

SINFONIA INCOMPIUTA

Ovvero migrazione ed estinzione

& cosa ci dice la Scienza?

Ovvero il transformer



Mi scuso fin da ora per la pessima traduzione ma chi armato di pazienza e non d'inutile saccenza capirà lo sforzo nella volontà della dovuta conoscenza. La manifesta volontà di capire e altresì meglio comprendere in Ragione della Verità detta circa l'incompiuta Sinfonia ed Armonia che sta, altresì condizionando l'uomo 'oggetto-soggetto-oggettivato' nel duplice ruolo di ricerca ma anche di dovuta appartenenza, l'intero Creato o Sinfonia presieduta, nonché, come presto leggeremo, rilevata nonché rivelata nei dettagli in cui un 'fenomeno' persistendo qual 'nota' fuori dal 'dovuto spartito' (tralasciando alcune sonorità affini al jazz ma coerenti nel contesto della musica...) producano quella relativa dissonanza o stonatura aliena al fraseggio così come oltre la musica la originaria 'lingua' e con essa il 'mito'...

Rivelare la Verità prossima alla catastrofe di cui il 'puntinato' detto scritto nella dovuta grammatica della conoscenza potrebbe essere irrimediabilmente scritto nei geni della dovuta e successiva globale appartenenza.

Nonché antropologica appartenenza.

Eppure indagando il mito l'urlo ho udito!

Eppure indagando ogni nuvola anche senza l'ausilio della Nobile Scienza ho capito, là ove simmetria ed unione con lo Spirito e l'Anima della Universo che vi alberga...

Il lamento dell'intera Terra...

E non solo dello Straniero vittima della violenza...

Giacché tutti Stranieri nella totalità di questa guerra...



Le risposte biologiche ai cambiamenti climatici sono state ampiamente documentate nei 'taxa' e nelle regioni, ma non è chiaro se le specie stiano mantenendo una buona corrispondenza tra fenotipo e ambiente, ovvero se i cambiamenti dei tratti osservati siano adattativi.

Qui abbiamo esaminato 10.090 'abstract' e dati estratti da 71 studi riportati in 58 pubblicazioni pertinenti, per valutare quantitativamente se i cambiamenti del tratto fenotipico associati ai cambiamenti climatici sono adattativi negli animali. Una meta-analisi incentrata sugli uccelli, il 'taxon' meglio rappresentato nel nostro set di dati, suggerisce che il riscaldamento globale non ha sistematicamente influenzato i tratti morfologici, ma presenta tratti fenologici avanzati. Dimostriamo che questi progressi sono adattativi per alcune specie, ma imperfetti come evidenziato dalla selezione coerente osservata per i tempi precedenti. L'applicazione di un modello teorico indica che il carico evolutivo imposto da risposte adattive incomplete ai cambiamenti climatici in corso potrebbe già minacciare la persistenza delle specie.

I cambiamenti climatici possono ridurre la vitalità delle specie e la perdita di biodiversità associata e può influire sulle funzioni e sui servizi dell'ecosistema.

Perdite di forma fisica (cioè riduzioni della sopravvivenza o dei tassi riproduttivi) possono essere

mitigate, tuttavia, se le popolazioni rispondono in modo adattivo subendo cambiamenti morfologici, fisiologici o comportamentali che mantengono una corrispondenza adeguata - o almeno riducono l'entità della mancata corrispondenza - tra fenotipo e ambiente. Tali cambiamenti fenotipici adattativi - che noi chiamiamo 'risposta adattativa' (ai cambiamenti climatici) - si verificano attraverso la plasticità fenotipica, la microevoluzione o una combinazione di entrambi e possono verificarsi in parallelo con gli spostamenti geografici. Quantificare le risposte adattive o dimostrare la loro assenza nonostante la selezione direzionale, è importante in un contesto di conservazione della biodiversità per prevedere le abbondanze o le distribuzioni delle specie e per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità sviluppando strategie su misura per l'ecologia delle specie.

