essere eseguiti dall'agricoltore o dal gestore del terreno (*CE et al.;2022*). Questa forma di pagamento è quella attualmente presente e diffusa in UE.

Con la riforma 2023-27 della politica agricola comune dell'UE, l'interesse degli Stati membri per l'introduzione dei regimi volontari basati sui risultati è aumentato (*Elmiger D, et al.;2023*). Questo perché essi offrono molteplici vantaggi, prima di tutto agli agricoltori che possono utilizzare le loro conoscenze ed esperienze per gestire la terra in un modo che fornisca il risultato ambientale; inoltre, consentono la costruzione di capitale sociale: gli agricoltori fanno uso delle loro conoscenze uniche e specifiche del contesto e quindi si sentono apprezzati sono incoraggiati ad assumersi la responsabilità e a "possedere" i risultati della biodiversità, e ciò può portare a un maggiore riconoscimento pubblico del ruolo degli agricoltori nel sostenere gli obiettivi della biodiversità (*Massfeller A.et al.;2022*); oltretutto con questi schemi la "produzione" di biodiversità diventerebbe parte integrante del sistema agricolo (*CE et al.;2022*).

Un'altra caratteristica di questi pagamenti riguarda i contratti, i quali specificano soltanto i risultati che devono essere raggiunti piuttosto che definire le pratiche che devono essere eseguite.

Tuttavia, in alcuni casi è difficile progettare uno schema basato sui risultati e risulta più ragionevole utilizzare uno schema basato sulla gestione. Alcune di queste situazioni possono essere rappresentate da:

- impossibilità di progettare indicatori affidabili dei risultati della biodiversità e metodi per misurarli nelle aziende agricole;
- le autorità di gestione non hanno accesso alle informazioni e alle competenze ambientali necessarie per istituire e gestire un sistema basato sui risultati;
- scarsa accettabilità dalle comunità agricole (*CE et al.;2022*).

Al fine di valutare come mai questi schemi non sono ancora molto comuni, è stato preso in considerazione uno studio svolto nel da 2022 Massfeller et al., il quale aveva come obiettivo esaminare la partecipazione a un ipotetico regime agro-ambientale basato sui risultati tra i coltivatori di seminativi nello stato tedesco del Nord Reno-Westfalia. Il progetto portato avanti

dal gruppo, ha studiato come i diversi fattori comportamentali influenzano la partecipazione allo schema e l'intensità della partecipazione.

Lo scenario ipotetico consisteva in uno schema mirato alla conservazione degli impollinatori e degli uccelli, reso operativo promuovendo una ricca presenza di erbe infestanti nell'agricoltura dei seminativi, nello specifico l'agricoltore veniva pagato per lasciare filari non seminati tra i filari normalmente seminati per consentire la crescita della specie indicatrice. Infatti, l'agricoltura intensiva, in particolare l'uso di erbicidi, contribuisce alla perdita di biodiversità nelle specie infestanti, che fungono da importante fonte di cibo e habitat per gli insetti e i loro predatori (*Van Elsen T; 2000*). Durante la sperimentazione, gli agricoltori hanno potuto facilmente verificare se la loro pratica ha avuto successo monitorando la presenza di specie infestanti nella loro area di registrazione. Sono state individuate tre specie infestanti come specie indicatrici : *Arabidopsis thaliana* (thale crescione), *Centaurea cyanus* (fiordaliso) e *Papaver rhoeas* (papavero comune).

Dai risultati ottenuti è emerso che il 60% degli intervistati sarebbe stato disposto a partecipare all'ipotetico programma basato sui risultati. In media, i partecipanti che possono immaginare di partecipare iscriverebbero il 21% della loro superficie coltivabile (*Massfeller A. et al.; 2022*). Ai non partecipanti è stato chiesto quali fossero i motivi della loro mancata partecipazione. I risultati relativi ai motivi di non partecipazione sono dovuti in particolare all'onere burocratico previsto e ai limiti percepiti dell'azienda agricola.

Per giunta, i risultati ottenuti da Massfeller e al (2022) supportano l'argomentazione sulla relazione tra fattori comportamentali e accettazione dello schema: sono state trovate prove provvisorie che i fattori cognitivi, come il rischio percepito (nuove pratiche sostenibili potrebbero avere più o meno rischi di tipo finanziario, ambientale e sanitario, rispetto alle pratiche convenzionali; pertanto, l'adozione di una pratica specifica potrebbe essere fortemente influenzata e potrebbero verificarsi pregiudizi in particolari individui con una spiccata avversione al rischio), sono rilevanti per la probabilità di partecipazione, mentre i fattori sociali sembrano essere strettamente correlati all'intensità della partecipazione, in accordo con l'argomentazione in Déssart et al. (2019).

Dal loro sondaggio, gli esperti non sono riusciti a rilevare un effetto dell'ipotetica spinta sociale sull'interesse dei partecipanti.

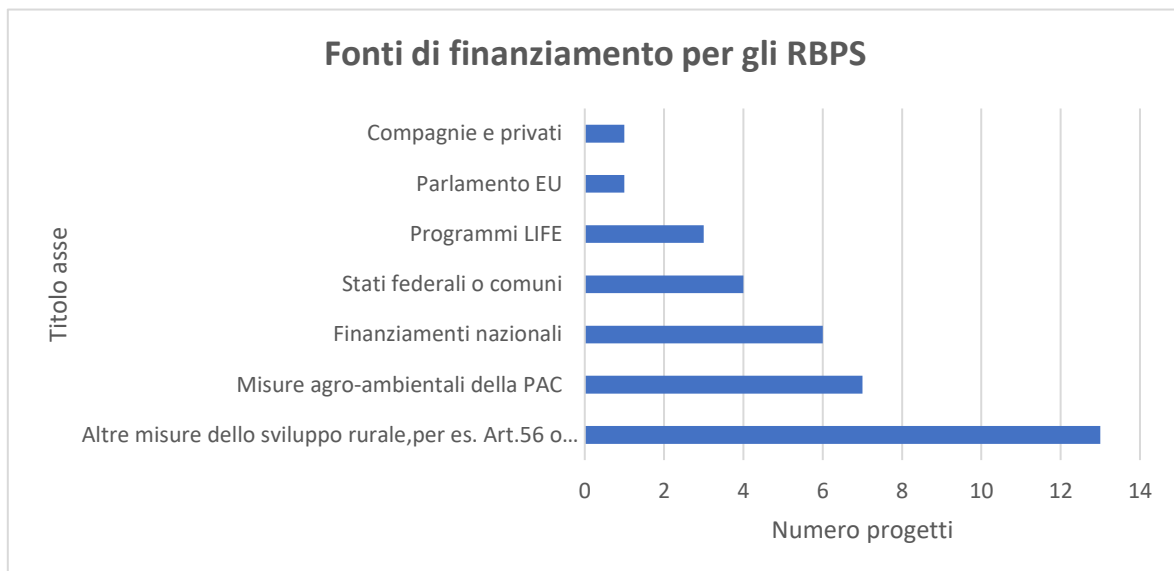
L'articolo si conclude consigliando ai decisori politici la progettazione di politiche che promuovano lo scambio di informazioni tra gli agricoltori per superare le barriere che impediscono lo sviluppo effettivo degli schemi basati sui risultati. Tale approccio potrebbe

aumentare l'accettazione di schemi basati sui risultati e costituire una valida opportunità per raggiungere gli obiettivi dell'UE in materia di biodiversità (Massfeller A. et al.; 2022).

Un altro aspetto importante, che riguarda l'analisi dei regimi di pagamento basati sui risultati, concerne le modalità di finanziamento di questi ultimi.

Questi schemi possono essere finanziati in vari modi. I regimi esistenti sono finanziati tramite fondi pubblici come la politica agricola comune dell'UE, fondi nazionali o regionali, nonché iniziative private (Grafico 1) (Result based payments network; 2023). Possono essere implementati attraverso approcci collettivi, come nei Paesi Bassi, coinvolgendo comunità locali o indigene, o tramite singoli agricoltori e gestori del territorio.

Figura 4 - Fonti di finanziamento per gli RBSP.



Fonte: <https://www.rbpnetwork.eu/european-policy/>

Nel 2014-15 la Commissione europea, con il sostegno finanziario del Parlamento europeo, ha avviato progetti pilota in aziende in Irlanda, Romania, Spagna (Navarra) e Regno Unito (Inghilterra) per dimostrare il potenziale dei regimi di pagamento basati sui risultati (RBPS) per il miglioramento della biodiversità dei terreni agricoli e raccogliere ulteriori conoscenze su come progettare e attuare tali schemi (Result based payments network; 2023).

2.2 Indicatori di biodiversità proposti per gli schemi basati sui risultati nella PAC e nella letteratura scientifica

Come già detto, una sfida importante nella progettazione di schemi basati sui risultati è la scelta dell'indicatore efficace e di successo per lo schema di risultato.

In alcuni casi, gli indicatori possono essere relativamente semplici. Ad esempio, gli indicatori possono essere singolari (presenza/assenza) e sono facilmente riconoscibili dagli agricoltori. Tuttavia, la maggior parte dei programmi orientati ai risultati esistenti in Europa mirano a promuovere lo sviluppo della biodiversità, come l'aumento della presenza di specie nei terreni coltivabili o la promozione di prati ricchi di specie (*Schwarz, G et al.;2008*). Poiché le misure della biodiversità sono complesse e possono variare su distanze relativamente brevi, è fondamentale trovare indicatori che rappresentino i risultati desiderati (*Rob J.F. Burton R.J-F., Schwarz G.;2013*).

2.2.1 Indicatori di biodiversità proposti per gli schemi basati sui risultati nella PAC

Nel manuale di orientamento “Pagamenti basati sui risultati per la biodiversità” del 2014, viene specificato che questi indicatori di biodiversità siano quantificabili, affidabili e garantiscano risultati in termini di biodiversità, siano sufficientemente equilibrati, specifici del contesto e sensibili agli impatti delle pratiche agricole, ma siano trasparenti, comprensibili e misurabili a costi ragionevoli per gli agricoltori e altri soggetti (*CE et al.;2022*).

Jonsen et al. (2011) suggeriscono che un indicatore di biodiversità soddisfi tutti i seguenti criteri:

- essere convenienti;
- fornire informazioni su diversi gruppi tassonomici;
- fornire informazioni affidabili sullo stato e sulle tendenze delle componenti sottostanti della biodiversità;
- essere informativo a più livelli e risoluzioni;
- consentire segnalazioni frequenti;
- essere significativo per il pubblico e rispondere in modo prevedibile ai principali cambiamenti politici.

Oltre queste caratteristiche, è necessario che gli indicatori di risultato nei regimi di PBR sui terreni agricoli non siano facilmente raggiungibili con mezzi diversi dalla gestione agricola, siano essere comprensibili e chiaramente collegati a obiettivi di biodiversità, che siano accettabili per i gestori del territorio e i rappresentanti degli organismi pagatori e che siano facilmente misurabile dopo la formazione iniziale (Herzon I. et al.;2018). La facilità di misurazione affidabile è uno dei fattori più importanti. Ciò limita l'utilità di molti parametri ecologici come indicatori se la loro misurazione richiede tecniche e conoscenze specializzate. Per questo motivo, la maggior parte dei regimi di pagamento basati sui risultati utilizza pertanto le caratteristiche biofisiche o le misure della presenza delle specie come indicatori di risultato (CE et al.;2022).

La normativa che disciplina la PAC prevede che gli Stati membri valutino in che misura gli interventi del PSR hanno fornito un sostegno al ripristino, alla salvaguardia e al miglioramento della biodiversità, segnatamente nelle zone Natura 2000, nelle zone soggette a vincoli naturali o ad altri vincoli specifici, nell'agricoltura ad alto valore naturalistico, nonché all'assetto paesaggistico dell'Europa. Vi è un unico indicatore di risultato, previsto dal QCMV (Quadro Comune di Monitoraggio e Valutazione), utile a tal fine: "Percentuale complessiva di terreni agricoli oggetto di contratti di gestione a sostegno della biodiversità e/o dei paesaggi". Per la PAC concernente il periodo successivo al 2020, la Commissione ha proposto tre indicatori di risultato per valutare la biodiversità nei terreni agricoli (Figura 4) (Corte dei Conti Europea;2020).

Figura 5 - Indicatori di risultato collegati alla biodiversità per la PAC post 2020.

Cosa la Commissione intende misurare	Come la Commissione propone di misurare
Indicatori di risultato	
R.27 Preservare gli habitat e le specie	percentuale di terreni agricoli soggetti a impegni in materia di gestione a sostegno della conservazione o del ripristino della biodiversità
R.28 Sostenere Natura 2000	Zone dei siti di Natura 2000 soggette a impegni in materia di protezione, mantenimento e ripristino
R.29 Preservare gli elementi caratteristici del paesaggio	percentuale di terreni agricoli soggetti a impegni in materia di gestione degli elementi caratteristici del paesaggio, incluse le siepi

Fonte: Corte dei conti Europea

2.2.2 Indicatori di biodiversità proposti per gli schemi basati sui risultati nella letteratura scientifica

Elmiger et al. (2023) hanno analizzato e sintetizzato gli indicatori di biodiversità proposti per gli schemi basati sui risultati nella letteratura scientifica.

Gli indicatori di biodiversità possono essere classificati in indicatori biotici (*Diekmann M.;2003*) e non biotici (*Kleinebecker T. et al.2018*). Gli indicatori biotici includono tutti gli esseri viventi, come piante, insetti o mammiferi, mentre gli indicatori non biotici includono le condizioni ambientali e gestionali ad esempio, siepi, fossati e muretti a secco.

Dagli studi esaminati da Elmiger e i suoi colleghi è emerso che su sedici, dodici si sono concentrati sulla conservazione della biodiversità nelle praterie e uno ha esaminato il caso delle siepi.

Dalla letteratura che è stata revisionata da Elmiger, è chiaro che gli indicatori di biodiversità devono soddisfare determinati criteri per essere adatti a schemi basati sui risultati. I due criteri più importanti sono: 1) la rappresentatività per l'habitat o la specie target e 2) la semplicità della valutazione sul campo (*Elmiger D. et al.; 2023*).

Lo studio si è concentrato sul riepilogo e sulla valutazione degli indicatori unidimensionali proposti e poi degli indici compositi (Tabella 2).

Il tipo di uso del suolo su cui si concentra la maggior parte degli studi con elenchi di indicatori unidimensionali, è il pascolo; altri sono siepi (per esempio Ruas et al., 2021) e seminativi (per esempio Chaplin et al., 2021). Tutti gli studi incentrati su un tipo di uso del suolo che utilizzano elenchi di indicatori unidimensionali hanno scelto specie vegetali o gruppi di specie come indicatori più adatti.

Nella Tabella 2 sono presenti anche gli obiettivi secondari che servono a distinguere gli studi tra di loro.

Pertanto, gli elenchi di indicatori unidimensionali sono stati separati in tre gruppi: 1) elenchi di indicatori per rilevare praterie ricche di specie, 2) elenchi di indicatori per rilevare praterie ricche di specie con bassa intensità di uso del suolo e 3) elenchi di indicatori che equilibrano obiettivi agronomici ed ecologici. Nel caso dei seminativi, l'obiettivo è la promozione degli uccelli dei terreni agricoli e impollinatori fornendo colture alimentari e fiori ricchi di nettare.

Tabella 2 - Sintesi degli schemi proposti da Elmiger et al. (2023).

Studio	Paese/Regione	Obiettivo secondario	Indicatori	Unidimensionale VS. Composito
Schemi proposti per i prati				
Wittig et al.(2006)	Germania, Bassa Sassonia	/	43 specie vegetali o gruppi di specie	Unidimensionale
Hofit et al. (2007)	Germania, Meclemburgo,pomerania occidentale	Bassa intensità di uso del suolo	1. Forbe non definite 2. 30 specie vegetali o gruppi di specie	Unidimensionale
Matzdorf et al. (2008)	Germania,Brandeburgo	Bassa intensità di uso del suolo	30 specie vegetali o gruppi di specie	Unidimensionale
Bertke et al. (2008)	Germania, Bassa Sassonia	Bassa intensità di uso del suolo	31 specie vegetali o gruppi di specie	Unidimensionale
Bertke et al. (2008)	Germania, Bassa Sassonia	Bassa intensità di uso del suolo	40 specie vegetali o gruppi di specie	Unidimensionale
Kaiser et al. (2010)	Germania,Brandeburgo	Bassa intensità di uso del suolo	27 specie vegetali raggruppate in quattro gruppi di umidità	Unidimensionale
Magda et al. (2015)	Francia	Bilanciamento degli obiettivi agronomici ed ecologici	37 specie vegetali	Unidimensionale
Birge et al.(2017)	Finlandia, Uusimaa	Basso consumo del suolo	24 specie vegetali o gruppi di specie	Unidimensionale
Kaiser et al.(2019)	Germania, Brandeburgo	Basso consumo del suolo	71 specie vegetali, ponderate secondo un obiettivo specifico	Unidimensionale
Tasser et al.(2019)	Austria, Francia,Germania,Italia	Bassa intensità di uso del suolo	1.Indice di colore del fiore 2.Abbondanza di farfalle diurne 3.Grado di strutturazione degli appezzamenti agricoli	Composito
Sumrada et al.(2021)	Slovenia,Carso	Bassa intensità di uso del suolo	Patch diversity index, 57 specie vegetali o gruppi di specie, raggruppate in indicatori positivi e negativi	Composito
Ruas et al. (2021)	Irlanda, Contea di Sligo e Contea di Wexford	Bassa intensità di uso del suolo	32 specie vegetali o gruppi di specie positivi,3 specie vegetali o gruppi di specie negativi	Unidimensionale
Schemi proposti per i seminativi				
Chaplin et al. (2021)	Regno Unito, Norfolk e Suffolk	1.Promozione degli uccelli agricoli 2.Promozione degli impollinatori	1. 11 colture da seme, che servono come cibo per gli uccelli 2.20 piante ricche di nettare	Unidimensionale (due liste)
Schemi proposti per le siepi				
Ruas et al.(2021)	Irlanda, Contea di Sligo e Contea di Wexford	/	Da 71 a 72 specie indicatrici positive, da 22 a 23 specie indicatrici negative	Unidimensionale
Schemi proposti per i sistemi aziendali				
Hasund (2011),Hasund (2013)	Svezia, Selao e Vetlanda	Promozione di beni pubblici	7 unità di indicatore composte da più variabili ponderate 1. Indicatore seminativo (Ettari qualitativi) 2. Indicatore dei prati permanenti (ettari qualitativi) 3. Indicatore elementi lineari (metri qualitativi); es. promontori, muri in pietra, fossati 4. Indicatore punto campo elementi (numero qualitativo); ad es., stagni, isolotti campestri ed edifici tradizionali ridondanti sul campo 5.Indicatore del bordo forestale (metri qualitativi) 6. Indicatore albero bio-ricco (numeri qualitativi) 7. Indicatore relitto storico (numeri qualitativi)	Composito

Fonte- Elmiger et al. (2023).

Dalla revisione degli autori è emerso che la maggior parte degli studi ha basato la selezione iniziale o l'adeguamento degli indicatori su pareri di esperti e criteri di selezione. Questi criteri includono, ad esempio, l'intensità dell'uso del suolo e il riconoscimento da parte degli agricoltori. Invece, altri studi includevano, accanto agli esperti, anche altri portatori di interessi nella selezione degli indicatori, e tali portatori di interesse erano rappresentati dalle autorità pubbliche, dagli agricoltori e dai rappresentanti di organizzazioni per la conservazione della natura. Inoltre, quasi tutti gli studi, propongono che gli agricoltori eseguano l'autovalutazione delle piante indicatrici durante la stagione della fioritura per le praterie, di solito a partire da maggio e prima del primo taglio. Pertanto, tali studi sottolineano l'importanza di un piccolo numero di piante indicatrici facilmente riconoscibili per rendere possibile la valutazione per gli agricoltori.

