

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI AGRARIA

*Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali
Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente*

TESI DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

**EFFETTO DELLA QUALITÀ DEL MARGINE E DEL PAESAGGIO
SU ALCUNI SERVIZI ECOSISTEMICI DI IMPORTANZA AGRARIA**

***EFFECTS OF EDGE QUALITY AND LANDSCAPE ON MULTIPLE
ECOSYSTEM SERVICES IN AGRO-ECOSYSTEMS***

Relatore: Dr. Lorenzo Marini

Laureanda: Montecchiari Silvia

Matricola n. 1057497

ANNO ACCADMICO 2013-2014

1. La continua perdita di ecosistemi naturali, la crescente domanda alimentare globale, la scarsa produttività raggiunta dai terreni agricoli, sono fatti che hanno portato la comunità mondiale a considerare soluzioni alternative all'agricoltura tradizionale per la produzione sostenibile di beni alimentari. L'obiettivo è l'intensificazione eco-funzionale delle aree agricole, supponendo una forte relazione tra biodiversità, funzioni ecosistemiche e servizi ecosistemici. L'unione europea, in linea con tali obiettivi, ha elaborato un sistema di misure agro-ambientali, volte ad incentivare gli agricoltori a proteggere, mantenere ed impiantare elementi semi-naturali nel loro contesto territoriale.
2. L'efficacia delle misure agro-ambientali sul mantenimento dei servizi ecosistemici, dato un gradiente di complessità paesaggistica crescente, varia seguendo un andamento a campana. Nel presente studio si vuole verificare questa relazione con il paesaggio ed osservare come tale complessità agisce a scala locale.
3. L'effetto del paesaggio e della complessità del margine è stato testato per tre servizi ecosistemi di importanza agraria, impollinazione, controllo biologico e diffusione delle malerbe, in 26 campi di Frumento tra il Veneto ed il Friuli Venezia-Giulia. Il margine è stato classificato in semplice (erbaceo) e complesso (siepe) ed è stato rilevato il numero di specie. Per il paesaggio, analizzato ad due scale diverse, 500m e 1000m, sono state rilevate da GIS le % di copertura di boschi, prati e siepi.
4. Il servizio di impollinazione è stato quantificato con il calcolo del fruit-set, il numero di semi per siliqua, il peso di mille semi e il visitation rate. Tale servizio risponde positivamente alla presenza di elementi semi-naturali nel paesaggio e non sembra rispondere alle variabili di margine. Il controllo biologico, testato sia a livello generale come diminuzione di consistenza di popolazioni di afidi del frumento note, sia quantificando la comunità di predatori e parassitoidi locali, risulta essere efficace in tutte le aree di studio. Risponde positivamente alla complessità del paesaggio, in particolar modo alla presenza di siepi. A livello di margine non sembra esserci una risposta chiara e generalizzata ma solamente per alcuni gruppi notoriamente legati a margini erbacei come i coleotteri carabidi. Le malerbe, quantificate con rilievo floristico in plot all'interno del Frumento, rispondono positivamente al margine erbaceo ed alla ricchezza di specie del margine. A livello di paesaggio, una alta copertura di superfici agricole porta tendenzialmente ad una diminuzione delle malerbe.
5. Risulta evidente come il paesaggio operi un ruolo fondamentale per il mantenimento di tutti i servizi ecosistemici qui considerati. Un paesaggio mediamente complesso in ambiente agrario porta alla massimizzazione dell'efficacia di misure volte al mantenimento di servizi ecosistemici poiché gli elementi semi-naturali offrono nicchie ecologiche nuove e permanenti per la sopravvivenza e la riproduzione delle comunità animali e vegetali che forniscono servizi all'agricoltura.
6. Contrariamente a quanto ipotizzato in partenza non sono stati riscontrati effetti evidenti del tipo di margine sulla presenza e relativa efficacia dei servizi ecosistemici. Sia per margini erbacei che per margini complessi, in generale, non ci sono relazioni di alcun tipo con i servizi, eccezion fatta per alcuni gruppi di predatori terricoli generalisti legati ad ambienti erbacei. Interessante è l'effetto sinergico riscontrato tra complessità del paesaggio e presenza di siepe a livello locale sulla presenza di parassitoidi dell'afide del frumento.
7. Tale studio conferma come è importante continuare ad incentivare la conservazione degli elementi semi-naturali in ambiente agrario per mantenere i servizi utili all'agricoltura e quindi far fronte alle problematiche legate allo sfruttamento non sostenibile dei terreni.

1. The continued loss of natural ecosystems, the growing global food demand, low productivity achieved by agricultural land, are facts that have led the world community to consider alternative solutions to traditional agriculture for the sustainable production of food. The goal is the eco-functional intensification of agricultural areas, assuming a strong relationship between biodiversity, ecosystem functions and ecosystem services. The European Union, in line with these objectives, has developed a system of agri-environmental schemes, aimed at encouraging farmers to protect, maintain and establish semi-natural elements in their local context.
2. The effectiveness of agri-environmental schemes on the maintenance of ecosystem services can vary depending on the surrounding landscape. The effect of the landscape and the complexity of the margin has been tested for three ecosystem services of agricultural importance: pollination, biological control and spread of weeds. We sampled 26 wheat fields between the Veneto and Friuli-Venezia Giulia. The margin was classified into simple (herbaceous) and complex (hedge). The landscape was analyzed at two different scales, 500m and 1000m (% coverage of forests, meadows and hedgerows).
3. The pollination service was quantified with the calculation of the fruit-set, the number of seeds per fruit, the weight of one thousand seeds and the visitation rate. This service responds positively to the presence of semi-natural elements in the landscape and does not seem to respond to the margin type. Parasitism rate increased with the cover of hedgerows in complex but not in simple margins. Biological control by predators appeared to be effective in all areas. We found a neutral effect of margin on predators with the exception of the ground beetles that responded positively to grass margin. Weeds responded positively to the margin and the herbaceous species richness of the margin. At the landscape level, a high coverage of agricultural land leads to a decrease weed diversity and abundance.
4. Landscape plays a key role in the maintenance of all ecosystem services considered here. A landscape with relatively large cover of semi-natural habitats leads to the maximization of the effectiveness of measures for the maintenance of ecosystem services. Semi-natural elements offer new and permanent ecological niches for the survival and reproduction of the animal and plant communities that provide services to agriculture.
5. There were no obvious effects of the type of margin on the presence and relative effectiveness of ecosystem services. Interesting is the interactive effect observed between the complexity of the landscape and the presence of hedge locally on the presence of wheat aphid parasitoids.
6. This study confirms that it is important to continue to encourage the conservation of semi-natural elements in agricultural environment in order to maintain essential services to agriculture.

INDICE

Riassunto	1
Abstract	2
1. INTRODUZIONE.....	4
1.1 Impollinazione	5
1.2 Controllo biologico	5
1.3 Malerbe	6
1.4 Importanza degli elementi semi-naturali per il mantenimento dei servizi	6
1.5 Siepi: composizione e struttura.....	7
1.6 Paesaggio ed efficacia degli interventi agro ambientali.....	8
1.7 Le scale ecologiche	9
1.8 Obiettivi della tesi.....	11
2 MATERIALI E METODI	11
2.1 Ambiente di sperimentazione	11
2.2 Disegno sperimentale.....	12
2.3 Caratterizzazione dei margini e del paesaggio	12
2.4 Presenza delle malerbe	13
2.5 Controllo biologico	14
2.6 Impollinazione	15
2.7 Analisi statistiche.....	17
3 RISULTATI.....	18
3.1 Impollinazione	18
3.2 Controllo biologico	21
3.3 Presenza delle malerbe	24
4.DISCUSSIONE	25
4.1 Impollinazione e paesaggio	25
4.2 Controllo biologico	25
4.3 Malerbe	28
5.CONCLUSIONI	29
APPENDICE	30
BIBLIOGRAFIA.....	35

1. INTRODUZIONE

A livello globale circa il 50% degli ecosistemi naturali sono stati convertiti in aree agricole, aree ad uso zootecnico o gestione forestale intensiva. Nei prossimi decenni si assisterà all'aumento della domanda di prodotti agricoli. Dal 2050 la domanda corrente di prodotti alimentari raddoppierà contestualmente all'aumento della popolazione mondiale e alla crescita socio- economica (FAO, 2008). L'espansione di economie sempre più basate sulla richiesta di prodotti naturali tenderà a far aumentare in maniera drastica la domanda di prodotti agricoli. In un contesto di espansione delle aree urbane ed industriali è inevitabile la competizione con le aree coltivate e ciò impedisce di far fronte alle richieste sempre maggiori di prodotti alimentari.

Fin dal ventesimo secolo è iniziata una intensificazione agricola con lo scopo di produrre quantità maggiori dalla stessa unità di superficie, attraverso una meccanizzazione sempre più spinta, una selezione delle varietà e l'utilizzo di prodotti chimici. Oggi si è raggiunto il massimo di produttività e non si intravedono future possibilità di incremento in efficienza produttiva attraverso metodi convenzionali. La dipendenza dell'agricoltura tradizionale dalle risorse non rinnovabili rende la situazione non sostenibile nel lungo termine. Quindi la distruzione e la frammentazione degli habitat naturali e l'intensificazione antropica nell'uso del suolo sono considerate le maggiori cause di perdita di biodiversità (Tscharrntke et al., 2005). Il mondo scientifico ha proposto una soluzione a questa situazione: l'intensificazione eco-funzionale (Niggli et al., 2008). Si tratta di ottimizzare tutti i servizi che gli ecosistemi forniscono. Infatti per servizi ecosistemici si intende condizioni e processi attraverso i quali gli ecosistemi naturali e le specie che li compongono sostengono e soddisfano la vita umana. Essi mantengono la biodiversità e la produzione di beni ecosistemici come cibo, legname e fibre naturali. (Daily, 1997). La relazione tra biodiversità e funzione ecosistemica è un processo ormai ben noto per la sua complessità e per la sua dipendenza dal tipo di contesto che si sta analizzando (Balvanera et al., 2006; Cadotte et al., 2011). Tuttavia si assume che la perdita di biodiversità dovuta ad una intensificazione agricola convenzionale corrisponde ad una perdita di diversità funzionale degli ecosistemi presenti (Mayfield et al., 2010) e di conseguenza ad un decremento dei servizi forniti. I servizi ecosistemici ad oggi individuati e considerati di vitale importanza per il benessere e la salute dell'uomo sono i seguenti:

- Servizi di approvvigionamento che forniscono i beni veri e propri, quali cibo, acqua, legname e fibra;
- Servizi di regolazione, che regolano il clima e le precipitazioni, l'acqua (ad es. le inondazioni), i rifiuti, la diffusione delle malattie e la produzione primaria;
- Servizi di supporto, che comprendono la formazione del suolo, la fotosintesi e il ciclo nutritivo alla base della crescita e della produzione;
- Servizi culturali, relativi alla bellezza, all'ispirazione e allo svago che contribuiscono al nostro benessere spirituale;

Oggi molti proprietari terrieri iniziano a comprendere l'importanza di integrare la produzione agricola con la gestione della biodiversità così da assicurare la presenza dei servizi ecosistemici per far fronte alla domanda di cibo, carburante, fibra, ecc. I servizi di

supporto (fertilità del suolo) e di regolazione (impollinazione, controllo biologico, prevenzione emissione di gas serra, ecc.) sono di vitale importanza per il mantenimento delle produzioni agricole e quindi per il sostentamento delle popolazioni, tuttavia per la società sono due servizi poco valorizzati essenzialmente per una mancanza di informazioni.

In questo studio si è posta l'attenzione su tre principali servizi di regolazione quali l'impollinazione, il controllo biologico e la diffusione delle malerbe.

1.1 Impollinazione

Si può considerare l'impollinazione come uno dei più importanti servizi all'agricoltura e all'ambiente poiché svolge un ruolo essenziale nella fecondazione incrociata, propagazione e miglioramento genetico delle specie vegetali, e produzione agricola.

L'impollinazione zoofila ed in particolare quella entomofila, operata cioè da specifici gruppi tassonomici di insetti, supporta l'88% di tutte le specie vegetali a livello globale (Batary et al., 2013) e provvede al trasporto di polline in quantità e qualità sufficiente ed al momento appropriato per la riproduzione sessuale in circa il 70 % delle specie coltivate in tutto il mondo (Garibaldi et al., 2011b). Sebbene molte colture alla base dell'alimentazione umana sono, a vari livelli, autoimpollinanti o ad impollinazione anemocora, come ad esempio il mais e il riso, nel lungo termine tutte dipendono dagli impollinatori per lo scambio genetico tra individui. Inoltre l'importanza di questo servizio si evidenzia nelle colture strettamente legate agli insetti pronubi, come tutte le piante da frutto, ed in generale negli equilibri ecosistemici a scala più grande, generando grandi valori economici. Tuttavia l'importanza di questo servizio va oltre la semplice ricaduta economica, poiché influisce direttamente sull'assetto vegetale e animale di un territorio. Il mondo scientifico è preoccupato per il decremento a livello globale degli impollinatori. Solo in Europa il 37-65% di specie di api è considerato a rischio; nel Regno Unito la popolazione di farfalle ha subito un decremento del 71% negli ultimi 20 anni (Winfrey et al., 2011). Sono dati preoccupanti poiché agli impollinatori si attribuisce un valore strutturale nel contesto degli ecosistemi, con la loro sparizione non solo si estinguerebbe una parte di biodiversità, ma renderebbe critica anche la realizzazione di interi processi ecologici. Gli impollinatori, mediante il mantenimento della flora, contribuiscono in maniera sostanziale al mantenimento degli equilibri ecosistemici rendendo minimo il rischio di estinzione.