Gli studi longitudinali sulle popolazioni selvatiche offrono l'opportunità di determinare se i cambiamenti fenotipici sono adattativi. Un cambiamento fenotipico si qualifica come una risposta adattativa ai cambiamenti climatici se vengono soddisfatte tre condizioni: (1) un fattore climatico cambia nel tempo, (2) questo fattore climatico influenza un tratto fenotipico di una specie e (3) il cambiamento di tratto corrispondente conferisce idoneità benefici. Queste condizioni sono generalmente valutate nell'isolamento e quindi la maggior parte degli studi può solo ipotizzare se si siano verificate risposte adattive. Qui, abbiamo estratto i dati da molti studi pubblicati per valutare queste tre condizioni negli animali viventi e quindi determinare se i cambiamenti fenotipici osservati sono adattativi.

Numerosi studi riportano dati che soddisfano le prime due condizioni. In particolare, gli aumenti di temperatura in più posizioni negli ultimi decenni sono ben documentati (ovvero il riscaldamento globale). Allo stesso modo, gli effetti del cambiamento climatico su diversi tratti sono ben caratterizzati. Ad esempio, la

tempistica degli eventi biologici, come la riproduzione o la migrazione (di seguito ‘tratti fenologici’), è generalmente avanzata su più ‘taxa’ e posizioni. I ‘tratti morfologici’, come la dimensione corporea o la massa, hanno anche risposto ai cambiamenti climatici, ma non mostrano alcun modello sistematico generale.

Una sfida sostanziale per testare la terza condizione è che i dati debbano essere raccolti su più generazioni in singole popolazioni. Set di dati esistenti che assemblano dati sulla variazione del tratto o sulla selezione tra i ‘taxa’, anche se preziosi, non sono adatti per testare se le modifiche al tratto fenotipico sono adattive, perché questi due tipi di set di dati raramente si sovrappongono in termini di specie, tratti, luogo di studio e periodo di studio. Di recente, due ricercatori, hanno assemblato un set di dati globale che combina i fattori climatici e la selezione nelle specie e ha mostrato che le precipitazioni, anziché la temperatura, hanno spiegato la maggior parte delle variazioni nella selezione. Tuttavia, né la loro analisi né uno studio di follow-up hanno valutato se le risposte fenotipiche al clima fossero adattive perché l’insieme di dati assemblato non contiene dati sulle modifiche dei tratti.

Abbiamo condotto una ricerca sistematica nella ‘letteratura scientifica’ per mettere insieme i dati necessari per valutare se i cambiamenti di tratto in risposta ai cambiamenti climatici sono adattativi tra le specie animali in tutto il mondo. Abbiamo studiato principalmente le risposte fenotipiche degli uccelli, poiché i dati completi su altri ‘taxa’ erano scarsi. Quindi dimostriamo che l’avanzamento della fenologia è adattivo in alcune specie di uccelli, ma questa risposta non è universale. Inoltre, la modellizzazione suggerisce che anche le specie di uccelli che rispondono in modo adattivo ai cambiamenti climatici potrebbero adattarsi troppo lentamente per poter persistere a lungo termine.

La nostra ricerca nella 'letteratura scientifica' si è concentrata su studi che hanno studiato il modo in cui i cambiamenti di temperatura, le precipitazioni, o entrambi, influenzano i tratti morfologici o fenologici di aracnidi, insetti, anfibi, rettili, uccelli o mammiferi. Per valutare tutte e tre le condizioni necessarie per inferire le risposte adattative ai cambiamenti climatici, abbiamo selezionato pubblicazioni che riportano i seguenti dati delle popolazioni naturali durante almeno 6 anni: (1) valori annuali di una variabile climatica, (2) media annuale valori (+ SE) di un tratto fenotipico a livello di popolazione e (3) differenziali di selezione lineare annuale misurati sui tratti. I differenziali di selezione lineari annuali sono stati misurati come pendenza della forma fisica relativa su valori di tratto standardizzati e riportati per almeno una delle tre componenti di forma fisica: sopravvivenza adulta, riproduzione (misurata come numero di prole) o reclutamento (misurato come numero di prole che contribuisce alla dimensione della popolazione l'anno successivo).

