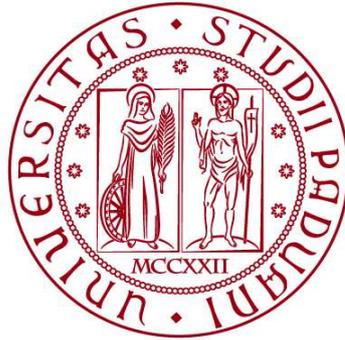


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Scienze Naturali



ELABORATO DI LAUREA

**Studio preliminare degli effetti di ondate di
calore su isopodi terrestri (genere
Armadillidium)**

**Tutor: Prof.ssa Clelia Gasparini
Dipartimento di Biologia**

Laureanda: Elena Dal Bianco

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

Indice

INTRODUZIONE	1
Isopodi	1
Ecologia e distribuzione.....	1
Morfologia generale.....	1
Isopodi terrestri	2
Origini	2
Distribuzione	3
Adattamenti all’ambiente terrestre.....	3
La riproduzione degli isopodi terrestri	4
Fattori che influenzano la riproduzione	5
Gli effetti dei cambiamenti climatici e delle ondate di calore sulla riproduzione	6
Scopo dello studio	7
MATERIALI E METODI	8
Campionamento	8
Identificazione ed isolamento	10
Schiusa delle uova e misurazioni	13
Raccolta dei dati	14
Analisi statistiche	14
RISULTATI	15
Statistica descrittiva	15
Analisi statistiche	17
DISCUSSIONE	20
CONCLUSIONI	22
Bibliografia	23

INTRODUZIONE

Isopodi

Ecologia e distribuzione

Gli isopodi sono un ordine di Artropodi della classe Malacostraca, superordine Peracaridi. Rappresentano un gruppo eterogeneo presente in tutto il mondo (Argano, 1979) con oltre 10000 specie conosciute (Poore and Bruce, 2012). La vasta radiazione adattativa degli isopodi ha permesso il loro insediamento in ambienti molto diversi: dalle forme marine, con moltissime specializzazioni, tra cui anche alcune specie pelagiche, a quelle d'acqua dolce e terrestri: sono infatti gli unici crostacei ad aver colonizzato le terre emerse. Ad eccezione di alcune forme parassite, predatrici o filtratrici, gli isopodi sono prevalentemente detritivori (Argano, 1979).

Morfologia generale

I diversi adattamenti e specializzazioni ecologiche nel gruppo degli isopodi hanno portato all'evoluzione di morfologie molto diverse all'interno dello stesso ordine: dalle specie interstiziali di più piccole dimensioni (meno di 1 mm) come esemplari del sottordine Microcerberidea (Kim *et al.*, 2021) si arriva a specie che superano i 35 cm di lunghezza come la specie marina bentonica *Bathynomus giganteus*. Il corpo è generalmente depresso dorso-ventralmente e numerose specie presentano anche la capacità di appiattirsi su se stessi, come gli isopodi terrestri della famiglia Armadillidiidae (Argano, 1979). Il corpo è sempre composto di cephalon (capo), pereion (torace) e pleon (addome) (figura 1).

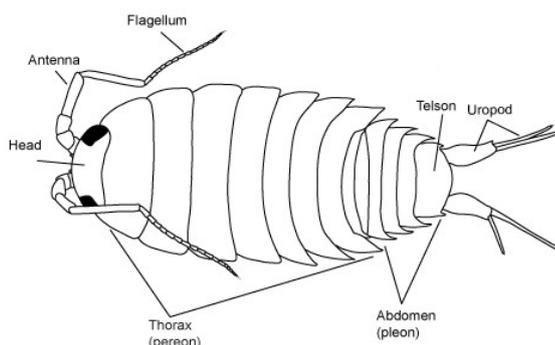


Figura 1. Morfologia generale di un isopode in vista dorsale. Immagine ricavata dal sito <https://nzslaters.massey.ac.nz/morphology.php>

Il cephalon, sempre fuso al primo segmento del pereion, porta gli occhi e le antenne. Gli occhi possono essere ridotti o assenti nelle forme sotterranee, oppure più complessi (occhi composti) nelle forme epigee (Argano, 1979).

Sono presenti due paia di antenne, di cui il primo paio, le antennule, sono molto più corte del secondo paio, le antenne vere e proprie. Antennule e antenne sono costituite da un peduncolo e da un flagello terminale con un numero variabile di segmenti. Ci sono altre tre paia di appendici cefaliche: mandibole, maxillule e maxille che costituiscono l'apparato boccale insieme al labbro superiore e a quello inferiore (Argano, 1979). I massillipedi sono le appendici del primo segmento del pereion fuso al cephalon e ricoprono l'intero l'apparato boccale (Argano, 1979). I successivi 7 segmenti liberi del pereion sono dotati ciascuno di una coppia di appendici uniramose, i pereiopodi, utilizzati per la deambulazione (zampe ambulacrali). I pereiopodi sono costituiti a loro volta da 6 segmenti. In alcune specie le prime paia di pereopodi possono essere modificate per funzioni specifiche come il nuoto o la cattura del cibo. Altre strutture del pereion sono gli oostegiti, lamine sottili che si formano per una o più mute successive dalla regione basale del secondo pereopode fino al quinto nelle femmine in fase riproduttiva (Argano, 1979; Hornung, 2011), che delimitano il marsupio, dove vengono deposte le uova e avviene la maturazione embrionale. Essi vengono persi in seguito alla muta post-parto. Nei maschi sono invece presenti delle apofisi genitali nella regione del settimo pereionite. Il pleon è composto da 5 segmenti liberi ognuno portante una coppia di appendici biramose, i pleopodi (zampe addominali specializzate) ed un segmento, il sesto, generalmente fuso al telson. I pleopodi svolgono numerose funzioni, tra cui quella respiratoria, di propulsione nel nuoto e riproduttiva (Argano, 1979). Gli adattamenti nella loro morfologia sono molto vari per la diversità di funzioni e dei gruppi tassonomici (Argano, 1979). Il sesto segmento del pleon porta anch'esso un paio di appendici biramose, gli uropodi, che presentano varie morfologie e funzioni legate alla locomozione, alla protezione dell'addome, al mantenimento dell'equilibrio o anche alla ventilazione delle branchie.

Isopodi terrestri

Origini

Il sottordine Oniscidea comprende tutti gli isopodi adattati alla vita sulle terre emerse e rappresenta il gruppo con il maggior numero di specie tra gli isopodi, contando circa 3700 specie conosciute (Schmalfuss, 2003; Taiti, 2008; Sfenthourakis and Taiti, 2015). La colonizzazione delle terre emerse è avvenuta probabilmente nella seconda metà del Paleozoico (Cloudsley-Thompson, 1988). Attualmente si ritiene che la forma intermedia tra isopodi marini e terrestri possa essere rappresentata da forme viventi del genere *Ligia* (Carefoot and Taylor, 1995) e dati morfologici ed ecologici suggeriscono un passaggio diretto dall'ambiente marino all'ambiente terrestre, senza un

passaggio intermedio in ambiente d'acqua dolce (Schmalzfuss, 2005). Il sottordine Oniscidea è generalmente considerato monofiletico nonostante ci siano ancora dibattiti a riguardo ed è l'unico taxon di rango relativamente basso che è rappresentato da specie appartenenti a tutti gli stadi evolutivi che hanno portato la conquista delle terre emerse dall'ambiente marino (Sfenthourakis and Hornung, 2018).

Distribuzione

Per quanto riguarda la distribuzione geografica degli Oniscidei, essi si possono trovare in quasi tutti gli ambienti, da zone sopralitorali ad ambienti interni, tra cui anche quote elevate, foreste e zone subdesertiche (Taiti, 2008; Hornung, 2011). Sono largamente diffusi in Europa meridionale e occidentale con un pattern di riduzione della diversità in termini di numero di specie verso nord (Hornung e Solymos, 2007). Un hotspot di diversità è la zona circum-mediterranea con molte specie anche endemiche (Sfenthourakis *et al.*, 2007).

