

Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente

STUDIO COMPORTAMENTALE SUGLI EFFETTI DELLE *HEATWAVES*
SULLA SOCIALITÀ IN *GROMPHADORHINA PORTENTOSA*

Relatore: Prof.ssa Clelia Gasparini

Laureando: Max Nardin, 2052694

Anno Accademico 2023/2024

Abstract

Climate change has led to a significant increase in global temperatures and a higher frequency of extreme events such as heatwaves. These phenomena have a substantial impact on biodiversity, affecting numerous animal species with both lethal and sublethal consequences. Heatwaves not only cause direct mortality in various species, such as coral bleaching and the death of vertebrates and invertebrates, but also produce sublethal effects that compromise essential biological aspects, including fertility, cognitive development, and social behavior. This study investigated the effects of simulated heatwaves on *Gromphadorhina portentosa*, a species of cockroach, to understand the impact of such events on body weight and social dynamics. Experimental groups, consisting of three males and three females, were exposed to a simulated heatwave treatment, while control groups were maintained under standard conditions. Individuals were monitored for five days before and after exposure to the treatment, using camera traps to record social and territorial interactions. Behaviors were coded using BORIS software. Exposure to heatwaves resulted in a significant reduction in body weight among treated individuals. Males experienced a greater loss of weight compared to females, suggesting a possible sex-specific vulnerability to thermal treatment. Pre-treatment behavioral analysis revealed that males more frequently occupied the dominant position above the refuge, an indicator of social hierarchy. However, post-treatment, this tendency was significantly reduced in the treated group, while it remained stable in the control group. Conversely, females showed a temporary increase in the use of elevated positions in the 24 hours following heatwave exposure, indicating an acute stress response. Despite the initial increase, female behavior returned to pre-treatment levels in the following days, suggesting a rapid adaptation to thermal exposure. Social hierarchy analysis showed that four groups out of eight demonstrated a correlation between horn size and dominant position, with males with larger horns tending to occupy higher positions. However, not all groups followed this trend, suggesting that other factors, such as individual experience or additional behavioral traits, might influence hierarchical dynamics. The observed variability between groups indicates the presence of alternative strategies in dominance competition, where horn size is not necessarily the predominant factor. The lack of a univocal relationship between horn size and aggressiveness underscores the need for a more thorough evaluation of social interactions under thermal stress conditions. The results indicate that heatwaves have significant effects on both metabolism and behavior, with differences between males and females in response to the treatment. Males experienced a more pronounced weight loss and a decrease in dominant position occupancy post-treatment, suggesting greater sensitivity to heat. Females, while not experiencing the same impact on weight, showed a transient but significant behavioral response

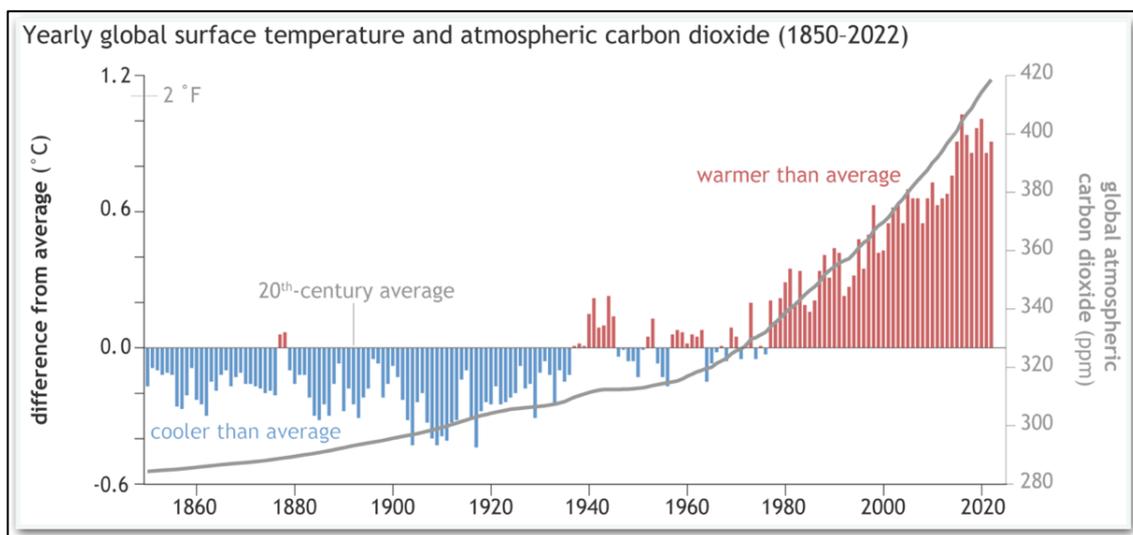
INDICE

Introduzione	1
1.1 Cambiamento climatico e Heatwaves	1
1.2 Heatwaves e mortalità	2
1.3 Heatwaves ed effetti subletali	3
1.4 Specie oggetto di studio: Gromphadorhina portentosa	4
1.5 Scopo dell'elaborato	7
Materiali e metodi	8
2.1 Stabulazione animali	8
2.2 Disegno sperimentale	8
2.3 Analisi della gerarchia e delle interazioni sociali	10
Risultati	11
3.1 Descrizione statistica del campione	11
3.2 Variazione di peso degli individui	11
3.3 Analisi comportamentali pre-trattamento	12
3.4 Effetti del trattamento sul comportamento	14
3.5 Effetti sulla gerarchia	16
Discussione	17
4.1 Variazione di peso	17
4.2 Analisi comportamentale pre-trattamento	17
4.3 Effetti del trattamento sul comportamento	18
4.4 Gerarchia	18
Conclusioni	19
Ringraziamenti	20
Bibliografia	21

Introduzione

1.1 Cambiamento climatico e Heatwaves

Il cambiamento climatico è un argomento di attualità che vede interessati ogni giorno più scienziati delle più disparate discipline in tutto il globo. Una delle principali preoccupazioni relative al cambiamento climatico è il riscaldamento globale. L'aumento della temperatura superficiale terrestre dal 1850-1900 al 2011-2020 ha mostrato un incremento compreso tra 0,8 e 1,3 °C, con una stima puntuale di 1,07 °C [1]. Questo aumento è stato principalmente causato dalle emissioni di gas a effetto serra derivanti dalle attività antropiche [2]. Ad esempio, la concentrazione di CO₂ ha raggiunto, nel marzo del 2024, il valore di 428,39 ppm [3] [Figura 1.1]. Al riscaldamento globale si



[Figura 1.1] Temperatura confrontata con la media del ventesimo secolo (barre rosse indicano anni più caldi, barre blu indicano anni più freddi) dal 1850 al 2022 e le quantità di biossido di carbonio atmosferico (linea grigia): dal 1850 al 1958 dall'IAC, Dr. Howard Diamond (NOAA ARL). Adattato da NOAA Climate.gov.

accompagna un notevole incremento di eventi meteorologici estremi come precipitazioni estreme e violente, cicloni extratropicali, cicloni tropicali, siccità e ondate di calore [4]. Gli effetti del cambiamento climatico hanno conseguenze più significative nelle regioni equatoriali a regime tropicale [5]. Queste infatti risultano essere più sensibili in termini di **1)** sbalzi di temperature, picchi possono essere letali in regioni già di per se molto calde; **2)** precipitazioni, in climi molto umidi, eventuali siccità possono essere letali per la maggior parte delle specie; **3)** fenomeni meteorologici estremi, essendo già soggette a cicloni tropicali e intense piogge, il cambiamento potrebbe influenzare la frequenza e l'intensità di questi eventi, causando possibili danni ad un ecosistema molto delicato come quello equatoriale/sub-equatoriale.

Le *heatwaves*, in italiano “ondate di calore”, sono dei fenomeni climatici che portano brevi periodi di tempo ad una temperatura insolitamente elevata. A causa del cambiamento climatico, dovuto in maggior parte alle attività antropiche, si è visto un incremento negli ultimi decenni della frequenza ed intensità di questi eventi estremi. Ad

oggi non è diffusa una definizione univoca di *heatwave*, ma sono presenti varie definizioni a seconda della nazione, della regione o addirittura della singola città. Le variazioni nel definire una *heatwave* riguardano la durata del periodo di anomalia e la temperatura, intesa sia in termini di soglia massima, sia come un determinato numero di gradi sopra la temperatura media o massima. Il numero di giorni può variare solitamente tra 2 e 7 [6], mentre la temperatura varia a seconda del clima regionale, ciò rende difficile attuare studi comparativi tra le varie regioni. In Grecia, per esempio, una *heatwave* è definita come un'ondata di calore della durata di 3 giorni dove la temperatura supera i 39 °C [7]. Sempre di 3 giorni è la durata del periodo in Danimarca, dove la temperatura però deve superare i 28 °C [8]. Il WMO (*World Meteorological Organization*) definisce *heatwave* quel periodo di 5 o più giorni consecutivi in cui si registra una temperatura superiore alla temperatura massima media considerata cruciale in quanto, oltre a causare gravi danni alla salute umana, soprattutto in quelle regioni laddove vi è meno disponibilità di cure adeguate [9], hanno un impatto di notevole rilevanza dal punto di vista ecologico/ambientale.

1.2 Heatwaves e mortalità

Le *heatwaves* possono avere effetti diretti sulla mortalità di molte specie animali, tra cui uno dei più noti è lo sbiancamento delle barriere coralline. Questo fenomeno si verifica quando le alghe zooxantelle, organismi simbiotici fondamentali per la sopravvivenza di molti coralli, vengono espulse. La perdita delle alghe provoca un cambiamento nel colore vivace dei coralli e, in assenza del nutrimento fornito dalle zooxantelle, può portare alla morte dei coralli stessi. Se le alghe non riescono a ricolonizzare i coralli, la loro morte diventa inevitabile. Negli ultimi anni, lungo le coste della Polinesia Francese, si è registrato un aumento di questo fenomeno, particolarmente nella zona superficiale della barriera corallina, dove la morte di questi organismi simbiotici porta all'indebolimento e in molti casi alla morte degli anemoni, a loro volta simbiotici di pesci pagliaccio (*Amphiprion chrysopterus*). Studi su questo fenomeno allarmante sono ben documentati in natura, come anche in laboratorio, ne è un esempio uno studio in cui sono stati studiati i diversi stadi vitali del coleottero della farina (*Tribolium castaneum*). Sono stati trattati con ondate di calore di 5-7 °C sopra la temperatura ottimale per la durata di 5 giorni. La mortalità maggiore è stata riscontrata nelle forme giovanili; un singolo periodo di stress termico a 42 °C ha ucciso tutte le pupe, l'80% degli adulti immaturi e il 90% delle larve contro solamente il 40% degli adulti maturi [10]. Gli effetti letali non sono limitati agli invertebrati, ma ci sono evidenze anche nei vertebrati, come, per esempio, nel sauro *Phrynocephalus przewalski* [11] o nel leone marino di Steller (*Eumetopias jubatus*) [12].

