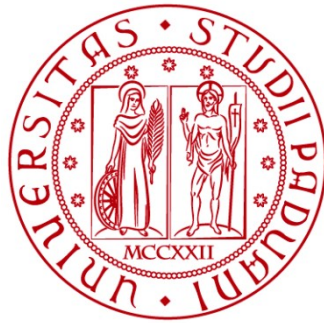


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN BIOLOGIA EVOLUZIONISTICA**



**TESI DI LAUREA**

**Studio della competizione inter-specifica in una guild di rapaci nidificanti in  
ambiente agricolo intensivo**

Relatore: Prof. Andrea Augusto Pilastro

Dipartimento di Biologia

Correlatore: Dott. Michelangelo Morganti

CNR-IRSA Consiglio Nazionale delle Ricerche- Istituto di Ricerca Sulle Acque

Correlatore: Dott. Alessandro Berlusconi

Università degli Studi dell'Insubria

Laureanda: Alessandra Frasca

**ANNO ACCADEMICO 2022/2023**

*“In the end we will conserve only what we love,  
we will love only what we understand,  
and we will understand only what we are taught”.*

Baba Dioum, ingegnere forestale

## Sommario

Riassunto.....	5
Abstract.....	6
1 Introduzione.....	7
1.1 Gli effetti del cambiamento globale sulla distribuzione delle specie .....	7
1.2 La coesistenza fra specie: il concetto di <i>guild</i> e il principio dell'esclusione competitiva .....	8
1.3 Vivere in ambiente agricolo intensivo: le sfide per gli uccelli selvatici.....	10
2 Obiettivi.....	13
3 Materiali e metodi.....	14
3.1 Specie studio .....	15
3.1.1 Grillaio .....	15
3.1.2 Falco cuculo.....	18
3.1.3 Gheppio .....	21
3.2 Area di studio .....	23
3.2.1 Inquadramento generale .....	23
3.2.2 Clima.....	23
3.2.3 Uso del suolo .....	24
3.2.4 Aree protette.....	24
4 Metodologie di rilievo di campo .....	25
4.1 Raccolta borre .....	25
4.2 Analisi contenuti borre.....	25
4.3 Riconoscimento delle specie-preda .....	27
5 Analisi statistiche .....	30
5.1 Confronti interspecifici.....	30
5.2 Analisi di ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS).....	31

5.3 Calcolo dell'Indice di biodiversità di Shannon-Weiner .....	33
6 Risultati.....	34
6.1 Risultati raccolta borre .....	34
6.2 Risultati analisi borre.....	35
6.3 Risultati confronti inter-specifici generali .....	41
6.4 Risultati confronti inter-specifici suddivisi per periodi riproduttivi .....	42
6.5 Risultati dell'analisi di ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS) .....	44
6.6 Risultati del calcolo dell'indice di biodiversità di Shannon-Wiener .....	45
7 Discussione.....	46
7.1 Competizione interspecifica e sovrapposizione di nicchia.....	47
7.2 Correlazione delle diete e biodiversità nel range di specie preda.....	49
8 Conclusioni .....	50
9 Bibliografia .....	51
10 Ringraziamenti .....	67
11 Allegati .....	68

## Riassunto

I cambiamenti climatici e le modificazioni nell'uso del suolo sono i principali responsabili delle variazioni nella distribuzione di molte specie animali e delle modifiche agli habitat naturali. In questo lavoro di tesi viene studiata la competizione interspecifica in una *guild* di rapaci nidificanti in Pianura Padana. La *guild* oggetto di studio è composta da: grillaio (*Falco naumanni*), falco cuculo (*Falco tinnunculus*) e gheppio (*Falco tinnunculus*). Queste specie, a conseguenza del riscaldamento globale, si sono recentemente trovate a vivere in simpatria negli agroecosistemi della Pianura Padana. L'obiettivo generale di questo lavoro di tesi è stato quello di studiare le dinamiche competitive che si instaurano tra specie simpatriche in un contesto ambientale agricolo-intensivo. Si è condotto uno studio fine della dieta attraverso l'analisi visuale dei contenuti dei boli alimentari (borre), costituiti per la maggior parte da frammenti di esoscheletro di insetti od ossa di piccoli mammiferi. Le analisi si basano su un campione raccolto durante le stagioni riproduttive nel periodo 2018-2022, per un totale di 3,842 borre. Si è stimato il grado di sovrapposizione della nicchia trofica tra le specie attraverso l'applicazione dell'indice di Pianka, una metrica classica per esaminare la potenziale concorrenza tra le specie. È stata inoltre studiata la similarità delle tre diete attraverso l'utilizzo di indici ecologici. I risultati hanno mostrato come le tre specie abbiano una dieta globalmente molto simile sebbene il gheppio risulti essere più generalista, mentre grillaio e falco cuculo hanno uno spettro di specie-preda più limitato. I risultati mostrano inoltre, come il gheppio possieda la maggiore differenziazione nella variabilità intraspecifica della dieta all'interno dei nidi. La variabilità intraspecifica nel gheppio è infatti molto maggiore rispetto alla variabilità intraspecifica nella dieta dei nidi di falco cuculo e di grillaio. I risultati del presente lavoro vanno ad integrare sostanzialmente le poche conoscenze sull'ecologia di queste tre specie in Pianura Padana. Cause e conseguenze della sovrapposizione di nicchia trofica osservata sono discusse ma restano da esplorare più approfonditamente in futuri lavori di ricerca. Una parziale limitazione della competizione tra le tre specie, probabilmente, è raggiunta grazie ad una asincronia nella fenologia riproduttiva. Tuttavia, il sistema di studio è in continua evoluzione essendo di recente formazione, e risulta particolarmente interessante in quanto la spartizione della nicchia trofica potrebbe essere ancora in corso. Futuri lavori di ricerca dovrebbero approfondire altri aspetti della competizione interspecifica che risulta emergere come chiara possibilità dai dati di alimentazione raccolti nel presente lavoro.

## Abstract

Climate and land-use changes are primarily responsible for variations in the distribution of many animal species and modifications of natural habitats. In this thesis, the interspecific competition is studied in a guild of birds of prey nesting in the Po Plain (N Italy). The studied guild is composed by: lesser kestrel (*Falco naumanni*), red-footed falcon (*Falco vespertinus*) and kestrel (*Falco tinnunculus*). These species, as a consequence of global warming, have recently become sympatric in the agroecosystems of the Po Plain, thus making this an ideal study area for such a system. The aim of this work was to study the competitive dynamics that arise between sympatric species in an agricultural-intensive environmental context. A fine study of the diet was conducted through the visual analysis of the contents of pellets containing undigested parts of prey, mostly consisting of fragments of exoskeleton of insects or bones of small mammals. The analyses are based on a sample collected during the breeding seasons in the period 2018-2022, for a total of 3,842 pellets. Finally, foraging niche overlap was studied through the application of the Pianka index, a classic metric for examining potential competition between species. The similarity of the three diets was also studied using ecological indices. The results showed that the three species have very similar diets, even if the kestrel resulted as more generalist, while the lesser kestrel and the red-footed falcon had a narrower range of preys. The results also show that kestrels have the greatest differentiation in intraspecific dietary variability within nests. The intraspecific variability in the kestrel is in fact much greater than the intraspecific variability in the diet of the red-footed falcon and lesser kestrel nests. The findings of this study substantially integrate the scarce knowledges on the ecology of these species in the Po Plain. Causes and consequences of the likely competition are discussed but remains to be studied in future research works. A partial limitation of the competition between the three species is probably achieved thanks to an asynchrony in the reproductive phenology. However, it must be stressed that the three species only coexist from a few years and their competition may still be in progress. Future research works should investigate other aspects of interspecific competition that have not been treated here.

# 1 Introduzione

## 1.1 Gli effetti del cambiamento globale sulla distribuzione delle specie

Con il termine “cambiamento globale” ci si riferisce all’insieme dei cambiamenti che si verificano nei differenti ecosistemi terrestri. Il cambiamento globale è costituito da diversi componenti, tra cui citiamo: inquinamento, sovrasfruttamento, invasione biotica, cambiamento nell’uso del suolo e cambiamento climatico. I cambiamenti climatici e le recenti modificazioni nell’uso del suolo sono i principali fattori che determinano la profonda variazione nella distribuzione e nell’abbondanza degli animali a scala globale (Clavero *et al.*, 2011; Barnaguad *et al.*, 2012; Berlusconi *et al.*, 2022) con conseguenze di grave entità per la biodiversità (Morecroft & Speakman., 2013; Dirzo *et al.*, 2014).

La perdita di biodiversità a livello globale, in tutti gli ecosistemi sia terrestri che marini, ha portato all’estinzione di numerose specie animali e vegetali (Barnosky *et al.*, 2011; Dirzo *et al.*, 2014; IUCN., 2020), mentre un numero sempre maggiore di specie soffre di un forte declino demografico (Collen *et al.*, 2012). La riduzione della biodiversità compromette seriamente la struttura e gli equilibri delle comunità, insieme ai servizi e le funzioni ecosistemiche (Tilman., 2000; Ceballos & Ehrlich., 2002; Gaston & Fuller., 2008; Dirzo *et al.*, 2014).

Numerosi studi hanno confermato come la causa principale di perdita di biodiversità sia la distruzione, degradazione e la frammentazione degli ambienti naturali (Tilman., 2001). Il cambiamento climatico insieme a modifiche nell’uso del suolo (Fehévari *et al.*, 2009), inoltre, sono la principale causa dell’espansione verso nord di diverse specie animali, soprattutto quelle tipiche di ambienti mediterranei (Pearce-Higgins *et al.*, 2015), le quali sono aumentate in abbondanza rispetto alle specie distribuite più a nord e associate a temperature più fredde (Devictor *et al.*, 2008; Jiguet *et al.*, 2010; Lindström *et al.*, 2013). Per esempio, previsioni a lungo termine hanno mostrato come globalmente la ricchezza delle specie ornitiche aumenterà soprattutto alle latitudini settentrionali a causa del riscaldamento climatico, portando ad un’ulteriore espansione degli areali riproduttivi di specie distribuite in aree più meridionali (Virkkala & Lehikoinen., 2017). Studi recenti hanno infatti osservato come il riscaldamento globale provoca una variazione degli areali di molti taxa, con uno *shift* verso altitudini più elevate o verso i poli (Barbet-Massin *et al.*, 2012; Bellard *et al.*, 2012). Questo fenomeno ha portato a profonde trasformazioni nelle comunità di uccelli in tutta Europa (Devictor *et al.*, 2012), con cambiamenti che sono destinati ad aumentare entro la fine del XXI secolo (Huntley *et al.*, 2008). Queste variazioni nella distribuzione delle specie sono osservabili anche in Italia e in Pianura Padana, area oggetto di studio di questo lavoro di tesi. È il caso del grillaiò (*Falco naumanni*) (Casadei., 2015., Morganti *et al.*, 2017, 2019) e del falco cuculo (*Falco vespertinus*) (Brichetti & Fracasso 2003., Grattini *et al.*,

2019) i quali, recentemente, si sono trovati a vivere in simpatria in Pianura Padana assieme al gheppio (*Falco tinnunculus*), il quale, dagli anni '80 del secolo scorso, ha subito una grande espansione demografica. Le tre specie sono perciò state scelte per questo lavoro di tesi al fine di comprendere le dinamiche competitive che si instaurano tra specie diverse che vivono nello stesso ambiente e le possibili sovrapposizioni di nicchia che ne derivano.

## 1.2 La coesistenza fra specie: il concetto di *guild* e il principio dell'esclusione competitiva

L'interazione biologica è l'insieme delle relazioni tra organismi all'interno degli ecosistemi e si può classificare in base a come incide sulla densità delle popolazioni. Le interazioni biologiche sono molte e comprendono: predazione, competizione, parassitismo e mutualismo (Krebs & Davies., 2016).

La competizione è un evento ecologico che si instaura quando due o più individui della stessa specie (competizione intraspecifica) o di due o più specie diverse (competizione interspecifica) condividono una risorsa effettivamente o potenzialmente limitante, (Clements & Shelford., 1939) la quale fa parte di un ecosistema oppure di un'area più ristretta. La competizione tra individui di specie diverse si può estendere lungo diversi livelli, il livello principale di competizione interspecifica è l'approvvigionamento di cibo, ovvero la competizione trofica.

Un gruppo di specie che sfrutta la stessa tipologia di risorse ambientali, come ad esempio le risorse trofiche, è detta gilda o *guild* e condivide determinate caratteristiche dell'habitat trofico e di nidificazione (Root., 1967). Le gilde possono essere considerate unità strutturali di base di comunità ecologiche ed ecosistemi, ogni comunità può quindi avere un insieme specifico di specie raggruppate in gilde che si basano sulle diverse tattiche di utilizzo delle risorse. La variabilità temporale e stagionale dell'utilizzo delle risorse delle specie influenza la dinamica e la variabilità della gilda, ma la struttura di base della gilda rimane più o meno sempre costante (Jaksi *et al.*, 1993; Mac Nally., 1994). Sulla base di questa definizione, una gilda raggruppa specie, senza riguardo per la posizione tassonomica, che si sovrappongono in modo significativo nei loro requisiti di nicchia (Korňan & Kropil., 2014). Per nicchia ecologica si intende il ruolo di una specie o di una popolazione all'interno di un ecosistema, mentre per nicchia realizzata si intende la nicchia realmente occupata da una specie la cui ampiezza è spesso minore rispetto alla nicchia ecologica a causa della competizione interspecifica (Bolnick *et al.*, 2010). La competizione tra specie è destinata ad aumentare una volta che le risorse alimentari diventano limitate e i cambiamenti nell'abbondanza delle prede influenzano il grado di sovrapposizione delle diverse nicchie (Gryz *et al.*, 2021).



I modelli di analisi della sovrapposizione delle nicchie sono un modo molto utilizzato per stimare la competizione per le risorse alimentari in un dato gruppo di animali. L'ampiezza delle nicchie di diverse specie è molto variabile e la composizione della loro dieta cambia in base alla disponibilità delle loro prede (Gryz *et al.*, 2021). Le interazioni che si possono osservare tra i predatori che coesistono in uno stesso ambiente possono essere ridotte quando adattamenti comportamentali riducono al minimo i conflitti tra le diverse specie, come ad esempio le abitudini di predazione diurne e notturne (Cichonki *et al.*, 2008). La coesistenza di specie di una stessa *guild* (cioè con requisiti di nicchia ecologica largamente sovrapposti) avviene attraverso la differenziazione di nicchia realizzata: quando due o più specie competono per sfruttare una medesima risorsa, ognuna di queste specie restringe la propria nicchia fondamentale, per effetto di una esclusione competitiva (Pigot *et al.*, 2018), riducendo potenzialmente la fitness della specie meno competitiva.

Osservazioni su specie simili che condividono uno stesso habitat, suggeriscono che esse coesistono suddividendosi la risorsa disponibile (Trejo & Guthmann., 2003). Il principio dell'esclusione competitiva o "Principio di Gause" (Volterra., 1928; Gause, 1932; Hardin., 1960; Levin., 1970) prevede che due o più specie non possano coesistere indefinitamente nello stesso habitat se condividono le stesse necessità di risorse limitanti. Secondo il principio di Gause, quindi, specie coesistenti devono differire in alcuni aspetti dell'utilizzo delle risorse. Una specie che utilizza le risorse in modo più efficiente e ne trae un vantaggio riproduttivo provoca una graduale diminuzione dell'altra specie fino ad una eventuale eliminazione (Gause., 1932). Studi precedenti sui gufi hanno evidenziato come negli individui coesistenti della stessa taglia corporea si verifichi una sovrapposizione di dieta a causa della predazione su specie di prede di taglia simile, mentre nei gufi simpatici che hanno dimensioni corporee variabili, si osserva una minore sovrapposizione della dieta, in quanto questi gufi consumano prede di una massa corporea diversa (Jaksić., 1982; Hayward & Garton., 1988).

L'eterogeneità ambientale è una componente fondamentale per far sì che le specie animali sfruttino diverse tipologie di risorse ambientali; questa tipologia di ambienti consente infatti la coesistenza di un maggior numero di specie rispetto ad ambienti più omogenei (Tews *et al.*, 2004). L'habitat di foraggiamento è una componente che determina le risorse trofiche sfruttate (Whittaker *et al.*, 1973).

Studi precedenti sugli uccelli legati ad ambienti pseudosteppici, come le tre specie oggetto di questa tesi, hanno rilevato come nel momento in cui più specie condividono gli stessi macro-habitat la selezione avvenga al livello di microhabitat, facilitando la coesistenza (Morales *et al.*, 2008). In presenza di qualsiasi combinazione di fattori ambientali, l'esito della competizione interspecifica riflette le capacità relative nel guadagnare l'accesso e nell'acquistare le risorse

essenziali per la sopravvivenza, crescita e riproduzione delle specie coinvolte (Volterra., 1928; Levin., 1970). La distribuzione delle popolazioni di uccelli predatori dipende notevolmente dalla quantità e dalla qualità delle specie di prede, sia in termini di spazio che di tempo (Kayahan & Tabur., 2016). Molte caratteristiche delle prede, tra cui dimensioni, accessibilità e distribuzione, risolvono la competizione interspecifica tra i predatori (Balčiauskienė., 2014).

Oltre ad un aumento della concorrenza, negli individui generalisti, come il gheppio, si rivela una perdita di efficienza di foraggiamento, di conseguenza si ha una riduzione dell'assunzione di biomassa rispetto a strategie più specialiste (come quella del falco cuculo e del grillaio). Un aspetto interessante per capire le strategie di foraggiamento è il valore nutrizionale e di biomassa per la dieta, studi precedenti hanno infatti rilevato come diete basate su specie grandi e poco mobili potrebbero essere più energetiche in termini di biomassa e sforzo di caccia di una dieta diversificata basata su specie di piccole prede (Anwar *et al.*, 2021).