Adattamenti all'ambiente terrestre

Per la colonizzazione delle terre emerse gli oniscidei hanno dovuto affrontare prevalentemente il problema del disseccamento e l'umidità è il principale fattore limitante nella loro distribuzione (Hornung, 2011). Il monitoraggio dell'umidità relativa dipende dall'articolo apicale del flagello della prima antenna e da alcuni articoli del flagello della seconda antenna (Schmalzfuss, 1998). Per limitare la perdita d'acqua, essi hanno sviluppato adattamenti morfologici, ecologici e comportamentali per quanto riguarda meccanismi di riproduzione, respirazione ed escrezione (Hornung, 2011). Alcuni adattamenti morfologici e fisiologici riguardano per esempio la cuticola, nonostante essa rimanga parzialmente permeabile all'acqua (Hadley and Quinlan, 1984), negli oniscidei la permeabilità è limitata da lipidi presenti nell'endocuticola. Il sistema di conduzione dell'acqua degli isopodi terrestri è composto da file di scaglie che trattengono l'acqua per capillarità, esso permette inoltre l'assorbimento di acqua per capillarità e l'escrezione di rifiuti azotati sotto forma di ammoniaca (Hornung, 2011). I pleopodi svolgono funzione respiratoria; nelle specie legate ad ambienti con alto grado di umidità relativa essi funzionano come branchie, mentre in altre specie gli esopoditi dei pleopodi portano strutture respiratorie come polmoni o pseudotrachee (Taiti, 2008). Il marsupio è diffuso tra le specie del superordine Peracarida ma nelle forme terrestri si è evoluto in un marsupio chiuso, contenente fluido con muco e cellule sanguigne, in grado di proteggere le uova da microbi e da disseccamento (Hornung, 2011). Altri adattamenti relativi al comportamento e all'ecologia riguardano l'adattamento alla vita notturna, la scelta di habitat con disponibilità di acqua e la ricerca di ripari, soprattutto per femmine

gravide, i quali possono essere la lettiera, rocce o tronchi d'albero o grotte e cavità nel terreno per specie cavernicole o endogee (Taiti, 2008). Una suddivisione tra gli isopodi terrestri secondo i vari adattamenti contro il disseccamento e la predazione è stata fatta da (Schmalfuss, 1984): i "runners" sono forme dotate di pereiopodi lunghi e adatti alla corsa; i "clingers" hanno un corpo allargato e pereiopodi corti e robusti che aderiscono fortemente al substrato; i "creepers" abitano ambienti sotterranei, sono di piccole dimensioni con corpo convesso e zampe corte; i "rollers" hanno un corpo molto convesso e sono in grado di arrotolarsi su se stessi quando disturbati; le "spiny forms", infine, sono forme voluzionali arboricole dotate di lunghe spine sul dorso. Tutte le forme che non appartengono ad uno di questi 5 gruppi rientrano, secondo Schmalfuss (1984) nelle forme "non conformiste", tra cui compaiono specie mirmecofile, termitofile e scavatrici. La dieta degli isopodi terrestri consiste principalmente di lettiera, legno in decomposizione, funghi e colonie di batteri. Possono occasionalmente predare insetti e larve ed avere tendenze alla coprofagia (Paoletti and Hassall, 1999). Le differenze morfologiche principali degli oniscidei rispetto all'ordine degli isopodi in generale riguardano le antenne. Il primo paio è molto ridotto, visibile solo al microscopio, mentre il secondo paio è visibile ad occhio nudo e le antenne sono costituite da un peduncolo e da un flagello con un numero variabile di segmenti (Taiti, 2008). Le prime due paia di pleopodi nei maschi sono trasformate in organi copulatori per il trasferimento delle spermatozoi negli ovidotti femminili, in particolare gli endopoditi che risultano allungati (Taiti, 2008).

La riproduzione degli isopodi terrestri

Negli Oniscidei la fecondazione avviene internamente con il trasferimento degli spermatozoi, da parte del maschio, all'interno dei due gonopori femminili, collegati ciascuno ad un ovidotto e ad un ovario; le uova vengono fecondate passando dall'ovario nell'ovidotto (Hollande and Fain-Maurel, 1965). Successivamente, gli spermatozoi vengono trattenuti in spermatozoi e possono essere utilizzati per la fecondazione di covate successive. Le femmine possono accoppiarsi con molteplici maschi durante lo stesso ciclo riproduttivo e il successo riproduttivo maschile dipende prevalentemente dall'esito della competizione spermatica. Per esempio, in *Armadillidium vulgare*, si è stimata la presenza in popolazioni naturali di paternità multipla, con una media di 4,5 padri per covata (Valette *et al.*, 2017). Dopo la fecondazione le femmine subiscono una muta (definita muta partoriale) che avvia la formazione di lamine sottili, gli oostegiti, che delimitano il marsupio (Argano, 1979). Le femmine portano quindi le uova, gli embrioni e, nella fase

finale dell'incubazione, le larve, nel marsupio per circa un mese. All'interno del marsupio strutture specializzate (i cotiledoni) riforniscono il marsupio di acqua, ossigeno e sostanze nutritive (Hoese and Janssen, 1989; Lewis, 1991). Le uova nel marsupio sono quindi immerse nel fluido marsupiale. Questa modalità di riproduzione costituisce un vantaggio nell'adattamento alla vita terrestre (mantiene un ambiente umido per le uova e le protegge fino alla schiusa) ma comporta uno svantaggio in quanto la fecondità risulta limitata dall'ampiezza del marsupio (Schmalzfuss, 1984). Dopo la nascita delle larve, le femmine subiscono nuovamente una muta in preparazione ad una nuova fase riproduttiva (Kight, 2009). La riproduzione negli isopodi terrestri è stagionale e le specie delle zone temperate si riproducono in primavera ed estate (Warburg, 1994). In una stagione riproduttiva le femmine alternano fasi sessualmente attive a fasi di riposo (Mocquard et al., 1989; Warburg, 1993). Al momento della massima recettività durante il periodo riproduttivo inizia per le femmine la maturazione degli oociti (Moreau and Rigaud, 2002); femmine di *A. vulgare* possono iniziare la vitellogenesi quando poste in diretto contatto con un maschio conspecifico (Kight, 2009).

Fattori che influenzano la riproduzione

La disponibilità di risorse e i limiti imposti dalle possibilità fisiologiche ed ecologiche spingono ogni organismo a mettere in atto strategie per massimizzare la propria fitness. A diverse condizioni diventa quindi necessario scegliere se investire le energie a disposizione per la crescita, per la riproduzione o per qualsiasi altra funzione che possa competere con altre (Stearns, 1992). Le energie per la riproduzione devono essere allocate nella stagione più adatta alla riproduzione e le risorse spese per lo sviluppo del singolo embrione, o larva, devono essere bilanciate a quelle per lo sviluppo della prole nel suo complesso (Smith and Fretwell, 1974). Le conoscenze riguardo i fattori biotici ed abiotici che possono avere un'influenza sulla riproduzione degli isopodi terrestri sono ancora limitate. Tuttavia, diversi studi dimostrano che esiste una certa flessibilità nei comportamenti e nelle strategie riproduttive degli isopodi terrestri (Kight and Nevo, 2004) e che la fecondità sia influenzata da vari fattori.

Fattori abiotici come la temperatura e il fotoperiodo possono modificare l'inizio dell'accoppiamento e la durata dell'incubazione nelle femmine (Kight, 2009); in particolare, temperature più alte stimolano l'accoppiamento e aumentano la velocità di maturazione delle uova (Helden and Hassall, 1998). Giornate più lunghe stimolano la riproduzione per specie che abitano zone interessate da stagionalità (Mocquard et al., 1989; Hornung and Warburg, 1993). Ci sono anche alcuni fattori biotici che si è visto possono influenzare la

riproduzione. Per esempio, il diretto contatto delle femmine con maschi conspecifici è importante, la loro presenza può infatti diminuire il numero di mute precedenti quella partoriale delle femmine ed accelerare il periodo che intercorre tra l'ultima muta pre-partoriale e quella partoriale (Hamaied et al., 2004).

Anche la dieta e la disponibilità di cibo influenzano la riproduzione, per esempio, una dieta povera, quantità insufficienti o minore qualità del nutrimento possono ritardare l'inizio dell'accoppiamento (Kight and Hashemi, 2003). Infine, la presenza di predatori può ridurre il tempo di incubazione e velocizzare la liberazione dei piccoli. Femmine di *A. vulgare*, ad esempio, possono terminare il periodo di cura delle uova quando poste in presenza di predatori in quanto nelle ultime fasi dell'incubazione risulta impossibile la voltazione, strategia utilizzata da questa specie per la difesa anti-predatoria (Kight, 2009). Il costo di uno sviluppo marsupiale ridotto negli isopodi è rappresentato dal riassorbimento di uova o l'aborto di larve e un numero ridotto di prole (Hornung and Warburg, 1994). L'impiego di energie nella riproduzione dipende quindi dai fattori ambientali e dalle pressioni ecologiche ai quali gli individui sono sottoposti ed è soggetto ad un continuo trade off tra le dimensioni e il numero di piccoli (Lawlor, 1976; Willows, 1987).