1.3 Heatwaves ed effetti subletali

Oltre alla mortalità, sono riportati una serie di effetti secondari legati alle *heatwaves* che nonostante non causino morte diretta all'individuo possono recare danni importanti, per esempio sotto l'aspetto riproduttivo. Nel coleottero della farina (*T. castaneum*) è stato riscontrato un calo della fertilità in seguito a stimolazione di calore a 42 °C. Le larve tardive e le pupe (a 40 °C, 42 °C tutte decedute) hanno sviluppato testicoli con un volume diminuito del 67%, e con conta e vitalità spermatica notevolmente calata. Tuttavia, gli individui maggiormente colpiti dal punto di vista riproduttivo sono i maschi adulti immaturi che hanno subito una sterilizzazione quasi completa [10]. Anche in *Bombus jonellus* e in *Bombus magnus* si è visto un drastico calo nella vitalità degli spermatozoi a seguito di una *heatwave* [13]. In maniera simile, in *Bombus terrestris* è stato anche osservato un aumento della frammentazione del DNA degli spermatozoi. Nei mammiferi, le ondate di calore possono diminuire drasticamente la durata e l'intensità dell'estro, ciò avviene, per esempio, nei bovini. Lo stress termico inoltre influisce sull'attività ormonale inibendo la crescita follicolare e la qualità degli ovociti. Questi sono solo due dei numerosi danni nei bovini causati dalle ondate di calore, con un calo della produttività degli allevamenti in termini di prole e lattazione, e quindi anche economici [14].

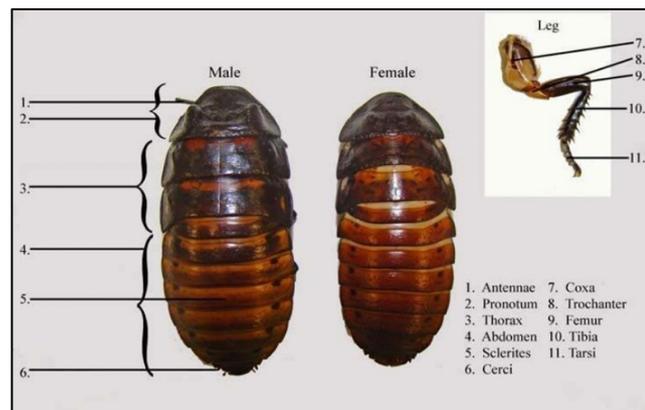
Effetti dello stress termico sono riscontrabili anche in altri aspetti, per esempio, sulla cognizione in termini di memoria e apprendimento. Durante condizioni di particolare stress termico, quali le ondate di calore, animali come le Gazze australiane occidentali (*Cracticus tibicen dorsalis*) mostrano chiari segni di stress termico come l'allungamento delle ali e l'ansimazione (con lo scopo di dissipare il calore). Gli individui che hanno mostrato questi segni durante una *heatwave* hanno mostrato prestazioni inferiori dal punto di vista dell'apprendimento associativo. Le prestazioni sono calate bruscamente dopo una *heatwave*, quando solamente il 14% degli individui hanno superato il test (apprendimento dell'associazione visiva: forma del coperchio/ricompensa) contro l'81% rappresentato dagli esperimenti a temperatura più bassa [15]. L'*Homo sapiens* non è esente dal riscontrare danni da *heatwaves*, aggravati soprattutto se in combinazione con l'inquinamento atmosferico, che combinati possono portare alla compromissione cognitiva negli adulti anziani [16]. Anche i giovani adulti non sono immuni agli effetti negativi delle ondate di calore. Uno studio ha dimostrato che l'esposizione a temperature elevate durante una *heatwave* può ridurre significativamente le funzioni cognitive in giovani che vivono in edifici non climatizzati, con un impatto su capacità come la velocità di risposta e la memoria [17].

Infine, molti effetti sono stati riscontrati in diversi animali dal punto di vista di altri aspetti comportamentali. Ad esempio, le larve dei formicaleoni *Euroleon nostras*, che preferiscono zone ombreggiate, hanno mostrato un'evidente inattività durante l'esposizione al calore. Al contrario, le larve dei formicaleoni *Myrmeleon bore*, che prediligono zone soleggiate, hanno registrato un incremento dell'attività e quindi della

predazione durante l'esposizione al calore. Entrambe le specie hanno subito una riduzione di peso, con *E. nostras* che ha mostrato anche un prolungamento nei tempi di muta. Gli effetti, compresa la mortalità (riscontrata in entrambe le specie), sono stati meno gravi in *M. bore* e, al termine della fase larvale (3 anni), gli effetti sono completamente scomparsi nelle larve sopravvissute [18]. Il calore ha mostrato influenze anche sulla socialità di alcuni animali, come le pecore *Maireana*. In uno studio condotto, queste pecore sono state monitorate per 82 giorni in allevamenti dove sono state misurate le fluttuazioni di temperatura. Durante questo periodo, le temperature variavano tra un massimo di 34,3 °C e un minimo di 20,7 °C, con l'81,7% dei giorni rientranti nella categoria di "stress da calore estremamente severo". L'uso dell'ombra si è rivelato cruciale per la socialità degli animali. Le pecore che utilizzavano l'ombra in modo intermedio trascorrevano parte del tempo al riparo, per poi spostarsi all'esterno e interagire con individui più attivi che passavano meno tempo all'ombra. Questo comportamento le rendeva essenziali per mantenere la connettività della complessiva rete sociale [19].

1.4 Specie oggetto di studio: *Gromphadorhina portentosa*

Gromphadorhina portentosa (Schaum, 1853; ord. Blattodea; fam. Blaberidae) [Figura 1.2], comunemente nota con il nome di “Blatta sibilante del Madagascar” è un insetto endemico del Madagascar scelto come organismo modello per numerosi studi relativi all’anatomia [20] e all’etologia (soprattutto relativi al comportamento sociale e riproduttivo), in quanto specie di notevoli dimensioni (5-10 cm), prolifica e di facile gestione ed allevamento. Il suo areale di



[Figura 1.2] *G. portentosa*, schema anatomia esterna. [20]

distribuzione è ristretto alle foreste tropicali decidue malgасe dove è maggiormente attiva nelle ore crepuscolari durante le quali si nutre di materiali vegetali ed animali in decomposizione. Fa parte della nicchia ecologica dei decompositori, un ruolo ecologico di estrema importanza da dover conoscere e preservare con estrema cura, scompone sostanza organica in composti immediatamente disponibili per i produttori primari, garantendo un corretto ciclo biogenico del carbonio. Sono insetti dotati di apparato boccale masticatore (caratteristico degli animali che necessitano di tagliare e sminuzzare cibo solido) e zampe cursorie dotate di ventose che permettono loro di arrampicarsi anche sulle superfici più lisce come il vetro. Come molte specie appartenenti all’ordine Blattodea sono secondariamente attere. La colorazione di questo animale varia notevolmente, e va dal marrone chiaro al bruno molto scuro e in alcuni casi può essere chiaro con striature più scure. Il pronoto è grande, a forma di scudo e si estende “a



[Figura 1.3] Pronoto (visto lateralmente)

cappuccio” sopra al capo ipognato [21]. Nei maschi il pronoto è modificato con delle protuberanze corniformi utilizzate nei combattimenti con altri maschi [Figura 1.3]. Il nome comune di questi artropodi, “blatta sibilante”, è da ricondurre alla loro caratteristica di poter produrre suoni simili a sibili. Questi suoni sono prodotti grazie ad un paio (il quarto) di spiracoli addominali modificati [22]. I suoni prodotti sono utilizzati per diversi scopi nella comunicazione intraspecifica e possono essere diversi a

seconda che siano suoni di corteggiamento o suoni emessi durante la competizione tra maschi. Clark [23] ha evidenziato l'importanza della familiarità nel modulare l'aggressività tra i maschi durante tali competizioni, è stato scoperto che i maschi che si conoscono tendono a ridurre la loro aggressività rispetto a quelli che si incontrano per la prima volta. Questi sibili sono assenti nelle ninfe e mostrano correlazione positiva con le dimensioni corporee [24].