Secondo gli autori la maggior parte degli schemi utilizza elenchi di indicatori semplici e unidimensionali. Pertanto, si concentrano piuttosto su sistemi relativamente piccoli (vale a dire, a livello di specie o tipo di uso del suolo) rispetto a sistemi più grandi (ad esempio, a livello di azienda agricola o di paesaggio).

Inoltre, dalla revisione è emerso che gli studi precedenti propongono più spesso l'utilizzo di elenchi di indicatori unidimensionali. In confronto, studi più recenti propongono più spesso che la biodiversità dovrebbe essere misurata sulla base di molti altri aspetti oltre alla diversità delle specie vegetali per rappresentare meglio la complessità della biodiversità e che gli indicatori dovrebbero essere adattati alle condizioni su scale regionali più piccole.

In conclusione, dall'analisi della letteratura scientifica sugli indicatori di biodiversità prodotta negli ultimi anni e, considerando i pareri della corte dei conti e delle altre autorità pubbliche che hanno recentemente valutato il contributo delle politiche europee al recupero e alla conservazione della biodiversità, per informare i responsabili politici e migliorare lo stato della biodiversità, la progettazione di indicatori di biodiversità per i regimi basati sui risultati deve considerare come rappresentare al meglio la biodiversità nella sua complessità e la sua accettazione pratica da parte degli agricoltori. Avere elenchi di indicatori e indici che considerano vari aspetti della biodiversità e il potenziale di biodiversità regionale può possibilmente riflettere meglio la biodiversità.

Inoltre, il problema principale che impedisce ai RBPS di essere implementati su larga scala riguarda sicuramente i costi legati al monitoraggio, in quanto la presenza delle specie indicatrici deve essere controllata in loco da personale qualificato. Sicuramente, le future soluzioni digitali, come le app per smartphone, potranno contribuire a migliorare il monitoraggio. Nello specifico, nel capitolo successivo sarà brevemente spiegate come deve essere strutturato un programma

di monitoraggio e quali sono i principali costi che lo caratterizzano, e in che modo il telerilevamento assistito da veicoli aerei senza pilota contribuisce a progettare paesaggi agricoli rispettosi della biodiversità.

3. Monitoraggio della biodiversità

Come descritto nel primo capitolo, alla base degli studi sulla biodiversità c'è il suo monitoraggio. Il monitoraggio, cioè la rilevazione periodica e sistematica di determinati parametri, è uno strumento essenziale per lo studio dei sistemi ambientali, al quale è possibile ricondurre tre funzioni principali: fornire informazioni sulle variazioni rispetto allo stato desiderato; misurare il successo delle azioni di gestione e conservazione; rilevare gli effetti di perturbazioni e disturbi (*Legg, C. J., & Nagy, L.;2006*).

Sono ormai diversi anni che scienziati e ricercatori lavorano su nuove tecnologie per il monitoraggio e per la conservazione della biodiversità. A questo proposito, sono di notevole importanza i dati genomici, i quali possono aiutare ad affrontare il problema della conservazione della biodiversità poiché consentono di caratterizzare e monitorare la diversità genetica attraverso un'ampia gamma di strumenti emergenti (*Theissinger K. et al.;2023*).

Gli approcci genetici e genomici comunemente utilizzati nella ricerca sulla biodiversità includono la codifica a barre/metabarcode del DNA, le tecniche di rappresentazione ridotta del DNA, il sequenziamento del trascrittoma (RNA-Seq) e il (ri)sequenziamento dell'intero genoma (*Theissinger K. et al.;2023*).

Altri strumenti come i veicoli aerei senza pilota (UAV) sono diventati uno dei principali mezzi per il monitoraggio della biodiversità, contribuendo così alla sia conservazione e a gestione agricola rispettosa dell'ambiente; inoltre, gli ultimi sviluppi, come la miniaturizzazione e la riduzione dei costi dei sensori iperspettrali, promettono molte nuove applicazioni di questi ultimi in futuro (*Librán-Embí F. et al.;2020*).

In questo capitolo, basandosi sulla letteratura presente, ad esempio *Hinds (1984)*, *Silsbee e Peterson (1992)* e *Caughlan e Oakley (2001)* è stata fatta una breve descrizione di come deve essere strutturato un programma di monitoraggio e quali sono i principali costi che lo caratterizzano.

Inoltre, l'obiettivo di questo capitolo è spiegare in che modo il telerilevamento assistito da veicoli aerei senza pilota contribuisce allo studio e alla raccolta di informazioni necessarie per lo sviluppo di paesaggi agricoli rispettosi della biodiversità e a mitigare il compromesso tra rendimento e biodiversità. Successivamente viene fatta una breve panoramica dei principali sensori usati per il telerilevamento tramite UAV (veicoli aerei senza pilota).

Numerosi articoli scientifici e progetti di ricerca affrontano il declino globale della biodiversità (*Butchart, S.H.M et al.; 2010*). In risposta, le iniziative politiche per invertire il declino della biodiversità sono aumentate in numero e nella loro copertura globale. Il monitoraggio della biodiversità è necessario per informare sui possibili effetti collaterali positivi o negativi delle pratiche di gestione, fattori esterni (ad esempio il cambiamento climatico) e di altre misure politiche come la direttiva europea sulle energie rinnovabili (*Geijzen et al.; 2016*).

In Europa esistono molti schemi di monitoraggio della biodiversità, purtroppo molti di questi operano su scala nazionale e non europea per motivi linguistici ed istituzionali. Esistono anche reti di monitoraggio “citizen science” in grado di fornire dati a livello paneuropeo sulla biodiversità che sono sempre più utilizzati nei report, come, per esempio, il Pan-European Common Bird Monitoring Scheme e il monitoraggio europeo delle farfalle (*Brereton, T et al.; 2009*).

Uno strumento interessante che la Commissione ha recentemente messo a disposizione degli Stati Membri è il Monitoraggio Europeo della Biodiversità nei Paesaggi Agricoli (*EMBAL*) che ha proprio l’obiettivo di raccogliere informazioni sullo stato della biodiversità nei paesaggi agricoli negli Stati membri dell’UE. Qualche anno fa, la Commissione ne ha avviato lo sviluppo con l’obiettivo di colmare le lacune critiche di conoscenza che hanno ostacolato lo sviluppo, l’attuazione e la valutazione delle pertinenti politiche dell’UE, in particolare della strategia dell’UE sulla biodiversità e della politica agricola comune dell’UE. *EMBAL* è un approccio di campionamento basato su un’indagine sul campo standardizzata, quindi la raccolta di dati *in situ*, e serve a diversi scopi:

- Registrazione della situazione attuale della copertura del suolo e della biodiversità nei paesi dell’UE a livello paesaggistico;
- Registrare le tipologie, la qualità e l’estensione della copertura del suolo e degli elementi paesaggistici all’interno del paesaggio agricolo.

Dopo anni di sviluppo e sperimentazione, la Commissione ha lanciato l’implementazione completa di *EMBAL* in tutti i 27 paesi dell’UE nel 2022 e nel 2023 (*CE; 2023*).

Nonostante ciò, la mancanza di capacità tecniche o istituzionali e la mancanza di finanziamenti sono problemi diffusi per il monitoraggio della biodiversità (*PJ Stephenson; 2020*); però una delle difficoltà principali per lo sviluppo di un programma di monitoraggio è di natura

economica poiché esso è particolarmente costoso (*Hinds T.;1984*). Nonostante gli elevati costi nel 2006 Naidoo et al., hanno dimostrato che l'efficacia delle politiche è positivamente correlata alla presenza di attività di monitoraggio (*Naidoo, R.; et al.;2009*). Se i decisori politici sono seriamente intenzionati a realizzare gli obiettivi della Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030; “Riportare la natura nella nostra vita”, il monitoraggio della biodiversità su scala multinazionale dovrebbe essere parte integrante dei criteri di monitoraggio e rendicontazione di uno strumento politico europeo come la PAC. Purtroppo, come chiarisce l’audit della Corte dei conti del 2020, i risultati del monitoraggio della biodiversità lasciano chiaramente intendere che la PAC non basta a contrastare le pressioni che l’agricoltura esercita sulla biodiversità negli habitat seminaturali o nelle zone agricole a gestione più intensiva (*Corte dei Conti Europea;2020*).

In generale è necessario che i responsabili politici e gli agricoltori conoscano lo stato della biodiversità dei terreni agricoli per raggiungere gli obiettivi di conservazione e valutare le opzioni di gestione (*Herzog F. et al.;2016*). Per questo motivo è sempre più importante mettere a punto dei progetti di monitoraggio che siano dal punto di vista dei costi convenienti, ecologicamente rilevanti e statisticamente credibili (*Hinds T.;1984*).

Il monitoraggio della biodiversità è principalmente realizzato da quattro gruppi di parti interessate con motivazioni alquanto diverse:

- ONG per la protezione della natura, i cui membri hanno una motivazione intrinseca a proteggere la biodiversità;
- Ministeri dell’Ambiente, i loro collaboratori spesso condividono l'etica e Ministeri dell'Agricoltura (spesso a causa della necessità di giustificare i pagamenti ambientali agli agricoltori);
- Università e centri di ricerca che svolgono delle indagini per motivi di ricerca;
- un partenariato pubblico-privato tra organizzazioni governative e industrie private con attività commerciali nelle aree rurali, interessate a valutare le conseguenze ambientali delle loro attività (*Herzog F. et al.;2016*).

Di solito, le parti interessate forniscono anche le risorse per i programmi di monitoraggio, sia attraverso il lavoro volontario, sia attraverso finanziamenti (*EEA;2013*).

3.1 Progettazione di un programma di monitoraggio

In questo sotto capitolo viene spiegato come dovrebbe essere strutturato un programma di monitoraggio e quali sono i costi che lo caratterizzano.

Partiamo dal presupposto che nella progettazione di un sistema di monitoraggio, è necessario affrontare molte domande diverse, come cosa, come, dove e quando misurare, come archiviare e analizzare i dati e come presentare i risultati, per citare solo le più ovvie. A tutte queste, e ad altre domande, occorre rispondere mirando a un programma che contribuisca a una gestione efficace ed efficiente della natura e dell'ambiente. La progettazione completa di un sistema di monitoraggio è una questione complessa e non sorprende che molti programmi operativi di monitoraggio siano "mal progettati" (*Furness, RW et al.;1993*). Nel 1997 Vos et al. suggerivano che un modo per ridurre al minimo la complessità di questo sistema fosse suddividere l'intero processo di progettazione in componenti separate, rendendo così più facile affrontare un problema alla volta, affrontare i componenti in un ordine e livello di dettaglio appropriati in ogni fase del processo di progettazione e applicare le opportune considerazioni a ciascun componente. Pertanto, per l'istituzione di un programma di monitoraggio ben progettato, è necessario un quadro generale e sistematico (*Vos P. et al.;1997*).

A seguito di una revisione della letteratura scientifica presente è stato possibile confermare che il processo di monitoraggio comprende tre fasi principali: progettazione, test e implementazione; tuttavia, Silsbee e Peterson nel 1992, poi Vos et al. nel 1997 e Cauhglan e Oakley nel 2001, partendo dai lavori di Hinds del 1984, hanno spiegato come dovrebbe essere progettato un programma di monitoraggio.

1. Definizione degli obiettivi: si possono distinguere due tipi di obiettivi generali: valutazione dello stato e rilevamento del cambiamento (*Vos P. et al.;1997*). Per quanto riguarda gli obiettivi essi sono spesso dati per scontati. La definizione accurata degli obiettivi nella fase di progettazione è spesso l'elemento più difficile e critico nello sviluppo di un programma di monitoraggio (*Garton, E.O. et al.;1984*). Obiettivi e priorità ben definiti forniscono la base per tutte le successive decisioni e compromessi nella progettazione del programma (*Silsbee D.G. e Peterson D. L.; 1995*). L'importanza di stabilire obiettivi appropriati e chiari non può essere sottovalutata altrimenti il risultato è che tempo e denaro vengono sprecati nel tentativo di decidere cosa monitorare e come farlo senza avere un'idea chiara di ciò che il programma dovrebbe realizzare. Spesso i gestori delle risorse vogliono raggiungere contemporaneamente più obiettivi, il che complica enormemente la definizione delle priorità. Investire in un processo

di pianificazione per stabilire obiettivi chiari che siano logicamente collegati agli scopi dell'organizzazione che esegue il monitoraggio è probabilmente l'investimento più importante che i progettisti di un programma possano fare (*Caughlan et Oakley,2001*).

2. Oggetti e variabili: descrivono gli stati ecologici e le tendenze che possono essere classificate in tre tipi, a seconda dell'argomentazione utilizzata per selezionarli: variabili che descrivono gli endpoint valutati ("variabili finali"), variabili all'inizio della catena causale ("variabili intermedie") e variabili che possono essere usate come surrogati per variabili finali o intermedie ('indicatori') (*Silsbee D.G. e Peterson D. L.; 1995*).

3. Strategia di campionamento: scelte importanti riguardano le modalità di selezione del sito (specifico, rappresentativo, regolare o casuale) e l'eventuale suddivisione dell'area totale di monitoraggio (stratificazione). La strategia di campionamento è fortemente correlata alle finalità, agli obiettivi del programma di monitoraggio, e più in particolare, alla necessità di identificare le cause del cambiamento, e all'analisi statistica prevista: la strategia dovrebbe consentire l'analisi statistica e le interpretazioni necessarie per correlare la causa ed effetto (*Vos P. et al.;1997*).

4. Raccolta dei dati: durante la progettazione, le scelte riguardanti i metodi da applicare sul campo, lo sforzo totale e la sua allocazione nel tempo e nello spazio come il numero e localizzazione di siti o parcelle, e le frequenze di misurazione, devono portare a uno schema di campionamento completo. Nella fase operativa del monitoraggio ecologico, la raccolta di dati imporrà un reclamo sostanziale sui mezzi disponibili. Pertanto, la valutazione e l'ottimizzazione dei costi e dell'efficacia sono importanti. Tale ottimizzazione si basa sull'analisi statistica prevista, utilizzando il potere statistico come misura importante dell'efficacia. La semplicità e l'economia sono importanti in ogni fase dello sviluppo del programma perché il programma dovrà essere sostenuto per molti anni attraverso cambiamenti nel personale e cambiamenti nelle priorità di finanziamento (*Garton E. et al.;1984*). Tuttavia, la semplicità e l'economia non devono andare a scapito del rigore metodologico e della validità statistica. Fin dall'inizio, è necessario riflettere su come i dati verranno elaborati, analizzati e archiviati (*Hinds T.;1984*).

5. Trattamento dei dati: comprende l'archiviazione dei dati, l'analisi statistica dei dati, la loro interpretazione e la presentazione dei risultati. In particolare, il flusso di dati possibilmente ampio e sicuramente continuo richiede un database operativo da elaborare in anticipo e attivo prima che il flusso abbia inizio. Inoltre, i metodi per le analisi statistiche devono essere determinati in anticipo per verificare la compatibilità con le scelte precedenti relative a oggetti

e variabili, strategia di campionamento e raccolta dei dati. Infine, vanno considerate le possibilità di presentazione dei risultati in forma aggregata, considerando la riduzione dei dati e interpretabilità (Vos P. et al.;1997).

6. **Mantenimento:** include non solo un regolare controllo di qualità della raccolta dei dati, ad esempio mediante reciproche visite sul campo, e della loro gestione, ma anche una valutazione regolare dell'intero programma alla luce delle mutevoli esigenze di informazione e cambiamenti nell'ambiente, ad esempio, un cambiamento su larga scala nell'uso del suolo. Modalità e momenti di valutazione e controllo della qualità devono essere previsti durante il processo di progettazione (Vos P. et al.;1997).

7. **Organizzazione:** comprende tutti gli aspetti gestionali delle componenti di un programma operativo: raccolta dati, gestione dati e manutenzione (Vos P. et al.;1997).

Oltre questi sette punti su cui si basano i metodi di monitoraggio, è importante sottolineare che le tecniche dovrebbero essere scelte in modo da essere il più insensibili possibile alle differenze tra gli osservatori, perché è probabile un sostanziale turnover del personale e perché il personale sul campo potrebbe non essere sempre altamente addestrato (Davis G.E.;1989). Inoltre, è essenziale che le nuove tecniche siano calibrate rispetto alle vecchie tecniche ogni volta che i metodi vengono modificati; in tal caso le modifiche dovrebbero essere ridotte al minimo (Lund H.G.;1993).

In generale è importantissimo, una volta che i metodi e i siti di campionamento sono stati selezionati, condurre uno studio pilota per determinare se il programma che è stato sviluppato può realisticamente raggiungere gli obiettivi fissati all'inizio (Hinds T.;1984). Ciò dipende principalmente da due fattori: in primo luogo, l'effettivo svolgimento di alcuni campionamenti consente una migliore determinazione del costo e del tempo coinvolti rispetto a una stima anticipata; in secondo luogo, l'analisi dei dati preliminari consente di stimare la varianza nello spazio e nel tempo degli attributi monitorati. Solo dopo che la varianza dei dati e la dimensione ragionevole del campione sono note, è possibile stimare la capacità del programma di monitoraggio di rilevare il cambiamento. Se l'analisi preliminare dei dati rivela che il budget disponibile è sufficiente per soddisfare gli obiettivi del programma di precisione dei risultati e potere statistico per rilevare il cambiamento, allora è ragionevole procedere con l'attuazione del programma. In caso contrario, è necessario un ulteriore perfezionamento. Questo perfezionamento può comportare la riduzione del numero di attributi da misurare, l'abbassamento degli standard di precisione e potenza dei risultati, e quindi la riduzione della dimensione del campione necessaria, la riduzione dell'ampiezza delle aree da cui desideriamo

trarre conclusioni, riducendo anche quindi il numero di campioni necessari, ed eliminando gli obiettivi di priorità inferiore (*Silsbee D.G. e Peterson D. L.; 1995*).

Come diversi autori hanno potuto constatare, ad esempio Caughlan e Oakley (2001) alcuni dei problemi principali del monitoraggio sono rappresentati dai costi elevati e dagli scarsi finanziamenti, per cui l'obiettivo del programma deve essere assolutamente prioritario (*Caughlan et Oakley,2001*). Ovviamente, identificare chiaramente i costi e i benefici di un programma aiuterà in questo processo di definizione delle priorità. Purtroppo, molto spesso i veri costi del monitoraggio non vengono riconosciuti e vengono quindi sottovalutati. In un programma di monitoraggio è quindi fondamentale tenere conto di tutti i costi che si verificano durante ciascuna fase del programma di monitoraggio e del confronto tra benefici e costi (*Silsbee D.G. e Peterson D. L.; 1995*).

Nel 2001 Caughlan e Oakley hanno caratterizzato due tipi di costi di monitoraggio: i costi di bilancio e i costi economici. I costi di bilancio sono i dollari effettivi spesi nel processo di sviluppo e gestione di un programma di monitoraggio. Identificare i costi di bilancio è importante perché i costi per attività cruciali per il successo del monitoraggio che vengono trascurati possono minacciare la qualità di un programma di monitoraggio. I costi economici del monitoraggio includono i costi opportunità dei dollari spesi per il monitoraggio essi ci sono importanti da comprendere perché sono questi i costi con i quali verranno infine confrontati i vantaggi del programma. I costi opportunità di un programma di monitoraggio sono i benefici cui si rinuncia allocando le risorse per il monitoraggio piuttosto che per qualche altra attività di gestione (*Caughlan et Oakley,2001*).

Entrando nello specifico dei costi di bilancio, essi includono i costi di avvio o di sviluppo e i costi del monitoraggio regolare una volta che il programma è operativo. A loro volta i costi di avvio includono un processo di definizione degli obiettivi, la stesura di un progetto concettuale, degli studi pilota metodologici e lo sviluppo di sistemi di supporto amministrativo (*Caughlan et Oakley,2001*).

