



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

MACROAREA DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN  
SCIENZE BIOLOGICHE

MEMORIA SCIENTIFICA

Studio del periodo di nidificazione di passeriformi  
attraverso l'analisi della presenza della placca incubatrice

**Relatore:**  
Gratton Paolo

**Candidata:**  
Lettina Valentina

**Correlatore:**  
Sterpi Maurizio

Anno Accademico 2021/2022

# Indice

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Scopo della tesi .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Materiali e metodi .....</b>	<b>2</b>
3.1. Dati di inanellamento .....	2
3.2. Placca incubatrice.....	3
3.3. Selezione dei dati .....	4
3.4 Analisi statistiche .....	5
<b>4. Risultati.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Conclusioni .....</b>	<b>10</b>
<b>6. Bibliografia .....</b>	<b>11</b>

# 1. Introduzione

A partire dalla fine del XIX secolo, le attività umane che rilasciano gas serra nell'atmosfera hanno influenzato significativamente il clima terrestre, causando il fenomeno noto come riscaldamento globale, caratterizzato dall'aumento della temperatura media globale e da cambiamenti nei fenomeni atmosferici ad essa associati, producendo eventi meteorologici estremi come tempeste, siccità, inondazioni.

Il riscaldamento globale sta avendo un impatto importante sulla flora e la fauna di tutto il mondo. I *patterns* di crescita e di fioritura delle piante stanno cambiando, e la loro distribuzione geografica si va modificando in conseguenza del cambiamento del clima (Agrawal, 2011).

È stato anche osservato come molte specie animali siano state indotte a spostarsi verso zone con temperature più adatte alla loro sopravvivenza, o come conseguenza della diversa disponibilità di cibo, legata alla differente distribuzione della flora.

Per quanto riguarda gli uccelli, il riscaldamento globale ha modificato in modo evidente la distribuzione, la migrazione ed il periodo riproduttivo. (Both *et al.*, 2007).

Alcune specie di uccelli si stanno spostando in cerca di habitat più adeguati, ad esempio più a nord o ad altitudini maggiori per sfuggire alle temperature elevate, mentre altre potrebbero non essere in grado di farlo e quindi rischiare l'estinzione.

Nelle regioni temperate, l'aumento delle temperature sta anticipando la primavera, anticipando di conseguenza l'arrivo degli uccelli ai siti di nidificazione e il loro periodo riproduttivo (Lawrence *et al.*, 2022) (McLean *et al.*, 2022). La nidificazione anticipata può essere anche conseguenza della diversa disponibilità di cibo, anch'essa alterata dal cambiamento climatico. In particolare, le specie con dieta generalista e i consumatori primari tendono ad anticipare le loro attività maggiormente rispetto a specie che adottano una dieta differente (Romano *et al.*, 2022).

Per valutare l'impatto del riscaldamento globale sul comportamento degli uccelli sono utilizzati diversi metodi di ricerca, tra cui:

- Osservazione diretta: registrandone l'attività, la presenza o l'assenza, il nido e le abitudini alimentari. Possono essere usate tecnologie come i dispositivi GPS e i sensori di attività;
- Modelli di simulazione: utilizzati per prevedere come il riscaldamento globale potrebbe influire sul comportamento degli uccelli in futuro. I modelli possono essere basati su dati storici, come ad esempio le temperature passate, e possono essere adattati per tener conto delle previsioni future del clima;
- Esperimenti di laboratorio: effettuati per esplorare l'impatto del riscaldamento globale sul comportamento degli uccelli in un ambiente controllato. Ad esempio, si possono

manipolare le condizioni climatiche in un aviario per simulare gli effetti del riscaldamento globale e osservare le reazioni degli uccelli;

- Monitoraggio a lungo termine: effettuato attraverso reti di monitoraggio degli uccelli, che possono raccogliere dati sulla presenza, e le condizioni fisiche degli uccelli.

Quest'ultimo è il metodo utilizzato per raccogliere i dati che abbiamo analizzato nella tesi.

## **2. Scopo della tesi**

In questo lavoro abbiamo testato la presenza di uno spostamento temporale del periodo riproduttivo di alcune specie di uccelli, utilizzando i dati di inanellamento raccolti dalla Stazione Ornitologica della Riserva Naturale Regionale dei Laghi Lungo e Ripasottile, area naturale protetta di valenza regionale situata in provincia di Rieti, nel territorio dei comuni di Rieti, Cantalice, Colli sul Velino, Contigliano, Poggio Bustone e Rivodutri.