G. portentosa è una specie sociale che manifesta complesse interazioni all'interno dei gruppi, evidenziando comportamenti cooperativi e gerarchici tipici delle comunità organizzate. Clark e colleghi [24] hanno osservato che nei gruppi di blatte sibilanti si sviluppa rapidamente una gerarchia sociale, con maschi dominanti che mostrano comportamenti aggressivi più evidenti rispetto ai subordinati, stabilendo così una chiara struttura sociale all'interno del gruppo. I maschi di molte specie utilizzano una serie di sibili e altri comportamenti per competere tra loro all'interno di reti sociali complesse, che spesso includono un maschio dominante, diversi maschi subordinati e numerose femmine. I comportamenti competitivi tra maschi possono variare significativamente: a volte si limitano a utilizzare sibili e suoni per comunicare e stabilire la loro superiorità, mentre in altre occasioni impiegano vere e proprie interazioni fisiche come movimenti antennali e oscillazioni dell'addome. In casi più estremi, gli scontri possono degenerare in veri e propri combattimenti che vedono coinvolte le corna sul pronoto. Gli studi condotti da Guerra e Mason [25] hanno dimostrato che l'aggressività tra i maschi può essere modulata anche dalla qualità delle risorse in gioco, con i maschi che regolano il loro comportamento in base al valore percepito delle risorse. Questi scontri, sebbene possano sembrare violenti, sono spesso altamente ritualizzati con ridotto rischio di gravi danni, promuovendo una risoluzione relativamente pacifica dei conflitti. È stato dimostrato che i maschi che emergono come dominanti hanno un successo riproduttivo significativamente superiore, come evidenziato dagli studi di Clark [26], dove i maschi più aggressivi e dominanti avendo un accesso preferenziale alle femmine non solo ottenevano più accoppiamenti, ma avevano anche una maggiore probabilità di trasmettere i loro geni. Gli scontri tra maschi, inoltre, sebbene ritualizzati, servono come meccanismi per stabilire e mantenere la gerarchia sociale, riducendo così il numero di scontri violenti

con le possibilità di danni fisici tra i contendenti [27]. I maschi dominanti in molte specie traggono vantaggio dall'occupare posizioni sopraelevate, come tronchi e sassi, poiché queste offrono maggiore visibilità e accesso preferenziale a risorse di qualità e opportunità di riproduzione. Tali posizioni consentono di monitorare meglio il territorio e le interazioni sociali, facilitando il controllo delle risorse e delle dinamiche di accoppiamento. Barth [27] ha osservato che, in natura, i maschi dominanti di alcune specie di insetti scelgono posizioni elevate per avere una visione migliore delle interazioni tra i membri del gruppo, migliorando così il controllo sulle risorse e sulle opportunità di accoppiamento. I maschi in posizioni sopraelevate non solo hanno maggiore accesso alle risorse e alle femmine, ma mantengono più facilmente il loro status dominante avendo sotto controllo un'area più vasta.

Le blatte sibilanti appartengono quindi ad un vasto gruppo di blattoidei sociali, caratterizzati da comportamenti di aggregazione complessi e sofisticati. Questa socialità offre vantaggi significativi non solo al maschio dominante, ma anche alle femmine e ai maschi subordinati. Le femmine beneficiano della presenza di un maschio dominante perché, aggregandosi in gruppi, ottimizzano la protezione contro i predatori e mitigano i costi legati a condizioni ambientali non ideali. Come sottolineato da Bell [21], l'aggregazione riduce la perdita di acqua, un aspetto cruciale in ambienti con alta variabilità di umidità. Questo è particolarmente importante durante la stagione secca delle foreste decidue, dove soprattutto la loro prole, a causa dell'elevato metabolismo e tasso respiratorio, è particolarmente vulnerabile [27][28]. Inoltre, l'aggregazione facilita la selezione di compagni di alta qualità, garantendo alle femmine che si sono accoppiate con il maschio dominante, una prole geneticamente più robusta. Per i maschi subordinati, che rinunciando a competere direttamente con il maschio dominante riducono il loro successo riproduttivo immediato, l'aggregazione offre comunque protezione e quindi un vantaggio. Questo aiuta i maschi subordinati a sopravvivere più a lungo e a riprodursi successivamente, quando le opportunità possono essere più favorevoli o quando il maschio dominante non è più presente. Questi benefici sono stati confermati anche attraverso esperimenti che hanno utilizzato due approcci sperimentali: un approccio ecologico, che ha dimostrato i vantaggi contro la predazione, e un approccio ambientale, che ha evidenziato i benefici dell'aggregazione in termini non solo di umidità ma anche di temperatura. Si è dimostrato infatti che l'aggregazione garantisce alle blatte una temperatura ambientale stabile, riducendo gli sbalzi di temperatura potenzialmente dannosi e migliorando così le condizioni di vita complessive [29]. Il comportamento gregario e la dimensione dei gruppi in *Gromphadorhina portentosa* sono fortemente influenzati dalle dinamiche sociali e competitive. A differenza di *Blattella germanica*, dove i gruppi possono superare i 100 individui, in *G. portentosa* i comportamenti agonistici limitano la dimensione del gruppo. Questo significa che il numero di individui in un gruppo non dipende solo dalla disponibilità di risorse alimentari e idriche, ma è anche regolato dalle interazioni sociali che mantengono il controllo sulla popolazione del gruppo [25].

G. portentosa, come tutti gli animali appartenenti all'ordine Blattodea, sono insetti a metamorfismo incompleto, e passano attraverso 3 stadi di sviluppo principali [21]: uovo, ninfa e adulto, sono quindi privi di una fase di pupa nettamente separata e in seguito ad un numero prefissato di mute l'insetto passerà direttamente da ninfa ad adulto. Per raggiungere la maturità saranno necessari circa 6 mesi, quindi 6 mute. Durante l'accoppiamento, viene impiegata una serie di soffi e contatti tra antenne nella fase di corteggiamento [30]. Durante la copula, che segue il corteggiamento, il maschio si avvicina alla femmina con la parte posteriore dell'addome e cerca di agganciarsi alla femmina mediante una specie di uncino annesso all'organo copulatore. Se la femmina risponde favorevolmente permetterà la copula per una durata di circa 15-20 minuti con passaggio di una spermatofores [31]. La femmina può non essere favorevole e allontanarsi, tendenza che si è vista fare con maschi particolarmente aggressivi. Sono artropodi vivipari, e le femmine espongono l'ooteca solo al momento della loro formazione [Figura 1.4], tenendola poi all'interno dell'addome finché le uova non schiuderanno dando vita ad un numero variabile di ninfe compreso in media tra 20 e 40 piccoli [27].



[Figura 1.4] Ooteca in *G. portentosa*

1.5 Scopo dell'elaborato

Lo scopo di questa tesi è quello di valutare gli impatti che possono avere le ondate di calore sul comportamento di *G. portentosa*. In particolare, l'obiettivo è di valutare come la gerarchia e la socialità di piccoli gruppi di questi animali cambi prima e dopo una *heatwave* simulata nelle condizioni controllate di laboratorio. In particolare, si pone un focus all'utilizzo da parte dei maschi di una posizione rialzata (indice di dominanza) fornita nell'arena sperimentale.

Materiali e metodi

2.1 Stabulazione animali

Sede di quest'attività di ricerca è stato il museo "Esapolis", il museo vivente degli insetti a Padova. Gli individui con i quali abbiamo lavorato sono individui nati in laboratorio da animali prelevati dalla colonia del museo. Per aumentare il pool genetico sono stati acquistati inoltre degli esemplari da un negozio specializzato [32].

All'interno del laboratorio vengono monitorate costantemente le condizioni ambientali, per renderle il più simile a quelle del luogo d'origine di questa specie. La temperatura è mantenuta a 28 ± 1 °C e l'umidità attorno al 45-50%. Per quanto riguarda la temperatura questa è mantenuta costante grazie ad un termosifone a cui è applicato un termostato, l'umidità invece è regolata da umidificatori. Il fotoperiodo è di 12:12 ore luce:buio per mantenere gli animali il più vicino possibile al ritmo circadiano naturale dei tropici; questo è stato invertito per poter lavorare con gli animali in condizioni di maggiore oscurità possibile, essendo animali con abitudini prevalentemente crepuscolari e notturne. Per poter lavorare nella stanza durante le ore di buio, si sono utilizzate luci rosse (luci a soffitto coperte da fogli di gelatina rossa), in quanto molti insetti, tra cui *G. portentosa*, sono molto poco sensibili alle lunghezze d'onda tra i 620 e i 750 nm (rosso). La luce diurna è stata invece simulata da due fari a luce bianca posti agli angoli della stanza e regolati da un timer. Tutti gli animali presenti all'interno del laboratorio sono stabulati in contenitori di plastica trasparente ai quali sono stati applicati fori o una rete a maglia fine per favorire il ricircolo d'aria, molto importante per evitare il proliferare di muffe. Grasso di vaselina è stato applicato sui bordi per evitare potenziali fughe. Agli animali viene fornito cibo e acqua ad libitum, il cibo, in accordo con quanto scritto da Mulder & Shufran (2016) [33], è rappresentato da cibo secco per cani, e l'acqua è fornita in cristalli (Dr. Raptor: Bugs Gel) così come suggerito nel lavoro di Mack, per semplificare il lavoro di mantenimento e pulizia da eventuali muffe [34].

2.2 Disegno sperimentale

L'obiettivo generale era quello di stimare la gerarchia e le interazioni sociali di piccoli gruppi formati da 3 maschi adulti e 3 femmine adulte (presi casualmente), per 5 giorni prima e dopo il trattamento di esposizione alle *heatwaves*. Le interazioni sociali sono state stimate attraverso la registrazione continua mediante fototrappole, di tutto il periodo sperimentale. Oltre all'analisi di un gruppo di trattamento (3M+3F) si è eseguita l'analisi di un gruppo di controllo, non esposto alle *heatwaves*, ma manipolato in maniera simile. La casualità della scelta degli individui è un aspetto molto importante in quanto individui di uno stesso gruppo di origine potrebbero aver stabilito già determinate gerarchie in precedenza. Ogni individuo, di almeno 8 mesi di età, è stato quindi prelevato casualmente da gruppi diversi, pesato (Ohaus Scout SKX123, precisione 0,001 g), e gli è stato attribuito un codice identificativo univoco. Questo codice era dato rispettivamente da: il numero del gruppo, trattamento o controllo (T o C), il sesso e il numero di individuo

di quel sesso presente nel gruppo (per esempio 1TM1 è il primo maschio del primo gruppo di trattamento). Per facilitarne il riconoscimento, ogni individuo è stato marcato con due strisce di carta colorate attaccate con una colla atossica e idrorepellente sul pronoto. Dopodiché gli individui sono stati isolati per almeno 24 ore in contenitori singoli di plastica (17.5 x 11.5 x 7 cm). Si è proceduto quindi con la formazione dei gruppi sperimentali.

