UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

**DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

**Corso di Laurea**
**Scienze Ambientali e Protezione Civile**

# L'ETEROGENEITÀ SPAZIALE E TEMPORALE NEI CAMBIAMENTI CLIMATICI LIMITA LE CAPACITÀ DI DISPERSIONE E IL POTENZIALE DI ADATTAMENTO DELLE SPECIE

# SPATIAL AND TEMPORAL HETEROGENEITY IN CLIMATE CHANGE LIMITS SPECIES' DISPERSAL CAPABILITIES AND ADAPTIVE POTENTIAL

Tesi di Laurea di:

Pagoni Katherina

Docente Referente
Chiar.mo Prof.

Gambi Cristina

**Sessione _Autunnale (Ottobre 2026) _**

**Anno Accademico _2025/2026_**

# Abstract

1. Introduzione: la rapida evoluzione dei cambiamenti climatici

2. Gli effetti del cambiamento climatico sulle specie

3. Studio del rapido adattamento di alcune specie

4. Salvataggio evolutivo tramite la dispersione e la variazione intra-specifica dei geni

5. Discussione: necessità di studi approfonditi sulla distribuzione dei regimi asincroni

6. Conclusioni: realizzare azioni efficaci per la salvaguardia delle specie

# Introduzione

I regimi asincroni sono fenomeni, transizioni o schemi di variazione climatica che non avvengono contemporaneamente rispetto alla media nello spazio o nel tempo. Le varie parti del sistema climatico ad esempio hanno tempi di risposta differenti, che possono portare di conseguenza a danni in un ecosistema.

La velocità, con cui sta avvenendo il cambiamento climatico, aumenta sempre di più e gli animali non riescono a rimanere al passo con questo fenomeno, considerando anche le difficoltà che creano gli andamenti asincroni, legati al variare delle stagioni climatiche. Per esempio il ridursi temporale delle stagioni intermedie, le estati sempre più lunghe e torride e l'aumento di eventi estremi, come nubifragi, grandine e altri fenomeni meteorologici eccezionali.

È importante studiare questi elementi e i loro effetti sulla natura, anche per la creazione di modelli predittivi sui nuovi danni che potrebbe portare il cambiamento climatico al nostro pianeta.

Le specie usate come esempi, hanno tutte avuto una risposta a livello fenologico o fenotipico ai regimi asincroni legati al clima, per adattarsi e sopravvivere.

