



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**SISTEMI INNOVATIVI PER IL CONTROLLO DI  
*LOBESIA BOTRANA* (DENIS & SCHIFF.) IN DUE  
VIGNETI DELLA COLLINA LITORANEA  
MARCHIGIANA**

Innovative systems for the control of *Lobesia botrana*  
(Denis & Schiff.) on the coastal hills of the Marche region

TIPO TESI: sperimentale

Studente:  
MARGHERITA CIOTTI

Relatore:  
PROF.SSA PAOLA RIOLO

Correlatore:  
DOTT. LORENZO CORSI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022



# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE .....	6
ELENCO DELLE FIGURE .....	7
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	9
1. INTRODUZIONE.....	10
1.1 <i>Lobesia botrana</i> (Denis e Schiffermüller).....	10
1.2 Distribuzione geografica .....	11
1.3 Piante ospiti .....	12
1.4 Descrizione morfologica .....	13
1.4.1 Uovo.....	13
1.4.2 Larva .....	14
1.4.3 Crisalide .....	15
1.4.4 Adulto.....	16
1.5 Ciclo biologico .....	17
1.6 Riproduzione .....	20
1.6.1 Feromone sessuale .....	20
1.7 Danni e importanza economica .....	21
1.8 Monitoraggio degli adulti.....	23
1.8.1 Trappole a feromoni.....	24
1.8.2 Trappole elettroniche .....	25
1.9 Strategie di controllo .....	26
1.9.1 Mezzi agronomici .....	27
1.9.2 Mezzi microbiologici .....	28
1.9.3 Mezzi biologici: nemici naturali .....	31
1.9.4 Confusione sessuale .....	32

1.10	Macchine per la distribuzione dei prodotti fitosanitari .....	34
1.10.1	Atomizzatore tradizionale .....	34
1.10.2	Atomizzatore a tunnel con dispositivo di recupero.....	35
1.10.3	Sistema LiDAR.....	37
2.	SCOPO DELLA RICERCA .....	40
3.	MATERIALI E METODI.....	41
3.1	Campi sperimentali .....	41
3.1.1	Valutazione del sistema innovativo LiDAR.....	43
3.1.1.1	<i>Disegno sperimentale</i> .....	43
3.1.1.2	<i>Valutazione dell'indice di infestazione e della severità di infestazione</i> .....	44
3.1.1.3	<i>Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda</i> .....	46
3.1.2	Valutazione del sistema innovativo di monitoraggio ISCOUT® .....	47
3.1.2.1	<i>Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda</i> .....	48
3.1.2.2	<i>Monitoraggio degli adulti con trappola elettronica</i> .....	48
3.2	Analisi statistica .....	51
4.	RISULTATI.....	52
4.1	Valutazione del sistema innovativo LiDAR.....	52
4.1.1	Indice medio di infestazione e della severità di infestazione in funzione della modalità di distribuzione insetticida.....	52
4.1.2.	Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda.....	55
4.2	Valutazione del sistema di monitoraggio innovativo ISCOUT® .....	57
4.2.1	Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda.....	57
4.2.2	Confronto tra trappole a pagoda (Traptest) e trappola elettronica (ISCOUT®) ....	58
5.	CONCLUSIONI.....	60
	BIBLIOGRAFIA .....	64



## ELENCO DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Inquadramento tassonomico di Lobesia botrana</i> .....	10
<i>Tabella 2 - Indice medio di infestazione (%) <math>\pm</math> SE (errore standard) e numero medio di acini infestati per pianta <math>\pm</math> SE della seconda generazione, rispettivamente su Controllo, Lidar, Standard e Recupero<sup>1</sup></i> .....	52

## ELENCO DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Distribuzione geografica di Lobesia botrana (fonte: CABI).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2 - Larva di Lobesia botrana su Daphne gnidium (Fonte: Di Giovanni et al., 2022) 12</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 - Uovo di Lobesia botrana.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4 - Larva di Lobesia botrana.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5 - Crisalide di Lobesia botrana (Fonte: Lepiforum).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6 - Adulto di Lobesia botrana (Fonte: Lepiforum).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7 - Maschio di Lobesia botrana (Fonte: CABI).....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8 – Glomerulo o nido sericeo. Indicata con la freccia la larva del lepidottero (Foto di Dr T. Zahavi) .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9 - Grappolo affetto da Botrytis cinerea in seguito all'attività larvale di Lobesia botrana.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10 - Esemplare di Campoplex capitator (Foto di Hakon Haraldseide) .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11 – Atomizzatore a tunnel con dispositivo di recupero.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12 – Sensore LiDAR applicato ad un atomizzatore standard.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13 - Foto satellitare del vigneto situato a Sirolo, frazione Coppo (AN) (Fonte: Google Earth) .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 14 - Foto satellitare del vigneto situato a Sirolo, frazione Svarchi (AN) (Fonte: Google Earth).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 15 - Foro di penetrazione larvale (A) larva di seconda generazione (B).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 16 - Trappola a pagoda innescata con feromone sessuale.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 17 – Controllo settimanale delle catture .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 18 - Trappola elettronica iMETOS iSCOUT® PHEROMONE.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 19 - Fotocamera ad alta definizione.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 20 – Piattaforma FieldClimate.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 21 - Pannello solare per la ricarica automatica della batteria.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 22 – Indice medio di infestazione (%) per pianta della seconda generazione nei diversi trattamenti (Controllo; Lidar; Standard; Recupero).....</i>	<i>53</i>

<i>Figura 23 - Media acini infestati per pianta della seconda generazione nei diversi trattamenti (Controllo; Lidar; Standard; Recupero) .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 24 - Andamento stagionale complessivo del numero medio di maschi catturati settimanalmente mediante Traptest nel 2022 nel vigneto Coppo (AN). .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 25 - Andamento stagionale complessivo dei dati meteorologici a Sirolo, provincia di Ancona (Italia) nel 2021: le barre indicano la somma complessiva delle precipitazioni medie giornaliere in mm; la linea in grassetto rappresenta il valore medio giornaliero della temperatura; la linea grigia rappresenta il valore medio giornaliero di 'umidità relativa. Fonte: SIRMIP online.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 26 - Andamento stagionale complessivo del numero medio di maschi catturati settimanalmente mediante Traptest nel 2022 nel vigneto Svarchi (AN).....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 27 - Confronto dell'andamento stagionale complessivo del numero medio di maschi catturati settimanalmente (Traptest) e sommatoria settimanale delle catture giornaliere (ISCOUT®).....</i>	<i>59</i>



## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

SIGLA 1	IPM	Gestione integrata dei parassiti
SIGLA 2	LIDAR	Light detection and ranging
SIGLA 3	EFP	Funghi entomopatogeni
SIGLA 4	BTK	<i>Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki</i>
SIGLA 5	MD	Confusione sessuale
SIGLA 6	ICP	Proteine cristalline con proprietà insetticida
SIGLA 7	DSS	Sistemi di supporto decisionale

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 *Lobesia botrana* (Denis e Schiffermüller)

*Lobesia botrana* (Denis e Schiffermüller, 1775) (*Lepidoptera: Tortricidae*) anche conosciuta come “tignoletta della vite” o “tignoletta dell’uva” è un lepidottero appartenente alla famiglia dei Tortricidi (*Tortricidae*) che fu descritto per la prima volta da Denis e Schiffermüller, nei pressi di Vienna, nella seconda metà del 1700.