In particolare, è stata condotta un'analisi dei dati relativi alla presenza della placca incubatrice degli uccelli, una zona priva di piume, spessa, edematosa e riccamente vascolarizzata che si forma sull'addome degli uccelli durante il periodo riproduttivo per permettere al genitore di trasmettere il proprio calore corporeo alle uova durante la cova.

I dati di inanellamento della Riserva coprono il periodo dal 2003 al 2022 (20 anni) ma sono stati considerati solo gli anni che presentano una quantità sufficiente di dati nel periodo riproduttivo primaverile ed estivo, ovvero dal 2004 al 2017 (14 anni).

## **3. Materiali e metodi**

### **3.1. Dati di inanellamento**

I dati considerati sono stati raccolti durante 1142 sessioni di inanellamento effettuate tra il 2003 e il 2022 presso la stazione ornitologica della Riserva Naturale Regionale dei Laghi Lungo e Ripasottile (RLR).

L'inanellamento è una tecnica nata per studiare le rotte seguite dagli uccelli nel corso delle migrazioni, usata poi anche per la ricerca e il monitoraggio.

Questa tecnica consiste nell'applicazione di un anello, metallico o di materiale plastico e riportante un codice unico, sul tarso dell'uccello per poterlo identificare successivamente in maniera univoca.

Dopo l'inanellamento il volatile viene lasciato libero.

Sono utilizzati diversi metodi di cattura a seconda delle dimensioni degli uccelli che si intende inanellare. Presso la RLR sono utilizzate reti utili per la cattura di uccelli di piccole e medie

dimensioni, con una maglia di 16 mm. Ogni rete è alta 240 cm e larga 12 metri, per un totale di 12 reti. Una volta liberato dalla rete, ogni uccello viene riposto singolarmente in un sacchetto di tela traspirante e portato alla stazione ornitologica. Dopo l'applicazione dell'anello vengono raccolti dati quali le condizioni del piumaggio, l'età, il sesso, le condizioni fisiche e la presenza della placca incubatrice. Dopo l'inanellamento l'esemplare viene lasciato libero.

L'informatizzazione dei dati avviene in accordo con il formato previsto da EURING ([European bird ringing schemes](#)), l'organizzazione che coordina la cooperazione in tutti gli aspetti dell'inanellamento in Europa. La Banca Dati EURING ([EURING Data Bank, EDB](#)) è stata creata nel 1977 quale archivio centralizzato dei dati di ricattura degli uccelli inanellati in Europa.

### **3.2. Placca incubatrice**

Per permettere lo sviluppo degli embrioni degli uccelli, è necessario che la temperatura delle uova sia mantenuta entro certi limiti. Poiché le piume ed il piumino degli uccelli fungono da isolante termico, durante il periodo della cova si forma sull'addome dell'uccello la placca incubatrice, una zona di pelle nuda che permette al genitore di trasmettere il proprio calore corporeo alle uova.

Gli stadi di sviluppo della placca incubatrice e la successiva regressione sono controllati ormonalmente e legati allo stadio di riproduzione (Jones, 1971).

Nei passeriformi, durante la costruzione del nido, le piume lanuginose che ricoprono la pelle ventrale vengono perse. Quando inizia la deposizione delle uova l'epidermide inizia ad ispessirsi per l'iperplasia. All'inizio dell'incubazione, il derma diventa edematoso, con aumento della vascolarizzazione. L'aumento dello spessore e della vascolarizzazione del derma serve ad aumentare l'area di contatto tra la pelle e le uova, a trasferire il calore dal corpo all'uovo e a regolare il trasferimento di calore variando il flusso di sangue ai vasi sanguigni della placca incubatrice. Una volta completata la cova e le prime fasi della cura dei giovani appena nati, il gonfiore e la vascolarizzazione regrediscono e l'iperplasia epidermica viene gradualmente persa (Jones, 1971).

A seconda della specie, la placca incubatrice può svilupparsi in solo uno dei due sessi o in entrambi. La placca incubatrice è spesso usata come criterio di sesso laddove è presente in uno solo dei sessi.

Nella codifica EURING, la placca incubatrice viene registrata con un valore numerico, dove 0 corrisponde alla sua assenza e un valore da 1 a 9 alla sua presenza e corrisponde al livello di maturazione della placca incubatrice. La lettera R viene usata per indicare una placca incubatrice in regressione.

### 3.3. Selezione dei dati

Abbiamo escluso dalle analisi i dati relativi agli anni 2003 e 2018 - 2022 per insufficienza di dati utili.

Abbiamo considerato la placca incubatrice semplicemente come assente (valore 0 o R) o presente (valori da 1 a 9).