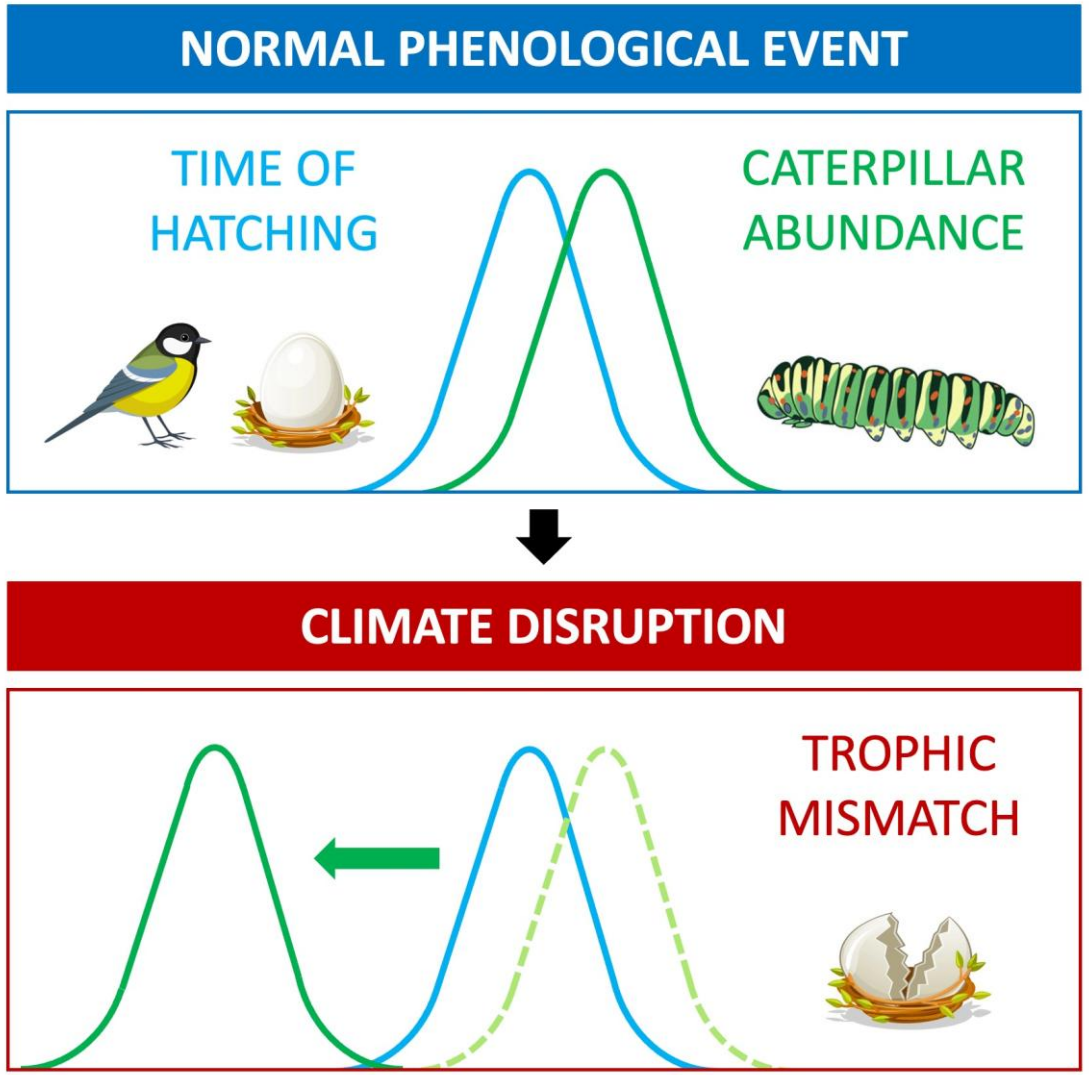



*Fig.1 Mismatch tra il picco dei bruchi e la nascita dei pulli di cinciallegra*

# Gli effetti dei regimi asincroni del cambiamento climatico

Nei modelli previsionali legati al clima gli effetti dei regimi asincroni, ovvero l'aumento della probabilità che avvenga un fenomeno estremo o il variare della sincronia delle stagioni tradizionali, non sono stati ancora implementati, dato che ad esempio, per le temperature, si utilizza solo una media annuale.

Gli effetti asincroni causano principalmente disallineamento nelle dinamiche delle popolazioni, creando così un effetto a catena che si trasferisce anche agli altri livelli trofici.