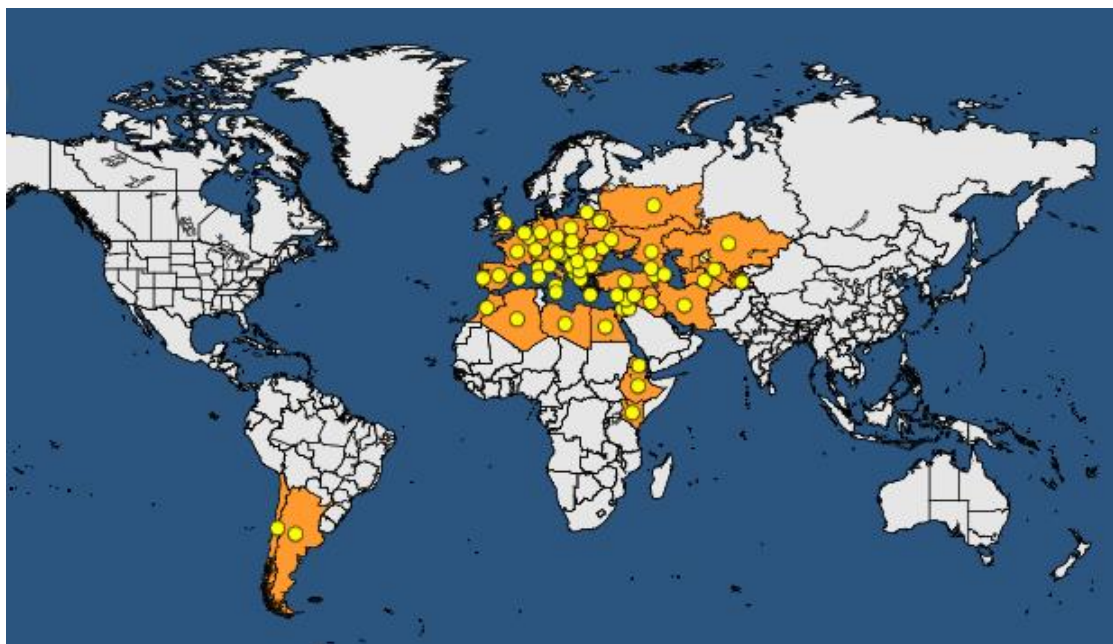
Rappresenta la principale avversità entomologica della vite (*Vitis vinifera*). La sua dannosità è dovuta all’attività trofica delle larve che si svolge inizialmente a carico delle infiorescenze e, successivamente, degli acini. L’alimentazione delle larve sui grappoli provoca sia un danno quantitativo alla produzione, di tipo diretto, generalmente non molto consistente, sia un importante danno qualitativo, di tipo indiretto, a seguito della costituzione di un ambiente consono all’insorgenza di marciumi provocati da funghi e/o batteri (Maison e Pargade, 1967; Savopoulou-Soultani e Tzanakakis, 1988).

CLASSE	Insetti ( <i>Insecta</i> )
ORDINE	Lepidotteri ( <i>Lepidoptera</i> )
SOTTORDINE	Glossata ( <i>Glossata</i> )
FAMIGLIA	Tortricidi ( <i>Tortricidae</i> )
GENERE	<i>Lobesia</i>
SPECIE	<i>Lobesia botrana</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)

**Tabella 1** – Inquadramento tassonomico di *Lobesia botrana*

## 1.2 Distribuzione geografica

*Lobesia botrana* è una specie tipicamente paleartica ed è considerato il fitofago chiave della vite nella maggior parte delle realtà viticole europee (Portogallo, Spagna, Francia, Italia, Svizzera, Jugoslavia, Grecia, Bulgaria, Austria, Germania, Ungheria). È presente in Romania, Russia e Malta, nonché in alcuni paesi medio orientali (Cipro, Libano, Siria, Israele, Giordania, Turchia Iraq e Iran), asiatici (Giappone) e africani (Etiopia, Kenya, Egitto, Libya, Algeria e Marocco) (Figura 1) (Tremblay, 1993). Di recente è stata accidentalmente introdotta anche negli Stati Uniti (Varela, 2010), mentre è temuta la sua introduzione in Oceania. In Europa le prime segnalazioni della presenza del fitofago si sono avute a partire dalla fine del XIX secolo, maggiormente nelle regioni viticole meridionali. Infatti in queste ultime, date le temperature più elevate, la tignoletta riesce a compiere un numero di generazioni maggiore rispetto alle regioni viticole settentrionali. Questa specie compie generalmente due generazioni all'anno nell'Europa centrale e tre o quattro generazioni nell'Europa meridionale (Bovey, 1966; Coscollá, 1997; Pavan *et al.*, 2006). In Italia la specie è diffusa in tutta la penisola. Predilige ambienti caratterizzati da clima tipicamente mediterraneo. In particolare, risulta che le sue infestazioni siano presenti con maggiore intensità in zone di pianura caratterizzate da scarsa ventosità (Barbieri *et al.*, 1996).



**Figura 1** - Distribuzione geografica di *Lobesia botrana* (fonte: CABI)

### 1.3 Piante ospiti

*Lobesia botrana* attacca principalmente la vite, ma è in realtà una specie estremamente polifaga, capace di vivere a spese di fiori, foglie e frutti di piante spontanee e coltivate tipiche dell'ambiente mediterraneo (Anfora *et al.*, 2007).

*Daphne gnidium* (Thymelaceae) conosciuta anche come “gnidio” è un arbusto selvatico sempreverde, segnalato come pianta ospite di *Lobesia botrana* decenni prima dell'inizio della colonizzazione dei vigneti (Cuni 1874; Milliére 1875); è attualmente considerata l'ospite selvatico nativo più importante a causa delle sue strette interconnessioni ecologiche, evolutive e storiche con la falena (Thiéry 2005; Maher e Thiéry 2006; Torres-Vila *et al.*, 2012) (Figura 2).



**Figura 2** - Larva di *Lobesia botrana* su *Daphne gnidium* (Fonte: Di Giovanni *et al.*, 2022)

Sono necessari diversi prerequisiti affinché un insetto fitofago espanda la sua gamma di ospiti e si verifichi uno spostamento da una specie ospite all'altra. In primo luogo, le femmine devono accettare la nuova pianta candidata per l'ovideposizione, una risposta probabilmente facilitata dalla somiglianza fitochimica tra vecchi e nuovi ospiti (Jermy 1984; Agosta 2006) come mostrato tra *Daphne* e vite (Tasin *et al.*, 2010). In secondo luogo, il nuovo ospite non deve essere tossico e deve essere in grado di fornire un nutrimento idoneo alla prole larvale (Jermy 1984; West e Cunningham 2002; Mercader e Scriber 2005). In terzo luogo, la nuova pianta ospite deve fornire un habitat adatto che garantisca la sopravvivenza della prole (Bernays e Graham 1988; Agosta 2006).

La tignoletta della vite su *D. gnidium* compie generalmente tre voli e tre generazioni, in modo sincrono con quelle svolte su vite, la prima delle quali è svolta a carico delle foglioline tenere dei germogli apicali, la seconda a spese di foglie e bottoni fiorali e la terza a carico di foglie, fiori e frutti (Lucchi e Santini, 2011).

La crescente diffusione della viticoltura ha determinato la diffusione della falena all'interno dei vigneti, andando a sostituire nel tempo la ricerca degli ospiti originari, nonostante queste piante (come ad esempio *D. gnidium*) permettano delle prestazioni riproduttive migliori (Thiéry e Moreau, 2005). Tuttavia, negli areali in cui è presente *L. botrana*, la diffusione di *D. gnidium* è limitata, con presenza sporadica di un numero esiguo di individui tali da non soddisfare il fabbisogno trofico delle popolazioni del fitofago (Maher e Thiéry, 2006). In vigneto è stato poi osservato come gli adulti della tignoletta non volino unicamente sulla vite, ma anche su una specie non ospite come il tanaceto (*Tanacetum vulgare* L.) che il fitofago probabilmente considera come una fonte di approvvigionamento di nettare (Gabel, 1992).