Delle 123 specie registrate nell'archivio dei dati della RLR, abbiamo selezionato quelle con una media di almeno 5 individui catturati con placca incubatrice presente per anno. Di conseguenza, sono state analizzate 4 specie di passeriformi, tutte appartenenti alla superfamiglia Sylvioidea:

- *Cettia cetti* (usignolo di fiume) è un passeriforme della famiglia Cettiidae. Nidifica nella vegetazione densa, alta e vicino l'acqua, ma su terreno asciutto. In Italia è sedentario, nidificante comune e migratore. Nella RLR è considerato una specie sedentaria. Nidifica in basso nella vegetazione folta. (Svensson *et al.*, 1999). Le femmine sono più piccole dei maschi. (Bibby and Thomas, 1984). I maschi possono accoppiarsi con più femmine. Può fare due covate l'anno e le covate variano da tre a cinque uova (Tasinazzo, 1993). Della costruzione del nido, della cova e della cura della prole si occupa prevalentemente la femmina. La placca incubatrice si sviluppa solo sulle femmine. È insettivoro ma può integrare la sua dieta con semi e piccoli frutti selvatici.
- *Sylvia atricapilla* (capinera) è un passeriforme della famiglia Sylviidae. In Europa settentrionale ed orientale è migratrice a lungo raggio, mentre in Europa occidentale e meridionale è migratrice a corto raggio o sedentaria. Nella RLR è considerato una specie sedentaria. In Italia nidifica in ambienti cespugliati e alberati. Il maschio ha un piccolo cappuccio nero che raggiunge la parte superiore dell'occhio. Nelle femmine e nei giovani il cappuccio è rosso-marrone. (Svensson *et al.*, 1999). È una specie monogama, entrambi i sessi si occupano delle cure parentali e possono sviluppare una placca incubatrice (Cramp, 1992). Può fare due covate l'anno e le covate variano da tre a sei uova. Si nutre di bacche e insetti.
- *Acrocephalus arundinaceus* (cannareccione) è un passeriforme della famiglia Acrocephalidae. Visitatore estivo, sverna in Africa tropicale. In Italia è migratore regolare e nidificante comune negli ambienti adatti. Nidifica in canneti maturi, tipicamente densi ed estesi. (Svensson *et al.*, 1999). Le femmine sono più piccole dei maschi. Alleva una o due covate all'anno, di quattro o cinque uova ciascuna. Maschio e femmina si alternano nella cova e collaborano nel nutrire i piccoli. La placca incubatrice si sviluppa solo sulle femmine. È insettivoro ma cattura altri tipi di prede purché sufficientemente piccole, inclusi vertebrati.

- *Acrocephalus scirpaceus* (cannaiola comune) è un passeriforme della famiglia Acrocephalidae. Nidificante estiva, sverna in nord e sud Europa. Nidifica nei canneti. (Svensson *et al.*, 1999). Le femmine sono più piccole dei maschi. Fa due covate l'anno di quattro o cinque uova ciascuna. La placca incubatrice è presente solo sulle femmine. È insettivoro ma può nutrirsi anche di bacche e piccoli frutti.

Dalle analisi sono stati esclusi i giovani (<1 anno di vita).

Per gli individui catturati più di una volta è stata considerata solo una singola cattura selezionata casualmente al fine di evitare di analizzare dati non indipendenti tra loro (*pseudoreplication*).

La determinazione del sesso negli adulti di capinera è piuttosto ovvia, sulla base del piumaggio. Nelle altre tre specie considerate i sessi sono molto simili, e il sessaggio si basa anche sulla presenza della placca incubatrice. Inoltre, nei dati a nostra disposizione sono presenti alcune inconsistenze nei dati relativamente al sessaggio di queste tre specie. Nei dati più recenti è stata presa la decisione di non registrare più il sesso in queste tre specie, proprio a causa della difficoltà di distinzione.

Di conseguenza, abbiamo deciso di non considerare il sesso nelle nostre analisi.

### 3.4 Analisi statistiche

Per l'analisi dei dati abbiamo utilizzato il software di analisi statistica R (versione 4.2.0).

Per testare l'ipotesi di uno spostamento temporale nel periodo riproduttivo, abbiamo analizzato la probabilità di osservare un uccello con placca incubatrice matura in funzione del periodo dell'anno, della specie, e dell'anno.

In particolare, essendo la nostra variabile di risposta una variabile binaria (presenza/assenza), abbiamo utilizzato un *Generalized Linear Model (GLM)* con errore binomiale e funzione di *link logit*.

I *GLM* sono generalizzazioni della classe dei Modelli Lineari, che non necessariamente predicono direttamente la risposta ma possono predire una funzione delle risposte (detta funzione di *link*) e nei quali l'errore può seguire una distribuzione differente della distribuzione normale.