# Primavere più calde portano ad effetti negativi nel ciclo di riproduzione delle cinciallegre

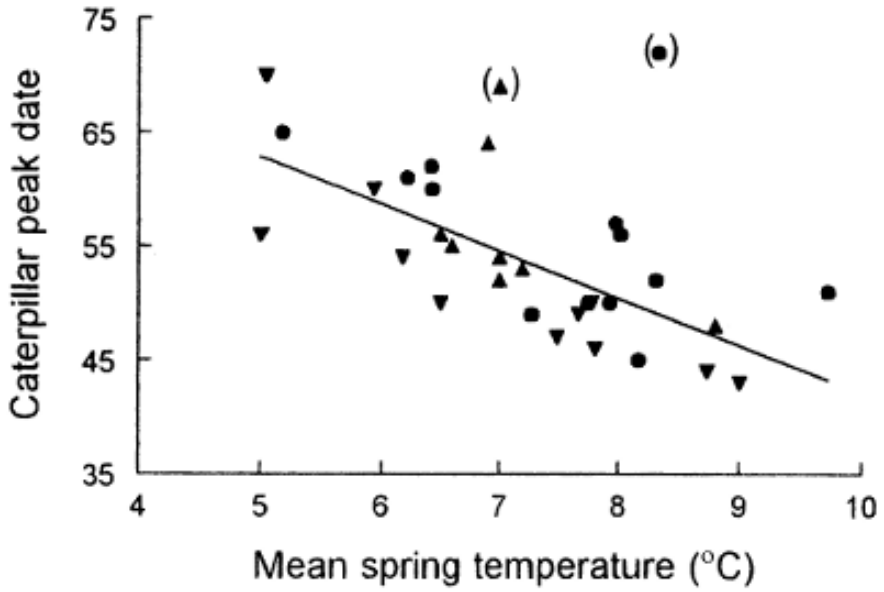



Fig.2 Grafico in cui l'asse Y mostra la data di picco dei bruchi (1= 1° di aprile) e l'asse X mostra la temperatura media primaverile (calcolata dal 21 febbraio al 10 maggio). Sono 3 popolazioni di bruchi, il cerchio per la popolazione dal Hoge Veluwe, i triangoli verso l'alto per Vlieland e i triengoli al contrario per Oosterhout. I punti tra parentesi sono stati osservati quando vi era stato un danneggiamento delle foglie di quercia a causa del gelo.

Un esempio di questi effetti, che portano i cambiamenti climatici sulle specie, è la asincronicità che si crea, a causa di primavere più calde, nella riproduzione della cinciallegra (*Parus major*).
Il punto focale dove si crea il disequilibrio è quando vi è l'abbondanza di cibo e la nascita dei pulli.
Questa discrepanza parte dall'aumento delle temperature durante la primavera che porta al picco di biomassa dei bruchi della falena invernale (*Opheroptera brumata*) in questa stagione anticipando i tempi rispetto alla riproduzione della cinciallegra. Tutto ciò porta alla scarsità di sostanze nutritive per quando vi è la nascita dei pulli, causando quindi una possibile perdita della generazione.



*Fig.3 Parus major* - Monaco Nature Encyclopedia

## Primavere più calde portano ad effetti negativi nel ciclo di riproduzione delle cinciallegre

I fattori che provocano la diminuzione della popolazione delle cinciallegre sono anche, la quantità di risorse necessarie per produrre le uova e il raggiungimento dei predittori che portano alla decisione di dare l'inizio alla riproduzione.

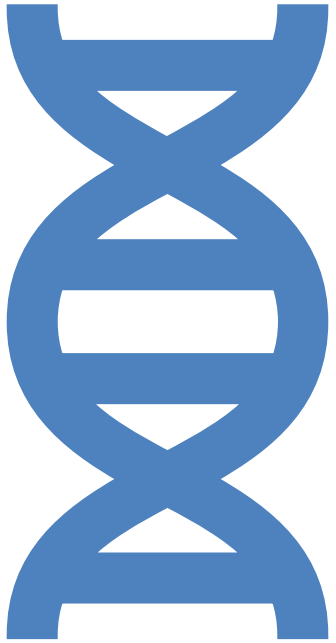
Gli effetti descritti sono stati osservati in una popolazione di cinciallegre in Olanda, usando 23 anni di dati (1973-1995).

Mentre un altro studio, fatto in Gran Bretagna su una diversa popolazione di cinciallegre dal 1970 al 1997, ha dimostrato, che questa specie, per adattarsi all'aumentare delle temperature e quindi all'anticipare del picco di biomassa di bruchi, ha iniziato a deporre le uova preventivamente, risincronizzando così la nascita dei pulli con la massima disponibilità di nutrimenti.

È ancora incerto il perché esista questa differenziazione tra le due popolazioni studiate, ma ciò sottolinea come gli effetti ecologici del cambiamento climatico non siano sempre uniformi e varino sia nel tempo che nello spazio.

# I regimi asincroni e la possibilità di un rapido adattamento

Il modo in cui si realizza una modifica nei geni e nei tratti fenotipici, può fortemente influenzare la risposta al cambiamento climatico di diverse popolazioni. È stato osservato in natura che esistono specie capaci di un rapido cambiamento a livello evolutivo e fenotipico per sopravvivere ad eventi climatici eccezionali come, ad esempio, ad inverni particolarmente freddi e tempestosi.