Gli effetti dei cambiamenti climatici e delle ondate di calore sulla riproduzione

Secondo modelli di previsioni future (IPCC 2014) i cambiamenti climatici continueranno a produrre effetti drammatici per l'ambiente e, oltre all'incremento della temperatura, è previsto un aumento dell'intensità e della frequenza di eventi meteorologici estremi, fra cui le ondate di calore (Meehl and Tebaldi, 2004; Christidis et al., 2015). Attualmente molti modelli di previsione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulle popolazioni si basano sul CTLs (critical thermal limits) ovvero il range di temperatura al di fuori del quale le funzioni vitali di un organismo cessano (Walsh et al., 2019). Walsh et al. (2019) propongono un nuovo modello, il TFLs (thermal fertility limits) che si riferisce al range di temperatura oltre il quale una specie non è più fertile, tenendo presente anche la durata dello stress a cui gli individui sono sottoposti. In questo studio gli autori sottolineano dunque come sia necessario ed importante studiare come la temperatura possa avere un impatto non solo sulla sopravvivenza, ma anche sulla riproduzione.

La sensibilità alle ondate di calore e alle temperature elevate per quanto riguarda la riproduzione è stata largamente studiata nei mammiferi ma, sorprendentemente, esistono ancora poche informazioni su taxa di ectotermi (Sales et al., 2018). Sales e colleghi (2018) con uno studio effettuato su un

piccolo insetto della famiglia dei Tenebrionidi, *Tribolium castaneum*, hanno dimostrato che le ondate di calore riducono la fertilità maschile e che maschi sottoposti ad ondate di calore ripetute possano diventare quasi completamente sterili. Inoltre, temperature eccessive possono compromettere la vitalità degli spermatozoi trattenuti all'interno delle femmine. In uno studio condotto da Breedveld *et al.* (2023) sugli effetti delle ondate di calore sulla riproduzione di *Poecilia reticulata* (pesce d'acqua dolce) si mostra invece come l'esposizione a temperature più alte della norma, come quelle di un'ondata di calore, produca un'alterazione dell'attività e dei tratti sessuali nei maschi e comporti una drammatica riduzione della fecondità e una più elevata mortalità nelle femmine.

Scopo dello studio

Scopo di questo progetto è uno studio preliminare sulla fecondità di una specie di isopode terrestre, *A. vulgare*, e se questa venga influenzata da ondate di calore. In particolare, si sono considerati parametri relativi alla fecondità (numero e dimensione della prole) in due periodi, prima e dopo un'ondata di calore, in femmine prelevate da popolazioni naturali nella regione Veneto.

MATERIALI E METODI

Campionamento

Gli isopodi utilizzati nello studio sono stati prelevati in natura da 3 diverse località: Schio (VI) 45° 42' 28,8"N 11°23'40,9"E, Padova 45°24'32,0"N 11°53'57,3"E e Selvazzano Dentro, località Caselle (PD) 45°24'59.9"N 11°49'06.6"E. Data l'attività prevalentemente notturna di questi animali, il momento scelto per la raccolta è stato dopo il tramonto. I campionamenti sono stati suddivisi nel tempo in modo da avere dei gruppi di campioni prelevati in maggio, prima dell'estate, e dei gruppi prelevati in estate, durante la fase finale di alcune ondate di calore. Le ondate di calore sono state individuate mediante siti di previsioni meteorologiche (<https://www.meteo.it>, <https://www.wetterzentrale.de>) che mostravano, oltre alle temperature previste e ai grafici relativi all'andamento delle temperature per alcuni giorni successivi a quello della consultazione (figura 2), eventuali avvisi sul possibile arrivo di suddette ondate di calore con temperature oltre la media. Una volta individuata l'ondata di calore imminente, i dati delle temperature medie giornaliere per i giorni di interesse venivano poi confrontati con la media di quelle degli ultimi cinque anni (2019-2023) per le stesse date.

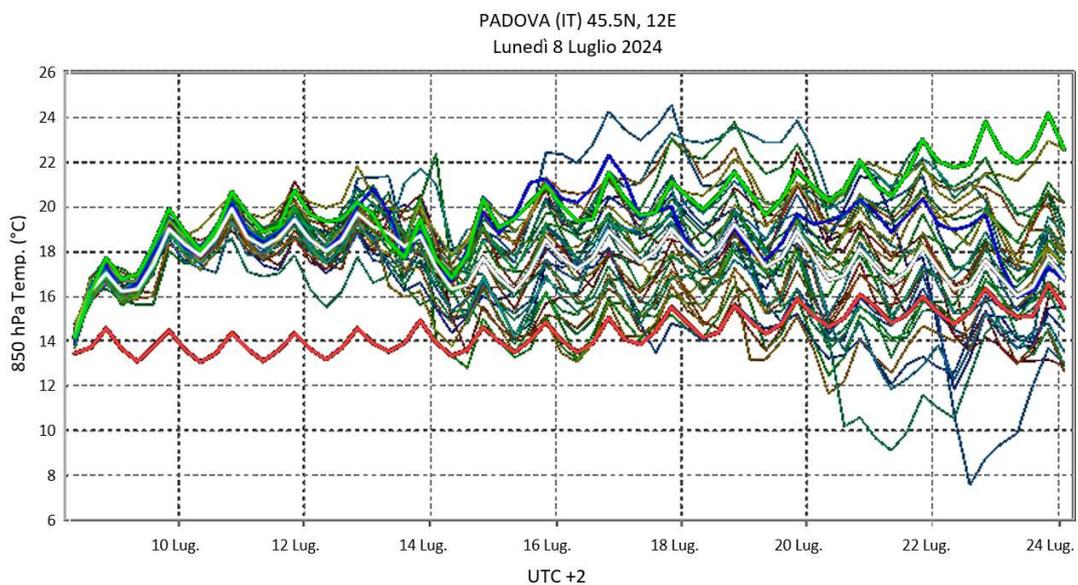


Figura 2. Grafico ricavato dal sito <https://www.wetterzentrale.de>. Sono rappresentate la media delle temperature minime (1991-2020) (linea rossa) e possibili previsioni per i giorni segnati in ascissa. Riferimento al campo di temperatura 850 hPa (°C). Immagine modificata

Le temperature medie dell'anno attuale sono state ricavate dai siti delle stazioni meteorologiche più vicine ai luoghi di raccolta (per Padova <https://www.meteonetwork.eu/it/weather-station/vnt470-stazione-meteorologica-di-portello>, per Schio [8](https://www.meteonetwork.eu/it/weather-station/vnt178-stazione-</p></div><div data-bbox=)

[meteorologica-di-schio-vi-quartiere-santa-croce-jn55qr](https://www.meteonetwork.eu/it/weather-station/vnt406-stazione-meteorologica-di-padova-monta), per Selvazzano (<https://www.meteonetwork.eu/it/weather-station/vnt406-stazione-meteorologica-di-padova-monta>).

Le temperature medie giornaliere degli anni dal 2019 al 2023 sono state ricavate da siti per la consultazione di archivi meteorologici (<https://www.paolociraci.it/meteo/archivio-storico.htm>, <https://meteo.it/portale/archivio-meteo/Venezia>). Le temperature sono relative alla stazione meteo di Venezia Tessera, ovvero la stazione che rende disponibile i dati di archivio più vicina alle località interessate per la cattura dei campioni. Se durante l'ondata di calore le temperature medie superavano quelle degli ultimi 5 anni per qualche grado di differenza, allora essa veniva presa in considerazione e la cattura degli isopodi veniva pianificata per la sua fase finale, ovvero prima che le temperature cominciassero a scendere ed a tornare nella media.

Il numero di campioni prelevati, sia relativi ai gruppi di controllo che a quelli delle ondate di calore, per ogni località sono riportati in tabella 1, insieme alla data di campionamento. Per ogni campione sono stati segnati il luogo e la data di raccolta, le temperature massime, minime e medie del giorno di raccolta per la località di provenienza e la data di isolamento. Le temperature sono state ricavate dal sito delle stazioni meteorologiche più vicine al luogo di raccolta.