In un *GLM* binomiale, per ciascuna combinazione dei valori dei predittori, esiste una ben definita probabilità  $p$  di osservare una presenza (valore della risposta = 1), definita dalla funzione

$$p = e^{LP} / (1 + e^{LP}),$$

dove  $LP$  è un "predittore lineare" con formula generica

$$LP = C_0 + C_1 * P_1 + C_2 * P_2 + \dots + C_n * P_n .$$

Per cui

$$\text{logit}(p) = \log(p/(1-p)) = LP.$$

L'incertezza associata alla risposta deriva dal fatto che la vera risposta è una realizzazione della suddetta probabilità, e, quindi, segue una distribuzione binomiale.

Abbiamo costruito il nostro *GLM* in modo da rappresentare le seguenti assunzioni: 1) la probabilità di osservare una placca incubatrice matura, essendo legata alla cova, aumenta nel corso dell'anno (nel periodo primaverile) per poi decrescere gradualmente; 2) ciascuna specie può avere un andamento unico della stagionalità riproduttiva, con una diversa probabilità massima di osservare la placca, una diversa pendenza nelle fasi di aumento e diminuzione della probabilità di osservare la placca, e una diversa collocazione temporale del massimo di probabilità di osservare la placca; 3) l'andamento stagionale della probabilità di osservare la placca può cambiare nel corso degli anni come funzione lineare del numero di anni trascorsi dall'inizio delle osservazioni.

La variabile di risposta (dipendente) è se l'uccello presenta una placca incubatrice (1) o meno (0).

I termini principali (*main effects*) sono:

- il "giorno giuliano" (*JD*, numero di giorni trascorsi dall'inizio di ogni anno);
- il quadrato del "giorno giuliano" ( $JD^2$ , la presenza di un termine quadratico permette di modellare che la probabilità che l'uccello abbia una placca incubatrice matura aumenti e poi diminuisca con l'aumentare del giorno giuliano);
- la specie (*specie*, predittore categorico);
- l'anno dall'inizio dello studio (*anno*, 0 = 2004, 13 = 2017).

Abbiamo anche considerato le interazioni a due vie tra:

- *anno* e *specie* (consente che l'effetto dell'anno sulla risposta differisca tra le specie);
- *JD* e *specie* e  $JD^2$  e *specie* (consentono che l'effetto di *JD* sulla risposta differisca tra le specie);
- *JD* e *anno* e  $JD^2$  e *anno* (consentono che l'effetto di *JD* sulla risposta dipenda dall'anno).

Questi ultimi due termini di interazione sono i nostri effetti di test (*test effects*), poiché interazioni significative tra *JD* e *anno* indicano che la stagione della cova (ovvero il periodo dell'anno in cui gli uccelli mostrano una placca incubatrice matura) si è spostata nel corso del periodo considerato nello studio.

Si noti anche che, nel nostro modello, l'*anno* è una variabile numerica, il che significa che stiamo modellando (con le interazioni di *JD* e *anno* e  $JD^2$  e *anno*) una tendenza di lungo periodo di spostare le stagioni della covata verso periodi precedenti o successivi dell'anno.

Il *fit* del *GLM* è stato calcolato usando la funzione R *glm* (pacchetto “*stats*”). La significatività dei termini non inclusi in interazioni di ordine superiore è stata testata con il *Likelihood Ratio Test* (*LRT*) tramite la funzione R *drop1* (pacchetto “*stats*”).

Il *LRT* si esegue comparando le *likelihood* di due modelli “nidificati” (*nested*) tra loro rispetto allo stesso set di dati. Un modello  $m_r$  si dice *nested* in un modello  $m_f$  se  $m_f$  comprende tutti termini di  $m_r$  e anche altri. Indicando con  $L(m)$  la *likelihood* di un modello (cioè la probabilità di osservare i dati condizionale al modello), si può dimostrare che il valore  $LR = -2\log(L(m_r)/L(m_f))$  segue una distribuzione  $\chi^2$ . Di conseguenza, la probabilità di osservare un *LR* maggiore o uguale a quello osservato nell’ipotesi nulla che i dati siano generati dal modello  $m_r$  è data dalla probabilità definita dalla funzione  $\chi^2(x, df = n)$  per  $x \geq LR$ , dove  $n$  è il numero di parametri di differenza tra  $m_f$  e  $m_r$ .

Per visualizzare i risultati del *GLM*, abbiamo calcolato la probabilità predetta di osservare la placca incubatrice per ciascuna delle quattro specie, in ciascun giorno dell’anno (compreso tra la minima e la massima data osservata nei dati), per l’anno medio di ciascun biennio tra il 2004-05 e il 2016-17, usando la funzione *predict.glm* (pacchetto “*stats*”).