## Eventi estremi invernali portano a rapidi cambiamenti fenotipici negli anolidi della Carolina, sauri della famiglia Dactyloidae




Fig.6 Mappa delle città usate per il campionamento e lo studio

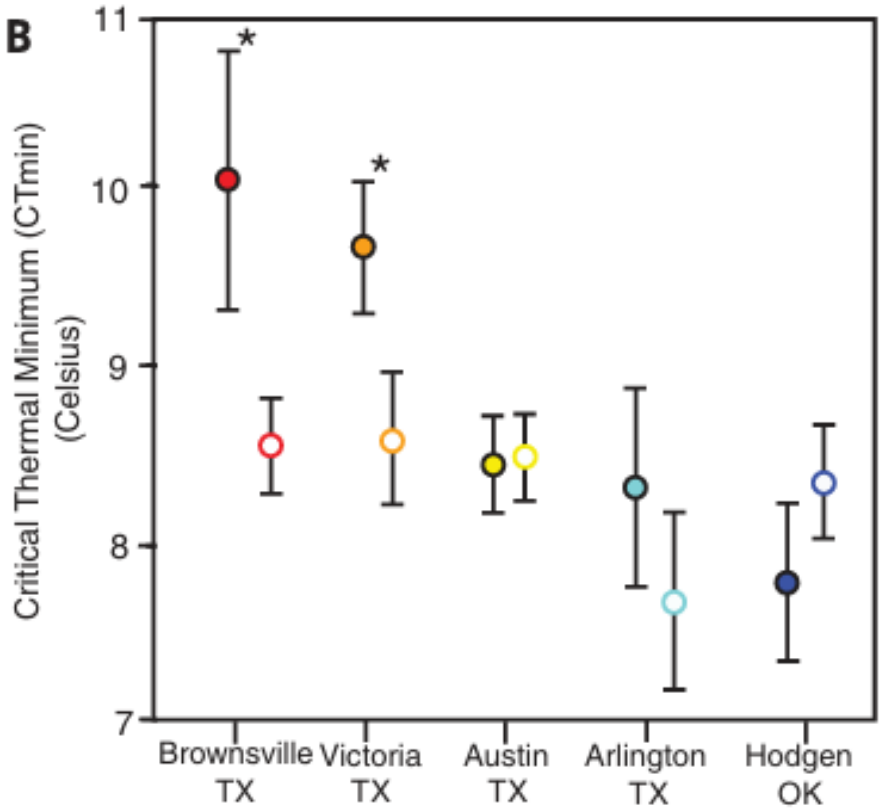
Un esempio di rapido cambiamento fenotipico è quello dell'anolide della Carolina (*Anolis carolinensis*). Lo studio che è stato fatto su questa specie ha preso in considerazione 5 siti di campionamento, il più a nord in Hodgen OK (Oklahoma) e il più a sud in Brownsville TX (Texas). Nei vari siti è stata misurata la temperatura minima critica per cui gli anolidi perdevano la coordinazione: la tolleranza al freddo in questa specie varia naturalmente con la latitudine. È stato quindi osservato che nel sito più a nord in Hodgen OK gli anolidi tolleravano fino a temperature intorno agli 8°C, mentre nel sito più a sud in Brownsville TX, la temperatura critica sopportabile era intorno ai 10°C .

# Eventi estremi invernali portano a rapidi cambiamenti fenotipici negli anolidi della Carolina.



Fig.5 Anolide della Carolina di Paul Hirst (Phirst)

Fig.4 Temperatura minima critica durante l'estati del 2013 e 2014. L'asterisco indica che la temperatura minima critica si è abbassata significativamente dopo l'evento di freddo estremo tra il 2013 e il 2014. I cerchi pieni indicano le temperature prima dell'evento, mentre i cerchi vuoti indicano le temperature critiche dopo l'evento.




Dopo un evento di freddo estremo, si è osservato come le temperature minime sopportabili, in particolare nei siti più a Sud, si siano abbassate drasticamente rispetto agli altri siti, arrivando a essere intorno agli 8,5°C. Questa tolleranza al freddo è ereditabile e adattabile in maniera locale nella specie osservata, perciò una forte pressione selettiva ha determinato una rapida risposta evolutiva di questo fenotipo.

Lo studio ha poi portato a supportare l'ipotesi che gli anolidi del Sud, che sono riusciti a sopravvivere all'inverno estremo, sono individui con fenotipi regolatori più simili a quelli delle lucertole del Nord che affrontano abitualmente inverni più rigidi a latitudini settentrionali. Gli esemplari più adatti successivamente, trasmettono le loro caratteristiche alle generazioni future.