### 1.3 Vivere in ambiente agricolo intensivo: le sfide per gli uccelli selvatici

Negli ultimi decenni l'agricoltura ha radicalmente trasformato i paesaggi naturali in diverse parti del mondo con effetti significativi sulla distribuzione e sullo stato di conservazione di animali e piante (Newbold *et al.*, 2015). Molte specie animali dipendono fortemente da habitat antropizzati (Figura 1), in cui passano la maggior parte della loro vita. (Brambilla *et al.*, 2018). La perdita e la degradazione dell'habitat connessa con l'intensificazione dell'agricoltura e l'utilizzo di pesticidi (Böhning-Gaese e Bauer., 1996) sono tra le principali cause di perdita della biodiversità globale (Doherty *et al.*, 2016). Le popolazioni di molti uccelli di ambienti agricoli sono diminuite notevolmente durante il XX secolo, soprattutto in Europa (Tucker & Heath., 1994; Pain & Pienkowski., 1997; Donald *et al.*, 2001). In Italia si è osservato un calo demografico (Gustin *et al.*, 2010) nella proporzione delle popolazioni riproduttive di diverse specie di uccelli che vivono in ambienti agricoli. Un grave problema per molte specie di uccelli che vivono in ambienti agricoli è rappresentato dal basso successo riproduttivo, fenomeno probabilmente causato dalle pratiche agricole che incidono pesantemente sulla nidificazione. L'intensificazione agricola, inoltre, comporta un maggior uso di pesticidi e metalli pesanti che inquinano la catena trofica (Negro *et al.*, 1993); il loro utilizzo inoltre riduce ulteriormente il numero delle prede portando di conseguenza a un ridotto tasso di crescita della popolazione (Parr *et al.*, 1995; Bustamante., 1997; Tella *et al.*, 1998). Un'altra causa del declino nell'abbondanza di specie in questa tipologia di ambiente è da ricercarsi nei cambiamenti climatici: tanto l'aumento delle temperature primaverili, quanto la riduzione della pioggia

primaverile in corso nel bacino del Mediterraneo sta infatti alterando sostanzialmente i regimi agricoli anche a medie latitudini come nel caso della Pianura Padana (Rodríguez e Bustamante 2003., Mihoub et al., 2010, Sarà., 2010). Nel caso specifico del grillaio, una delle specie oggetto del presente studio, si è visto come i cambiamenti climatici stanno riducendo la quantità di pioggia nel periodo centrale della riproduzione (Morganti *et al.*, 2017), con possibili effetti negativi sulla popolazione (Rodriguez and Bustamante., 2004). Il massiccio uso di pesticidi e la conversione in monoculture erbacee rendono l'habitat più omogeneo, inoltre, l'impoverimento dell'habitat trofico causato dall'intensificazione delle pratiche agricole e la sostituzione di colture erbacee idonee per la specie come prati e medicaie con coltivazioni dense e alte come il sorgo o il mais, hanno portato alla diminuzione dell'abbondanza delle prede e alla loro individuazione. In Pianura Padana, a seguito del forte terremoto avvenuto a maggio 2012 sono stati stanziati fondi per la demolizione e la successiva ricostruzione degli edifici rurali danneggiati. Questo ha portato il grillaio, il quale nidifica nei sottotetti dei casolari abbondanti, ad incontrare difficoltà nel trovare siti di nidificazione adeguati (La Gioia *et al.*, 2017; Morganti *et al.*, 2019). Con il fine di tutelare la popolazione di grillaio della Pianura Padana è in corso (2018-2023) un progetto di conservazione finanziato dal programma "LIFE" della Commissione Europea chiamato "LIFE FALKON" (LIFE17 NAT/IT/000586, [www.lifefalkon.eu](http://www.lifefalkon.eu)): il progetto ha come scopo quello di favorire la conservazione delle popolazioni di grillaio insediate in Italia settentrionale, con l'obiettivo di sostenere l'espansione verso nord della specie, già in corso per cause naturali tra cui il cambiamento climatico (Morganti *et al.*, 2017). Questo progetto include interventi in particolare nelle province di Mantova, Modena, Ferrara e Bologna (LIFE FALKON., 2019): in queste aree si è realizzato anche il lavoro di campo del presente studio. Le tre specie oggetto di studio, abitando in ambienti agricoli intensivi, sono anch'esse minacciate dagli effetti del cambiamento climatico e dall'intensificazione delle pratiche agricole.



**Figura 1:** Paesaggio agricolo intensivo nell'area di studio. Poggio Rusco (MN). Foto di Luca Eberle.

## 2 Obiettivi

Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo generale lo studio della sovrapposizione della nicchia trofica all'interno di una *guild* di specie dall'ecologia molto simile e dunque in potenziale competizione.

Si è scelto come modello la *guild* (Root., 1967) composta da tre diverse specie di rapaci appartenenti al genere *Falco*, nidificanti simpatrici in un'area agricola intensiva della Pianura Padana centro-orientale: grillaio, falco cuculo e gheppio.

La ricerca è stata condotta tramite l'analisi della dieta delle tre specie.

Gli obiettivi specifici del presente lavoro sono stati quelli di:

1. Descrivere la composizione della dieta delle tre specie oggetto di studio ed eventuali variazioni composizionali durante la stagione riproduttiva
2. Quantificare attraverso appositi indici di similitudine la sovrapposizione della dieta delle tre specie, usando questo parametro come indicatore della potenziale sovrapposizione di nicchia trofica
3. Interpretare i risultati ottenuti nel contesto della letteratura appropriata

### 3 Materiali e metodi

La raccolta dei dati presenti in questo studio è avvenuta nel contesto delle attività di campo del progetto “LIFE FALKON” ([www.lifefalcon.eu](http://www.lifefalcon.eu)), dal 2018 al 2022, durante i mesi primaverili ed estivi che corrispondono al periodo riproduttivo delle tre specie oggetto di studio in Nord Italia (Brichetti & Fracasso., 2020).

Tramite l'utilizzo della mappa satellitare e del software QGIS, su cui erano state precedentemente individuate le colonie delle tre specie, è stato possibile recuperare le borre, materiale fondamentale per studiare la possibile differenza della dieta delle tre specie. La borra è un rigetto che contiene residui alimentari non digeriti, viene prodotto da molti uccelli ed è fondamentale per favorire l'espulsione dei parassiti da stomaco ed esofago; è infatti stato documentato come il numero dei parassiti in uccelli che non emettono borre sia significativamente più alto (Nappi A., 2011). Lo studio e l'analisi delle borre ha come obiettivo principale quello di descrivere la dieta della specie oggetto di studio, così come la sua variazione nel tempo e nello spazio, oltre che tra individui differenti. Le informazioni raccolte in merito alla dieta, unite allo studio dell'habitat trofico e del comportamento possono fornire un quadro generale molto utile a contestualizzare eventuali attività in favore della conservazione delle specie, obiettivo che, tuttavia, va oltre quello del presente lavoro di tesi.

## 3.1 Specie studio

### 3.1.1 Grillaio

Il grillaio (*Falco naumanni*, J.G. Fleischer, 1818), è una specie monotipica appartenente alla famiglia dei Falconidi dell'ordine dei Falconiformi (Dickinson & Remsen., 2013; La Gioia *et al.*, 2017). È un falco snello di piccole dimensioni (27-33 cm di lunghezza), con ali lunghe e un peso di circa 90-200 gr. È molto simile al gheppio (*Falco tinnunculus*, Linnaeus, 1758), ma presenta dimensioni minori. Il grillaio mostra un evidente dimorfismo sessuale: il maschio adulto presenta la testa grigia e il dorso di color nocciola uniforme privo di macchie scure e una fascia grigia-bluastro tra la parte superiore delle ali. La testa è sempre grigio-bluastro e non presenta mustacchi mentre la coda presenta una banda terminale nera con le 2 timoniere centrali (Figura 2). La femmina è circa il 15% più pesante rispetto al maschio (Cramp., 1998). Gli individui giovani sono molto simili al gheppio, dal quale è abbastanza difficile distinguerli. Entrambe le specie presentano un color nocciola uniforme con diffusa macchiettatura (Ferguson-Lees & Christie., 2001), il grillaio presenta però mustacchi meno evidenti rispetto al gheppio ed è privo di striatura sull'occhio (La Gioia *et al.*, 2017; Svensson *et al.*, 2010).

Il grillaio ha una dieta prevalentemente insettivora e si nutre principalmente di ortotteri e coleotteri che rappresentano la maggior parte della biomassa predata; in minor parte si nutre anche di piccoli vertebrati, come le arvicole, toporagni, lucertole e altri uccelli come i Passeriformi (Figura 8) (Cramp & Simmons., 1980; La Gioia *et al.*, 2017; Catry *et al.*, 2014; Di Maggio *et al.*, 2018).

L'individuazione della preda può avvenire in volo, tramite una speciale tecnica di volo librato chiamata "spirito santo", oppure da posatoio (García *et al.*, 2006; Hernández-Pliego *et al.*, 2017). Il grillaio è una specie tendenzialmente coloniale durante la riproduzione (Franco & Sutherland., 2004; García *et al.*, 2006). La zona di caccia generalmente si trova nelle immediate vicinanze del nido. Le colonie prese in esame in questo lavoro di tesi sono collocate principalmente in case isolate e gli adulti foraggiano generalmente a non più di 3 km dalla propria colonia (Cioccarelli *et al.*, 2022; Assandri *et al.*, 2022). Il grillaio predilige habitat seminaturali (Assandri *et al.*, 2022), rispetto ad ambienti coltivati. La sua preferenza cambia nel corso della stagione riproduttiva: all'inizio della stagione questa specie utilizza praterie seminaturali e colture di cereali immature, mentre più avanti nella stagione la specie predilige foraggiare su campi di cereali già raccolti ed evita le praterie seminaturali (Morganti *et al.*, 2021). I principali habitat di foraggiamento in aree antropizzate consistono in paesaggi fortemente agricoli, come campi di cereali e incolti (Catry *et al.*, 2013; Sarà *et al.*, 2014). Tuttavia, a causa delle forti differenze spaziali e temporali nella distribuzione del cibo, questi ambienti possono complicare ulteriormente la scelta di foraggiamento, soprattutto per una

specie soggetta al teorema del foraggiamento centrale. L'accesso alle prede è fortemente influenzato dall'altezza della vegetazione e quindi anche dalle attività agricole effettuate nel periodo riproduttivo come l'aratura e la mietitura (Rodríguez, *et al.*, 2014). Si è infatti osservato un aumento nell'abbondanza di prede nei giorni immediatamente successivi a queste pratiche agricole (Donázar *et al.*, 1993; Catry *et al.*, 2012). Le caratteristiche che influenzano l'idoneità degli habitat di foraggiamento sono infatti la struttura della vegetazione, che offre una copertura e quindi un riparo alle prede (Moreira., 1999; Vickery *et al.*, 2001; Atkinson *et al.*, 2004) e l'altezza della vegetazione stessa che determina la selezione dell'habitat di foraggiamento del grillaio in Pianura Padana (Cioccarelli *et al.*, 2022). Il grillaio nidifica anche in centri storici abitati di dimensioni medio-piccole e si possono trovare nidi anche nelle cavità di pareti rocciose (Rodríguez *et al.*, 2014; La Gioia *et al.*, 2017). La specie mostra un comportamento di foraggiamento flessibile, sia il volo sia la modalità di caccia variano a seconda delle condizioni meteorologiche: il volo in planata (a risparmio energetico) è più utilizzato rispetto al volo in sbattimento (ad alto consumo energetico) quando, per esempio, la radiazione solare è elevata (Cecere *et al.* 2020) (Jesus Hernández-Pliego., 2016). Il grillaio è una specie coloniale e monogama (Iñigo & Barov., 2011) che nidifica nei sottotetti e nei casolari rurali in zone di campagna. La specie arriva in Italia dall'Africa intorno al mese di maggio, periodo nel quale gli adulti si occupano di trovare un compagno per l'accoppiamento e un sito di nidificazione, al quale mostrano un'alta fedeltà (Brichetti & Fracasso., 2003; La Gioia *et al.*, 2017; Hernández-Pliego *et al.*, 2017). Il successo riproduttivo è fortemente correlato alla quantità e alla qualità delle prede disponibili, al tipo di habitat vicino alla colonia e alla dimensione della stessa, con una relazione direttamente proporzionale tra la dimensione della colonia e il successo riproduttivo (Rodríguez & Bustamante., 2003). Nel periodo tra la riproduzione e la successiva migrazione un gran numero di grillai si raduna in aree con un'alta concentrazione di ortoteri, in un fenomeno chiamato *roost* pre-migratorio che ha come obiettivo quello dell'accumulo di grasso e ha, inoltre, una fortissima influenza sulla sopravvivenza degli individui durante la migrazione. Spesso durante questo periodo i grillai si spostano anche di centinaia di chilometri rispetto ai loro siti riproduttivi (Sarà *et al.*, 2014).

Il grillaio è una specie a corologia eurocentroasiatico-mediterranea, il suo areale riproduttivo è molto ampio, in quanto si estende in tutta la regione Palearctica occidentale rimanendo a sud del 55° parallelo N (BirdLife International., 2022). Si tratta di una specie migratrice trans-sahariana, il suo areale di svernamento è localizzato in Africa sub-Sahariana (Krištín *et al.*, 2022).

In passato la popolazione globale di grillaio consisteva in 650.000-800.000 coppie, (Cade., 1982; Brichetti & Fracasso., 2003) tuttavia dagli anni '50 del secolo scorso, la specie ha subito un grave declino, portando la popolazione mondiale a circa



10.000-17.000 coppie negli anni '90 (Biber., 1994). Oggi in Europa si stimano circa 32.900-42.600 coppie, la maggior parte della quale si trova in Spagna. Si ritiene che la popolazione mondiale conti ad oggi tra i 120.000 e i 200.000 individui, di cui circa 80.000-134.000 adulti (BirdLife International., 2022). Sino agli anni '90 del secolo scorso l'areale di distribuzione italiano del grillaio contava soltanto tre popolazioni distinte: sarda, siciliana e apulo-lucana. Dal 2000 in poi sono state accertate le prime nidificazioni in diverse aree al di fuori dell'areale conosciuto. In Italia si è osservato un trend positivo, con un aumento della popolazione e un'espansione dell'areale già i primi anni del 2000.



**Figura 2:** Maschio adulto di grillaio (*Falco naumanni*). Foto di Alessandro Berlusconi.

### 3.1.2 Falco cuculo

Il falco cuculo (*Falco vespertinus*, Linnaeus 1766) è un uccello della famiglia dei Falconidi dell'ordine dei Falconiformi, è un rapace di piccole dimensioni con un'apertura alare che va dai 65 ai 76 cm. In questa specie è presente un marcato dimorfismo sessuale in quanto il maschio, tendenzialmente più piccolo della femmina, ha il corpo e le copritrici di colore blu-grigio ardesia fatta eccezione per le remiganti che si presentano grigio-argentee e che contrastano con il resto del piumaggio. Nella femmina la colorazione del mantello superiore è grigia-ardesia e presenta barrature sulle copritrici, il capo è arancio chiaro e presenta guance bianche (Figura 3). Questa specie è coloniale facoltativa, nidifica sugli alberi in colonie di nidi abbandonati di corvide (Horváth., 1964; Purger & Tepavcevic., 1999; Purger., 2001). È una specie monogama, la quale una volta raggiunti i territori di nidificazione, forma gruppi di maschi e di femmine che si accoppiano formando colonie nidificanti che possono raggiungere anche un centinaio di coppie. La dispersione dei giovani si pensa dipenda del sesso e dall'età degli individui (Morton., 1992) e spesso è stata osservata la formazione di grandi *roost* per il foraggiamento (Newton *et al.*, 1998) come nel caso del grillaio.

Il falco cuculo presenta una dieta specialista (Cramp & Simmons., 1980), si nutre per la maggior parte di invertebrati, principalmente ortotteri, coleotteri, carabidi e odonati ma anche di piccoli vertebrati come anfibi, lucertole, rettili e mammiferi di piccole dimensioni come le arvicole (Figura 7) (Keve & Szijj., 1957; Cramp & Simmons., 1977; Haraszthy *et al.*, 1994; Purger., 1998; Sgorlon & Panzarin., 2013). Durante la stagione riproduttiva questa specie seleziona diversi tipi di habitat aperti come le steppe e i paesaggi agricoli estensivi, che forniscono una giusta quantità di cibo, e le steppe forestali che insieme ai gruppi di alberi forniscono luoghi di nidificazione adeguati (Palatitz *et al.*, 2009; 2015). Il falco cuculo adotta tre tipologie di metodi di caccia: hovering, da posatoio e cattura al volo di insetti. L' hovering è la strategia di caccia che richiede un dispendio energetico maggiore per unità di tempo ma la resa finale è maggiore rispetto alle altre tipologie (Rudolph., 1982). La caccia da posatoio viene utilizzata quando sono presenti punti di osservazione sopraelevati come alberi, tralicci, fili elettrici e recinzioni, che permettono all'animale di controllare il terreno. La caccia in volo, invece, richiede un numero idoneo di insetti di grosse dimensioni su determinate aree o patch di territorio (Rudolph., 1982). Il falco cuculo mostra una forma di comportamento molto interessante dal punto di vista etologico, presenta un atteggiamento antagonista e di competizione diretta che coinvolge spesso il furto di cibo, fenomeno chiamato "cleptoparassitismo" (Brockmann e Bernard., 1979). Si osserva questo tipo di comportamento quando vengono sfruttate le stesse risorse trofiche, habitat di nidificazione simili e stessa dieta, come osserviamo nel caso del

grillaio (*Falco naumanni*). Nel falco cuculo esiste, inoltre, una differenza nella selezione dell'habitat di nidificazione e dell'habitat trofico sia tra le diverse colonie sia tra i sessi. Nelle colonie che ospitano un gran numero di individui, dove quindi vi è un'elevata competizione intraspecifica, i maschi tendono a utilizzare *patch* distanti dal sito di nidificazione per trovare l'habitat trofico ottimale in base alla dimensione della colonia e soprattutto in base alla qualità delle risorse (Ainley *et al.*, 2004). Le femmine, al contrario, raggiungono *patch* di foraggiamento più vicini probabilmente perché sono più impegnate nelle cure parentali rispetto agli individui maschi e di conseguenza si spostano di meno (Sergio e Bogliani., 2001). Il falco cuculo evita habitat di foraggiamento come i canneti, le foreste e le colture di mais e girasole, in quanto una volta sviluppate in altezza ostruiscono la vista e rendono più difficoltosa la possibilità di individuare la preda (Yosef e Grubb., 1993; Sheffield *et al.*, 2001). Il falco cuculo è una specie monotipica che presenta una distribuzione eurosiberica (Grattini., 2016), il suo areale riproduttivo si estende dall'Europa centro-orientale all'Asia centrale fino a raggiungere il lago Baikal in Russia (del Hoyo *et al.*, 1994). In Italia la prima nidificazione di falco cuculo è stata documentata tra il 1992 e il 1995 in provincia di Parma (Ravasini., 1995; Bricchetti & Fracasso., 2003) e più recentemente è stato avvistato in Veneto e in Lombardia (Boitani *et al.*, 2002; Bricchetti & Fracasso., 2003). Quasi tutta la popolazione italiana è ristretta in Emilia-Romagna, per questo motivo in questa regione si è creata una piccola area *source* nella quale si attuano azioni di dispersione delle coppie che nidificano nelle regioni limitrofe. La popolazione globale di falco cuculo è in declino e ad oggi è stimata essere compresa tra i 300.000 e gli 800.000 individui (Ferguson-Lees & Christie., 2001), con circa 30.300-63.400 coppie stabilite in Europa (BirdLife International., 2015). L'espansione del falco cuculo in Nord Italia segue una traiettoria simile al grillaio, secondo la recente letteratura entrambe le specie hanno subito uno *shift* delle aree di distribuzione verso latitudini più elevate come causa del cambiamento climatico.



**Figura 3:** Dimorfismo sessuale tra maschio adulto (a sinistra) e femmina adulta (a destra) di falco cuculo (*Falco vespertinus*). Foto di Alessandro Berlusconi.

### 3.1.3 Gheppio

Il gheppio (*Falco tinnunculus*, Linnaeus, 1758) è un piccolo rapace con una lunghezza totale compresa tra i 31 e i 37 cm e un'apertura alare che va dai 68 ai 78 cm. Come nelle altre due specie precedentemente descritte, anche nel gheppio è presente un evidente dimorfismo sessuale. Gli individui maschi presentano una colorazione grigio-ceruleo priva di barrature sul capo e sulle penne sopracaudali mentre il mantello e le copritrici hanno una colorazione marrone o rossiccia con macchiettature nere (Figura 4). La femmina, al contrario, è completamente bruna, presenta barrature scure sul corpo mentre ali e coda presentano strisce nere (Svensson *et al.*, 1999). La femmina del gheppio è simile alla femmina di grillaio dalla quale si può distinguere osservando il colore delle unghie, scure nel gheppio e bianche nel grillaio. La dieta di questa specie è di tipo generalista ed è composta prevalentemente da artropodi, mammiferi, piccoli uccelli e rettili (Casagrande *et al.*, 2008). I posatoi vengono utilizzati, come per le altre specie descritte, per l'avvistamento delle prede, tecnica che richiede poco dispendio di energia (Lihu *et al.*, 2007). Un metodo di caccia alternativo all'utilizzo dei posatoi è l'*hovering*, tecnica di volo che consiste in brevi planate a pochi metri dal terreno che consentono all'animale di mantenere la stessa posizione rispetto al suolo con piccoli spostamenti. Questa tecnica è particolarmente usata quando l'animale si trova su terreni pianeggianti e nelle giornate estremamente calde, quando il riscaldamento dell'aria e del terreno crea termiche adatte per librarsi (Village., 1990). Il gheppio in Europa è una specie sedentaria, ed è un rapace presente in quasi ogni tipologia di paesaggio, nidifica sia in centri urbani di grandi dimensioni sia in aperta campagna. Preferisce ambienti aperti, steppici o di agricoltura estensiva ma si può trovare anche in pareti rocciose e in edifici abbandonati. Il gheppio è una specie a corologia Paleartico-tropicale diffusa in tutto il Paleartico Occidentale fino al 70° parallelo. È un rapace molto comune in Europa, lo troviamo in tutti gli ambienti ad eccezione dell'estremo nord della Scandinavia e dell'Islanda. In Italia il gheppio è una specie residente, migratrice e svernante e il suo passaggio nel nostro paese coincide con i mesi di marzo-maggio e agosto-novembre. La popolazione nidificante in Italia è stata stimata essere tra le 5.000 e le 10.000 coppie. La popolazione europea è stimata essere tra le 411.000 e le 631.000 coppie che equivalgono a circa 823.000-1-270.000 individui adulti (BirdLife International., 2021). L' Europa rappresenta circa il 20% della distribuzione globale della specie, possiamo quindi stimare la popolazione globale, che si aggirerebbe tra i 4.330.000-6.680.000 individui maturi (IUCN, The IUCN Red List of Threatened Species., 2022).