1.2 Controllo biologico

Il controllo naturale degli insetti fitofagi operato da predatori e parassitoidi è un servizio ecosistemico di essenziale importanza a supporto della produzione agricola. Gli Stati Uniti nel 2008 hanno speso 11 Miliardi di dollari in pesticidi. Nonostante questo uso smodato di prodotti chimici che minacciano la salute umana e degli ecosistemi, le stime ci informano che il 37% della produzione delle colture negli Stati Uniti è persa per via degli attacchi di insetti fitofagi (Chaplin-Kramer et al., 2011). I nemici naturali possono offrire una soluzione sostenibile a questo problema. E' stato dimostrato che il controllo biologico è influenzato da diversi fattori che agiscono a scale spazio-temporali diverse, come la gestione delle singole colture e le variazioni nel contesto di paesaggio circostante. In un contesto agrario, la

complessità del paesaggio circostante i campi, intesa come maggiore presenza di habitat semi-naturali, favorisce la presenza di comunità di predatori più diversificate ed abbondanti (Tscharntke et al. 2007). L'aumento della complessità del paesaggio è associato ad un aumento dell'abbondanza e/o diversità delle popolazioni di nemici naturali (Bianchi et al. 2006; Gardiner et al. 2009). Il controllo dei fitofagi delle colture agrarie attraverso l'utilizzo di prodotti chimici si dimostra una pratica non più sostenibile né a livello ecologico e né a livello economico. In un contesto di frammentazione e perdita degli habitat naturali, tale servizio ecosistemico è favorito, a scala locale, dalla presenza di elementi semi-naturali in ambiente agrario, i quali operano una importante azione di regolazione nelle reti alimentari.

1.3 Malerbe

Con l'emergenza del concetto di diversità funzionale anche il concetto di malerbe negli agroecosistemi ha subito un forte cambiamento negli ultimi decenni. Lo studio delle fluttuazioni nella presenza di malerbe nelle colture è un eccellente esempio di come la società e le politiche gestionali si stanno muovendo verso una agricoltura più sostenibile.

Le malerbe, essendo parte integrante di un ecosistema, si inseriscono all'interno delle catene alimentari svolgendo ruoli diversi che possono andare a modificare il funzionamento del sistema stesso (Petit et al., 2011). Essendo produttori primari si trovano alla base della catena alimentare e svolgono un ruolo importante nel fornire cibo a molti gruppi tassonomici come gli artropodi impollinatori (Backman and Tiainen, 2002), coleotteri carabidi (Hawes et al., 2003), formiche (Jacob et al., 2006), lombrichi, uccelli e piccoli mammiferi. Oltre ad agire come competitori di risorse fondamentali verso le colture agrarie, possono influenzare l'incidenza di malattie delle colture fungendo da vettori o dando rifugio ai patogeni. Quindi a scala locale possono avere effetti di diverso tipo sulle colture. Indubbiamente la presenza di malerbe è influenzata dal tipo di paesaggio circostante il campo e dal tipo di gestione agricola di quel territorio. Si è visto che un paesaggio eterogeneo con piccole unità di gestione e la presenza di aree semi-naturali porta alla diminuzione dell'abbondanza di specie infestanti aggressive e dominanti (Dornelas et al., 2009). Favorire la complessità delle comunità di malerbe, evitare l'uso di fertilizzanti lungo i margini, aumentare la complessità del paesaggio sono strategie che mirano a controllare in maniera sostenibile la presenza delle infestanti. Tuttavia ad oggi le conoscenze relative agli scambi che intercorrono tra le comunità di malerbe presenti nei vari patch dell'agroecosistema sono ancora scarse.

1.4 Importanza degli elementi semi-naturali per il mantenimento dei servizi

Nell'ultimo secolo si è assistito ad enormi cambiamenti nelle pratiche di gestione agricola. Con il passaggio da una agricoltura tradizionale ad una intensiva è aumentata notevolmente la produttività degli appezzamenti, grazie alla meccanizzazione sempre più spinta, l'utilizzo di prodotti chimici per il controllo di fitofagi e malerbe e l'impiego di concimi. In questo periodo il paesaggio agrario ha perso una considerevole percentuale di habitat naturali, sia a livello di patch che a livello di paesaggio si è assistito al declino della diversità vegetale ed inoltre gli appezzamenti coltivati sono aumentati di dimensione e di connettività. Questo

trend è noto come “land simplification” , semplificazione del paesaggio (Meehan et al., 2011). Con il tempo tale modello sta evidenziando alcuni limiti: oltre all’impoverimento ecologico della campagna, la riduzione e la scomparsa di gran parte della biodiversità animale e vegetale e del degrado naturalistico del paesaggio, emergono anche seri problemi di ecologia funzionale , che si ripercuotono direttamente sulla stessa produttività agricola e nello specifico sugli organismi che garantiscono l’efficienza dei servizi di impollinazione e controllo biologico.

Il mantenimento, la conservazione o l’impianto di elementi semi- naturali nel paesaggio agrario permette di migliorare la connettività fra habitat frammentati e quindi permettere un passaggio più efficace di organismi che svolgono funzioni centrali nell’ecologia dell’agroecosistema. Aree come zone boscate, siepi, aree marginali, cespugli, zone di antichi confini poderali caratterizzate da muretti a secco e specie della vegetazione autoctona, coltivi abbandonati, aree alberate, capezzagne, etc. sono essenziali per mantenere nicchie ecologiche idonee alla vita degli organismi impollinatori, parassitoidi o predatori che forniscono i servizi qui presi in analisi.

La presenza di questi elementi genera da una parte un processo di “spill-over” cioè il flusso di energia, materiale ed organismi da un ecosistema ad un altro, nello specifico da un sistema naturale ad uno antropogenico (Rand et al., 2006) e dall’altra fungono da elemento attrattivo per gli impollinatori.

Recenti ricerche hanno dimostrato l’effetto positivo della presenza di habitat semi-naturali su vari servizi ecosistemici e che la sopravvivenza delle popolazioni di insetti impollinatori e predatori nelle zone agricole può dipendere dalla conservazione e gestione degli stessi (Holzschuh et al.,2007; Gabriel et al., 2005). Maggiore è la presenza di questi habitat, migliore è la loro struttura e maggiori sono i servizi ottenibili, ottenendo risultati positivi anche per quanto riguarda la loro stabilità nel tempo.

1.5 Siepi: composizione e struttura

Tra gli elementi semi-naturali importanti per gli equilibri ecologici in ambiente agrario, le siepi svolgono certamente una funzione cruciale, e proprio uno degli obiettivi di questa tesi è di verificarne l’efficacia.

Le siepi sono intese come elementi lineari collocati in ambiente agrario, di varia complessità strutturale, situate al margine del campo coltivato. Rientrano a pieno titolo tra gli elementi dell’agroecosistema che svolgono un ruolo polifunzionale (Forman and Baudry,1984).

Considerando l’ambiente tipico in cui si trovano, una matrice territoriale omogenea caratterizzata da un paesaggio semplificato, le siepi sono un elemento importante di diversificazione, assicurando una puntuale complessità strutturale. Inoltre svolgono diverse funzioni: creano un micro-habitat idoneo per la vita di molte piante ed animali, ospitano nicchie ecologiche altrimenti assenti, hanno una funzione estetica nel rendere armonioso e diversificato il paesaggio agrario, difendono il suolo dall’erosione, fungono da barriere frangivento a difesa delle colture, limitano i rumori e le particelle inquinanti provenienti dalle strade e svolgono il ruolo di corridoi ecologici.

L’insieme delle specie vegetali costituenti le siepi offrono rifugio e cibo a diverse specie animali. Molti gruppi di uccelli sono attirati dalla presenza di frutti (principalmente bacche e drupe) di cui cibarsi e dalla possibilità di nidificare in un luogo sicuro. La presenza di fiori, nel

periodo primaverile, attira numerose specie di insetti impollinatori, inoltre sono aree di rifugio per insetti predatori e parassitoidi.

La struttura delle siepi può essere paragonata a quella del margine del bosco, in cui la vegetazione si sviluppa su più piani per fenomeni di competizione. Si possono distinguere alberi, arbusti, erbe perenni o erbe annuali.

All'interno delle siepi si vengono perciò a creare una serie di nicchie ecologiche inedite per l'agroecosistema semplificato, occupate da altrettante specie ad esse adattate. Per questo motivo entro gli elementi lineari la biodiversità risulta più alta che in campo aperto. (Hannon et al., 2009; Hinsley et al. 2000)

Ampliando il concetto di siepe in quanto tale e considerando in concetto di "margine", si può affermare che le funzioni sopra discusse, sono svolte, seppur con diversa efficacia, anche da elementi lineari a struttura estremamente semplificata, come capezzagne inerbite o strade poderali. Tali ecosistemi si possono considerare quindi come siepi a sola componente erbacea, qui definiti "margini semplici" o "margini erbacei", ma comunque con una ricchezza di specie ben diversa dal campo coltivato.

Si distinguono inoltre "margini arbustivi", caratterizzati dalla presenza sia dello strato erbaceo che di quello arbustivo, e "margini arborei" o "margini complessi", con anche lo strato arboreo. Queste due tipologie possono essere considerate siepi vere e proprie, ma all'interno di un sistema semplificato come quello agrario tutti gli elementi semi-naturali lineari svolgono una importante funzione di diversificazione e connettività.

La siepe differisce dalla matrice territoriale circostante ed è costituita prevalentemente da specie di margine, cioè rilevate sul perimetro di una formazione non lineare. Nessuna specie è tipica ed esclusiva delle siepi, ma tutte si ritrovano negli habitat vicini: è quindi una struttura che denota origine interattiva e continui processi di scambio con le componenti ambientali circostanti, sia di tipo fisico che biotico.

1.6 Paesaggio ed efficacia degli interventi agro ambientali

Come evidenziato precedentemente gli elementi lineari in ambiente agrario svolgono funzioni ecologiche molto importanti ma ciò è strettamente influenzato dalla qualità del paesaggio circostante la scala locale, poiché intervengono processi di scambio con le varie componenti ambientali. In un'ottica più ampia diventa essenziale lo studio del paesaggio in ambiente agrario ai fini del mantenimento della biodiversità e dei servizi ad essa legati. Indubbiamente le attività agricole sono attività economiche orientate al conseguimento di un reddito. In questo contesto parlare di conservazione della biodiversità in quanto tale risulta difficile poiché è inevitabile uno scontro con le esigenze e gli scopi del settore primario. Si incorre inevitabilmente in un conflitto di interessi tra ciò che persegue il singolo e gli interessi della comunità. Considerando che più della metà della superficie terrestre idonea ad accogliere vita vegetale è interessata da gestione agricola, la conservazione della biodiversità non può passare solamente attraverso le aree protette. Il contributo delle aree agricole per la salvaguardia della diversità biologica è fondamentale per un esito positivo delle misure di protezione a lungo termine. Per quanto riguarda l'Unione Europea sono stati ideati degli strumenti economici di compensazione che si concretizzano nelle Misure Agro-ambientali. Sono dei pagamenti versati agli agricoltori ai quali si chiede di ridurre gli impatti dell'agricoltura intensiva e mantenere o implementare gli habitat agrari di pregio (malghe, praterie, siepi, margini, etc.). Gli interventi agro-ambientali tendono a migliorare la ricchezza di specie e l'abbondanza di gruppi più importanti, ma l'intensità della risposta e la sua

durata nel tempo dipende molto dal contesto in cui si è inseriti (Batary et al., 2011; Ricketts et al. 2008). Le zone agricole sono sfruttate dagli insetti come aree in cui trovare nutrimento, sia esso nettare o insetti fitofagi, ma vivono, riposano e si riproducono degli habitat semi-naturali. Conseguenza di ciò è che con l'aumento della distanza dagli elementi semi-naturali, si assiste alla diminuzione della ricchezza di impollinatori e predatori o comunque ad un peggioramento dei servizi ecosistemici considerati (Rundolf and Smith, 2006; Ostman et al., 2001)

In un contesto paesaggistico complesso, dove c'è una elevata presenza di siepi, boschetti, margini, etc. la maggior parte dei campi si trova a breve distanza da questi elementi e quindi è facilitato il movimento verso gli appezzamenti coltivati. Questo può mascherare le eventuali modificazioni causate da una diversa gestione locale.