# Regimi asincroni, dispersione e variazione intra-specifica nella resilienza climatica

La dispersione e il flusso dei geni, ovvero il trasferimento di materiale genetico da una popolazione all'altra, causato dallo spostamento di un individuo dal luogo di nascita a una nuova area possono favorire il salvataggio evolutivo, per cui gli alleli vantaggiosi presenti in una porzione dell'areale di una specie si diffondono in altre aree, arrestando o invertendo il declino delle popolazioni locali.

Vi sono due scenari principali dove è possibile fare un salvataggio evolutivo:

- il primo quando la persistenza della popolazione è compromessa da qualche improvviso cambiamento del ambiente, in questo caso devono essere presenti degli individui con delle varianti resistenti o che siano in grado di produrle rapidamente, così da sopravvivere ed evitare l'estinzione.

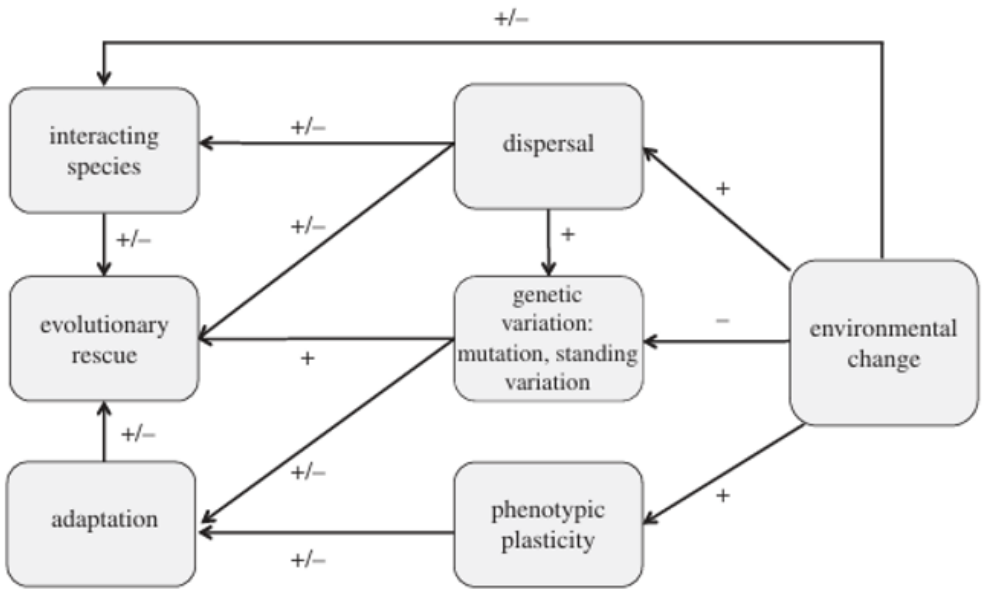



Fig.7 Uno schema semplificato dei fattori che influenzano il salvataggio evolutivo

- Il secondo scenario è quando vi è un evoluzione graduale, necessaria per tenere conto del lento ma progressivo cambiamento ambientale, come il fenomeno del riscaldamento globale. Nel caso in cui la popolazione non riesca a realizzare ciò, rischia l'estinzione.

Secondo un recente studio, negli ultimi 65 anni, il menhaden (*Brevoortia tyrannus*), un pesce marino che vive prevalentemente in varie zone del Golfo del Messico e della costa atlantica degli Stati Uniti e del Canada, si è rimpicciolito in media del 15%, per sopravvivere al riscaldamento delle acque marine.