Tabella 1. Vengono riportati il numero di campioni prelevati per ogni località con la rispettiva data di raccolta. I campionamenti sono suddivisi nella prima fase di controllo e nella seconda fase durante le ondate di calore

	Località	Numero individui campionati	Data
CONTROLLO			
	Padova	8	06/05/2024
		9	13/05/2024
	Selvazzano Dentro	6	13/05/2024
	Schio	1	04/05/2024
	totale	24	
DOPO ONDATA DI CALORE			
	Padova	13	23/06/2024
	Selvazzano Dentro	2	11/07/2024

		7	14/07/2024
	Schio	9	23/06/2024
	totale	31	

La media delle temperature medie giornaliere degli ultimi 5 anni registrate alla stazione meteo di Venezia Tessera e le temperature medie giornaliere di Padova e Schio durante la prima ondata di calore individuata sono riportate nella Tabella 2.

Tabella 2. Media delle temperature medie giornaliere di Venezia Tessera degli anni 2019-2023 e temperature medie giornaliere di Padova e Schio per i giorni dal 18/06/24 al 22/06/24

	Venezia (2019-2023)	Padova (2024)	Schio (2024)
18/06	23,9 °C	25,8 °C	24,3 °C
19/06	23,9 °C	27,1 °C	25,6 °C
20/06	24,6 °C	27,2 °C	25,4 °C
21/06	25,1 °C	27,5 °C	26,0 °C
22/06	24,9 °C	26,7 °C	23,8 °C

La media delle temperature medie giornaliere degli ultimi 5 anni della stazione meteo di Venezia Tessera e le temperature medie giornaliere di Selvazzano durante la seconda ondata di calore sono riportate nella tabella 3.

Tabella 3. Media delle temperature medie giornaliere di Venezia Tessera degli anni 2019-2023 e temperature medie giornaliere di Caselle per i giorni dal 08/07/24 al 12/07/24

	Venezia (2019-2023)	Selvazzano Dentro (2024)
08/07	24,0 °C	27,6 °C
09/07	24,4 °C	29,2 °C
10/07	25,2 °C	30,5 °C
11/07	24,9 °C	30,6 °C
12/07	24,3 °C	29,4 °C

Identificazione ed isolamento

I campioni raccolti sono stati portati in laboratorio dove tramite osservazione allo stereomicroscopio (Leica S9D) è stato possibile determinarne la specie. L'identificazione è stata fatta attraverso chiavi dicotomiche (Taiti, 2008). La raccolta era mirata ad individui del genere *Armadillidium*, in particolare della specie *Armadillidium vulgare*. Eventuali ritrovamenti di esemplari di altri generi e famiglie sono stati segnati e gli individui sono stati identificati (ove possibile). Sono stati trovati nella popolazione di Schio esemplari di *Cylisticus*

convexus e *Trachelipus razzautii*. Più difficile è stata la corretta identificazione delle specie *A. vulgare* rispetto ad un'altra specie molto simile appartenente al genere *Armadillidium*, ovvero *A. arcangelii*. Per l'identificazione sono stati presi in considerazione alcuni caratteri come la morfologia del telson (triangolare con apice arrotondato in *A. arcangelii* e trapezoidale con apice troncato in *A. vulgare*) e il colore (generalmente meno uniforme in *A. arcangelii*) anche se queste caratteristiche sono variabili e non sempre indicative della specie. La certezza dell'appartenenza ad una o all'altra specie è possibile solo basandosi sull'osservazione di alcuni caratteri sessuali maschili (il secondo segmento del settimo pereopode è incavato in *A. vulgare* e dritto in *A. arcangelii*; l'esopodite del primo pleopode presenta una punta posteriore più sviluppata in *A. arcangelii* e l'endopodite ha una parte terminale diritta in *A. arcangelii* e ricurva in *A. vulgare*). L'identificazione è stata anche gentilmente verificata dal dr. Stefano Taiti, esperto di Isopodi, tramite foto di individui maschi ed osservazioni dirette degli stessi individui preservati. In ogni caso, come detto, l'assegnazione della specie corretta per le femmine non può essere sicura come per i maschi, per cui ci siamo basati anche sulla presenza nella stessa popolazione di maschi identificati come *A. vulgare*.

Gli individui maschi (Fig. 3) sono stati rilasciati mentre le femmine (Fig. 4) con uova o embrioni in fase di maturazione all'interno del marsupio sono state tenute e allevate in laboratorio per il tempo necessario allo studio.



Figura 3. *A. vulgare*, individuo maschio in vista ventrale. Sono visibili le prime due paia di pleopodi modificate in organi copulatori



Figura 4. *A. vulgare*, individuo femmina con embrioni ancora racchiusi nel marsupio

Ogni femmina è stata isolata in una piastra Petri (100 mm diametro x20 mm altezza) precedentemente preparate con un substrato dello spessore di circa 2 mm di gesso, ottenuto tramite una miscela di due parti di gesso (Knauf gesso) e una di acqua. Nel coperchio erano stati creati dei fori per l'aerazione con un diametro di circa 2 mm (fig.5).



Figura 5. Esempio di piastra Petri con substrato di gesso e coperchio forato

Ad ogni femmina è stato assegnato un codice di riconoscimento univoco con lettera identificativa della popolazione di appartenenza (S: Schio, P: Padova o C: Selvazzano Dentro) ed un numero.

Di ogni femmina è stata presa una foto del dorso (fig.6) e una del ventre utilizzando una fotocamera digitale (Flexacam C1) collegata al microscopio. Nella foto erano presenti carta millimetrata (per la calibrazione dell'immagine) e il codice identificativo univoco dell'individuo. Di ogni femmina dalle foto sono state misurate la lunghezza (dal cephalon al telson, in mm) e la larghezza (agli estremi del terzo pereionite, in mm), utilizzando il software ImageJ.



Figura 6. Foto in vista dorsale del campione P16 di cui viene segnata la lunghezza

Le piastre Petri contenenti i campioni sono state quindi tenute in laboratorio, all'interno di un contenitore di plastica (34,5x23x14,5 cm) chiuso, contenente dei fogli di carta assorbente imbevuti di acqua con lo scopo di mantenere un ambiente umido. Anche i substrati di gesso sono stati mantenuti sempre

umidi spruzzando acqua quando necessario. Come cibo sono stati forniti pezzetti di carota.

Schiusa delle uova e misurazioni

I campioni sono stati controllati quotidianamente per verificare il giorno della schiusa delle uova e della liberazione dei piccoli dal marsupio; i piccoli sono stati separati dalla madre e trasferiti in una piastra Petri vuota (senza substrato di gesso), utilizzando una pinzetta o un pennello in silicone. Ai piccoli è stato assegnato lo stesso codice identificativo della madre.

Ai piccoli sono state fatte alcune foto allo stereomicroscopio, sempre con il riferimento di carta millimetrata. Utilizzando una fotocamera (Canon EOS 450D) è stata effettuata anche una foto della piastra Petri nella sua complessità, per avere nello stesso scatto il numero totale di individui nati da una stessa femmina. La conta degli individui nella foto è stata fatta tramite ImageJ. Attraverso le foto allo stereomicroscopio è stato possibile effettuare le misurazioni in lunghezza dei piccoli con il software ImageJ, tenendo in considerazione solo gli individui che erano disposti in posizione ottimale per la misurazione (fig. 7), cioè non in posizione avvolta o in posizione supina. Le misurazioni sono state fatte per il maggiore numero di individui possibile, fino a 20, per avere una stima più precisa possibile delle dimensioni della prole e della variabilità entro e tra famiglie diverse.



Figura 7. Foto al microscopio di alcuni piccoli, quelli indicati sono individui adatti ad essere misurati in lunghezza

I piccoli venivano poi pesati complessivamente posandoli su un foglietto di carta sopra al piatto della bilancia (Kern electronic balance ABS 220-4 con precisione 0,1mg) su cui veniva effettuata la tara. Una volta prive delle uova, dopo la muta post-parto venivano pesate anche le madri, allo stesso modo. Le misurazioni sono state riportate in grammi.

Raccolta dei dati

I dati ottenuti sono stati raccolti in un documento Excel organizzato in modo da registrare in ogni riga del file tutte le informazioni relative ad un individuo: il codice identificativo, la data e il luogo di raccolta, la temperatura massime, minime e medie al giorno della raccolta nella località di provenienza, la data di isolamento e tutte le informazioni ottenute in laboratorio, quali le misure relative alla lunghezza e alla larghezza, il peso della madre post-parto, le foto ventrali e dorsali della madre, la foto complessiva dei piccoli, il numero di piccoli e le misure della lunghezza dei piccoli.