La scelta dell'ospite per *L. botrana* a volte può essere correlata ad un determinato ambiente, dove la specie adatta il suo comportamento al clima locale. A Creta, ad esempio, la falena si nutre di vite solo per una parte del suo ciclo di vita annuale.

Le famiglie più rappresentative segnalate come piante ospite "secondarie" sono: *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Compositae*, *Convolvulaceae*, *Polygonaceae*, *Ranunculaceae*, *Roseaceae*, *Umbrelliferae* e *Vitaceae* (Savopoulou-Soultani *et al.*, 1990; Stavridis e Savopoulou-Soultani, 1998; Venette *et al.*, 2003).

Il fitofago è stato osservato anche su olivo (Savopoulou-Soultani *et al.*, 1990), in particolare durante la fase di fioritura, pertanto gli ulivi adiacenti ai vigneti possono costituire un'importante fonte di infestazione nella tarda primavera (Varela *et al.*, 2010)

## **1.4 Descrizione morfologica**

### **1.4.1 Uovo**

L'uovo di *L. botrana* ha una forma lenticolare e misura approssimativamente dai 0,65-0,90 mm in lunghezza e 0,60-0,62 mm di larghezza.

L'adesione dell'uovo al substrato avviene dal lato pianeggiante ed è assicurata da una sostanza adesiva secreta dalle ghiandole colleteriche (Bovey, 1966).

L'uovo subito dopo l'ovideposizione ha un colore tendente al bianco opalescente, ma col procedere dello sviluppo embrionale, assume una tonalità grigio-giallastra (Anfora *et al.*, 2007) (Figura 3).



**Figura 3** - Uovo di *Lobesia botrana*

Nelle fasi iniziali la trasparenza del corion permette di osservare la larva. Negli stadi successivi si evidenziano progressivamente le due macchie oculari, di colore rosso-bruno, poi nero, ed infine il corpo della larva ripiegato a C e la capsula cefalica scura (uovo testa nera) (Marchal, 1912).

#### 1.4.2 Larva

*Lobesia botrana* si sviluppa attraversando cinque età larvali. Dal primo al quinto stadio la larva aumenta notevolmente di dimensioni, passando da 0,9-1,0 mm di lunghezza della larva di prima età, fino a raggiungere 8,0- 10,0 mm di lunghezza alla maturità. Inizialmente la larva presenta una capsula cefalica nera, un corpo sottile di colore biancastro, provvisto di peli proporzionalmente molto lunghi; successivamente il colore tende a variare dal giallo-verdastro al grigio ardesia, con presenza di aree setifere più chiare, mostrando occasionalmente il contenuto intestinale (trasparenza).

La larva di *Lobesia botrana* si differenzia dagli altri tortricidi perché presenta una macchia scura nella zona ocellare, e pinnacoli più chiari sul resto del corpo (Anfora *et al.*, 2007; Silva-Moreno e Tapia, 2020) (Figura 4).



**Figura 4** - Larva di *Lobesia botrana*

#### 1.4.3 Crisalide

La crisalide obtecta, ha inizialmente una colorazione verdastra per poi diventare più scura o marrone, con apice generalmente sporgente e di dimensioni solitamente maggiori nelle femmine (4,0-6,0 mm). Le crisalidi sono racchiuse in un bozzolo sericeo bianco, costruito nel grappolo, nelle ripiegature di foglie secche, sotto al ritidoma della corteccia, in cumuli di terriccio, o anche nelle insenature dei pali tutori. Il cono anale ha una terminazione a forma di ventaglio (cremaster) che presenta 4 setole dorsali e 4 medio-dorsali (Anfora *et al.*, 2007) (Figura 5).



**Figura 5** - Crisalide di *Lobesia botrana* (Fonte: Lepiforum)

#### 1.4.4 Adulto

L'adulto ha una lunghezza a riposo di 6-7 mm ed un'apertura alare variabile tra 15 e 22 mm.

Le ali anteriori sono marmorizzate di vari colori (bluastro, grigiastro, giallastro). È visibile una larga macchia che partendo dal bordo costale dell'ala si va restringendo verso quello anale. Il disegno è completato da una macchia grigio-bluastro posta nella zona ocellare, da una macchia nera alla radice dell'ala, da una stretta e irregolare banda bruna interposta tra queste ed infine da una larga macchia scura posta al centro del campo alare (Figura 6).



**Figura 6 - Adulto di *Lobesia botrana* (Fonte: Lepiforum)**

Nei maschi le ali posteriori sono di colore grigio, più scure nella parte distale, mentre nelle femmine sono interamente di colore marrone. Il dimorfismo sessuale non è accentuato; i maschi, come buona parte dei Lepidotteri, hanno l'addome più sottile e terminante a punta (Figura 7), mentre nelle femmine l'addome si presenta più allargato con una cavità in corrispondenza dell'ovopositore (Anfora *et al.*, 2007; Silva-Moreno e Tapia, 2020)



**Figura 7 - Maschio di *Lobesia botrana* (Fonte: CABI)**



## 1.5 Ciclo biologico

*Lobesia botrana* è una specie polivoltina che compie un numero variabile di generazioni all'anno a seconda della latitudine. Nella regione paleartica, dove questa specie è diffusa, il voltinismo della falena varia da uno a cinque voli: alle latitudini mediterranee compie generalmente tre o quattro generazioni in funzione delle condizioni ambientali (Coscollà, 1997). In Italia *L. botrana* compie solitamente due o tre generazioni all'anno nel nord Italia (Pavan *et al.*, 2014; Pavan *et al.*, 2006; Charmillot *et al.*, 2005; Zangheri *et al.*, 1987; Zangheri & Dalla Montà 1989; Colombera *et al.*, 2001) e tre generazioni nell'Italia centrale (Zangheri *et al.*, 1987; Bagnoli *et al.*, 2002; Bagnoli & Lucchi 2006; Sciarretta *et al.*, 2008). Nelle regioni meridionali può produrre una quarta generazione completa o parziale a seconda del clima e delle condizioni meteorologiche annuali (Coscollà, 1997; Delrio *et al.*, 1987; Zangheri *et al.*, 1987; Zangheri e Dalla Montà 1989; Marchesini e Dalla Montà 2004; Moleas 1984).

Il numero di generazioni è principalmente modulato dalla temperatura e dal fotoperiodo, ma anche da altri fattori, tra cui l'umidità relativa (Amo-Salas *et al.*, 2011). L'andamento dei voli è fortemente influenzato dalle condizioni ambientali, dalla località, dalla cultivar, ed è variabile nel corso degli anni.

Il fitofago sverna come crisalide in diapausa nel bozzolo sericeo. Nell'Italia centrale la comparsa dei primi adulti avviene nella prima decade di maggio, in alcune zone già alla metà di aprile, gli sfarfallamenti sono scalari, infatti continuano per tutto il mese, fino agli inizi di giugno. I maschi iniziano lo sfarfallamento circa una settimana prima delle femmine (Varela *et al.*, 2010; Anfora *et al.*, 2007)

Gli adulti si nutrono di liquidi zuccherini e l'acqua rappresenta un elemento fondamentale per la sopravvivenza della specie, soprattutto in presenza di temperature piuttosto elevate; l'esigenza di una nutrizione zuccherina e proteica sembra essere legata, nella femmina, alla maturazione delle uova (Marchal, 1912). Gli adulti hanno un'attitudine prevalentemente crepuscolare, svolgendo dunque le principali attività (trofiche e riproduttive) a partire dal tramonto (Anfora *et al.*, 2007).