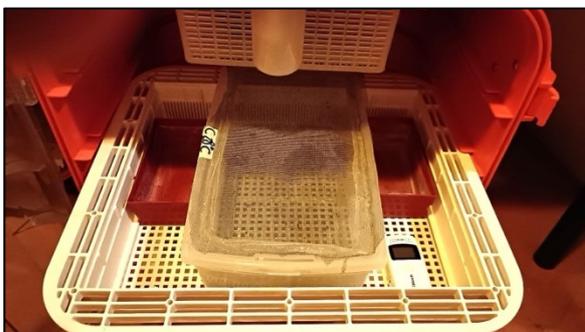
Per quanto riguarda il setup sperimentale gli individui isolati sono stati inseriti in un contenitore di plastica (38 x 26.5 x 19 cm) [Figura 2.1] dotato di un rifugio, ricavato da un cartone delle uova ritagliato, e un rialzo in polistirolo, formato da 3 rettangoli di dimensioni diverse incollati uno sopra l'altro. Per evitare che gli individui spostassero il rifugio, andando a compromettere i risultati dell'esperimento, lo si è incollato alla base del contenitore. Per limitare riflessi durante la ripresa delle immagini si è tagliato il coperchio (riempiendo abbondantemente le pareti con vaselina per evitare fughe) e si è posizionato un foglio di carta bianca come base del contenitore. Questi contenitori (due alla volta, un *trattato* e un *controllo*) sono stati messi sotto due fototrappole (Scout Guard



[Figura 2.1] Contenitore di stabulazione

BG710-M-4G), opportunamente ancorate ad un supporto metallico. Il contenitore è stato etichettato in maniera appropriata per il riconoscimento. Una volta sistemata la postazione si è fatta partire la fototrappola, impostata per scattare 3 foto consecutive ad intervalli di 5 minuti per l'intera durata dei 5 giorni precedenti il trattamento. È stato scelto un numero di 3 foto per poter avere una minore probabilità di avere foto sfuocate, mentre l'intervallo di 5 minuti è stato scelto per poter riconoscere eventuali accoppiamenti, della durata in genere di circa 15 minuti.

Passati i 5 giorni si è proceduto con il trattamento: le blatte del gruppo trattato sono state sottoposte ad una *heatwave* simulata di 3 giorni, oppure, nel gruppo controllo ad una temperatura uguale a quella di stabulazione. Il trattamento termico è stato applicato grazie all'ausilio di due incubatori (Covatutto 108, Novital). Sono state innanzitutto inserite le



[Figura 2.2] Conformazione incubatore per simulazioni *heatwaves*

blatte in un contenitore apposito [Figura 2.2] (32 x 19 x 10.5 cm), posizionato al centro dell'incubatore. I due incubatori sono stati impostati uno a 38°C, per il trattamento *heatwave*, e uno a 28°C (temperatura standard di allevamento), per il controllo. Per mantenere l'umidità, un contenitore riempito d'acqua è stato posizionato a fianco alle blatte nell'incubatore per il controllo, mentre

due contenitori sono stati inseriti per il trattamento *heatwave* in quanto con la temperatura più alta evapora l'acqua più velocemente. Durante i 3 giorni di trattamento è stato necessario un periodico controllo della presenza di acqua all'interno dei contenitori. Una volta terminati i 3 giorni di trattamento, gli individui sono stati nuovamente pesati e riposti nei contenitori originali per l'esame della gerarchia ed interazioni sociali e monitorati con le fototrappole per le 24 ore successive al trattamento termico e poi per ulteriori 5 giorni.

L'aspetto di cui mi sono occupato, cioè la stima della gerarchia e interazioni sociali, è parte di un progetto sperimentale più ampio, riguardante diversi aspetti comportamentali e non di *G. portentosa* in seguito all'esposizione ad *heatwaves* simulate. Brevemente, gli altri aspetti considerati nell'intero progetto di ricerca sono: *Aggressività*; *Analisi degli idrocarburi cuticolari (CHC)*, utilizzati dagli animali per la comunicazione; *Open field*, ovvero la stima del livello di attività ed esplorazione in termini di boldness; *Righting*, una stima della condizione fisica; *Thermal Preference*, scelta del microambiente termico; *Stress Response*, risposta ad uno stimolo stressante.

[Tabella 2.1] Timeline del progetto

GIORNO	ATTIVITÀ
1	Isolamento + peso
6	Formazione del gruppo: inizio registrazione pre-trattamento
9	Fine registrazione pre-trattamento
11,12,13	Trattamento
14	Registrazione 24h post trattamento + peso
16	Inizio registrazione post-trattamento
20	Fine registrazione post-trattamento

2.3 Analisi della gerarchia e delle interazioni sociali

Le foto delle fototrappole sono state analizzate con BORIS (*Behavioral Observation Research Interactive Software*). Si tratta di un software *Open Source* dal download gratuito al sito www.boris.unibo.it utilizzabile per la codifica di comportamenti ed eventi di osservazioni, queste possono essere eseguite da foto, video e/o file audio oppure dal vivo [35]. Le variabili sono state considerate come “*events*”, quindi come eventi con una durata, un inizio e una fine. Inizio e fine andranno quindi selezionati durante l'intera osservazione. I comportamenti che sono stati osservati sono i seguenti: 1) tempo passato sopra il rifugio; 2) tempo passato sotto il rifugio; 3) tempo passato sopra il rialzo; 4) tentativo di arrampicamento sulle pareti (interpretato come tentativo di fuga); 5) accoppiamenti. Si è deciso di analizzare per ogni gruppo sperimentale, i comportamenti nei vari giorni (1-5) e distinguere se questi sono avvenute durante le ore di buio o di luce.

Le analisi descrittive sono state condotte in Excel, mentre i test statistici sono stati effettuati con il software statistico JMP (versione 17). Se non indicato diversamente, tutte le medie sono riportate \pm la loro deviazione standard.

Risultati

3.1 Descrizione statistica del campione

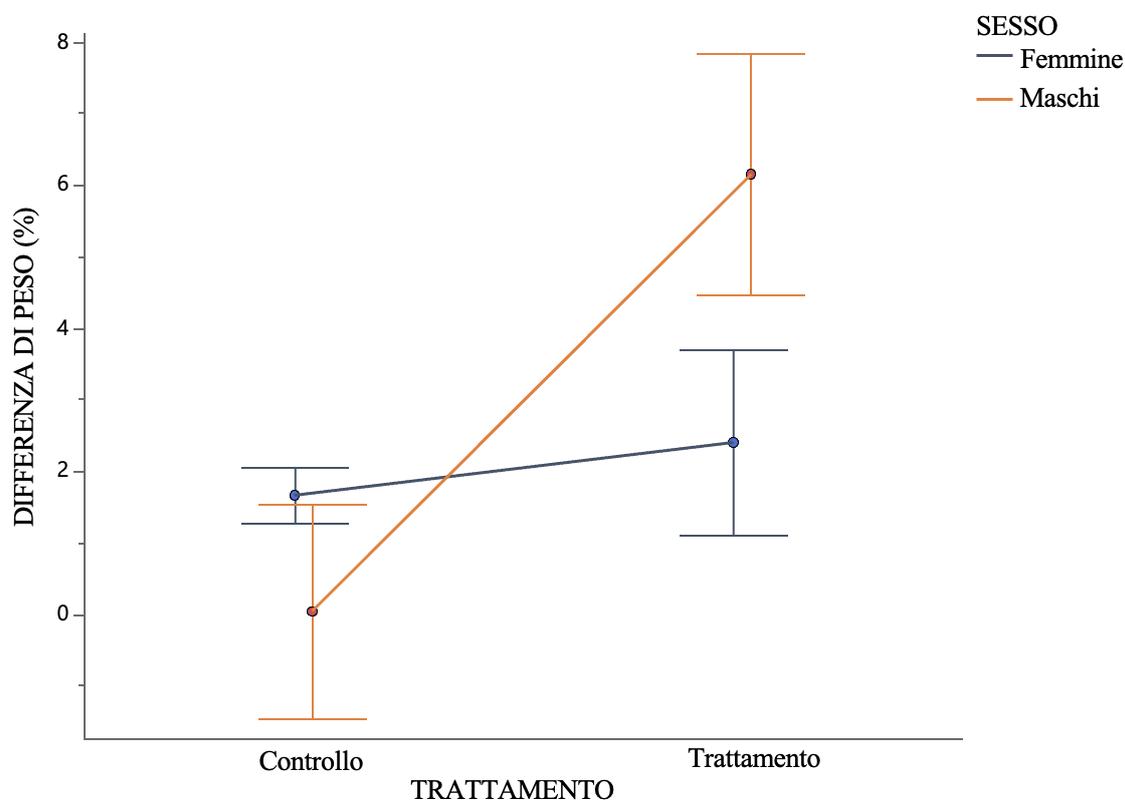
Il campione esaminato è composto da 60 individui divisi in 5 gruppi di controllo e 5 gruppi di trattamento, ciascuno dei quali formato rispettivamente da 3 maschi adulti e 3 femmine adulte. Tuttavia, le analisi sono state fatte solamente su 58 individui a causa del decesso di due maschi dopo il trattamento.

3.2 Variazione di peso degli individui

La tabella [Tabella 3.1] riporta le statistiche descrittive relative al peso medio e alla perdita di peso percentuale. Dai dati emerge che il peso degli individui diminuisce in media di 0,259 grammi dopo il trattamento con *heatwaves*. La significatività di questa riduzione di peso è confermata da un test t per campioni appaiati ($t = 4,344$, $P < 0,001$).

[Tabella 3.1] Medie relative al peso pre e post trattamento, perdita percentuale e relative deviazioni standard.

	Maschi	DS	Femmine	DS
Peso pre trattamento (g)	9,46	9,46	10,22	2,18
Peso post trattamento (g)	9,14	2,10	10,03	2,28
Perdita di peso (%)	2,81	10,26	2,07	6,04



[Figura 3.1] Differenza percentuale peso in funzione di trattamento e sesso.

Si è deciso di utilizzare come dato per le analisi successive la perdita di peso in seguito

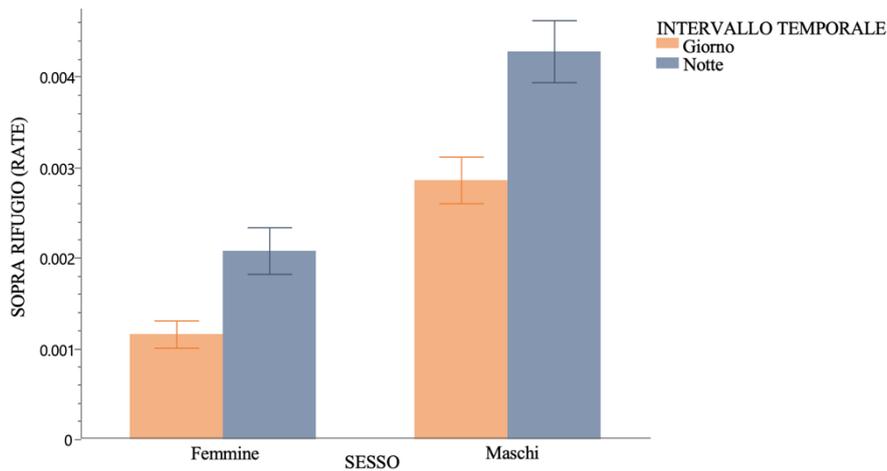
al trattamento come differenza in percentuale rispetto al peso iniziale dell'individuo. Perdendo gli individui trattati più peso rispetto agli individui di controllo si può affermare che la perdita di peso è influenzata dal trattamento ($T=2.66$, $P=0.008$). Il sesso, preso come fattore isolato, non dimostra un'influenza ($T=0.83$, $P=0.410$) mentre preso in interazione trattamento/sesso mostra una corrispondenza con i maschi trattati che perdono più peso rispetto alle femmine del medesimo gruppo ($T=2.09$, $P=0.038$), [Figura 3.1].

3.3 Analisi comportamentali pre-trattamento

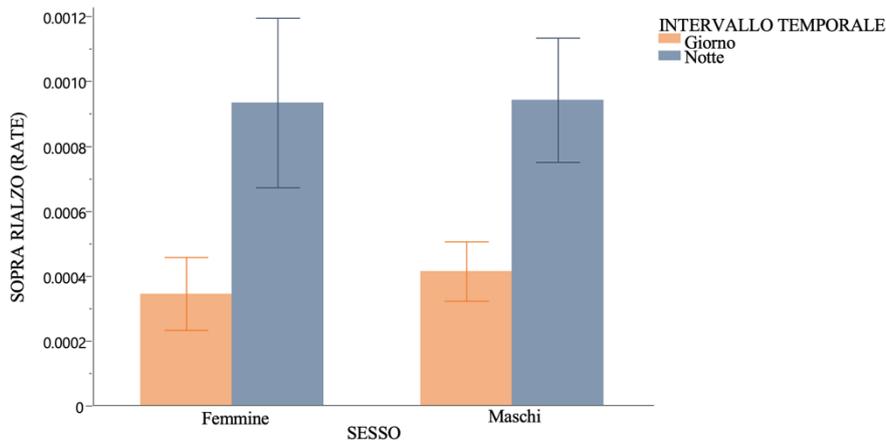
Inizialmente è stato analizzato il comportamento del campione nella fase pre-trattamento, al fine di comprendere le variazioni comportamentali nel corso delle giornate, valutare l'influenza del ritmo circadiano e rilevare eventuali differenze tra i sessi. Le variabili sono state considerate come "rate", ovvero come proporzioni rispetto alla durata complessiva dell'osservazione.

3.3.1 Utilizzo rifugio e utilizzo rialzo come indice di dominanza

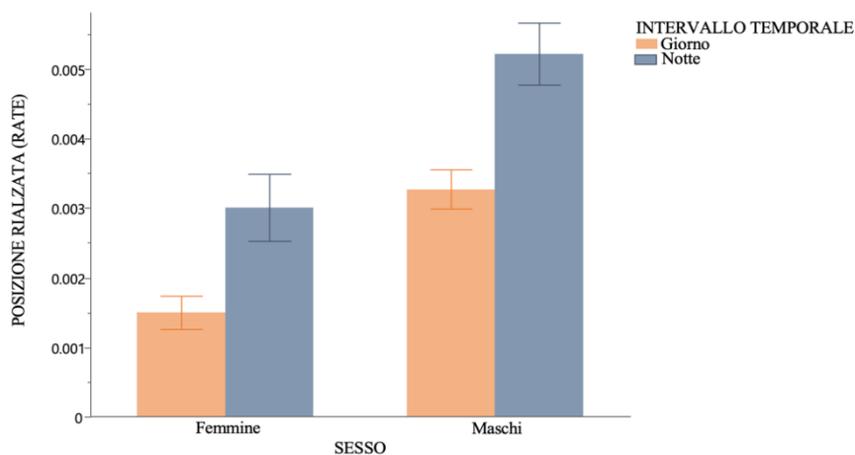
Dai grafici [Figura 3.2], [Figura 3.3] e [Figura 3.4] emerge che la posizione sopra il rifugio è utilizzata prevalentemente dai maschi, mentre la posizione rialzata al centro



[Figura 3.2] Comportamento "Sopra rifugio" diviso per giorno/notte e sesso



[Figura 3.3] Comportamento "Sopra rialzo" diviso per giorno/notte e sesso



[Figura 3.4] Comportamento “Posizione rialzata” diviso per giorno/notte e sesso

del contenitore viene sfruttata in egual misura da maschi e femmine, contrariamente a quanto inizialmente ipotizzato. Poiché la gerarchia è focalizzata esclusivamente sui maschi e sulla dominanza, d'ora in avanti verrà considerata solo la variabile "Sopra il rifugio" come indicatore della dominanza maschile. La tabella [Tabella 3.2] mostra la media dei diversi comportamenti (sopra il rifugio, sopra il rialzo e in posizione rialzata) suddivisa per fase. Nella tabella [Tabella 3.3] invece, le medie dei comportamenti sono presentate non solo per fase, ma anche suddivise tra giorno e notte.

[Tabella 3.2] Media dei diversi comportamenti suddivisa per fase e per sesso

	PRE			24h			POST		
	Sopra rifugio	Sopra rialzo	Posizione rialzata	Sopra rifugio	Sopra rialzo	Posizione rialzata	Sopra rifugio	Sopra rialzo	Posizione rialzata
MASCHI	9,59	1,03	10,62	8,24	1,11	9,40	8,23	1,17	9,40
FEMMINE	5,34	1,64	7,00	5,76	0,91	6,67	2,68	0,39	3,07

[Tabella 3.3] Media dei diversi comportamenti suddivisa per fase, sesso, giorno e notte.

	PRE			24h			POST		
	Sopra rifugio	Sopra rialzo	Posizione rialzata	Sopra rifugio	Sopra rialzo	Posizione rialzata	Sopra rifugio	Sopra rialzo	Posizione rialzata
MASCHI NOTTE	9,80	1,27	11,07	9,73	1,52	11,26	8,80	1,31	10,11
MASCHI GIORNO	9,35	0,77	10,13	6,15	0,53	6,68	7,65	1,04	8,69
FEMMINE NOTTE	5,12	1,86	6,98	4,41	1,55	5,96	2,93	0,54	3,47
FEMMINE GIORNO	5,57	1,40	6,97	7,52	0,07	7,59	2,44	0,23	2,67

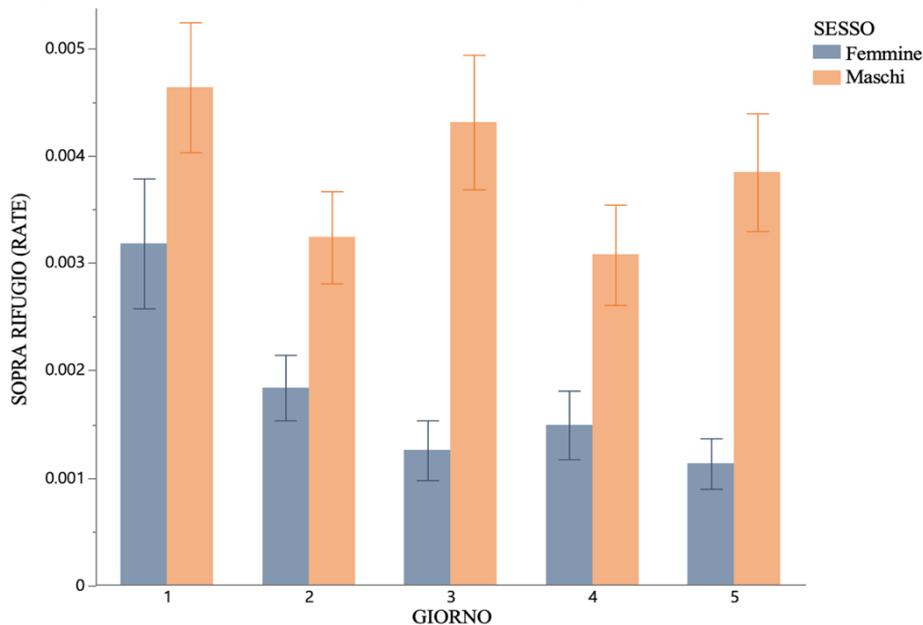
3.3.2 Differenze comportamentali nel giorno e nella notte

Come illustrato nel grafico [Figura 3.2], la posizione sopra il rifugio è utilizzata maggiormente durante la notte rispetto al giorno ($t=4.23$, $P<0.001$) e più dai maschi che

dalle femmine ($t=6.77$, $P<0.001$). Tuttavia, l'interazione tra i fattori non risulta significativa ($t=0.58$, $P=0.564$).

3.3.3 Comportamento diviso nei 5 giorni

In entrambi i sessi l'uso della posizione rialzata cambia nel corso dei giorni [Figura 3.5]. Mediante un *Tukey's post hoc* dove il giorno uno si è confrontato con tutti gli altri giorni ($P<0.001$), si è visto che la posizione rialzata è utilizzata dalle femmine molto più frequentemente durante il primo giorno ($F=4.7253$, $P<0.001$). Al contrario per i maschi il pattern di utilizzo non cambia nei diversi giorni ($F=1.596$, $P=0.017$).



[Figura 3.5] Comportamento "Sopra rifugio" diviso per giornate, e notte/giorno.

3.4 Effetti del trattamento sul comportamento

Proseguendo si sono aggiunti alle analisi la fase di post-trattamento, incluse le 24 ore immediate dopo il trattamento. Per quanto riguarda le femmine vediamo i risultati in tabella [Tabella 3.4] con la fase sperimentale (pre-trattamento / 24h dopo il trattamento / post-trattamento) che influenza significativamente l'utilizzo della posizione rialzata. Una differenza significativa la si trova tra

[Tabella 3.4] Valori dei test per le femmine

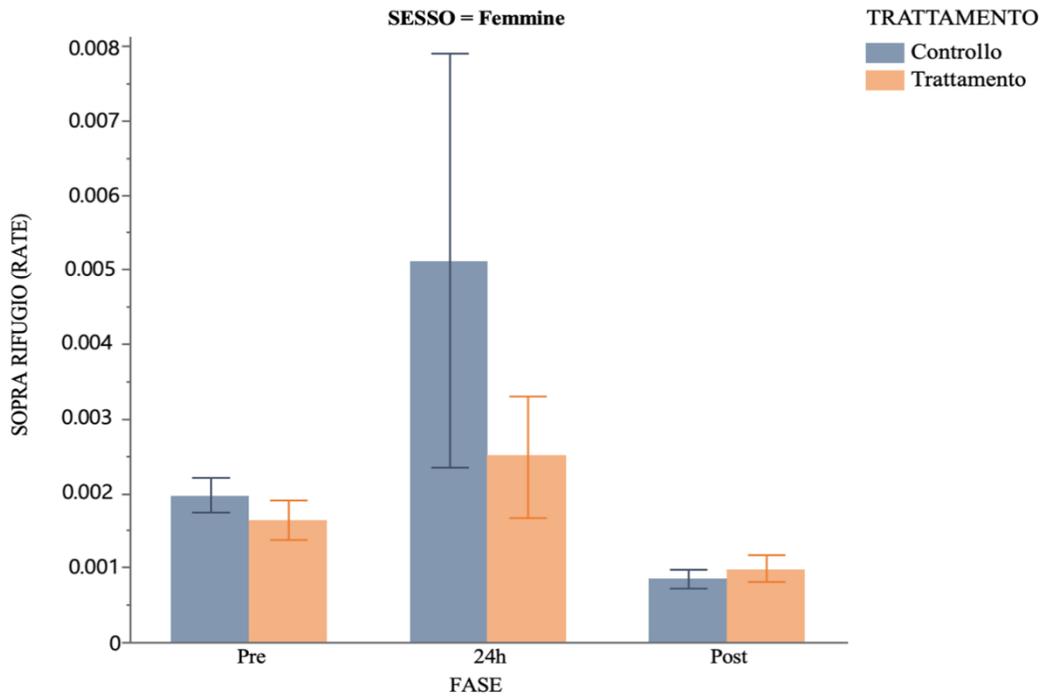
Source	F	P
FASE	10.473	<.001*
TRATTAMENTO	1.818	0.186
TRATTAMENTO x FASE	2.2	0.111

[Tabella 3.5] Valori dei test per i maschi

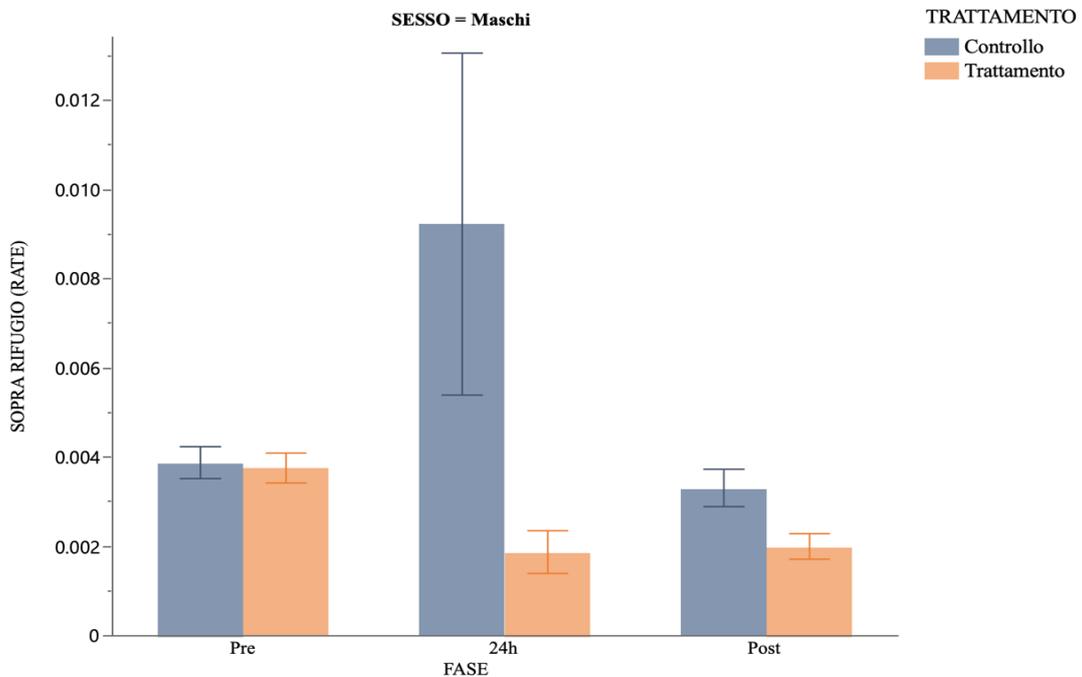
Source	F	P
FASE	5.420	0.005*
TRATTAMENTO	11.383	0.002*
TRATTAMENTO x FASE	7.988	0.001*

il periodo di 24 ore dopo il trattamento e le altre due fasi (*Tukey's post hoc*: 24h contro post: $P<0.001$; 24h contro pre: $P=0.005$). Non vi è significatività tra fasi pre e post trattamento ($P=0.066$). Queste differenze le si possono osservare nel grafico [Figura 3.6].

Anche per i maschi è disponibile una tabella che mostra i risultati ripartiti per le varie fasi [Tabella 3.5]. Vi è significatività della fase, con il trattamento e per l'interazione tra fase e trattamento. Come si vede nel grafico [Figura 3.7], nei controlli il livello di utilizzo della posizione rialzata rimane alto, con un picco nelle 24 ore, mentre per il trattamento vi è una diminuzione dell'utilizzo di tale posizione.



[Figura 3.6] Comportamento “sopra rifugio” per le femmine, diviso per le 3 fasi.



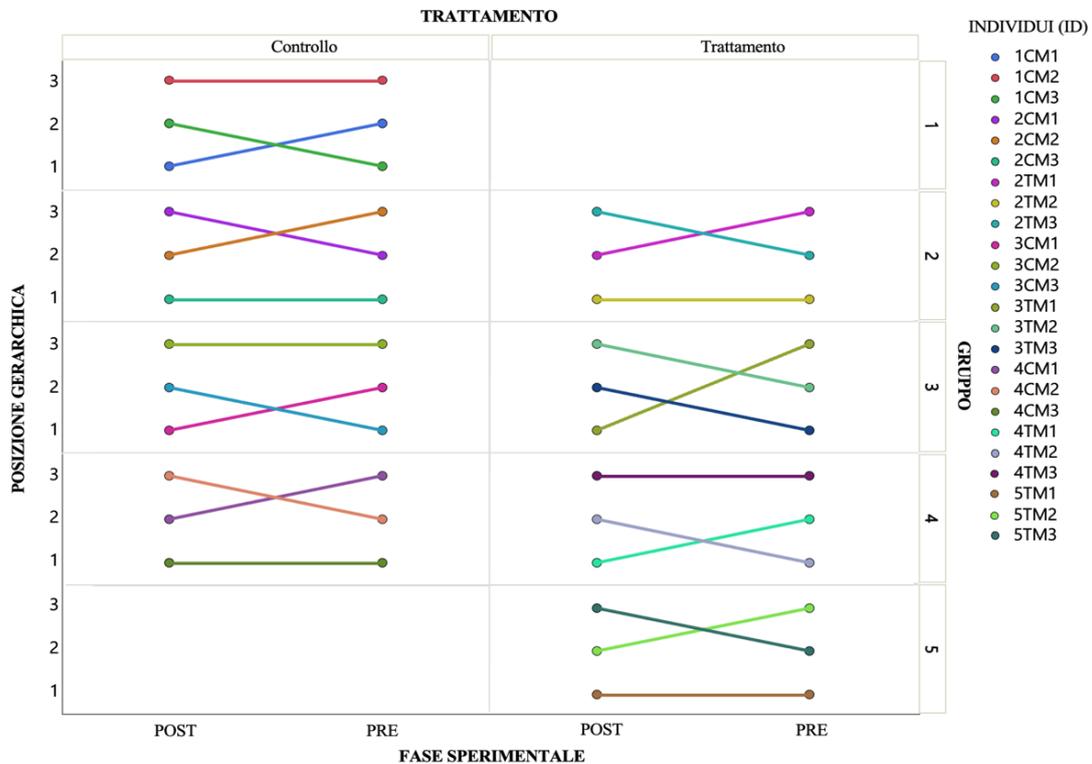
[Figura 3.7] Comportamento “sopra rifugio” per i maschi, diviso per le 3 fasi.

3.5 Effetti sulla gerarchia

Per valutare variazioni nella posizione gerarchica si è calcolata la proporzione di tempo passata da ciascun individuo entro il gruppo sopra al rifugio, sulla base di questo aspetto si è poi stilato un ranking gerarchico. La posizione gerarchica è stata calcolata separatamente per quanto riguarda il pre-trattamento e il post-trattamento. Nel grafico sono stati esclusi i gruppi in cui si sono verificati decessi tra i maschi. Facendo una comparazione tra il peso degli individui (pre e post trattamento) e la posizione gerarchica, si è notato che non sembra esserci correlazione tra peso dell'individuo e la posizione dominante all'interno del gruppo. In cinque gruppi su otto è stato osservato che il maschio dominante, in almeno una fase dell'esperimento (pre e/o post), era quello con le maggiori dimensioni del pronoto (larghezza per lunghezza, L·W). In particolare, questo è stato riscontrato nei seguenti gruppi: *1-Controllo*, *2-Trattamento*, *2-Controllo*, *3-Trattamento* e *4-Controllo* [Figura 3.8] [Tabella 3.6].

[Tabella 3.6] Peso degli individui diviso per pre/post e dimensione pronoto

ID	PESO	PESO	L·W
	PRE	POST	
1CM1	8,97	7,84	2,85
1CM2	7,92	8,16	3,08
1CM3	8,53	9,57	2,96
2CM1	11,48	11,12	4,31
2CM2	9,31	9,13	4,12
2CM3	8,82	7,89	2,94
2TM1	10,36	9,48	4,03
2TM2	8,54	6,57	3,66
2TM3	12,35	11,52	4,41
3CM1	8,10	8,26	3,24
3CM2	6,80	7,17	2,77
3CM3	9,74	8,58	4,14
3TM1	7,27	7,84	2,55
3TM2	7,35	7,77	2,70
3TM3	8,56	7,52	2,43
4CM1	10,33	10,15	3,52
4CM2	7,18	7,03	2,76
4CM3	7,75	9,55	2,67
4TM1	7,73	6,73	3,18
4TM2	13,19	12,82	4,15
4TM3	10,70	8,00	3,93
5TM1	15,35	15,51	3,74
5TM2	11,90	10,73	3,38
5TM3	7,44	7,36	3,18



[Figura 3.8] Posizione gerarchica entro il gruppo per individuo

Discussione

I risultati ottenuti da questo studio forniscono importanti indicazioni sugli effetti del trattamento con *heatwaves* sul peso corporeo e sul comportamento degli individui analizzati. La discussione si concentrerà su quattro principali aree tematiche: la variazione di peso, le differenze comportamentali pre-trattamento, gli effetti del trattamento sul comportamento e l'analisi dei livelli gerarchici.

4.1 Variazione di peso

La diminuzione media di peso osservata dopo il trattamento (0,259 grammi) suggerisce un impatto significativo del trattamento sul metabolismo degli individui. Il fatto che la perdita di peso sia più marcata negli individui trattati rispetto ai controlli indica che il trattamento con *heatwaves* ha un effetto diretto e misurabile sulla massa corporea. Tuttavia, il sesso non sembra influenzare in modo significativo la variazione di peso quando considerato come fattore isolato. Questo risultato suggerisce che la risposta fisiologica al trattamento è simile tra maschi e femmine. D'altro canto, l'interazione tra trattamento e sesso mostra una tendenza significativa con i maschi trattati che perdono più peso rispetto alle femmine dello stesso gruppo. Questo potrebbe indicare una maggiore vulnerabilità dei maschi al trattamento, o potrebbe essere legato a differenze fisiologiche intrinseche tra i sessi che meritano ulteriori approfondimenti. Diversi sono gli studi che evidenziano un'effettiva perdita di peso sia nelle forme larvali [36][37][38] che negli adulti [39]. La perdita di peso maggiore nei maschi è in contrasto con quanto scritto da Walzer [40] per quanto riguarda *Amblydromalus limonicus*, specie in cui le femmine mostrano una più significativa perdita di peso.

4.2 Analisi comportamentale pre-trattamento

Le analisi pre-trattamento hanno evidenziato che i maschi tendono a occupare la posizione sopra il rifugio con maggiore frequenza rispetto alle femmine, suggerendo un comportamento di dominanza territoriale. Questo comportamento è stato quindi utilizzato come principale indicatore per valutare la gerarchia tra i maschi. Tuttavia, contrariamente alle ipotesi iniziali, la posizione rialzata (non il rifugio) al centro del contenitore è stata utilizzata in egual misura da entrambi i sessi, indicando che questa variabile non è discriminante per la dominanza tra i sessi. L'idea di utilizzare un rialzo per l'instaurarsi della gerarchia è stata presa in quanto in precedenti studi condotti da Clark e Moore [23][24] ed era già stata utilizzata questa pratica con successo. Un'ipotesi che potrebbe spiegare la preferenza dei maschi per la posizione sopra il rifugio rispetto a quella sopra il rialzo riguarda la vicinanza alle femmine del gruppo. Nonostante il rialzo al centro fosse leggermente più alto, la sua distanza dalle femmine (che tendevano a stare sotto il rifugio) limitava il controllo diretto su di esse, rendendolo perciò una posizione meno appetibile rispetto al rifugio stesso. Inoltre, l'analisi delle differenze comportamentali tra giorno e notte ha mostrato che la posizione sopra il rifugio è utilizzata significativamente di più

durante le ore notturne, confermando che l'attività degli individui è influenzata dalla loro natura crepuscolare. È stato anche osservato che nelle femmine si è verificato un calo nell'utilizzo della posizione rialzata nel corso del tempo. Inizialmente, le femmine tendevano a utilizzare questa posizione, probabilmente durante l'esplorazione del nuovo ambiente, ma con il passare dei giorni, l'interesse per il rialzo è diminuito. Questo risultato, insieme alla maggiore occupazione della posizione sopra il rifugio da parte dei maschi rispetto alle femmine durante la notte, suggerisce un possibile adattamento comportamentale finalizzato alla protezione del territorio nelle ore notturne.

4.3 Effetti del trattamento sul comportamento

L'analisi post-trattamento ha rivelato che il trattamento ha un impatto significativo sul comportamento degli individui, in particolare sull'utilizzo della posizione rialzata. Nelle femmine, si è osservato un aumento dell'uso di questa posizione nelle 24 ore immediatamente successive al trattamento, con una differenza significativa rispetto al pre e post trattamento. Questo comportamento potrebbe riflettere un aumento dello stress o un'esigenza maggiore di vigilanza dopo l'esposizione al trattamento, manifestata attraverso un maggiore utilizzo della posizione rialzata come punto di osservazione. Un'altra possibile spiegazione per l'aumento di attività nelle prime 24 ore dopo il trattamento potrebbe essere legata a un rinnovato interesse nell'esplorazione del territorio. È plausibile che, a seguito del trattamento con *heatwaves*, le femmine abbiano temporaneamente "dimenticato" il territorio circostante, spingendole a reconsiderarlo e a esplorarlo nuovamente. Tuttavia, questa variazione comportamentale non persiste nel lungo periodo, suggerendo che le femmine si adattano rapidamente al trattamento o che lo stress acuto diminuisce col tempo. Per quanto riguarda i maschi, i risultati indicano una significativa diminuzione nell'utilizzo della posizione rialzata nel gruppo trattato, a differenza del gruppo di controllo che ha mantenuto un livello costante di utilizzo. Questo potrebbe indicare che il trattamento ha indotto un cambiamento comportamentale nei maschi, potenzialmente legato a stress causato dall'elevata temperatura, una riduzione dell'attività o a modifiche nelle dinamiche di dominanza. Il fatto che il trattamento influenzi in modo diverso maschi e femmine potrebbe riflettere differenze importanti tra i sessi, un aspetto che richiede ulteriori studi per essere compreso appieno. Risulta comune aspettarsi che ci siano differenze tra i generi, a causa, prima di tutto delle differenze dal punto di vista morfologico e fisiologico (per esempio le femmine investono spesso molto di più nei propri gameti rispetto ai maschi), e poi delle diverse strategie riproduttive e dei diversi investimenti energetici dei maschi e delle femmine [41].

4.4 Gerarchia

L'analisi della variazione del livello gerarchico tra gli individui all'interno dei gruppi è limitata a pochi gruppi, non abbastanza per poter condurre un test statistico, i risultati e le interpretazioni sono quindi da considerare con cautela. È stato necessario escludere dai risultati i gruppi in cui si sono verificati decessi tra i maschi, eliminando

così interamente i gruppi, in quanto il decesso di un individuo dominante o di un potenziale contendente avrebbe alterato significativamente la struttura gerarchica residua. Non sono risultati evidenti correlazioni tra dominanza all'interno del gruppo e dimensioni dell'individuo. Tuttavia, si è notata una possibile correlazione tra le dimensioni delle corna e la posizione dominante, come già descritto da Durrant [42] per *Gromphadorhina oblongata*, specie appartenente allo stesso genere di *G. portentosa*. Essendo due specie con una spiccata aggressività, e utilizzando le corna come mezzo per vincere duelli, la loro dimensione potrebbero incidere sulle competizioni e quindi sulla dominanza. Tuttavia, va notato che non tutti i gruppi hanno seguito questa tendenza, il che suggerisce che altri fattori, come potrebbe essere ad esempio la precedente esperienza [34], potrebbero influenzare le dinamiche della gerarchia. La variabilità osservata tra i gruppi potrebbe indicare la presenza di strategie alternative di dominanza, dove la massa corporea non è necessariamente il fattore predominante. Infine, c'è da ricordare che la gerarchia è stata calcolata utilizzando la posizione rialzata del maschio, che è considerata una dimostrazione di dominanza, ma per uno studio più approfondito la dominanza andrebbe monitorata attraverso analisi comportamentali mirate con esperimenti ad hoc, come per esempio attraverso l'analisi diretta delle interazioni aggressive fra due maschi, come fatto già in questa e altre specie simili (per es. [27], [28]).

Conclusioni

Il trattamento con heatwaves ha dimostrato di influenzare significativamente sia il peso corporeo che il comportamento degli individui, con differenze legate al sesso. I maschi appaiono più sensibili al trattamento, evidenziando una maggiore perdita di peso e cambiamenti comportamentali più marcati. Le femmine, invece, mostrano una risposta comportamentale post-trattamento più acuta ma di breve durata. Questi risultati indicano che il trattamento può influenzare fisiologia e comportamento in modo diverso a seconda del sesso, sottolineando l'importanza di considerare questo fattore nelle ricerche future su trattamenti simili.

Inoltre, l'utilizzo del rifugio vicino al gruppo, piuttosto che un rialzo più alto e distante, come indicatore di dominanza nei maschi, si è rivelato un parametro utile. Questo aspetto potrebbe essere ulteriormente approfondito in studi futuri per una migliore comprensione delle dinamiche sociali e territoriali all'interno dei gruppi, così come una possibile relazione tra dominanza e dimensioni delle corna come ipotetico tratto sessuale secondario in termini di competizione maschile.