**Figura 4:** Maschio adulto di gheppio (*Falco tinnunculus*). Foto di Luca Eberle

## 3.2 Area di studio

### 3.2.1 Inquadramento generale

L'area del presente studio è compresa all'interno della Pianura Padana (45°19'49"N, 9°47' 56" E), all'interno delle Regioni di Lombardia ed Emilia-Romagna, precisamente nelle provincie di Mantova, Modena, Bologna e Ferrara. La Pianura Padana è la pianura più estesa d'Italia (~46.000 km<sup>2</sup>) ed è racchiusa tra le Alpi meridionali a nord e l'Appennino settentrionale a sud (Castaldini *et al.*, 2019). È una pianura alluvionale nella quale confluisce il fiume Po che l'attraversa da est a ovest e che sfocia infine nell'Adriatico Settentrionale.

### 3.2.2 Clima

La Pianura Padana presenta un clima temperato umido ed è caratterizzata da un'ampia escursione termica annuale con temperature medie in inverno che si aggirano intorno ai -1/3°C e temperature medie intorno ai 25/26°C in estate.

L'area di studio risulta essere compresa nella macroregione a bioclima temperato subcontinentale, con un termotipo supratemperato e un ombrotipo subumido (Carta Fitoclimatica d'Italia in scala 1:250000, disponibile sul Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare: <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>). La scelta di quest'area è stata dettata dal fatto che i cambiamenti climatici e l'idoneità dell'habitat hanno portato all'espansione dell'areale di alcune specie di animali, tra cui citiamo il grillaio (*Falco naumanni*) (Morganti *et al.*, 2017), mentre per il falco cuculo la Pianura Padana rappresenta il limite occidentale della sua distribuzione globale (Brichetti & Fracasso., 2020). Il gheppio (*Falco tinnunculus*) è presente in tutto il territorio nazionale ed è una specie particolarmente versatile in termini di risorse trofiche. Oltre all'attuale cambiamento climatico anche il graduale cambiamento della tipologia di coltivo ha reso l'habitat idoneo per le specie esaminate.

### 3.2.3 Uso del suolo

La riforma della PAC (Politica Agricola Comune dell'Unione Europea) del 2003 ha notevolmente modificato le tipologie di coltivazioni che sono oggi molto diverse rispetto a quelle osservate in passato (Regione Emilia-Romagna., 2009). Alcune colture sono aumentate in superficie, come l'erba medica e i campi incolti, mentre si sono ridotti i campi di mais e grano tenero. Ciononostante, è stata osservata una diminuzione dell'estensione agricola tra il 1976 e il 2003 dove si è osservato un netto aumento dell'area urbanizzata nella Pianura Padana Centrale mentre nella stessa zona si sono persi la maggior parte dei terreni coltivabili (Gruppo di lavoro "Suoli e Pianificazione"., 2010). Per quanto riguarda il grado di urbanizzazione della Pianura Padana, mentre nell'alta pianura a sud, fino a circa 400 m s.l.m. sorgono i maggiori centri abitati e le aree più industrializzate, nella bassa pianura a nord e fino a 100 m s.l.m. sono maggiormente presenti le aree rurali dedicate all'agricoltura. La Pianura Padana è composta da un mosaico di terreni agricoli che hanno cambiato la loro struttura a causa dell'aumento della meccanizzazione e dell'intensificazione delle pratiche agricole. Il paesaggio ha subito un processo di degradazione e omogeneizzazione che ha fortemente influenzato la distribuzione della fauna selvatica. La coltivazione di campi di erba medica, mais, sorgo e cereali fornisce idonee risorse trofiche a molte specie di insetti e mammiferi che costituiscono le prede principali dei falchi oggetti di studio (Morganti e Grattini., 2018). Nel 2013 la PAC ha subito un'importante riforma focalizzata sul garantire la sicurezza alimentare, sul favorire l'uso sostenibile delle risorse naturali e sullo sviluppo equilibrato delle zone rurali europee. Questa riforma punta a promuovere a preservare i prati permanenti e a mantenere le aree di interesse ecologico, come boschi, colture azotofissatrici come l'erba medica e fasce con siepi, fondamentali per proteggere e conservare la biodiversità (Commissione Europea, 2019).

### 3.2.4 Aree protette

Sebbene l'area di studio si estenda in un territorio fortemente antropizzato con ambienti naturali frammentati, sono presenti numerose zone importanti dal punto di vista naturalistico, che rientrano all'interno dei siti della Rete Natura 2000 (ZPS, SIC, ZSC) (Direttive comunitarie 2009/147 e 92/43). Queste aree protette contribuiscono alla conservazione della biodiversità presente nel territorio attraverso la tutela degli habitat (forese, zone umide, praterie) e delle specie animali e vegetali minacciate (Ministero della Transizione Ecologica., 2021).



## 4 Metodologie di rilievo di campo

### 4.1 Raccolta borre

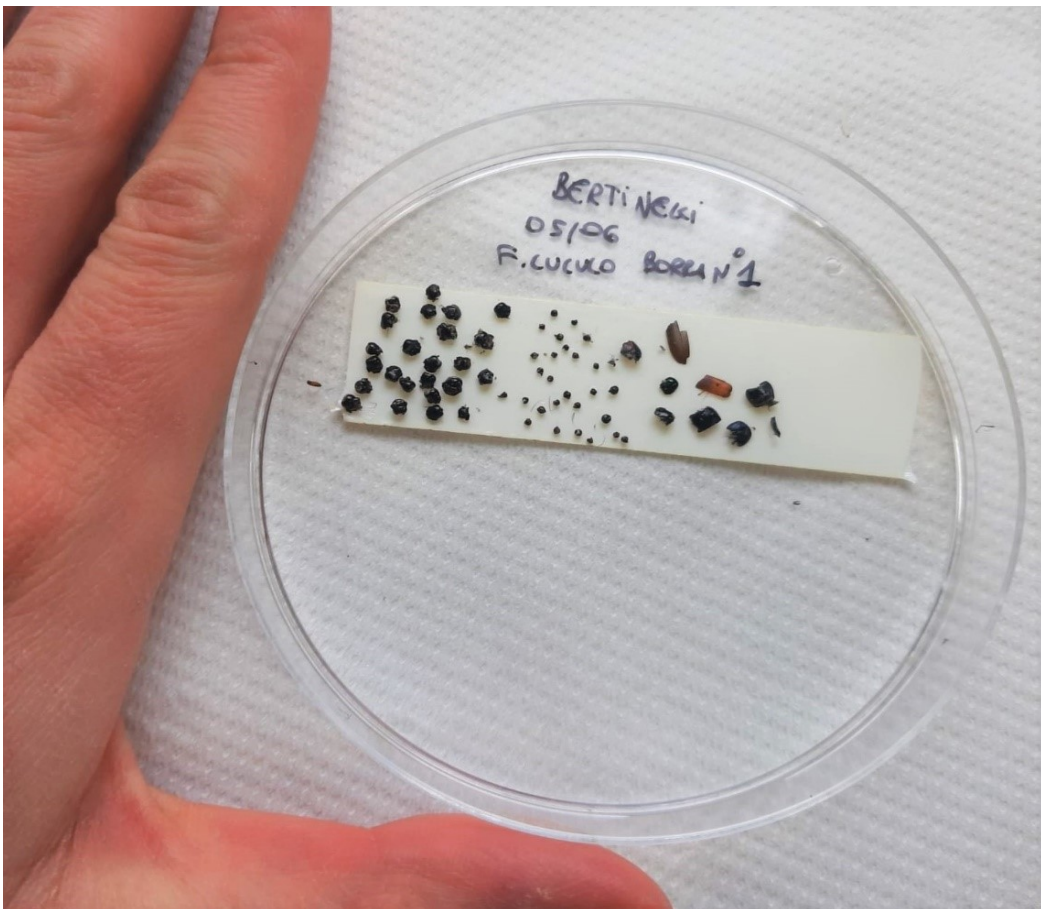
La raccolta delle borre è avvenuta durante il periodo riproduttivo delle tre specie (da aprile a luglio a seconda della specie), dal 2018 al 2022. Le borre sono state raccolte per ciascuna delle tre specie vicino ai siti di nidificazione o sotto ai posatoi (Figura 5). Ogni sito riproduttivo è stato ispezionato più volte durante il periodo riproduttivo delle tre specie. Questo procedimento ha permesso una raccolta dei dati omogenea e bilanciata nel tempo e nell'area di studio. Dopo la raccolta, ogni borra è stata sistemata temporaneamente in bustine di carta stagnola con all'interno le seguenti informazioni: data di raccolta della borra, numero di borre, coordinate del luogo di ritrovamento e specie a cui la borra appartiene.

### 4.2 Analisi contenuti borre

Nei mesi di gennaio-febbraio 2022 e poi successivamente nei mesi da luglio ad ottobre è stata effettuata l'analisi dei contenuti delle borre delle tre specie. Lo scopo principale di questo procedimento è l'identificazione delle specie-prede. La prima parte dell'analisi si è svolta in laboratorio, dove è stata effettuata l'analisi dei contenuti delle borre delle tre specie. Le borre sono state preparate tramite l'utilizzo di un Becker (o di una piastra Petri) contenente acqua in cui sono state immerse per favorire la loro dissoluzione. Si è proceduto quindi ad estrarre tutte le parti dure non digerite nelle borre, in particolare le parti diagnostiche delle prede, cercando di accoppiare gli elementi complementari, come ad esempio le mandibole, e isolando gli elementi singoli, come le teste, così da facilitare il calcolo del numero totale di prede. Per elementi diagnostici si intendono tutte quelle parti del corpo di un animale che sono di fondamentale importanza per la sua identificazione. Per i piccoli mammiferi gli elementi diagnostici comprendono: ossa mandibolari, ossa lunghe e cranio. Per gli insetti è stata fatta una distinzione fra ortotteri e coleotteri. Per gli ortotteri gli elementi diagnostici sono: mandibole, titillatori, cerci e tegmine, mentre per i coleotteri troviamo mandibole, elitre, testa, tarsi, antenne e zampe. Sono stati rinvenuti anche altri artropodi come i dermatteri (distinguibili tramite i cerci) e gli scorpioni (distinguibili grazie alle chele). Gli elementi diagnostici sono stati fissati su piastra Petri (di diametro di 8 o di 14 centimetri) tramite l'utilizzo del nastro biadesivo in modo ordinato e cercando di separarli per gruppi (zampe, mandibole, antenne, ecc.). Su ogni piastra Petri sono state infine riportate le seguenti informazioni: n° della borra, data di raccolta della borra e luogo di raccolta (Figura 6).



**Figura 5:** Resti di borra di falco cuculo. Foto di Alessandro Berlusconi.



**Figura 6:** Esempio di piastra Petri contenente i resti di prede estratti da una borra di falco cuculo.

### 4.3 Riconoscimento delle specie-preda

Tramite l'utilizzo di guide tassonomiche (Bellmann., 2016; Chinery., 2010), di esemplari di confronto raccolti nelle precedenti stagioni di campo e dell'aiuto di esperti specifici per ogni gruppo di studio, i resti nelle borre sono stati identificati e assegnati ai diversi *taxa*. Durante questo procedimento è stato utilizzando un microscopio stereoscopio Leica S6E, a diversi ingrandimenti a seconda della necessità (es: 10-80x) mentre per l'identificazione dei resti dubbi sono stati utilizzati i seguenti manuali: Charlie et al. (1974) e Niethammer & Krapp (1978; 1982; 1990). Dopo il riconoscimento è stato creato un file Excel dove è stata redatta una lista dei *taxa* predati. Per ogni *taxon* predato è stato specificato: l'Ordine, la Famiglia, la Tribù (in alcuni casi), il Genere, la Specie e il N° di esemplari totali presenti nella borra. Tutte le prede sono state identificate al livello tassonomico più basso possibile. Dopo aver processato ed analizzato tutte le borre si è proceduto con il conteggio degli elementi. Ogni piastra Petri è stata quindi rianalizzata e sono stati contati i resti al fine di conoscere il numero totale di individui in ogni borra. Per il conteggio del numero degli esemplari è stata fatta una distinzione tra elementi singoli ed elementi complementari. Gli elementi singoli, nel nostro caso teste e pronoti, sono stati contati individualmente, mentre per gli elementi complementari (mandibole, antenne, e zampe) si è svolto un lavoro più delicato. Nei campioni erano presenti sia mandibole destre che sinistre che sono state accoppiate, per quanto possibile, al loro complementare. I resti delle zampe sono stati incollati sulle Petri con la concavità rivolta verso l'osservatore, in questo modo è stato possibile discriminare gli elementi delle zampe destre da quelli delle zampe sinistre. Gli elementi complementari sono stati infine riconosciuti tramite confronto diretto con resti di esemplari interi già determinati. Ogni elemento è infine stato accoppiato con il suo complementare, rendendo possibile il conteggio del numero totale di individui in ogni borra. È stato successivamente ricavato il numero di esemplari secondo il principio di precauzione (cioè indicando il numero minimo di coppie di mandibole o zampe ricostruite). Successivamente, è stata realizzata una seconda tipologia di database, organizzata in modo che ogni riga rappresenti il numero di prede identificate nelle borre per specie di falco, e ogni colonna sia una categoria di preda (a livello di genere). Per ogni specie-preda è stata calcolata la sua biomassa, espressa in grammi e la sua biomassa relativa. Per perseguire questo scopo è stato utilizzato il peso fresco di ogni individuo catturato nelle precedenti stagioni di campo. Il peso fresco degli individui che non facevano parte della collezione di riferimento è stato ricavato da letteratura. Per analizzare e confrontare tra loro le diete dei tre falchi sono stati fatti due confronti diversi. In principio è stato fatto un confronto a coppie tra le diverse specie di falco. Successivamente il database è stato suddiviso

in tre periodi diversi in base alla fenologia riproduttiva delle specie (“periodo riproduttivo iniziale” dal 15 aprile al 17 maggio, “periodo riproduttivo intermedio” dal 18 maggio al 15 giugno e “periodo riproduttivo finale” dal 16 giugno al 20 luglio). I periodi riproduttivi sono stati scelti sulla base di osservazioni dei movimenti delle tre specie nell’area di studio e dalla relativa letteratura. Questo ha permesso di studiare eventuali eventi di competizione nei diversi periodi e verificare se la competizione è presente in tutte le fasi riproduttive. Sono state successivamente create delle tabelle per i confronti a coppie, nelle quali abbiamo confrontato il numero di prede mangiate e la loro biomassa. In fine sono state create tre tabelle (falco cuculo vs gheppio, falco cuculo vs grillaio e gheppio vs grillaio) dalle quali è stato infine ricavato l’indice di Pianka (ved. 5.1) per la sovrapposizione della nicchia.



**Figura 7:** Esemplare maschio di falco cuculo con topo domestico (*Mus domesticus*). Foto di Luca Eberle



**Figura 8:** Esemplare maschio di grillaio con scarabeo nero mediterraneo (*Pentodon bidens*). Foto di Luca Eberle

## 5 Analisi statistiche

Tutte le analisi statistiche sono state realizzate tramite il *software* RStudio 4.2.1 (RStudio Team., 2022). Per l'analisi di sovrapposizione della nicchia è stato utilizzato il pacchetto "EcoSimR" (Gotelli *et al.*, 2015). Per l'analisi del ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS) sono stati utilizzati i pacchetti "tidyverse" (Wockham *et al.*, 2019) e "vegan" (Oksanen *et al.*, 2013). Infine, per il calcolo dell'indice di biodiversità di Shannon-Wiener sono stati utilizzati i pacchetti "vegan" (Oksanen *et al.*, 2013), "car" (Fox and Weisberg., 2019) e "visreg" (Breheny and Burchett., 2017).

### 5.1 Confronti interspecifici

A seguito dell'analisi del contenuto delle borre si è proceduto ad esaminare la similarità delle diete dei tre falchi mediante l'utilizzo dell'indice di Pianka (Pianka., 1973). Tale indice si basa su un confronto a coppie delle specie e analizza la sovrapposizione di nicchia tra specie diverse. L'indice di Pianka (indicato dalla lettera O) deriva dalla composizione della dieta delle diverse specie:

$$O_{jk} = \frac{\sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n p_{ij}^2 \sum_i^n p_{ik}^2}}$$

I termini  $P_{ij}$  e  $P_{ik}$  rappresentano rispettivamente le percentuali di utilizzo che la specie  $i$  e  $j$  fanno della risorsa  $k$ . Il termine  $O_{jk}$  è la sovrapposizione di risorse tra le due specie. L'equazione restituisce un singolo valore di sovrapposizione (o di similitudine) per la dieta di due specie poste a confronto. L'intervallo di sovrapposizione calcolato varia da 0 a 1. Un valore di 0 rivela una non sovrapposizione nella dieta, mentre un valore uguale 1, rivela una totale sovrapposizione nella dieta. Dal primo calcolo dell'indice di Pianka tra le tre specie (falco cuculo vs gheppio, falco cuculo vs grillaio, gheppio vs grillaio) si sono ottenuti tre indici generali. In seguito, sono stati calcolati ulteriori 18 indici di cui 9 derivanti dalla frequenza delle specie predate e 9 derivanti dalla loro biomassa; tali indici sono stati declinati in base ai tre periodi riproduttivi delle specie analizzate (periodo riproduttivo iniziale, intermedio e finale). Tutti gli indici di Pianka sono stati calcolati utilizzando il cosiddetto algoritmo "ra3", che si basa sull'ipotesi di equiprobabilità, ovvero assumendo che ogni specie utilizzi la risorsa in un sito con

la stessa probabilità o che ogni sito abbia la stessa probabilità di ospitare una specie (Lawlor., 1980; Pianka., 1990; Tsafack et al.,2021).

## 5.2 Analisi di ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS)

Per analizzare con maggiore dettaglio la similarità della dieta all'interno dei nidi delle tre specie è stata utilizzata una tipologia di analisi chiamata ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS). L'obiettivo dell'analisi NMDS è quello di condensare le informazioni da dati multidimensionali in una rappresentazione a due dimensioni (Taguchi *et al.*, 2015). Questa analisi ha come scopo principale quello di semplificazione dei dati, l'output grafico converte la similarità tra i campioni in una distanza lineare, permettendo di rappresentare su un piano cartesiano bidimensionale i campioni raccolti.