Dallo sfarfallamento all'accoppiamento intercorrono alcuni giorni, necessari al raggiungimento della maturità sessuale (Coscollà, 1981). In buone condizioni trofiche ed ecologiche, la femmina può accoppiarsi anche dopo 24 ore dallo sfarfallamento (Bovey, 1966; Ioriatti *et al.*, 2011). Durante l'accoppiamento il maschio unisce la propria estremità addominale con quella della femmina posizionandosi poi in direzione opposta, con le ali della femmina a ricoprire la porzione posteriore dell'addome del maschio (Marchal, 1912).

Le femmine fecondate iniziano l’ovideposizione dopo tre giorni circa (Ioriatti *et al.*, 2011; Bovey, 1966). Depongono in media 50 uova incollandole preferibilmente sulle brattee dei grappolini fiorali, boccioli fiorali e meno frequentemente su rachide, pedicelli e foglie (Anfora *et al.*, 2007).

Le femmine, per localizzare il sito di ovideposizione atto alla sopravvivenza della prole, mostrano un tipico volo circolare e non orientato (Hurtrel e Thiery, 1999) e selezionano le piante su cui deporre utilizzando informazioni chimiche non volatili presenti sulla superficie del frutto ospite, le quali possono essere utilizzate per il corretto distanziamento delle uova (Gabel e Thiéry, 1996), o per il riconoscimento della pianta ospite (Thiéry e Gabel, 2000; Maher *et al.*, 2001; Maher, 2002); Una volta selezionata la pianta, esplorano la superficie con i chemiorecettori di contatto prima di iniziare la deposizione. Infatti, i composti chimici presenti sulla superficie delle piante possono stimolare o scoraggiare la deposizione delle uova (Varela *et al.*, 2010). È stato visto che le femmine del lepidottero preferiscono ovideporre su superfici lisce e pulite (Maher e Thiéry, 2004) mentre la presenza di rugosità limita la deposizione delle uova (Marchal, 1912).

Lo sviluppo embrionale è influenzato da vari fattori, tra cui la temperatura e l’umidità relativa dell’aria; alcuni studi hanno dimostrato che la soglia termica per lo sviluppo embrionale è di 9°C, ma la schiusura avviene ad una temperatura leggermente superiore; con temperature medie il tasso di mortalità è basso anche entro ampie oscillazioni di umidità relativa, mentre sopra i 22°C e sotto i 18°C la mortalità è elevata con umidità relativa inferiore al 40% (Anfora *et al.*, 2007).

Le larve nascono dopo un periodo d’incubazione che ha una durata media di 1-2 settimane, e dopo un breve periodo di vagabondaggio (massimo un giorno), penetrano in un bocciolo fiorale (Anfora *et al.*, 2007). Ogni larva, dopo aver eroso un primo bocciolo passa in un altro, fino ad avvolgerne con fili sericei circa 6-8, costituendo glomeruli o nidi sericei (Figura 8). La prima generazione si nutre a spese degli organi fiorali e viene quindi definita “antofaga”.



**Figura 8** – Glomerulo o nido sericeo. Indicata con la freccia la larva del lepidottero (Foto di Dr T. Zahavi)

Dopo un periodo di tempo variabile dai 20 ai 30 giorni dalla nascita, la larva raggiunge la maturità dopo aver attraversato cinque stadi larvali. La larva d'ultima età tesse un bozzolo sericeo e si incrisalida in una pupa obteca all'interno dei nidi, nella corteccia, nelle pagine fogliari piegate oppure a livello del suolo (Varela *et al.*, 2010; Anfora *et al.*, 2007).

I nuovi adulti sfarfallano dopo 10-14 giorni, infatti il secondo volo si registra tra l'inizio di giugno e la metà di luglio. Le femmine del lepidottero dopo l'accoppiamento depongono le uova sugli acini in modo piuttosto dispersivo (circa 6-7 uova per grappolo) e dopo un periodo d'incubazione variabile dai 4 ai 7 giorni nascono le larve. Queste ultime andranno a costituire la seconda generazione definita "carpofaga", penetrando rapidamente negli acini, durante le fasi fenologiche di chiusura grappolo ed invaiatura completa.

Le larve iniziano a penetrare gli acini in genere nel punto di contatto tra due di essi oppure a livello del pedicello. Una larva può attaccare 2-3 acini e la penetrazione risulta essere meno profonda verso la maturazione e con l'arricchimento d'acqua dell'acino (Anfora *et al.*, 2007). La larva matura, si incrisalida e dopo qualche giorno sfarfalla il nuovo adulto che darà origine alla ovideposizione degli individui di terza generazione, anch'essa carpofaga. Gli adulti volano per tutto il mese di agosto-settembre con un comportamento simile a quello delle precedenti generazioni. L'ovideposizione avviene sugli acini e la durata dello sviluppo embrionale varia da 4 a 7 giorni, grazie alle temperature più elevate dei mesi estivi.

Le larve di terza generazione attaccano gli acini e vi penetrano più o meno profondamente: col progredire della maturazione gli acini diventano più succosi e ricchi di zucchero e le larve tendono ad approfondirsi meno nella polpa, erodendo però un maggior numero di essi (Bovey, 1966). Una larva è infatti capace di attaccare due o tre acini (Anfora *et al.*, 2007).

In alcune occasioni la specie sviluppa solitamente una quarta generazione, a meno che le temperature non scendano in modo significativo. In particolar modo, nelle regioni meridionali è abbastanza frequente la presenza più o meno marcata di un quarto volo, il quale in molti casi si sovrappone al precedente, tanto che può risultare difficoltoso capire se le catture sono attribuibili ad un prolungamento del terzo o, effettivamente, all'inizio di un quarto volo (Buonocore *et al.*, 2005). Quest'ultima generazione non necessita di particolari strategie di controllo perché il suo volo coincide solitamente con la vendemmia e, di conseguenza, il rischio di perdite scompare (Gallardo *et al.*, 2009).

## 1.6 Riproduzione

Un evoluto meccanismo di comunicazione specie-specifica basato sui feromoni sessuali ha indubbiamente aiutato l'evoluzione di molte specie di Lepidotteri. Questo complesso sistema di interazione assicura il successo della riproduzione fra individui della stessa specie, ad esempio, in un habitat in cui convivono diverse specie con larve fitofaghe che condividono gli stessi substrati. In quasi tutte le specie di Lepidotteri è la femmina ad emettere il segnale per farsi localizzare dal maschio per il corteggiamento e l'accoppiamento (Cardé *et al.*, 2004).

### 1.6.1 Feromone sessuale

La conferma dell'esistenza di una comunicazione chimica tra insetti appartenenti alla stessa specie, si ebbe nel XIX secolo per merito del naturalista francese Henri Fabre. Solamente alla fine degli anni '50, il chimico tedesco Butenandt riuscì ad isolare il primo feromone, quello del baco da seta *Bombyx mori* L. (Butenandt *et al.* 1961).

I feromoni sono semiochimici che consistono in molecole, o blend di molecole, emessi da un individuo e ricevuti da un altro individuo della stessa specie, il quale mostra una risposta comportamentale o fisiologica. Questi composti sono solitamente emessi dalle femmine con la finalità di stimolare e condurre il maschio sul luogo di accoppiamento. La produzione e l'emissione dei feromoni sessuali avviene, nella maggior parte delle specie, nelle ghiandole esocrine localizzate fra l'8° e il 9° segmento addominale, a livello delle membrane intersegmentali. Queste ghiandole contengono cellule secretorie ipertrofizzate e cellule epiteliali modificate con un reticolo endoplasmatico molto sviluppato (Tillman *et al.*, 1999). L'attività di emissione da parte delle femmine e la ricezione-risposta dei maschi sono sincronizzati all'interno di ogni specie (Baker 2010). I feromoni sessuali prodotti dai lepidotteri femminili sono generalmente aciclici, composti derivati da acidi grassi, da 12 a 18 atomi di carbonio nella lunghezza della catena, con un gruppo funzionale ossigenato (alcol, aldeide o estere acetato) e da zero a tre doppi legami (Tamaki, 1985).

Il feromone sessuale emesso dalle femmine di *L. botrana* è costituito da una miscela di 15 catene di idrocarburi. La composizione di questa miscela è stata studiata a partire dagli anni '70; ciò ha permesso l'identificazione del principale costituente della miscela, ossia il (E)-7,(Z)-9-dodecadienile acetato (Roelofs *et al.*, 1973; Buser *et al.*, 1974).

La ghiandola deputata all'emissione del feromone contiene circa 1 ng di (E,Z)-7-9-dodecadienil acetato (Buser *et al.*, 1974) e durante il picco di richiamo dei maschi, che normalmente si ha al crepuscolo, la femmina arriva a rilasciare circa 0,3 ng/h (Anfora *et al.*, 2005).

Nel decennio successivo, ulteriori studi condotti sulla ghiandola hanno permesso l'identificazione di altri due composti correlati: (E)-7,(Z)-9-dodecadien-1-olo (E7,Z9-12:OH) e (Z)-9-dodecenil acetato (Z9-12:Ac) che, seppur presenti nella miscela a concentrazioni inferiori rispetto al (E)-7,(Z)-9-dodecadienile acetato, in condizioni di laboratorio hanno dimostrato avere delle influenze sul comportamento maschile, contribuendo a migliorare l'efficacia nella selezione specifica della femmina (Arn *et al.*, 1988). Infatti, la specificità dell'attrazione maschile è assicurata da proporzioni regolate con precisione dei componenti della miscela e da composti sinergici e antagonisti (Roelofs e Wolfs, 1988; Linn *et al.*, 1988). Test eseguiti in laboratorio hanno mostrato come l'attrattività dei maschi verso il feromone sintetico vari a seconda della sua composizione. Difatti, sebbene l'(E)-7,(Z)-9-dodecadienile acetato di per sé risulti meno attrattivo rispetto a una femmina vergine, l'aggiunta di modeste quantità degli altri due composti minori aumenti sensibilmente l'attrattività del feromone sintetico (Arn *et al.*, 1988; Witzgall e Arn, 1990; El-Sayed *et al.*, 1999). Inoltre, vi sono numerose prove che il comportamento del volo maschile può cambiare con la composizione della miscela di feromoni (Palaniswamy *et al.*, 1983; Willis e Baker, 1987, 1988; Quartey e Coaker, 1993; Liu e Haynes, 1993). La specificità dell'attrazione maschile è garantita dalle proporzioni dei componenti costituenti la miscela (Linn *et al.*, 1988; Roelofs e Wolfs, 1988;). Da vari studi è emerso che le famiglie di lepidotteri utilizzano composti volatili simili, ma che combinati in maniera del tutto unica, garantiscono un perfetto riconoscimento interspecifico (Linn e Roelofs, 1989).

## 1.7 Danni e importanza economica

*L. botrana* ha un grande impatto economico sulla produzione di uva e richiede diverse strategie di controllo per limitarne le perdite. L'entità del danno dipende da una serie di fattori specifici della cultivar, dalle pratiche agronomiche adottate (es. fertilizzazione con azoto, diradamento, sistema di allevamento, potatura estiva), dalle condizioni meteorologiche e dal numero di generazioni (Vartholomaïou *et al.*, 2008).

I danni causati da *L. botrana* possono essere divisi in danni diretti e indiretti.

La perdita diretta è rappresentata dai fori di penetrazione creati in seguito all'attività delle larve e varia in funzione dello stadio fenologico degli organi riproduttivi della vite. Quest'attività si esprime economicamente come una più o meno grave perdita diretta di prodotto.

Solitamente per le larve antofaghe della prima generazione, non vengono intraprese delle misure di controllo, soprattutto su cultivar che presentano un importante numero di

infiorescenze. Durante la fioritura, la riduzione di fiori causata dal lepidottero viene compensata dalla pianta attraverso una maggiore percentuale di allegagione dei bottoni floreali rimasti (Delrio *et al.*, 2021) e successivamente da un maggiore accrescimento in peso e dimensione degli acini (Ioriatti *et al.*, 2011). Nelle cultivar a grappolo serrato, il diradamento dei fiori provocato dalle larve può rappresentare in alcuni casi un aspetto positivo, andando a migliorare la qualità del prodotto finale. Al contrario nelle cultivar caratterizzate da una scarsa allegagione il danno provocato dalla generazione antofaga può risultare importante.

Per quanto riguarda le generazioni carpo-faghe, anche in questo caso il danno diretto non riveste un'importanza fondamentale poiché le perdite quantitative di produzione sono piuttosto ridotte. I danni indiretti, al contrario, risultano essere molto significativi. La presenza dei fori di penetrazione richiamano vari insetti sapro-fagi (es. Ditteri Drosophilidi, Coleotteri Nitidulidi) ma soprattutto favoriscono l'attività di batteri e funghi, tra cui *Botrytis cinerea*, comunemente nota come muffa grigia (Anfora *et al.*, 2007) (Figura 9).



**Figura 9** - Grappolo affetto da *Botrytis cinerea* in seguito all'attività larvale di *Lobesia botrana*

Altri funghi come *Aspergillus niger* e *Aspergillus carbonarius*, responsabili della produzione di ocratossina A, sono stati correlati all'attività trofica delle larve del lepidottero (Cozzi *et al.*, 2006). L'infezione da parte dei vari microorganismi patogeni, tra cui, appunto, *B. cinerea*, interessa gli acini maturi, cioè durante le ultime due generazioni dell'insetto (Mondy *et al.*, 1998) e, quindi, hanno accumulato una quantità di zuccheri tale da potere soddisfare le esigenze del fungo in questi termini.

Alcune ricerche hanno dimostrato che *L. botrana* favorisce la diffusione di *B. cinerea* non solo perché i fori larvali agevolano lo sviluppo del fungo, ma anche perché i conidi vengono trasportati attivamente sul tegumento e nell'intestino delle larve (Fermaud e Le Menn 1989, 1992). È stata valutata in numerosi studi l'esistenza di una relazione mutualistica tra la tignoletta della vite e *Botrytis cinerea*. In alcuni casi, la nutrizione con delle bacche infette dal fungo contribuisce a ridurre il tempo di sviluppo larvale, aumentare la sopravvivenza delle larve, il peso della pupa e la fecondità delle femmine (Mondy & Corio-Costet, 2000, 2004; Mondy *et al.*, 1998; Savopoulou-Soultani e Tzanakakis, 1988; Tasin *et al.*, 2011).

Tuttavia, alcuni di questi effetti positivi della muffa grigia sulle popolazioni di *L. botrana* non sono stati osservati da altri autori (Masante-Roca *et al.*, 2007; Tasin *et al.*, 2011, 2012). Il fatto che i trattamenti insetticidi contro *L. botrana* non riducano significativamente il numero di acini marci non contigui ai nidi larvali suggerisce che lo sviluppo della muffa grigia in queste parti dei grappoli sia indipendente dall'attività larvale (Dalla Montà *et al.*, 2007).

Condizioni meteorologiche più fresche e umide, cultivar raccolte precocemente e un'elevata compattezza del grappolo riducono la quantità di bacche marce che avvizziscono e cadono prima del raccolto e quindi aumentano la probabilità che le bacche infestate di seconda generazione siano centri di diffusione del marciume (Pavan *et al.*, 1987, 1993).

## 1.8 Monitoraggio degli adulti

L'efficienza dei vari metodi di lotta utilizzati dipende dal tempismo con cui si interviene; infatti, è di fondamentale importanza la previsione della dinamica di popolazione dell'insetto al fine di impostare un programma di trattamento ottimale (Moravie *et al.*, 2006).

Le indagini previste dal monitoraggio sono condotte nei confronti delle forme alate della specie e a tale scopo vengono utilizzate tecniche di cattura aerea. Il monitoraggio viene effettuato nei confronti della popolazione immaginale maschile, in particolar modo per le specie di lepidotteri, utilizzando trappole chemiotropiche innescate con feromoni sessuali di sintesi. I maschi dei lepidotteri vengono attratti dal feromone sessuale di sintesi, il quale va a simulare il richiamo chimico naturalmente emesso dalle femmine mature (Cardé *et al.*, 2004).

Il monitoraggio della dinamica di popolazione permette di andare ad individuare, durante la stagione, i periodi di massima manifestazione del lepidottero, definiti "picchi di volo", i quali sono rappresentati attraverso la costruzione della cosiddetta "curva di volo" ovvero un grafico che delinea l'andamento della presenza del fitofago in una determinata area. Nell'ottica di una strategia di gestione integrata dei parassiti (IPM), prevedere la dinamica della

popolazione diventa necessario al fine di garantire il corretto posizionamento (timing) delle applicazioni insetticida.

I dati di cattura rilevati, in associazione con le informazioni fornite dal campionamento sulla popolazione pre-immaginale, permettono infatti di verificare l'eventuale superamento della soglia di intervento, indicando quindi la necessità di un trattamento fitosanitario prima del raggiungimento della soglia di danno economico.

### 1.8.1 Trappole a feromoni

Nella protezione delle colture, una delle fasi più importanti è il monitoraggio delle popolazioni di insetti fitofagi, infatti il monitoraggio mediante ausilio di trappole a feromone considerata un'operazione fondamentale nei programmi di gestione integrata dei parassiti in tutto il mondo (Lopez *et al.*, 2012; Priya *et al.*, 2013; Upadhyay e Ingole, 2014; Raphael e Maheswari, 2016; Goldshtein *et al.*, 2017). Per monitorare l'attività di volo della tignoletta della vite, le trappole a feromoni sessuali costituiscono fondamentali strumenti che ci permettono di seguire la popolazione infestante nell'area monitorata. Il vantaggio delle trappole a feromoni è l'elevata selettività e il notevole raggio d'azione, che può arrivare a richiamare individui anche a diversi chilometri di distanza.

Con la scoperta della composizione chimica del feromone sessuale di molte specie fitofaghe, e grazie alla possibilità sempre più crescente di replicazione su scala industriale, le trappole a feromone si sono diffuse notevolmente negli ultimi decenni sia tra i coltivatori che nell'ambito della ricerca. Attualmente questi dispositivi sono ampiamente diffusi e prodotti dalle industrie chimico-farmaceutiche.

La trappola è composta da una struttura in plastica suddivisa in due parti: la porzione sommitale funge da tetto e garantisce la protezione dagli agenti atmosferici, mentre quella basale costituisce il fondo in cui vengono intrappolati gli insetti. Quest'ultima è ricoperta da un collante adesivo ed è solitamente suddivisa in riquadri per facilitare l'operatore nel conteggio degli insetti catturati. Il dispenser del feromone sintetico viene posizionato al centro del fondo collato, e sostituito a cadenza mensile al fine di garantire un corretto monitoraggio. Dal momento che il formulato sintetico prodotto e commercializzato per *L. botrana* non rispetta la reale composizione del feromone naturale emesso dalle femmine, in alcune condizioni può presentarsi una non completa selettività che si può tradurre con la presenza, in un medesimo dispositivo di cattura, di maschi appartenenti ad altre specie di lepidottero (Ioriatti *et al.*, 2004).



### 1.8.2 Trappole elettroniche

Come abbiamo visto, le trappole a feromone rappresentano uno strumento fondamentale al fine di prevedere la dinamica della popolazione di un determinato parassita nell'ottica di una gestione integrata. Tuttavia, l'utilizzo di queste trappole richiede visite settimanali sul campo da parte di un operatore per l'osservazione visiva e la registrazione del numero dei maschi catturati. Ciò si traduce in un'operazione laboriosa e dispendiosa economicamente in termini di manodopera.

In questo contesto, l'avvento della tecnologia ha ampliato le possibilità di monitoraggio degli insetti dannosi delle colture agrarie. Il punto di svolta è stata l'opportunità di monitoraggio in tempo reale attraverso il rilevamento da remoto mediante utilizzo di una trappola elettronica automatica (Ennouri *et al.*, 2020). Dato che la cattura dei maschi con diversi modelli di trappole è l'approccio più diffuso nel monitoraggio degli insetti dannosi alle colture di interesse agrario e forestale, l'opportunità di controllare il numero di insetti catturati in una trappola da remoto, limitando dunque le visite in campo degli operatori, apre una significativa opportunità per concepire in modo diverso il monitoraggio di una specie fitofaga.

La trappola automatica a feromoni assistita da videocamera consente un monitoraggio continuo dei voli, permettendo di ottenere dati di cattura giornalieri. Questi dispositivi sono anche in grado di monitorare l'attività dei maschi durante l'intero arco della giornata, fornendo una quantificazione dettagliata delle catture durante i voli: Lucchi *et al.*, 2018, grazie all'utilizzo di una trappola automatica in grado di scattare fino a 48 foto al giorno, hanno mostrato che il volo dei maschi di *L. botrana* si verifica generalmente tra le 21:00 e le 23:00 (GMT+1, ora legale), confermando le abitudini riproduttive crepuscolari di questa specie (Lucchi *et al.*, 2018). Tali informazioni possono essere utili per ottimizzare in particolar modo la tecnica di controllo della confusione sessuale (MD), permettendo di identificare intervalli di tempo selezionati (in cui è presente la maggiore attività di volo maschile). In questo modo sarà possibile concentrare il rilascio dei feromoni sintetici mediante dispositivi di distribuzione automatici (attivi) nell'ora del giorno in cui l'attività riproduttiva della specie è più abbondante. Ciò consente di aumentare l'efficacia della strategia di controllo, riducendo al minimo le applicazioni, la dispersione del prodotto e dunque i costi (Lucchi *et al.*, 2018).

Generalmente, una trappola automatica dotata di telecamera coinvolge due elementi fondamentali: l'hardware e il software. L'hardware è solitamente composto dalla struttura della trappola contenente l'esca e che trattiene gli insetti intrappolati, un quadro elettronico che include la telecamera, un modem per la trasmissione dei dati, una batteria ed eventualmente un alimentatore esterno, come un pannello solare. Il software è composto dal repository online,

in cui vengono archiviate e rese accessibili le immagini dei dati di acquisizione, più algoritmi di analisi delle immagini opzionali per identificare e contare automaticamente le acquisizioni. Il design della trappola può variare a seconda del fitofago bersaglio da monitorare. L' utilizzo di queste nuove tecnologie non sostituisce tuttavia la necessità di personale specializzato in grado di visitare ogni punto di monitoraggio per raccogliere e sostituire le trappole, pulire la trappola dai detriti, cambiare il dispenser del feromone o registrare lo stato fenologico dell'ambiente circostante. Ad oggi, questi dispositivi stanno crescendo di interesse in quanto consentono di migliorare la risoluzione sia spaziale che temporale nel monitoraggio degli insetti nocivi, creando le condizioni per un'implementazione digitale dei programmi di gestione nell'ambito dell'Internet of Things e dei Big Data (Preti *et al.*, 2021).

L'opportunità di rilevare la presenza di un insetto parassita da remoto e di creare registrazioni digitali della sua dinamica di popolazione sia da un punto di vista spaziale che temporale fornirà agli utenti uno strumento molto potente per affrontare le sfide attuali e future nel monitoraggio e nella gestione degli insetti dannosi. Ad esempio, il monitoraggio automatico può essere effettuato in tutta l'area con un numero maggiore di punti di osservazione situati secondo una distribuzione meno aggregata rispetto a quanto è attualmente possibile fare con il monitoraggio tramite operatore (che di solito è concentrato in un numero limitato di punti facili da raggiungere). Questo approccio può creare le condizioni per comprendere meglio, in particolar modo su larga scala, le dinamiche della distribuzione delle popolazioni di insetti (Preti *et al.*, 2021).

## **1.9 Strategie di controllo**

Il monitoraggio della popolazione adulta con trappole chemiotropiche a feromoni è un'operazione fondamentale che permette di osservare l'andamento dei voli, di programmare l'epoca dei trattamenti e di pianificare le attività di campionamento.

Tuttavia, i dati delle trappole non riescono a prevedere in modo efficace la densità larvale (stime relative) della seconda o terza generazione (Savopoulou-Soultani *et al.*, 1989).

Il monitoraggio, quindi, deve essere considerata un'operazione da integrare a protocolli di campionamento in campo; infatti, è stato dimostrato che non esiste una stretta correlazione tra il numero di adulti catturati e l'effettiva entità del danno in campo (Shahini *et al.*, 2010).

È importante adottare un'adeguata tecnica di campionamento per determinare con precisione la variabilità nello spazio e nel tempo della popolazione di uova e larve. La conoscenza della distribuzione spaziale delle popolazioni di *L. botrana* permette di sviluppare

programmi di campionamento efficienti che consentano una valutazione più accurata del danno e della soglia di intervento.

Le soglie di intervento variano a seconda della generazione, della destinazione d'uso del prodotto (uva da tavola, uva passa o produzione di vino), e della suscettibilità della cultivar alla successiva infestazione da *B. cinerea*.

Come precedentemente anticipato, per le larve della prima generazione in genere non vengono intraprese delle misure di controllo, soprattutto su cultivar a grappolo serrato poiché la riduzione di fiori causata dal lepidottero, è compensata da una maggiore percentuale di allegagione dei fiori rimasti. Per questo motivo vengono applicate delle strategie di controllo quando la densità di popolazione è molto elevata e quando la soglia di intervento è intorno al 50% di grappoli infestati (Ioriatti *et al.*, 2011).

Per le successive generazioni larvali, la soglia di intervento varia tra l'1 e il 5% o tra il 10 e il 15% di grappoli danneggiati a seconda della cultivar, della compattezza del grappolo e del tempo di raccolta (Ioriatti *et al.*, 2008).

Un altro parametro da prendere in considerazione per la definizione della soglia di intervento è l'epoca di maturazione: nelle varietà a maturazione precoce, la seconda generazione è in grado di provocare danni importanti, infatti, la fase di maturazione delle uve (ritenuta essere quella più sensibile) coincide con la prima generazione carpofaga del parassita. La terza generazione invece, si è rivelata più dannosa per le varietà maturazione tardiva (Ioratti *et al.*, 2011).

### 1.9.1 Mezzi agronomici

Le generazioni carpofaghe della tignoletta sono solitamente controllate da insetticidi di sintesi o di origine naturale come, ad esempio, il *Bacillus thuringiensis* (Ifoulis e Savopoulou-Soultani, 2004), o attraverso metodi di lotta biotecnica, come ad esempio il metodo della confusione sessuale (Ioriatti *et al.*, 2011). Tuttavia, una gestione agronomica razionale della vite, nell'ottica di una gestione integrata, può contribuire al controllo del fitofago (Fermaud, 1998; Vartholomaïou *et al.*, 2008; Villani *et al.*, 1997). In un'area viticola italiana dove *L. botrana* sviluppa solo due generazioni all'anno, Villani *et al.* 1997 hanno mostrato che la defogliazione della zona del grappolo applicata allo stadio fenologico della migliatura (inizio del secondo volo di *L. botrana*) o a quello della pre-chiusura del grappolo (circa il 50% del secondo volo di *L. botrana*) può ridurre l'infestazione larvale di seconda generazione di oltre il 70%.

Pavan *et al.*, 2016 hanno dimostrato che la rimozione delle foglie della zona del grappolo ha ridotto di circa il 50% l'infestazione di entrambe le generazioni carpofaghe. In un'area

vitivinicola greca dove la falena compie tre generazioni all'anno Vartholomaiou *et al.*, 2008 hanno dimostrato che la defogliazione effettuata nel mese di giugno ha ridotto di circa il 15% la percentuale di grappoli infestati al momento della raccolta. La defogliazione della zona del grappolo determina infatti una più bassa umidità relativa, dovuta a una migliore circolazione dell'aria all'interno della chioma e dei grappoli, e di conseguenza un aumento della temperatura dei grappoli a causa dell'esposizione alla luce solare: questi fattori determinano un aumento della mortalità delle uova e delle giovani larve (Coscollá *et al.*, 1986; Rapagnani *et al.*, 1988; Moosavi *et al.*, 2017; Moosavi *et al.*, 2018). La rimozione delle foglie nella zona dei grappoli è una buona pratica colturale consigliabile in un contesto di gestione integrata perché consente una migliore copertura dei grappoli agli insetticidi, e una minore infestazione sia da parte dei carpfagi che di *B. cinerea*.

Un'altra tecnica agronomica che nell'ultimo decennio ha trovato uno spazio sempre maggiore in diverse colture è l'utilizzo del caolino nella prevenzione delle ustioni e per limitare i danni da stress idrico (Shellie e Glenn, 2008). I vantaggi sono da attribuire al sottile strato di particelle minerali che, tramite un nebulizzatore, vengono depositate sulla superficie della foglia o del frutto limitando così l'innalzamento termico nei tessuti. Come dimostrato da Ragusa *et al.*, 2011 i trattamenti con caolino hanno provocato una riduzione dell'infestazione della tignoletta dall'22% al 11%.

### 1.9.2 Mezzi microbiologici

La lotta microbiologica contro gli insetti dannosi rappresenta un utile mezzo per la difesa delle piante, accettato in agricoltura biologica ed integrata. I microrganismi ammessi per la difesa biologica sono elencati nell'allegato 2 del Reg. (CE) N. 889/2008.

Tra i principali mezzi microbiologici attualmente disponibili per il controllo di *L. botrana* troviamo diverse specie di funghi entomo-patogeni, batteri e virus.

Negli ultimi anni sono stati prodotti dei ceppi di microrganismi utili in apposite biofabbriche in cui vengono allevati e, grazie ad innovative formulazioni, vengono messi a disposizione dell'utilizzatore sotto forma di prodotti commerciali caratterizzati da elevata vitalità dei microrganismi contenuti.

I biopesticidi a base di *Bacillus thuringensis* sono sicuramente i più utilizzati grazie alla loro tossicità nei confronti di un'ampia gamma di insetti parassiti di diversi ordini e grazie all'elevato profilo ecotossicologico.

*Bacillus thuringensis* è un batterio Gram positivo, aerobio e sporigeno; esso presenta una forma a bastoncino e si moltiplica per scissione binaria, rappresentando un efficace agente di controllo microbiologico nell'ambito di un programma integrato di lotta contro i parassiti. Il

batterio, infatti, concorre al controllo di *L. botrana*, permettendo di limitare l'uso di sostanze chimiche tossiche, pericolose per l'ambiente e la salute umana. Ad oggi sono state individuate più di 80 sottospecie (Muccinelli, 2011).