Ringraziamenti

Desidero esprimere il mio più sentito ringraziamento a tutte le persone che mi hanno supportato durante la stesura di questa tesi. In particolare, un sincero grazie al mio relatore, Prof.ssa Clelia Gasparini, per la sua costante guida e i suoi preziosi suggerimenti. La sua pazienza infinita e il suo accompagnamento egregio mi hanno condotto con successo verso la conclusione di questo percorso. Ringrazio anche la Prof.ssa Elisa Morbiato per la disponibilità e il supporto forniti durante questi tre anni accademici.

Un ringraziamento speciale va alle persone che mi hanno fatto cambiare stile di vita e mi hanno fatto credere in me stesso, convincendomi ad intraprendere questo nuovo percorso. Questo cambiamento ha trasformato radicalmente la mia vita, permettendomi di crescere non solo accademicamente, ma anche personalmente. A loro devo molto: hanno creduto in me quando nessuno ci credeva e mi hanno spinto a buttarmi nel vuoto. Senza la loro spinta questo traguardo sarebbe stato irraggiungibile.

Ringrazio inoltre i miei colleghi e amici di entrambe le mie case, Brunico e Padova, in particolare Robert, Ettore e Dario che con la loro amicizia e sostegno hanno reso questo percorso più leggero. Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, in particolar modo a mia Mamma e mio Papà per l'amore incondizionato e il costante incoraggiamento e per l'aiuto indispensabile di questi anni.

Infine, desidero ringraziare la Provincia Autonoma di Bolzano per il supporto finanziario ricevuto attraverso le varie borse di studio ottenute in questi anni.

Bibliografia

[1] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis.

https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf

[2] Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., ... & Zhang, X. (2016). Observations: Atmosphere and surface. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

[3] Meteo Aeronautica Militare. (2024, March). Stazione di monte Cimone. *Aeronautica Militare*.

[4] Meehl, G. A., Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L., & Whetton, P. (2000). Trends in extreme weather and climate events: Issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 427-436.

[5] Eguiguren-Velepucha, P. A., Maita Chamba, J. A., Aguirre Mendoza, N. A., Ojeda-Luna, T. L., Samaniego-Rojas, N. S., Furniss, M. J., Howe, C., & Aguirre Mendoza, Z. H. (2020). Tropical ecosystems vulnerability to climate change in southern Ecuador. *Tropical Conservation Science*, 9(4), 1-15.

[6] Xu, Z., FitzGerald, G., Guo, Y., Jalaludin, B., & Tong, S. (2016). Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 89-90, 193-203.

[7] EMY (National Meteorological Service of Greece). (n.d.). Heatwaves. Retrieved from <https://www.emy.gr>

[8] DMI (Danish Meteorological Institute). (n.d.). Heatwaves in Denmark. Retrieved from <https://www.dmi.dk>

[9] Campbell, S., Remenyi, T. A., White, C. J., & Johnston, F. H. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, 53, 210- 218.

[10] Sales, K., Vasudeva, R., & Gage, M. J. G. (2021). Fertility and mortality impacts of thermal stress from experimental heatwaves on different life stages and their recovery in a model insect. *Royal Society Open Science*, 8(201717).

[11] Zhang, Q., Han, X. Z., Burraco, P., Wang, X.F., Teng, L. W., Liu, Z. S., & Du, W. G. (2023). Oxidative stress mediates the impact of heatwaves on survival, growth, and immune status in a lizard. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 290(20231768).

- [12] Hastings, K. K., Gelatt, T. S., Maniscalco, J. M., Jemison, L. A., Towell, R., Pendleton, G. W., & Johnson, D. S. (2023). Reduced survival of Steller sea lions in the Gulf of Alaska following marine heatwave. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1127013.
- [13] Martinet, B., Zambra, E., Przybyla, K., Lecocq, T., Anselmo, A., Nonclercq, D., Rasmont, P., Michez, D., & Hennebert, E. (2020). Mating under climate change: Impact of simulated heatwaves on the reproduction of model pollinators. *Journal of Applied Ecology*, 57(12), 2413-2423.
- [14] Takahashi, M. (2012). Heat stress on reproductive function and fertility in mammals. *Reproductive Medicine and Biology*, 11(1), 37–47.
- [15] Blackburn, G. A., Freeman, N. J., Chappell, P., Dixon, M., & Barnett, A. (2022). Heat stress impairs learning in a wild Australian passerine: Reductions in visual associative learning following a heatwave. *Animal Behaviour*, 188, 147- 158.
- [16] Zhou, J., Luo, J., Li, W., Zhang, X., & Tang, C. (2023). Interactive effects of air pollution and extreme heat on cognitive function among elderly individuals: A longitudinal cohort study in China. *Environmental Science & Technology*, 57(1), 430-438.
- [17] Laurent, J. G. C., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. *PLOS medicine*, 15(7), e1002605
- [18] Miler, K., Stec, D., & Czarnoleski, M. (2020). Heat wave effects on the behavior and life-history traits of sedentary antlions. *Behavioral Ecology*, 31(6), 1326–1333.
- [19] Borthwick, Z., Quiring, K., Griffith, S. C., & Leu, S. T. (2024). Heat stress conditions affect the social network structure of free-ranging sheep. *Ecology and Evolution*.
- [20] Heyborne, W. H., Fast, M., & Goodding, D. D. (2012). The madagascar hissing cockroach: A new model for learning insect anatomy. *American Biology Teacher*, 74(3), 185–189.
- [21] Bell, W. J., Roth, L. M., & Nalepa, C. A. (2007). Cockroaches: Ecology, Behavior, and Natural History. *The Johns Hopkins University Press*.
- [22] Nelson, M. C. (1979). Sound production in the cockroach, *Gromphadorhina portentosa*: The sound-producing apparatus. *Journal of Comparative Physiology A*, 132, 27–38.
- [23] Clark, D. C., Beshear D. D., & Moore A.J. (1995). Role of familiarity in structuring male-male social interactions in the cockroach *Gromphadorhina portentosa*. *Annals of the Entomological Society of America* 88(4), 554-561.

- [24] Clark, D. C., & Moore, A. J. (1994). Social interactions and aggression among male Madagascar hissing cockroaches (*Gromphadorhina portentosa*) in groups (Dictyoptera: Blaberidae). *Journal of Insect Behavior*, 7, 199-215.
- [25] Guerra, P.A., & Mason, A.C. "Resource Quality and Aggression in Male Madagascar Hissing Cockroaches." *Animal Behaviour* 70.1 (2005): 133-140.
- [26] Clark, D. C. (1998). Male mating success in the presence of a conspecific opponent in a Madagascar hissing cockroach, *Gromphadorhina portentosa* (Dictyoptera: Blaberidae). *Ethology*, 104(10), 877-888
- [27] Barth, R. H. (1968). The mating behavior of *Gromphadorhina portentosa* (Schaum) (Blattaria, Blaberoidea, Blaberidae, Oxyhaloinae): an anomalous pattern for a cockroach. *Psyche*, 75(2), 124-131.
- [28] Gunn, D. L. (1935). Observations on the Water Relations of Cockroaches. *Journal of Experimental Biology*, 12(1), 72-81.
- [29] Yoder, J. A., & Grojean, N. C. (1997). Group influence on water conservation in the giant Madagascar hissing-cockroach, *Gromphadorhina portentosa* (Dictyoptera: Blaberidae). *Physiological Entomology*, 22(1), 79-82.
- [30] Fraser, J., & Nelson, M. C. (1984). Communication in the courtship of a Madagascan hissing cockroach. I. Normal courtship. *Animal Behaviour*, 32(1), 194–203.
- [31] Nelson, M. C., & Fraser, J. (1980). Sound production in the cockroach, *Gromphadorhina portentosa*: evidence for communication by hissing. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 305-314.
- [32] INEF, Retrieved from, <https://inef.it/gromphadorhina-portentosa/179-gromphadorhina-portentosa-mix.html>.
- [33] Mulder, P., & Shufan, A. (2017). Madagascar hissing cockroaches: Information and care, *Oklahoma State Univeristy*.
- [34] Mack, C. (2022). Winner and loser effects in Madagascar hissing cockroaches (*Gromphadorhina portentosa*) (Honors thesis, Bucknell University). *Bucknell Digital Commons*.
- [35] Friard, O., & Gamba, M. (2012-2023). Behavioral Observation Research Interactive Software (BORIS) user guide — BORIS latest documentation. <https://boris.readthedocs.io/en/latest/>
- [36] Miler, K., Stec, D., & Czarnoleski, M. (2020). Heat wave effects on the behavior and life-history traits of sedentary antlions. *Behavioral Ecology*, 31(6), 1326–1333.

- [37] Abarca, M., Larsen, E. A., & Ries, L. (2019). Heatwaves and novel host consumption increase overwinter mortality of an imperiled wetland butterfly. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7.
- [38] Fischer, K., Klockmann, M., & Reim, E. (2014). Strong negative effects of simulated heat waves in a tropical butterfly. *Journal of Experimental Biology*, 217(16), 2892–2898.
- [39] Carreira, B. M., Segurado, P., Laurila, A., & Rebelo, R. (2017). Can heat waves change the trophic role of the world's most invasive crayfish? Diet shifts in *Procambarus clarkii*. *PLOS ONE*, 12(9)
- [40] Walzer, A., Formayer, H., & Tixier, M.-S. (2020). Evidence of trans- generational developmental modifications induced by simulated heat waves in an arthropod. *Scientific Reports*, 10, 4098.
- [41] Iossa, G. (2019). Sex-specific differences in thermal fertility limits. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(6), 490–492.
- [42] Durrant, K. L., Skicko, I. M., Sturrock, C., & Mowles, S. L. (2016). Comparative morphological trade-offs between pre- and post-copulatory sexual selection in Giant hissing cockroaches (Tribe: Gromphadorhini). *Scientific Reports*, 6, Article 36755