Una volta che un programma di monitoraggio è operativo, i costi di bilancio possono essere suddivisi nelle seguenti categorie principali: supervisione scientifica; raccolta di dati tra cui manodopera, formazione, viaggi, forniture e attrezzature; gestione dei dati; garanzia della qualità; analisi e reporting dei dati; amministrazione e altre spese come l'ammortamento (*Caughlan et Oakley,2001*).

Riconoscere e includere i costi associati alla supervisione scientifica è importante, perché gli scienziati qualificati sono ben pagati e dovranno essere assunti a lungo termine per essere efficaci. I costi della supervisione scientifica possono quindi rappresentare una parte

significativa del budget, ma questi costi sono generalmente dati per scontati e quindi ignorati (*Caughlan et Oakley,2001*).

Spesso, la maggior parte del budget di un programma di monitoraggio viene spesa per i costi associati alla raccolta dei dati. L'analisi di alcuni progetti di monitoraggio fatta da Caughlan e Oakley mostra che il 25-30% del budget del programma di monitoraggio dovrebbe essere utilizzato per la gestione dei dati, la valutazione e il reporting;

Un'altra componente critica di un programma di monitoraggio che dovrebbe essere esplicitamente preventivata è la valutazione della qualità, Clark e Whitfield nel 1993 hanno suggerito che almeno il 30% del budget complessivo dovrebbe essere assegnato alla qualità (*Clark, M.J.R., et al.;1993*).

Il turnover del personale è un vincolo importante per il monitoraggio; indipendentemente dal metodo utilizzato nelle strategie di raccolta dei dati, i cambiamenti nel personale che raccoglie i dati possono portare a cambiamenti significativi nel livello medio o nella variabilità di una misurazione.

Inoltre, un elemento particolarmente importante è la rendicontazione dei dati, poiché la rendicontazione comunica i risultati, dimostrando il valore del programma (*Caughlan et Oakley,2001*).

Per quanto riguarda i costi economici, i costi economici di un programma di monitoraggio includono i costi esterni. I costi esterni sono quei costi che ricadono su altri e che non sono direttamente coperti dal budget del programma di monitoraggio (*Loomis, J.B., Walsh, R.G., 1997*). Ad esempio, alcune attività di monitoraggio si svolgono nell'ambito di ricerche finanziate da altri programmi. Questi costi esterni sono sovvenzionati dalle attività dell'agenzia non pagate dal budget di monitoraggio.

I costi di monitoraggio sono solitamente trattati erroneamente come vincoli fissi, piuttosto che come variabili che possono essere manipolate o controllate (*Silsbee D.G. e Peterson D. L.; 1995*). I costi fissi sono quelli che non variano con i cambiamenti nel programma di monitoraggio. I costi fissi comprendono l'investimento di capitale, le spese amministrative e un budget fisso per i costi variabili. I costi variabili sono quelli che variano direttamente con i cambiamenti nel programma di monitoraggio. I costi variabili aumenteranno con la frequenza di campionamento e il numero di campioni. Inoltre, i costi variabili includono il funzionamento e la manutenzione, compresa la manodopera, i materiali di consumo e le utenze (*Loomis, J.B., Walsh, R.G., 1997*). Questi ultimi di solito possono essere manipolati internamente per affrontare i cambiamenti nelle priorità. I costi fissi, tuttavia, potrebbero essere modificati in meglio o in peggio e spesso sono al di fuori del controllo del programma di monitoraggio.

Pertanto, un programma di monitoraggio necessita di un piano flessibile, che consenta e sia preparato per i cambiamenti del budget.

I programmi di monitoraggio avranno maggiori possibilità di successo se le considerazioni sui costi saranno esplicitamente incorporate nel quadro del programma. Le questioni relative ai costi dovrebbero essere prese in considerazione durante la definizione degli obiettivi e lo sviluppo del progetto di campionamento e confrontando frequentemente questi due elementi con le risorse finanziarie attuali e future (*Caughlan et Oakley,2001*).

In genere, vengono spesi relativamente troppo tempo e denaro per la raccolta dei dati e non viene data sufficiente considerazione allo sviluppo del programma, alla gestione e all'analisi dei dati, all'interpretazione e al reporting. Quando si identificano gli obiettivi di un programma di monitoraggio, i costi del programma, compresi i costi opportunità e i costi esterni, dovrebbero essere confrontati con i benefici percepiti. L'identificazione dei costi e dei benefici percepiti degli obiettivi di un programma servirà a capire cosa è veramente prioritario ed importante affinché venga immediatamente incluso nel programma e quali dovrebbero essere i passi successivi se si rendono disponibili finanziamenti aggiuntivi.

Se non si tiene adeguatamente conto di quanto costano tutti gli aspetti del programma ora e in futuro, diminuiranno le possibilità di successo del programma a lungo termine, soprattutto quando i budget sono incerti.

3.2 Monitoraggio svolto mediante veicolo aeri senza pilota (UAV)

I programmi di monitoraggio sono per natura conservativi. I metodi devono essere costanti e riproducibili per produrre serie temporali coerenti (*Herzog F. et al.;2016*). Tuttavia, le nuove tecnologie possono potenzialmente contribuire a ridurre i costi del monitoraggio e/o ad aumentare le conoscenze acquisite.

Dall'analisi della letteratura preesistente è emerso che una metodologia che sta diventando sempre più importante per il mondo dell'agricoltura di precisione ma anche per la conservazione degli habitat è il telerilevamento assistito da veicoli aerei senza pilota (UAV). Secondo *Gonzales et al. (2022)* i metodi basati su UAV potrebbero rappresentare strumenti promettenti, per esempio, per il monitoraggio della qualità dell'habitat per le comunità di impollinatori di api perché da poco essi sono diventati accessibili e consentono a diversi operatori, ad esempio ricercatori, agricoltori, ecologi, di ottenere dati ad alta risoluzione spaziale da diversi sensori che possono essere trasportati contemporaneamente, coprendo

grandi aree in un tempo limitato. Nel tempo, questi strumenti possono essere utilizzati con un approccio “on-demand” che consentirà di catturare specifici stadi della fenologia della vegetazione, in particolare in aree caratterizzate da elevata nuvolosità, dove i sistemi satellitari e i sistemi aerei con equipaggiamento non sono risolutivi (*Gonzales D. et al.;2022*).

Il monitoraggio svolto tramite telerilevamento si basa sull'utilizzo di veicoli aerei senza pilota. I veicoli aerei senza pilota (UAV) e i loro sensori (Figura 6) consentono il trattamento su piccola scala di piante coltivate e animali con elevata precisione (*Zhang C., Kovacs J.M.;2012*).

Sono ormai diversi anni che articoli scientifici sostengono che insieme alla guida GPS, questa tecnologia può aumentare la resa (*Saavoss M. et al.:2012*), ridurre gli input agrochimici (*Bongiovanni, R. J. Lowenberg-Deboer J.;2004*), carburante e tempo dedicato alla gestione delle colture. La sua applicazione permette un'agricoltura più sostenibile per soddisfare la domanda presente e futura di cibo e altri prodotti agricoli senza compromettere la sostenibilità (*Bora G. et al.;2012*).

I veicoli aerei senza equipaggio hanno conosciuto una crescita esponenziale negli ultimi dieci anni, in termini di numero di pubblicazioni scientifiche e anche per quanto riguarda la diversificazione di tipologie e applicazioni (*Pajares;2015*). I rapidi progressi tecnologici e la riduzione dei costi hanno reso gli UAV centrali per l'agricoltura di precisione e l'agricoltura intelligente, ma anche per un ampio spettro di campi di ricerca. Ciò è in parte dovuto alla loro flessibilità nel trasportare molti tipi diversi di sensori, al loro rapporto costo-efficacia e alla loro idoneità a lavorare su scale diverse, per aree di piccole dimensioni, inferiori a 5 ettari e medie, comprese tra 5 ettari e 50 ettari, e in aree remote (*Gago J. et al.;2015*).

Figura 6 - UAV DJI Matrice 210 RTK.



Fonte: <https://www.dji-store.it/prodotto/dji-matrice-210-rtk-g/>

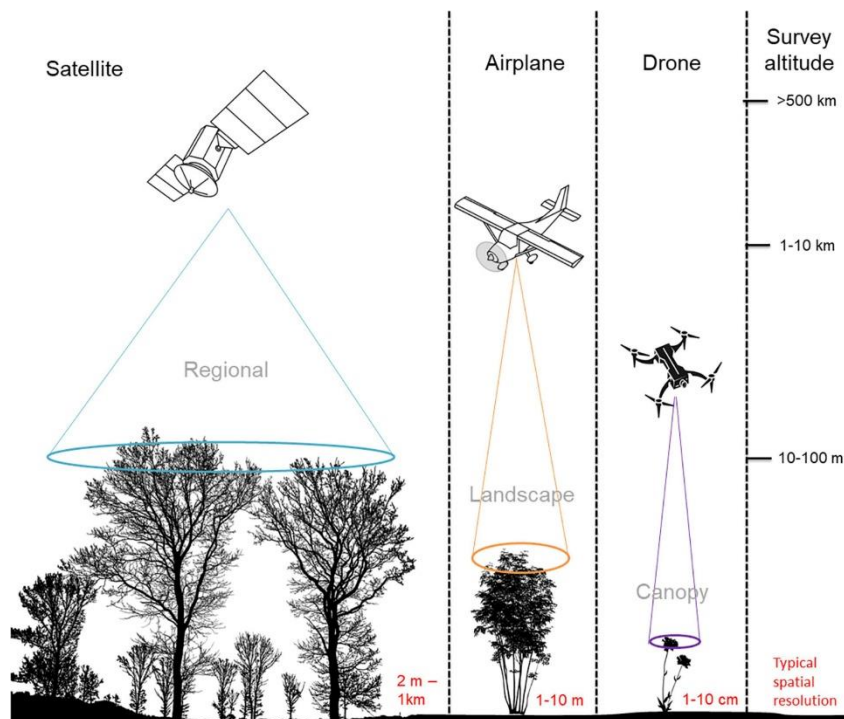
Il grandissimo vantaggio di queste tecnologie risiede nella maggiore risoluzione delle immagini, spaziale e temporale, rispetto alle immagini catturate da tecnologie come i satelliti e i sistemi aerei con equipaggio (*Librán-Embid F. et al.;2020*) Gli UAV, grazie alla loro vicinanza al terreno, possono ottenere dettagli ad altissima risoluzione, rendendoli ideali per il monitoraggio di specifiche aree o per rilevare cambiamenti minuti in determinate condizioni. Inoltre, possono essere dispiegati rapidamente e a richiesta, offrendo flessibilità e reattività.

Il telerilevamento satellitare (SRS), contrariamente agli UAV, ha il vantaggio di coprire vaste scale spaziali, di fornire informazioni su una varietà di caratteristiche ecologiche come la distribuzione della vegetazione (*Magnússon R.I. et al.;2012*), fenologia vegetale (*Reed B.C. et al.;2010*), habitat e diversità ambientale e distribuzione dimensionale delle piante (*Rocchini D. et al.;2010*) su vaste aree. Oltre a ciò, i satelliti possono monitorare costantemente e in modo consistente vaste porzioni del pianeta, rendendo possibile la creazione di archivi temporali di lunga durata che sono cruciali per lo studio dei cambiamenti a lungo termine nell'ambiente. Mentre gli UAV sono eccezionali per studi dettagliati e ad alta risoluzione su aree ristrette, il telerilevamento satellitare rimane insostituibile per gli studi su larga scala e per il monitoraggio a lungo termine. La combinazione di entrambe le tecnologie offre agli scienziati e ai

professionisti una gamma completa di strumenti per comprendere e gestire il nostro ambiente in modo più efficace.

Il principale problema degli SRS è che essi non possono descrivere accuratamente aspetti della vegetazione che possono essere misurati solo su scale dettagliate fino a pochi mm, come la stima della copertura floreale (Cruzan M. B.;2016) (Figura 7).

Figura 7 - Le altitudini operative approssimative delle piattaforme di imaging basate su satellite, aereo e drone. I corrispondenti campi visivi utilizzati per catturare la vegetazione da queste diverse altitudini illustrano l'estensione del paesaggio che può essere visualizzato da una singola immagine dai sensori a bordo di ciascuna piattaforma di imaging.



Fonte: D. Gonzales, N. Hempel de Ibarra, K. Anderson; Remote sensing of floral resources for pollinators—new horizons from satellites to drones; Front. Ecol. Evolut., 10, 2022.

La tecnologia che si è recentemente evoluta attorno agli UAV, in particolare la fotogrammetria basata su algoritmi di struttura dal movimento, ha portato allo sviluppo di ortomosaici altamente dettagliati e informazioni 3D su vaste aree a un costo relativamente basso con la precisione di alcuni da mm a cm (Cruzan M.B. et al.;2016). Finora, gli studi hanno dimostrato che è possibile utilizzare le immagini UAV per stimare le proprietà della vegetazione come la diversità della vegetazione (Guo Y. Et al.;2014), la distribuzione delle specie e delle comunità vegetali (Kaneko K. Et al.;2014), la distribuzione dei tratti vegetali (Cantalupo A.et al.;2015) e la mappatura e il monitoraggio delle specie invasive (Alvarez-Taboada F. et al.;2017).

Pertanto, per tutti questi vantaggi gli UAV stanno iniziando ad essere implementati da ONG, organizzazioni statali, ricercatori e professionisti di tutto il mondo.

Figura 8 - DJI Agras T30 in volo.



§

Coerentemente con gli obiettivi dell'elaborato, è stato necessario indagare sull'utilizzo degli UAV per la conservazione della biodiversità e degli ecosistemi.

L'utilizzo dei sistemi UAV per la conservazione della biodiversità è legato all'uso delle telecamere che su di essi vengono montate; più specificatamente possono essere montati sensori UV, RGB, multispettrali o iper-spettrali. Questi si differenziano gli uni dagli altri per la loro risoluzione e metodologia di funzionamento, di conseguenza ognuno di questi sistemi è in grado di monitorare la vegetazione in maniera più o meno dettagliata. Nello specifico, le telecamere RGB (rosso-verde-blu) montate sugli UAV sono relativamente economiche e semplici da utilizzare.

Queste immagini, rispetto alle immagini multispettrali e iperspettrali che consentono la raccolta di strati di immagini acquisiti ciascuno a una diversa banda di lunghezze d'onda, hanno meno potere nel caratterizzare le diverse firme spettrali della vegetazione. Le telecamere RGB oltre ad essere economiche, sono prontamente disponibili sul mercato e spesso vengono montate come parte integrante dei droni commerciali. Inoltre, le immagini RGB richiedono meno analisi

pre-post elaborazione. Ciò rende le telecamere RGB più facili da usare e consentono una riproduzione più semplice delle analisi effettuate da diversi operatori o parti interessate (ad esempio, ecologisti, agricoltori, ricercatori) (*Ahmed O.S. et al.;2017*).

I sensori multispettrali, cioè quelli in grado di catturare 4-10 bande spettrali, fanno un passo avanti, poiché consentono una classificazione e un monitoraggio della vegetazione più dettagliati. In particolare, quelli in grado di catturare gli spettri del vicino infrarosso sono stati utilizzati nei sistemi temperati per distinguere tra classi di copertura del suolo e singole specie con una precisione di circa il 90% (*Ahmed O.S. et al.;2017*). Sono stati utilizzati con successo anche per identificare e monitorare piante invasive (*Samiappan S. et al.2016*).

Le immagini RGB e multispettrali vengono usate per la costruzione di ortomosaici attraverso software, come i software Agisoft Metashape, Pix4D, DroneDeploy e altri, successivamente viene eseguito un processo di segmentazione attraverso l'analisi delle immagini basata sugli oggetti. In seguito, gli indici spettrali della vegetazione vengono derivati dalle immagini e testati per la loro capacità di identificare specie specifiche o tipi di copertura; infine, vengono eseguiti test di accuratezza (*Michez, A. et al. 2016*).

Sebbene i sensori RGB e multispettrali possano essere sufficienti per molti obiettivi, i sensori iperspettrali, se montati su veicoli aerei con o senza equipaggio, sono generalmente considerati quelli con il miglior potenziale per scopi di mappatura, data la possibilità di catturare 200 bande in un ampio intervallo spettrale (~350–2500 nm) e un'elevata risoluzione spettrale (~ 10 nm) (*Colomina I. et al.;2014*).

Fino a poco tempo fa, i sensori iperspettrali erano disponibili solo per aerei con equipaggio e sistemi satellitari (*Mulla D.J. et al.;2013*) date le limitazioni del carico utile degli UAV (*Adao T et al.;2017*). Inoltre, i costi elevati associati ai sensori iperspettrali commerciali (che vanno da 25.000 a 100.000 dollari) (*Association for Computing Machinery;2019*); ne hanno impedito un uso pubblico più ampio. Tuttavia, l'aumento della capacità di carico degli UAV e l'abbassamento dei costi dei sensori ha permesso che un pubblico più vasto potesse interessarsi all'utilizzo di questi ultimi sugli UAV.

Nonostante ciò, i sensori iperspettrali risultano ancora circa dieci volte più costosi di quelli multispettrali.

Dunque, le immagini multispettrali o RGB possono offrire soluzioni più economiche e più semplici rispetto alle immagini iperspettrali negli ecosistemi in cui tutti i tipi di sensori registrano livelli di precisione simili per la classificazione delle specie, come le foreste (*Michetz A. et al.;2016*). Inoltre, data l'elevata risoluzione spaziale necessaria per l'identificazione della vegetazione a livello di specie e l'attuale risoluzione della maggior parte degli attuali sensori RGB e multispettrali commerciali, gli UAV devono volare solitamente ad altitudini molto basse, inferiori ai 20 metri. Ciò rende poco pratico coprire grandi aree dato il tempo necessario per i voli e la mosaicatura delle immagini (*Bertacchi A. et al.; 2019*). Questi problemi potrebbero presto essere superati grazie allo sviluppo di nuovi sensori con maggiore potere risolutivo.

Oltre ai problemi di risoluzione spettrale e spaziale, anche la scelta di un metodo di classificazione adeguato è significativa per la generazione di risultati di classificazione affidabili. Da più di due decenni, diversi metodi di apprendimento automatico come Random Forest (RF), Neural Networks (NNET) e Support-vector machine (SVM) sono stati ampiamente utilizzati per la classificazione con dati di telerilevamento con buoni risultati (*Kwak G-H. Park N. ;2019*). Con le informazioni ottenute dai dati UAV, questi modelli possono essere uno strumento potente ed efficiente per la caratterizzazione dettagliata della vegetazione (*Randelović P. et al.;2020*).

3.2.1 Costo del monitoraggio assistito da veicoli aerei senza equipaggio

Schöttker et al. nel 2022 hanno stimato le voci di costo di monitoraggio svolto attraverso UAV di un obiettivo ecologico di un ipotetico regime di pagamento basato sui risultati.

Per i pagamenti basati sui risultati il pagamento si riferisce al raggiungimento di un risultato ambientale definito. In questo caso all'agricoltore o al gestore del territorio è concessa la flessibilità di scegliere la gestione più appropriata per raggiungere tale risultato (*CE et al.;2020*). L'obiettivo del lavoro sopraccitato era confrontare i costi del monitoraggio assistito da UAV e i costi del monitoraggio convenzionale.

Nello stesso lavoro gli autori hanno sviluppato diversi scenari che permettevano di valutare quanto, a seguito della variazione di alcune variabili, sarebbe cambiato il costo del monitoraggio assistito da UAV. Gli scenari sviluppati prevedevano la variazione dei costi delle apparecchiature UAV, la variazione dei costi delle apparecchiature di analisi, la variazione della dimensione dell'area monitorata, la variazione della frequenza di monitoraggio, la variazione

della distanza di viaggio e precisione del monitoraggio, la variazione del costo del lavoro e la variazione del tasso di sconto.