Analisi statistiche

Le analisi descrittive sono state condotte in Excel, mentre i test statistici sono stati effettuati con il software statistico JMP (versione 17). Per analizzare se ci fosse una variazione nella fecondità delle femmine (numero e dimensione dei piccoli prodotti analizzati separatamente) raccolte prima e dopo le ondate di calore è stato usato un modello lineare misto con la fecondità (numero di piccoli per individuo)- oppure la dimensione dei piccoli – come variabile dipendente, il periodo (gruppo di controllo prima delle ondate di calore e gruppo raccolto durante le ondate di calore) come fattore fisso; la dimensione delle femmine come covariata per tenere conto delle diverse dimensioni delle femmine, fattore che può influenzare la fecondità, ed infine la popolazione di provenienza come fattore casuale (per considerare la non indipendenza dei dati provenienti dalle femmine della stessa popolazione).

Tutte le medie sono riportate \pm la loro deviazione standard. Le analisi riportate si riferiscono esclusivamente ai campioni della specie *A. vulgare*.

RISULTATI

Statistica descrittiva

Sono stati campionati in totale 55 campioni, suddivisi nelle popolazioni di Schio (10 campioni), Padova (30 campioni) e Selvazzano Dentro (15 campioni). La media delle misure di lunghezza e larghezza e del peso sono riportate nella tabella 4, insieme alla media di ciascuna variabile considerata solo per i campioni appartenenti alla stessa popolazione.

Tabella 4. Sono riportati i numeri (N) delle femmine campionate per le 3 popolazioni e in totale, con le medie delle misure in lunghezza, larghezza e peso (solo per le femmine che hanno partorito).

	Femmine (N)	Femmine che hanno partorito (N)	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Peso (g)
SCHIO	10	10	10,17 ± 1,17	4,81 ± 0,56	0,07 ± 0,02
PADOVA	30	26	9,18 ± 1,05	4,39 ± 0,43	0,05 ± 0,01
SELVAZZANO	15	7	9,42 ± 1,20	4,32 ± 0,67	0,04 ± 0,02
totale	55	43	9,41 ± 1,15	4,45 ± 0,55	0,05 ± 0,01

Dei 55 campioni prelevati è avvenuta la schiusa delle uova in laboratorio per 43 femmine. Di questi sono riportati la durata del tempo di isolamento in laboratorio, il numero di piccoli nati, la media della lunghezza dei piccoli e il loro peso complessivo in tabella 5 per la popolazione di Schio, tabella 6 per la popolazione di Padova e tabella 7 per la popolazione di Selvazzano. Sono state prese le misure per un minimo di 2 e un massimo di 20 piccoli, in media sono stati considerati 10,4 piccoli per femmina.

Tabella 5. Durata del tempo di isolamento, numero di piccoli, media delle misure della lunghezza e peso complessivo dei piccoli di ciascuna femmina della popolazione di Schio

ID femmina	Durata del tempo di isolamento (gg)	Larghezza femmina (mm)	Numero piccoli	Media lunghezza piccoli (mm)	Peso complessivo piccoli (g)
S01	21	5,48	92	1,70±0,04	Na
S02	7	4,63	56	1,76±0,05	0,02
S03	8	4,42	47	1,48±0,05	0,012
S04	10	4,63	39	1,66±0,05	0,008
S05	15	4,43	50	1,60±0,05	0,011
S06	2	5,98	121	1,62±0,04	0,035
S07	14	4,41	22	1,38±0,03	0,003
S08	7	5,27	57	1,73±0,08	0,017
S09	28	4,3	34	1,68±0,05	0,011
S10	7	4,64	38	1,75±0,10	0,012
Totale (media ± DS)	11,9±7,78	4,81±0,56	55,6±29,6	1,64±0,12	0,014±0,009

Tabella 6. Durata del tempo di isolamento, numero di piccoli, media delle misure della lunghezza e peso complessivo dei piccoli di ciascun campione della popolazione di Padova

ID femmina	Durata del tempo in isolamento (gg)	Larghezza femmina (mm)	Numero piccoli	Media lunghezza piccoli (mm)	Peso complessivo piccoli (g)
P01	15	5,32	91	1,65±0,06	Na
P02	19	4,28	38	1,71±0,08	Na
P03	14	4,47	42	1,66±0,07	Na
P04	12	3,97	45	1,49±0,05	Na
P09	16	4,51	40	1,44±0,06	Na
P10	14	4,17	34	1,67±0,04	Na
P11	12	4,62	50	1,46±0,03	Na
P12	20	4,34	23	1,72±0,10	Na
P13	14	4,91	70	1,58±0,02	Na
P14	19	5,12	44	1,65±0,09	Na
P15	14	4,35	56	1,65±0,10	Na
P16	11	4,25	43	1,25±0,08	Na
P17	13	3,97	17	1,48±0,07	Na
P18	14	4,35	43	1,56±0,06	0,011
P19	14	4,7	75	1,71±0,07	0,020
P20	13	4,58	45	1,35±0,07	0,011
P21	13	4,32	47	1,30±0,02	0,012
P22	9	4,58	44	1,58±0,05	0,013
P23	15	4,94	85	1,40±0,04	0,018
P24	9	4,51	11	1,60±0,03	0,001
P25	5	4,32	26	1,72±0,08	0,006
P26	13	4,4	8	1,30±0,03	0,001
P27	13	4,45	12	1,37±0,07	0,001
P28	5	4,73	20	1,66±0,11	0,006
P29	5	4,62	30	1,65±0,07	0,009
P30	5	4,43	69	1,48±0,10	0,017
Totale (media ± DS)	12,53±4,15	4,39±0,43	42,61±22,02	1,54±0,14	0,009±0,006

Tabella 7. Durata del tempo di isolamento, numero di piccoli, media delle misure della lunghezza e peso complessivo dei piccoli di ciascun campione della popolazione di Selvazzano

ID femmina	Durata del tempo in isolamento (gg)	Larghezza femmina (mm)	Numero piccoli	Media lunghezza piccoli (mm)	Peso complessivo piccoli (g)
C05	14	4,78	44	1,65±0,09	Na
C09	1	2,89	49	1,07±0,08	Na
C10	5	4,32	29	1,34±0,03	Na
C12	14	5,03	52	1,70±0,06	Na
C13	12	4,94	48	1,83±0,09	Na
C16	6	3,41	57	1,34±0,03	Na
C17	2	3,64	22	1,65±0,08	0,006
Totale (media ± DS)	7,71±5,55	4,32±0,67	43±12,75	1,51±0,26	0,006

Analisi statistiche

È stata riscontrata una correlazione positiva tra la misura della lunghezza e la misura della larghezza delle femmine ($r=0,88$, $P<0,001$) e tra peso e larghezza ($r=0,92$, $P<0,001$). Per le analisi successive è stata quindi utilizzata come misura della dimensione delle femmine la larghezza, anche perché questa misura è meno soggetta ad errori di misurazione (la lunghezza potrebbe variare leggermente a seconda della posizione assunta dal campione al momento della misurazione).

Per quanto riguarda le differenze fra popolazioni è stata riscontrata una differenza, sebbene non significativa, nella dimensione delle femmine (Anova: $F=3,005$; $P=0,058$). Pur non essendo significativa, facendo un test post hoc (Tukey) e come si può intuire dal grafico (figura 8) la popolazione di Schio è quella con la dimensione di femmine più grande rispetto dalle altre due popolazioni Selvazzano-Padova: $P=0,919$, Schio-Selvazzano: $P=0,0680,001$; Schio-Padova: $P=0,079$).