Quanto più vicini, tanto più saranno simili tra loro. Per questa analisi è stato utilizzato un database organizzato in modo che ogni riga rappresenti il numero totale di prede predate da un determinato nido (le borre raccolte da uno stesso nido sono dunque state cumulate) e ogni colonna rappresenti una categoria di preda (determinata a livello di specie). Grazie a questo approccio, si è studiata e confrontata la variabilità intra-specifica della dieta all'interno dei nidi e si è verificata la somiglianza di tutti i campioni delle tre specie in modo simultaneo e veloce. NMDS converte le dissimilarità tra campioni in distanze geometriche e ci fornisce uno strumento fondamentale per studiare l'ampiezza totale delle diete. Nella rappresentazione grafica risultante dell'analisi nidi simili fra loro per composizione della dieta si verranno a trovare vicini, mentre nidi con una composizione della dieta diversa saranno a distanza maggiore. L'algoritmo di NMDS, utilizzando il database di partenza, calcola una matrice che rappresenta la similarità (o la dissimilarità) nelle diete all'interno dei nidi della stessa specie. Successivamente, calcola l'indice di dissimilarità di Bray-Curtis per ogni nido e produce una rappresentazione 2D in cui i punti rappresentano i diversi nidi delle tre specie.

In seguito, l'algoritmo calcola le distanze nella rappresentazione 2D e fa una comparazione tra le differenze nella composizione della dieta dei nidi nella matrice e le differenze nella composizione della dieta dei nidi calcolate con l'indice di Bray-Curtis. Calcola, infine, la correlazione tra le due distanze e sposta i nidi nello spazio 2D finché i dati non danno la correlazione migliore con la dissimilarità calcolata nello spazio multidimensionale.

Questa analisi consente quindi di spiegare le differenze, o le relazioni di somiglianza, tra la dieta all'interno dei nidi delle tre specie.

L'indice di dissimilarità di Bray-Curtis è calcolato mediante la seguente formula:

$$BC_{ij} = \sum \frac{|n_{ik} - n_{jk}|}{(n_{ik} + n_{jk})}$$

L'analisi restituisce un output grafico in cui è rappresentata la distanza teorica tra i nidi, la quale è rappresentativa della similarità o dissimilarità in termini di composizione in specie della loro dieta. L'analisi NMDS mostra graficamente le variazioni in composizione della dieta all'interno della stessa specie e traduce le similarità tra i campioni in distanze relative tra i campioni. Rispetto all'analisi condotta attraverso il confronto a coppie delle specie (uso dell'Indice di Pianka, ved. Sopra), questa analisi permette di verificare la similitudine di tutti i campioni delle tre specie simultaneamente. Inoltre, convertendo le similitudini tra campioni (o, più propriamente le dissimilarità) in distanze geometriche, permette di trarre conclusioni sull'ampiezza totale delle diete analizzate. Il minimo poligono convesso (ovvero quello formato dall'unione dei punti estremi) di ogni specie dà infatti un'idea dell'ampiezza della dieta. Potrebbe darsi il caso che il poligono di una delle specie analizzate sia completamente all'interno o parzialmente sovrapposto a quello di un'altra specie. In sostanza, la varietà delle conclusioni qualitative che è possibile fare tramite l'analisi NDMS la rende integrativa di quanto già realizzato attraverso il calcolo dell'indice di Pianka.



### 5.3 Calcolo dell'Indice di biodiversità di Shannon-Weiner

L'indice di Shannon-Weiner è un indice di diversità molto utilizzato in ambito ecologico. Questo indice considera sia la ricchezza in specie sia l'equipartizione tra le specie e dà quindi un'idea della diversità specifica di un dato ambiente. Dà un'indicazione della diversità specifica all'interno delle tre diete fornendoci un ulteriore dato per il confronto della dieta delle tre specie.

L'indice di Shannon è calcolato come:

$$H' = - \sum_{j=1}^s p_j \log p_j$$

Dove  $p_j$  è la frequenza della  $j$ -esima specie, ovvero il rapporto tra il numero di individui della specie  $j$ -esima e il numero totale di individui del campione ( $\sum p_j = 1$ ). In assenza di diversità, quando è presente una sola specie nella comunità, il valore di  $H'$  è uguale a 0. Il valore massimo dell'indice, che si ottiene quando tutte le specie sono presenti con lo stesso numero di individui, è  $H'_{max} = \log S$ , dove  $S$  è il numero totale di specie ovvero la ricchezza di specie (Smith e Smith., 2017). L'indice può quindi variare tra 0 e  $\log S$ . L'indice di Shannon-Wiener permette di quantificare l'eterogeneità della biodiversità di un dato ambiente e di osservare un'evoluzione nel tempo. In altre parole, l'indice misura la probabilità che un individuo preso a caso dalla popolazione appartenga ad una specie differente da una specie estratta in un precedente ipotetico prelievo. Maggiore è il valore di  $H'$ , maggiore è la diversità. Il valore massimo dell'indice di Shannon ( $H'_{max}$ ) può essere utilizzato per calcolare un indice di equità (*o evenness*) tra le specie:

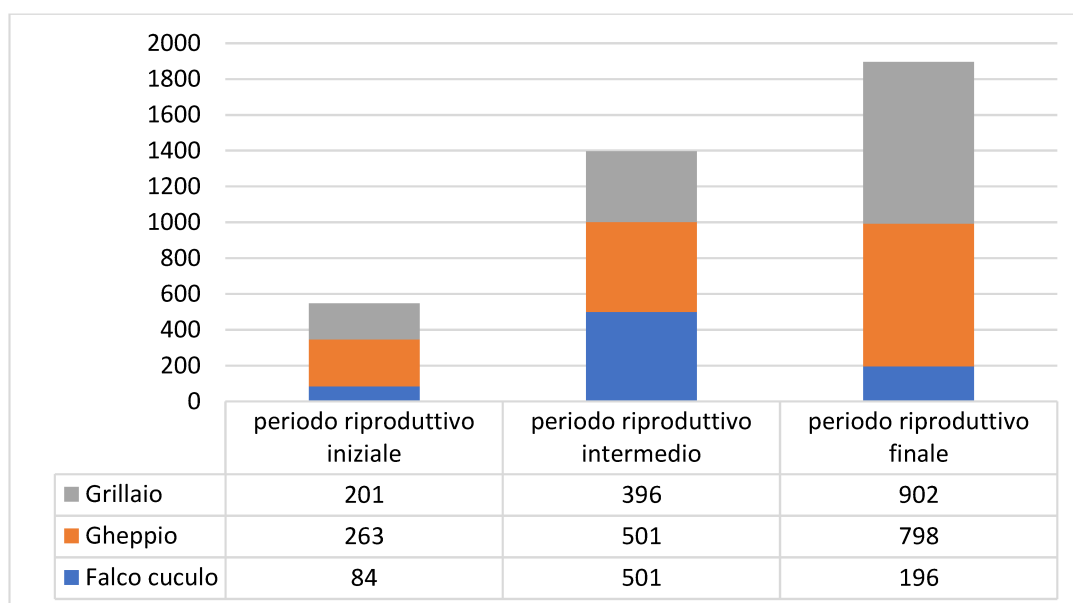
$$J_{H'} = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{H'}{\log S}$$

L'indice di equità ( $J_{H'}$ ) si riferisce alla distribuzione degli individui tra le diverse specie. La massima uniformità in specie si verifica se ogni specie della comunità presenta lo stesso numero di individui ovvero se ha la stessa abbondanza. I valori di *evenness* ( $J_{H'}$ ) variano da 0 a 1, dove 1 coincide con il valore di  $H'_{max}$ , cioè quando tutte le specie hanno lo stesso numero di individui. Più gli individui sono concentrati in una o poche specie più il valore  $J_{H'}$  è basso. Al contrario, più gli individui sono distribuiti tra le specie in modo simile, più il valore risulta elevato.

## 6 Risultati

### 6.1 Risultati raccolta borre

In totale, tra il 2018 ed il 2022 sono state raccolte un totale di 3,842 borre. In particolare, sono state raccolte: 1,499 borre di grillaio, 1,562 borre di gheppio e 781 borre di falco cuculo (Figura 9). Ho partecipato in prima persona alla raccolta durante la stagione 2022, contribuendo successivamente all'analisi in laboratorio dei contenuti di tutto lo stock di borre raccolte anche negli anni precedenti.



**Figura 9:** Numero di borre di falco cuculo, gheppio e grillaio suddivise per periodi riproduttivi.

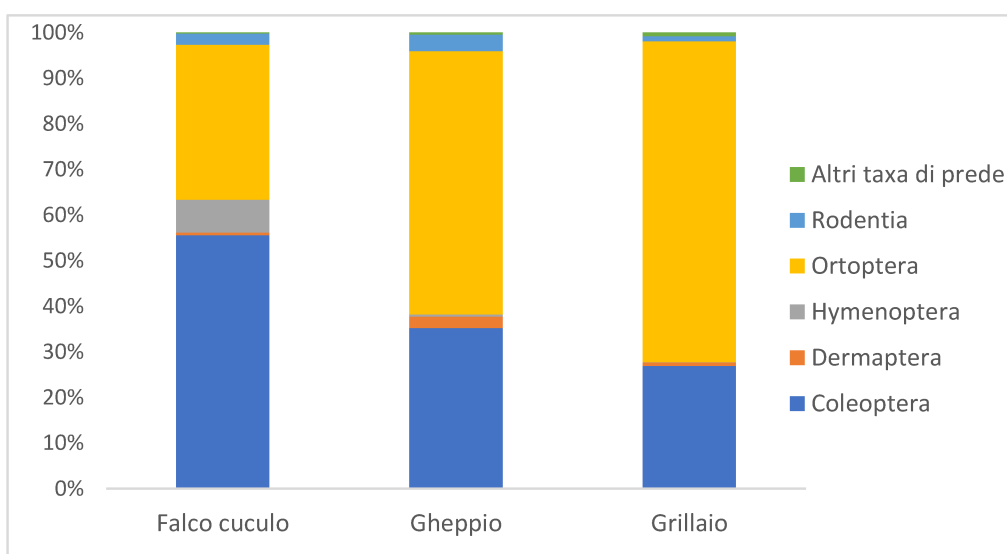
Le borre sono state catalogate ed è stata creata una tabella Excel in cui si sono riportate le seguenti informazioni: nido di raccolta della borra, latitudine, longitudine, specie a cui la borra appartiene, e numero totale di borre raccolte (vedi Allegato numero 1).

## 6.2 Risultati analisi borre

Dall'analisi delle borre sono stati identificati un totale di 11847 esemplari appartenenti a 58 specie, 56 generi, 25 famiglie, 14 ordini e 7 classi. Gli insetti, in termini di frequenza, costituiscono le prede più abbondanti trovate nelle borre formando il 97,29% del totale delle prede, con 6 ordini, 18 famiglie e 45 specie (Tabella 1). I mammiferi sono la seconda classe più abbondante e costituiscono il 2,49% delle prede totali, con 2 ordini, 4 famiglie e 9 specie. I coleotteri e gli ortotteri costituiscono la maggior parte della dieta delle tre specie, formando oltre il 90% delle loro prede (Figura 10). Gli ortotteri, l'ordine più rappresentato nella dieta delle tre specie, comprendono 4 famiglie e 6 specie. I coleotteri, l'ordine più eterogeneo ritrovato nelle borre, comprende 8 famiglie e 28 specie.

**Tabella 1:** Biomassa espressa in grammi (B), biomassa relativa (%B), abbondanza (N) e abbondanza relativa (%N) delle diverse classi di prede sul totale della dieta dei tre falchi.

	B	%B	N	%N
Mammiferi	8616.61	89.45%	295	2.49%
Insetti	390.00	4.05%	11526	97.29%
Aracnidi	1.58	0.02%	4	0.03%
Anfibi	100.00	1.04%	2	0.02%
Uccelli	390.00	4.05%	13	0.11%
Rettili	115.00	1.19%	5	0.04%
Pesci	20.00	0.21%	2	0.02%
Totale	9633.18	100.00%	11847	100.00%

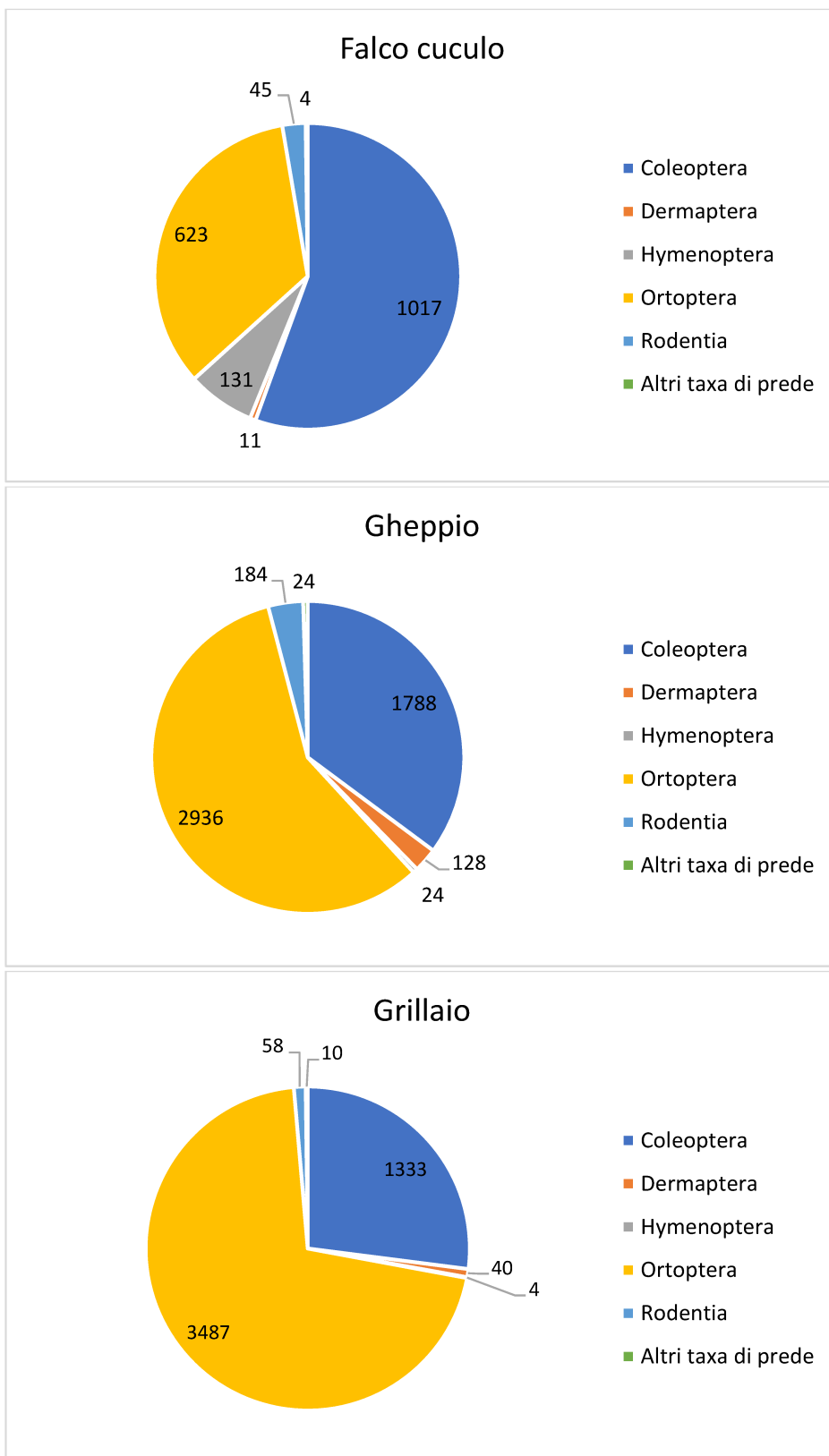


**Figura 10:** Abbondanza (N) dei 6 ordini principali nella dieta di falco cuculo, gheppio e grillaio.

Gli ordini di insetti più rappresentati nella dieta delle tre specie sono ortotteri (59,47%), coleotteri (34,93%), dermatteri (1,51%) e imenotteri (1,34%), che insieme costituiscono il 97,25% della dieta dei tre falchi (Figura 11). Per i mammiferi l'ordine più rappresentato è quello dei roditori (2,42%), mentre il restante 0,33% delle prede è costituito da anfibi, uccelli, ditteri, eulipotifili, mantidi, araneidi, scorpioni, pesci e squamati (Tabella 2). I coleotteri, in particolare, costituiscono il 55,54% della dieta del falco cuculo, il 35,17% di quella del gheppio e il 27,03% di quella del grillaio (Tabella 2). Gli ortotteri costituiscono il 70,68% della dieta del grillaio, il 57,76% di quella del gheppio e il 34,03% di quella del falco cuculo (Figura 12, Tabella 2).

**Tabella 2:** Abbondanza (N) e abbondanza relativa (N%) dei diversi ordini nella dieta di falco cuculo, gheppio e grillaio.

	Grillaio		Falco cuculo		Gheppio		Totale
	N	%N	N	%N	N	%N	
Anura	2	0.04%		0.00%		0.00%	2
Araneae	1	0.02%		0.00%	1	0.02%	2
Aves	4	0.08%	1	0.05%	8	0.16%	13
Coleoptera	1333	27.03%	1017	55.54%	1788	35.17%	4138
Dermaptera	40	0.81%	11	0.60%	128	2.52%	179
Diptera	1	0.02%		0.00%		0.00%	1
Eulipotyphla		0.00%	1	0.05%	7	0.14%	8
Hymenoptera	4	0.08%	131	7.15%	24	0.47%	159
Mantodea		0.00%		0.00%	4	0.08%	4
Orthoptera	3487	70.70%	623	34.03%	2936	57.75%	7046
Rodentia	58	1.18%	45	2.46%	184	3.62%	287
Scorpiones	1	0.02%		0.00%		0.00%	1
Siluriformes		0.00%		0.00%	2	0.04%	2
Squamata	1	0.02%	2	0.11%	2	0.04%	5
Totale complessivo	4932	100.00%	1831	100.00%	5084	100.00%	11847



**Figura 11:** Abbondanza (N) dei diversi taxa nella dieta di falco cuculo, gheppio e grillaio.

**Tabella 3:** Composizione della dieta di falco cuculo, gheppio e grillaio con relativo numero di esemplari trovati nelle borre. L'acronimo ND indica genere "non definito".