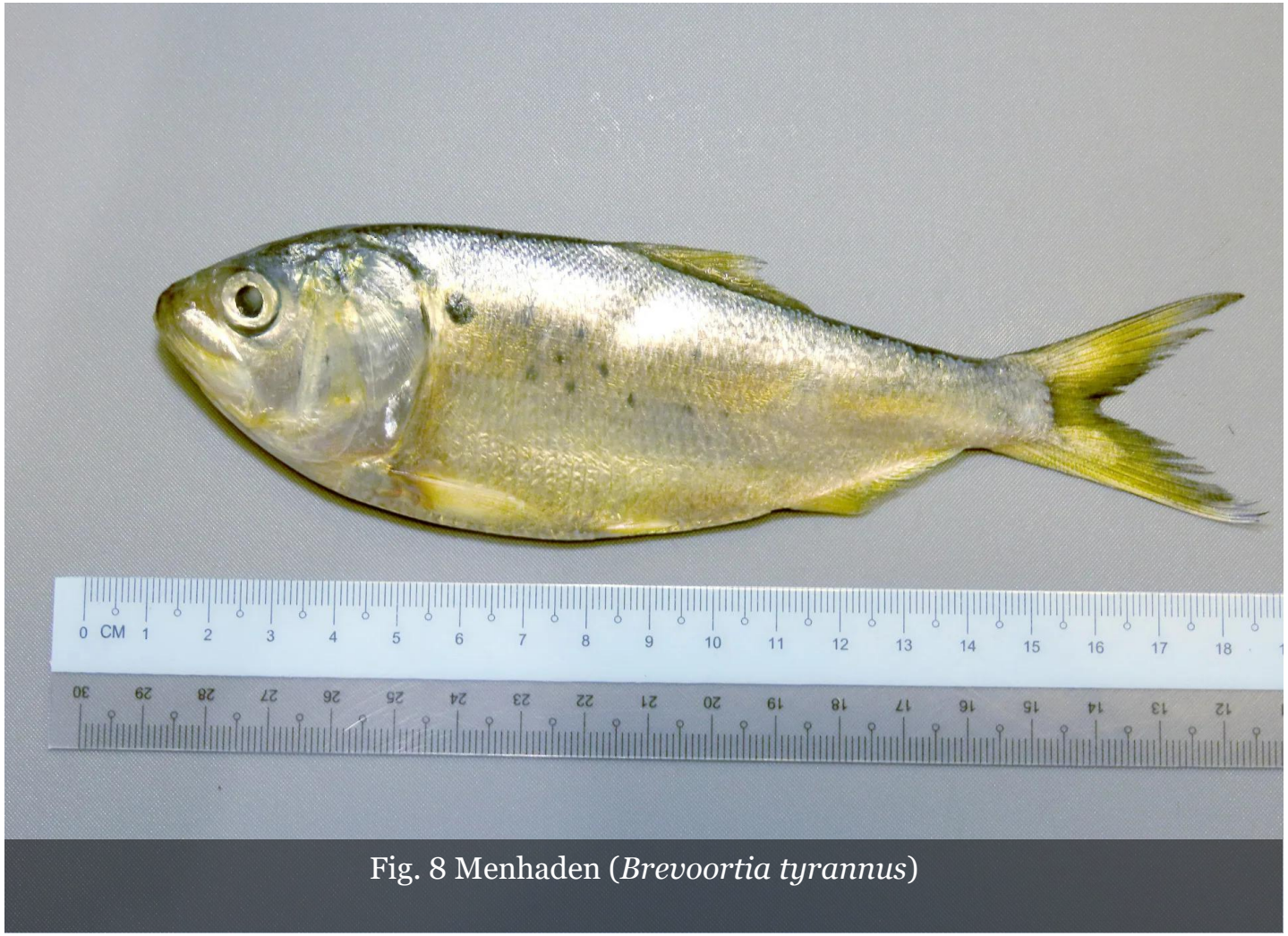



Fig. 8 Menhaden (*Brevoortia tyrannus*)

a)



b)



Fig. 9
a) Cigni di Bewick *(Cygnus columbianus bewickii)*
b) Oca zamperosee (*Anser brachyrhynchus*)