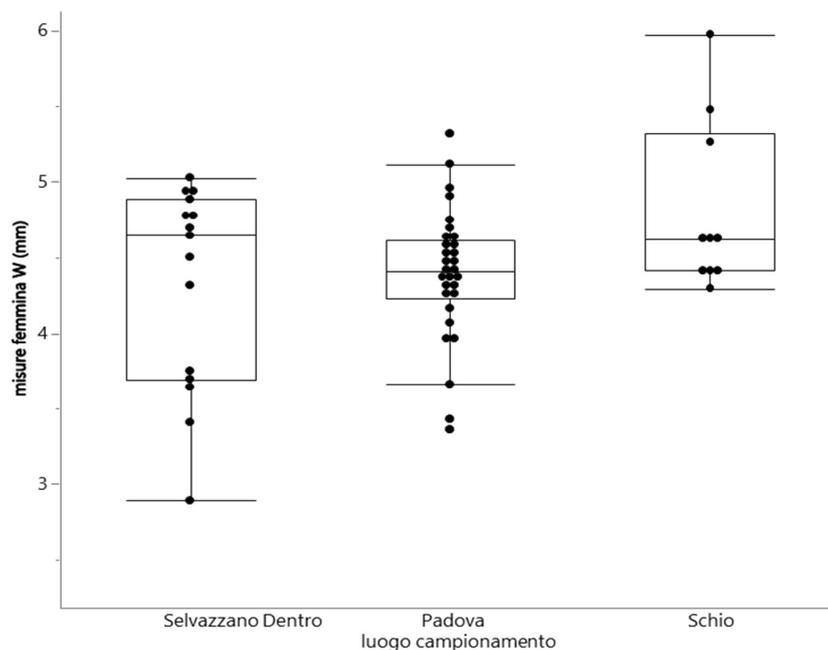


Figura 8. Box plot in cui vengono riportati i luoghi di campionamento e le misure della larghezza delle femmine nelle diverse popolazioni (i punti si riferiscono ai dati di dimensione corporea delle singole femmine)

La correlazione tra la dimensione corporea della madre e il numero dei piccoli è significativa e positiva ($r=0,559$, $P<0,001$) (figura 9), cioè femmine più grandi hanno prodotto un numero di piccoli maggiore. Non è invece stata riscontrata una correlazione significativa tra il numero di piccoli e la loro dimensione

media ($r=0,04$, $P=0,158$) e nemmeno tra il numero di piccoli e il loro peso ($r=0,00$, $P=0,863$).

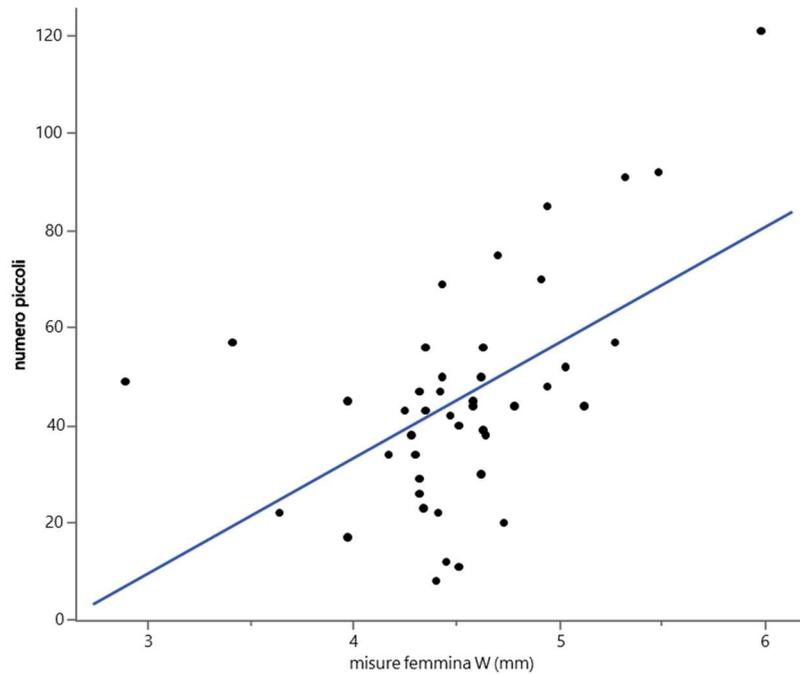


Figura 9. Correlazione positiva tra la dimensione corporea delle femmine e il numero di piccoli prodotti

Femmine con uova. 24/24 (100%) femmine nel periodo di controllo avevano uova, mentre solo 23/31 (74.2%) femmine dopo l'ondata di calore avevano uova. La differenza è statisticamente significativa (chi quadro: 7.248, $P=0.071$) (figura 10).

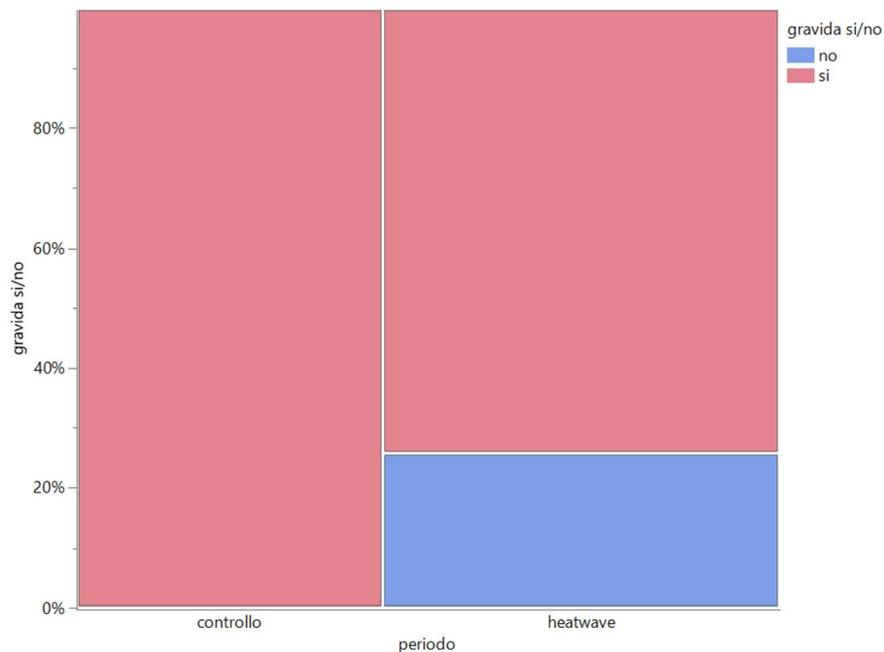


Figura 10. Percentuale di femmine gravide durante il periodo di controllo e durante le ondate di calore

Produzione di piccoli. L'83,3% delle femmine campionate nel periodo di controllo hanno partorito (20 su 24). Dopo le ondate di calore il 74,2% delle femmine ha partorito (23 su 31), quindi meno rispetto alle femmine di controllo, ma questa differenza non è statisticamente significativa (chi quadro: 0.662, $P=0.416$) e c'è anche da considerare che, come detto sopra, alcune femmine dopo l'ondata di calore non avevano uova.

Numero di piccoli. Non è stato riscontrato alcun effetto delle ondate di calore sulla fecondità (numero di piccoli) delle femmine (figura 11a) ($t=1,22$; $P=0,229$). L'effetto delle ondate di calore non ha avuto effetto sulla dimensione dei piccoli ($t=0,07$; $P=0,944$) (figura 11b).

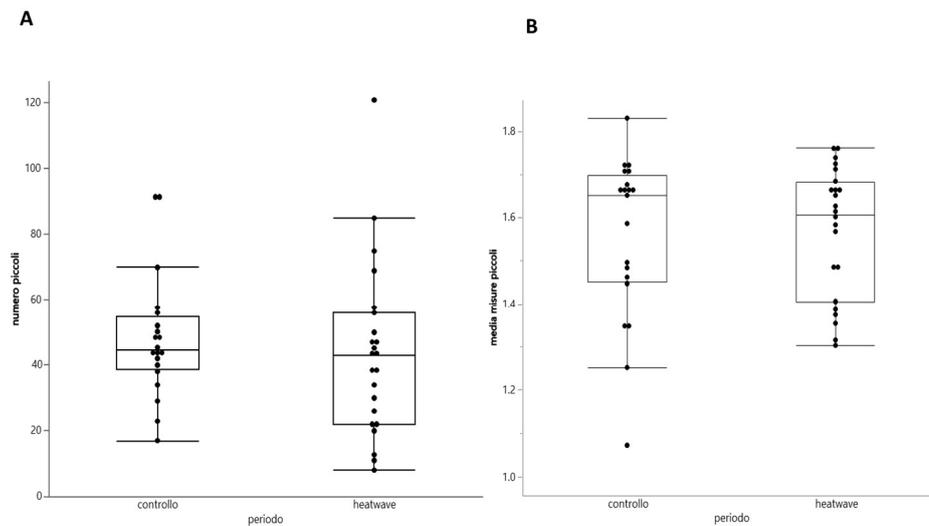


Figura 11. (A) numero di piccoli in relazione al periodo. (B) dimensioni dei piccoli in relazione al periodo

DISCUSSIONE

Lo scopo di questo studio è stato di studiare la fecondità di femmine di *A. vulgare* campionate nella regione del Veneto (da tre diverse popolazioni). La fecondità è stata stimata sia in condizioni di controllo sia alla fine di un'ondata di calore. Nello studio sono state considerate anche le dimensioni delle femmine per metterle in relazione al numero dei piccoli prodotti e alle dimensioni di questi ultimi.