## 4. Risultati

L’interazione tra  $JD^2$  e *anno* non è risultata significativa (*LRT*:  $\chi^2 = 0.868$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.352$ ) ed è stata rimossa dal modello finale. Nella Tabella 1 sono riportati i risultati del *LRT* per il modello finale.

Termine testato	<i>df</i>	$\chi^2$	<i>P</i>
<i>specie·anno</i>	3	16.449	0.0009174 ***
<i>JD·specie</i>	3	28.893	2.359e-06 ***
<i>JD·anno</i>	1	21.826	2.986e-06 ***
<i>JD<sup>2</sup>·specie</i>	3	24.059	2.428e-05 ***

Tabella 1. Risultati del *LRT* per il modello finale. *df* sta per “gradi di libertà” (degrees of freedom), ovvero il numero di parametri in più che il modello più complesso (il modello “finale” con tutti i termini) ha rispetto ad un modello “ridotto” nel quale è stato rimosso il termine (nel nostro caso, sono tutte interazioni) indicato nella colonna “Termine testato”.  $\chi^2$  rappresenta il valore di *LR*.

Tutti i valori di *P* sono molto bassi (< 0.001), indicando che il modello rappresenta i dati in modo significativamente più adeguato rispetto a modelli più semplici che non considerino tali termini.