	Falco cuculo	Gheppio	Grillaio	Totale
<b>Anura</b>			2	<b>2</b>
<i>Pelophylax</i>			2	2
<b>Araneae</b>		1	1	<b>2</b>
Araneae ND		1	1	2
<b>Aves</b>	1	8	4	<b>13</b>
Passerine ND	1	8	4	13
<b>Coleoptera</b>	1017	1788	1333	<b>4138</b>
<i>Amara similata</i>	21	5	8	34
<i>Amphimallon</i>	53	105	40	198
<i>Argiotes brevis</i>	4	39	45	88
<i>Brachinus crepitans</i>		12		12
Carabidae ND	26	29	118	173
<i>Chlaenius crysocephalus</i>		2		2
Chrysomelidae ND	1	1		2
Coleoptera ND		4	2	6
<i>Crioceris duodecimpunctata</i>		1		1
Curculionidae ND	6	12	35	53
<i>Dinodes decipiens</i>	10		3	13
<i>Dorcadion</i>	1	4	8	13
<i>Gynandromorphus etruscus</i>	201	17	21	239
<i>Harpalus</i>	257	277	231	765
<i>Harpalus dimidiatus</i>	7	60	6	73
<i>Harpalus distinguendus</i>	20	143	35	198
<i>Harpalus oblitus</i>	103	82	48	233
<i>Hister quadrimaculatus</i>			3	3
<i>Hypera zoilus</i>	77	45	39	161
<i>Lixus spp</i>			1	1
<i>Margarinotus spp</i>		2		2
<i>Nicrophorus vespillo</i>		4		4
<i>Ocypus spp</i>	1	14		15
<i>Ophonus</i>		11		11
<i>Oxythyrea funesta</i>	1	21		22
<i>Pentodon</i>		1		1
<i>Pentodon bidens</i>	147	606	485	1238
<i>Pentodon spp</i>		1		1
<i>Poecilus cupreus</i>	34	14	33	81
<i>Potosia speciosissima</i>		1		1
<i>Protaetia cuprea</i>			2	2
<i>Pterostichus melas</i>	36	168	58	262
<i>Quedius spp</i>		1	1	2
Scarabeidae ND		1		1
<i>Silpha obscura</i>		1		1
<i>Sphenophorus spp</i>			7	7
Staphylinidae ND	9	16	32	57
<i>Tasgius spp</i>		62	23	85

<i>Temnorhinus mendicus</i>	2	26	49	77
<b>Dermaptera</b>	11	128	40	<b>179</b>
<i>Forficula auricularia</i>	11	128	40	179
<b>Diptera</b>			1	<b>1</b>
<i>Tipula</i>			1	1
<b>Eulipotyphla</b>	1	7		<b>8</b>
<i>Crocidura</i>		1		1
<i>Crocidura suaveolens</i>		3		3
<i>Sorex antinorii</i>		2		2
<i>Suncus etruscus</i>		1		1
<i>Talpa europaea</i>	1			1
<b>Hymenoptera</b>	131	24	4	<b>159</b>
<i>Caponotus vagus</i>		1		1
<i>Formica</i>	1	1		2
Hymenoptera ND	1			1
<i>Lasius</i>	23	19	1	43
<i>Lasius nigra</i>	42	1	3	46
<i>Liometopum microcephalum</i>	20			20
<i>Tapinoma</i>		1		1
<i>Tetramorium spp</i>	44	1		45
<b>Mantodea</b>		4		<b>4</b>
<i>Hierodula tenuidentata</i>		4		4
<b>Orthoptera</b>	623	2936	3487	<b>7046</b>
<i>Aiolopus strepens</i>		1		1
Araneae ND			1	1
<i>Calliptamus</i>		1	2	3
<i>Eumodicogryllus burdigalensis</i>	61	434	116	611
<i>Gryllotalpa spp</i>	106	215	280	601
<i>Melanogryllus deserticus</i>	419	2231	2975	5625
Orthoptera ND	7	8	14	29
<i>Platycleis</i>	30	46	99	175
<b>Rodentia</b>	45	184	58	<b>287</b>
<i>Apodemus</i>		8	1	9
<i>Apodemus sylvaticus</i>		5		5
<i>Microtus</i>	15	37	13	65
<i>Microtus arvalis</i>	16	88	29	133
<i>Microtus savii</i>	1	12	3	16
Muridae ND	1	1		2
<i>Mus domesticus</i>		1		1
<i>Rattus</i>		2		2
Rodentia ND	12	30	12	54
<b>Scorpiones</b>			1	<b>1</b>
<i>Euscorpis</i>			1	1
<b>Siluriformes</b>		2		<b>2</b>
<i>Ictalurus punctatus</i>		2		2
<b>Squamata</b>	2	2	1	<b>5</b>
Lacertidae ND	2	2	1	5
<b>Totale complessivo</b>	<b>1831</b>	<b>5084</b>	<b>4932</b>	<b>11847</b>

Al livello di specie preda, la preda maggiormente consumata è il grillo nero (*Melanogryllus deserticus*), appartenente all'ordine degli ortotteri, il quale costituisce il 60,32% della dieta del grillaio, il 43,88% della dieta del gheppio e il 22,88% della dieta del falco cuculo (Tabella 3). Il coleottero più rappresentato nella dieta del falco cuculo è il *Gynandromorphus etruscus* appartenente alla famiglia dei carabidi, che costituisce il 19,76% sul totale dei coleotteri. Per il gheppio il coleottero più predato è lo scarabeo nero mediterraneo (*Pentodon bidens*) che costituisce il 34% dei coleotteri predati. Questa specie rappresenta il coleottero più predato anche nella dieta del grillaio dove costituisce il 36% sul totale dei coleotteri, mentre nel falco cuculo rappresenta solo il 14,45% sul totale dei coleotteri. Il grillo nero (*Melanogryllus deserticus*) è la preda con la biomassa maggiore consumata dal grillaio e costituisce il 20,68% sul totale della biomassa. Il mammifero che possiede la biomassa maggiore nella dieta del grillaio è l'arvicola campestre (*Microtus arvalis*) la quale costituisce il 18,14% sul totale della biomassa (Tabella 3). Questa specie è la preda con la biomassa maggiore nella dieta di falco cuculo e gheppio dove costituisce rispettivamente il 19,10% e il 30,22% della biomassa totale delle prede. L'arvicola campestre è, inoltre, il mammifero più rappresentato nella dieta dei tre falchi. Questa specie, infatti, costituisce il 35,55% sul totale di mammiferi predati dal falco cuculo, il 47,82% di quelli predati dal gheppio e il 50,00% di quelli predati dal grillaio (vedi Allegato 2). In termini di biomassa tra vertebrati e invertebrati si nota come nel falco cuculo i vertebrati costituiscano il 68,91% della biomassa totale delle prede, mentre il restante 31,09% è costituito dagli invertebrati. Una proporzione simile si osserva nel gheppio, dove la biomassa totale è costituita dal 73,06% da vertebrati e dal 26,94% da invertebrati. Nel grillaio la proporzione di vertebrati e invertebrati è più all'equilibrio, con un 44,94% di vertebrati e un 55,06% di invertebrati (Tabella 4). In termini di rapporto tra i numeri di vertebrati e di invertebrati notiamo come nel totale delle tre diete il 97,32% sia occupato da resti di invertebrati mentre il restante 2,68% da quelli di vertebrati.

**Tabella 4:** Biomassa espressa in grammi (B) e biomassa relativa (%B) di vertebrati e invertebrati nella dieta di falco cuculo, gheppio e grillaio.

	Falco cuculo		Gheppio		Grillaio	
	B	%B	B	%B	B	%B
Vertebrati	1558.353	68.91%	5743.833	73.06%	1939.42	44.94%
Invertebrati	703.0628	31.09%	2118.349	26.94%	2375.881	55.06%
Totale	2261.4161	100.00%	7862.182	100.00%	4315.301	100.00%



### 6.3 Risultati confronti inter-specifici generali

Nel confronto tra falco cuculo e grillaio notiamo un elevato indice di sovrapposizione sia in termini di frequenza ( $O=0.72$ ) sia di biomassa ( $O=0.83$ ), dove entrambi i termini risultano altamente significativi ( $p < 0.001$ ). Il livello di significatività usato per tutte le analisi di questo lavoro di tesi è  $\alpha=0.05$ . Un elevato indice di Pianka lo si osserva nel confronto tra gheppio e grillaio in termini di frequenza, dove  $O=0.96$  rivela una sovrapposizione quasi completa della dieta. In termini di biomassa il confronto suggerisce un'elevata sovrapposizione con un valore di  $0.84$ . Entrambi i termini sono altamente significativi con un valore di  $p < 0.001$ . Nel confronto tra falco cuculo e gheppio osserviamo elevati indici di sovrapposizione nella dieta sia per frequenza ( $O=0.85$ ) che per la biomassa ( $O=0.91$ ), dove entrambi i termini risultano altamente significativi ( $p < 0.001$ ) (Tabella 5).

**Tabella 5:** Indice di Pianka generale per frequenza e biomassa. Valori di  $p$  significativi con  $p < 0.05$ .

	Frequenza prede		Biomassa prede	
	indice	valori di $p$	indice	valori di $p$
Falco cuculo VS Grillaio	0.72	$p = 0.015$	0.83	$p < 0.001$
Falco cuculo VS Gheppio	0.85	$p < 0.001$	0.91	$p < 0.001$
Gheppio VS Grillaio	0.96	$p < 0.001$	0.84	$p < 0.001$

## 6.4 Risultati confronti inter-specifici suddivisi per periodi riproduttivi

L'indice di Pianka calcolato per la frequenza delle prede nel confronto tra le diete di falco cuculo e grillaio indica come nei tre periodi la sovrapposizione di nicchia si aggira sempre intorno al valore di 0.80. Si osserva un massimo di 0.86 nel periodo riproduttivo iniziale e un minimo di 0.81 nel periodo riproduttivo intermedio. Tutti i valori di p risultano altamente significativi ( $p=0.001$ ). Nel confronto tra falco cuculo e gheppio osserviamo come l'indice di sovrapposizione della nicchia aumenta con il progredire della stagione riproduttiva. Si noti infatti, come l'indice con il valore minore sia collegato al periodo riproduttivo iniziale ( $O=0.65$ ), mentre il valore massimo lo si osserva durante il periodo riproduttivo finale ( $O=0.87$ ). Nel confronto tra le diete di gheppio e grillaio gli indici suggeriscono una forte sovrapposizione di nicchia nel periodo riproduttivo intermedio ( $O=0.99$ ) e nel periodo riproduttivo finale ( $O=0.98$ ), con un valore di p altamente significativo ( $p<0.001$ ). Nel periodo riproduttivo iniziale si osserva un valore di sovrapposizione di nicchia molto basso ( $O=0.37$ ) e un valore di p meno significativo rispetto agli altri (Tabella 6)

**Tabella 6:** Indice di Pianka per la frequenza delle specie-preda calcolato per i diversi periodi riproduttivi delle tre specie. Valori di p significativi con  $p<0.05$ .

	Frequenza prede					
	periodo riproduttivo iniziale		periodo riproduttivo intermedio		periodo riproduttivo finale	
	indice	valori di p	indice	valori di p	indice	valori di p
Falco cuculo VS Grillaio	0.86	$p=0.001$	0.81	$p=0.001$	0.85	$p=0.001$
Falco cuculo VS Gheppio	0.65	$p=0.004$	0.73	$p=0.001$	0.87	$p=0.001$
Gheppio VS Grillaio	0.37	$p=0.02$	0.99	$p<0.001$	0.98	$p<0.001$

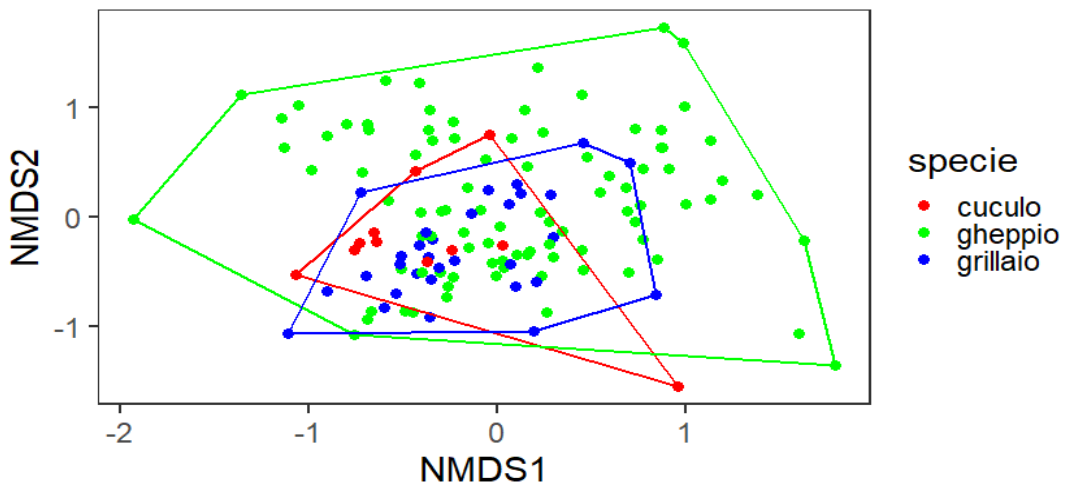
L'indice di Pianka calcolato per la biomassa nel confronto tra falco cuculo e grillaio nel periodo riproduttivo iniziale rivela una media sovrapposizione di nicchia ( $O=0.65$ ). Osservando i dati è possibile riscontrare una sovrapposizione di nicchia che si fa più marcata nel periodo riproduttivo intermedio ( $O=0.95$ ) e nel periodo riproduttivo finale ( $O=0.91$ ). Questi due periodi indicano una sovrapposizione quasi completa e statisticamente molto significativa ( $p < 0.001$ ). Nel confronto tra falco cuculo e gheppio si nota una sovrapposizione in aumento dal periodo riproduttivo iniziale al periodo riproduttivo intermedio con indici rispettivamente di 0.72 e 0.96. Nel periodo riproduttivo finale, al contrario, un indice di 0.65 rileva una drastica diminuzione della sovrapposizione. Un fenomeno simile si riscontra nel confronto tra gheppio e grillaio, dove l'indice di sovrapposizione più basso si riscontra nel periodo riproduttivo finale ( $O=0.70$ ) mentre nei primi due periodi gli indici rivelavano un'alta sovrapposizione ( $O=0.84$  nel periodo riproduttivo iniziale e  $O=0.91$  nel periodo riproduttivo intermedio). Tutti i confronti risultano altamente significativi ( $p < 0.001$ ) (Tabella 7).

**Tabella 7:** Indice di Pianka per la biomassa delle specie-preda calcolato per i diversi periodi riproduttivi delle tre specie. Valori di p significativi con  $p < 0.05$ .

	<b>Biomassa prede</b>					
	periodo riproduttivo iniziale		periodo riproduttivo intermedio		periodo riproduttivo finale	
	indice	valori di p	indice	valori di p	indice	valori di p
Falco cuculo VS Grillaio	0.65	$p=0.001$	0.95	$p<0.001$	0.91	$p<0.001$
Falco cuculo VS Gheppio	0.72	$p<0.001$	0.96	$p<0.001$	0.65	$p=0.001$
Gheppio VS Grillaio	0.84	$p<0.001$	0.91	$p<0.001$	0.70	$p=0.001$

## 6.5 Risultati dell'analisi di ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS)

L'analisi del ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS) ha dimostrato come la composizione della dieta all'interno dei nidi delle tre specie sia abbastanza simile. Il grafico che risulta dall'analisi rappresenta la distanza tra i diversi nidi, la quale è direttamente correlata con la similarità o dissimilarità in termini di composizione della loro dieta. I punti colorati rappresentano i nidi delle specie da cui sono state raccolte le borre (Figura 12).



**Figura 12:** Rappresentazione della distanza teorica dei nidi la quale è correlata con la similarità o dissimilarità della dieta all'interno degli stessi.

I diversi punti rappresentano i nidi e più due punti sono vicini nella rappresentazione più i nidi sono simili rispetto alle variabili. Pertanto, più due punti sono vicini più è simile la loro dieta. Questa analisi ci fornisce informazioni sulla differenza di composizione della dieta sia all'interno dei nidi della stessa specie, sia tra nidi di specie diverse. Quasi tutti i valori si aggirano intorno allo 0 e si sovrappongono, indicando una generale elevata similarità tra le diete dei diversi nidi. In particolare, il gheppio possiede una grande differenza delle diete all'interno dei suoi nidi, dal grafico si nota come i punti che rappresentano i suoi nidi siano molto più lontani fra loro rispetto ai punti che rappresentano i nidi di falco cuculo e di grillaio. Questo si traduce in una maggiore differenziazione della dieta tra i nidi di gheppio. Il minimo poligono convesso creato dall'unione dei punti che rappresentano i nidi di gheppio è tanto ampio da includere i poligoni che rappresentano i nidi di grillaio e falco cuculo. Il gheppio ha quindi una dieta così ampia e differenziata da includere le diete più ristrette e simili di grillaio e falco cuculo.

I punti che rappresentano i nidi di grillaio e falco cuculo, al contrario, non si sovrappongono e sono più vicini fra loro. Le due specie possiedono quindi minori differenze nella composizione della dieta dei loro nidi, sia entro la stessa specie che tra specie. La composizione della dieta tra i nidi di falco cuculo e tra i nidi di grillaio risulta quindi essere molto simile.

## 6.6 Risultati del calcolo dell'indice di biodiversità di Shannon-Wiener

L'indice di Shannon-Wiener ( $H'$ ), la ricchezza in specie ( $S$ ), il valore massimo ( $H'_{max}$ ) e l'uniformità di specie ( $JH'$ ) sono stati calcolati per tutte e tre le specie della *guild*. L'indice di Shannon-Weiner per il falco cuculo è 2.72 mentre il valore massimo ( $H'_{max}$ ) è di 3.71. Per il gheppio l'indice  $H'$  è 2.28 e il suo valore massimo è 4.20, mentre per il grillaio l'indice è 1.75 con un massimo di 3.85 (Tabella 8).

Nel caso del grillaio e gheppio si nota, tra il valore  $H'$  e il valore  $H'_{max}$ , una differenza più marcata rispetto ai valori del falco cuculo. Questo indica che le specie predate dal grillaio e dal gheppio hanno una bassa diversità. Un valore di  $H'$  molto vicino al valore di  $H'_{max}$ , come si osserva per il falco cuculo indica che gli individui predati da questa specie sono ugualmente distribuiti tra le specie-preda. L'indice di equitabilità  $JH'$  varia tra 0 e 1 ed esprime quanto in una comunità gli individui siano equamente distribuiti (o meno) tra le diverse specie che la compongono. Per il falco cuculo l'indice di equitabilità 0.73, è l'indice con il valore più alto osservato e indica che gli individui sono distribuiti in modo molto simile tra le specie predate. Le specie-preda predate dal falco cuculo hanno, di conseguenza, un numero di individui molto simile tra loro. L'indice di equitabilità del gheppio è 0.54 e indica che le specie predate sono ben distribuite anche se non come per il falco cuculo. Un indice di 0.45 nel grillaio indica come le specie predate da questo rapace siano concentrate in una o poche specie.

**Tabella 8:** Indice di Shannon-Wiener ( $H'$ ), Ricchezza di specie ( $S$ ), Valore massimo dell'indice di Shannon-Wiener ( $H'_{max}$ ) e Indice di equitabilità ( $JH'$ ).

	$H'$	$S$	$H'_{max}$	$JH'$
Falco cuculo	2.72	41	3.71	0.73
Gheppio	2.28	67	4.20	0.54
Grillaio	1.75	47	3.85	0.45

## 7 Discussione

Il presente lavoro di tesi ha evidenziato la sovrapposizione della nicchia trofica all'interno di una *guild* di specie in potenziale competizione durante la stagione riproduttiva nei sistemi agricolo intensivi della Pianura Padana. Quest'area è l'unica parte del loro areale dove le tre specie si riproducono in simpatria (Berlusconi et al., 2022). Tale condizione determina l'instaurarsi di potenziali interazioni competitive (Remington., 1985), le quali possono modificare gli areali di distribuzione delle specie più delle variabili ecologiche e climatiche (Pigot et al., 2018; Brambilla et al., 2020). L'espansione dei tre falchi in Pianura Padana è probabilmente legata ad un aumento delle colture predilette dalla *guild*, ovvero quelle soggette a ripetuti sfalci durante la primavera, come, per esempio, le colture di erba medica (Cioccarelli., 2022). Tutte e tre le specie della *guild* sono legate a paesaggi aperti e, sfruttando risorse ecologiche simili, si trovano in competizione per le risorse trofiche. Vari studi precedenti hanno affermato come specie diverse che coesistono nello stesso habitat utilizzano le risorse in modo diverso per evitare sovrapposizioni di nicchia che potrebbero ridurre la loro fitness (per es. Capula et al., 1993; Pande et al., 2018; Yeet al., 2021). Inoltre, le diverse preferenze di habitat delle specie simpatriche potrebbero essere uno dei risultati del raggiungimento di un equilibrio che permette la coesistenza ed eviti l'esclusione competitiva (Martin., 1998). In particolare, l'uso di specifiche risorse spaziali da parte di una specie, più aggressiva e competitiva, può escludere parzialmente o definitivamente il loro utilizzo da parte di un'altra specie, diminuendone inoltre la fitness (Sarà et al., 2005; Brambilla., 2019). A scala regionale, la distribuzione delle specie e la coesistenza sono determinate sia dal punto di vista biogeografico che da fattori ecologici, inclusa anche la competizione (Pigot et al., 2018). La competizione trofica tra diversi predatori è un argomento che attira molta attenzione (Newton., 1998), principalmente perché le diete di molti predatori possono essere facilmente identificate dai resti delle prede e da analisi delle borre (Raczyński e Ruprecht., 1974). I predatori all'interno delle *guild* spesso predano le stesse specie, come nel nostro caso di studio, ma non è chiaro se la sovrapposizione della dieta tra due predatori sia una fonte di competizione interspecifica o se i predatori utilizzino semplicemente la stessa, enormemente abbondante, risorsa la quale non costituisce un fattore limitante in questo caso. Nel tempo, la coesistenza tra specie competitori può raggiungersi attraverso la partizione di nicchia. In questo processo, le specie coesistenti tendono a adattare l'ampiezza della loro nicchia lungo un gradiente di risorse, in modo da generare la minima sovrapposizione possibile (Capula et al., 1993; Pande et al., 2018). In questo senso, osservare una sovrapposizione di dieta tra i predatori può essere il riflesso di un alto grado di concorrenza, poiché tutti predano la stessa specie di

preda (Hardin., 1960). Secondo l'ecologia classica, specie che condividono una nicchia non si trovano nella stessa area e la simpatria di due o più di tali specie fornisce un campo interessante per l'analisi della competizione interspecifica e delle dimensioni delle nicchie ecologiche. Studi comparativi sulle nicchie trofiche di molti predatori vertebrati hanno mostrato differenze nella composizione della dieta in relazione alle dimensioni corporee del predatore e all'habitat occupato (Goszczyński et al., 1993, Costa., 2009). La composizione della dieta tende ad essere distorta a causa della scelta del periodo di studio, riflettendo l'effettiva disponibilità di cibo negli habitat di foraggiamento circostanti.

## 7.1 Competizione interspecifica e sovrapposizione di nicchia

La *guild* di falchi esaminata nel presente studio si ritrova a vivere in simpatria durante il periodo riproduttivo, che si estende tra il mese di aprile e quello di luglio. Spesso gli individui delle tre specie sono stati osservati foraggiare insieme negli stessi campi. Lo studio della sovrapposizione della dieta tramite l'analisi del contenuto delle borre ha messo in evidenza come le tre specie abbiano un'alta sovrapposizione nell'utilizzo delle risorse. Il gheppio, tra le tre specie, è quello che possiede una dieta più ampia, il minimo poligono convesso che rappresenta la dieta dei suoi nidi include infatti completamente le diete più ridotte di falco cuculo e di grillaio, le quali a loro volta si sovrappongono in maniera sostanziale. La condivisione di risorse trofiche potrebbe causare una diminuzione della fitness individuale e dell'apporto energetico (Sarà et al., 2005; Brambilla., 2019). Nel confronto tra falco cuculo e grillaio si osserva un elevato indice di sovrapposizione per la biomassa delle prede. Al contrario, l'indice di Pianka per la frequenza delle specie-preda ( $O=0.72$ ) è l'indice con il valore più basso del confronto. Questo sta a indicare che le due specie utilizzano diverse categorie di risorse che però posseggono una biomassa molto simile. Il confronto tra falco cuculo e gheppio ha evidenziato come anche tra queste due specie ci sia una quasi completa sovrapposizione di nicchia, sia per quanto riguarda lo spettro delle prede (ma questo è tutto sommato ridotto nell'intera area, i falchi non hanno molta scelta), che riguardo la frequenza delle diverse prede. Nel confronto tra gheppio e grillaio, tanto l'indice di Pianka calcolato per la biomassa, come quello calcolato per la frequenza delle prede, evidenziano una quasi totale sovrapposizione di nicchia. Nel complesso, queste osservazioni stanno ad indicare che, generalmente, tutte e tre le specie utilizzano le stesse tipologie di risorse, predano quindi la stessa tipologia di specie e raccolgono una percentuale di biomassa alimentare simile dai vari gruppi di prede. L'analisi della variazione dell'indice Pianka (relativo alla frequenza delle prede) durante le tre fasi del periodo riproduttivo (iniziale,

intermedio e finale) ha evidenziato come le tre specie abbiano un'alta sovrapposizione nell'utilizzo delle risorse durante tutto il periodo riproduttivo, con alcuni distinguo. Il massimo valore di sovrapposizione ( $O=0.99$ ) lo si osserva nel periodo riproduttivo intermedio nel confronto tra gheppio e grillaio mentre quello minore ( $O=0.37$ ) si osserva nel periodo riproduttivo iniziale tra queste stesse due specie (Tabella 7). Il periodo riproduttivo iniziale coincide con il periodo di insediamento delle specie nell'area di studio. Il basso valore che si osserva tra gheppio e grillaio nel periodo riproduttivo iniziale è spiegato dal fatto che le specie arrivano in Pianura Padana in periodi diversi. Queste due specie si insediano nell'area di studio con 20 giorni di differenza, questo lungo periodo di non convivenza diminuisce la concorrenza e, conseguentemente, la sovrapposizione di nicchia trofica. Nel confronto tra falco cuculo e gheppio l'indice di sovrapposizione aumenta invece progressivamente dal primo al terzo periodo andando da uno  $O=0.65$  nel periodo riproduttivo iniziale ad un  $0.87$  nel periodo riproduttivo finale. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che le due specie non si ritrovano in simpatria durante il primo periodo dello studio. Il gheppio raggiunge i quartieri riproduttivi intorno ai primi giorni di aprile mentre i primi maschi di falco cuculo non arrivano prima dei primi giorni di maggio. Questa discrepanza temporale nel periodo riproduttivo sicuramente minimizza la competizione per le risorse trofiche e permette quindi una più facile convivenza. Nel confronto tra falco cuculo e grillaio, notiamo come l'indice di sovrapposizione rimane per tutti e tre i periodi abbastanza costante, intorno al valore di  $0.80$  con un massimo di  $0.86$  nel periodo riproduttivo iniziale. Le due specie si insediano in Pianura Padana a distanza di due settimane l'una dall'altra, questa discrepanza temporale è così piccola da non avere effetti sul valore di sovrapposizione della nicchia trofica, che rimane alto. L'indice di Pianka della biomassa totale delle prede (Tabella 8) ha evidenziato un andamento simile a quello della frequenza. Bassi indici di Pianka sono collegati a periodi in cui le specie non si trovavano a convivere insieme, mentre indici di Pianka elevati sono correlati a periodi nei quali le specie si ritrovavano in simpatria. Le tre specie hanno periodi fenologici per la maggior parte sovrapposti, sono però presenti finestre temporali diverse le quali risultano in una competizione oscillante durante tutta la stagione riproduttiva. Il cambiamento climatico, alterando i fattori di stress per queste specie (p.e. frequenza ed intensità delle ondate di calore estreme) potrebbe influenzare in maniera diseguale il loro successo riproduttivo, andando ad incidere maggiormente sulle specie più tardive (i.e. falco cuculo) o su quelle che nidificano in situazioni più esposte al caldo (i.e. grillaio). Questo tipo di dinamiche potrebbe essere oggetto di studio negli anni a venire.



## 7.2 Correlazione delle diete e biodiversità nel range delle specie preda

Lo studio della correlazione delle diete dei nidi delle tre specie tramite l'analisi del ridimensionamento multidimensionale non metrico (NMDS) ha rivelato, in coerenza con quanto già visto tramite l'applicazione ripetuta dell'indice di Pianka, un'elevata similarità nella nicchia trofica delle tre specie. In particolare, il gheppio, la specie generalista della *guild*, è anche la specie con l'ampiezza di dieta più marcata, oltre che presentare la più ampia variabilità tra le diete riscontrate in diversi nidi. In uno studio precedente sulla sovrapposizione di nicchia di queste specie si era osservato come il gheppio sia la specie più divergente della *guild* (Berlusconi *et al.*, 2022). La mappatura dell'ampiezza della dieta ottenuta tramite la tecnica dell'NMDS permette di vedere molto chiaramente come la dieta del gheppio comprenda sostanzialmente in toto le diete di falco cuculo e di grillaio. Falco cuculo e grillaio, specie specialiste, hanno una minore differenza tra le diete dei loro nidi sia entro la stessa specie che tra specie. Quest'informazione non era deducibile dall'analisi basata sul calcolo dell'indice di Pianka in quanto lì si stimava solo il grado di sovrapposizione senza poter valutare una potenziale inclusione di una dieta in quella della specie confrontata. I valori risultanti dall'analisi NMDS rivelano un'alta similarità tra le diete all'interno dei diversi nidi e confermano come il gheppio sia effettivamente la specie più divergente mentre falco cuculo e grillaio sono specie con una dieta estremamente simile. I risultati dell'analisi della biodiversità delle specie-preda rivelano come generalmente ci sia un'elevata diversità. In particolare, la biodiversità è elevata nel caso del falco cuculo mentre per gheppio e grillaio si osserva una bassa diversità. La distribuzione degli individui tra le diverse specie, calcolata tramite l'utilizzo della evenness, rivela come per il falco cuculo ci sia una distribuzione di individui in modo uniforme tra le specie predate. Gli individui predati sono difatti distribuiti su molte specie. Al contrario, nel grillaio e nel gheppio osserviamo un indice di evenness rispettivamente di 0.45 e di 0.54, che indica come le loro specie-preda si distribuiscano in maniera difforme e siano quindi concentrate in poche specie. In conclusione, le tre specie che formano la *guild* possiedono in media un'alta diversità di specie-preda le quali sono distribuite, generalmente, su più specie. Pertanto, possiamo dichiarare che le specie della *guild* hanno la stessa abbondanza di specie-preda.

## 8 Conclusioni

Il presente studio ha indagato la sovrapposizione di nicchia e la competizione interspecifica in una *guild* di rapaci in un ambiente agricolo intensivo come la Pianura Padana. Le tre specie oggetto di studio si sono recentemente trovate a vivere in simpatria; perciò, è molto probabile che il processo di spartizione di nicchia sia tuttora in corso. L'analisi del contenuto delle borre ha rivelato un'alta sovrapposizione di nicchia trofica in tutti i confronti realizzati. Le tre specie, complessivamente, hanno una dieta molto simile tra loro, a fasi alterne durante la stagione riproduttiva. Il gheppio risulta essere la specie più divergente del confronto, mentre falco cuculo e grillaio sembrano avere la stessa tipologia di dieta specialista. Dall'analisi della composizione della dieta dei diversi nidi delle specie si è rivelato come il gheppio abbia una maggiore variabilità nella composizione della dieta tale da comprendere al suo interno la dieta di falco cuculo e di grillaio. È importante tenere presente che questa ricerca si è concentrata esclusivamente sull'analisi della dieta e sulla potenziale competizione interspecifica. Il grado di reale competizione dipende però dal grado di "saturazione" ecologica da parte del predatore, ovvero da quanto le attuali popolazioni delle tre specie si avvicinano alla capacità portante dell'ambiente. Considerato che sia il grillaio che il falco cuculo sono di recente immigrazione e in espansione, è probabile che la competizione per le risorse sia ancora limitata, sia a livello intraspecifico che a livello interspecifico. Inoltre, il grillaio e il falco cuculo sono specie coloniali. La competizione intraspecifica (e di conseguenza interspecifica) per le risorse trofiche in queste specie è probabilmente inferiore a quella che si osserva in specie più fortemente territoriali, come il gheppio. L'elevata sovrapposizione di nicchia trofica, tuttavia, suggerisce che vi sia una potenziale, crescente competizione tra le tre specie se, come ci si augura, le loro popolazioni continueranno a crescere. Studi futuri in cui si prendano in considerazione altri fattori potrebbero fare luce su altri aspetti della competizione interspecifica che in questo lavoro di tesi non sono stati toccati. I dati raccolti e le analisi condotte in questo studio potrebbero contribuire alla conservazione delle specie prese in esame e potrebbero essere dati di supporto al progetto LIFE FALKON.

## 9 Bibliografia

Ainley D.G., Ribic C.A., Balard G., Heath S., Gaffney I., Karl B.J., Barton K.J., Wilson P.R., Webb S., 2004. Geographic structure of Adélie penguin populations: overlap in colony-specific foraging areas. *Ecological Monographs*, 74: 159-178

Anwar M. B., Beh M.A., Kayani A.R., Nadeem M.S., Shan S.I., Noureen S., Mushtaq M., Mahmood T. 2021. Diet comparison of coexisting collared owlet (*Glaucidium brodiei* Burton, 1836), spotted owlet (*Athene brama* Temmick, 1821) and Eurasian eagle owl (*Bubo bubo* Linnaeus, 1758) in Wildlife Park Lohi Bher, Rawalpindi, Pakistan. *Pakistan J.Zool.*, vol. 53(3), pp 1065-1079, 2021.

Arpae, [www.arpae.it](http://www.arpae.it), consultato nel mese di ottobre 2020.

Arpae: La qualità dell'ambiente in Emilia-Romagna, dati ambientali 2021, [www.arpae.it](http://www.arpae.it), 2021.

Arnold, S. J. (1983). Morphology, performance, and fitness. *American Zoologist* 23, 347–361.

Assandri G., Cecere J.G., Sarà M., Catobi C., De Pascalis F., Morinay J., Berlusconi A., Cioccarelli S., Mercogliano A., Pazhera A., Terras A., Imperio S., Morganti M., Rubolini D. 2022. Context-dependent foraging habitat selection in a farmland raptor along an agricultural intensification gradient. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107782>

Atkinson P.W, Buckingham D., Morris A.J., 2004. What factors determine where invertebrate-feeding birds forage in dry agricultural grasslands? *Ibis*, 146: 99-107.

Balčiauskienė L., Balčiauskas L., 2014. Selective predation on common voles by Tawny Owls and Long-eared Owls in winter and spring. *Turkish Journal of Zoology*. 10.3906/zoo-1303-20.

Barbet-Massin M., Thuiller W., Jiguet F., 2012. The fate of European breeding birds under climate, land-use, and dispersal scenarios. *Global Change Biology*, 18, 881–890.

Barnagaud J.Y., Devictor V., Jiguet F., Barbet-Massin M., Le Voil I., Archaux F., 2012. Relating habitat and climatic niches in birds. *PLoS One*, 7, e32819.

Barnosky A.D., Matzke N., Tomiya S., Wogan G.O.U., Swartz B., Quental T.B., Marshall C., McGuire J.L., Lindsey E.L., Maguire K.C., Mersey B., Ferrer E.A., 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471: 51-57.

Bellard C., Bertelsmeier C., Leadley P., Thuiller W., Courchamp F., 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365–377.

Bellmann H., 2016. *Che insetto è questo*. Edizione Illustrata. Editore Ricca

Brambilla M., Resano-Mayor J., Scridel D., Anderle M., Bogliani G., Braunisch V., Capelli F., Cortesi M., Horranberger N., Pedrini P., Sangalli B., Chamberlain D., Arlettaz R., Rubolini D. 2018. Past and future impact of climate change on foraging habitat suitability in a high-alpine bird species: Management options to buffer against global warming effects. *Biological Conservation* <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.03.008>

Berlusconi A., Preatoni D., Assandri G., Bisi F., Brambilla M., Cecere J.G., Cioccarelli S., Grattini N., Gustin M., Martinoli A., Rubolini D., Sbrilli A., Zanichelli A., Martinoli A., Morganti M. 2022. "Intra-guild spatial niche overlap among three small falcon species in an area of recent sympatry" *The European Zoological Journal*, 2022, 510-526

Biber J.P., 1994. Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Birds in Europe: their conservation status*. BirdLife International, Cambridge (BirdLife Conservation Series 3): pp. 292-293.

BirdLife International. 2015. *European Red List of Birds*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 68 pp.

BirdLife International 2022, Species factsheet: *Falco naumanni*, <http://www.birdlife.org>

Böhning-Gaese K., Bauer, H.G., 1996. Changes in species abundance, distribution, and diversity in a central European bird community. *Conservation Biology*, 10: 175–187

Bonal R., Aparicio J.M., 2008. Evidence of prey depletion around Lesser Kestrel *Falco naumanni* colonies and its short-term negative consequences. *Journal of avian ecology*, 39: 189-197.

Brambilla M., 2019. Six (or nearly so) big challenges for farmland bird conservation in Italy. *Avocetta* 2. DOI: 10.30456/AVO.2019201

Brambilla M., Scridel D., Bazzi G., Ilahiane L., Iemma A., Pedrini P., Bassi E., Bionda R., Marchesi L., Genero F., Teufelbauer N., Probst R., Vrezec A., Kmecl P., Mihelič T., Bogliani G., Schmid H., Assandri G., Pontarini R., Braunisch V., Arlettaz R., Chamberlain D. 2020. Species inter-actions and climate change: How the disruption of species co-occurrence will impact on an avian forest guild. *Glob Change Biol* 26:1212-1224. DOI: 10.1111/gcb.14953.

Brenery P., Burchett W. 2017. Visualization of Regression Models Using visreg. *The R Journal*, 9(2), 56-71.

Brichetti P. & Fracasso G., 2003. *Ornitologia Italiana. Vol.1 – Gaviidae-Falconidae*. Alberto Perdisa Editore, Bologna.

Brichetti P., Fracasso G., 2020. *The birds of Italy*. Edizioni Belvedere Press. Latina, pp. 416.

Boitani L., Corsi, F., Falcucci, A., Maiorano, L., Marzetti, I., Masi, M., Montemaggiore, A., Ottaviani, D., Reggiani, G., & Rondinini, C., 2002. *Rete Ecologica Nazionale. Un approccio alla conservazione dei vertebrati italiani*. Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo; Ministero dell'Ambiente, Direzione per la Conservazione della Natura. Istituto di Ecologia Applicata, Roma.

Bolnick I.D., Ingram T., Stutz E.W., Snowberg L.K., On Lee Lau and Jeff S. Paull. 2010. Ecological release from interspecific competition leads to decoupled changes in population and individual niche width. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0018>

Bona F. (2012) - Dati sui micromammiferi da borre di barbagianni, *Tyto alba*, in aree intensivamente coltivate della provincia di Cremona: stagione invernale. *Pianura*, 29, pp. 65-70. Cremona

Brockmann H.J., Barnard, C. J., 1979. Kleptoparasitism in bird. *Animal Behaviour*, 27: 487-514

Bustamante J., 1997. Predictive models for lesser kestrel *Falco naumanni* distribution, abundance, and extinction in southern Spain. *Biological Conservation*, 80: 153-160.

Casadei M., Ceccarelli P.P., 2015. Dati preliminari sulla presenza riproduttiva della Ghiandaia marina (*Coracias garrulus* Linnaeus, 1758) nelle colline romagnole. *Quad. Studi Nat. Romagna*, 42: 163-171

Casagrande S., Nieder L., Di Minin E., La Fata I., Csermely D., 2008. Habitat utilization and prey selection of kestrel *Falco tinnunculus* in relation to small mammal abundance. *Italian Journal of Zoology*, 75(4): 401–409.

Castaldini D, Marchetti M, Norini G, Vandelli V & Vélez Z M., 2019. Geomorphology of the central Po Plain, Northern Italy. *Journal of Maps*, 15:2,780-787.

Catry I., Aman T., Franco A.M.A., Sutherland W.J., 2012. Influence of spatial and temporal dynamics of agricultural practices on the lesser kestrel. *J. Appl. Ecol.* 49, 99-108

Catry, I., Franco, A.M.A., and Moreira, F. 2014: Easy but ephemeral food: exploring the trade-offs of agricultural practices in the foraging decisions of Lesser Kestrel on farmland, *Bird Study*, 61-4456, <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.953031>, 2014.

Cade T.J., 1982. *The falcons of the world*. Collins, London.

Capula M., Luiselli L., Rugiero L., 1993. Comparative ecology in sympatric *Podarcis muralis* e *P.sicula* (Retpilia:Lacertidae) from the historical centre of Rome: What about competition and niche segregation in an urban habitat? *Boll. Zool* 60:287-291. DOI: 10.1080/11250009309355825.

Ceballos G., Ehrlich P.R., 2002. Mammal population losses and the extinction crisis. *Science*, 296: 904-907.

Cecere J.G., Bondì S., Podofilini S., Imperio S., Griggio M., Fulco E., Curcia A., Ménard D., Mellone U., Saino N., Serra L., Sarà M., Rubolini D., 2018. Spatial segregation of home ranges between neighbouring colonies in a diurnal raptor. *Scientific reports*, 8(1): 11762.

Cecere J.G., De Pascalis F., Imperio S., Ménard D., Catoni C., Griggio M., Rubolini D. 2020. Inter-individual differences in foraging tactics of a colonial raptor: consistency, weather effects, and fitness correlates. *Movement Ecology*.

Cichocki, J., Gabryś, G. and Ważna, A., 2008. Winter food of the barn owl *Tyto alba* (Scopoli, 1769), the tawny owl *Strix aluco* Linnaeus, 1758 and the longeared owl *Asio otus* (Linnaeus, 1758) co-occurring in the Silesian Lowland. *Scientific papers of Wroclaw University of Environmental and Life Sciences. Biol. Anim. Breed.*, 56: 19-30

Cioccarelli S. 2020. Multi-scale habitat selection of lesser kestrel at the northern edge of its distribution. Tesi di Master. Università di Milano

Cioccarelli S., Terras A., Assandri G., Berlusconi A., Grattini N., Michelangelo M., Pazhera A., Sbrilli A., Cecere J.G., Rubolini D., Mercogliano A. 2022. Vegetation height and structure drive foraging habitat selection on the lesser kestrel (*Falco naumanni*) in intensive agricultural landscapes. *PeerJ Inc.*

Chaline J., Baudvin H., Jammot D. & Saint Girons M.-C. (1974) - Les proies des rapaces: petits mammifères et leur environnement. Doin éditeurs, Paris, 141 pp.

Chinery M., 2010. Guida degli insetti d'Europa. Atlante illustrato a colori. Franco Muzzio Editore.

Clavero M., Villero D., Brotons L., 2011. Climate change or land use dynamics: do we know what climate change indicators indicate? *PLoS One*, 6, e18581.

Clements F. E. and Shelford V. E., 1939. *Bio-ecology*. 425 pp. New York: John Wiley and Sons.

Collen B., Böhm M., Kemp R., Baillie J.E., 2012. *Spineless: status and trends of the world's invertebrates*. Zoological Society of London.

Commissione Europea: La PAC spiegata: i pagamenti diretti agli agricoltori 2015-2020, <https://doi.org/10.2762/0063>, 2019.

Costa G.C., 2009. Predator size, prey size, and dietary niche breadth relationships in marine predators. *Ecology*, 90:2014-2019.

Cramp S., Simmons K.E.L., 1977. Handbook of the birds of Europe, the Middle East, and North Africa: the birds of the western Palearctic. Oxford University Press. Oxford, pp. 722

Cramp S. & Simmons K.E.L., 1980. The Birds of the Western Palearctic. Vol. 2: Hawks to Bustards. Oxford University Press, Oxford. 695 pp.

Cramp S., 1998. The complete birds of the Western Palearctic on CDRom. Oxford University Press, Oxford.

Dickinson E.C & Remsen J.V. Jr., 2013. The Howard and Moore Complete Checklist of the Birds of the World, 4 th edition. Vol. 1. Aves Press Limited, Eastbourne. 461 pp.

De Bello F, Lavorel S, Diaz S, Harrington R, Cornelissen JHC, Bardgett RD, Berg MP, Cipriotti P, Feld CK, Hering D, Martin da Silva P, Potts SG, Sandin L, Sousa JP, Storkey J, Wardle DA, Harrison PA (2010) Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodivers Conserv.*

Devictor V., Julliard R., Couvet D., Jiguet F., 2008. Birds are tracking climate warming, but not fast enough. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 254, 2743–2748

Devictor V., Van Swaay C., Brereton T., Brotons L., Chamberlain E.D., Heliölä J., Herrando S., Julliard R., Kuussaari M., Lindström Å., Reif J., Roy D.B., Schweiger O., Settele J., Stefanescu C., Van Strien A., Van Turnhout C., Vermouzek Z., Wallis De Vries M., Wynhoff I., Jiguet F., 2012. Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change* 2, 121–124.

Di Maggio R., Campobello D., Sarà M., 2018. Lesser kestrel diet and agricultural intensification in the Mediterranean: An unexpected win-win solution? *Journal for Nature Conservation*, 45: 122-130

Díaz, S. et al. Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecol. Evol.* 3, 2958–2975 (2013).

Dirzo R., Young H.S., Galetti M., Ceballos G., Isaac N.J.B., Collen B., 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345 (6195): 401-406.

Doherty Tim S., A. S. Glenc, D. G. Nimmod, E. G. Ritchiea, and C. R. Dickmane, 2016, Invasive predators and global biodiversity loss. *PNAS* October 2016, Vol. 113, no. 40, 11261–11265.



Donald P.F., Green R.E. & Heath M.F. 2000. Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 268: 25–29.

Eskildsen, A. et al. Ecological specialization matters: long-term trends in butterfly species richness and assemblage composition depend on multiple functional traits. *Divers. Distrib.* 21, 792–802 (2015).

Fehérvári P., Harnos A., Neidert D., Solt S., Palatitz P., 2009. Modelig habitat selection of the Red-footed Falcon (*Falco vespertinus*): a possible explanation of recent changes in breeding range within Hungary. *Applied Ecology and Environmental Research*, 7(1): 59–69

Ferguson-Lees J., Christie D.A., 2001. *Raptors of the World*, Christopher Helm, London.

Fox J., Weisberg S. *an R Companion to Applied Regression*. Sage Publications 2019.

Franco A.M., Sutherland W.J., 2004. Modelling the foraging habitat selection of lesser kestrels: conservation implications of European Agricultural Policies. *Biological Conservation*, 120 (1): 63-74.

García, J.T., Morales, M.B, Martínez, J., Iglesias, L., De La Morena, E.G., Suárez, F., and Vinüela, J.: Foraging activity and use of space by Lesser Kestrel *Falco naumanni* in relation to agrarian management in central Spain, *Bird Con. Int.*, 16, 83, <https://doi.org/10.1017/S0959270906000013>, 2006.

Gaston K.J., Fuller R.A., 2008. Commonness, population depletion and conservation biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 23: 14–19.

Gause G. F., 1932. Experimental studies on the struggle for existence: I. mixed population of two species of yeast. *Journal of experimental biology* 9(4), 389–402.

Gause, G.F. 1934. *The Struggle For Existence*. Williams & Wilkins, Baltimore

Gotelli N.J., Hart E.M., Ellison A.M., 2015. *EcoSimR: Null model analysis for ecological data*. R package version 0.1.0. <http://github.com/gotellilab/EcoSimR>

Goszczyński J., Jabłoński P., Lesiński G., Romanowski J., 1993. Variation in diet of Tawny Owl *Strix aluco* L. along an urbanization gradient- Acta Ornithol. 27:113-123.

Grattini N., Novelli F. & Bellintani S., 2016. Avifauna del mantovano (Lombardia, Italia settentrionale). Natura Bresciana, 40:101-118.

Grattini N., Gargioni A., Lavezzi F., 2019. Status del marangone minore (*Microcarbo pygmaeus*) nelle provincie di Brescia, Cremona, Mantova. Bollettino Ornitologico Lombardo Vol.1 – n.2 –2019.

Gryz J., Krauze-Gryz D., 2021. Food Niche Overlap of Avian Predators (Falconiformes, Strigiformes) in a Field and Forest Mosaic in Central Poland. Animals 2021, 11, 479. <https://doi.org/10.3390/ani11020479>

Gustin M., Brambilla M. & Celada C. 2010. Valutazione dello Stato di Conservazione dell'avifauna italiana. Volume II. Passeriformes.

Hayward G.D., Garton E.O., 1988. Resource partitioning among forest owls in the River of No Return Wilderness, Idaho. Oecologia volume 75, pages253–265 (1988)  
Haraszthy L., Rékási J., Bagyura J., 1994. Food of the Red-footed Falcon in the breeding period. Aquila, 101: 93-110

Hardin G., 1960. The competitive exclusion principle. science131(3409), 1292–1297.

Hernández-Pliego, J, Rodríguez C., Dell’Omo G., Bustamante J. 2016. Plasticity of lesser kestrel foraging strategy in relation to weather conditions

Hernández-Pliego, J., Rodríguez, C., and Bustamante, J.: A few long versus many short foraging trips: different foraging strategies of lesser kestrel sexes during breeding, Mov Ecol, 5, 8, <https://doi.org/10.1186/s40462-017-0100-6>, 2017.

Horváth L., 1964. The blue falcon (*Falco vespertinus* L.) and the little falcon (*Lanius minor* Gm.) comparative study of his life history II. From the hatching of the chicks to the autumn migration. Vertebrata Hungarica, VI.

Huntley B., Collingham Y.C., Willis S.G., Green R.E., 2008. Potential impacts of climate change on European Breeding Birds. PLoS ONE, 3(1), e1439.

Iñigo A., Barov B., 2011. Species action plan for the Lesser Kestrel *Falco naumanni* in the European Union. BirdLife International.

IUCN, The IUCN Red List of Threatened Species, [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 2019 IUCN RedList:LesserKestrel,<https://www.iucnredlist.org/species/22696357/205768513>,2021.

IUCN, The IUCN Red List of Threatened Species, [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), 2020 IUCNRedList:LesserKestrel,<https://www.iucnredlist.org/species/22696362/206316110#population>

Jaksić, F.M. Inadequacy of activity time as a niche difference: The case of diurnal and nocturnal raptors. *Oecologia* 1982, 52,171–175. [CrossRef] [PubMed]

Jaksi, F.M., Feinsinger, P. and Jiménez, J.E., A longterm study on the dynamics of guild structure among predatory vertebrates at a semiarid Neotropical site, *Oikos*, 1993, vol. 67, pp. 87–96

Jiguet F., Gregory R.D., Devictor V., Green R.E., Vorisek P., Van Strien A., Couvet D., 2010. Population trends of European common birds are predicted by characteristics of their climatic niche. *Global Change Biology*, 16, 497–505.

Kayahan, A. & Tabur, M. A. 2016. Diet composition of Little Owl (*Athene noctua* Scopoli, 1769) in Turkey. – *Pakistan Journal of Zoology* 48(4): 943–948

Keve A., Szijj, J., 1957. Distribution, biology, and food of the Red-footed Falcon (*Falco vespertinus* L) in Hungary. *Alauda*, 25: 1-23

Korňan M., Kropil R., 2014. What are Ecological Guilds? Dilemma of Guilds Concepts. *Russian Journal of Ecology*. 2014, Vol. 45, No. 5, pp. 445–447. Pleiades Publishing, Ltd., 2014

Krebs J. R., Davies B. N., 2016. *Ecologia del comportamento animale*. Bollati Boringhieri editore.

La Gioia G., Melega L. & Fornasari L., 2017. Piano d’Azione Nazionale per il grillaio (*Falco naumanni*). *Quad. Cons. Natura*, 41, MATTM-ISPRA, Roma.

Lawlor, L.R. 1980a. Structure and stability in natural and randomly constructed model ecosystems. *American Naturalist* 116: 394-408.

Levin S. A., 1970. Community equilibria and stability, and an extension of the competitive exclusion principle. *The American Naturalist* 104(939), 413–423.

LIFE FALKON, Fostering the breeding range expansion of centra-eastern Mediterranean Lesser Kestrel Populations, [www.lifefalkon.eu](http://www.lifefalkon.eu), 2019.

Lihu X., Jianjian L., Chunfu T., Wenshan H., 2007. Foraging area and hunting technique selection of Common Kestrel (*Falco tinnunculus*) in winter: the role of perch sites. *Acta Ecologica Sinica*, 27 (6): 2160–2166.

Lindström Å., Green M., Paulson G., Smith H.G., Devictor V., 2013. Rapid changes in bird community composition at multiple temporal and spatial scales in response to recent climate change. *Ecography*, 36, 313–322.

MacArthur, R.H. 1958. Population ecology of some warblers of northeastern coniferous forests. *Ecology* 39: 599-699.

Mac Nally, R.C., Habitat specific guild structure of forest birds in southeastern Australia: A regional scale perspective, *J. Anim. Ecol.*, 1994, vol. 63, pp. 988–1001.

Martin TE. 1998. Are Microhabitat Preferences of Coexisting Species under Selection and Adaptive? *Ecology* 79(2):656-670. DOI:10.1890/0012-9658(1998)079[0656:AMPOCS]2.0.CO;2.

McGrill B.J., Enquist B.J., Weiher E., Westoby M., 2006. *TRENDS in Ecology and Evolution*. Vol. 21 No.4 April 2006.

Mihoub, J. B., Gimenez O., Pilard, P. and Sarrazin, F. 2010. Challenging conservation of migratory species: Sahelian rainfalls drive first-year survival of the vulnerable Lesser Kestrel *Falco naumanni*. – *Biol. Conserv.* 143: 839 – 847.

Ministero della Transizione Ecologica: Rete Natura 2000, <https://www.mite.gov.it/pagina/rete-natura-2000>, 2021.

Morales M.B., García de la Morena E.L., Delgado M.P., Traba J., 2008. Evolución reciente y viabilidad futura de las poblaciones de sisón común Tetrax en la Comunidad de Madrid. *Anuario Ornitológico de Madrid*, 11: 40–55.

Morecroft M., Speakman L., 2013. Terrestrial biodiversity climate change impacts. Summary Report, *Living With Environmental Change*.

Moreira F., 1999. Relationships between vegetation structure and breeding bird densities in fallow cereal steppes in Castro Verde, Portugal. *Bird Study*, 46: 309-318.

Morganti M., Preatoni D., Sarà M., 2017. Climate determinants of breeding and wintering ranges of lesser kestrels in Italy and predicted impacts of climate change. *Journal of Avian Biology* 48: 001-013.

Morganti M., Grattini N., 2018. Il Grillaio in Lombardia. In: La Gioia, G., Melega L., Fornasari L., Piano d'Azione Nazionale per il grillaio (*Falco naumanni*). Quaderni di Conservazione della Natura, 41. MATMM – ISPRA. Roma, pp. 87–91

Morganti M., Ambrosini R., Sarà M., 2019. Different trends of neighbouring populations of Lesser Kestrel: Effects of climate and other environmental conditions. *Population Ecology*

Morton M. L., 1992. Effects of sex and birth date on premigration biology, migration schedules, return rates and natural dispersal in the Mountain White-crowded Sparrow. *The Condor*, 94: 117-133

Nappi A., 2011. L'analisi delle borre degli uccelli: metodiche, applicazioni e informazioni. Un lavoro monografico. *ResearchGate* 37 (72): 106-120, 2011 Picus

Negro J.J., Donazar J.A., Hiraldo F., 1993. Home range of lesser kestrels (*Falco naumanni*) during the breeding season. In: Nicholls M.K., Clarke R., Biology, and conservation of small falcons: Proceedings of the 1991 Hawk and Owl Trust Conference, The Hawk and Owl Trust. London, pp 144-150.

Newbold T., Hudson L. N., Hill S. L., Contu S., Lysenko I., Senior R. A., ... & Day J. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50.

Newton I., 1998. Population limitation in birds. Academic Press. London, pp. 597

Niethammer J. & Krapp F. (1978) - Handbuch der Säugetiere Europas. Band 1, Rodentia I (*Sciuridae*, *Castoridae*, *Gliridae*, *Muridae*). Akad. Verlagsgesell., Wiesbaden, 476 pp.

Niethammer J. & Krapp F. (1982) - Handbuch der Säugetiere Europas. Band 2/1. Rodentia II (Cricetidae, Arvicolidae, Zapodidae, Spalacidae, Hystricidae, Capromidae). Akad. Verlagsgesell., Wiesbaden, 649 pp.

Niethammer J. & Krapp F. (1990) - Handbuch der Säugetiere Europas. Band 3/1. Insektenfresser, Insectivora - Herrentiere, Primates. Akad. Verlagsgesell., Wiesbaden, 484 pp.

Oliver T.H., Gillings S., Pearce-Higgins J.W., Brereton T., Crick H.Q.P., Duffield S.J., Morecroft M.D., Roy D.B., 2017. Large extents of intensive land use limit community reorganization during climate warming. *Global Change Biology*, 23, 2272–2283.

Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., Minchin P.R., O’hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H., Wagner H. 2013. Package “vegan.” Community ecology package.

Pande S, Yosef R., Morelli F., Pawar R., Mone R., 2018. Diet and habitat affinities in six raptor species in India. *Avian Res* 9(36). DOI: 10.1186/s40657-018-0129-2.

Pain D.J., Pienkoski M.W., 1997. Farming and birds in Europe. The common agricultural policy and its implications for bird conservation. London: Academic Press

Palatitz P., Fehérvári P., Solt S. & Barov B., 2009. European Species Action Plan for the Red-footed Falcon *Falco vespertinus*. BirdLife International for the European Commission

Palatitz P., Solt S., Horváth E., Kotymán L., 2015. Hunting efficiency of the Red-footed Falcons in different habitats. *Ornis Hungarica*, 23: 32-47

Parr S., Collin P., Silk S., Wilbraham J., Williams N.P., Yazar M., 1995. A baseline survey of lesser kestrel *Falco naumanni* in central Turkey. *Biological Conservation*, 72: 45-43.

Pearce-Higgins J.W., Eglinton S.M., Martay B., Chamberlain D.E., 2015. Drivers of climate change impacts on bird communities. *Journal of Animal Ecology* 2015, 84, 943–954.

Pianka, E.R. (1973) The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 53-77 <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000413>

Pigot A.L., Dyer E.E., Redding D.W., Cassey P., Thomas, G.H., Blackburn T.M., 2018. Species invasions and the phylogenetic signal in geographical range size. *Global Ecology and Biogeography*, 27(9): 1080–1092.

Purger J.J., 1998. Diet of the Red Footed Falcon *Falco vespertinus* nestlings from hatching to fledging. *Ornis Fennica*, 75: 185-191

Purger J.J. & Tepavcevic A., 1999. Pattern analysis of the red-footed falcon (*Falco vespertinus*) nests in the rook (*Corvus frugilegus*) colony near Torda (Voivodina, Yugoslavia), using fuzzy correspondences and entropy. *Ecological Modelling*, 117, 91-97

Purger J.J., 2001. Defence behaviour of Red-footed Falcon (*Falco vespertinus*) in the breeding period and the effects of disturbance on breeding success. *Ornis Fennica*, 78(1): 13-22.

Raczyński J., Ruprecht AL (1974) Effect of digestion on the osteological composition of owl pellets. *Acta Ornithol* 14:25-38.

Ravasini M., 1995. L'Avifauna nidificante nella provincia di Parma. Editoria Tipolitotecnica, Sala Baganza.

Regione Emilia-Romagna, [www.ambiente.regione.emilia-romagna.it/parchi-natura-2000/retenatura-2000/siti](http://www.ambiente.regione.emilia-romagna.it/parchi-natura-2000/retenatura-2000/siti), consultato nel mese di giugno 2022.