Per quanto riguarda le dimensioni, gli isopodi considerati in questo studio presentano una lunghezza minima di 6,82 mm e massima di 12,93 mm (media di $9,41 \pm 1,15$ mm), una larghezza minima di 3,36 mm e massima di 5,98 mm (media di $4,45 \pm 0,55$ mm) e un peso minimo di 0,017 g e massimo di 0,119 g (media di $0,05 \pm 0,01$ g). I dati raccolti risultano rappresentativi del range delle dimensioni delle femmine di questa specie di isopodi. Brody e Lawlor (1984) nel loro studio sulla variabilità adattiva della riproduzione di *A. vulgare* utilizzano due gruppi di femmine gravide prelevate in aree verdi ad Austin (Texas), uno con un range di peso da 0,030 g a 0,045 g e l'altro con un range da 0,065 g a 0,125 g. Wang *et al.* (2023) per uno studio sulle differenze di dimensione e peso tra popolazioni di diverse aree verdi urbane nella provincia di Jiangsu (Cina) utilizzano un campione di 1015 esemplari di *A. vulgare* di cui la lunghezza media è $8,21 \pm 2,07$ mm e il peso medio $0,048 \pm 0,032$ g.

La fecondità degli isopodi è stata misurata tramite il numero di piccoli nati da ciascuna femmina: il numero minimo è stato 8 e il massimo 121 (media di $45,7 \pm 23,02$). La lunghezza media dei piccoli è $1,56 \pm 0,16$ mm e il peso medio è $0,011 \pm 0,007$ g. I risultati ottenuti sono comparabili a quelli ottenuti da studi sulla stessa specie. Miller e Cameron (1983) in uno studio sulla variabilità dei caratteri della life history di *A. vulgare*, osservano un numero medio di 37,6 embrioni per femmina, ottenuto dissezionando campioni di diverse dimensioni prelevati da habitat diversi.

La fecondità di ciascuna femmina dipende dalle dimensioni della stessa. È stata infatti osservata una correlazione positiva tra le dimensioni corporee delle femmine e il numero di piccoli prodotti. Numerosi studi riportano una correlazione tra le dimensioni della madre (e quindi la capacità del marsupio) e il numero di uova e piccoli che essa è in grado di portare. Miller e Cameron (1983) suddividono le femmine campionate in diversi gruppi in relazione alle loro dimensioni e il numero medio di piccoli prodotti risulta proporzionale alla grandezza delle madri. In particolare, nel loro studio Miller e Cameron (1983) riportano per il gruppo di maggiori dimensioni con lunghezza media di 10,63 mm il numero medio di piccoli era 59,6; per il gruppo con lunghezza media di

8,57 mm il numero medio di piccoli era 36,35; per il gruppo con lunghezza media 7,44 mm il numero medio di piccoli era 20,3 e per le femmine più piccole, con lunghezza media minore di 5,77 mm, il numero medio di piccoli è 10,71. I risultati qui riportati sono simili a quelli ottenuti in questo studio: femmine di dimensione media pari a 10,5 mm hanno in media 61,7 piccoli; femmine di dimensioni medie pari a 8,68 mm hanno in media 29,9 piccoli. Evidenze della correlazione positiva tra il numero di piccoli e le dimensioni della madre sono state trovate anche in femmine di *Porcellio scaber* e in molte altre specie di isopodi (Antoŧ e Czarnoleski, 2018). Secondo Kight (2009) gli isopodi investono energie per la crescita corporea in quanto essa rappresenta un vantaggio dal punto di vista riproduttivo: un maggior numero di piccoli per femmina è il risultato di una selezione dovuta ad un'alta mortalità giovanile a cui gli isopodi terrestri sono soggetti.

Non è stato individuato un trade off significativo tra il numero dei piccoli e le dimensioni degli stessi. Ci si poteva aspettare un trade off tra il numero e le dimensioni dei piccoli, e che quindi un numero maggiore di piccoli comportasse dimensioni ridotte. Tuttavia, Hassall *et al.* (2005) notano che femmine di *A. vulgare* con disponibilità di cibo di buona qualità investono energia nella riproduzione con produzione di un numero maggiore di piccoli di dimensioni maggiori. Il risultato ottenuto potrebbe quindi dipendere dalla complessità di molti fattori e, inoltre, da un numero di campioni di studio troppo limitato per avere un potere statistico adeguato.

La comparazione delle dimensioni tra gli individui di popolazioni diverse ha mostrato una differenza (anche se non significativa) della popolazione di Schio rispetto a quelle di Padova e Selvazzano. I campioni di Schio appartenevano ad un habitat meno urbanizzato rispetto alle altre due popolazioni, e questo può avere influito sulle dimensioni. È stato studiato infatti che la fauna del suolo può riflettere le condizioni degli spazi verdi in un'area urbanizzata (Wang *et al.*, 2023) e che individui più grandi sono generalmente meno influenzati da fattori antropogenici rispetto ad individui di dimensioni minori (Garbuio *et al.*, 2012). Sarebbe quindi opportuno, standardizzare i metodi e i luoghi dei campionamenti anche tra diverse località e aumentare il numero di popolazioni considerate in modo da valutare meglio eventuali differenze geografiche e/o di habitat.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti dallo studio degli effetti delle ondate di calore sulla fecondità è stato osservato che dopo le ondate di calore si sono trovate meno femmine con uova, ma tra le femmine con uova non c'era differenza nella probabilità della schiusa degli embrioni o nel numero di piccoli prodotti. Per verificare l'ipotesi di partenza, ovvero che temperature

più alte possano influenzare la fecondità e diminuirla (nel caso di isopodi terrestri) sarà sicuramente necessario analizzare un numero di campioni più ampio per confermare o meno i risultati di questo studio. Da considerare nella valutazione dei risultati è anche il fatto che i campioni sono stati prelevati in natura e non sono stati monitorati durante le ondate di calore; è esclusa quindi la possibilità di verificare se essi sono stati in grado di trovare riparo durante le giornate (o i momenti della giornata) più calde o se sono stati invece esposti alle alte temperature. La dimensione delle femmine trovate prima e dopo non era diversa, per cui il risultato sulla probabilità di trovarle con uova non è attribuibile alle dimensioni ma sembrerebbe essere in effetti il risultato dell'ondata di calore. Sarebbe ideale, in studi successivi, far riprodurre le femmine in laboratorio e quindi simulare prima, dopo o durante l'ondata di calore per approfondire il perché del risultato dell'assenza di uova nelle femmine dopo l'ondata di calore.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti da questo studio preliminare, seppur limitati, rappresentano un punto di partenza importante per studi futuri. Monitorare il parametro della fecondità e le sue variazioni può dare un contributo fondamentale allo studio sugli effetti delle ondate di calore in quanto fenomeno che può avere effetti anche drammatici per l'ambiente e per la vita. Gli isopodi, come riscontrato in questo studio, sono organismi adatti ad una tale osservazione per la loro abbondanza e la facilità con cui essi possono essere catturati e monitorati in laboratorio; inoltre, la brevità del periodo di gestazione consente l'osservazione di un numero ampio di campioni in un tempo relativamente breve. La notevole diffusione di questo ordine può risultare utile anche nella comparazione degli effetti delle ondate di calore e dei cambiamenti climatici in ambienti e aree del mondo molto differenti tra loro.

Bibliografia

Antoń, A. and Czarnoleski, M. (2018) 'Size dependence of offspring production in isopods: a synthesis', *ZooKeys*, (801), pp. 337–357.

Argano, R. (1979) *Isopodi (Crustacea Isopoda)*. Verona: Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Breedveld, M.C. *et al.* (2023) 'Reproducing in hot water: Experimental heatwaves deteriorate multiple reproductive traits in a freshwater ectotherm', *Functional Ecology*, 37(4), pp. 989–1004.

Brody, M.S. and Lawlor, L.R. (1984) 'Adaptive variation in offspring size in the terrestrial isopod, *Armadillidium vulgare*', *Oecologia*, 61(1), pp. 55–59.

Carefoot, T. and Taylor, B. (1995) 'Ligia: a prototypal terrestrial isopod', in *Terrestrial Isopod Biology*. 1st Edition. London.