Una ricerca ha analizzato 10.090 pubblicazioni, di cui 58 selezionate. Queste pubblicazioni hanno riportato dati su 4835 studi (che rappresentano 1413 specie non acquatiche in 23 paesi) che contenevano informazioni sulle risposte fenotipiche ai cambiamenti climatici. Di questi 4835 studi, un sottogruppo di 71 studi (che rappresentano 17 specie in 13 paesi) conteneva tutte le informazioni necessarie per valutare se le risposte fossero adattive (compresi i differenziali di selezione, i metodi). Abbiamo archiviato informazioni sui 4835 studi nel set di dati 'PRC' e informazioni sul sottoinsieme dei 71 studi nel set di dati 'RPC con dati di selezione' (PRCS). Abbiamo usato il set di dati della RPC per valutare quanto fosse rappresentativo il sottoinsieme della RPC rispetto a (1) la variazione osservata dei fattori climatici nel tempo e (2) alla variazione dei tratti fenotipici in risposta a fattori climatici. Definiamo uno 'studio' come un set di dati che soddisfa i nostri criteri di selezione per una combinazione unica di specie,

posizione, fattore climatico, tratto fenotipico e componente di fitness. Abbiamo avuto più studi che pubblicazioni perché alcune pubblicazioni hanno riportato dati per diverse specie, diversi fattori climatici e / o diversi tratti fenotipici.

Gli studi in entrambi i set di dati sono stati condotti prevalentemente nell'emisfero settentrionale. Il set di dati della RPC era pesantemente distorto verso gli artropodi (88% degli studi), con altri 'taxa' che costituivano solo una piccola parte delle specie studiate. Al contrario, il set di dati del PRCS era fortemente distorto verso gli uccelli (95%). Non abbiamo trovato studi per insetti e anfibi che hanno riportato dati sulla selezione annuale e soddisfatto tutti gli altri criteri di inclusione. Tra le variabili climatiche utilizzate, la temperatura ha dominato entrambi i set di dati; pertanto, ci siamo concentrati sugli effetti delle variazioni di temperatura nel testo principale. La maggior parte degli studi si è concentrata su tratti fenologici (piuttosto che morfologici), con questo pregiudizio meno pronunciato per il set di dati PRCS. La durata mediana di uno studio è stata di 29 anni nel set di dati del PRCS e 24 anni nel set di dati del PRC.

In generale, ci aspettavamo che le temperature di riscaldamento fossero associate a un progresso degli eventi fenologici, poiché la maggior parte degli studi sulla fenologia nel nostro set di dati della RPC rappresentava eventi di inizio stagione (primavera) nell'emisfero settentrionale, e tali eventi avevano precedentemente dimostrato di avanzare principalmente con temperature di riscaldamento. Abbiamo definito un cambiamento di tratto come adattativo in risposta al clima se il cambiamento di fenotipo determinato dal clima si è verificato nella stessa direzione della selezione lineare. Ad esempio, con un aumento della temperatura nel corso degli anni, il tempo di riproduzione si verifica progressivamente prima, con una riproduzione precedente che conferisce maggiore fitness. **Al contrario,**

se il tratto cambiava nella direzione opposta alla selezione (ad es. Riproduzione successiva, nonostante fosse favorita la riproduzione precedente), la risposta veniva considerata disadattata. Le risposte adattative rilevate potrebbero essere dovute a microevoluzione, plasticità fenotipica o entrambe. Dato che abbiamo utilizzato differenziali di selezione misurati a livello fenotipico, non siamo riusciti a differenziare tra queste fonti.