Un paesaggio complesso fa sì che l'efficacia delle misure agro-ambientali sia più moderata poiché c'è un elevato tasso di immigrazione dagli habitat semi-naturali così che la biodiversità sia elevata ovunque.

In paesaggi semplici, cioè con scarsa presenza di elementi naturali, le misure agro-ambientali avranno un grande effetto sulla biodiversità e sui processi ad essa associati. Tuttavia se la semplificazione paesaggistica è eccessiva l'efficacia di tali misure sarà quasi nulla poiché ci sono troppe poche specie per poter dare una risposta idonea ai cambiamenti gestionali (Tschardt et al., 2005).

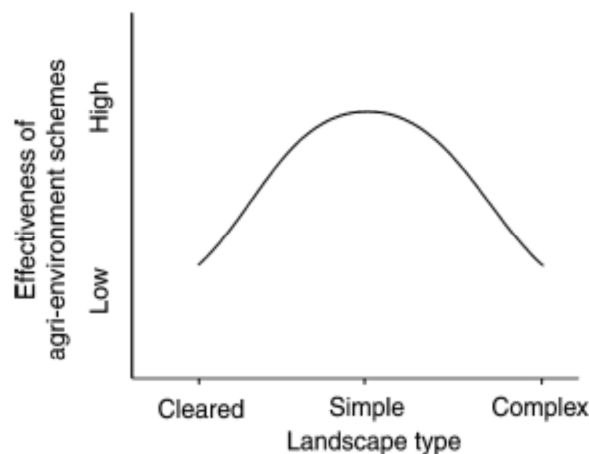


Figura 1.1 (Tschardt et al., 2005). Efficacia degli schemi agro-ambientali al variare del tipo di paesaggio. L'efficacia è misurata come miglioramento della biodiversità dovuto alla gestione, come la conversione da una gestione convenzionale ad una biologica, oppure come la creazione di margini e siepi, comparati con siti di controllo non gestiti. Il tipo di paesaggio è classificato come Cleared (bassissima diversità < 1% di habitat semi-naturale); Paesaggio semplice (bassa diversità, 1-20% di habitat semi-naturale); Complesso (alta diversità, >20% di habitat semi-naturale). La risposta varia perché variano le possibilità di ricolonizzazione. Nel primo caso ci sono troppe poche specie per avere una risposta efficace. In maniera simile nel paesaggio complesso l'efficacia è poco evidente perché la diversità è alta ovunque. Nel paesaggio semplice invece si trova un pool intermedio di specie che permettono una risposta significativa.

1.7 Le scale ecologiche

Avendo riconosciuto il ruolo degli elementi semi-naturali, nello specifico delle siepi, e del paesaggio in ambiente agrario, per ottenere una analisi corretta è importante conoscere come le scale ecologiche influenzano i risultati di un lavoro, infatti nello studio degli ecosistemi la scelta della scala è un momento cruciale per la buona riuscita delle osservazioni. Con il termine scala si possono intendere diversi concetti, infatti si parla di scala spaziale o scala temporale per intendere l'area o la durata delle osservazioni. E' un

concetto che parte dalla definizione dei limiti di analisi, cioè dell'ampiezza spaziale e temporale (Extent) fino ad arrivare alla decisione della dimensione dell'unità spaziale osservata (Grain). Più è piccolo il grain e più alta sarà la risoluzione dell'osservazione, però si perde in estensione. La condizione ottimale sarebbe avere una grande estensione ed un piccolo grain, solo che sopraggiungono limiti tecnici ed economici che permettono solo raramente di attuare studi del genere.

I processi naturali mostrano una variabilità caratteristica di scale spaziali, temporali e livelli di organizzazione e quindi possono essere osservati a varie scale. La maggior parte degli studi di comunità sono focalizzati su habitat frammentati e spesso si concentrano solo su ciò che accade a scala locale ignorando quello che succede nel paesaggio circostante (Tscharntke et al., 2007). Esistono pochi dati raccolti che evidenzino le dinamiche di comunità a scala più ampia e come la struttura del paesaggio determini la diversità locale.

La gestione del territorio spesso si focalizza su poche specie e processi locali, ma in paesaggi agricoli dinamici soltanto una analisi di diverse specie è in grado di garantire la resilienza (la capacità di riorganizzarsi dopo un disturbo). Le specie interagiscono tra loro e fanno esperienza di ciò che le circonda a diverse scale spaziali, e ciò influenza le interazioni trofiche. Paesaggi strutturalmente complessi favoriscono la diversità locale negli agroecosistemi, e ciò può compensare l'alta intensità di gestione. Gli organismi aventi elevate capacità di dispersione guidano questi pattern di biodiversità e servizi ecosistemici, grazie alle loro abilità di ricolonizzazione (Tscharntke et al., 2005).

A scala di paesaggio, l'eterogeneità ambientale, ha un ruolo importante nel determinare i processi ecologici. I processi dominanti sono la dispersione di individui fra diverse popolazioni e l'estinzione. Sono influenzati da variabili che riguardano il singolo patch come la produttività, la dimensione e la forma del patch, l'isolamento, la vicinanza con altri patch ed gli habitat circostanti (Gabriel et al., 2010).

Passo essenziale nello studio del paesaggio è la valutare se il movimento degli organismi tra un patch ed un altro è facilitato oppure ostacolato. La connettività è una misura che spiega questa permeabilità al passaggio di individui ed energia e viene fisicamente attuata dai corridoi vegetazionali, i quali permettono di mantenere la ricchezza delle specie e di aumentare l'abbondanza delle popolazioni frammentate. La connettività dipende dalla scala spaziale alla quale gli organismi percepiscono e interagiscono con la matrice paesaggistica circostante (Fahrig, 2003).

Negli ultimi decenni, attraverso l'intensificazione agricola, l'uomo ha causato la frammentazione degli habitat naturali portando ad una perdita di biodiversità oltre che al declino delle popolazioni che prima si trovavano a vivere in un continuum di condizioni ecologiche e che ora sono separate in metapopolazioni. Gli effetti negativi della frammentazione si possono sintetizzare in due punti essenziali. Primo, si arriva ad un punto in cui i singoli patch hanno dimensioni troppo esigue per poter sostenere la popolazione locale. Le specie che non sono in grado di attraversare la porzione di non-habitat (matrice) saranno confinate in un'area troppo piccola per poter mantenere una popolazione vitale, così diminuirà la probabilità di persistenza. Il secondo punto negativo è l'insorgere dell'effetto margine. I paesaggi più frammentati hanno una maggior quantità di margine considerando la stessa superficie di habitat. Questo aumenta la probabilità che gli individui abbandonino il patch per entrare nella matrice e ciò fa aumentare la percentuale di mortalità e ridurre la percentuale di riproduzione (Fahrig, 2003).

Lo studio dell'ecologia di questi paesaggi frammentati è un campo complesso e solo di recente si è iniziato ad indagare, tuttavia solo studiando le dinamiche a scala di paesaggio si potranno ricavare importanti informazioni sulle future dinamiche utili per la conservazione.

1.8 Obiettivi della tesi

In un contesto globale di crescita della popolazione umana e di aumento delle superfici destinate ad uso agricolo è importante conoscere i meccanismi che regolano la biodiversità nell'agroecosistema. Gli ecosistemi semi-naturali forniscono all'attività agricola importanti servizi, che spesso assumono un valore economico oltre che biologico, perciò si pone l'attenzione sulla loro conservazione. Occorre inoltre prendere in esame il contesto paesaggistico in cui si è inseriti. Considerando che l'agroecosistema ospita habitat naturali o semi-naturali frammentati, è importante sapere come varia la permeabilità della matrice ambientale al passaggio di organismi, e quindi ai servizi, tra una zona e l'altra. In altre parole come varia la connettività tra patch. In questo studio sono stati considerati come elementi semi-naturali i margini dei campi di Frumento. La diversa risposta in termini di efficacia dell'impollinazione, del controllo biologico e della diffusione delle malerbe si ha considerando la complessità del margine stesso, in quanto è ipotizzabile che una struttura più complessa corrisponda ad una maggiore biodiversità.

Attraverso questa ricerca si vuole verificare l'efficacia di tre servizi, testando tutte le possibili combinazioni tra tre tipi di margine (margine erbaceo, siepe semplice, siepe complessa) e il tipo di paesaggio in cui si è inseriti, analizzato a due scale diverse (0.5 Km ed 1 Km). L'ipotesi di partenza è quella che in un contesto di paesaggio omogeneo e margini semplici o paesaggio eterogeneo e siepe complessa, il servizio non evidenzia correlazioni tangibili. In condizioni intermedie invece ci si aspetta di osservare variazioni sensibili nella qualità e quantità del servizio al variare della complessità del margine.

2 MATERIALI E METODI

2.1 Ambiente di sperimentazione

Lo studio è stato condotto in Veneto ed in Friuli Venezia Giulia tra l'inizio di Maggio e l'inizio di Giugno 2014 su 13 campi di frumento per ogni regione, per un totale di 26 aree. L'autorizzazione all'accesso e ai rilevamenti è stata ottenuta da parte di tutti i proprietari. Le zone sono rappresentative del paesaggio pianeggiante di queste due regioni, caratterizzato da una gestione agricola intensiva e costituito da un mosaico territoriale su piccola-media scala di colture foraggere, arativi, terreni boscati ed insediamenti umani. Questo territorio può essere definito come semi-naturale poiché l'attività antropica ha alterato l'ambiente naturale d'origine e si è inserito nella gestione dello stesso. Ci troviamo nella regione forestale definita Avanalpica-collinare e nella fascia basale, cioè a basse quote., quindi la vegetazione naturale potenziale era costituita da Quercu-carpineti planiziali (boschi con *Q. robur*, Farnia e *C. betulus*, Carpino bianco), oggi quasi completamente scomparsi per far posto alle colture. Il territorio di analisi rientra nella pianura Veneto-Friulana, il cui clima può essere definito temperato subcontinentale, ossia caratterizzato da un inverno generalmente

secco e rigido, un' estate molto calda e afosa con fenomeni temporaleschi talvolta di rilevante intensità. Le stagioni più piovose sono la primavera e l'autunno, quando generalmente cadono più di 100 mm al mese.

2.2 Disegno sperimentale

Allo scopo di verificare lo stato dei servizi ecosistemici qui analizzati sono stati considerati i seguenti fattori:

- Composizione e struttura del margine
- Complessità del paesaggio a diverse scale

Le 26 aree sono state scelte in maniera tale che si potesse identificare un gradiente di complessità di margine. In figura 2.1 possiamo vedere in blu le aree a margine erbaceo, in rosso quelle a margine arbustivo (siepe semplice) ed in giallo quelle a margine arboreo (siepe complessa). Per poter fare una analisi a livello di paesaggio si è cercato, per quanto possibile di collocare queste tre aree facenti parte del gradiente di complessità di margine, il più vicino possibile tra loro. Questo perché il paesaggio circostante sia lo stesso, ed abbia

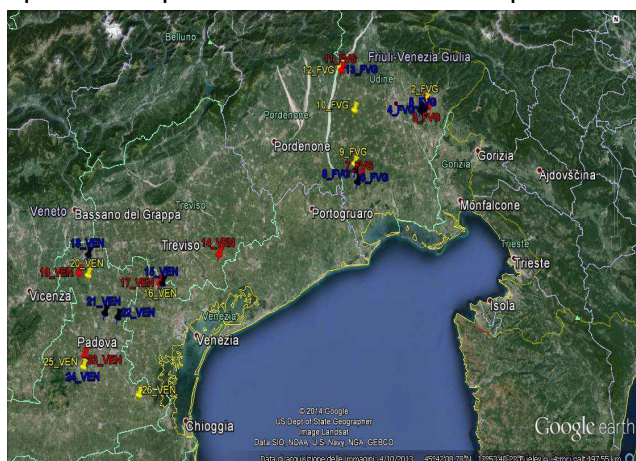


Figura 2.1: disegno sperimentale.

quindi lo stesso tipo di influenza a scala locale. Tuttavia l'analisi del paesaggio è stata effettuata singolarmente per ogni area. La scelta di collocare i punti lungo un gradiente di complessità non segue un procedimento quantitativo, ma soltanto qualitativo dato che le aree non saranno confrontate statisticamente fra loro. E' bene inoltre specificare che alcuni campi situati in Friuli erano coltivati ad Orzo anziché Frumento. Tuttavia non sono state fatte correzioni di sorta considerando i due cereali simili per il tipo di studio condotto.