Rodriguez C., Tapia L., Riberie E., Bustamante J., 2014. Crop vegetation structure is more important than crop type in determining where Lesser Kestrel forage. *Bird Conservation International*, 24(4): 438-452.

Remington CL. 1985 Genetical differences in solutions to the crises of hybridization and competition in early sympatry. *Boll. Zool* 52:21-43. DOI:10.1080/11250008509440342.

Rodríguez C., Bustamante J., 2003. The effect of weather on lesser kestrel breeding success: can climate change explain historical population declines? *Journal of Animal Ecology*, 72: 793:810.

Root, R.B., The niche exploitation pattern of the Blue gray Gnatcatcher, *Ecol. Monogr.*, 1967, vol. 37, pp. 317–3

Rudolph S.G., 1982. Foraging strategies of the American Kestrels during breeding. *Ecology*, 63: 1268-76

Sarà M., Milazzo A., Falletta W., Bellia E. 2005. Exploitation competition between hole-nesters (*Muscardinus avellanarius*, Mammalia and *Parus caeruleus*, Aves) in Mediterranean wood-lands. *Journal of Zoology* 265(4):347-357. DOI:10.1017/S095283690500645X

Sarà M., 2010. Climate and land-use changes as determinants of Lesser Kestrel *Falco naumanni* abundance in Mediterranean cereal steppes (Sicily). – *Ardeola* 57: 3 – 22.

Sarà M., Campobello D., Zanza L., Massa B., 2014. Food for flight: Premigratory dynamics of the Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Bird Study*, 61:29-41.

Sergio F., Bogliani G., 2001. Nest defense as parental care in the northern hobby (*Falco subbuteo*). *The Auk*, 118(4): 1047–1052.

Sgorlon & Panzarin, 2013. Biologia riproduttiva del Falco cuculo (*Falco vespertinus*) in provincia di Venezia

Sheffield L. M., Crait J. R., Edge W. D., Wang G., 2001. Response of American kestrels and gray-tailed voles to vegetation height and supplemental perches. *Canadian Journal of Zoology*, 79(3): 380–383.

Solida L (2008). Eto-ecologia di specie simpatriche di formiche mietitrici del genere *Messor* (Hymenoptera:Formicidae). Sfruttamento delle risorse, rapporti interspecifici, nicchia ecologica. Tesi di dottorato in Biologia del Comportamento. Università degli studi di Parma, a.a. 2007/2008

Svensson L., Mullarney K., Zetterstrom D., 1999. Guida agli uccelli d'Europa, Nord Africa e Vicino Oriente. Harper Collins. London, pp. 447.

Svensson, L., Killian, M., and Zetterström, D.: Collins Bird guide: The Most Complete Guide to the Birds of Britain and Europe, 2nd ed., HarperCollins, London, 448 pp., 2010.



Taguchi Y.H., Oono Y. Relational patterns of gene expression via non-metric multidimensional analysis. *Bioinformatics*, 2015, 21 (6): 730-740.

Tella J.L., Forero M.G., Hiraldo F., Donázar J.A., 1998. Conflicts between lesser kestrel conservation and European agricultural policies as identified by habitat use analyses. *Conservation Biology*, 12: 593-604.

Tews J., Brose U., Grimm V., Tielbörger K., Wichmann M.C., Schwager M., 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31(1): 79–92.

Tilman D., 2000. Causes, consequences, and ethics of biodiversity. *Nature*, 405(6783), 208–211.

Tilman D., 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292(5515), 281–284.

Trejo A., Guthmann N., 2003. Owl Selection on Size and Sex Classes of Rodents: Activity and Microhabitat Use of Prey. *Journal of Mammalogy*, Volume 84, Issue 2, 30 May 2003, Pages 652–658, [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2003\)084<0652: OSOSAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2003)084<0652: OSOSAS>2.0.CO;2).

Tucker G.M., Heath M.F., 1994. *Birds in Europe: their conservation status*. Cambridge, UK: BirdLife International

Tsafack N., Wang X., Xie Y., Fattorini S. Niche overlap and species co-occurrence patterns in carabid communities of the northern Chinese steppes. *ZooKeys*. <http://doi.org/10.3897/zookeys.1044.62478>

Vandewalle M., de Bello F., Berg M.P., Bolger T., Dolédec S., Dubs F., Feld C.K., Harrington R., Harrison P.A., Lavorel S., da Silva P.M., Moretti M., Niemelä J., Santos P., Sattler T., Sousa J.P., Sykes M.T., Vanberger A.J., Woodcock B.A., 2010. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. *Biodiversity Conserv* (2010) 19:2921-2947. DOI 10.1007/s10531-010-9798-9.

Vickery J.A., Tallowin J.R., Feber R.E., Asteraki E.J., Atkinson P.W., Fuller R.J., Brown V.K., 2001. The management of lowland neutral grasslands in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. *Journal of Applied Ecology*, 38: 647-664

Village A., 1990. The kestrel. T. & A.D. Poyser. London, pp. 352.

Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116, 882–892.

Virkkala R., Lehikoinen A., 2017. Birds on the move in the face of climate change: High species turnover in northern Europe. *Ecology and Evolution* 2017; 1–9.

Volterra V., 1928. Variations and fluctuations of the number of individuals in animalspecies living together. *J. Cons. Int. Explor. Mer*3(1), 3–51.

Yosef R., Grubb J.R., 1993. Effect of vegetation height on hunting behaviour and diet of loggerhead shrikes. *Condor*, 95(1): 127–131.

Whittaker R.H., Levin S.A., Root R.B., 1973. Niche, habitat and ecotope. *American Naturalist*

Wichham H., Averick M., Bryan J., Chang W., McGowan L., Francois R., Golemund G., Hayes A., Henry L., Hester J., Kuhn M., Lin Pedersen T., Miller E., Milton Bache S., Müller K., Ooms J., Robinson D., Paige Seidel D., Spinu V., Takahashi K., Vaughan D., Wilke C., Woo K., Yutani H. 2019. Welcome to Tidyverse. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Winemiller, K.O. and E.R. Pianka. 1990. Organization in natural assemblages of desert lizards and tropical fishes. *Ecological Monographs* 60: 27-55.

Wong M.K.L., Guénard B., Lewis O.T., 2019. Trait-based ecology of terrestrial arthropods. *Biological Reviews* (2019), 94, pp. 999-1022. Doi:10.1111/brv.12488

## 10 Ringraziamenti

Arrivata alla fine di questo percorso mi sento in dovere di ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine e che mi hanno aiutato.

Un ringraziamento speciale lo riservo ai miei correlatori Michelangelo Morganti e Alessandro Berlusconi, che mi hanno formata con pazienza ed entusiasmo durante l'attività di campo e mi hanno aiutata nelle varie fasi di scrittura della tesi.

Ringrazio anche il mio controrelatore, il professore Giuseppe Fusco, per avere revisionato il mio lavoro di tesi. Ringrazio inoltre, tutti gli esperti entomologi che hanno dato un personale contributo nel riconoscimento delle specie predate, in particolare vorrei ringraziare: Marco Bonelli, Enzo Colonnelli, Giuseppe Platia, Mauro Gobbi, Marco Villani, Giuseppe Bogliani, Fabio Bona e Filippo Maria Buzzetti. Grazie dal profondo del mio cuore ai miei compagni di avventura: Emanuela, Licia, Riccardo e Clelia per avermi accompagnata in questo percorso fatto di infiniti viaggi in macchina e lunghe giornate sotto in sole o in laboratorio, dove le ore sul microscopio sembravano non passare mai.

Questo tirocinio sarebbe stato molto diverso senza la vostra amicizia e il vostro infinito supporto. Grazie anche a tutti i ragazzi che hanno convissuto con me e il gruppo FALKON a Casa Arginone per averci fatto passare dei bellissimi momenti in compagnia. Ringrazio il proprietario di Casa Arginone e il signor Tarcisio per averci accolto durante il periodo di stagione di campo. Ringrazio, inoltre, tutte le persone che ci hanno permesso di svolgere il nostro lavoro di campo nelle loro proprietà.

Desidero inoltre ringraziare i miei genitori per avermi sostenuta durante tutti questi anni di studio, per avermi appoggiata in ogni mia scelta e per avermi dato forza e determinazione per affrontare praticamente tutto. Ringrazio il mio ragazzo Matteo per essere sempre stato al mio fianco, per avermi sempre incoraggiata e per avermi sempre aiutato, questa tesi è completata anche grazie a te.

Ringrazio tutti i miei amici che mi sono stati vicini e mi hanno supportata in questi anni, un ringraziamento speciale lo riservo a Giulia e Federico che hanno sopportato i miei sfoghi e mi hanno sempre spronata.

Infine, ringrazio tutti quelli che hanno letto o leggeranno queste pagine.

## 11 Allegati

Allegato 1: Tabella raccolta borre.

Nido	Specie	Latitudine	Longitudine	N_borre
Bertinelli	cuculo	44.898577	10.279649	105
Boarini	cuculo	44.979172	10.182006	15
Calza	cuculo	44.975328	10.117092	404
Cassetta 6	cuculo	44.938406	11.191669	2
Cassetta 8	cuculo	44.939697	11.155176	13
Crociletto	cuculo	44.979	10.177155	142
Platani	cuculo	44.890111	10.276704	82
V210	cuculo	44.939641	11.155318	32
115	gheppio	44.926015	10.156905	7
44.80.39.76- 11.953328	gheppio	44.803976	11.953328	9
44.8304397- 11.4263029	gheppio	44.83044	11.426303	5
44.873817- 10.579293	gheppio	44.873817	10.579293	20
109	gheppio	44.887114	10.218729	1
44.903026- 11.236445	gheppio	44.903026	11.236445	47
44.943208- 11.163285	gheppio	44.943208	11.163285	23
44.947493- 11.4263029	gheppio	44.947493	11.426303	5
44.95053- 11.70428	gheppio	44.95053	11.70428	14
Ghelli	gheppio	44.952992	11.166144	3
44.95474- 11.12357	gheppio	44.95474	11.12357	16
44.985230- 10.100099	gheppio	44.98523	10.100099	73
44.999782- 10.118835	gheppio	44.999782	11.118835	3
Cascina Bertazza	gheppio	44.973641	10.156068	5
Centralina di Calza	gheppio	44.975328	10.117092	36
G014	gheppio	44.912625	10.96707	4
G017	gheppio	44.951991	10.877833	9
G024	gheppio	44.92079	11.11997	40
G025	gheppio	44.782146	11.327875	1
G028	gheppio	44.90723	11.14118	24
G032	gheppio	44.89789	11.23561	20
G037	gheppio	44.907073	11.260744	14
G038	gheppio	44.929147	11.267342	18
G039	gheppio	44.908203	11.227865	33

G040	gheppio	44.92175	11.29748	41
G043	gheppio	44.802299	11.373368	24
G047	gheppio	44.839753	11.387052	22
G074	gheppio	44.647717	11.776703	28
G088	gheppio	44.651254	11.943483	46
G094	gheppio	44.972064	10.167672	17
G096	gheppio	44.988943	10.129629	5
G098	gheppio	44.975677	10.10979	23
G100	gheppio	44.979335	10.182399	10
G104	gheppio	44.927298	10.189803	32
G105	gheppio	44.920649	10.169624	31
G106	gheppio	44.912486	10.136903	5
G107	gheppio	44.945486	10.107651	7
G112	gheppio	44.944976	10.176523	7
G114	gheppio	44.987813	10.19957	5
G156	gheppio	44.874161	11.400303	30
G165	gheppio	44.95053	11.20628	19
G168	gheppio	44.932727	11.042402	7
G173	gheppio	44.77906	11.495136	27
G187	gheppio	44.941485	11.254492	2
G197	gheppio	44.924349	10.178036	31
G199	gheppio	44.899979	10.189517	14
G206	gheppio	44.925682	10.158429	33
G208	gheppio	44.955728	10.204801	25
G209	gheppio	44.95572	10.209685	56
G210	gheppio	44.973265	10.206776	26
G212	gheppio	44.99379	10.072027	15
G216	gheppio	44.90815	10.202705	10
G217	gheppio	44.925579	10.158454	9
G219	gheppio	44.957162	10.116734	22
G223	gheppio	44.893503	11.313066	47
G225	gheppio	44.862267	11.397722	102
G237	gheppio	44.782273	11.327762	44
G243	gheppio	44.958446	10.174042	5
G7	gheppio	44.951991	10.877833	10
Ghelli	gheppio	44.952992	11.166144	5
Mirandola	gheppio	44.940167	11.108031	2
nuovo_1	gheppio	44.98523	11.100099	6
nuovo_2	gheppio	44.87114	10.218729	1
nuovo_3	gheppio	44.95725	10.07625	11
nuovo_4	gheppio	44.952992	11.166114	13
nuovo_6	gheppio	44.735242	11.391039	3
nuovo_7	gheppio	44.95724	10.07625	2
Parma N.I.	gheppio	44.907792	10.192054	11
Random	gheppio	44.835211	11.488355	6
survey_143	gheppio	44.56692	11.9168	13

survey_147	gheppio	44.58078	11.89308	3
survey_160	gheppio	44.54977	11.91759	12
survey_19	gheppio	44.94261	10.2123	7
survey_217	gheppio	44.52951	12.00301	2
survey_25	gheppio	44.51206	12.00021	1
survey_26	gheppio	44.94249	10.18263	20
survey_365	gheppio	44.771	11.97769	7
survey_372	gheppio	44.79626	12.08482	27
survey_405	gheppio	44.80393	11.95383	10
survey_416	gheppio	44.91765	11.25243	7
survey_437	gheppio	44.85536	11.38061	4
survey_441	gheppio	44.84525	11.45451	3
survey_5	gheppio	44.99676	10.0761	48
survey_66	gheppio	44.99484	10.16066	5
survey_743	gheppio	44.99434	11.25029	6
survey_84	gheppio	44.90787	10.19205	15
survey_864	gheppio	44.75131	11.35604	2
survey_874	gheppio	44.76086	11.41616	12
survey_897	gheppio	44.80062	11.21316	7
survey_902	gheppio	44.78965	11.20682	12
Zecca	gheppio	44.958384	10.174042	1
Affittanza	grillaio	44.954709	11.123602	26
Bagna 1	grillaio	44.951055	11.105832	42
Baricella	grillaio	44.650416	11.57449	58
Ca dei Soli	grillaio	44.95764	11.11696	14
Ca' Soli	grillaio	44.95764	11.11696	8
Carnevale	grillaio	44.959317	11.151573	27
Cascina Ronchi	grillaio	44.97115	10.183283	40
Cassetta5 (Poggio Rusco)	grillaio	44.94369	11.166431	15
Cassetta8 (Poggio Rusco)	grillaio	44.94369	11.166431	19
Corte Cisi	grillaio	44.851244	11.967716	39
Fienil del Vento	grillaio	44.903739	11.254105	70
Fondo Belvedere	grillaio	44.949381	11.151641	1
Montanari	grillaio	44.752984	11.511246	41
Negrone	grillaio	44.97956	10.162514	170
Pistoia Colonia	grillaio	44.979759	11.042228	3
Poggio Rusco	grillaio	44.943755	11.166399	114
Polesini	grillaio	44.78603	11.98895	145
Prosperi	grillaio	44.837182	11.44337	5
Raveda	grillaio	44.802471	11.467137	378
Savonazza	grillaio	44.844876	11.403089	55
Torretta Minerbio	grillaio	44.63445	11.57002	59
Vavassori	grillaio	44.979361	10.182356	2

Via Affittanza	grillai	44.954556	11.123506	17
Via Bagna	grillai	44.95107	11.20582	38
Via della Botte	grillai	44.660767	11.908422	91
Via Pinzone	grillai	44.9525	11.122237	19





<b>Mantodea</b>		0	0	0.00%	0.00%	6	4	0.08%	0.08%	0	0	0.00%	0.00%
Hierodula tenuidentata	1.5000	0	0	0.00%	0.00%	6	4	0.08%	0.08%	0	0	0.00%	0.00%
<b>Orthoptera</b>		509.5631	623	34.03%	22.53%	1488.646	2936	57.76%	18.93%	1923.406	3486	70.68%	44.57%
Aiolopus strepens	0.3600	0	0	0.00%	0.00%	0.36	1	0.02%	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
Eumodicogryllus burdigalensis	0.2200	13.42	61	3.33%	0.59%	95.48	434	8.54%	1.21%	25.52	116	2.35%	0.59%
Melanogryllus deserticus	0.3000	125.7	419	22.88%	5.56%	669.3	2231	43.89%	8.51%	892.5	2975	60.32%	20.68%
Tettigonia viridissima	1.5000	45	30	1.64%	1.99%	69	46	0.90%	0.88%	148.5	99	2.01%	3.44%
Calliptamus sp.	1.0000	0	0	0.00%	0.00%	1	1	0.02%	0.01%	2	2	0.04%	0.05%
Gryllotalpa sp.	3.0000	318	106	5.79%	14.06%	645	215	4.23%	8.20%	840	280	5.68%	19.47%
Orthoptera ND	1.0633	7.4431	7	0.38%	0.33%	8.5064	8	0.16%	0.11%	14.8862	14	0.28%	0.34%
<b>Araneae</b>		0	0	0.00%	0.00%	0.025	1	0.02%	0.00%	0.05	2	0.04%	0.00%
Araneae ND	0.0250	0	0	0.00%	0.00%	0.025	1	0.02%	0.00%	0.05	2	0.04%	0.00%
<b>Rodentia</b>		1392.353	45	2.46%	61.57%	5393.833	184	3.62%	68.60%	1696.42	58	1.18%	39.31%
Apodemus sylvaticus	18.0000	0	0	0.00%	0.00%	90	5	0.10%	1.14%	0	0	0.00%	0.00%
Apodemus sp.	18.0000	0	0	0.00%	0.00%	144	8	0.16%	1.83%	18	1	0.02%	0.42%
Mus domesticus	20.0000	0	0	0.00%	0.00%	20	1	0.02%	0.25%	0	0	0.00%	0.00%
Rattus sp.	135.8000	0	0	0.00%	0.00%	271.6	2	0.04%	3.45%	0	0	0.00%	0.00%
Muridae ND	57.9333	57.9333	1	0.05%	2.56%	57.9333	1	0.02%	0.74%	0	0	0.00%	0.00%
Microtus arvalis	27.0000	432	16	0.87%	19.10%	2376	88	1.73%	30.22%	783	29	0.59%	18.14%
Microtus savii	20.0000	20	1	0.05%	0.88%	240	12	0.24%	3.05%	60	3	0.06%	1.39%
Microtus sp.	23.5000	352.5	15	0.82%	15.59%	869.5	37	0.73%	11.06%	305.5	13	0.26%	7.08%
Rodentia ND	44.1600	529.92	12	0.66%	23.43%	1324.8	30	0.59%	16.85%	529.92	12	0.24%	12.28%
<b>Scorpiones</b>		0	0	0.00%	0.00%	0	0	0.00%	0.00%	1.5	1	0.02%	0.03%
Euscorpium sp.	1.5000	0	0	0.00%	0.00%	0	0	0.00%	0.00%	1.5	1	0.02%	0.03%
<b>Siluriformes</b>		0	0	0.00%	0.00%	20	2	0.04%	0.25%	0	0	0.00%	0.00%
Ictalurus punctatus	10.0000	0	0	0.00%	0.00%	20	2	0.04%	0.25%	0	0	0.00%	0.00%
<b>Squamata</b>		46	2	0.11%	2.03%	46	2	0.04%	0.59%	23	1	0.02%	0.53%
Lacertidae ND	23.0000	46	2	0.11%	2.03%	46	2	0.04%	0.59%	23	1	0.02%	0.53%
<b>Totale complessivo</b>		2261.42	1831	100%	100%	7862.18	5084	100%	100%	4315.30	4932	100%	100%