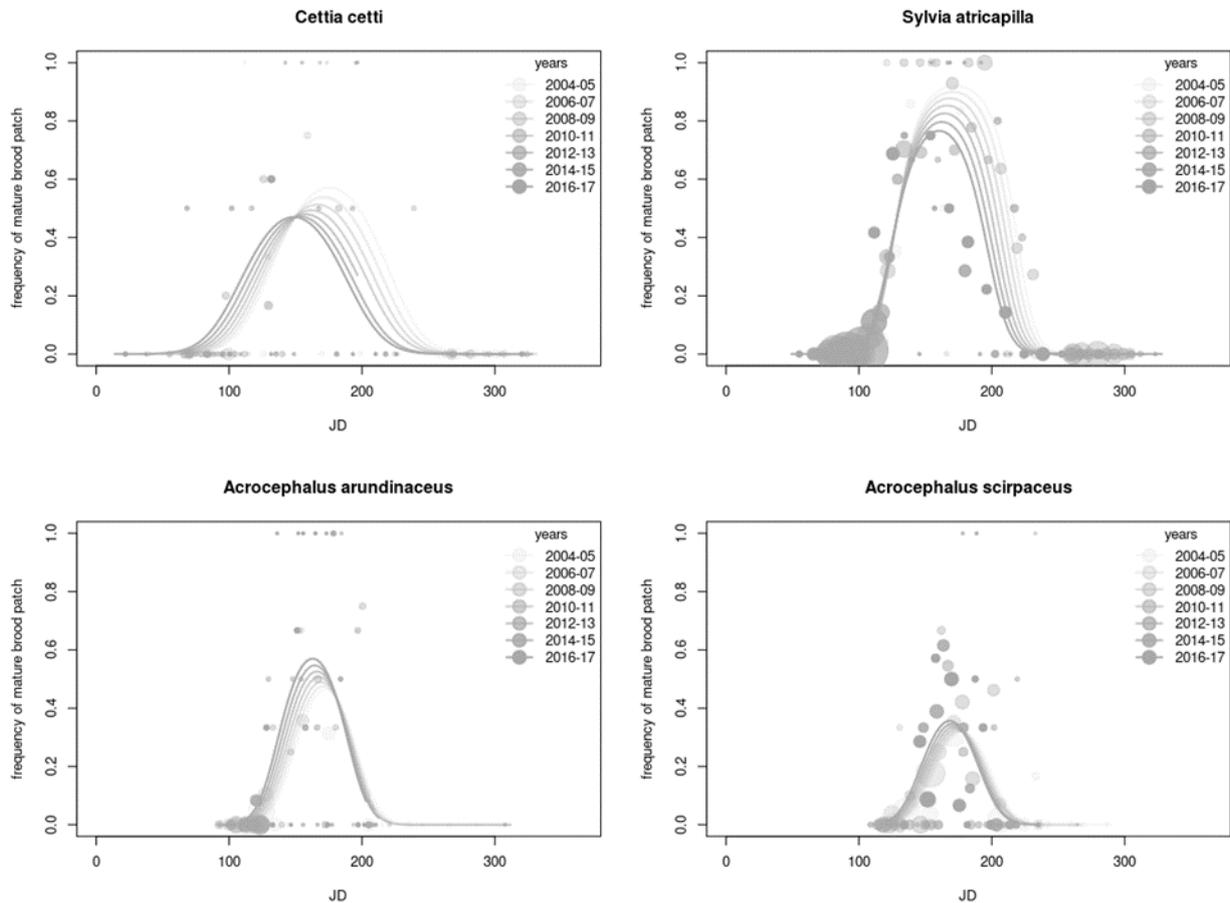


Figura 1. Frequenza della placca incubatrice matura durante l'anno nelle quattro specie analizzate. Ogni linea rappresenta la predizione del GLM relativa ad un biennio. Le linee più scure rappresentano i bienni più recenti. I cerchi rappresentano i dati osservati. L'altezza dei cerchi corrisponde al rapporto tra gli individui con placca incubatrice e gli individui totali catturati, raggruppati in bienni e in intervalli di circa 15 giorni, mentre la loro dimensione corrisponde alla numerosità del campione in quel raggruppamento (bin).

La Figura 1 mostra i grafici relativi alle previsioni generate dal *GLM*. Le previsioni del modello seguono l'andamento previsto, con un massimo alla fine della primavera e una decrescita successiva.

In *S. atricapilla*, essendo la placca incubatrice presente in entrambi i sessi, il massimo arriva tra l'80% e il 90% degli individui, mentre nelle altre tre specie, dove la placca è presente solo nelle femmine, il massimo non supera il 60%.

In tutte le quattro specie analizzate è visibile un anticipo del periodo di comparsa della placca incubatrice, maggiormente in *C. Cetti* e *S. atricapilla*, le due specie sedentarie nella RLR. Ciò è compatibile con i risultati dello studio di Romano *et al.* (2022), che mostrano come nelle specie sedentarie si osservino i cambiamenti più accentuati.

In particolare, *C. cetti* sposta del tutto la stagione riproduttiva, mentre *S. atricapilla* anticipa soprattutto la fine, accorciando la sua stagione riproduttiva. Sempre in *S. atricapilla*, possiamo

notare un calo nella frequenza degli individui con placca incubatrice negli anni più recenti, dovuto forse a maggiori difficoltà nella riproduzione.