2.3 Caratterizzazione dei margini e del paesaggio

I margini dei campi sono stati caratterizzati attraverso un rilievo floristico. Per ogni area sono stati effettuati 3 plot di dimensioni 1m x 3m (3 repliche), delimitati da 4 paletti di bambù e spago, (Appendice fig.1) al cui interno sono stati rilevati diversi parametri:

5	copertura 76-100%
4	copertura 51-75%
3	copertura 26-50%
2	copertura 5-25%
1	copertura <5%
+	pochi individui (2-5)
r	1 solo individuo

- identificazione di tutte le specie presenti;
- caratterizzazione della struttura vegetale assegnando ogni specie ad una classe di altezza (strato arboreo altezza >5m; strato arbustivo altezza compresa tra 2 e 5 metri; strato erbaceo altezza < 2m);
- stima della copertura di ogni specie

Tabella 2.1: valori di copertura usati dalla scala Braun-Blanquet.

facendo riferimento alla scala Braun-Blanquet (Tabella 2.1 e figura 2.1).

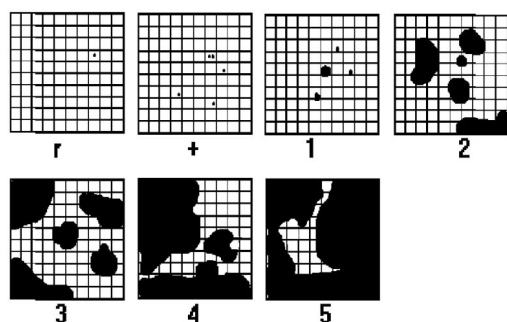


Figura 2.1: Immagini di riferimento per assegnare i valori di copertura.

Grazie a questo rilievo è stato possibile caratterizzare ogni area, e quindi ogni margine, in maniera certa. Alla fine sono state ottenute tre classi: campi a margine erbaceo, campi a margine arbustivo, campi a margine arboreo (siepe complessa). Per quanto riguarda il paesaggio, per ogni area sono state tracciate due zone buffer circolari, di raggio 500m e 1000m, attraverso l'utilizzo del software Google Earth, programma che genera immagini virtuali della Terra utilizzando immagini satellitari ottenute da telerilevamento terrestre, fotografie aeree e dati topografici memorizzati in una piattaforma GIS. E' un programma gratuito e

permette di editare alcuni contenuti. Il calcolo della composizione del paesaggio è avvenuto da remoto identificando la tipologia di uso del suolo e distinguendo tra siepi, prati e boschetti. Ogni unità di uso del suolo è stata digitalizzata manualmente e importata in un programma GIS. Qui è stato possibile calcolare la superficie di ogni singolo poligono e la superficie totale del paesaggio così da avere la composizione percentuale della zone buffer. Si è scelto di avere una analisi a due scale poiché spesso gli habitat semi-naturali si trovano a distanze maggiori e nonostante ciò influenzano i servizi ecosistemici a scala di singolo campo.

In questo studio sono stati presi in analisi tre servizi ecosistemici, di cui verificare l'efficacia al variare delle combinazioni fra tipo di margine e tipo di paesaggio. Per ogni servizio è stato utilizzato un diverso sistema di campionamento quali-quantitativo per ottenere dati precisi ed accurati.

2.4 Presenza delle malerbe

Per malerbe si intende qualsiasi specie vegetale che condivide lo spazio vitale con la coltura in atto e diversa dalla stessa, poiché si instaurano meccanismi di competizione per le principali risorse quali luce, acqua e nutrienti. Per verificare la presenza di malerbe all'interno del campo di Frumento è stato effettuato un rilievo floristico in singoli plot da 10m x 10m, a partire dal bordo del campo verso l'interno, in cui sono state identificate tutte le specie e per ognuna è stato assegnato un valore di copertura, espresso in percentuale. Tale valore è perciò ricavato da una stima a vista: inizialmente è stato assegnato un valore di copertura al frumento e la restante superficie vuota è poi ripartita tra le altre specie presenti; è perciò essenziale che il rilievo venga effettuato sempre dalla stessa persona, per ridurre al minimo gli errori dovuti all'interpretazione personale.

2.5 Controllo biologico

La parte dello studio che concerne la verifica della qualità del controllo biologico al variare della tipologia di margine e di paesaggio si articola in diverse fasi. Inizialmente è stato fatto un conteggio in campo del numero di afidi, predatori degli afidi e afidi parassitizzati (mummie), attraverso la compilazione di una apposita tabella. Il conteggio è stato effettuato all'interno del campo lungo un transetto parallelo al bordo e distante 2 metri dallo stesso. Ogni metro sono state campionate singole spighe di Frumento sulle quali effettuare il conteggio degli afidi, fino ad arrivare a 50 spighe con almeno un afide. Questo conteggio ha lo scopo di dare una idea iniziale sulla qualità del servizio presente e valutare il momento adatto per iniziare l'esperienza. La verifica dell'efficacia dell'azione dei predatori naturali può essere fatta più agevolmente su piantine trasportabili, nelle quali inoculare afidi. In questo modo si avrà una misura precisa del numero di afidi presenti all'inizio e alla fine dell'esperienza e si potrà fare un successivo conteggio degli afidi parassitizzati direttamente nei laboratori. Perciò sono stati piantati in serra 70 vasi di Frumento (Appendice fig.2) e sono state importate dalla Germania colonie di afidi della stessa specie di fitofago presente nei campi cioè *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775).(fig. 3.1)



Figura 3.1: *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775)

Quando il frumento ha raggiunto i 15-20 cm di altezza è stato effettuato l'inoculo appoggiando 10 afidi sul frumento in vaso e chiudendo la piantina in appositi sacchetti di tessuto-non tessuto per far sì che la colonia cresca in maniera opportuna (Appendice fig.3 e 4). Dopo 2 giorni è stato effettuato un primo controllo.

Tale operazione è fatta in sincronia con lo sviluppo fenologico del frumento in campo, infatti le piantine inoculate possono essere portate in campo solamente nel momento di massima attività degli afidi sul grano, cioè nella fase di pre-spagatura.

Lo studio prevede che in ogni area ci sia una coppia di vasi di frumento inoculato con *Sitobion avenae*, di cui uno è lasciato esposto all'azione dei predatori naturali mentre l'altro è collocato all'interno di una gabbia in PVC fissata ad un cilindro di plastica rigida interrato per 5-20 cm e sorretto da due pali di bambù di diametro 3 cm (Appendice fig.5). Per evitare l'ingresso di predatori terricoli è stata collocata nel cilindro una pit-fall con acqua saponata

(soluzione 1:4), mentre per inibire l'entrata di predatori volanti, la superficie della gabbia è stata spruzzata con una apposita colla anti insetto.

Le piantine sono state lasciate in campo per 5 giorni e poi riportate in serra dove è stato effettuato il conteggio finale delle colonie di afidi. Per ogni campo la diminuzione di afidi dovuta ai nemici naturali è stata quantificata come la media proporzione di afidi predati nelle piante aperte comparata con la popolazione di afidi in gabbia. È stata applicata la seguente formula:

$$\text{Biological control} = \frac{\sum_{i=1}^4 \left(1 - \frac{A_{\text{open } 5i}}{r_{\text{cage}} A_{\text{open } 0i}} \right)}{n}$$

dove $A_{\text{open } 5i}$ è il n° di afidi dei vasi aperti dopo 5 giorni, r_{cage} è la crescita della popolazione di afidi dei vasi chiusi calcolata come rapporto tra n° afidi iniziali e n° afidi finali, $A_{\text{open } 0i}$ è il numero di afidi nei vasi aperti all'inizio dell'esperimento, i è il numero della replica e n è il numero di repliche per ogni campo. Il controllo biologico così calcolato varia da 0 ad 1, dove 0 indica una perdita netta nulla di afidi nel trattamento aperto e 1 indica che il 100% degli afidi sono stati predati (Rusch et al., 2013).

E' stato rilevato il numero di mummie sulle piantine aperte, e a fine esperimento sono state collocate in serra per un'altra settimana per avere informazioni sulla percentuale di parassitizzazione.

Contestualmente a queste operazioni di campo sono state collocate 3 pit-fall in ogni area per verificare la presenza di predatori terricoli (Appendice fig. 6). Sono state posizionate, a partire dal limite del campo e procedendo verso il suo interno, a distanze sempre maggiori, rispettivamente a 0m, 1m e 3m. All'interno delle trappole è stato inserito del Glycole-propilene (liquido antigelo usato nelle auto) che causa la morte degli insetti ed è in grado di conservarli per il periodo che le pit-fall rimangono in campo. Lo scopo è quello di verificare la presenza di predatori terricoli che si muovono dal margine all'interno del campo. Sono state lasciate fuori per 10 giorni, coperte con un apposito tetto per evitare che potesse entrare pioggia o sedimenti e limitare l'efficacia dell'esperimento (Appendice fig. 7). Una volta recuperate le trappole sono stati selezionati, tra tutti gli organismi catturati, i gruppi funzionali di interesse, cioè coleotteri carabidi, coleotteri stafilinidi, web spiders e wolf spiders, ed è stata determinata l'abbondanza di questi gruppi tassonomici. Si è deciso di non campionare le tane sotterranee dei nemici naturali sulla base dell'area totale, ma solamente di misurare la densità della loro attività

2.6 Impollinazione

Il Ravanello, *Raphanus sativus* L. (Brassicaceae) è una pianta ermafrodita, erbacea nativa del continente Europeo. Produce anche centinaia di fiori per pianta ed è visitato da un'ampia varietà di insetti, comprese le api selvatiche, api domestiche, bombi e farfalle. Il ravanello è una pianta che spesso dimostra una auto incompatibilità di impollinazione e perciò si affida all'impollinazione entomofila per la riproduzione. Inoltre ha basse esigenze in acqua, nutrienti, struttura del suolo, richiede poche cure colturali, cresce velocemente, con una

fioritura ed una fruttificazione scalare, produce frutti di grandi dimensioni contenenti semi grandi, facili da raccogliere e contare. Questo fa sì che il Ravanello sia una specie ideale da usare come fitometro, cioè una pianta che dia risposte certe ed inconfutabili attraverso la produzione, su fattori ecologici che si vogliono misurare. Nel nostro caso il fitometro è usato per la quantificazione del servizio di impollinazione.

In data 25 Marzo 2014 sono stati seminati 180 vasi con seme di ravanello reperito da un normale rivenditore di sementi (Appendice fig.8). I vasi contenevano terreno argilloso proveniente dall'azienda agricola del dipartimento di scienze Agrarie dell'università di Padova. Sono stati collocati 10 semi per vaso tra i quali poi effettuare una selezione dei 2 migliori individui. Le piantine sono state lasciate crescere per circa due mesi in serra ed appena si è raggiunta la fase fenologica di prefioritura, 20 Maggio 2014, sono state portate in campo.

In ogni area sono collocate 3 coppie di vasi: uno isolato, che funge da controllo, avvolto da una rete di tessuto tulle per evitare l'ingresso di insetti, e uno esposto all'azione degli impollinatori. I vasi sono stati interrati per 10-15 cm così da renderli più stabili, evitare che si adagino al suolo e per favorire l'assorbimento idrico, e posizionati al bordo del campo al termine del margine. Sono stati periodicamente innaffiati e contrassegnati dal codice dell'area e da un numero progressivo da 1 a 3 così da poter distinguere il singolo vaso.

I fitometri sono rimasti in campo per 3 settimane e poi riportati in serra per verificare differenze nella produzione di semi fra vasi isolati e non, tra diversi tipi di margine e di paesaggio. Man mano che i frutti maturano sono raccolti e conservati in sacchetti di carta riportanti il codice dell'area, il numero del fitometro e da quale delle due piante di ravanello proviene il frutto. Per ogni pianta si annota il numero dei frutti e il numero degli abbozzi fiorali non andati a frutto (Appendice fig 9). La somma ci indica il totale dei fiori. Il materiale raccolto va conservato in luogo asciutto e arieggiato per evitare l'insorgenza di muffe e aiutare l'essiccazione se i frutti sono umidi. I frutti vanno raccolti solamente a completa maturità cioè quando sono totalmente secchi, di color marrone e non verde o rosso. Si procede poi al conteggio dei semi contenuti all'interno, sia se completamente maturi o appena abbozzati e al peso degli stessi attraverso l'utilizzo di una bilancia di precisione (Appendice fig.11). Facendo il rapporto tra il peso totale dei semi e il loro numero si avrà il peso del singolo seme che sarà utilizzato per avere poi il peso di 1000 semi. Altro parametro importante per valutare l'efficacia dell'impollinazione è il Fruit Set, che consiste nel rapporto tra il totale dei fiori prodotti e il totale dei frutti, così da avere una misura della produzione della pianta.