Abbiamo condotto analisi separate per i set di dati PRCS e PRC e, all'interno di ciascuno di essi, per temperatura e precipitazioni. Abbiamo prima quantificato le tre condizioni necessarie per inferire le risposte adattative per ogni studio. Abbiamo valutato la **condizione 1** (cambiamento climatico negli anni) con 'modello 1'. Questo modello lineare a effetti misti ha predetto i valori annuali della variabile climatica usando l'anno (modellato come variabile quantitativa), stimando così l'inclinazione del clima negli anni per ogni studio. Abbiamo valutato la **condizione 2** (cambiamento dei tratti fenotipici con la variabile climatica) con 'modello 2'. Questo modello lineare a effetti misti ha predetto i valori medi annuali standardizzati dei tratti della popolazione usando la variabile climatica (temperatura o precipitazione, modellata come variabile quantitativa), stimando in tal modo la pendenza dei tratti sul clima per ogni studio. Questo modello includeva anche l'anno come variabile quantitativa per tenere conto degli effetti degli anni sui tratti fenotipici non mediati dal clima. Abbiamo valutato la **condizione 3** (i cambiamenti del tratto guidato dal clima sono associati a benefici per la forma fisica) in una procedura in due fasi. Innanzitutto, abbiamo inserito il **modello 3**, un modello lineare a effetti misti che prevedeva i differenziali di selezione lineari annuali (ponderati dall'inverso delle loro varianze) con un'intercetta, stimando in tal modo la media ponderata dei differenziali di selezione annuali (WMSD) per ogni studio. In secondo luogo, abbiamo tracciato il WMSD ottenuto in funzione del cambiamento del tratto

guidato dal clima nel tempo, calcolato come prodotto delle pendenze dalle condizioni 1 e 2, ovvero da β tempi climatici β Trait. In questo quadro, un cambiamento di tratto si qualifica come una risposta adattativa se sia WMSD che il cambiamento di tratto nel tempo hanno lo stesso segno. Se i loro segni differiscono, il cambiamento di tratto è disadattivo. Abbiamo anche modificato il modello 3 usando l'anno come predittore (quantitativo) ad effetto fisso per valutare un potenziale cambiamento direzionale nella selezione nel corso degli anni (metodi).

Poiché le misure delle risposte fenologiche sono sensibili ai pregiudizi metodologici, in particolare alle tendenze temporali nell'abbondanza di specie, abbiamo anche modificato una versione estesa del modello 2 includendo inoltre l'abbondanza sia come variabile esplicativa ad effetto fisso sia come variabile esplicativa per varianza residua (metodi). Questo modello è stato adattato a un sottoinsieme di studi per i quali abbiamo potuto estrarre dati sull'abbondanza. In tutti i modelli, abbiamo considerato l'autocorrelazione temporale del primo ordine (se ciò aumentava la potenza predittiva del modello adattato) e quindi consideravamo anche l'anno (modellato come una variabile qualitativa) come un effetto casuale.

Abbiamo quindi eseguito tre meta-analisi per ottenere (1) la pendenza media del clima negli anni attraverso gli studi, (2) la pendenza media dei tratti sul clima tra gli studi e (3) la WMSD tra gli studi. Lo scopo di queste meta-analisi è quello di fornire tali valori medi tenendo conto dell'incertezza associata a ciascuna stima e dell'eterogeneità derivante dalla variazione nella progettazione dello studio. Tutte e tre le meta-analisi sono state eseguite utilizzando modelli a effetti misti (metodi). Abbiamo inoltre modificato questi modelli per valutare se le relazioni rilevate dipendessero da 'taxon', tipo di misura morfologica, tipo di misura fenologica, endotermia, componente di fitness utilizzata per misurare la selezione e la lunghezza della generazione

(metodi). Infine, abbiamo confrontato la proporzione di studi che mostravano risposte adattative (cioè lo stesso segno di WMSD e cambiamento del tratto guidato dal clima nel tempo) con la proporzione di studi che mostravano risposte disadattive (ovvero WMSD e cambiamento del tratto nel tempo differiscono nel loro segno) con un test binomiale (metodi). Abbiamo anche effettuato una meta-analisi del prodotto tra WMSD e il segno del cambiamento del tratto guidato dal clima nel tempo usando un modello a effetti misti (Metodi).