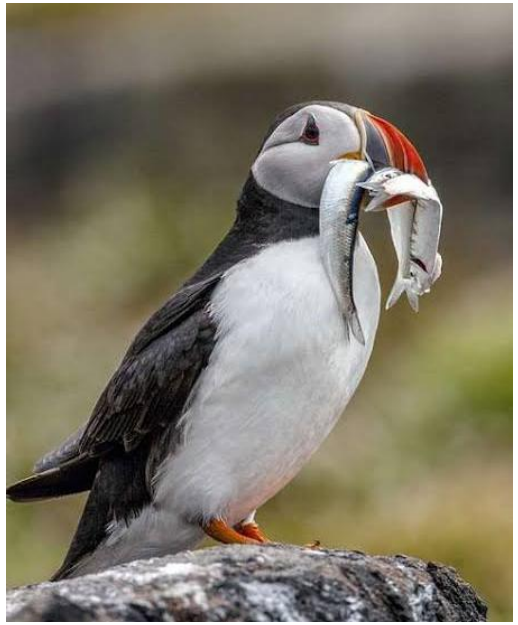
# Discussione

## La Distribuzione dei Regimi Asincroni

Specie che hanno una storia evolutiva con un'alta pressione selettiva (es. le specie artiche), per sincronizzare al meglio i propri eventi fenologici al clima, possono essere particolarmente sensibili anche a relative piccole variazioni di temperatura. La migrazione delle oche zamperosee (*Anser brachyrhynchus*) dai Paesi Bassi all'Artico e la migrazione dei cigni di Bewick *(Cygnus columbianus bewickii)* che attualmente risultano essere anticipate, partendo dall'Europa verso le loro aree di nidificazione artiche, sono entrambe due significativi esempi di questo fenomeno. La partenza precoce verso i siti di nidificazione potrebbe essere vantaggiosa dato che le caratteristiche fenologiche dei luoghi di approdo nell'area Baltica stanno variando. Per le oche zamperosee, è stato scientificamente dimostrato che l'arrivo della primavera nei loro siti di sosta, influisce sui tempi ottimali di partenza, evidenziando la necessità di considerare l'intera tratta migratoria per prevedere future variazioni nella loro fenologia.

# La Distribuzione dei Regimi Asincroni

c)



Similmente, il periodo riproduttivo delle pulcinelle di mare *(Fratercula arctica*) è correlato con la tempistica della abbondanza delle aringhe (*Clupea harengus*) che sono in migrazione verso nord, lungo la costa norvegese. In questo caso però non abbiamo abbastanza dati per effettuare un confronto tra gli spostamenti fenologici di uccelli e prede.

d)



Un differente esempio, in cui l'anticipo delle date di arrivo di un migratore a lungo raggio, non risulta essere esistente, pur prendendo a riferimento la trasformazione della fenologia delle risorse alimentari, è quello della balia nera (*Ficedula hypoleuca*) nei Paesi Bassi. Sebbene si registri un netto anticipo nella fenologia della loro preda principale nei siti di nidificazione, gli uccelli non arrivano prima. È interessante notare però che questi volatili abbiano comunque anticipato la data di deposizione delle uova, riducendo l'intervallo tra l'arrivo e la riproduzione. Attualmente tale intervallo si è ridotto a pochi giorni, rendendo impossibile un ulteriore anticipo della riproduzione senza un arrivo più precoce.

fig. 10 c) Pulcinella di mare *(Fratercula arctica*) d) Balia nera (*Ficedula hypoleuca*)

# Conclusioni



Dobbiamo lavorare per comprendere meglio entrambi i principi, spaziali e temporali, in cui il clima può variare e come questo può impattare sulle specie e sulle loro risposte. Non possiamo considerare il cambiamento climatico come un processo lineare basato solo sulla temperatura, ma considerare anche l'avvenimento di eventi meteo estremi, e le modifiche delle interazioni preda predatore e delle catene trofiche presenti in un ecosistema. La tutela dell'ambiente e della biodiversità garantisce una maggiore possibilità di adattamento e resilienza.

L'avvenimento di eventi estremi e gli effetti asincroni del cambiamento climatico, saranno sempre più ricorrenti e pericolosi, non solo per la flora e la fauna di questo pianeta, ma anche per noi esseri umani. È importante considerare che tutti questi fenomeni che impattano sulle diverse specie, essendo esse collegate tra loro, creino un effetto a catena, o un effetto farfalla.

L'importanza di queste repentine mutazioni trofiche nel loro complesso, necessita perciò di una maggiore attenzione e studio per preservare la biodiversità del nostro pianeta.

# Bibliografia

-Campbell-Staton et al. 2017, Winter storms drive rapid phenotypic, regulatory and genetic shifts in the green anole lizard

-Gonzalez, A. et al. 2013. Evolutionary rescue: an emerging focus at the intersection between ecology and evolution.

-Turner R Eugene. Smaller size-at-age menhaden with coastal warming and fishing intensity. *Geo: Geography and Environment*. 2017, 4(2): e00044

-Visser, M. E. and Both, C. 2005. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick

-Visser et al 1998, Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits