



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ANIMALI, ALIMENTI, RISORSE  
NATURALI E AMBIENTE (DAFNAE)

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AMBIENTE

Possibilità di controllo degli insetti infestanti le derrate alimentari  
mediante antagonisti naturali: indagini biologiche ed etologiche su  
*Habrobracon hebetor* (Hymenoptera, Braconidae)

**Relatore:** Prof. Luca Mazzon

**Correlatore:** Dott. Samuele Morao

**Laureanda:** Gaia Gant

**Matricola:** 2000069

**Anno Accademico 2022/2023**



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	3
<b>1.1 Metodi di gestione delle derrate alimentari</b> .....	3
<b>1.2 <i>Plodia interpunctella</i> ed <i>Ephestia cautella</i></b> .....	4
<b>1.3 <i>Habrobracon hebetor</i></b> .....	6
<b>1.4 Scopo della tesi</b> .....	7
<b>2. MATERIALI E METODI</b> .....	8
<b>2.1 Allevamento</b> .....	8
<b>2.2 Test choice</b> .....	9
<b>2.3 Analisi dei dati</b> .....	10
<b>3. RISULTATI</b> .....	11
<b>4. DISCUSSIONE</b> .....	14
<b>5. CONCLUSIONI</b> .....	15
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	16

## RIASSUNTO

Le derrate alimentari stoccate necessitano di protezione a causa del problema degli infestanti, sia insetti sia altri animali, che provocano disagi economici e problemi alla salubrità degli alimenti. Una gestione con prodotti di sintesi ha permesso il controllo e il mantenimento basso della densità delle popolazioni.

A seguito però delle limitazioni imposte sui biocidi, tramite l'introduzione di divieti e metodiche più stringenti per il loro utilizzo, vi è stato un incremento nella ricerca per trovare metodi alternativi.

L' *Integrated Pest Management* (IPM), conosciuto molto in ambito agrario, ha permesso di introdurre nella gestione delle metodiche di tipo fisico o biologico, in supporto a quello chimico. Rientra in questa nuova ottica anche la possibilità di controllare insetti dannosi grazie all'uso di nemici naturali. Nello studio è stato preso come esempio il parassitoide *Habrobracon hebetor* per studiare la sua biologia e i suoi comportamenti con due tignole ospiti (*Plodia interpunctella* ed *Ephestia cautella*).

Nello studio, è stata evidenziata una preferenza di *H. hebetor* per *E. cautella*. L'aggressione avviene mediamente dopo  $26.29 \pm 3.98$  minuti per *E. cautella* e  $39.99 \pm 3.89$  per *P. interpunctella* ( $p > 0.05$ ). La paralisi si manifesta in media dopo  $41.20 \pm 4.18$  minuti per *E. cautella* e  $55.05 \pm 3.99$  per *P. interpunctella* ( $p > 0.05$ ). La sex ratio (femmina/ maschio) è 0.66.

## ABSTRACT

Stored food needs protection because of the problem of pest, both insects and other animals, which cause many economic hardship and food safety problems. Management with synthetic products has made it possible to control and maintain low population density.

However, because of restrictions on pesticides, through the introduction of bans and stricter methods for their use, there has been an increase in research into alternative methods.

*Integrated Pest Management* (IPM), well known in the agricultural field, has allowed to introduce in the management of the methods of physical or biological, in support of the chemical one. This new approach also includes the possibility of controlling pests using natural enemies. In the study, the parasitoid *Habrobracon hebetor* is using as an example to study its biology and behavior with two moths (*Plodia interpunctella* and *Ephesia cautella*)

In the study, a preference of *H. hebetor* for *E. cautella* was shown. The aggression occurs after on average of  $26.29 \pm 3.98$  minutes for *E. cautella* and  $39.99 \pm 3.89$  for *P. interpunctella* ( $p > 0.05$ ). Paralysis occurs on average after  $41.20 \pm 4.18$  minutes for *E. cautella* and  $55.05 \pm 3.99$  for *P. interpunctella* ( $p > 0.05$ ). Sex ratio (female/male) is 0.66.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 Metodi di gestione delle derrate alimentari

All'interno delle industrie alimentari possono essere presenti diversi parassiti che possono causare ingenti perdite al cibo stoccato, riducendone la qualità, aumentandone il processo di deterioramento e, di conseguenza, incrementando le perdite economiche per le aziende (Franklin and Phillips, 2003).

Questi organismi, molti dei quali insetti, possono infestare anche le nostre abitazioni. Questo può avvenire tramite l'acquisto di prodotti già più o meno infestati. (Trematerra and Süß, 2007).

Un problema che caratterizza gli ambienti chiusi e che favorisce lo sviluppo di organismi dannosi all'interno dei magazzini alimentari è l'ambiente condizionato: queste specie infatti, in presenza di temperature costanti e sufficientemente elevate non entrano in diapausa, come solitamente avviene durante il periodo invernale (Süß and Locatelli, 2001).

Tradizionalmente, il controllo delle specie invasive consisteva nell'applicazione di biocidi, come ad esempio il bromuro di metile (in forma gassosa) (Stejskal et al., 2021), con una programmazione di interventi durante l'anno, senza però auspicare ad una difesa razionale (Trematerra and Süß, 2007).

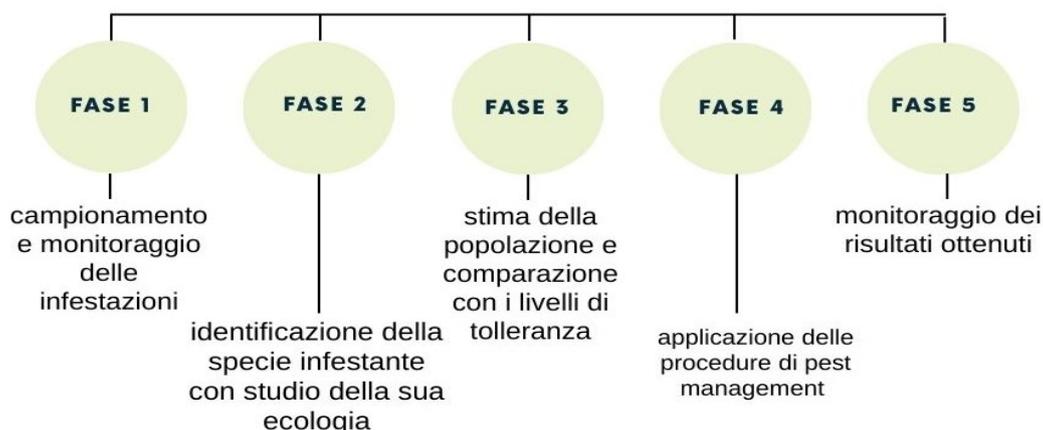
Questo tipo di interventi però presenta diversi svantaggi, che hanno portato ad una diminuzione dei biocidi utilizzati (Mahmood et al., 2016). In primo luogo vi è la possibilità di sviluppare ceppi resistenti ai principi attivi utilizzati (Franklin & Phillips, 2003); inoltre per mantenere bassa la popolazione per un periodo di tempo prolungato sono necessari diversi interventi durante l'anno, aumentando la concentrazione di biocida utilizzato (Trematerra and Süß, 2007). Infine anche l'applicazione non corretta dei biocidi può essere dannosa, dato che può portare alla contaminazione degli ecosistemi e al peggioramento della salute umana (Barzman et al., 2015).

Durante la loro applicazione risulta inevitabile come una percentuale di sostanza attiva rimanga negli imballaggi, nei prodotti per l'alimentazione e nelle derrate vegetali (Süß and Guerra, 2021).

L'*Integrated Pest Management* (IPM) si sta affermando come approccio di riferimento per la lotta contro gli infestanti (Mbata and Shapiro-Ilan, 2010a), in parallelo alle problematiche che i biocidi hanno evidenziato.

Con IPM vengono introdotte diverse metodiche di gestione di tipo fisico, biologico e biotecnico, dove i prodotti fitosanitari vengono usati come ultima alternativa (Trematerra and Süß, 2007). Nella Figura 1 è rappresentato uno schema di questo processo.

# Processo di pest management



*Figura 1* schema di Pest management (Trematerra & Süss, 2007)

Una definizione di *Integrated Pest Management* è stata inserita all'interno della direttiva 2009/128/EC. In questa definizione viene enfatizzato e incoraggiato l'uso di nemici naturali, considerato tra le misure appropriate per ridurre lo sviluppo di popolazioni nocive (Smith, 2015).

Ed è proprio su questo punto che questa tesi si concentra: l'impiego del parassitoide *Habrobracon hebetor* (Braconidae), capace di attaccare due piralidi frequenti all'interno delle industrie alimentari *Plodia interpunctella* (Pyralidae) ed *Ephestia cautella* (Pyralidae)

## 1.2 *Plodia interpunctella* ed *Ephestia cautella*

*P. interpunctella* (Hübner), conosciuta anche come "tignola fasciata" (Süss and Guerra, 2021), è una falena dell'ordine dei Lepidotteri e della famiglia Pyralidae (Süss and Locatelli, 2001). Originaria dell'India, ormai è diventata una specie cosmopolita (Allotey and Goswami, 1990) ed è considerata il lepidottero che causa più danni a livello mondiale (Mohandass et al., 2007).

Si ritiene responsabile, in tutto il mondo, del circa 97-98% delle infestazioni delle derrate da parte di lepidotteri (Süss and Locatelli, 2001).

L'apertura alare dell'adulto è di circa 12-20 mm, con le ali anteriori di colore bianco nel terzo basale e bruno rossastra sul resto dell'ala, caratteristica che gli permette di essere distinta dalle altre specie di lepidotteri (Trematerra & Süss, 2007). La larva di colore biancastro ha una alimentazione polifaga, condizione che lo porta ad infestare molti alimenti secchi quali cereali, castagne, mandorle, fave, nocciole, noci, arachidi, pinoli, frutta secca (Süss and Guerra, 2021). Le larve si sviluppano in cinque stadi (Mohandass et al., 2007). La femmina depone circa 150-400 uova, di solito isolate ma non lontane l'una dalle altre, con un'incubazione tra i 3 e i 14 giorni (Trematerra and Süss, 2007). È stata osservata una preferenza nella deposizione delle uova in substrati dove è presente del cibo, rispetto a quelli dove è assente (Mohandass et al., 2007). Le larve tendono a tessere una abbondante tela sericea, che viene prodotta in grande quantità dalla bava; man mano che la larva si sviluppa la tela diventa sempre più fitta, permettendo alla larva o alla pupa di annidarsi (Süss and Guerra, 2021). Lo stadio larvale può durare dalle 3 settimane a 10 mesi. Lo stadio pupale ha solitamente una durata di nove giorni. Tipicamente a 30°C e 75% UR, *P. interpunctella* ha 3-4 generazioni all'anno. Il ciclo biologico si conclude in 30 giorni e lo sviluppo avviene tra le temperature di 18°C e 35°C (Trematerra and Süss, 2007).

*E. cautella* (Walker) è anch'essa un lepidottero appartenente alla famiglia delle Pyralidae. Questa specie è di origine tropicale (Süss and Guerra, 2021) e risulta essere molto importante a livello economico mondiale per i danni che può causare alle derrate alimentari (Ryne et al., 2006). È un parassita molto temibile nelle industrie dove viene lavorato il cioccolato e la nocciola, dove rappresenta il maggior infestante (Süss and Locatelli, 2001).

L'adulto ha un'apertura alare di 14-20 mm, le ali anteriori sono di color nocciola chiaro e delle sottili bande trasversali più scure, mentre le ali posteriori sono grigiastre. La femmina depone 100-350 uova, disperse sul substrato alimentare, dove l'incubazione dura circa 4-5 giorni. Il periodo larvale può durare 3-4 settimane (Trematerra and Süss, 2007).

Anche le larve di *E. cautella* si sviluppano in cinque stadi (Allotey and Goswami, 1990).

Ad una temperatura favorevole di 25-30°C il ciclo biologico viene completato in 4-5 settimane; lo sviluppo si completa ad un range di temperatura da 15°C a 36°C. In genere in un anno ci possono essere 2-4 generazioni (Trematerra and Süss, 2007).

Per entrambe le specie, la fecondità dipende da diversi fattori quali la tipologia di cibo, la grandezza delle femmine, l'approvvigionamento idrico e le condizioni fisiche della femmina (Hidayati and Juhaeti, 2016).

### 1.3 *Habrobracon hebetor*

*H. hebetor* (Hymenoptera, Braconidae) è uno dei più importanti ectoparassitoidi dello stadio larvale dei lepidotteri, incluse *E. cautella* e *P. interpunctella*. E' stato proposto come alternativa all'uso di prodotti chimici data la sua efficacia di azione (Farag et al., 2012) e anche dalla sua diffusione cosmopolita (Ghimire and Phillips, 2014).

L'adulto di questo parassitoide è lungo circa 2 mm, la femmina è in grado di paralizzare larve al quarto o al quinto stadio (Mbata and Warsi, 2019); diversi studi hanno dimostrato come il numero di uova che depone sia in funzione della grandezza dell'ospite (Ghimire and Phillips, 2014).

Lo sviluppo da uova ad adulto dura circa 12 giorni, la metamorfosi avviene entro un bozzolo (Mbata and Shapiro-Ilan, 2010b) e lo stadio pupale dura una settimana (Mbata and Warsi, 2019).

Il maschio adulto presenta delle differenze rispetto alla femmina, solitamente è più piccolo e ha le antenne più lunghe; più evidente è l'assenza dell'ovopositore nei maschi. L'ovopositore è un organo specializzato, con il quale la femmina è in grado di sondare e perforare il tegumento dell'ospite, iniettare le sostanze delle ghiandole accessorie e depositare le uova (Dweck et al., 2008); la femmina è così in grado di rilasciare una tossina che induce una paralisi e poi la morte negli ospiti (Mbata and Warsi, 2019).

La femmina agisce, in primo luogo, paralizzando l'ospite. Normalmente vengono attaccate diverse larve, ma solo successivamente la femmina ritorna dagli ospiti paralizzati per deporre le uova. Le larve ospiti sono una risorsa di cibo sia per l'adulto stesso sia per le larve di *H. hebetor* (Ghimire and Phillips, 2014).

## 1.4 Scopo della tesi

Allo stato attuale la protezione delle derrate dall'attacco degli infestanti è affidata oltre che alla prevenzione, all'impiego di tecniche convenzionali, basate soprattutto su prodotti di sintesi.

La frequente comparsa di popolazioni di insetti dannosi resistenti ai principi attivi impiegati, l'aumentata attenzione e domanda di cibi esenti da residui chimici, unita alla richiesta di tecnologia a basso impatto ambientale, accompagnata da una costante limitazione da parte della legislazione europea di sostanze attive consentite, indirizzano con decisione il futuro della protezione delle derrate a strategie che possano essere inserite nell'ambito del IPM.

Tra queste strategie è presente il controllo biologico mediante il ricorso agli antagonisti naturali.

Nello specifico, in questo studio, sono stati studiati alcuni aspetti della biologia e dell'etologia di *H. hebetor* con lo scopo finale di una ottimizzazione degli allevamenti massali dell'antagonista. In particolare, è stato studiato:

- La preferenza della femmina nella parassitizzazione nei confronti di due ospiti (*P. interpunctella* e *E. cautella*)
- Il tempo di parassitizzazione medio
- Il numero di uova medie per femmina
- Sex ratio
- La relazione tra il numero di uova deposte e la preferenza dell'ospite

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Allevamento

*Plodia interpunctella* ed *Ephestia cautella* sono state allevate all'interno di due gabbie, lontane da *Habrobracon hebetor*, per impedire possibili contaminazioni prima degli esperimenti.

Le larve e le uova di *P. interpunctella* ed *E. cautella* sono state fornite dal laboratorio entomologico di Entostudio (Viale del Lavoro, 66, 35020, Padova).

Le larve di entrambe le specie ospiti erano allevate all'interno di barattoli trasparenti (di circa 11 cm di altezza e 9 cm di diametro) con del substrato di alimentazione. Il substrato era preparato mescolando farina di mais (circa due terzi), farina di frumento (per un terzo), lievito secco, muesli tritato, miele e glicerolo. Per permettere il ricircolo d'aria interno, il coperchio era sostituito con una rete anti-acaro.

Una volta sfarfallati, gli adulti venivano trasferiti in un barattolo trasparente più grande (alto circa 30 cm e di diametro 15 cm), il quale era capovolto in un contenitore per la raccolta delle uova. Il barattolo aveva una rete di plastica in corrispondenza della sua apertura, che permetteva la caduta delle uova e la loro successiva raccolta. Le uova raccolte venivano trasferite in altri barattoli, analoghi a quelli delle larve, in modo da permetterne la schiusa e la crescita delle nuove larve.



**Figura 2** allevamento *E. cautella*, larve e adulti (foto di Gaia Gant)

Gli esemplari di *H. hebetor* (allo stadio pupale) invece venivano forniti periodicamente da una ditta tedesca (Biologische-Beratung, Storkower Str. 55°, 10409, Berlino)

Le pupe venivano messe in una gabbia, con una parte del coperchio sostituita da uno strato di rete anti-acaro per il riciclo d'aria. Sempre sul coperchio vi era una Eppendorf<sup>R</sup> attaccata per facilitare l'inserimento degli individui, tramite l'uso di aspiratore. Il cibo somministrato era una miscela di acqua e miele 1:1. Delle gocce di questa soluzione venivano somministrate per il sostentamento dei parassitoidi.

Prima di effettuare gli esperimenti, le femmine di *H. hebetor* e gli altri maschi venivano lasciati per almeno 24 ore all'interno di questa gabbia per permettere loro di accoppiarsi (Morao, 2022).

## 2.2 Test choice

All'interno della piastra Petri venivano inserite due larve, una di *E. cautella* e una di *P. interpunctella*, aventi le stesse dimensioni (del quarto o quinto stadio). Successivamente veniva introdotta una femmina di *H. hebetor* con lo scopo di osservare e rilevare la preferenza della scelta dell'ospite. Nella prima ora di osservazione nello specifico veniva rilevato il tempo dall'inserimento della femmina all'aggressione dei due ospiti e il tempo dall'inserimento della femmina alla paralizzazione delle larve.

Al termine dell'ora la femmina rimaneva all'interno della Petri e con uno stereoscopio si osservava se vi fossero state deposizioni di uova, ripetendo questa operazione anche dopo 4 ore e dopo 24 ore.

Alla fine delle ventiquattro ore, la femmina veniva rimossa e le Petri venivano conservate al fine di rilevare il numero totale di adulti sfarfallati da *P. interpunctella* e da *E. cautella*.

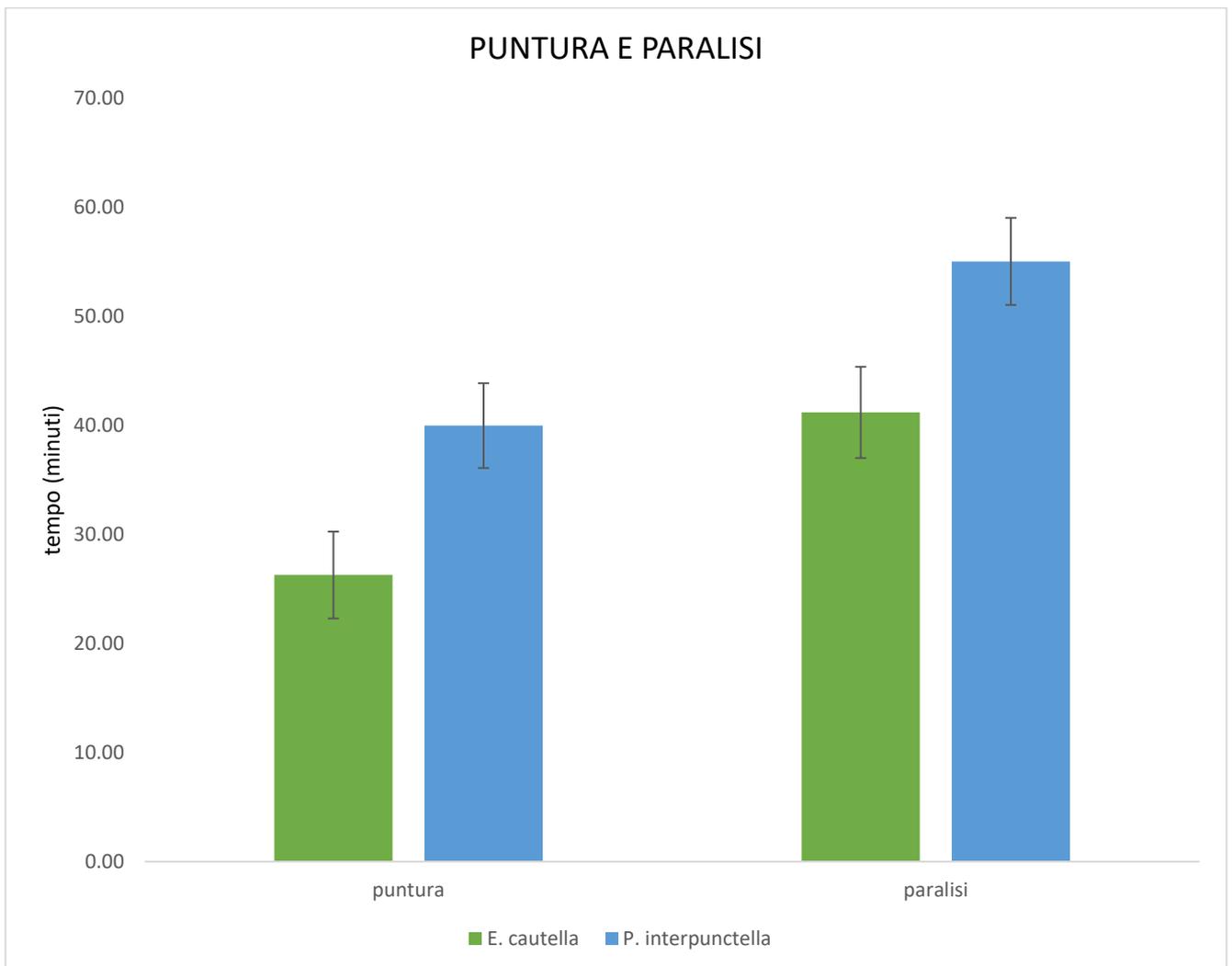
In totale sono state effettuate 40 repliche e la prova è stata svolta ad una temperatura di 25,4°C.

### 2.3 Analisi dei dati

Con il test choice si è andati a valutare: 1) il tempo in minuti dall'inserimento di *H. hebetor* alla prima puntura sulle larve di *E. cautella* e *P. interpunctella*, 2) il tempo in minuti dall'inserimento del parassitoide alla paralizzazione delle larve ed il numero di uova presenti nelle larve, 3) dopo 1 ora 4) dopo 4 ore e 5) dopo 24 ore. Per effettuare i 5 confronti, si è utilizzato il test t di Student per dati appaiati. Le differenze tra i confronti vengono considerate significative qualora i p-value risultino minori di 0.05. Tutte le analisi sono state effettuate tramite il software R (R Code Team, 2021).

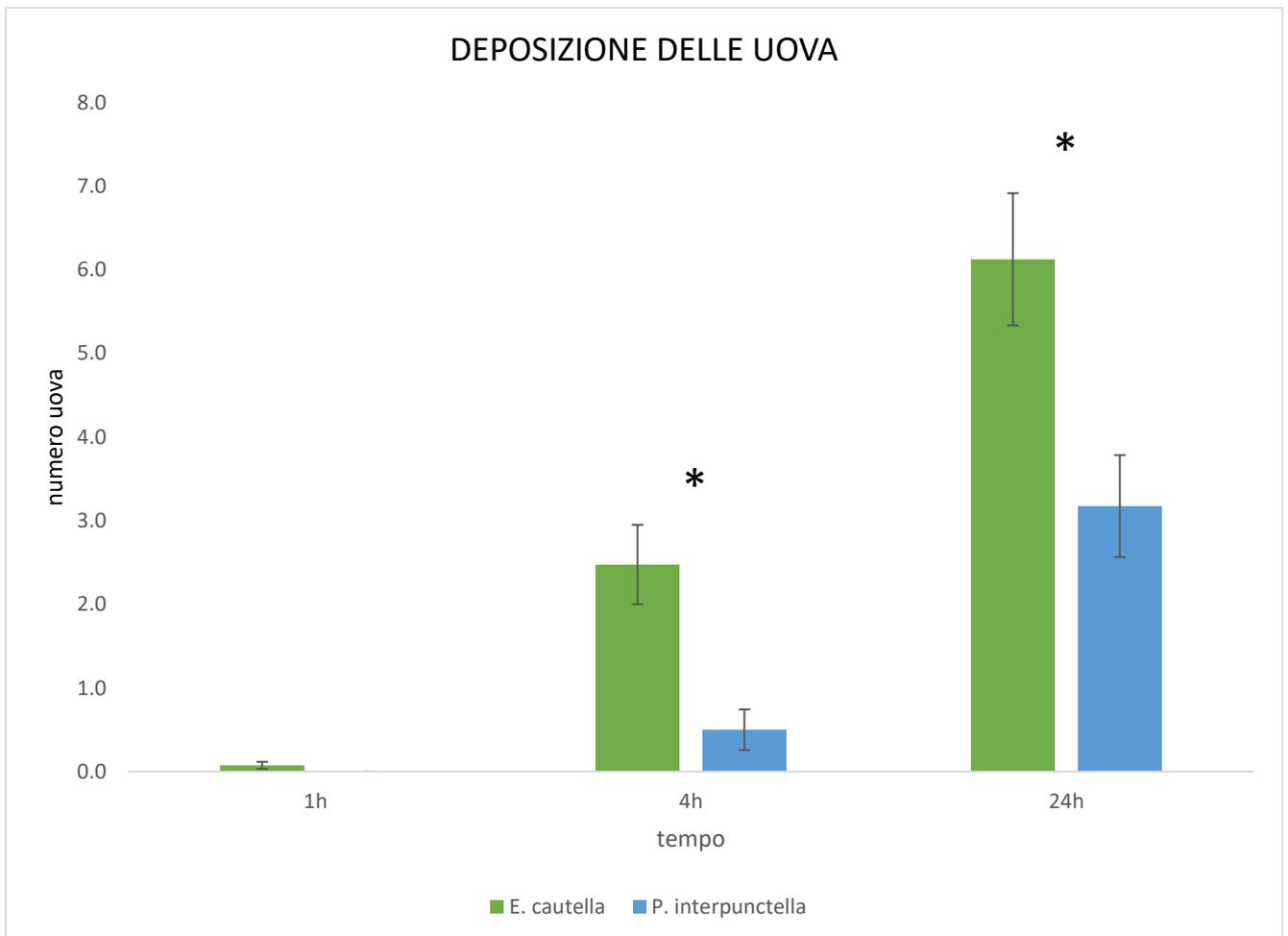
### 3. RISULTATI

L'obiettivo della prova era la valutazione della preferenza del parassitoide tra *Plodia interpunctella* ed *Ephestia cautella*. Dalla prova risultano differenze statisticamente non significative ( $p > 0.05$ ) per quanto riguarda il tempo dall'inserimento della femmina di *Habrobracon hebetor* e l'attacco nei confronti di *P. interpunctella* ( $t = 39.99 \pm 3.89$  min) ed *E. cautella* ( $t = 26.29 \pm 3.98$  min). Risultato analogo ( $p > 0.05$ ) è stato riscontrato per i tempi dell'inserimento della femmina alla paralisi dei due ospiti *P. interpunctella* ( $t = 55.05 \pm 3.99$  min) ed *E. cautella* ( $t = 41.20 \pm 4.18$  min) (fig. 3).



**Figura 3** tempi medi ( $39.99 \pm 3.89$  per *P. interpunctella* e  $26.29 \pm 3.98$  per *E. cautella*) intercorsi dall'esposizione delle femmine di *H. hebetor* alla puntura e tempi medi dall'esposizione alla paralisi della larva ospite ( $55.05 \pm 3.99$  per *P. interpunctella* e  $41.20 \pm 4.18$  per *E. cautella*) (entrambi  $p > 0.05$ ).

Lo studio della deposizione delle uova ha riscontrato una differenza statisticamente non significativa ( $p > 0.05$ ) per la deposizione dopo un'ora (nessun uovo per *P. interpunctella* e  $0.10 \pm 0.04$  uova per *E. cautella*). Invece, una differenza statisticamente significativa ( $p = 0.0005$ ) è stata rilevata nelle deposizioni delle uova dopo quattro ore (*E. cautella*  $2.50 \pm 0.48$  uova rispetto le  $0.50 \pm 0.24$  uova di *P. interpunctella*). Una differenza statisticamente significativa ( $p = 0.002$ ) risulta anche dopo le 24 ore, con  $6.10 \pm 0.79$  uova per *E. cautella* e  $3.18 \pm 0.61$  uova per *P. interpunctella* (fig. 4).



**Figura 4** numero di uova deposte mediamente dopo 1, 4 e 24 ore sulle larve ospite dalle femmine di *H. hebetor* (\* $p < 0.05$ ).

Inoltre, è stata osservata una percentuale di parassitizzazione del 100% per *E. cautella*, mentre del 95% per *P. interpunctella*. Il numero totale di adulti sfarfallati è risultato 106, di cui 42 femmine e 64 maschi, con una sex ratio (femmina/maschio) di 0.66. L'indice di nascite di adulti di *H. hebetor* rispetto le uova totali depositate sulle larve è risultato del 35.22 % per *E. cautella*, mentre per *P. interpunctella* di 14.84 % (tabella 1).

	<i>Ephestia cautella</i>	<i>Plodia interpunctella</i>
<b>% larve parassitizzate</b>	100	95
<b>totale uova</b>	247	128
<b>uova per larva</b>	6.18	3.2
<b>Adulti sfarfallati</b>	87	19
<b>% Adulti nati/uova</b>	35.22	14.84

**Tabella 1.** Percentuale di larve parassitizzate, totale delle uova, uova per larva, adulti sfarfallati e percentuale di adulti nati sulle uova a confronto tra *E. cautella* e *P. interpunctella*.

## 4. DISCUSSIONE

Dall'analisi dei dati statistici è risultata una differenza statisticamente non significativa per il tempo dall'inserimento della femmina all'attacco e lo stesso avviene se consideriamo il tempo dall'inserimento della femmina alla paralisi dell'ospite.

Il numero di uova deposte dopo 1 ora non dimostra alcuna differenza statisticamente significativa tra *Ephestia cautella* e *Plodia interpunctella*. La deposizione dopo 4 e 24 ore invece ha portato differenze statisticamente significative (rispettivamente  $p = 0.0005$  e  $p = 0.002$ ), indicando una preferenza verso *E. cautella* (con 6.18 uova per larva, con un massimo di 16) rispetto *P. interpunctella* (con 3.2 uova per larva, con un massimo di 12). Nello studio di Farag et al. (2012), il numero di uova per larva deposte su *E. cautella* risulta essere 9.45, un valore maggiore rispetto a 6.18 rilevato in questa tesi. L'ipotesi può essere che nello studio di Farag et al. (2012) si sia osservato un periodo più lungo, considerando alla fine la fecondità media giornaliera, per questo ci possono essere state giornate con una maggiore fecondità della femmina. Sarebbe da approfondire la fecondità di *H. hebetor* per comprendere il momento della sua massima efficienza, anche a condizioni di laboratorio differenti.

La percentuale di parassitizzazione molto alta (100% per *E. cautella* e 95% per *P. interpunctella*) è simile allo studio di Ghimire e Phillips (2014). Una così alta percentuale può essere stata riscontrata per il fatto che *H. hebetor* aveva a disposizione le due larve per molto tempo in un piccolo spazio, portando ad una parassitizzazione quasi totale. Sarebbe interessante approfondire a diverse condizioni, ad esempio simulando un silos o aumentando la grandezza delle Petri, per vedere la variabilità di questa percentuale.

Gli adulti successivamente sfarfallati, rispetto le uova deposte dalle femmine, sono risultati il 35.22% per gli adulti sfarfallati da *E. cautella* e 14.84 % su *P. interpunctella*. Risultano percentuali particolarmente basse, che indica un alto tasso di mortalità. Sarebbero necessari approfondimenti, ad esempio studiare a diverse condizioni come si possa aumentare questa percentuale per mantenere alta la popolazione. Una ipotesi potrebbe essere quella che avendo solo due larve come sostentamento, non fossero in grado di mantenere più individui, è probabile che ci siano stati problemi di superparassitizzazione e quindi di competizione tra le larve neonate

La sex ratio totale degli adulti sfarfallati è risultata 0.66 (femmina/ maschio), ulteriori studi potrebbero essere fatti per valutare la fitness della prole.

## 5. CONCLUSIONI

L'importanza ambientale sull'uso dei biocidi è sempre più sentita dalla popolazione. In una società sempre più consapevole e sempre più volenterosa di prodotti salubri, senza residui chimici ma che si presentino in un ottimo stato, un approccio integrato come l'IPM rappresenta una valida soluzione a questi problemi.

Le tignole sono tra gli insetti infestanti le derrate maggiormente temuti. Possono causare problemi a diversi silos, portando alla perdita totale o parziale del prodotto. Tra gli approcci integrati di gestione, gli antagonisti naturali come i parassitoidi possono contribuire in maniera significativa alla riduzione di questi disagi.

Per questo motivo, studiare in maniera approfondita la biologia e l'etologia degli antagonisti naturali di queste specie infestanti permette la creazione di protocolli di azione più mirati ed efficaci, per poter rivoluzionare il settore con lo scopo di ridurre l'uso dei prodotti chimici. Mentre in campo agrario il ricorso alla lotta integrata mediante antagonisti naturali è ormai consolidato, nel settore dell'industria alimentare l'impiego di antagonisti naturali non è mai decollato principalmente a causa dei timori degli operatori di compromettere la commerciabilità del prodotto a causa della contaminazione di residui di insetti.

Tra gli antagonisti naturali *H. hebetor* è un'importante parassitoide che sta diventando sempre di più significativo per la lotta integrata.

Questo parassitoide usato in maniera consapevole può essere un utile antagonista per ridurre i numeri delle popolazioni delle tignole infestanti. La consapevolezza viene consolidata grazie agli studi come questa tesi, che inquadrano fecondità, preferenza e tempistiche di paralisi. Il continuo studio permette di approfondire e valutare il modo migliore con il quale possano agire.

Per questo l'incoraggiamento a questi studi è importante, per avere informazioni necessarie a perfezionare queste nuove tecniche per portare alla luce i diversi aspetti che possano contribuire a portare sempre ad un miglioramento, utilizzando al meglio i risultati delle ricerche.

## BIBLIOGRAFIA

- Allotey, J., Goswami, L., 1990. Comparative Biology of two Phycitid Moths, *Plodia interpunctella* (Hubn.) and *Ephestia cautella* (Wlk.) on some Selected Food Media. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 11, 209–215. <https://doi.org/10.1017/S1742758400010596>
- Barzman, M., Barberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messéan, A., Moonen, A.-C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., Sattin, M., 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1199–1215. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>
- Dweck, H.K.M., Gadallah, N.S., Darwish, E., 2008. Structure and sensory equipment of the ovipositor of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). *Micron* 39, 1255–1261. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2008.03.012>
- Farag, M., Ahmed, S., El-Hussieni, M., 2012. Life history of *habrobracon hebetor* say (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Cadra (ephestia) cautella* (walker) (Lepidoptera: Pyralidae) on dried date fruits. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 22, 73–77.
- Franklin, A., Phillips, T.M., 2003. Stored-product insect pest management and control, in: *Food Plant Sanitation, Food Science and Technology*. New York, pp. 341–358.
- Ghimire, M.N., Phillips, T.W., 2014. Oviposition and reproductive performance of *Habrobracon hebetor* (hymenoptera: braconidae) on six different pyralid host species. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107, 809–817. <https://doi.org/10.1603/AN14046>
- Hidayati, N., Juhaeti, T., 2016. Biological diversity contribution to reduce CO<sub>2</sub> in the atmosphere 5: CO<sub>2</sub> absorption of highland and lowland tree species at different level of light intensities, in: *Proceedings the 6th International Symposium for Sustainable Humanosphere: Integrating Bio-Resources and Advanced Technology for Sustainable Development*. Bogor.
- Mahmood, I., Imadi, S.R., Shazadi, K., Gul, A., Hakeem, K.R., 2016. Effects of pesticides on environment, in: Hakeem, K.R., Akhtar, M.S., Abdullah, S.N.A. (Eds.), *Plant, Soil and Microbes*. Springer International Publishing, Cham, pp. 253–269. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13)
- Mbata, G., Warsi, S., 2019. *Habrobracon hebetor* and *Pteromalus cerealellae* as tools in post-harvest integrated pest management. *Insects* 10, 85. <https://doi.org/10.3390/insects10040085>

- Mbata, G.N., Shapiro-Ilan, D.I., 2010a. Compatibility of *Heterorhabditis indica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) and *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) for biological control of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Biol. Control* 54, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.04.009>
- Mbata, G.N., Shapiro-Ilan, D.I., 2010b. Compatibility of *Heterorhabditis indica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) and *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) for biological control of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Biol. Control* 54, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.04.009>
- Mohandass, S., Arthur, F.H., Zhu, K.Y., Throne, J.E., 2007. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products. *J. Stored Prod. Res.* 43, 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.08.002>
- Morao, S., 2022. Messa a punto di tecniche di allevamento di *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera, Braconidae) e indagini sul comportamento riproduttivo (Tesi di laurea magistrale). Università degli studi di Padova.
- Ryne, C., Ekeberg, M., Jonzén, N., Oehlschlager, C., Löfstedt, C., Anderbrant, O., 2006. Reduction in an almond moth *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae) population by means of mating disruption. *Pest Manag. Sci.* 62, 912–918. <https://doi.org/10.1002/ps.1256>
- Smith, R., 2015. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009, in: *Core EU Legislation*. Macmillan Education UK, London, pp. 423–426. [https://doi.org/10.1007/978-1-137-54482-7\\_44](https://doi.org/10.1007/978-1-137-54482-7_44)
- Stejskal, V., Vendl, T., Aulicky, R., Athanassiou, C., 2021. Synthetic and natural insecticides: gas, liquid, gel and solid formulations for stored-product and food-industry pest control. *Insects* 12, 590. <https://doi.org/10.3390/insects12070590>
- Süss, L., Guerra, P., 2021. Gli infestanti nelle industrie alimentari : la gestione sulle derrate e nell'industria : riconoscimento, modalità di prevenzione, monitoraggio e lotta. *Avenue media*, Bologna.
- Süss, L., Locatelli, D.P., 2001. I parassiti delle derrate. Riconoscimento e gestione delle infestazioni nelle industrie alimentari. *Edagricole*, Bologna.
- Trematerra, P., Süss, L., 2007. *Prontuario di entomologia merceologica e urbana*. Aracne, Roma.