Christidis, N., Jones, G.S. and Stott, P.A. (2015) 'Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave', *Nature Climate Change*, 5(1), pp. 46–50.

Cloudsley-Thompson, J.L. (1988) *Evolution and adaptation of terrestrial arthropods*. Berlin; New York: Springer-Verlag.

Garbuio, F.J., Howard, J.L. and Santos, L.M. dos (2012) 'Impact of Human Activities on Soil Contamination'.

Hadley, N.F. and Quinlan, M.C. (1984) 'Cuticular transpiration in the isopod *Porcellio laevis*: Chemical and morphological factors involved in its control', *Symposia of the Zoological Society of London* [Preprint].

Hamaied, S., Nasri-Ammar, K. and Charfi-Cheikhrouha, F. (2004) 'Phénologie de la reproduction d'une population naturelle de *Armadillidium pelagicum* Arcangeli, 1955 (Isopoda, Oniscidea)', *Comptes Rendus Biologies*, 327(4), pp. 335–342.

Hassall, M. *et al.* (2005) 'Ecotypic differentiation and phenotypic plasticity in reproductive traits of *Armadillidium vulgare* (Isopoda: Oniscidea)', *Oecologia*, 143, pp. 51–60.

Helden, A.J. and Hassall, M. (1998) 'Phenotypic plasticity in growth and development rates of *Armadillidium vulgare* (Isopoda: Oniscidea)', *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 44(3–4), pp. 379–394.

Hoese, B. and Janssen, H. (1989) 'Morphological and physiological studies on the marsupium in terrestrial isopods'.

Hollande, A. and Fain-Maurel, M. (1965) 'Nouvelles observations sur l'infrastructure du spermatozoïde des isopodes. Origine et évolution de la vésicule spermatique d'*Armadillidium vulgare*', *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, Série III*, 265, pp. 787–789.

Hornung, E. (2011) 'Evolutionary adaptation of oniscidean isopods to terrestrial life: Structure, physiology and behavior', *Terrestrial Arthropod Reviews*, 4, pp. 95–130.

Hornung, E. and Solymos, P. (2007) 'Macroecology and biogeography of terrestrial isopods in Europe: a preliminary report', p. 24.

Hornung, E. and Warburg, M. (1993) 'Breeding patterns in the oniscid isopod, *Porcellio ficulneus* Verh., at high temperature and under different photophases', *Invertebrate reproduction & development*, 23(2–3), pp. 151–158.

Hornung, E. and Warburg, M.R. (1994) 'Oosorption and oocyte loss in a terrestrial isopod under stressful conditions', *Tissue and Cell*, 26(2), pp. 277–284.

Kight, S. (2009) 'Reproductive ecology of terrestrial isopods (Crustacea: Oniscidea)', *Terrestrial Arthropod Reviews*, 1(2), pp. 95–110.

Kight, S.L. and Hashemi, A. (2003) 'Diminished food resources are associated with delayed reproduction or increased post-reproductive mortality in brood-bearing terrestrial isopods *Armadillidium vulgare* Latreille', *Entomological news*, 114(2), pp. 61–68.

Kight, S.L. and Nevo, M. (2004) 'Female terrestrial isopods, *Porcellio laevis* Latreille (Isopoda: Oniscidea) reduce brooding duration and fecundity in response to physical stress', *Journal of the Kansas Entomological Society*, 77(3), pp. 285–287.

Kim, Jeongho *et al.* (2021) 'The First Insight into the Patterns of Size and Shape Variation of a Microcerberid Isopod', *Water*, 13(4), p. 515.

Lawlor, L.R. (1976) 'Parental investment and offspring fitness in the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare* (Latr.) (Crustacea: Oniscoidea)', *Evolution*, pp. 775–785.

Lewis, F. (1991) 'The relationship between broodpouch cotyledons, aridity and advancement', in: *The Biology of Terrestrial Isopods III. Proceedings of the Third International Symposium on the Biology of Terrestrial Isopods. Universiteit de Poitiers, France, Publisher, Poitiers, France*, pp. 81–88.

Meehl, G.A. and Tebaldi, C. (2004) 'More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century', *Science*, 305(5686), pp. 994–997.

- Miller, R.H. and Cameron, G.N. (1983) 'Intraspecific variation of life history parameters in the terrestrial isopod, *Armadillidium vulgare*', *Oecologia*, 57(1–2), pp. 216–226.
- Mocquard, J., Juchault, P. and Souty-Grosset, C. (1989) 'The role of environmental factors (temperature and photoperiod) in the reproduction of the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804)', *Monografia. Monitore zoologico italiano*, 4, pp. 455–475.
- Moreau, J. and Rigaud, T. (2002) 'The shape of calcium carbonate deposits as an external marker for female reproductive status in terrestrial isopods', *Journal of Crustacean Biology*, 22(2), pp. 353–356.
- Paoletti, M.G. and Hassall, M. (1999) 'Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), pp. 157–165.
- Poore, G.C.B. and Bruce, N.L. (2012) 'Global Diversity of Marine Isopods (Except Asellota and Crustacean Symbionts)', *PLOS ONE*, 7(8), p. e43529.
- Sales, K. et al. (2018) 'Experimental heatwaves compromise sperm function and cause transgenerational damage in a model insect', *Nature Communications*, 9(1), p. 4771.
- Schmalfuss, H. (1984) 'Eco-morphological strategies in terrestrial isopods', in *Symposia of the Zoological Society of London*, p. 49.
- Schmalfuss, H. (1998) 'Evolutionary strategies of the antennae in terrestrial isopods', *Journal of Crustacean Biology*, 18(1), pp. 10–24.
- Schmalfuss, H. (2003) 'World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea)'.
- Schmalfuss, H. (2005) 'Utopioniscus kuehni n. gen., n. sp. (Isopoda: Oniscidae: Synochaeta) from submarine caves in Sardinia', *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie A (Biologie)*, 677, pp. 1–21.
- Sfenthourakis, S. et al. (2007) 'An analysis of the global distribution of known Oniscidea', *Abstracts Volume of the 7 th International Symposium on the Biology of Terrestrial Isopods*, p. 44.
- Sfenthourakis, S. and Hornung, E. (2018) 'Isopod distribution and climate change', *ZooKeys*, (801), pp. 25–61.
- Sfenthourakis, S. and Taiti, S. (2015) 'Patterns of taxonomic diversity among terrestrial isopods', *ZooKeys*, (515), pp. 13–25.
- Smith, C.C. and Fretwell, S.D. (1974) 'The optimal balance between size and number of offspring', *The American Naturalist*, 108(962), pp. 499–506.

- Stearns, S.C. (1992) *The evolution of life histories*. Oxford university press.
- Taiti, S. (2008) 'Isopodi', in Latella L. e Gobbi M. *La fauna del suolo. Tassonomia, ecologia e metodi di studio dei principali gruppi di invertebrati terrestri italiani*. Prima edizione. Trento: Museo Tridentino di Scienze Naturali, pp. 49–74.
- Valette, V. et al. (2017) 'Multiple paternity in a wild population of *Armadillidium vulgare*: influence of infection with Wolbachia?', *Journal of Evolutionary Biology*, 30(2), pp. 235–243.
- Walsh, B.S. et al. (2019) 'The impact of climate change on fertility', *Trends in Ecology & Evolution*, 34(3), pp. 249–259.
- Wang, S. et al. (2023) 'Body Size and Weight of Pill Bugs (*Armadillidium vulgare*) Vary between Urban Green Space Habitats', *Animals*, 13(5), p. 857.
- Warburg, M.R. (1993) *Evolutionary biology of land isopods*. Springer Science & Business Media.
- Warburg, M.R. (1994) 'Review of recent studies on reproduction in terrestrial isopods', *Invertebrate Reproduction & Development*, 26(1), pp. 45–62.
- Willows, R. (1987) 'Intrapopulation Variation in the Reproductive Characteristics of Two Populations of *Ligia oceanica* (Crustacea: Oniscidea)', *The Journal of Animal Ecology*, pp. 331–340.

Ringraziamenti

Ringrazio innanzitutto la professoressa Gasparini per avermi seguito in questo percorso con professionalità e grande disponibilità. Un ringraziamento sincero anche al dr. Stefano Taiti per il prezioso aiuto nell'identificazione degli isopodi.

Ringrazio i miei genitori e mio fratello per il continuo supporto, la disponibilità e l'aiuto durante tutto questo percorso di studi ed infine i miei coinquilini, Giovanni e Riccardo, che sono venuti con me a cercare gli isopodi durante i campionamenti.