In linea con il recente aumento della temperatura globale, la temperatura è aumentata negli studi di $0,040 \pm 0,007^\circ \text{C}$ (media \pm SE) all'anno secondo il set di dati PRCS. Questi tassi sono leggermente più alti di quelli osservati nelle recenti meta-analisi che, analogamente al nostro studio, sono distorte verso i dati provenienti dalle latitudini settentrionali (intervallo $0,03\text{-}0,05^\circ \text{C}$ all'anno). Una possibile spiegazione di questa discrepanza è che i tassi di riscaldamento sono più alti nelle recenti serie temporali.

Per i tratti fenologici, la selezione negativa che favorisce la fenologia in avanzamento osservata nel contesto della temperatura di riscaldamento suggerisce risposte adattive. Di conseguenza, in 23 studi su 38, la fenologia è progredita nel tempo all'aumentare della temperatura e allo stesso tempo la selezione negativa stava agendo sulla fenologia, suggerendo risposte adattative. Un test binomiale ha rivelato una tendenza per le risposte fenologiche ad essere più frequentemente adattative rispetto a quelle disadattive. La meta-analisi ha confermato la direzione di questo effetto, sebbene non raggiunga la significatività, probabilmente a causa dell'elevata eterogeneità tra gli studi. Per i tratti morfologici, che non sono cambiati molto nel tempo in risposta al clima, la proporzione di risposte adattative e disadattive non differiva.

Per valutare le implicazioni per la persistenza da parte della popolazione della selezione che agisce sulla fenologia attraverso gli studi, abbiamo usato il modello ‘mobile ottimale’ di Bürger e Lynch. Questo modello, che assume un fenotipo ottimale che cambia linearmente nel tempo a causa di cambiamenti ambientali, prevede che il ritardo tra la popolazione effettiva significhi fenotipo e l’ottimale dovrebbe eventualmente diventare costante se la popolazione segue l’ottimale mobile tramite microevoluzione. Questa previsione sembra valida nelle nostre popolazioni poiché (1) i cambiamenti climatici sono ben approssimati da una tendenza lineare e (2) la selezione è diversa da zero e costante nel tempo attraverso gli studi, come indicato dalla mancanza di una tendenza temporale in differenziali di selezione lineari annuali. Il modello Bürger e Lynch può essere utilizzato per valutare il ritardo critico dietro all’ottimale, che rappresenta la situazione in cui la popolazione si sostituisce da sola. Il confronto tra il ritardo effettivo e il ritardo critico fornisce informazioni sulla persistenza attesa delle popolazioni:

Se il ritardo effettivo è maggiore del ritardo critico, il tasso di crescita della popolazione è inferiore a 1, il che significa un notevole rischio di estinzione; in caso contrario, si presume che le popolazioni abbiano un rischio di estinzione trascurabile.

La stima dei ritardi sia effettivi che critici richiede diverse stime di parametri, che non abbiamo potuto recuperare dalle pubblicazioni dietro i nostri dati (metodi).

Tuttavia, la nostra analisi numerica di un ampio spazio di parametri mostra che la differenza tra i ritardi effettivi e critici è principalmente influenzata da due parametri: β , la forza della selezione direzionale, per la quale abbiamo usato i valori assoluti delle nostre stime WMSD per ogni studio, e ω^2 , la larghezza della funzione fitness, per la quale non avevamo stime

specifiche per lo studio. Abbiamo quindi applicato il modello Bürger e Lynch 35 utilizzando i valori di ω 2 pubblicati per altre specie 37 insieme alle stime β specifiche dello studio (valori assoluti di WMSD) e...

Abbiamo mostrato che per le popolazioni di 9 su 13 specie di studio, il ritardo effettivo supera il ritardo critico quando si considerano valori elevati di ω 2. Inoltre, la probabilità che nessuna delle specie in studio sia a rischio ($\lambda < 1$) è praticamente zero.