Secondo la stima il monitoraggio svolto con UAV è più costoso rispetto a quello *in situ* o convenzionale, cioè il monitoraggio svolto a terra da tecnici professionisti. I due approcci di monitoraggio differiscono sostanzialmente nella distribuzione dei costi. Con il monitoraggio convenzionale il 69,3% dei costi deriva per le attività di monitoraggio stesse e sono principalmente costituite dal costo del lavoro durante quel periodo. Al contrario, con il monitoraggio assistito da UAV, le attività di monitoraggio stesse sono meno costose, infatti esse costituiscono solo il 39,0% dei costi totali (Schöttker O. et al.;2022). Tuttavia, per il monitoraggio assistito da UAV sorgono costi aggiuntivi per la post-elaborazione e l'analisi dei dati ad alta intensità di calcolo e queste voci sono estremamente costose, infatti incidono per il 39,4% sui costi totali, mentre la post-elaborazione e l'analisi dei dati è meno laboriosa per il monitoraggio convenzionale e quindi incide solo per il 15,7% sui costi totali (Schöttker O. et al.;2022).

Al termine del lavoro gli autori hanno scoperto che alle attuali condizioni tecnologiche ed economiche, il monitoraggio convenzionale è meno costoso rispetto al monitoraggio assistito da UAV. La stessa situazione si riproduceva anche quando sono stati analizzati gli scenari di costo suggeriti dagli autori. Tuttavia, se si considera un contesto di forte riduzione dei costi degli UAV e delle analisi (riduzione del 33%) e una frequenza di monitoraggio generalmente elevata (cinque campagne di monitoraggio per anno), il monitoraggio assistito da UAV risulterebbe più economico di quello convenzionale (Schöttker O. et al.;2022).

Adottando una prospettiva generale, risultati ottenuti da Schöttker et al. (2022) indicano che dal punto di vista dei costi il monitoraggio assistito da UAV non è ancora un'alternativa al monitoraggio convenzionale per i regimi di pagamento basati sui risultati.

Tuttavia, gli autori sostengono che successivamente alle possibili riduzioni dei costi per UAV, dei costi delle apparecchiature ausiliarie e dei costi delle analisi il monitoraggio assistito da UAV potrebbe diventare l'approccio meno costoso in futuro (Schöttker O. et al.;2022).

Concludendo, considerando che i futuri paesaggi agricoli dovranno aumentare la produzione di cibo, fibre e combustibili, in modo rispettoso della biodiversità, è possibile dire che gli UAV potrebbero permettere il raggiungimento di tali obiettivi, migliorando l'efficienza delle applicazioni di fertilizzanti, pesticidi ed erbicidi, aumentando contemporaneamente la resa e riducendo gli impatti sulla biodiversità. Purtroppo, i principali limiti attuali per un'adozione più diffusa degli UAV sono il prezzo elevato dei sensori multispettrali e soprattutto iperspettrali; la mancanza di metodi consolidati di elaborazione delle immagini in alcune applicazioni; e la

minore accuratezza delle stime della resa in alcune colture, rispetto ai metodi tradizionali. Tuttavia, queste attuali limitazioni potrebbero essere compensate nel prossimo futuro dai rapidi progressi nella tecnologia dei sensori e dalla diminuzione dei prezzi, aumentando così l' idoneità degli UAV per le applicazioni in agricoltura e nelle scienze della conservazione. Più in generale, è fondamentale che gli Stati dell'Unione Europea investano sul monitoraggio della biodiversità, magari sfruttando le nuove strategie di monitoraggio su larga scala, standardizzate ed economicamente vantaggiose. Inoltre, per contrastare in declino della biodiversità in linea con gli obiettivi della Strategia Biodiversità 2030, è necessario che aumenti la consapevolezza dei responsabili politici di alto livello rispetto alle tematiche ambientali, ma è anche necessario che aumenti il senso di responsabilità nei vari portatori di interessi e nei cittadini.

4 Materiali e metodi

Il presente elaborato ha due principali funzioni:

1. stimare e confrontare tempi e costi del monitoraggio con veicoli aerei senza pilota e il monitoraggio convenzionale, svolto in campo da ricercatori o professionisti del settore;
2. valutare in modo analitico l'efficienza di entrambe le metodologie di monitoraggio.

Inoltre, sarà eseguita un'analisi volta ad analizzare se il monitoraggio assistito da UAV potrà, in prospettiva, diventare una potenziale alternativa al monitoraggio in loco da parte di personale qualificato.

Per svolgere e sviluppare queste stime sono stati analizzati dati empirici relativi a diversi progetti di ricerca europei in cui è stata coinvolta l'Università di Bologna.

I progetti a cui è stato fatto riferimento sono: “SHOWCASing synergies between agriculture, biodiversity and Ecosystem services to help farmers capitalising on native biodiversity (SHOWCASE)” e “BioBio Indicators for biodiversity in organic and low-input farming systems”.

Nello specifico il progetto SHOWCASE, iniziato nel 2020, sta esaminando e testando l'efficacia di una serie di elementi semi-naturali del paesaggio, pratiche agronomiche, incentivi economici e sociali per implementare la gestione della biodiversità nelle attività agricole e ha l'obiettivo di valutarne l'accettabilità da parte degli agricoltori e del pubblico. Relativamente agli incentivi economici l'attenzione è focalizzata su tre approcci promettenti: gli incentivi basati sui risultati, l'approccio citizen-science e modelli di business basati sulla biodiversità. SHOWCASE elaborerà inoltre, strategie di comunicazione su misura per gli agricoltori e altri soggetti chiave che operano in diverse condizioni socioeconomiche e ambientali (CE;2023).

Del suddetto progetto è stata selezionata un'area di studio (7×10 km) che si trova nel sud-est dei Paesi Bassi ed è costituita da un mosaico di diversi tipi di uso del suolo, tra cui agricoltura intensiva, agricoltura a bassa intensità e riserve naturali. All'interno di quest'area sono state ulteriormente selezionate 30 superfici a prato permanente che coprono un gradiente di intensità di uso del suolo che va da praterie seminaturali povere di nutrienti e ricche di biodiversità a praterie intensamente fertilizzate per la produzione di foraggio.

Il secondo progetto preso in considerazione, BioBio, terminato nel 2012, perseguiva tre principali obiettivi. Il primo obiettivo riguardava la concettualizzazione di criteri per una selezione su base scientifica di indicatori di biodiversità per sistemi di agricoltura biologica e a basso input; il secondo obiettivo del progetto atteneva la valutazione e validazione di una serie di indicatori di biodiversità candidati in casi di studio rappresentativi in tutta Europa; l'ultimo obiettivo concerneva lo sviluppo di linee guida per l'implementazione di indicatori di biodiversità per sistemi di agricoltura biologica e a basso input per l'Europa (*Alma Mater Studiorum, 2023*).

Gli indicatori di diversità selezionati nel progetto BioBio operano su scala aziendale e coprono le quattro principali funzioni ecologiche rilevanti per l'agricoltura: produzione primaria (piante), impollinazione (api selvatiche e bombi), predazione (ragni) e decomposizione del materiale organico (anellidi). L'enfasi sugli invertebrati, oltre alle piante vascolari, riflette il contributo degli invertebrati alla diversità complessiva delle specie; infatti, gli artropodi da soli costituiscono circa il 65% degli organismi multicellulari, inoltre, forniscono informazioni rilevanti sulle condizioni ambientali generali, reagiscono rapidamente ai cambiamenti ambientali e, a causa della loro mobilità limitata, consentono di valutare come la biodiversità interagisce con il management aziendale (*Herzog F. et al.; 2013*).

In merito al progetto BioBio sono stati analizzati dei casi studio realizzati in Inghilterra, Norvegia, Bulgaria, Ungheria e Svizzera. In questi cinque Stati sono state selezionate 65 aziende a prato permanente e a basso input. Più precisamente sono state esaminate 16 aziende in Bulgaria e 18 in Ungheria, 12 aziende biologiche e a basso input in Norvegia, 19 aziende biologiche in Svizzera e 20 in Inghilterra.

Gli studi portati avanti nei due progetti sono accumulati da un campionamento delle specie vegetali che viene eseguito a terra da tecnici specializzati, inoltre nel caso di SHOWCASE le 30 praterie oggetto di studio sono state monitorate utilizzando anche le immagini UAV RGB.

Dopo un'attenta valutazione dei dati raccolti, all'interno di questo capitolo sono stati confrontati i dati relativi alle tempistiche e ai costi di misurazione della biodiversità attraverso il monitoraggio *in situ*, con i dati relativi alle tempistiche e ai costi di misurazione della biodiversità mediante telerilevamento con UAV (Allegato 1-2-3):

1. I dati relativi a tempi e costi per il monitoraggio assistito da UAV derivano dal progetto SHOWCASE;

2. I dati relativi a tempi e costi del monitoraggio delle stesse aree eseguito in situ derivano dal campionamento a terra eseguito in SHOWCASE;
3. I tempi necessari per il monitoraggio a terra sono stati confrontati con i dati ottenuti dal progetto BioBio, in modo da derivare un numero medio di aree necessarie al monitoraggio della biodiversità aziendale e stimare i relativi tempi e costi necessari al campionamento della biodiversità a scala aziendale.

Limitazioni: l'obiettivo della presente tesi è quello di valutare la differente efficienza del monitoraggio della biodiversità aziendale eseguito con metodologie diverse (UAV vs. a terra). Occorre elencare alcune limitazioni: i dati provengono da protocolli diversi; infatti, nel progetto BioBio sono stati utilizzati quadrati e transetti, nel progetto SHOWCASE sono stati utilizzati solo transetti. Il numero di plot necessario al monitoraggio di un'azienda può essere solo stimato perché deriva da 65 aziende analizzate nel progetto BioBio. Inoltre, per stimare la biodiversità aziendale il campionamento vegetale fornisce delle informazioni parziali; infatti, nel protocollo BioBio era prevista la misurazione di altri parametri, come impollinatori ragni e lombrichi, che il monitoraggio con UAV non prende in considerazione. Inoltre, nel progetto BioBio il numero di aree da campionare nelle aziende, necessarie per la stima della biodiversità, deriva da una stima del numero di habitat presenti in ogni azienda. Questa stima è stata eseguita nel BioBio attraverso una procedura nota come Habitat Mapping (*Dennis, P. et al.; 2010*); questa procedura non è stata considerata per decidere quale area campionare in SHOWCASE poiché lo scopo del progetto non era quello di proporre un protocollo di stima della biodiversità aziendale.

Di seguito è illustrata la metodologia utilizzata per calcolare i tempi e i costi, necessari per monitorare le aziende selezionate nel BioBio, i tempi e i costi impiegati per misurare i transetti nel progetto SHOWCASE, e la metodologia utilizzata per stimare i tempi e i costi del monitoraggio effettuato con UAV, tutti quanti espresso in ore /plot ed €/plot.

4.1 Monitoraggio convenzionale *in situ*

Per rendere più comprensibili le metodologie utilizzate per la stima delle ore necessarie per il monitoraggio *in situ* e dei relativi costi, viene fatta una distinzione tra l'analisi dei dati derivanti dal progetto BioBio e l'analisi dei dati derivanti dal progetto SHOWCASE.

4.1.1 Tempi del monitoraggio *in situ* del caso BioBio

I 65 casi studio, facenti parte del progetto BioBio, presi in considerazione si trovano in alcune regioni di Stati del Centro-Nord Europa. Le aziende selezionate sono basate su sistemi a prato permanente in modo da avere una base di riferimento il più vicina possibile al campionamento eseguito nel progetto SHOWCASE. Nel progetto BioBio, inoltre, l'identificazione degli habitat presenti in ogni si è basata sul protocollo Habitat Mapping. Su questa base sono stati eseguiti tanti plot quanti erano i tipi di habitat presenti.

Il luogo di campionamento all'interno dell'habitat/appezzamenti di campo era un transetto di 100 m di lunghezza x 2 m di larghezza che attraversava il centro della posizione della vegetazione rilevata. Quando l'appezzamento era inferiore a 100 m, si effettuavano transetti di 2 x 50 m (e 2 m di larghezza). Lungo il transetto veniva eseguita la misurazione dei parametri previsti dal BioBio (Figura 1). Inoltre, tutti gli habitat/appezzamenti di campo delle aziende agricole del caso studio sono stati campionati in dieci giorni (*Dennis, P. et al.;2010*).

Nella seguente tabella, Tabella 3 è illustrato quanti ettari per caso studio sono stati valutati e quanti plot di analisi sono stati rilevati.

Tabella 3 - Descrizione della struttura dei casi studio del progetto BioBio

Paese	Breve descrizione del caso studio	Plot di vegetazione	Numero di aziende	Ettari totali	Dimensione media aziendale (ettari)
Bulgaria	Prati semi-naturali a basso input (Rhodope mountains)	153	16	239	113
Ungheria	Prati semi-naturali a basso input (Homokhatsa g)	168	18	3071	170
Norvegia	Prati organici e a basso input con pecore (Hedmark)	119	12	149	15
Svizzera	Prati di montagna biologici con bovini (Swiss Alps)	145	19	233	10
Inghilterra	Prati di montagna biologici con bovini (Wales)	240	20	3011	143

Poiché l'obiettivo del presente elaborato è stimare le tempistiche e i costi necessari al monitoraggio della biodiversità mediante monitoraggio convenzionale e mediante monitoraggio assistito da UAV, è stato necessario calcolare le ore che i tecnici specializzati hanno impiegato, nelle aziende partners del progetto BioBio, per mappare e valutare la biodiversità vegetale.

Tabella 4 - Parametri generali presi in considerazione per la stima delle ore impiegate per il monitoraggio svolto dal progetto BioBio.

Parametri generali	Descrizione
$T_L^{CM}(t)$	Ore impiegate per il monitoraggio in campo della biodiversità nelle 65 aziende del caso studio.
$T_A^{CM}(t)$	Ore impiegate per il post-processing e l'analisi dei dati per il monitoraggio nelle 65 aziende del caso studio.

Per fare questa valutazione è stato necessario sommare le ore di lavoro di campo alle ore di lavoro in laboratorio necessarie per l'identificazione delle specie o le attività di analisi dei dati per ogni azienda che è stata campionata nel progetto.

Per il suddetto calcolo è stata utilizzata la seguente formula (Eq.1):

$$T^{CM}(t) = [(T_L^{CM}(t) + T_A^{CM}(t) + (T_t^{CM} * Nv)]$$

Analizzando meglio ogni singola voce si può dire che $T_L^{CM}(t)$ fa riferimento al tempo del lavoro in campo, $T_A^{CM}(t)$ fa riferimento al tempo delle analisi, $T_t^{CM}(t)$ è il tempo di viaggio e Nv è il numero di viaggi.

In tutti i casi, le ore di lavoro effettivo in campo sono state ottenute sottraendo al tempo totale impiegato in campo il tempo necessario a raggiungere le aziende e i plot di misurazione. È importante sottolineare che, per lo scopo di questo studio, i tempi di viaggio non sono stati inclusi nei calcoli poiché l'obiettivo principale è confrontare i tempi impiegati nel monitoraggio tradizionale con quelli nel monitoraggio assistito da UAV.

Poiché l'obiettivo dell'elaborato è stimare i tempi/plot per il monitoraggio *in situ* del progetto BioBio, dopo aver calcolato il T^{CM} di tutti i casi considerati dal progetto, questo valore è stato

diviso per il numero di plot, ottenendo così il tempo medio necessario al monitoraggio di un plot del progetto BioBio.

In seguito, considerando la notevole diversità nelle dimensioni dei casi studio, è stato imprescindibile classificare le aziende in tre categorie in base alla media delle loro dimensioni: grande, media e piccola. Questa suddivisione è stata essenziale non solo per agevolare il confronto dei risultati ottenuti dall'analisi dei tempi di monitoraggio nel progetto BioBio, ma anche per metterli a confronto con quelli emersi nel contesto del progetto SHOWCASE.

Il livello di aggregazione dei dati relativi ai tempi di monitoraggio non consentiva di calcolare un tempo impiegato per ogni singolo plot o azienda. Quindi, per valutare il tempo richiesto per il monitoraggio di un plot in un'azienda appartenente a ciascuna delle tre categorie menzionate, utilizzando i casi studio del progetto BioBio, è stata inizialmente calcolata la media delle ore necessarie per monitorare un'azienda di grandi, medie e piccole dimensioni. Successivamente, questo valore medio è stato diviso per il numero medio di plot per ciascuna categoria di azienda.

4.1.2 Costi del monitoraggio *in situ* del caso BioBio

Il costo del monitoraggio in loco nel contesto del progetto BioBio rappresenta il costo orario sostenuto moltiplicato per una retribuzione media lorda per un esperto botanico che esegue il monitoraggio sul terreno e si occupa dell'analisi dei dati. Per calcolare questo valore, è stata considerata una tariffa oraria di circa 30€ per un professionista tecnico.

L'obiettivo è determinare il costo per plot del monitoraggio secondo il protocollo BioBio. Per ottenere questa cifra, sono state calcolate le ore necessarie per monitorare un plot all'interno delle aziende dei casi studio: Bulgaria, Ungheria, Norvegia, Svizzera e Inghilterra. Successivamente, questi valori sono stati moltiplicati per la tariffa oraria di un professionista tecnico. Successivamente, per ciascuna categoria, è stato calcolato il costo medio per plot del monitoraggio moltiplicando i tempi di monitoraggio nelle aziende di grandi, medie e piccole dimensioni per la tariffa oraria di un professionista tecnico.

4.1.3 Tempi del monitoraggio *in situ* del caso SHOWCASE

Il caso studio analizza un'area di 7×10 km situata nel sud-est dei Paesi Bassi, Gulpen, nello specifico 30 praterie (Figura 9).

L'indagine sulla vegetazione, che comprendeva l'identificazione delle specie vegetali e la stima della percentuale di copertura del suolo, è stata effettuata una volta, nel periodo primaverile. Il luogo di campionamento all'interno degli appezzamenti di campo era rappresentato da un transetto lungo 150 m e largo 1 m che gli operatori percorrevano in 15 minuti. Inoltre, le 30 praterie oggetto di studio sono state campionate in 7 giorni.

Anche per questo caso, come nel caso precedente, sono state stimate le ore necessarie al monitoraggio di un transetto in una delle 30 aziende campionate nel progetto SHOWCASE.

L'equazione utilizzata per calcolare le ore totali/plot necessarie al monitoraggio *in situ* del progetto SHOWCASE è l'Equazione 1. Esattamente come nel caso precedente, anche qui il calcolo è al netto dei tempi di viaggio e di movimentazione tra gli appezzamenti.

Il tempo di lavoro in campo è stato calcolato come segue (Eq.2):

$$T_L^{CM}(t) = T + R$$

In questa equazione, $T (0,25)^1$ sono le ore necessarie per monitorare un transetto lungo 150 metri e R sono le ore necessarie al riconoscimento tassonomico che viene fatto in campo subito dopo il campionamento. In questo caso le ore necessarie al riconoscimento tassonomico sono circa due a transetto.

¹ Il transetto, lungo 150 metri, è stato suddiviso in quattro sezioni di 50 metri ciascuna utilizzando delle piastre o pietre. Ogni singola piastra era attraversata in 5 minuti. Quindi, per attraversare l'intero transetto, sono stati impiegati 15 minuti in totale, che corrispondono a 0,25 ore.

Tabella 5 - Parametri generali presi in considerazione per la stima delle ore impiegate per il monitoraggio svolto dal progetto SHOWCASE.

Parametri generali	Descrizione generale	Valori
T	Ore/plot necessarie per il campionamento	0,25 ore
R	Ore/plot necessarie al riconoscimento tassonomico	0,33 ore
$T_A^{CM}(t)$	Ore/plot impiegate per il post-processing e l'analisi dei dati	2 ore

Dopo aver sommato le ore necessarie al lavoro in campo e le ore impiegate per l'elaborazione dei dati, il risultato ottenuto sono le ore/plot totali necessarie al monitoraggio *in situ* della biodiversità aziendale.

4.1.4 Costo del monitoraggio *in situ* del caso SHOWCASE

Il costo del monitoraggio *in situ* del caso SHOWCASE è rappresentato dal costo orario sostenuto per pagare un botanico professionista che svolge il monitoraggio a terra e il lavoro di elaborazione dei dati.