Nelle tre settimane di permanenza dei fitometri in campo, cioè dal 28 Maggio 2014 all'11 Giugno 2014 sono stati effettuati i rilievi per il calcolo del Visitation Rate, un parametro che mette in relazione le specie di impollinatori con il numero di visite fiorali (Appendice fig.10). In questo periodo si sono compiute 3 visite ad ogni fitometro, facendo passare lo stesso numero di giorni tra un rilievo e l'altro. Il conteggio delle visite è fatto osservando la pianta per 5 minuti e annotando sia il numero di visite che il gruppo funzionale a cui appartiene l'insetto, il numero di fiori aperti e l'orario. Infatti tale operazione può essere effettuata solo dalle 9:00 del mattino alle 18:00 di pomeriggio perché sono le ore in cui l'attività degli insetti è maggiore. Vanno inoltre evitati i giorni con eccessiva ventosità e giorni di pioggia. L'ordine con cui si fanno i rilievi cambia di volta in volta, (il primo rilievo della giornata 1 diventerà l'ultimo rilievo della giornata 2) così da svincolare il numero di visite dall'orario.

Va conteggiato solo l'insetto che si appoggia sul fiore e nel suo riconoscimento non saranno distinte le singole specie ma solamente i gruppi funzionali di appartenenza. I gruppi tassonomici considerati in questo studio sono i seguenti :

- Ape domestica (considerata per vedere se ci sono arnie nelle vicinanze. Il servizio ecosistemico naturale in tal caso è dipendente dall'azione dell'uomo);
- Ape selvatica;
- Bombo;
- Ditteri sirfidi;
- Altri ditteri,
- Lepidotteri,
- Altri;

2.7 Analisi statistiche

E' stato utilizzato un il metodo di analisi statistica definito *Multimodel Inference*, nel quale vengono esaminate simultaneamente tutte le possibili ipotesi competitive per poi identificare i migliori modelli. Le variabili considerate sono 3 a loro volta suddivise in classi:

- Ricchezza del margine : ottenuta dalla somma del n° di specie delle tre repliche per ogni sito.
- Struttura del margine: prevede due classi grass(erbaceo) o hedgerow(siepe).
- Composizione del paesaggio: considera la % di presenza di prati, siepi e boschi a 500m ed a 1000m. Le classi sono così denominate: grass_500, for_500, hedge_500, grass_1000, for_1000, hedge_1000.

Tale metodo testa tutte le possibili coppie quindi vengono considerate anche le interazioni. Per ogni modello viene calcolato un peso (*weight*) che dà una misura della probabilità che quel modello sia il migliore, creando un ranking.

Una volta scelto il modello per ogni variabile viene calcolato un indice di *Importanza Relativa* derivato dalla somma dei singoli pesi di ogni variabile per ogni modello in cui questa è presente. Ciò permette di discriminare tra variabili significative e non, cioè che spiegano in maniera significativa la variabilità del fenomeno misurato. Sono considerati buoni i valori attorno allo 0.8. In questa fase si osserva anche l'intervallo di confidenza, che è bene non contenga il valore zero, ed il β o coefficiente angolare della retta, che ci informa se l'andamento è positivo o negativo.

Nel modello qui utilizzato sono stati considerati come fattori random la DATA ed il SITO. Le analisi sono state condotte utilizzando il software di analisi statistica R.

3 RISULTATI

3.1 Impollinazione

Per verificare l'efficacia di questo servizio ecosistemico sono stati presi in analisi 3 parametri, messi poi in relazione con le variabili di margine e paesaggistiche. Il Fruit-set, il N° di semi per siliqua e il peso di 1000 semi hanno mostrato un P-value di molto inferiore a 0.005, ciò significa che la variabilità dei dati raccolti è spiegata da questi parametri (tab. 3.1).

	F	df	P
Fruit set	14,55	1, 104	< 0.001
Numero di semi x siliqua	26,49	1, 104	< 0.001
Peso di 1000 semi	19,71	1, 104	< 0.001

Tabella 3.1: risultati del modello di regressione misto riguardante i parametri legati all'impollinazione

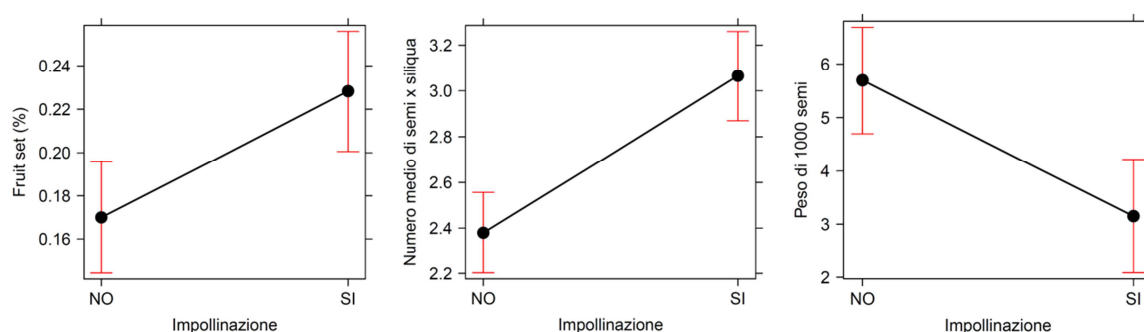


Figure 3.1-3.2-3.3: effetto della presenza di impollinatori sui principali parametri produttivi; dove NO indica le piante isolate da tessuto tulle e SI indica le piante aperte.

In primo luogo consideriamo il **fruit-set** (N° frutti / N° fiori), calcolato sia per le piante di Ravanello rimaste esposte all'azione degli impollinatori sia per le piante isolate con tessuto tulle. Le piante esposte al servizio mostrano una migliore allegazione, come mostrato nella figura 3.1, con in media un maggior numero di frutti rispetto al totale dei fiori prodotti per pianta. Tale parametro non mostra una particolare dipendenza dal tipo di margine e dalla sua struttura, invece si è evidenziato un effetto positivo del paesaggio in termini di presenza di boschi (for_500) e prati (grass_500) in un'area circostante di raggio 500m, riassumibili in presenza di coperture semi-naturali. Come è evidente dalle figure 3.4 e 3.5 all'aumentare della copertura di superfici semi-naturali si riscontra un aumento della differenza di fruit-set tra chiuso ed aperto e quindi del servizio.

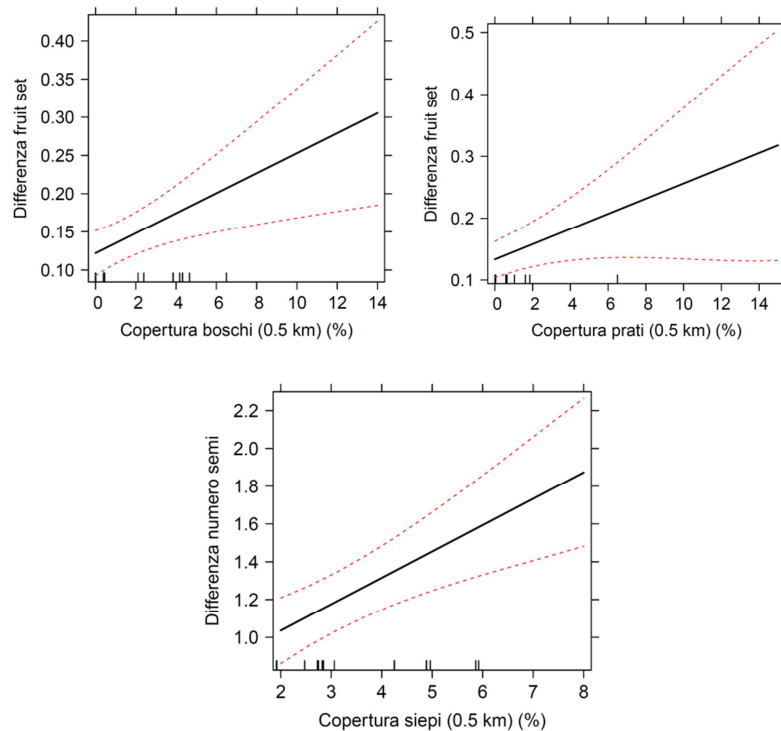


Figure 3.4-3.5: effetto del paesaggio a 500m sulla differenza di fruit-set. Figura 3.6: effetto del paesaggio ad 1km sulla differenza del numero di semi per siliqua.

Per quanto riguarda il parametro **n° di semi per siliqua**, è evidente come nelle piante esposte al servizio di impollinazione questo sia maggiore rispetto alle piante isolate (fig.3.2) inoltre mostra una ottima relazione con la presenza di siepi nel paesaggio circostante, sia a 500m che a 1000m (fig. 3.6), infatti la differenza nel numero di semi per siliqua tra chiuso ed aperto aumenta con la % siepi.

Il parametro **peso di 1000 semi**, risulta essere maggiore per le piante isolate con tessuto tulle, rispetto a quelle aperte che però dimostrano di avere un fruit-set più alto (fig.3.3).

	β	ES	IC inf	IC sup	I.R
DIFF. FRUIT-SET					
Copertura boschi (0.5 km)	0,071	0,022	0,026	0,163	0,95
Copertura prati (0.5 km)	0,055	0,021	0,012	0,097	0,83
DIFF. SEMI PER SILIQUA					
Copertura siepi (0.5 km)	0,701	0,203	0,287	1,114	0,90
Struttura×Copertura boschi (0.5 km)	-1,444	0,347	-2,157	-0,730	0,74
Copertura siepi (1 km)	0,644	0,234	0,166	1,121	0,83
VISITATION RATE					
Copertura siepi (0.5 km)	0,675	0,151	0,374	0,975	0,99
Copertura siepi (1 km)	0,586	0,156	0,274	0,898	0,99

Tabella 3.2: Parametri del modello statistico relativi alle variabili legate al servizio di impollinazione.

Una ulteriore idea della qualità del servizio di impollinazione ci è data dal **Visitation rate**, parametro calcolato solamente sulle piante aperte, sommando il numero di visite di insetti pronubi nell'unità di tempo. Nella tabella 3.3 è riportato il conteggio di visite ripartito tra i vari

gruppi tassonomici considerati.

Il maggior numero di visite è relativo ai ditteri sirfidi, gruppo attratto maggiormente dai fiori di Brassicaceae, ed anche per le api selvatiche è stato rilevato un buon numero di visite. Come per il fruit-set, anche in questo caso si evidenzia un forte effetto positivo del paesaggio, in termini di copertura percentuale di siepi sia in un intorno di 500m che 1000 m (figura 3.7) dall'area di studio. Entrambe le Importanze relative sono paria ad 0.99 con un intervallo di confidenza che non comprende il valore nullo e pendenza positiva, come è riportato nella tabella 3.2 riassuntiva dei parametri del modello statistico.

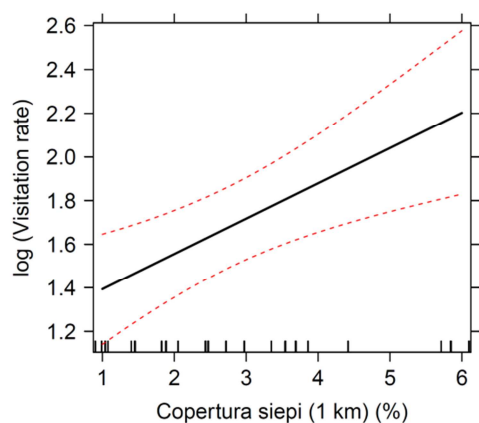


Figura 3.7: effetto della presenza di siepi nel paesaggio ad 1 km sul visitation rate.

Gruppo	28-30 Mag	5-6 Giu	10-11 Giu
Ape d.	4	5	4
Ape s.	18	33	38
Bombi	0	5	1
Sirfidi	85	77	31
Altri ditteri	14	11	11
Lepidotteri	14	23	11
Altri	15	16	4

Tabella 3.3: Numero di visite fiorali relativo ai singoli gruppi tassonomici considerati, per le tre date di conteggio in campo.

3.2 Controllo biologico

Per verificare questo servizio sono stati eseguiti tre esperimenti così da poter considerare tutti i tipi di predatori e parassitoidi presenti nell'area e correlarli all'ambiente circostante.

1)Attraverso il conteggio in campo, prelevando casualmente dei culmi di frumento è stata verificata la presenza di 929 afidi, 176 larve di coccinella (predatori) e 479 mummie di *Sitobion avenae* che indicano la presenza di parassitoidi

	β	ES	IC inf	IC sup	I.R
PARASSITISMO					
Ricchezza margine	-0,144	0,071	-0,286	-0,002	0,70
Struttura × Copertura siepi (0.5 km)	0,363	0,112	0,140	0,586	0,73
Ricchezza margine	-0,165	0,071	-0,306	-0,024	0,79
Struttura × Copertura siepi (1km)	0,353	0,116	0,121	0,585	0,68
COCCINELLE					
Copertura bosco (1 km)	-0,680	0,287	-1,252	-0,108	0,77
Copertura prati (1 km)	0,608	0,269	0,072	1,144	0,75

Tabella 3.4: Parametri del modello statistico relativi alle variabili legate al servizio di controllo biologico. Conteggio in campo attraverso prelievo casuale di culmi di Frumento.

Per quanto riguarda la presenza di **parassitoidi**, a livello di scala locale non c'è nessuna correlazione con il tipo margine considerando invece il paesaggio sono state trovate delle variabili significative per entrambe le scale (500m e 1000m). Certamente la struttura del margine e la presenza di siepi nel paesaggio hanno un'ottima importanza relativa per entrambe le scale (vedi tabella 3.4) tuttavia tutti gli intervalli di confidenza comprendono lo zero quindi si può dire che sono variabili che influenzano in qualche modo il servizio ma che non ne spiegano totalmente la variabilità.

Mostrano una importante significatività in entrambe le scale di paesaggio, la ricchezza di specie del margine (qui intesa come presenza di specie nettariifere perché più attrattive) e l'interazione tra la struttura del margine e la presenza di siepi nel paesaggio (struttura x copertura siepi). La ricchezza del margine ha un effetto negativo sul tasso di parassitismo. Come mostrato in figura 3.8, all'aumentare del numero di specie vegetali il servizio diminuisce. Per quanto riguarda l'interazione (figura 3.9), si è osservato che, se localmente abbiamo un margine erbaceo, all'aumentare della copertura % di siepi in un intorno di 500m, il tasso di parassitismo rimane praticamente invariato, invece se il margine è più complesso (siepe), all'aumentare dell'eterogeneità del paesaggio circostante il tasso di parassitismo mostra un sensibile aumento.

Per quanto riguarda la presenza di **larve di coccinella**, considerando il paesaggio a 1km, c'è un effetto positivo della copertura di prati (figura 3.10) mentre è stato riscontrato un effetto negativo della presenza di boschi a 1000m (vedi tabella 3.4). La figura 3.11 mostra infatti che all'aumentare della copertura di foreste l'abbondanza delle coccinelle diminuisce in maniera significativa. La presenza di predatori nel campo sembra essere favorita da un paesaggio ricco di praterie e aree aperte piuttosto che dalla presenza di boschi.

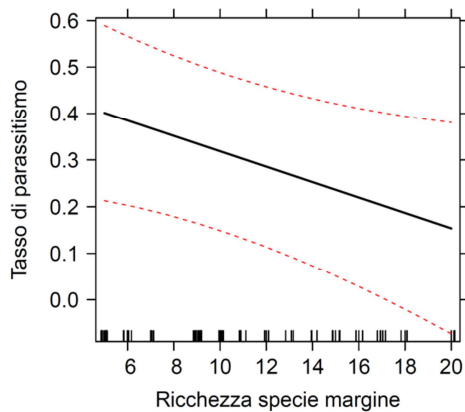


Figura 3.8: effetto della ricchezza di specie del margine sul tasso di parassitismo.

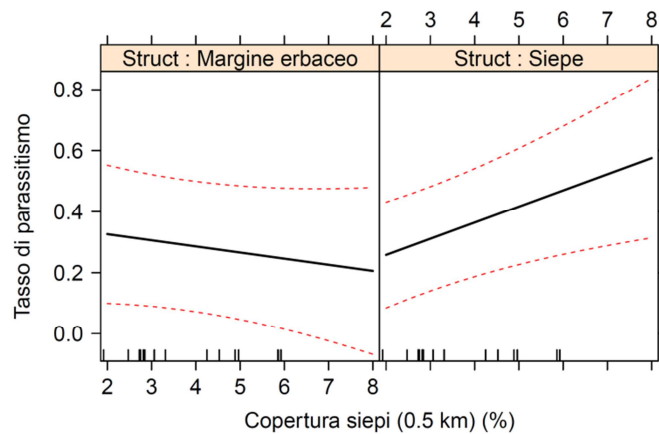


Figura 3.9: interazione struttura x copertura siepi (500m).

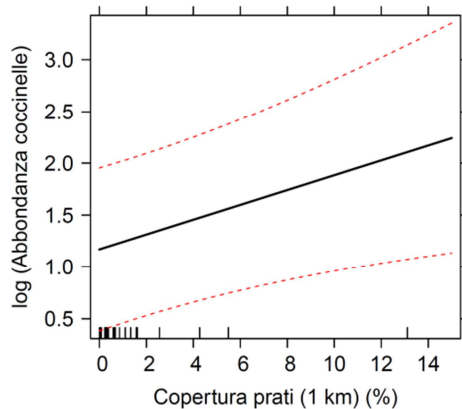


Figura 3.10: effetto della presenza di prati sull'abbondanza di coccinelle.

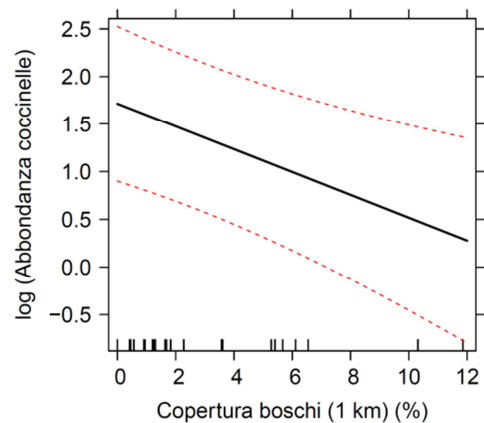


Figura 3.11: effetto della presenza di boschi sull'abbondanza di coccinelle.

2) Per verificare la presenza di predatori che vivono a livello del suolo sono state piazzate delle trappole **pit-fall**. Dal conteggio è risultato che sono presenti 1308 coleotteri carabidi, 242 coleotteri stafilinidi, e 411 ragni (tra cui 264 web spiders e 147 wolf spiders).

I carabidi rispondono in maniera significativa al tipo di struttura del margine per entrambe le scale di paesaggio, in particolare il margine complesso ha un effetto negativo sul numero di questi predatori (vedi coefficiente angolare da tabella 3.5), mentre il margine erbaceo sembra favorire la loro presenza (figura 3.12).

I coleotteri stafilinidi mostrano che tendenzialmente sono favoriti dalla presenza di prati nel paesaggio circostante mentre i ragni sembrano favoriti dalla presenza di siepi a 500m. Tuttavia non possono essere considerate delle correlazioni forti ma delle semplici tendenze poiché i rispettivi parametri di importanza relativa sono inferiori al valore soglia di 0.8 e gli intervalli di confidenza contengono lo zero (vedi tabella 3.5).

	β	ES	IC inf	IC sup	I.R
CARABIDI					
Struttura margine	-0,593	0,373	-1,334	0,149	0,73
STAFILINIDI					
Copertura prati (0.5 km)	0,396	0,244	-0,091	0,883	0,61
Copertura prati (1 km)	0,374	0,242	-0,108	0,856	0,58
RAGNI					
Copertura siepi (0.5 km)	-0,370	0,195	-0,759	0,019	0,69

Tabella 3.5: Parametri del modello statistico relativi alle variabili legate al servizio di controllo biologico. Conteggio pit-fall.

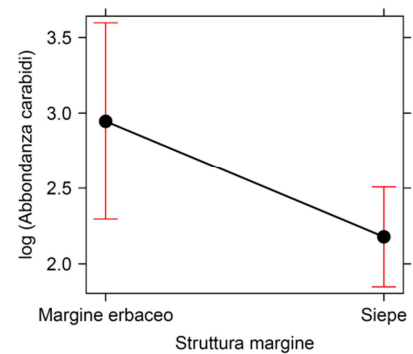


Figura 3.12: effetto della struttura del margine sull'abbondanza di carabidi.

3) Per verificare l'efficacia del servizio di controllo biologico in maniera diretta è stato effettuato il conteggio delle colonie di afidi inoculati sulle piantine di frumento portate nelle varie aree, di cui una isolata dall'azione dei predatori ed una esposta.

All'inizio dell'esperimento non c'erano sostanziali differenze nel numero di afidi tra le gabbie e le piantine aperte. Ciò indica che la collocazione a coppie in campo è stata effettuata con successo. Dopo cinque giorni di esposizione si è passati al conteggio ed è risultato che c'è stato un forte effetto dei nemici naturali sulle popolazioni di afidi con molti più afidi nelle colonie isolate, le quali hanno raddoppiato la loro consistenza numerica, mentre quelle esposte all'azione dei predatori e parassitoidi hanno registrato una forte diminuzione del numero di individui, passando da 60 afidi a meno di 10 afidi per vaso (figura 3.13). Si può inoltre affermare che il servizio di controllo biologico è alto ovunque, sia che ci sia un margine erbaceo, sia che sia presente una siepe, il controllo rimane comunque alto.

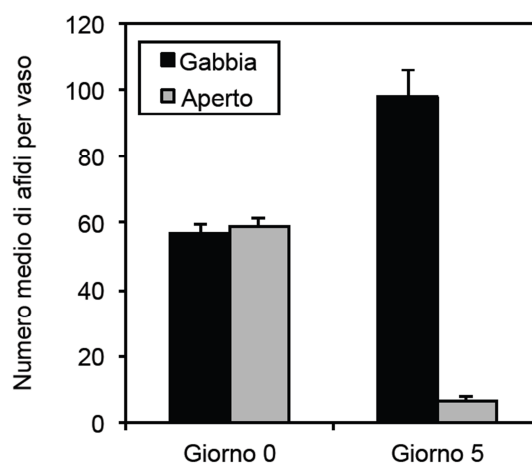


Figura 3.13: N° medio di afidi, *S.avenae*, per vaso nel trattamento aperto e con gabbia, all'inizio (giorno 0) e alla fine (giorno 5) dell'esperimento.

3.3 Presenza delle malerbe

La presenza di malerbe nei campi, intesa come % sul totale di superficie, mostra correlazioni significative con tre variabili nel paesaggio al 1km, anche se gli effetti non sono forti. Una struttura semplice del margine fa sì che aumenti il numero di specie di malerbe nei campi, al contrario di quanto faccia il margine complesso. Mostra un effetto positivo su tale servizio la ricchezza del margine, cioè più specie sono presenti in quest'ultimo e più specie estranee alla coltura entreranno nel campo (figure 3.14 e 3.15). Per quanto riguarda l'influenza del paesaggio è stata calcolata la % di superficie occupata dall'uso del suolo agricolo e si è visto che la presenza di malerbe va a diminuire se aumenta la copertura di appezzamenti agricoli in un intorno di almeno 1000m dall'area di studio (fig. 3.16).

Tuttavia le correlazioni non sono estremamente forti poiché hanno tutte e tre una importanza relativa intorno allo 0.60 e gli intervalli di confidenza delle ultime due variabili contengono lo zero (vedi tabella 3.6).

	β	ES	IC inf	IC sup	I.R
MALERBE					
Struttura margine	-1,623	1,186	-4,091	0,844	0,65
Copertura agricolo (1 km)	-2,296	1,260	-4,897	0,306	0,63
Ricchezza margine	1,736	1,225	-0,804	4,275	0,61

Tabella 3.6: Parametri del modello statistico relativi alle variabili legate al servizio di controllo delle malerbe.

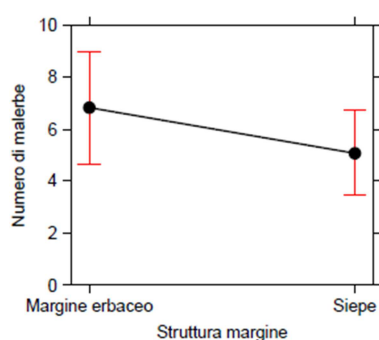


Figura 3.14: effetto della struttura del margine sul n° di malerbe.

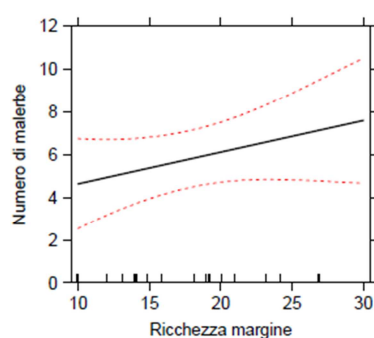


Figura 3.15: effetto della ricchezza del margine sul n° di malerbe.

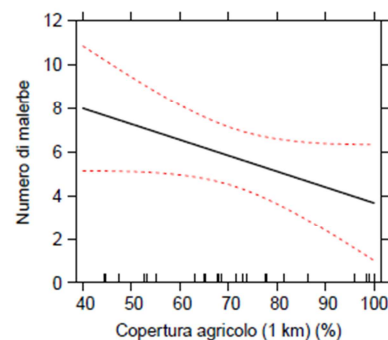


Figura 3.16: effetto della copertura di terreno agricolo nel paesaggio ad 1km sul n° di malerbe

4.DISCUSSIONE

4.1 Impollinazione e paesaggio

Dati i risultati precedentemente descritti, il servizio di impollinazione dipende essenzialmente dalla presenza di elementi semi-naturali nel paesaggio circostante. In particolar modo risulta avere una cruciale importanza la presenza di siepi, le quali agiscono da elemento di connessione tra i vari ecosistemi dell'ambiente agrario. I tre parametri considerati per quantificare la qualità del servizio dipendono fortemente dal tipo di paesaggio a scala più piccola (500m), con alti valori di importanza relativa nel modello statistico. Particolare importanza risulta avere il visitation rate, infatti è probabilmente la misura più diretta del servizio di impollinazione poiché misura la frequenza effettiva delle visite degli insetti impollinatori ai fiori (Ricketts et al., 2008). Tale risultato si mostra in linea con molti recenti studi che dimostrano come la presenza di elementi semi-naturali nel paesaggio abbiano una influenza a livello locale. Un paesaggio eterogeneo è in grado di supportare un maggior numero di specie per unità di superficie perché contiene un maggior numero di habitat. Le praterie, le zone incolte e le siepi sono vitali per gli insetti pronubi nell'ambiente agrario perché rappresentano habitat permanenti in un paesaggio caratterizzato da diverse forme di habitat temporanei. Un paesaggio eterogeneo inoltre è in grado di sostenere specie che utilizzano diversi habitat per varie esigenze ecologiche, come ad esempio la necessità di differenziare nicchia ecologica nelle varie fasi d'età (Rundolf et al., 2006).

L'importanza che gli elementi lineari sembrano avere in questo studio è spiegabile considerando il loro ruolo di corridoi ecologici. Recenti studi hanno osservato che, in un agroecosistema, c'è una forte diminuzione dei parametri di fruit-set, ricchezza di impollinatori e visitation rate, aumentando la distanza dagli elementi semi-naturali del paesaggio (Garibaldi et al., 2011). Nello specifico si è visto che per appezzamenti situati ad 1,5 km da un patch semi-naturale ci si aspetta contengano il 50% della ricchezza in specie di impollinatori rispetto appezzamenti più vicini e che il visitation-rate arriva al 50% del suo valore massimo allontanandosi solamente di 670m dal patch semi-naturale (Ricketts et al., 2008). Risulta perciò evidente che le siepi permettono di bypassare gli effetti negativi dell'isolamento e della frammentazione, favorendo il passaggio di specie e di individui ed offrendo una varietà di nicchie ecologiche.

La struttura del margine (erbaceo/siepe) non è risultata significativa nel modello statistico e ciò può essere spiegato dal fatto che gli insetti impollinatori sono specie molto mobili, quindi non tanto influenzate da variabili a piccolissima scala, ma da modificazioni a scala di paesaggio.

4.2 Controllo biologico

Considerando l'effetto del controllo biologico sulle colonie di afidi collocate in campo è risultato che il servizio è ottimo in ogni sito, qualsiasi sia la struttura del margine ed il tipo di paesaggio. Tale risultato mostra come le aree in questione abbiano una ottima qualità ambientale, con un agro ecosistema mai così omogeneo da influenzare le popolazioni di parassitoidi e predatori. Facendo riferimento alla curva di efficacia delle misure agro-ambientali al variare della complessità del paesaggio (Tschardt et al., 2005) il territorio in

cui si è svolto il presente studio può essere collocato ad un livello di paesaggio semplice fino a poco complesso, proprio dove è associata la massima efficacia dei servizi. È perciò evidente che il servizio di controllo biologico non mostri forti variazioni tra le diverse aree. Come per il servizio di impollinazione, anche in questo caso è noto che la complessità del paesaggio favorisce i nemici naturali perché le aree non coltivate contengono habitat necessari alla conservazione di un'ampia gamma di gruppi tassonomici. Paesaggi complessi comprendenti una densa rete di aree semi-naturali provvedono a creare delle condizioni favorevoli per la vita e la riproduzione dei nemici naturali con un conseguente aumento della loro attività di controllo all'interno degli appezzamenti coltivati (Bianchi et al. 2006).

Il tasso di parassitismo del *S. avenae*, rilevato conteggiando il numero di mummie (e non identificando le specie di parassitoidi), è favorito da un contesto paesaggistico complesso con presenza di elementi semi-naturali (Chaplin-Kramer et al., 2011, Winqvist et al., 2011, Petermann et al., 2010, Thies et al., 2005, Menalled et al., 1999, Marino et al., 1996).

A scala locale c'è una correlazione negativa con la ricchezza del margine, all'aumentare del numero di specie vegetali diminuisce il tasso di parassitismo. È un risultato inatteso, al quale, considerando il tipo di rilevamenti fatti ed i dati raccolti, non siamo in grado di fornire una spiegazione. Il numero di specie vegetali componenti il margine non dovrebbe influenzare in maniera così significativa la presenza di parassitoidi, infatti ci saremmo aspettati assenza di relazione tra le due variabili. Petermann et al. nel suo studio sulle comunità di afidi-parassitoidi, afferma che la ricchezza specifica delle piante ha un generale effetto sulla rete alimentare considerata, infatti i livelli maggiori di densità e ricchezza di specie di afidi e relativi parassitoidi primari sono stati riscontrati per gradi intermedi di ricchezza specifica della comunità vegetale. Invece la densità e la ricchezza relative ai parassitoidi secondari diminuiscono linearmente all'aumentare della ricchezza delle specie vegetali, in risposta all'instaurarsi di catene alimentari più corte in comunità vegetali più complesse. Denys & Tschardtke, 2002 hanno trovato comunità di predatori più abbondanti ed attive ed un alto rapporto preda/predatore in margini erbacei vecchi (6 anni vs. 1 anno). In tale contesto hanno riscontrato una scarsa attività degli insetti parassitoidi, con un tasso di parassitismo minore dell' 1%, valore che risulta addirittura più basso rispetto a risultati di studi simili condotti in contesto urbano. La relazione tra ricchezza del margine e tasso di parassitismo è scarsamente affrontata e si conosce ancora poco degli equilibri legati a queste comunità. Di fatto non è possibile fornire una spiegazione esaustiva del risultato ottenuto. Si può comunque ipotizzare che, i parassitoidi, essendo insetti molto mobili, rispondano a tale parametro se analizzato a scala molto più ampia di quella qui utilizzata.

È stata riscontrata anche una interazione tra il tipo di struttura del margine e la presenza di siepi nel paesaggio. In linea con l'ipotesi di partenza, aumentare la presenza di elementi di complessità nel paesaggio ha effetti positivi a livello locale, ancora più forti se è presente un margine complesso. Tale effetto è spiegato dal ruolo di corridoi ecologici che svolgono gli elementi lineari, favorendo il passaggio di specie, risorse ed energia e offrendo nicchie ecologiche differenziate e permanenti. Gli elementi complessi del paesaggio, avendo una più diversificata composizione strutturale, favoriscono una maggiore diversità delle popolazioni di insetti. È stato inoltre verificato che le specie di parassitoidi sono correlate positivamente alla complessità architettonica delle comunità vegetali (Menalled et al., 1999) e alla vicinanza delle stesse agli appezzamenti coltivati. Ad inizio primavera le uova che si schiudono da questi luoghi di svernamento possono immediatamente attuare la loro azione

di controllo all'interno dei campi adiacenti e trovano facilmente rifugio dalle temperature ancora fresche (Aligner et al., 2014). Quindi la presenza di siepi sia a livello locale che nel paesaggio ha un effetto moltiplicativo e non semplicemente additivo sulle popolazioni locali. Ciò spiega il ruolo che hanno gli elementi lineari nel determinare la presenza ed il ruolo delle popolazioni di parassitoidi sul controllo del *Sitobion avenae* nei campi di Frumento.

I risultati relativi all'abbondanza di coccinellidi presenti ci indicano come la loro presenza dipenda non tanto dal tipo di margine ma quanto dal paesaggio. Le specie di coleotteri coccinellidi sono generalmente insetti molto mobili in grado di spostarsi per alcuni km alla ricerca di prede e possono sfruttare diversi tipi di habitat. Essendo dei predatori anche nei primi stadi di sviluppo, la loro abbondanza segue le dinamiche di popolazione delle sue prede. Generalmente hanno bisogno di habitat boscati, cespugli, siepi legnose per poter affrontare la stagione invernale ma già dalla primavera precoce si spostano sulle zone erbose come praterie o sulle colture dove è presente il fitofago (Maredia et al., 1992). La presenza di uso del suolo definito semi-naturale sembra favorire l'attività di questi predatori perché aumenta l'abbondanza di siti per lo svernamento che portano ad una maggiore sopravvivenza alla stagione avversa e quindi a più grandi popolazioni nella primavera successiva (Woltz et al., 2012).

Particolare è la risposta delle coccinelle alla presenza di habitat boscati nel paesaggio circostante, infatti è stato riscontrato un andamento negativo. Nonostante è dimostrata l'importanza che tali ambienti hanno nel ciclo biologico dei coccinellidi, si può ipotizzare che questi predatori siano più abbondanti laddove è abbondante la presenza delle sue prede, cioè in ambienti con prevalenza di specie erbacee, siano essi colture o prateria e non boschi. Comunque considerando livelli intermedi di presenza di habitat semi-naturali in un contesto agricolo si hanno effetti positivi sulle popolazioni di questi predatori, poiché si aumentano i siti di svernamento, rifugio e le possibilità di scambi da comunità diverse.

Il controllo biologico operato da predatori terricoli generalisti, quali coleotteri stafilinidi e ragni, non ha dimostrato forti correlazioni con le variabili del modello ma comunque si possono constatare delle tendenze verso una risposta positiva all'aumento della complessità paesaggistica. Un paesaggio complesso è in grado di mantenere un buon livello di controllo biologico grazie ad una più alta disponibilità di risorse alimentari, habitat alternativi, zone di svernamento e di rifugio dai disturbi (Chaplin-Kramer et al. 2011).

Tra i predatori generalisti i coleotteri carabidi hanno mostrato una correlazione più forte con la presenza di margini erbacei ricchi di specie vegetale annuali e perenni. Tale tipo di margine offre maggiori risorse alimentari, rifugio e siti per lo svernamento, permettendo a questi predatori di creare delle comunità più attive ed abbondanti (Collins et al., 2002). Se si considera una scala di osservazione più ampia è dimostrato come la maggior presenza di praterie nel paesaggio determini una minore stabilità del controllo biologico, indicativa di una rotazione colturale intensa (Rusch et al., 2013). Tuttavia a scala locale i coleotteri carabidi tendono ad essere più abbondanti in terreni erbosi adiacenti a campi coltivati. Bommarco (1999) ha comparato la qualità degli habitat per il coleottero carabide *P. cuperus* e ha trovato come i parametri morfologici rilevati sugli individui catturati nei campi d'orzo erano minori rispetto a quelli rilevati negli adiacenti terreni erbosi. Inoltre è dimostrato che tali predatori, durante la stagione, tendono a muoversi dal campo verso il margine e viceversa al variare della disponibilità delle risorse (Rand, Tylianakis and Tscharrntke 2006). Essendo predatori generalisti seguono le loro prede e poiché le aree erbose sono zone

meno disturbate rispetto alle colture annuali, forniscono una maggiore disponibilità di cibo. Tali movimenti, descritti dalla teoria dello *spill-over*, avvengono in momenti diversi della stagione vegetativa, infatti in primavera, all'inizio della colonizzazione dei fitofagi, le aree erbose fungono da fonte di nemici naturali; più avanti nella stagione invece, quando la popolazione di prede nei cereali diminuisce, le zone di prateria attraggono predatori perché hanno maggiore disponibilità di prede.

Quindi un margine erbaceo può favorire la presenza di questi predatori poiché è un ambiente adatto alle loro prede, molto più che un margine complesso o una siepe.

4.3 Malerbe

La composizione delle malerbe in un ecosistema agrario è fortemente influenzata dall'eterogeneità ambientale, che è essa stessa correlata al tipo di colture presenti ed al tipo di pratiche agricole utilizzate. In un territorio è favorevole avere diverse modalità di gestione, con un mosaico di varie colture e regimi di gestione. Ciò porta ad uno spostamento della distribuzione delle abbondanze nelle comunità di malerbe con diminuzione dell'abbondanza di specie aggressive e dominanti (Petit et al., 2011). Tale equilibrio nell'ecosistema agrario avviene in contesti dove c'è una alta percentuale di habitat semi-naturali, contesti in cui sono presenti saldi equilibri ecologici con comunità vegetali perenni e scarsamente disturbate. Invece in un paesaggio come il nostro, in cui la percentuale di uso del suolo agricolo nel paesaggio è alta e gli habitat semi-naturali sono mediamente presenti, la presenza delle malerbe può seguire trend diversi. Come risulta nel presente studio, un aumento della copertura di agricolo nel paesaggio ha l'effetto diretto di far diminuire il numero di malerbe in campo. Questo perché in superfici agricole accorpate il controllo chimico delle malerbe ha una efficacia maggiore. Se invece sono presenti elementi semi-naturali che interrompono la continuità delle colture agrarie le malerbe hanno una maggiore probabilità di sopravvivenza e capacità di diffusione all'interno degli appezzamenti coltivati. A livello locale il margine erbaceo si è dimostrato favorire la presenza delle infestanti nel campo. Il margine erbaceo è costituito prevalentemente da specie annuali o perenni aventi modalità di riproduzione e moltiplicazione che permettono un agevole ingresso negli appezzamenti coltivati dove tali specie possono trovare un habitat simile al margine (aperto e non strutturalmente complesso come una siepe od un boschetto). Margini con ricchezza specifica maggiore determinano un più probabile ingresso in campo, tuttavia è da specificare che molte delle specie rilevate non possono essere definite vere e proprie infestanti ma specie tipiche del margine che condividono una fascia di terreno con la porzione marginale della coltura, non arrecando nessun tipo di danno. Vanno comunque inserite nel conteggio perché per definizione una malerba è una qualsiasi specie diversa dalla coltura in oggetto che si trova sulla stessa superficie e che potenzialmente può sottrarre delle risorse.