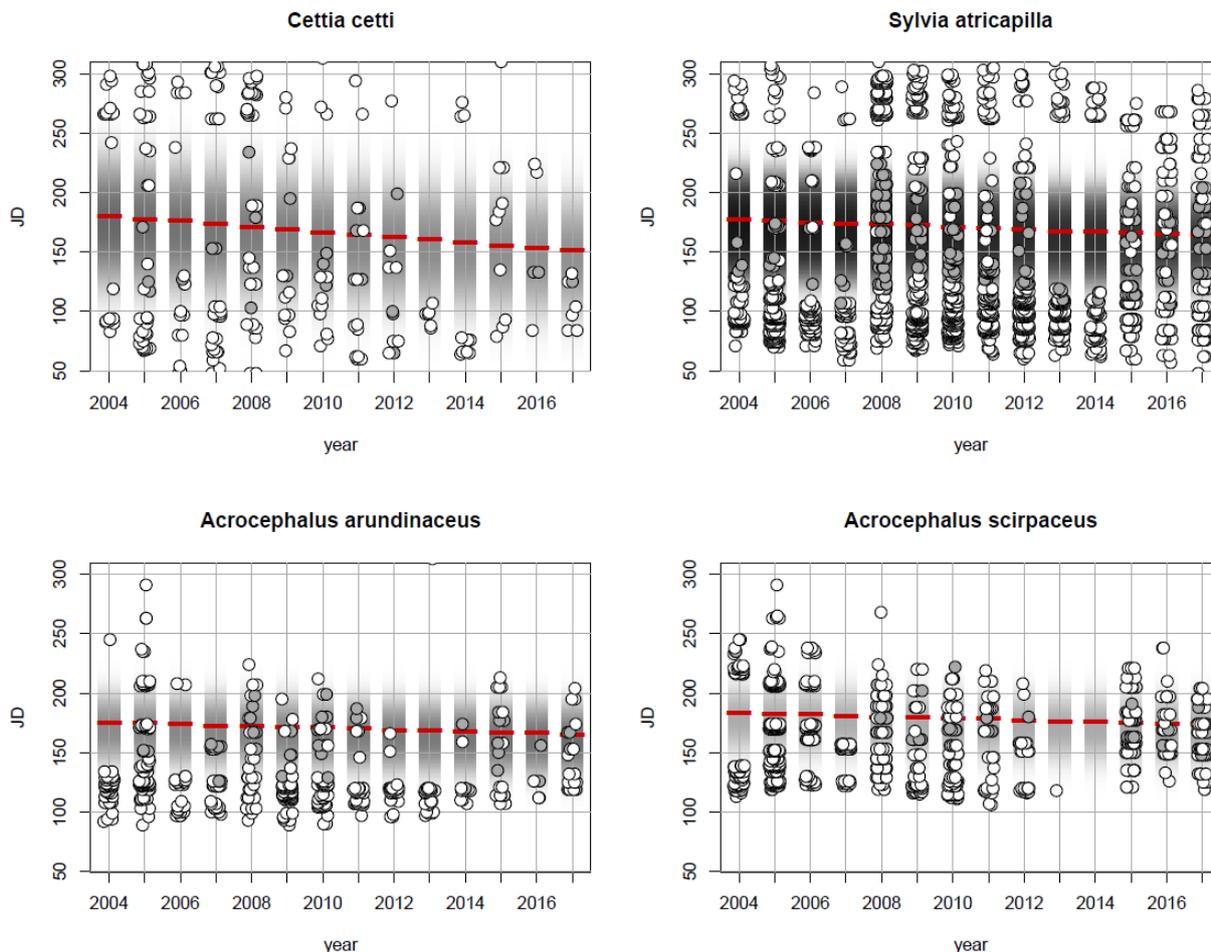


Figura 2. Visualizzazione alternativa dei risultati. I rettangoli rappresentano la frequenza con cui compare la placca incubatrice predetta dal GLM in ciascun anno (il grigio più scuro rappresenta una frequenza maggiore). I cerchi rappresentano i singoli individui, raggruppati non per bienni ma anni. I cerchi grigi rappresentano individui con la placca incubatrice, quelli bianchi individui che ne sono privi. La posizione orizzontale dei cerchi all'interno di ciascun anno è variata casualmente (jittered) in modo da evitare un'eccessiva sovrapposizione. I segmenti rossi evidenziano il punto massimo della probabilità di osservare la placca incubatrice in ogni anno predetta dal GLM.

La Figura 2 presenta una diversa visualizzazione dei risultati.

Ognuna delle quattro specie mostra un diverso anticipo stimato del picco massimo di presenza della placca:

- *C. cetti*: dal 175° JD (23 giugno) nel 2004 al 147° JD (26 maggio) del 2017, con un anticipo di ben 28 giorni;
- *S. atricapilla*: dal 172° JD (20 giugno) nel 2004 al 159° JD (7 giugno) nel 2017, con un anticipo di 13 giorni;
- *A. arundinaceus*: dal 170° JD (18 giugno) nel 2004 al 161° JD (9 giugno) nel 2017, con un anticipo di 9 giorni;

- *A. scirpaceus*: dal 179° JD (27 giugno) nel 2004 al 169° JD (17 giugno) nel 2017, con un anticipo di 10 giorni.

## 5. Conclusioni

I nostri risultati mostrano un anticipo del periodo riproduttivo significativo nelle quattro specie di passeriformi studiate, che appare ancora più notevole considerando che il periodo preso in esame copre solo 13 anni. Inoltre, tutte e quattro le specie studiate hanno una dieta insettivora, che sembra essere quella meno influenzata dal cambiamento climatico (Romano *et al.*, 2022).

Nelle nostre analisi, abbiamo deciso di non considerare esplicitamente la temperatura, per la difficoltà di scegliere quale misura della temperatura (per esempio, la media durante l'anno, la media di un particolare mese, etc.) utilizzare, in particolare per l'analisi alle due specie migranti (*A. arundinaceus* e *A. scirpaceus*).

Avendo svolto un'analisi dello spostamento del periodo riproduttivo esclusivamente temporale, senza una comparazione diretta con dati relativi alla temperatura e ai fenomeni atmosferici nella zona della RLR, non possiamo stabilire con certezza che la variazione riscontrata sia stata effettivamente causata dal cambiamento climatico.

Nello studio di McLean *et al.* (2022), possiamo vedere risultati simili su un periodo molto più ampio (30 anni), con analisi delle temperature medie ed altri fattori che potrebbero aver influenzato lo spostamento. Secondo McLean *et al.* (2022), per quanto l'aumento della temperatura media rimanga l'effetto principale, questi altri fattori influenzano significativamente l'anticipo del periodo riproduttivo.

Tuttavia, non siamo a conoscenza di altri fattori che possano aver determinato l'anticipo del periodo nella RLR, che in quanto riserva naturale è inoltre influenzata in maniera inferiore da problemi quali urbanizzazione e degrado dell'habitat.