Ad oggi, la maggior parte degli studi globali su più specie che valutano le risposte degli animali ai cambiamenti climatici si sono concentrati sui cambiamenti negli intervalli di distribuzione, mentre le risposte fenotipiche e la misura in cui possono essere adattive rimangono poco studiate. Inoltre, i modelli comunemente usati per prevedere la distribuzione delle specie e la vitalità della popolazione sotto i cambiamenti climatici di solito non incorporano il potenziale di adattamento delle specie, spesso perché non sono disponibili dati appropriati per parametrizzare i modelli basati sui processi.

Il nostro studio offre quindi un contributo importante concentrandosi sulla dimensione temporale delle risposte delle specie ai cambiamenti degli ambienti.

Dimostriamo che alcune specie di uccelli analizzate qui sembrano rispondere alle temperature di riscaldamento attraverso l'avanzamento adattativo della loro fenologia, sottolineando la possibilità che le specie rintracciano le loro nicchie termiche in situ, che possono verificarsi con o senza spostamenti nelle gamme geografiche. Tuttavia, non abbiamo trovato prove di cambiamenti adattativi in tutte le specie e anche le popolazioni che subiscono cambiamenti adattativi potrebbero farlo a un ritmo che non garantisce la loro persistenza.

Le nostre scoperte di risposte fenologiche adattive al riscaldamento globale in alcune specie di uccelli, riportate qui, non dovrebbero essere interpretate in modo troppo ottimistico.

In effetti, un adattamento perfetto non implicherebbe alcuna selezione e la significativa selezione direzionale osservata attraverso gli studi indica quindi che le risposte adattive sono imperfette, supponendo che le stime di selezione non siano costantemente distorte.

Inoltre, la mancanza di una tendenza temporale nella forza della selezione significa che, sebbene le popolazioni non siano perfettamente adattate nella loro fenologia, non si stanno adattando più o meno nel corso del tempo man mano che le temperature continuano ad aumentare. Questo risultato suggerisce che stanno fenotipicamente seguendo un ottimo spostamento, in ritardo a un ritmo costante, come previsto da Bürger e Lynch 35 .

I nostri confronti tra ritardi effettivi e critici suggeriscono che esiste una probabilità bassa ma non trascurabile che il grado di disadattamento sia abbastanza grande da consentire alla maggior parte delle nostre popolazioni di studio di essere a rischio.

Il rischio effettivo di estinzione della popolazione potrebbe in effetti essere maggiore perché le nostre stime non tengono conto di diverse fonti di stocastica.

Inoltre, il nostro set di dati include prevalentemente specie comuni e abbondanti (ad esempio *Parus major* , *Cyanistes caeruleus* , *Ficedula hypoleuca* , *Pica pica*) per le quali la raccolta di dati di selezione è relativamente semplice. Resta da stabilire la generalità delle risposte fenologiche adattive tra specie rare o in via di estinzione, o quelle con diverse storie di vita.

Temiamo che le previsioni sulla persistenza della popolazione per tali specie siano più pessimistiche.

Per valutare la misura in cui gli animali sono in grado di monitorare i cambiamenti climatici, abbiamo qui utilizzato un approccio basato sui differenziali di selezione testando se la selezione nel tempo è significativa tra gli studi e se è allineata con la direzione del cambiamento fenotipico nel tempo. Esistono approcci alternativi, ad esempio, la velocità del cambiamento climatico può essere utilizzata per valutare il cambiamento fenologico atteso necessario per tenere traccia del cambiamento climatico. Questo approccio ha permesso agli autori di dimostrare che, in generale, si verificano cambiamenti fenologici più rapidi nelle regioni a più rapido cambiamento climatico. Sebbene sarebbe approfondito confrontare i risultati ottenuti con l'approccio qui adottato e quello basato sulla velocità del clima, ciò sarebbe possibile solo per tratti fenologici e non morfologici.

(Nature)