Esattamente come nel caso precedente, per stimare tale valore è stato di considerata una paga oraria di un tecnico professionista di circa 30€/ora. Per stimare il costo/plot del monitoraggio secondo il protocollo SHOWCASE è stata moltiplicata la paga oraria di un tecnico professionista per le ore totali/plot necessarie al monitoraggio.

4.2 Monitoraggio assistito da veicoli aerei senza pilota

Questo monitoraggio è stato effettuato sulla stessa area descritta nel paragrafo 4.1.3 e nelle stesse 30 aziende sopracitate. Anche in questo caso, in ogni azienda veniva misurata una superficie di 150 mq, ossia strisce di prato lunghe 150 metri e larghe 1 metro.

Nello specifico, l'obiettivo di questo monitoraggio era verificare se è possibile stimare la copertura dei fiori utilizzando immagini UAV RGB e valutare se la copertura dei fiori può essere utilizzata come proxy per l'abbondanza e la diversità delle api (Torresani M. et al.;2023).

Nell'approccio di monitoraggio assistito da UAV, il personale qualificato porta l'UAV sul luogo di monitoraggio e rileva l'area da monitorare, inoltre le traiettorie di volo solitamente vengono decise in ufficio precedentemente al monitoraggio. Successivamente, le informazioni raccolte (ad es. riprese fotografiche digitali del file area) sono state preparate per la post-elaborazione delle immagini automatizzata assistita da computer, che è stata tradotta in ortofoto mosaici digitali del tecnico operativo UAV.

Figura 9 - Localizzazione delle aziende monitorate nella regione Gulpen.



Questo genere di monitoraggio viene solitamente svolto con UAV sofisticati e professionali come i DJI Agras T30. Queste strumentazioni sono molto costose; il loro prezzo si aggira tra i

16.000 e 20.000 euro ². Ogni drone può essere dotato di telecamere RGB, UV e multispettrali. Nel caso del progetto sono state utilizzate delle telecamere RGB e le immagini RGB sono state acquisite con un tasso di sovrapposizione dell'80% al fine di facilitare la realizzazione dell'ortomosaico finale (Torresani M. et al.;2023).

Tutti i voli sono stati effettuati ad un'altezza di circa 20 m dal suolo, ed è stato utilizzato il software AgiSoft Metashape Professional Edition per l'elaborazione fotogrammetrica da UAV e per l'allineamento dell'immagine e la ricostruzione dell'immagine 3D (Torresani M. et al.;2023).

4.2.1 Tempi del monitoraggio assistito da UAV nel progetto SHOWCASE

Entrando nello specifico del caso studio, è possibile dire che tutti gli appezzamenti selezionati nell'area di Gulpen sono stati monitorati in sette giorni. Ogni giorno sono state frequentate sei aziende, le quali distano circa tre chilometri l'una dall'altra.

Le componenti considerate per stimare le ore totali/plot per il monitoraggio effettuato con UAV sono le seguenti (Eq.3):

$$T^{UAV}(t) = T_L^{UAV}(t) + T_A^{UAV}(t)$$

Analizzando meglio ogni singola voce si può dire che $T_L^{UAV}(t)$ fa riferimento alle ore/plot di lavoro per il monitoraggio con UAV e $T_A^{UAV}(t)$ fa riferimento alle ore/plot per le analisi dei dati. Anche in questo caso, ai fini dell'elaborato i tempi di viaggio non sono stati considerati.

Le voci che costituiscono i tempi di lavoro in campo sono state calcolate secondo l'Equazione 4 (Eq.4).

$$T_L^{UAV}(t) = t_{prep}^{UAV} + t_{mon}^{UVA}$$

² Comunicazione personale di Agrobot. <https://www.agrobot.ag/>

Nella formula sopracitata, t_{prep}^{UAV} è il tempo necessario per la preparazione del punto a terra, ossia in media 0,3 ore/plot, t_{mon}^{UVA} è il tempo necessario per la missione di volo (in media 0,25 ore/plot).

Le analisi per la composizione dell'ortomosaico dei trenta transetti sono state molto lunghe e laboriose, infatti sono state necessarie 6 ore/plot, di cui 5 di lavoro del PC e 1 di lavoro svolto dagli operatori.

Tabella 6 - Parametri generali presi in considerazione per la stima delle ore impiegate per il monitoraggio assistito da UAV svolto dal progetto SHOWCASE.

Parametri generali per monitoraggio assistito da UAV	Descrizione	Valori
t_{prep}^{UAV}	Ore/plot necessario per la preparazione del punto a terra	0.3 ore
t_{mon}^{UVA}	Ore/plot necessario al monitoraggio	0.25 ore
T_A^{UAV}	Ore/plot impiegate per il post-processing e l'analisi dei dati	6 ore (5 di lavoro al PC e 1 da attribuire a tempo persona)

Infine, per la stima delle ore/plot totali necessarie al monitoraggio con UAV della biodiversità aziendale nel caso SHOWCASE sono state sommate le ore di lavoro in campo alle ore di elaborazione dei dati.

4.2.2 Costi del monitoraggio assistito da UAV del caso SHOWCASE

Per questo caso è stata fatta una distinzione tra costi variabili e costi fissi. Nel caso del monitoraggio assistito da UAV i costi variabili dipendono dal numero di plot misurati e includono il costo del personale i consumabili, ecc., i costi fissi non dipendono dal numero di plot ma dall'acquisto di attrezzatura che in questo caso è rappresentata dall'acquisto del drone e delle batterie. Dato che nel presente studio l'obiettivo è quello di stimare i costi relativi ad un

monitoraggio “operativo”, è stato necessario stimare la durata di vita di un drone e attribuire i costi fissi per un presumibile numero di plot misurati nell'arco di durata presumibile di un drone.

La seguente equazione (Eq.3) descrive come sono stati calcolati i costi fissi per un monitoraggio di un plot del caso SHOWCASE:

$$C^{UAV}(t) = C_D^{UAV} + (C_B^{UAV} * N_B) + (C_L^{UAV} * h) + (C_A^{UAV} * h)$$

In questa equazione C_D^{UAV} sono i costi fissi per l'acquisto di un drone DJI Agras T30 attribuiti ad un singolo plot campionato in un monitoraggio. Per il calcolo si assume che il costo del drone sia distribuito sul numero di plot campionabili in un monitoraggio di un anno (costo annuo/frequenza di monitoraggi in un anno/numero di plot). C_B^{UAV} sono i costi fissi per l'acquisto di una batteria per questo drone, da moltiplicare per N_B , il numero totale batterie di cui è necessario disporre per un giorno di lavoro anche in questo caso si assume che il costo delle batterie sia distribuito sul numero di plot campionabili in un monitoraggio di un anno (costo annuo/frequenza di monitoraggi in un anno/numero di plot), C_L^{UAV} è paga oraria di un tecnico professionista (30€/h) e h sono le ore impiegate in campo per il monitoraggio di un transetto (cfr.tab.6), compreso il tempo per la preparazione del punto a terra, e C_A^{UAV} che sono i costi per l'analisi e il post- processing dei dati e h sono le ore impiegate, ossia 6 per ogni plot, di cui una è di lavoro umano e 5 sono le ore in cui il computer lavora in autonomia.

È fondamentale sottolineare che i costi relativi all'acquisto del drone e delle batterie devono essere ammortizzati su un periodo di 5 anni che rappresenta il ciclo di vita tipico per questa tecnologia. Questa distribuzione dovrebbe essere poi ponderata anche sulle possibili campagne di monitoraggio svolte in un anno. Tuttavia, per mantenere la stima entro limiti conservativi, si è considerato un monitoraggio eseguito in un anno e su un numero di aziende sufficiente a coprire il periodo di fioritura delle specie più comuni, cioè da maggio a luglio.

Tenendo conto che le campagne di monitoraggio di solito si svolgono tra maggio e luglio e che ciascuna campagna richiede almeno una settimana di lavoro, è stato calcolato che i costi associati al drone e agli accessori fossero dilazionati su 12 campagne annuali.

Inoltre, è stato assunto che un tecnico professionista guadagni 30 €/ora perché in Italia un tecnico qualificato guadagna circa 100 €/Ha monitorato³. Tale valore però comprende anche il

³ Comunicazione personale da tecnico di Agrobot. <https://www.agrobot.ag/>

noleggio del drone e le analisi di post- processing per l'azienda che richiede il servizio. Se si considera la dimensione di un'azienda media italiana di circa 10 ettari, e che questa venga monitorata in due giorni, per un totale di 16 ore di lavoro, il costo orario comprensivo dei costi fissi attribuiti al costo del drone sarebbe di circa 60 €/ora. In questo lavoro si assume che un costo orario del tecnico qualificato possa essere stimato in circa 30 euro/h e quindi pari al costo di un tecnico specializzato capace di eseguire un monitoraggio in campo della vegetazione

Per quanto riguarda i costi del post-processing anche in questo caso viene utilizzato un valore della paga oraria di un tecnico professionista pari a 30€/ora. È utile ribadire che questo valore è da attribuire ad un'ora di elaborazione necessaria per un singolo plot. Le altre cinque ore non hanno nessun costo perché è lavoro svolto dal computer in autonomia. Per i fini del presente lavoro, si assume che i costi fissi attribuibili all'utilizzo del computer siano trascurabili.

Tabella 7 - Parametri generali presi in considerazione per la stima dei costi totali per il monitoraggio assistito da UAV.

Parametri generali per i costi del monitoraggio assistito da droni	Descrizione	Valori
C_D^{UAV}	Costi annuali/frequenza di monitoraggi in un anno per l'acquisto di un drone DJI Agras T30,	11,11€
C_B^{UAV}	Costi annuali/frequenza di monitoraggi in un anno per l'acquisto di una batteria	3,77€
N_B	Numero di batterie per giornata di lavoro	4
$C_L^{UAV} - C_A^{UAV}$	Paga ad ora di un tecnico professionista	30€

4.3 Stima dei costi per il monitoraggio della biodiversità aziendale

In questa sezione, è stato esaminato come i costi dei monitoraggi, sia convenzionali che assistiti da UAV, sarebbero variati nel caso in cui fossero stati applicati protocolli diversi rispetto a quelli

analizzati. Il confronto e lo scambio dei protocolli di misurazione sono stati fondamentali per valutare l'aspetto economico dei diversi approcci e per esaminare la possibilità di standardizzare tali protocolli per l'applicazione nei monitoraggi ambientali.

È stato ipotizzato di valutare i costi:

- del monitoraggio in loco delle aziende di grandi e piccole dimensioni del progetto BioBio, considerando l'utilizzo del protocollo di monitoraggio SHOWCASE assistito da UAV;
- del monitoraggio in loco delle aziende di grandi e piccole dimensioni del progetto BioBio, se fosse stato impiegato il protocollo convenzionale di monitoraggio SHOWCASE.

Per la valutazione dei costi menzionati, è stata adottata una suddivisione delle aziende coinvolte nel progetto BioBio in diverse categorie, come descritto nella sezione 4.1.1 dello studio. Questa classificazione ha coinvolto la categorizzazione delle aziende in base alle loro dimensioni, identificandole come aziende di grandi e piccole dimensioni.

Per calcolare i costi del monitoraggio in loco delle aziende di grandi e piccole dimensioni del progetto BioBio, considerando l'utilizzo del protocollo di monitoraggio SHOWCASE assistito da UAV, sono stati analizzati i tempi necessari per monitorare singoli plot secondo il protocollo che richiede l'uso del drone. Questo valore è stato moltiplicato per la tariffa oraria di un tecnico altamente specializzato nel pilotaggio di un UAV. In seguito, questa valutazione è stata estesa alle aziende grandi (11 plot) e alle aziende piccole (9 plot), moltiplicando il costo per il numero di plot in ciascuna. Infine, ai risultati ottenuti sono stati aggiunti i costi fissi⁴ relativi al monitoraggio del drone per l'intera campagna annuale di monitoraggio.

⁴ Costi fissi per il drone sono ottenuti dividendo 26.796€ (acquisto drone e batterie) per cinque anni (vita utile delle tecnologie), per 12 campagne di monitoraggio in un anno.

Tabella 8 - Numero di plot in base alla dimensione aziendale.

Dimensione Azienda	Numero di Plot
Azienda Grande	11 Plot
Azienda Piccola	9 Plot

Per il calcolo dei costi del monitoraggio in loco delle aziende di grandi e piccole dimensioni del progetto BioBio, se fosse stato impiegato il protocollo convenzionale di monitoraggio SHOWCASE, è stata moltiplicata la paga oraria di un tecnico professionista impiegato per il pilotaggio di un UAV per le ore totali necessarie al monitoraggio di un plot del protocollo SHOWCASE per il numero di plot che è necessario costruire per monitorare un'azienda di dimensioni grandi e piccole.

4.4 Scenari di analisi

Al fine di valutare la fattibilità e le prospettive future del monitoraggio assistito da UAV sono stati costruiti due scenari di analisi. Ogni scenario si basa sulla variazione di parametri relativi al caso base SHOWCASE (monitoraggio assistito da UAV).

Gli scenari da me considerati riguardano la riduzione dei costi fissi del monitoraggio assistito dai veicoli aerei senza pilota a seguito di una riduzione del costo dei droni rispettivamente del 20% e del 40%.

Tale ipotesi è stata approfondita perché è evidente che l'utilizzo di droni e tecnologie innovative in agricoltura sta aumentando. Infatti, importanti miglioramenti apportati alla tecnologia degli UAV, come l'aumento della capacità di carico utile e una maggiore resistenza, aumentano l'efficienza complessiva degli UAV. In aggiunta, lavorare sull'interfaccia utente dell'applicazione, rendendola più semplice, favorirà sempre più l'utilizzo di questa tecnologia.

Tipicamente i costi di queste tecnologie si riducono nel tempo, se la domanda di questa tecnologia aumenta, è molto probabile che nel giro di alcuni anni si assisterà ad un calo dei prezzi di acquisto. Nasce proprio da questa considerazione la necessità di stimare come il costo del monitoraggio della biodiversità aziendale tramite UAV può variare a seguito della diminuzione del prezzo degli UAV del 20% e del 40% nei prossimi anni.

Tali costi/plot sono stati stimati riducendo prima del 40% e poi del 20% i prezzi del drone DJI Agras T30 e delle sue attrezzature ausiliarie, e lasciando invariate le altre voci di costo, cioè la paga ad ora di un tecnico professionista per il lavoro in campo e l'elaborazione dei dati.

5 Risultati e Discussione

In questo capitolo sono illustrati i risultati relativi alla stima dei:

- tempi e costi di lavoro per il monitoraggio convenzionale del caso BioBio,
- tempi e costi di lavoro per il monitoraggio convenzionale del caso SHOWCASE,
- tempi e costi di lavoro per il monitoraggio con UAV del caso SHOWCASE,
- confronto tra costi,
- scenari di analisi.

5.1 Tempi e costi di lavoro per il monitoraggio convenzionale del caso BioBio

Per il calcolo di questi tempi è stata utilizzata l'Equazione 1 (Eq.1). Successivamente, le aziende campionate nel progetto BioBio sono state classificate in base alla loro dimensione in piccole, medie e grandi.

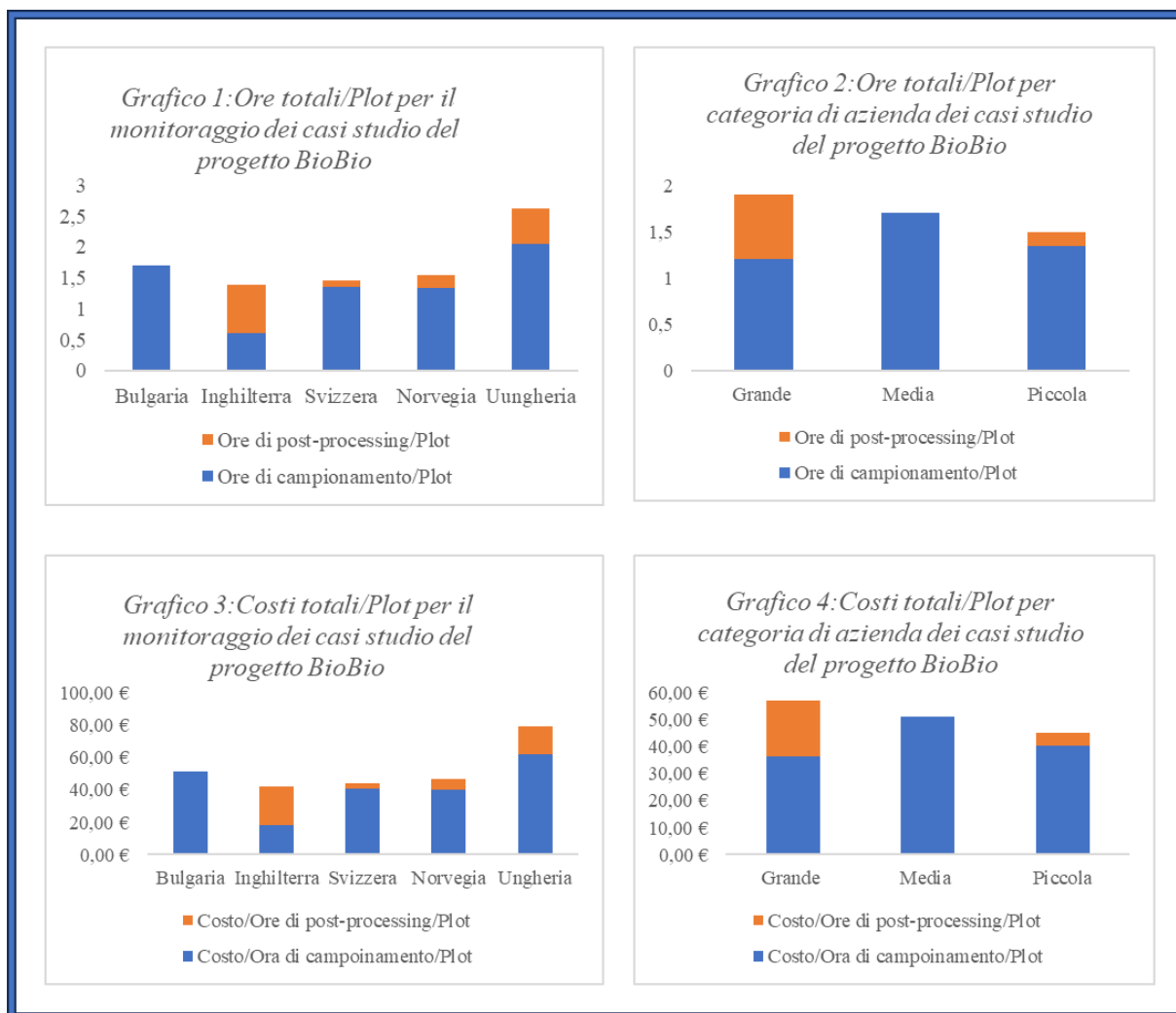


Figura 10- I seguenti grafici illustrano quante ore sono state impiegate per il monitoraggio completo di un transetto di analisi nei casi studio del progetto BioBio (Grafico 1), quante ore sono state impiegate per monitorare un plot in un'azienda grande, media e piccola (Grafico 2), quali sono i costi sostenuti per campionare un transetto nei casi studio del progetto BioBio (Grafico 3) e i costi sostenuti per monitorare un plot in un'azienda grande, media e piccola.

Nel caso della Bulgaria è importante specificare che l'equipe bulgara era composta da botanici specializzati che non hanno avuto necessità di raccogliere campioni vegetali per il riconoscimento successivo. Questo ha avuto comunque come implicazione in media un tempo maggiore speso in campo dal personale. Al contrario, negli altri casi studio oltre a ricercatori erano impiegati anche studenti, dottorandi, ecc. Questo ha determinato la necessità di ricorrere alla raccolta di campioni vegetali e al riconoscimento in laboratorio con l'ausilio di guide e chiavi dicotomiche specifiche o al contributo di botanici.