Il calo proporzionale negli individui riproduttivi di *S. atricapilla*, che si accompagna alla fine anticipata della stagione di cova, potrebbe essere dovuto ad una diminuzione delle risorse pro capite. I dati della RLR mostrano che la frequenza relativa di questa specie nelle campagne di inanellamento è andata aumentando nel corso degli anni. Questa diminuzione potrebbe essere legata anche ad un possibile aumento della densità di questa specie.

Ciò non sembra essere un problema per *A. arundinaceus* e *A. scirpaceus*, che, pur anticipando il loro arrivo nella RLR, sfruttano tutta la stagione riproduttiva (la frequenza relativa di queste due specie nei dati della RLR sembra essere notevolmente diminuita nel periodo considerato).

Nelle nostre analisi statistiche, per semplificare, non abbiamo considerato esplicitamente che le quattro specie fanno generalmente due cove, per quanto in tempi ravvicinati (maggio e giugno). I dati non mostrano evidenti segnali di inadeguatezza di un semplice modello parabolico per l'andamento stagionale della presenza della placca incubatrice (Figura 1).

Non abbiamo, inoltre, tenuto in considerazione la possibile non indipendenza delle osservazioni in anni ravvicinati (autocorrelazione temporale). Un'analisi più corretta avrebbe potuto applicare tecniche più raffinate di analisi di serie temporali, la cui complessità sarebbe risultata eccessiva per gli scopi di questa tesi. D'altra parte, appare ragionevole che la dipendenza tra anni ravvicinati nella nostra variabile di risposta sia scarsa, non avendo impiegato dati relativi a catture multiple dello stesso uccello. Una dipendenza tra anni successivi potrebbe quindi essere dovuta, per esempio, ad effetti di "memoria fisiologica", per cui gli stimoli ambientali ricevuti nel corso di un anno influenzino il comportamento riproduttivo nell'anno successivo. Questa ipotesi non appare molto probabile, anche perché un forte effetto di questo tipo sarebbe poco efficace dal punto di vista adattativo.

Un'altra possibile fonte di autocorrelazione temporale nella nostra risposta è la selezione naturale, per cui gli individui che si riproducono in un dato anno tendono ad essere discendenti di quelli con il *timing* riproduttivo, geneticamente determinato, che ha avuto maggior successo negli anni immediatamente precedenti. Un effetto del genere è probabilmente in azione nelle popolazioni che abbiamo studiato, ma un'interpretazione di questo tipo non ridurrebbe il significato generale delle nostre osservazioni.

## 6. Bibliografia

1. Agrawal, A. (2011). Effect of Global Warming on Climate Change, Flora and Fauna. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 11(3-4), 161–174
2. Both, C. and te Marvelde, L. (2007). Climate change and timing of avian breeding and migration throughout Europe. *Climate Research*. 35. 93-105. 10.3354/cr00716.
3. Lawrence, K. B., Barlow, C. R., Bensusan, K., Perez, C., and Willis, S. G. (2022). Phenological trends in the pre- and post-breeding migration of long-distance migratory birds. *Global Change Biology*, 28, 375– 389.
4. Romano, A., Garamszegi, L., Z., Rubolini, D. and Ambrosini, R. (2023). Temporal Shifts in Avian Phenology across the Circannual Cycle in a Rapidly Changing Climate: A Global Meta-Analysis. *Ecological Monographs* 93(1): e1552.

5. Jones, R.E. (1971) The incubation patch of birds. *Biological Reviews* 46, 315–339.
6. Svensson, L., Mullaney, K. and Zetterstrom, D. (1999). Guida agli uccelli d'Europa, Nord Africa e Vicino Oriente, Harper Collins Editore, Regno Unito.
7. Bibby C. J. and Thomas D. K. (1984). Sexual dimorphism in size, moult and movements of Cetti's Warbler *Cettia cetti* , *Bird Study*, 31:1, 28-34, DOI: 10.1080/00063658409476811
8. Tasinazzo, S. (1993). Breeding ecology of Cetti's warbler (*Cettia cetti*, Aves) in northeastern Italy, *Italian Journal of Zoology*, 60:2, 185-192, DOI: 10.1080/11250009309355808
9. Cramp, S. (ed) (1992). *The Birds of the Western Palearctic. Volume VI.* Oxford University Press, Oxford.
10. McLean, N., Kruuk, L. E. B., van der Jeugd, H. P., Leechf, D., C. A. M. van Turnhoutg, C. A. M. and van de Pola, M. (2022) Warming temperatures drive at least half of the magnitude of long-term trait changes in European birds, *PNAS*  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2105416119>