5.CONCLUSIONI

L'efficacia delle misure agro-ambientali sul mantenimento dei servizi ecosistemici, dato un gradiente di complessità paesaggistica crescente, varia seguendo un andamento a campana (Tschardt et al., 2005). L'area di sperimentazione di riferimento per il presente studio rientra nei livelli intermedi di complessità de paesaggio, a cui viene associata la massima efficacia delle misure volte a migliorare le funzioni ed i servizi forniti dalla biodiversità. Tale ipotesi di partenza è pienamente confermata dai risultati ottenuti, infatti tutti i servizi qui analizzati rispondono in maniera significativa al variare della complessità del paesaggio, analizzato alla scala più ampia, (1000m di raggio). La presenza di elementi semi-naturali come boschi, praterie, campi abbandonati fa sì che si creino nuove nicchie ecologiche in un contesto agricolo semplice e periodicamente disturbato, le quali sono in grado di ospitare comunità vegetali ed animali con un alto grado di complessità ecologica. Gli habitat semi-naturali in un agroecosistema sono elementi stabili nel tempo e per questo motivo le comunità che forniscono servizi possono trovare zone di riproduzione, svernamento e rifugio permanenti. Altro punto essenziale è che a scala di paesaggio la presenza di siepi conferma la sua importanza strategica nel permettere lo spostamento e lo scambio tra popolazioni. Il loro ruolo di corridoi ecologici, ormai ampiamente accettato e studiato in ambito scientifico, è qui confermato, soprattutto per i gruppi tassonomici più mobili come gli insetti pronubi o i parassitoidi del *Sitobion avenae*.

Dal presente studio non è risultato un forte effetto del tipo di margine sui servizi, al contrario delle aspettative iniziali. Sia che ci sia un margine erbaceo semplice o un margine complesso come una siepe, generalmente i servizi considerati non sembrano rispondere, eccezion fatta per alcuni gruppi poco mobili e notoriamente legati ad ambienti di margine erbaceo come i coleotteri carabidi, e per quanto riguarda la presenza e la diffusione di malerbe nei campi. A scala locale la comunità di artropodi che può offrire servizi ecosistemici in uno specifico appezzamento coltivato non è influenzata dalla struttura e dalla ricchezza del margine lì presente, ma dal contesto paesaggistico circostante. Il controllo biologico è risultato estremamente efficace in tutte le aree di studio, a prescindere dal tipo di margine, poiché è presente una qualità paesaggistica diffusa inserita in contesti agricoli. Lo stesso vale per il servizio di impollinazione che è risultato dipendente dalla presenza crescente di elementi semi-naturali nel paesaggio circostante ad 1km di raggio.

Considerando tali risultati è evidente come la conservazione, la manutenzione e l'impianto di elementi semi-naturali è di cruciale importanza per il mantenimento dei servizi ecosistemici a livello comprensoriale e quindi per far fronte agli effetti legati all'intensificazione agricola. Dato che la positività dei servizi dipende per la maggior parte dalla qualità ambientale a grande scala occorre attuare misure di gestione territoriale in grado di incentivare i singoli proprietari a mantenere tali strutture, per avere poi dei benefici diffusi su tutto il territorio. In tale contesto, le misure agroambientali delineate a livello europeo svolgono un ruolo fondamentale per continuare a perseguire l'obiettivo di intensificazione eco-funzionale dei nostri territori.



Figura 1:Caratterizzazione dei margini



Figura 2: Vasi con Frumento seminato in serra. Prime fasi di sviluppo.



Figura 3 :Inoculo del frumento con *S.avenae*.



Figura 4:Frumento inoculato protetto da sacchetti di tessuto non tessuto in attesa della verifica dell'attecchimento degli afidi



Figura 5: Collocazione in campo dei vasi inoculati. Particolare del vaso isolato dall'azione dei predatori grazie alla gabbia in materiale plastico



Figura 6 e figura 7: Pit-fall posizionata all'interno del campo e particolare del tetto applicato su ogni trappola per proteggerla.



Figura 8: Vasi in serra seminati con 10 semi di Ravanello che costituiranno i Fitometri.



Figura 9: Fitometri in serra con frutti pronti per la raccolta.



Figura 10:Coppia di fitometri in campo. Rilevo degli impollinatori per il calcolo del Visitation rate.



Figura 11: Conteggio dei semi contenuti in ogni frutto di Ravanella.

BIBLIOGRAFIA

- Alignier, A., Raymond, L., Deconchat, M., Menozzi, P., Monteil de C., Sarthou, J.P., Vialatte, A., Ouin, A.(2014) The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales. *Biological Control* 77 :76–82.
- Backman, J.P.C., Tiainen J. (2002) Habitat quality of field margins in a Finnish farmland area for bumblebees (Hymenoptera: *Bombus* and *Psithyrus*). *Agr. Ecosyst. Environ.* 89: 53–68.
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. & Schmid, B. (2006) Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9: 1146-1156.
- Batary, P., Baldi, A., Kleijn, D. & Tscharntke, T. (2011) Landscape-moderated biodiversity effects of agrienvironmental management - a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 278: 1894-1902.
- Batáry, P., Sutcliffe, L., Dormann, C. F.,Tscharntke, T. (2013) Organic Farming Favours Insect-Pollinated over Non-Insect Pollinated Forbs in Meadows and Wheat Fields. *PloS one* 8 (1), e54818.
- Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.H.J., Tscharntke, T. (2006) Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London Series B Biological Sciences* 273: 1715–1727.
- Bommarco, R. (1999) Feeding, reproduction and community impact of a predatory carabid in two agricultural habitats. *Oikos*, 87, 89–96.
- Bommarco, R. & Fagan, W.F. (2002) Influence of crop edges on movement of generalist predators: a diffusion approach. *Agricultural and Forest Entomology*, 4, 21–30.
- Cadotte, M.W., Carscadden, K. and Mirotnick, N. (2011) Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* 48: 1079–1087.
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J., Kremen, C. (2011) A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology letters* 14 (9), 922-932.
- Collins, K.L., Boatman, N.D., Wilcox, A., Holland, J.M., Chaney, K.(2002) Influence of beetle banks on cereal aphid predation in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93:337–350.

- Daily, G. C. (Ed.). (1997) *Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. 392 pp.
- Denys, C., Tscharntke, T. (2002) Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia* 130:315–324.
- Dornelas, M., Moonen, A.C., Magurran, A.E., Barberi, P. (2009) Species abundance distributions reveal environmental heterogeneity in modified landscapes. *J. Appl. Ecol.* 46:666–672.
- Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 34:487-515.
- Forman, R.T.T, Baudry, J. (1984) Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental management* 8:495-510.
- Gabriel, D., Thies, C., Tscharntke, T. (2005) Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 7: 85-93.
- Gabriel, D., Sait, S.M., Hodgson, J. A., Schmutz, J., Kunin, W.E., Benton, T.G. (2010) Scale matters: the impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecol. Lett.* 13, 858-869.
- Gardiner, M.M., Landis, D.A., Gratton, C., DiFonzo, C.D., O'Neal, M., Chacon, J.M., Wayo, M.T., Schmidt, N.P., Mueller, E.E. & Heimpel, G.E. (2009) Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central U.S. *Ecological Applications*, 19:143–154.
- Garibaldi, L. A., I. Steffan-Dewenter, C. Kremen, J. M. Morales, R. Bommarco, S. A. Cunningham, L. G. Carvalheiro, N. P. Chacoff, J. Dudenhöffer, S. S. Greenleaf, A. Holzschuh, R. Isaacs, K. Krewenka, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, L. A. Morandin, S. G. Potts, T. H. Ricketts, H. Szentgyörgyi, B. F. Viana, C. Westphal, R. Winfree, and A. M. Klein. (2011b) Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*, 14: 1062-1072.
- Hannon, L., Sisk, T., (2009) Hedgerows in an agri-natural landscape: Potential habitat value for native bees. *Biological conservation* 142:2140-2154.
- Hawes C., Haughton A.J., Osborne J.L., Roy D.B., Clark S.J., Perry J.N., Rothery P., Bohan D.A., Brooks D.R., Champion G.T., Dewar A.M., Heard M.S., Woiod I.P., Daniels R.E., Young M.W., Parish A.M., Scott R.J., Firbank L.G., Squire G.R. (2003) Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 358: 1899– 1913.

- Hinsley, S.A., Bellamy, P.E. (2000) The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: A review. *Journal of Environmental Management*, 60:33-49.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. & Tscharntke, T. (2007) Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology*, 44:41-49.
- Jacob H.S., Minkey D.M., Gallagher R.S., Borger C.P. (2006) Variation in postdispersal weed seed predation in a crop field. *Weed Sci.* 54:148–155.
- Klein, A.-M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tscharntke, T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* 274:303–313.
- Marino, P.C. and Landis, D.A. (1996) Effect of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecological applications* 6:276-284.
- Mayfield, M. M., Bonser, S. P., Morgan, J.W, Aubin, I., Namara, S. Mc and Vesk, P. A. (2010) What does species richness tell us about functional trait diversity? Predictions and evidence for responses of species and functional trait diversity to land-use change. *Global Ecology and Biogeography* 19:423–431.
- Meehan, T.D., Werling, B.P., Landis, D.A. & Gratton, C. (2011) Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 108: 11500-11505.
- Menalled, F., Marino, P., Cage, S.H., Landis, D.A. (1999) Does agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoids diversity? *Ecological applications* 9:634-641.
- Mareida, K.M., Gage, S.H., Landis, D.L., Wirth, T.M. (1992) Ecological observations on predatory Coccinellidae Coleoptera in southwestern Michigan. *Great Lakes Entomologist* 25: 265-270.
- Niggli, U., Slabe, A., Schmid, O., Halberg, N. and Schluter, M. (2008) Vision for an Organic Food and Farming .Research Agenda to 2025. IFOAM-EU and FiBL. 48 pages.
- Östman, O., Ekblom, B., Bengtsson, J. (2001) Landscape heterogeneity and farming practice influence biological control. *Basic Appl. Ecol.* 2: 365–371.
- Petermann, J. S., Muller, C.B., Weigelt, A., Weisser, W.W., Schmid, B., (2010) Effect of plant species loss on aphid–parasitoid communities. *Journal of Animal Ecology* 79:709–720.

- Petit, S., Boursault, A., Le Guilloux, M., Munier-Jolain, N. & Reboud, X. (2011) Weeds in agricultural landscapes : a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31:309-317.
- Rand, T. A., Tylianakis, J. M. and Tscharrntke, T. (2006) Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecol. Lett.* 9: 603-614.
- Ricketts, TH; Regetz, J; Steffan-Dewenter, I; Cunningham, SA; Kremen, C; Bogdanski, A; Gemmill-Herren, B., Greenleaf, SS; Klein, A-M; Mayfield, MM; Morandin, LA; Ochieng, A; Viana, BF (2008) Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. *Ecology Letters* 11: 499-515.
- Rundlof, M. and Smith, H. G. (2006) The effect of organic farming on butterfly diversity depends on landscape context. *J. Appl. Ecol.* 43: 1121-1127.
- Rusch, A., Bommarco, R., Jonsson, M., Smith, H.G., Ekbom, B. (2013) Flow and stability of natural pest control services depend on complexity and crop rotation at the landscape scale. *Journal of Applied Ecology* 50:345–354.
- Thies, C., Roschewitz, I., Tscharrntke, T., (2005) The landscape context of cereal aphid–parasitoid Interactions. *Proc. R. Biol Sci* 272:203–210.
- Tscharrntke T., Klein A.-M., Kruess A., Steffan-Dewenter I. & Thies C. (2005) Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8:857-874.
- Tscharrntke T., R Bommarco, Y Clough, Th O Crist, D Kleijn, TA Rand, JM Tylianakis, S van Nouhuys, S. Vidal (2007) Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological control* 43:294-309.
- Winfree, R., Bartomeus, I., Cariveau, D.P.(2011) Native Pollinators in Anthropogenic Habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42:1–22.
- Winqvist, C., Bengtsson, J., Aavik, T., Berendse, F., Clement, L.W., Eggers, S., Fischer, C., Flohre, A., Geiger, F., Liira, J., Part, T., Thies, T., Tscharrntke, T., Weisser, W.W., Bommarco, R. (2011) Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *Journal of Applied Ecology* 48:570–579.
- Woltz, J.M., Isaacs, R., Landis, D.A. (2012) Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 152:40– 49.