Osservando il Grafico 1 si può dire che le ore necessarie alla misurazione di un plot non sono molto diverse da paese a paese, tranne che per il caso ungherese che è quello che ha visto più studenti partecipi per il campionamento nelle aziende, i quali probabilmente, essendo meno esperti, hanno impiegato più tempo e quindi prolungato in qualche misura i tempi.

Poiché, nel Grafico 2, le aziende medie sono rappresentate dal solo caso bulgaro, che ha registrato tempi di post-processing pari a 0,00 ore, per cui data la particolarità del caso, esso è stato escluso dal presente studio.

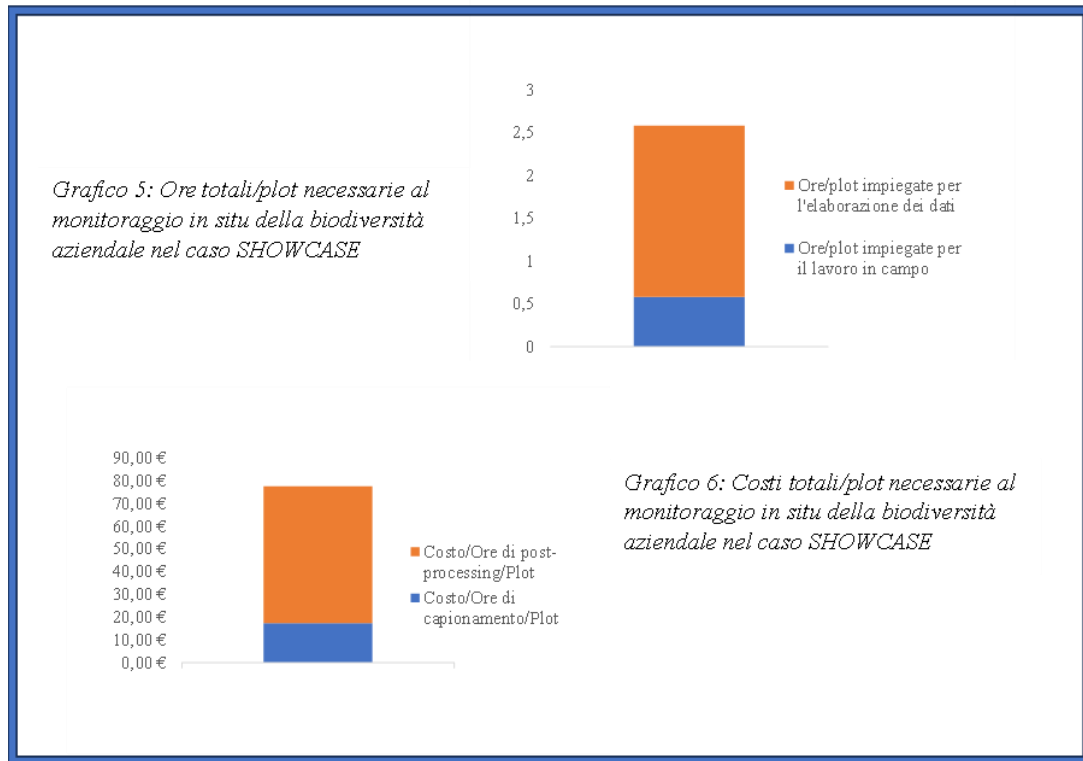
Per quanto riguarda i costi relativi al monitoraggio di un transetto (come illustrato nel Grafico 3), sembra che i valori ottenuti siano sostanzialmente uniformi tra i vari paesi, oscillando approssimativamente tra i 45€ e i 55€ per plot, ad eccezione del caso ungherese che registra un costo di circa 78€ per plot. Questa disparità significativa potrebbe essere attribuita all'assenza, in Ungheria, di personale rapido e altamente specializzato, fattore che potrebbe aver influito in modo significativo sui costi.

Quindi, i tempi necessari per monitorare un'azienda di grandi dimensioni risultano paria a **1,90 ore/plot**, mentre per un'azienda di dimensioni più ridotte si impiegano in media **1,50 ore/plot**. In termini di costi, per la grande azienda si registrano quindi **€56,94 per plot**, mentre per la piccola azienda si attestano a **€44,89 per ogni plot**. La differenza tra aziende grandi e piccole potrebbe essere attribuita al tempo necessario al personale per spostarsi tra i vari plot individuati in azienda.

5.2 Tempi e costi per il monitoraggio convenzionale del caso SHOWCASE

Anche in questa circostanza, per il calcolo dei tempi, è stata impiegata l'Equazione 1 (Eq.1). Pertanto, è possibile affermare che il tempo richiesto per il monitoraggio convenzionale di un plot, condotto da esperti tassonomisti, ammonta a 0,58 ore. Inoltre, per quanto riguarda i tempi di post-elaborazione e analisi $T_A^{CM}(t)$, si sono impiegate 2 ore per plot. Di conseguenza, il tempo complessivo necessario per monitorare in loco un plot conformemente alle specifiche del protocollo di SHOWCASE risulta essere in media pari a **2,58 ore/plot**.

Figura 11 - Tempi e costi impiegati per il monitoraggio in situ di un plot nel caso SHOWCASE.



Come evidenziato nel Grafico 5, emerge chiaramente che nel contesto del progetto SHOWCASE si è dedicato un maggiore quantitativo di tempo al post-elaborazione piuttosto che al campionamento vegetale. Questo dato indica un'organizzazione del protocollo di misurazione differente da BioBio, ma potrebbe anche indicare un'importanza particolare attribuita all'analisi dei dati raccolti rispetto alla fase di rilevamento sul campo. Tale distribuzione di tempo potrebbe riflettere una strategia incentrata sull'elaborazione approfondita dei dati ottenuti, mirando a ottenere un'analisi dettagliata e precisa piuttosto che concentrarsi esclusivamente sulla raccolta di campioni nel caso del progetto SHOWCASE. In questo contesto è da tenere presente che la finalità della ricerca era quella di studiare la comparabilità in termini di efficacia delle misurazioni dirette a terra della vegetazione e con drone. Le finalità di ricerca hanno perciò influenzato i risultati privilegiando in modo particolare l'identificazione della vegetazione in laboratorio. È inoltre da tenere presente che i gruppi di ricerca del BioBio erano impegnati in una campagna di raccolta dati molto più estesa rispetto al progetto SHOWCASE e quindi si presume una preparazione ed esperienza dei team del BioBio

maggiore. Questo è un altro elemento che ha probabilmente influenzato i tempi e costi minori nel caso del BioBio.

I costi per le misurazioni della biodiversità utilizzando questo protocollo sono quindi pari a **77,40€/ plot**, di cui 17,4€ sono i costi del campionamento e 60€ sono i costi di elaborazione dei dati. La differenza media di costo tra i protocolli SHOWCASE e BioBio risulta quindi pari a:

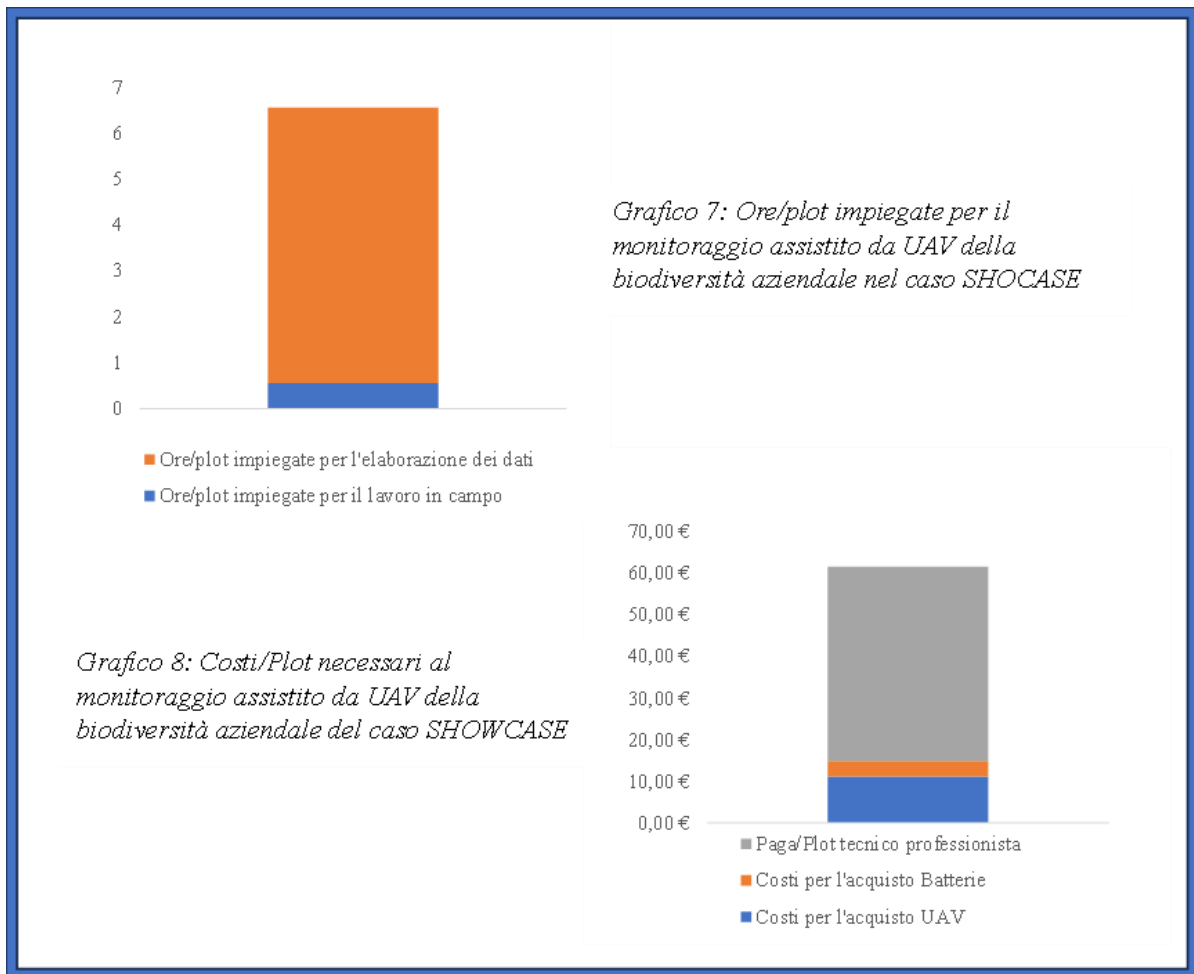
- **20,46€** se si confronta il protocollo SHOWCASE con il protocollo BioBio per l'azienda grande, che in termini percentuali è pari a 26,46% in meno nel caso del protocollo BioBio;
- **32,51€** se si confronta il protocollo SHOWCASE con il protocollo BioBio per l'azienda piccola; che in termini percentuali è pari a 42% in meno nel caso del protocollo BioBio.

5.3 Tempi e costi di lavoro per il monitoraggio assistito da UAV del caso SHOWCASE

Per il calcolo di questi tempi è stata utilizzata l'Equazione 2 (Eq.2). Il tempo di lavoro in campo totale per il monitoraggio con UAV il progetto SHOWCASE sono pari a 0,55ore a plot. I tempi di post-processing sono molto lunghi nel caso di monitoraggio con drone poiché l'analisi è laboriosa. Le analisi per la composizione dell'ortomosaico dei trenta transetti sono state effettuate in circa due mesi, poiché questo periodo ha incluso diverse prove e tentativi per la costituzione di quest'ultimo. Comunque, è possibile dire che il tempo medio per la costituzione di un'ortomosaico completo, partendo da immagini RGB, va dalle 24 alle 48 ore⁵ in cui il computer lavora autonomamente. Per un caso studio come quello in questione è stato stimato che il tempo necessario per il post -processing fosse di circa 6 ore a plot, è importante ricordare che solo un'ora è di lavoro svolto da tecnici, le restanti cinque ore sono di lavoro autonomo del computer; pertanto, il tempo totale impiegato per monitoraggio assistito da UAV (T^{UAV}) nel progetto SHOWCASE è **6,55 ore/plot** di cui 1,55 ore/plot sono da attribuire a costi persona.

⁵ Comunicazione personale di Agrobot. <https://www.agrobot.ag/>

Figura 12 - Tempi e costi impiegati per il monitoraggio assistito da UAV di un plot del caso SHOWCASE.



Per determinare i costi associati al monitoraggio supportato dall'UAV, mi sono avvalsa dell'Equazione 3 delineata nel capitolo 4. È fondamentale sottolineare che i costi relativi all'acquisto del drone e delle batterie devono essere ammortizzati su un periodo di 5 anni e distribuiti su 12 aziende valutate in un anno. Attualmente il prezzo di un drone DJI Agras T30 si aggira intorno ai 20.000€. Per un giorno di lavoro sono necessarie 4 batterie ciascuna del valore di 1699€. Tali valori rappresentano i costi fissi di un monitoraggio assistito da UAV. Pertanto, per l'acquisto di tali attrezzature è necessario sostenere una spesa pari a 26.796€ da dividere per 5 anni, ottenendo così un costo fisso annuo pari a 5.359€, questo valore è stato successivamente diviso prima per 12 campagne di monitoraggio in un anno e poi per 30 plot, per un valore finale di **14,88 €/plot** come costo fisso medio per plot.

A questo valore va sommato il costo relativo al lavoro che invece, è un costo variabile. La paga oraria di un tecnico professionista che è stata considerata, comprende la retribuzione per il lavoro che viene svolto in campo e le attività di post-processing necessarie per la costituzione dell'ortomosaico, tale valore è pari a 30€/ora. In sintesi, per monitorare un plot del protocollo SHOWCASE con un drone, si richiede un investimento di 14,88€/plot per i costi fissi, ai quali si aggiungono 46,5€ come costi variabili, per un totale di **61,38€/plot**.

La differenza media di costo tra i protocolli SHOWCASE (UAV) e BioBio risulta quindi pari a:

- **4,44€** se si confronta il protocollo SHOWCASE (UAV) con il protocollo BioBio per l'azienda grande, che in termini percentuali è pari a 7,23% in meno nel caso del protocollo BioBio;
- **16,49€** se si confronta il protocollo SHOWCASE (UAV) con il protocollo BioBio per l'azienda piccola; che in termini percentuali è pari a 26,86% in meno nel caso del protocollo BioBio.

Tabella 9- Confronto dei tempi dei vari protocolli di monitoraggio.

	Ore/plot impiegate per il lavoro in campo	Ore/plot impiegate per l'elaborazione dei dati
Monitoraggio convenzionale in azienda grande BioBio	1,20 h	0,7 h
Monitoraggio convenzionale in azienda piccola BioBio	1,34 h	0,16 h
Monitoraggio convenzionale in azienda SHOWCASE	0,58 h	2 h
Monitoraggio assistito da UAV in azienda SHOWCASE	0,55 h	5h (elaborazione PC)
		1h (elaborazione dell'operatore)

Alla luce dei risultati della ricerca condotta, emerge una notevole discrepanza tra i tempi richiesti per il monitoraggio convenzionale e quelli necessari per il monitoraggio assistito da UAV, considerando i casi studio presi in esame. Si rileva un significativo scarto temporale tra le due metodologie, con una differenza di diverse ore tra di loro. Tale disparità solleva alcune riflessioni interessanti. Attualmente, si osserva che le attività di lavoro sul campo risultano leggermente più veloci quando si impiegano gli UAV. Tuttavia, le attività di post-elaborazione per i monitoraggi assistiti da UAV esaminati nello studio si rivelano ancora estremamente prolungate e richiedono un considerevole impegno lavorativo.

Analizzando specificamente i singoli casi studio, emerge che il lavoro di campo svolto nelle aziende coinvolte nel caso BioBio richiede più tempo rispetto alle attività sul campo dell'altro progetto svolto in situ, probabilmente a causa delle disparità esistenti tra i protocolli adottati. Inoltre, il confronto evidenzia come il monitoraggio assistito da UAV sia notevolmente più veloce rispetto al lavoro sul campo svolto dai tassonomisti nel progetto BioBio, ma solo leggermente più efficiente in confronto ai tempi necessari per il monitoraggio in situ nel progetto SHOWCASE. Ad ogni modo il protocollo che prevede l'uso di drone è più rapido sia nel lavoro in campo che nell'elaborazione dei dati (se non si considerano le 5 ore di lavoro autonomo del PC) rispetto al protocollo SHOWCASE a terra, rispetto al protocollo BioBio il protocollo con UAV registra tempi di lavoro in campo e di post-processing nel complesso molto simili.

Risulta chiaro che nel caso in cui venga impiegato l'UAV, il tempo dedicato al lavoro sul campo è di 0,55 ore. Al contrario, la fase di elaborazione dei dati per il monitoraggio assistito da UAV risulta estremamente lunga 6 ore di cui 5 da attribuire al lavoro svolto in autonomia da computer e 1 dal tecnico. Questa significativa differenza evidenzia l'aspetto critico e preponderante dell'elaborazione post-monitoraggio nell'ambito del monitoraggio assistito da UAV.

I risultati probabilmente sarebbero stati diversi se al calcolo dei tempi totali per il monitoraggio della biodiversità aziendale fossero stati aggiunti i tempi di viaggio e i tempi di movimentazione all'interno delle aziende. Un'azienda molto grande, se monitorata con monitoraggio convenzionale, necessiterebbe molto probabilmente di due o più giorni di lavoro, ciò significherebbe che anche i costi totali sarebbero destinati ad aumentare, in quanto la voce di costo relativa alle spese di viaggio è molto incisiva e in questi casi sono da considerare anche le eventuali spese per il pernottamento del personale. In situazioni come quella appena descritta, l'utilizzo di tecnologie innovative come gli UAV, renderebbero il lavoro in campo più rapido e meno costoso richiedendo un numero minore di trasferte del personale e/o pernottamenti (Targetti S. et al.;2014).

Tabella 10 - Confronto dei costi dei vari protocolli di monitoraggio.

Caso studio	Costo /Plot per il lavoro in campo	Costo/Plot per l'elaborazione dei dati	Costo totale/plot
Monitoraggio convenzionale in azienda grande BioBio	36,07€	20,87€	56,94€
Monitoraggio convenzionale in azienda piccola BioBio	40,23€	4,66€	44,89€
Monitoraggio convenzionale in azienda SHOWCASE	17,40€	60€	77,40€
Monitoraggio assistito da UAV in azienda SHOWCASE	14,80€ (Costi fissi)	30€	61,30€
	16,50€ (Costi variabili) ⁶		

⁶ Valore ottenuto moltiplicando le ore di lavoro in campo (0,55) per la paga oraria di un tecnico professionista (30€)

Per quanto riguarda i costi, le differenze risultanti sono:

- il monitoraggio convenzionale in azienda grande BioBio è inferiore di 4,36 euro rispetto al monitoraggio assistito da UAV nel caso SHOWCASE;
- il monitoraggio convenzionale in azienda piccola BioBio è inferiore di 16,41 euro rispetto al monitoraggio assistito da UAV nel caso SHOWCASE,
- il monitoraggio convenzionale in azienda SHOWCASE è superiore di 16,1 euro rispetto al monitoraggio assistito da UAV nella stessa azienda.

Dai risultati emersi in relazione ai dati iniziali che sono stati forniti, si può argomentare che i due tipi di monitoraggio si equivalgono in termini di costo in quanto differiscono soltanto per qualche decina di euro l'uno dall'altro. L'equivalenza economica tra i due approcci di monitoraggio suggerisce la fattibilità del monitoraggio assistito da UAV come un potenziale sostituto o almeno un'alternativa paragonabile al monitoraggio convenzionale. Questi risultati potrebbero indicare una prospettiva promettente per l'integrazione del monitoraggio assistito da UAV come parte integrante o anche preferenziale in alcuni contesti, considerando la sua parità economica con il metodo convenzionale.

5.4 Stima dei costi per il monitoraggio della biodiversità aziendale

Per le aziende grandi il costo del monitoraggio con protocollo SHOWCASE che utilizza il drone è pari a 957,5€, mentre per le aziende piccole sarebbe 865,10€.

Tabella 11 - Confronto tra i costi e tempi del monitoraggio delle aziende grandi e piccole con protocollo con UAV e tempi e costi reali.

Monitoraggio con drone	Azienda grande	Azienda piccola
Tempi totali	72.05 h	58,95 h
Costi totali	957.5€	865,10€
Monitoraggio convenzionale	Azienda grande	Azienda piccola
Tempi totali	20,09 h	13,5 h
Costi totali	626.34€	404€

In entrambi i casi, il monitoraggio con drone richiede molto più tempo e costi più elevati rispetto al metodo a terra. Attualmente, sia in termini economici che di tempistiche, il monitoraggio a terra risulta essere la scelta più conveniente sia per l'azienda grande che piccola. (I risultati ottenuti sono in linea con quanto riportato in Schöttker et al.; 2022).

I costi del monitoraggio delle aziende grandi e delle aziende piccole secondo il protocollo convenzionale del caso SHOWCASE sarebbe rispettivamente di 851,40€ e 696,60€.

Tabella 12 – Confronto tra i costi e tempi del monitoraggio delle aziende grandi e piccole con protocollo con SHOWCASE e tempi e costi reali.

Monitoraggio con protocollo SHOWCASE	Azienda grande	Azienda piccola
Tempi totali	28,38 h	23,22
Costi totali	851,40€	696,60€
Monitoraggio con protocollo BioBio	Azienda grande	Azienda piccola
Tempi totali	20,09 h	13,5 h
Costi totali	626.34€	404€

In entrambi i casi, il monitoraggio con protocollo SHOWCASE richiede molto più tempo e costi più elevati rispetto al metodo BioBio. Attualmente, sia in termini economici che di

tempistiche, il monitoraggio a terra secondo il protocollo BioBio risulta essere la scelta più conveniente sia per l'azienda grande che piccola.

5.5 Scenari di analisi

Dal momento che uno degli obiettivi primari di questo studio è valutare la fattibilità e le potenzialità future del monitoraggio supportato da UAV, sono stati sviluppati due scenari di analisi. Ciascuno di questi scenari si fonda sulla modifica di parametri inerenti al caso di base SHOWCASE.

5.5.1 Scenario A

In questo paragrafo sono stati esaminati degli scenari di analisi in cui è stato valutato come il costo del monitoraggio assistito da UAV potrebbe diminuire, a seguito della riduzione di prezzo, prima del 20% e poi del 40%, dei droni DJI Agras T 30 e delle loro batterie.

5.5.1.1 Scenario A.1

Per lo scenario A.1 è stato considerato come il prezzo del monitoraggio assistito da UAV potrebbe variare a seguito della diminuzione del 20% del prezzo di un drone DJI Agras T30 e delle sue batterie.

In questo scenario ipotetico, il costo del drone menzionato precedentemente sarebbe di 16.000€ anziché 20.000€, mentre il costo delle batterie ammonterebbe a 5.436,80€ invece di 6.769€. Di conseguenza, i costi fissi si ridurrebbero a 21.436€, da distribuire sulle 12 campagne di monitoraggio annuali.

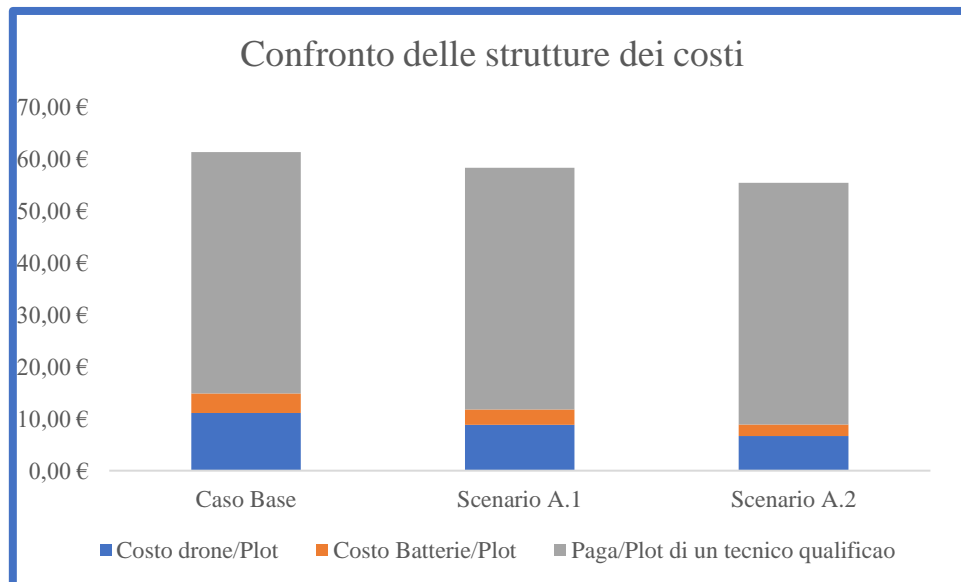
In questo modo, i costi fissi per il monitoraggio diminuirebbero a 357,26€ all'anno da dividere per i trenta transetti considerati, per un totale di 11,80€/plot. Aggiungendo i 46,5€ di costi variabili, si otterrebbe una spesa complessiva di **58.32€/plot** necessari per monitorare un plot seguendo il protocollo di SHOWCASE.

5.5.1.2 Scenario A.2

Per lo scenario A.2 è stato considerato come il prezzo del monitoraggio assistito da UAV potrebbe variare a seguito della diminuzione del 40% del prezzo di un drone DJI Agras T30 e delle sue batterie.

In seguito a questa riduzione dei costi, un drone simile a quello menzionato costerebbe 12.000€, mentre le relative batterie verrebbero a costare 4.077,60€, generando un costo fisso totale di 16.077,60€. In questo contesto, i costi fissi annui scenderebbero a 267,96€, che a plot diventerebbero 8,92€ ai quali andrebbero aggiunti 46,5€ di costi variabili annuali. Complessivamente, sarebbero necessari **55,42€** per monitorare un plot secondo il protocollo di SHOWCASE.

Figura 13 – Confronto tra le strutture dei costi del caso base e degli scenari A.1 e A.2.



L'obiettivo di questo lavoro è confrontare le metodologie di monitoraggio dal punto di vista dei tempi e valutare se in riferimento ai costi, la metodologia di monitoraggio che utilizza gli UAV può essere integrata per i regimi di pagamento basati sui risultati

In generale utilizzare delle tecnologie innovative che accelerano e facilitano il monitoraggio della biodiversità aziendale, potrebbe facilitare la diffusione dei regimi di pagamento basati sui risultati grazie ai quali la “produzione” di biodiversità diventerebbe parte integrante del sistema

agricolo. Attualmente questi schemi non sono ancora stati implementati perché la scelta degli indicatori affidabili e metodi di misurazione adatti è molto complessa. A seguito dello studio svolto è possibile dire che nelle attuali condizioni tecnologiche e agli attuali prezzi dei DJI AgrasT30 è da sottolineare come i costi relativi al monitoraggio rappresentano tuttora un limite per l'implementazione di pagamenti a risultato. Se nei prossimi anni la domanda di queste tecnologie dovesse aumentare e il loro prezzo dovesse diminuire del 20% o addirittura del 40%, il costo di questo monitoraggio sarebbe molto competitivo nei confronti del monitoraggio convenzionale ma il loro impiego rimarrebbe in generale costoso per i regimi di pagamento basati sui risultati. Attualmente, queste tecnologie richiedono un'ottimizzazione per accelerare l'elaborazione dei dati. È fondamentale considerare anche il tipo di computer utilizzato durante le attività di post-processing: un computer ad elevate prestazioni potrebbe ridurre il tempo di analisi delle immagini da 6 a 3 ore. Indipendentemente da ciò, se valutiamo le ore impiegate dall'operatore per il post-processing (che è solitamente una), anche in termini di tempi di elaborazione, la tecnologia degli UAV risulta competitiva rispetto al monitoraggio convenzionale.

Inoltre, è possibile che in futuro la diminuzione dei costi degli UAV favorisca la diffusione di queste tecnologie tra gli agricoltori e che per le pubbliche amministrazioni non sia più necessario organizzare delle campagne di monitoraggio in quanto gli agricoltori possiederebbero già tutta l'attrezzatura necessarie per svolgere questa attività.

Volendo fare un confronto più generale tra le due metodologie di monitoraggio è fondamentale considerare che gli UAV per scopi professionali possono essere utilizzati solo dopo aver conseguito dei corsi di formazione specifica e un attestato presso le scuole di volo⁷. Questi costi rappresentano degli ulteriori costi, costi esterni, che non sono coperti dal budget del monitoraggio.

Un'ipotesi interessante da esaminare è se per il monitoraggio della biodiversità aziendale sia possibile fare affidamento su droni più compatti e meno costosi, quello usato in SHOWCASE ha una tecnologia molto avanzata rispetto al tipo di immagine che è necessaria. Dagli studi di *Torresani et al. (2023)* emerge che foto a risoluzione più bassa danno risultati assolutamente comparabili. Sarebbe quindi, in ipotesi, sufficiente l'uso di un drone commerciale come il DJI Mavic 3M, anziché ricorrere a strumentazioni specializzate come il DJI Agras T30. Questi droni

⁷ Comunicazione personale con tecnici qualificati di Agrobot.

più piccoli, pur essendo dotati di una sensoristica avanzata, potrebbero dimostrarsi efficaci nel monitoraggio ambientale. L'obiettivo sarebbe quello di valutare quanto costa un monitoraggio se fosse il DJI Mavic 3M, che dispone di una telecamera RGB e di un sistema multispettrale con 4 obiettivi.⁸

Un altro aspetto importante da valutare per confrontare i due metodi di misurazione, è che il monitoraggio convenzionale è caratterizzato dalle identificazioni tassonomiche che sono una potenziale fonte di imprecisione, dovuta a identificazione errata (*Lozier JD, et al.;2009*) o alla mancanza di un'adeguata conoscenza tassonomica (*Baselga A.et al.;2010*) Ad esempio, *Bacaro et al. (2009)* hanno dimostrato che la soggettività nell'acquisizione di elenchi di specie da parte dei biologi sul campo aumenta la varianza dell'errore invece di migliorare la qualità delle informazioni sulla diversità effettiva della comunità. Ulteriori problemi possono sorgere quando si combinano dati ottenuti da fonti diverse, in particolare quando esistono classificazioni tassonomiche diverse. Gli errori di identificazione possono collocare le specie in posti sbagliati, portando a sopravvalutare la loro distribuzione effettiva.

Una probabile soluzione a questo problema può essere in futuro rappresentata dagli UAV; Infatti, per l'analisi delle immagini scattate dagli UAV si utilizzano le metodologie di Machine Learning e Data Mining che tengono conto delle grandi quantità di dati raccolti dai campi agricoli, e che, grazie a dei meccanismi di apprendimento automatico, possono dedurre i diversi parametri della vegetazione. Infatti, il Machine Learning è in grado di stimare alcuni parametri riguardanti il tasso di crescita delle colture, rilevare malattie o anche identificare e discriminare gli oggetti nelle immagini. L'utilizzo dell'apprendimento automatico è aumentato molto di recente a causa dei rapidi progressi che si stanno verificando soprattutto nel campo del deep learning (*Dimosthenis C. et al.;2019*). Un aspetto interessante da valutare è l'accuratezza e la precisione dei risultati ottenuti. Proprio in merito a questo, nel loro studio, *Torresani et al. (2023)* hanno valutato attraverso un'analisi di regressione lineare se la copertura floreale stimata utilizzando le immagini UAV fosse significativamente correlata con la copertura floreale stimata in situ. Al termine del lavoro lo staff ha trovato delle relazioni positive altamente significative tra le stime della copertura floreale ottenute tramite immagini UAV RGB, tra gli algoritmi di apprendimento automatico e le stime della copertura floreale ottenute in modo tradizionale, in situ da osservatori locali. Questo significa che e le immagini degli UAV possono

⁸ Per molti monitoraggi attualmente si usano dei droni più piccoli e meno costosi di quello oggetto di studio perché essi, dotati di una sufficiente sensoristica, sono adatti a svolgere questa attività.

essere utilizzate per valutare in modo affidabile la biodiversità aziendale (*Torresani M. et al.;2023*).

Dunque, si può concludere che i metodi basati su UAV potrebbero rappresentare strumenti promettenti per il monitoraggio della qualità dell'habitat e consentono a diversi operatori di ottenere dati ad alta risoluzione spaziale da diversi sensori che possono essere trasportati contemporaneamente, coprendo grandi aree in un tempo limitato. A questa considerazione occorre aggiungere che allo stato attuale il costo del monitoraggio rappresenta tuttora un fattore molto limitante. Ulteriori studi sono quindi necessari per identificare tecniche di monitoraggio meno costose o disegni degli schemi a risultato capaci di ridurre sensibilmente questi costi.

6 Conclusioni

Il presente studio è servito in primo luogo per stimare e confrontare tempi e costi del monitoraggio con veicoli aerei senza pilota e il monitoraggio convenzionale, svolto in campo da ricercatori o professionisti del settore e, in secondo luogo, per valutare in modo analitico l'efficienza di entrambe le metodologie di monitoraggio. È stato possibile condurre lo studio poiché l'Università di Bologna ha messo a disposizione i dati relativi a due progetti di ricerca a cui ha preso parte nel 2012 (Progetto BioBio) e nel 2020 (SHOWCASE). I dati relativi a tempi e costi per il monitoraggio assistito da UAV derivano dal progetto SHOWCASE; i dati relativi a tempi e costi del monitoraggio delle stesse aree eseguito *in situ* derivano dal campionamento a terra eseguito in SHOWCASE; successivamente i tempi necessari per il monitoraggio a terra del progetto sopraccitato sono stati confrontati con i dati ottenuti dal progetto BioBio, in modo da derivare un numero medio di aree necessarie al monitoraggio della biodiversità aziendale e stimare i relativi tempi e costi necessari in un ipotetico campionamento della biodiversità a scala aziendale.

Per il calcolo dei tempi necessari per svolgere i monitoraggi sono state sommate le ore necessarie per le attività di campo, quindi campionamento vegetale per il monitoraggio convenzionale e le ore necessarie per svolgere le missioni di volo e preparazione dei punti a terra per il monitoraggio assistito da UAV, alle ore necessarie per le attività di elaborazione dei dati. Attualmente, si osserva che le attività di lavoro sul campo risultano leggermente più veloci quando si impiegano gli UAV. Tuttavia, le attività di post-elaborazione per i monitoraggi assistiti da UAV esaminati nello studio si rivelano ancora estremamente prolungate poiché i computer necessitano di molte ore di lavoro per ottenere un ortomosaico completo. Ad ogni modo, il protocollo che prevede l'uso di drone è più rapido sia nel lavoro in campo che nell'elaborazione dei dati, non considerando le 5 ore di lavoro autonomo del PC, rispetto al protocollo SHOWCASE a terra; rispetto al protocollo BioBio, il protocollo con UAV registra tempi di lavoro in campo e di post-processing nel complesso molto simili.

Per quanto riguarda i costi essi sono stati ottenuti sommando il costo del monitoraggio in loco ai costi che devono essere sostenuti per l'elaborazione dei dati. Nel contesto del monitoraggio *in situ*, questo valore è stato ottenuto moltiplicando le ore totali necessarie al monitoraggio per una retribuzione media lorda per un esperto botanico che esegue il monitoraggio sul terreno e si occupa dell'analisi dei dati.

Per la stima dei costi del monitoraggio assistito da UAV sono stati sommati i costi del lavoro in campo ai costi sostenuti per le attività di post-processing. Successivamente per ottenere i costi fissi medi per plot, la spesa per l'acquisto dei droni e delle batterie è stata spalmata su cinque anni e poi su 12 campagne di monitoraggio in un anno.

Dai risultati emersi in relazione ai dati iniziali che sono stati forniti, si può argomentare che i due tipi di monitoraggio si equivalgono in termini di costo medio in quanto differiscono soltanto per qualche decina di euro per plot l'uno dall'altro. L'equivalenza economica tra i due approcci di monitoraggio suggerisce la fattibilità del monitoraggio assistito da UAV come un potenziale sostituto o almeno un'alternativa paragonabile al monitoraggio convenzionale. Questi risultati potrebbero indicare una prospettiva promettente per l'integrazione del monitoraggio assistito da UAV come parte integrante o anche preferenziale in alcuni contesti, considerando la sua parità economica con il metodo convenzionale.

Al fine di valutare la fattibilità e le prospettive future del monitoraggio assistito da UAV sono stati costruiti due scenari di analisi, i quali riguardano la riduzione dei costi fissi del monitoraggio assistito dai veicoli aerei senza pilota a seguito di una riduzione del costo dei droni rispettivamente del 20% e del 40%. Dai risultati è emerso che, se nei prossimi anni la domanda di queste tecnologie dovesse aumentare e il loro prezzo dovesse diminuire del 20% o addirittura del 40%, il costo di questo monitoraggio sarebbe molto competitivo nei confronti del monitoraggio convenzionale. Tuttavia, il costo di questa tecnologia per i regimi di pagamento basati sui risultati rimane un fattore limitante.

In conclusione, l'adozione di queste tecnologie offre un metodo preciso ed efficiente per il monitoraggio della biodiversità vegetale. Tuttavia, attualmente, si presenta un costo iniziale elevato per l'acquisto dell'attrezzatura e dei droni, oltre alla richiesta di competenze specializzate per l'analisi dei dati raccolti e la calibrazione degli strumenti di monitoraggio.

Gli argomenti trattati in questo studio non esauriscono le perplessità riguardo la stima dei costi e dei tempi impiegati per metodologie di monitoraggio, anzi aprono la strada a future riflessioni e discussioni. Difatti, un aspetto che sarebbe interessante approfondire riguarda la possibilità di utilizzare droni come il DJI Mavic 3M per il monitoraggio della biodiversità vegetale, i quali sono dotati di telecamera RGB e di un sistema multispettrale con 4 obiettivi, offrendo una soluzione più economica rispetto a modelli specializzati come il DJI Agras T30. Sarebbe interessante determinare se l'impiego del DJI Mavic 3M può ridurre i costi complessivi rispetto

a droni più costosi come il DJI Agras T30, mantenendo comunque un livello accettabile di precisione e dettaglio nelle informazioni raccolte.

Un ulteriore ambito di indagine potrebbe concentrarsi su come l'adozione di un hardware più potente per l'elaborazione potrebbe ridurre i tempi necessari per analizzare enormi quantità di dati, consentendo una rapida e accurata valutazione della biodiversità vegetale.

Inoltre, il disegno a schemi basati sui risultati, abbinato a modalità di monitoraggio diverse, ad esempio a scala di paesaggio oppure a intervalli di tempo più lunghi, rappresenta sicuramente un aspetto da approfondire.

Queste linee di ricerca aprono interessanti possibilità per il futuro, poiché potrebbero rendere il monitoraggio della biodiversità più accessibile, efficiente ed economicamente vantaggioso, contribuendo alla conservazione ambientale e alla gestione sostenibile delle risorse naturali.

BIBLIOGRAFIA

Adão T., Hruška J., Pádua L., Bessa J., Peres E., Morais R., et al., Hyperspectral imaging: a review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry, Remote Sens., 9 (11) 2017.

Agenzia Europea dell'ambiente, 10 Ottobre 2020.

Ahmed O.S., Shemrock A., Chabot D., Dillon C., Williams G., Wasson R., et al., Hierarchical land cover and vegetation classification using multispectral data acquired from an unmanned aerial vehicle, Int. J. Remote Sens., 38 (8–10) ,2017.

Alma Mater Studiorum University of Bologna, BioBio Indicators for biodiversity in organic and low-input farming systems.

Alvarez-Vanhard E., Houet T., Mony C., Lecoq L., Corpetti T., Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping? Remote Sens. Environ., 243 (2020)

Association for Computing Machinery, 2017; CBRNE Tech Index, 2019

Bacaro G, Baragatti E, and Chiarucci A. Using taxonomic data to assess and monitor biodiversity: Are the tribes still fighting? Journal of Environmental Monitoring, 2009.

Baselga A, Lobo JM, Hortal J, Jime'nez-Valverde A, and Go 'mez JF, assessing alpha and beta taxonomy in Eupelmid wasps: Determinants of the probability of describing good species and synonyms. Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research 48, 2010

Bertacchi A., Giannini V., Di Franco C, Silvestri N., Using unmanned aerial vehicles for vegetation mapping and identification of botanical species in wetlands, Landsc. Ecol. Eng., 15 (2), 2019.

Bongiovanni R., Lowenberg-Deboer J., Precision agriculture and sustainability Prec. Agric., 5 (4), 2004.

Bora G.V., Nowatzki J.F., Roberts D.C. Energy savings by adopting precision agriculture in rural USA Energ Sustain Soc, 2 (1) 2012.

Bowman, M., The Nature, Development and Philosophical Foundations of the Biodiversity Concept in International Law, in Bowman, M.-Redgwell, C. (a cura di), International Law and the Conservation of Biological Diversity, London-The Hague-Boston, 1995, 5-31.

Brereton, T., Van Swaay, C. & Van Strien, A. Developing a butterfly indicator to assess changes in Europe's biodiversity. Avocetta, 2009.

Burton R.J.F., Schwarz G.;_Result-oriented agri-environmental schemes in Europe and their potential for promoting behavioural change, Land and Use Policy Volume 30, Numero 1, gennaio 2013

Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W., Almond, R.E.A. et al. Global biodiversity: indicators of recent declines. Science, 2010.

Capolupo A., Kooistra L., Berendonk C., Boccia L., Suomalainen J., estimating plant traits of grasslands from uav-acquired hyperspectral images: a comparison of statistical approaches, ISPRS Int. J. Geo-Inf., 4 (4), 2015.

Caughlan L., Oakley K.L., Cost considerations for long-term ecological monitoring Ecological Indicators, 2001.

Clark, M.J.R., Whitfield, P.H. A practical model integrating quality assurance into environmental monitoring. Water Res. Bull. 29, 1993.

Colomina I., Molina P., Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 92, 2014.

Commissione europea, Attuazione del quadro comune di monitoraggio e valutazione e primi risultati relativi alle prestazioni della politica agricola comune, Bruxelles, 2018.

Commissione Europea, Bilancio dell'UE per il 2019.

Commissione Europea, Comunicato stampa “Legge sul ripristino della natura: i deputati adottano una posizione per i negoziati con il Consiglio”; Bruxelles; 12.07.2023.¹ Commissione Europea, Comunicato stampa “Legge sul ripristino della natura: i deputati adottano una posizione per i negoziati con il Consiglio”; Bruxelles; 12.07.2023.

Commissione europea, DG Ambiente, Istituto per la politica ambientale europea, Finanziamento e monitoraggio della biodiversità ambientale, Rapporto finale, Lussemburgo, maggio 2022.

Commissione europea, DG Ambiente, Istituto per la politica ambientale europea Manuale di orientamento per pagamenti basati sui risultati Progettazione e attuazione di regimi agroambientali basati sui risultati 2014-2020, Londra.

Commissione Europea, <https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law> en.

Commissione Europea, La nostra assicurazione sulla vita, il nostro capitale naturale: strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020, obiettivo 3a, Bruxelles, 2011.

Commissione Europea, obiettivi specifici della PAC, obiettivo 6-Biodiversità e paesaggi agricoli, Bruxelles,

Commissione Europea, Quadro di monitoraggio sugli impollinatori, Monitoraggio Europeo della Biodiversità nei Paesaggi Agricoli (EMBAL), 2023. <https://wikis.ec.europa.eu/pages/viewpage.action?pageId=25560696>

Commissione Europea, SHOWCASing synergies between agriculture, biodiversity and Ecosystem services to help farmers capitalising on native biodiversity.

Commissione Europea, Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030, Riportare la natura nella nostra vita; Bruxelles, 20.5.2020

Commissione Europea: "Common Agricultural Policy towards 2020", Bruxelles, 2011.

Comunicazione della Commissione, del 4 febbraio 1998, su una strategia comunitaria per la diversità biologica, 4 febbraio 1998.

Comunicazione personale da tecnico di Agrobot.

Comunicazione personale da parte di Michele Torresani.

Corte de i Conti Europea, Relazione speciale Biodiversità nei terreni agricoli: il contributo della PAC non ne ha arrestato il declino, Lussemburgo, 2020.

Corte dei Conti europea, Relazione speciale n.21, L'inverdimento: un regime di sostegno al reddito più complesso, non ancora efficace sul piano ambientale, Lussemburgo, 2017.

Cruzan M.B., Weinstein B.G., Grasty M.R., Kohn B.F., Hendrickson E.C., Arredondo T.M., Thompson P.G. Small unmanned aerial vehicles (micro-uavs, drones) in plant ecology Appl. Plant Sci., 4, 2016.

D. Rocchini D., Balkenhol N., Carter G.A., Foody G.M., Gillespie T.W., He K.S., Kark S, Levin N., Lucas K, Luoto M., et al. Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: recent advances and open challenges Ecolog. Inform., 5, 2010.

David G., Silsbee E., David L., Peterson, Planning for implementation of long-term resource monitoring programs, National Park Service, Cooperative Park Studies Unit, College of Forest Resources, AR-IO, University of Washington, Seattle, Washington 98195, U.S.A, 1995.

Davis, Gary E.: "Design of a Long-Term Ecological Monitoring Program for Channel Islands National Park, California", Natural Areas Journal 9, 1989.

Dennis, P., Herzog, F. and Jeanneret, Arndorfer, M., Bunce, R.G.H., Choisis J., Choisis N., Cuming, D, Ehrmann, O, Fjellstad, W., Franck, T., Fraser, M.D., Friedel, J., Geizendorffer, I, Gomiero, T., Jongman, R., Kainz, M., Kölliker, R., Lüscher, G., Moreno, G., Nicholas, P., Paoletti, M.G., Papaja-Hülsbergen, S., Pelosi, C., Sarthou, J.-P., Siebrecht, Targetti, S., Viaggi, D. and Wolfrum, S. BIOBIO, Indicators for biodiversity in organic and low-input farming systems Work Package 2 Conceptual foundations, indicator selection, sampling protocols and evaluation; 2010.

Dessart F.J., Barreiro-Hurlé J. and van Bavel R., Behavioural factors affecting the adoption of sustainable farming practices: a policy-oriented review, European Review of Agricultural Economics Vol 46 (3) (2019).

Diekmann M., Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. Basic and Applied Ecology, Volume 4, 2003.

Dimosthenis C, Tsouros, Stamatia Bibi and Panagiotis G. Sarigiannidis. *A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture*. Information, 2019.

EEA. *The European Grassland Butterfly Indicator: 1990–2011*. EEA Technical Report No, Luxembourg, 2013.

Elmiger D., Dito R., Ghazoul J., Schaub S., *Biodiversity indicators for result-based agri-environmental schemes – Current state and future prospects*, *Agricultural Systems*, 2023

F. Alvarez-Taboada, C. Paredes, J. Julián-Pelaz, *Mapping of the invasive species hakea sericea using unmanned aerial vehicle (uav) and worldview-2 imagery and an object-oriented approach*, *Remote Sensing*, 9 (9), 2017.

Forum economico mondiale, *The Global Risks Report 2020*, 2020

Furness, RW, Greenwood, JJD e Jarvis, PJ: 'Can birds be used to monitoring the environment?', *Monitors of Environmental Change*, Chapman e Hall. Londra, 1993.

Gago J., Douthe C., Coopman R.E., Gallego P.P., Ribas-Carbo M. Flexas J., et al. *UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture* *Agric. Water Manag.*, 153, 2015.

Gallmann J., Schüpbach B., Jacot K., Albrecht M., Winizki J., Kirchgessner N., Aasen H., *Flower mapping in grasslands with drones and deep learning*. *Frontiers in plant science*, 2021.

Garton, E.O. *Cost-efficient baseline inventories of research natural areas*. In: Johnson, J.L., Franklin, J.F., Krebill, R.G. (Eds.), *Research Natural Areas: Baseline Monitoring and Management Symposium Proceedings*. Ogden, UT, *USDA Forest Service Intermountain Research Station*, 1984.

Garton, Edward, *Cost-Efficient Baseline Inventories of Research Natural Areas*, in: Janet L. Johnson, Jerry F. Franklin e Richard G., Krebill, *Research Natural Areas: Monitoraggio e gestione di base: Atti di un simposio, 21 marzo 1984, Missoula MT*. Gen. Tech Rept INT173. Ogden, UT. *USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station*, 1984

Geijzendorffer I.R., Targetti S., Schneider M.K., Brus D.J., Jeanneret P., Jongman R.H.G., Knotters M., Viaggi D., Angelova S., Arndorfer M., Bailey D., Balázs K., Báldi A., Bogers M.M.B., Bunce R.G.H., Choisis J.P, Dennis P., Eiter S., Fjellstad W., Fridel J.K., Gomiero T., Griffioen A., Kainz M., Kovács-Hostyánszki A., Lüscher G., Moreno G., Nascimbene J., Paoletti M.G., Pointereau P., Sarthou J.P., Siebrecht N., Staritsky I., Stoyanova S., Wolfrum S., Herzog F., *How much would it cost to monitor farmland biodiversity in Europe?* *SocietyJournal of Applied Ecology*, 2016.

Gonzales D., Hempel de Ibarra N., Anderson K, *Remote sensing of floral resources for pollinators—new horizons from satellites to drones*. *Front. Ecol. Evolut.*, 10. 2022.

Guo Y, Yin G., Sun H., Wang H., Chen S., Senthilnath J., Wang J., Fu Y., *Scaling effects on chlorophyll content estimations with rgb camera mounted on a uav platform using machine-learning methods*, *Sensors*, 20 (18) 2020.

Herzog F., Franklin F., *State-of-the-art practices in farmland biodiversity monitoring for North America and Europe*, Springer Nature, 2016

Herzon I., Birge T., Allen B., Povellato A., Vanni F., Hart K., Radley G., Tucker G., et al. "Time to look for evidence: Results-based approach to biodiversity conservation on farmland in Europe", *Land Use Policy*, Volume 71, February 2018

Hinds T., *Towards Monitoring of Long-term Trends in Terrestrial Ecosystems*, *Environmental Conservation*, Vol. 11, No. 1, 1984.

Il business case per la biodiversità, Bruxelles, maggio 2020

IPBES, *Summary for policymakers, The European environment – state and outlook 2020*, 2019.

ISMEA, *Piano strategico nazionale della PAC e Architettura verde: considerazioni e ipotesi di lavoro*, Roma, 2020.

Jones, B., Atkinson G., Baxter PWJ, Bubb P., Illian JB., Katzner TE., Keane A., Loh J., McDonald-Madden E., Nicholson E., Pereira HM, Possingham HP., Pullin AS., Rodrigues ASL., Ruiz-Gutierrez V., Sommerville M., Millner-Gulland EJ. *The Why, what, and How of Global Biodiversity Indicators Beyond the 2010 Target*, *Conservation Biology*, Novembre 2010

Kaneko K., Nohara S., et al., *Review of effective vegetation mapping using the uav (unmanned aerial vehicle) method*, *J. Geograph. Inform. Syst.*, 6, 2014.

Kleinebecker T., Busch V., Hölzel N., Hamer U., Schäfer D., Prati D., Fischer M., Hemp A., Lauterbach R., Klaus V.H. *And the winner is! A test of simple predictors of plant species richness in agricultural grasslands* *Ecological Indicators* Volume 87, April 2018

Kwak G-H, Park N.W, *Impact of texture information on crop classification with machine learning and uav images*, *Appl. Sci.*, 9 (4), 2019.

La nostra assicurazione sulla vita, il nostro capitale naturale: strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020

Legg, C. J., & Nagy, L. *Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time*. *Journal of environmental management*, 78(2), 2006.

Librán-Embí F., Klaus F., Tschardt T., Ingo Erba, *Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes - A systematic review*, *Science of The Total Environment*, Volume 732, 25 August 2020.

Loomis, J.B., Walsh, R.G., *Recreation Economic Decisions: Comparing Benefits and Costs*. Venture Publishing, State College, 1997.

Lozier JD, Aniello P, and Hickerson MJ *Predicting the distribution of Sasquatch in western North America: Anything goes with ecological niche modelling*. *Journal of Biogeography* 36, 2009.

Lund, H. Gyde, "Cambiamento: ora lo vedi, ora non lo vedi!", pp. 211— 213, in: John F. Bell e Toby Atterbury (a cura di), *Renewable Resource Inventories for Monitoring Changes and Trends. Atti di un convegno internazionale. Agosto 1983. Corvallis.*

Magnússon R.I., Limpens J., Kleijn D., van Huissteden K., Maximov T.C., Lobry S., Heijmans M.M., *Shrub decline, and expansion of wetland vegetation revealed by very high-resolution land cover change detection in the siberian lowland tundra, Sci. Total Environ., 782, 2021.*

Massfeller A., Meraner M., Hüttel S., Uehleke R. *Farmers' acceptance of results-based agri-environmental schemes: A German perspective, Land Use Policy, volume 120, settembre 2022, Pg.9.*

Michez A, Piégay H., Lisein J., Claessens H, Lejeune P., *Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system, Environ. Monit. Assess., 188 (3), 2016.*

Michez, A., Piégay, H., Lisein, J., Claessens, H., Lejeune, P., *Classification of riparian forest species and health condition using multi-temporal and hyperspatial imagery from unmanned aerial system Environ. Monit. Assess., 188 (3),2016.*

Mulla D.J., *Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps, Biosyst. Eng., 114 (4), 2013.*

Müllerová J., Gago X., Bučas M., Company J., Estrany J., Fortesa J., Manfred S., Michez A., Mokroš M., Paulus G., Tiškus E., Tsiafouli E., RafiKent. *Characterizing vegetation complexity with unmanned aerial systems (UAS) – A framework and synthesis, Indicators Volume, November 2021*

Naidoo, R., Balmford, A., Ferraro, P.J., Polasky, S., Ricketts, T.H. & Rouget, M. *Integrating economic costs into conservation planning. Trends in Ecology & Evolution, 21, 2006.*

Olper A., Pertolani R., *Agenda 2000 e le prospettive della PAC.*

Proposta di regolamento del parlamento europeo e del consiglio sul ripristino della natura, Bruxelles, 22.6.2022.

Randelović P., Dordević V., Milić S., Balešević-Tubić S., Petrović K., Miladinović J., Dukić V., *Prediction of soybean plant density using a machine learning model and vegetation indices extracted from rgb images taken with a uav Agronomy, 10 (8), 2020.*

Reed B.C., Schwartz M.D., Xiao X., *Remote sensing phenology of ecosystem processes, Springer, 2009.*

Reid W., McNeely J., Tunstall D.B., Bryant D.A., Winograd M., *Biodiversity indicators for Policy Makers. IUCN 1993*

Result based payments network, Politica europea, Schemi di pagamento basati sui risultati esistenti <https://www.rbpnetwork.eu/european-policy/>

Runge, T.; Latacz-Lohmann, U.; Schaller, L.; Todorova, K.; Daugbjerg, C.; Termansen, M.; Liira, J.; Le Gloux, F.; Dupraz, P.; Leppanen, J.; et al. Implementation of eco-schemes in fifteen European Union Member States. *Euro Choices* 2022.

Saavoss M., Majsztrik J., Belayneh B., Lea-Cox J., Lichtenberg E., Yield, quality and profitability of sensor-controlled irrigation: a case study of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) production *Irrig. Sci.*, 34 (5) 2016.

Samiappan S., Turnage G., Hathcock L.A., Moorhead R., Mapping of invasive phragmites (common reed) in Gulf of Mexico coastal wetlands using multispectral imagery and small unmanned aerial systems *Int. J. Remote Sens.*, 38 (8–10) ,2016.

Schöttker, O., Hütt, C., Jauker, F., Witt, J., Bareth, G., & Wätzold, F. (2022). Monitoring costs of result-based payments for biodiversity conservation: Will UAV-based remote sensing be the game-changer? *MPRA Paper*,2022.

Schwarz., G., Moxey, A., McCracken, D., Huband, S., Cummins, R., An analysis of the potential effectiveness of a Payment-by-Results approach to the delivery of environmental public goods and services supplies by Agri-Environmental Schemes, *Land Use Policy Group, Regno Unito. Macaulay Institute, Pareto Consulting e Scottish Agricultural College*,2008.

Sheeren D., Fauvel M., Josipović V., Lopes M., Planque C., Dejoux J.F., Tree species classification in temperate forests using formosat-2 satellite image time series, *Remote Sensing*, 8 (9), 2016.

Stephenson P.J., Technological advances in biodiversity monitoring: applicability, opportunities and challenges, *Current Opinion in Environmental Sustainability*,Volume 45, 2020.

Strategia Nazionale per la Biodiversità 2020; struttura della strategia;08.06.2017; *Struttura della Strategia Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (mase.gov.it)*.

Targetti S, Herzog F., Geizendorffer I.R., Wolfrume S., Arndorfer M., Baláz K., Choisis J.P., Dennis P., Eiter S., Fjellstad W., Friedelf J.K., Jeanneret P-, Jongmand R-H-G-, Kainz M., Luescher G., Morenok G., Zanettl T., Sarthou J.P., Stoyanova S., Wiley D., Paoletti M.G., Viaggi D. Estimating the cost of different strategies for measuring farmland biodiversity: Evidence from a Europe-wide field evaluation;2014.

Theissinger K., Fernandes C., Forment G., Bista I., Berg P.R., Bleidorn C., Bombarely A., Crottini A., et al. How genomics can help biodiversity conservation, *Trends in Genetics*,2023.

Tilman D., Cassman KG., Matson P.A., Naylor R., Polasky S. Agricultural sustainability, and intensive production practices *Nature*, 418, 2002.¹ Pajares Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs) *Photogram Engng Rem Sens*, 81 (4),2015.

Torresani M., Kleijn D., Reinier de Vries J. P., Bartholomeu H., Chieffallo L., Cazzolla Gatti R., Ezslav Moudrý V., Da Re D., Tomelleri E. Rocchini D. A novel approach for surveying flowers as a proxy for bee pollinators using drone images. *Ecological Indicators* 149, 2023.

Trujillo-Barrera A., Joost M., Pennings E., Hofenk D. Understanding producers' motives for adopting sustainable practices: the role of expected rewards, risk perception and risk tolerance, European Review of Agricultural Economics Vol 43 (3) (2016).

Van Elsen T., Species diversity as a task for organic agriculture in Europe; Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 77, Issues 1–2, January 2000.

Vitali G. LA POLITICA AGRICOLA COMUNE.2010

Vos P., Meelis E., Ter Keurs W.J., A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management, The Netherlands, 1997.

WWF-European Policy Office, Eco-schemes: a key tool to deliver the European Green Deal, Novembre 2021

Zhang C., Kovacs J.M., The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review.

SITOGRAFIA

Agrobit <https://www.agrobit.ag/>.

Alma Mater Studiorum, <https://www.unibo.it/en/research/projects-and-initiatives/Unibo-Projects-under-7th-Framework-Programme/cooperation-1/food-agriculture-fisheries-biotechnology-kbbe/biobio>

Commissione europea, Condizionalità, https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/income-support/cross-compliance_it

Commissione europea, <https://cordis.europa.eu/project/id/862480/it>

Consiglio dell' UE, <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/06/20/council-reaches-agreement-on-the-nature-restoration-law/>

Consiglio Europeo, <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/biodiversity/#2030>

Ministero dell' ambiente e della sicurezza energetica, <https://www.mase.gov.it/pagina/direttiva-habitat>

Treccani, <https://www.treccani.it/vocabolario/monitoraggio/>