La sua attività insetticida si verifica durante la fase di sporulazione: il batterio, infatti, produce dei corpi cristallini contenenti le paraspore e proteine cristalline con proprietà insetticida (ICP, insecticidal crystal proteins), o delta-endotossine, definite proteine “cristallo” (Cry, crystal) o “citolitiche” (Cyt, cytolytic). L'attività biocida risiede in queste proteine, specifiche contro alcuni ordini di insetti. Il batterio produce anche delle endotossine durante la fase vegetativa (Vip, vegetative insecticidal proteins) (Castagnola *et al.*, 2012). Esistono diversi ceppi specifici nei confronti di determinati ordini di insetti; in particolare nei confronti dei lepidotteri sono attualmente adoperate due sottospecie: *kurstaki* e *aizawai* (Krywienczyk *et al.*, 1980). La sottospecie *kurstaki*, o Btk, risulta valida contro le larve di lepidotteri, mentre non risulta efficace nei confronti delle uova e degli adulti. Dopo l'ingestione dei cristalli proteici (protossine) e delle spore da parte delle larve, si inizia a manifestare l'attività insetticida. Le protossine vengono solubilizzate nell'intestino grazie alla presenza di un ambiente basico e vengono trasformate dalle proteasi in delta-endotossina, una sostanza estremamente nociva. La delta-endotossina si lega a specifici recettori situati a livello cellule epiteliali dell'intestino, con formazioni di piccoli pori: queste cellule perdono la loro funzionalità, si rigonfiano e subiscono lisi cellulare, a cui segue la paralisi della muscolatura boccale e intestinale, determinando l'interruzione dell'attività trofica delle larve. Con la dissoluzione della parete intestinale si favorisce la germinazione delle spore che invadono l'emocele, provocando la morte dell'insetto per setticemia (Muccinelli, 2011).

La prima età larvale risulta essere più suscettibile all'azione della delta-endotossina, infatti è fondamentale monitorare costantemente i grappoli ed effettuare il trattamento quando si osserva la larva nello stadio di “testa nera”. Poiché le larve neonate si nutrono dell'epicarpo della bacca solo per un breve periodo prima di penetrare all'interno dell'acino, il dosaggio e la tempistica delle applicazioni dell'agente di controllo sono piuttosto critici e possono essere la causa principale dell'efficacia variabile osservata in alcuni test sul campo (Valli 1978; Schmid e Antonin 1977)

Il BTK, quindi, deve essere applicato in funzione dell'entità e della scalarità prevista nella schiusura delle uova, tenendo conto che la persistenza non supera i 7 – 8 giorni (Barbieri, 1987). Per rendere appetibile il prodotto distribuito, è importante aggiungere al batterio delle sostanze zuccherine e sostanze che garantiscano la protezione dall'azione dei raggi ultravioletti. È importante eseguire il trattamento al tramonto poiché le radiazioni solari

possono disattivare le tossine del batterio. Comunque, nella maggior parte dei casi, non vengono intraprese misure di controllo della prima generazione del lepidottero.

Per quanto riguarda le generazioni successive, vengono suggeriti due interventi quando si supera la soglia d'azione: la prima applicazione deve essere posizionata all'incirca all'inizio della schiusura delle uova (fase di uova testa nera), ossia dopo circa 9 e 16 giorni dal rinvenimento delle prime catture (rispettivamente per il secondo e terzo volo); viene previsto un secondo trattamento, a causa della bassa persistenza del formulato, a distanza di una settimana dal primo (Bagnoli, 1990).

Un'altra strategia di lotta microbiologica molto diffusa riguarda l'utilizzo di funghi entomopatogeni (EFP). Questa rappresenta un'alternativa preferibile al trattamento chimico, poiché la loro attività è generalmente selettiva e impedisce l'insorgenza di resistenza nelle popolazioni di parassiti (Butt *et al.*, 2016). I prodotti commerciali a base di funghi entomopatogeni utilizzati per il controllo biologico dei parassiti sono prodotti principalmente da ceppi dei generi *Beauveria* e *Metarhizium*. Diverse specie all'interno del genere *Beauveria* si sono dimostrate altamente efficaci per il controllo di un'ampia varietà di parassiti fitofagi, inclusi i lepidotteri (Bidochka e Khachatourians 1991). Per quanto riguarda *L. botrana*, è stato dimostrato che il ceppo *Beauveria bassiana* ITEM-1559 ha un'elevata capacità di controllo delle larve, causando la morte nel 55% dei casi nelle popolazioni italiane (Cozzi *et al.*, 2013). Questi funghi si trovano comunemente sia nei terreni coltivati che in quelli indisturbati, sebbene la loro distribuzione naturale sembri essere legata all'habitat e alle pratiche agricole (Meyling e Eilenberg 2007; Jaronski 2007). Inoltre, l'efficacia e la persistenza di questi trattamenti fungini contro i parassiti sono condizionate da fattori biotici e abiotici (Quesada-Moraga *et al.* 2007; Jaronski 2007; Thompson *et al.* 2006). Pertanto, è necessaria una maggiore comprensione dell'ecologia dei funghi entomopatogeni al fine di trovare le condizioni ottimali e definire i limiti del loro utilizzo per il controllo biologico (Lacey *et al.*, 2015).

Per quanto riguarda la modalità d'azione dei funghi entomopatogeni, questa prevede la formazione di diverse strutture (conidi, tubo germinale, appressorio, ifa e blastospore) che permettono la parassitizzazione dell'insetto. La prima fase si verifica quando i conidi si depositano sulla cuticola dell'insetto e vi aderiscono attraverso interazioni idrofobiche (Butt *et al.*, 2016). La germinazione dei conidi avviene grazie a fonti di carbonio ed energia presenti nella cuticola dell'insetto ed in condizioni di temperatura e umidità che sono specifiche del ceppo. La fase successiva è la formazione dell'appressorio, una struttura che penetra nella cuticola dell'insetto e ne determina la rottura meccanica; il patogeno deve essere in grado di secernere enzimi litici in grado di degradare i diversi polimeri che formano la cuticola.

In seguito, si verifica la colonizzazione dell'emocele da parte delle blastospore ed infine le ife prodotte all'interno del corpo dell'insetto emergeranno ed avverrà la sporulazione che favorisce la dispersione nell'ambiente dei conidi, responsabili di nuove infezioni.

### 1.9.3 Mezzi biologici: nemici naturali

Nella lotta biologica, una strategia fondamentale è quella di favorire l'uso e la conservazione dei nemici naturali, ossia specie di insetti predatori e parassitoidi autoctoni già presenti nell'ecosistema, piuttosto che l'introduzione di specie aliene. Affinché questo tipo di programma di controllo biologico abbia successo, è essenziale avere una buona conoscenza dei nemici naturali che sono presenti nell'ambiente del parassita, così come l'influenza della variazione ambientale nella struttura e nella diversità della comunità parassitoide.

La capacità di un nemico naturale di sopprimere le popolazioni di insetti dannosi e quindi la sua efficacia come agente di controllo biologico, può dipendere non solo dalle sue interazioni dirette con il suo ospite, ma anche dalle interazioni (dirette e indirette) tra il nemico naturale e la pianta ospite del parassita (Van Lenteren *et al.*, 2006).

L'obiettivo della lotta biologica, a differenza delle altre strategie di controllo, è quello di mantenere la popolazione entro dei livelli tali da non costituire un danno per l'ecosistema; quindi, non determina il completo azzeramento della popolazione.

In Italia il complesso dei parassitoidi rilevati su *L. botrana* comprende circa 90 specie appartenenti a dieci famiglie di Imenotteri (*Braconidae*, *Ichneumonidae*, *Chalcididae*, *Eulophidae*, *Eupelmidae*, *Eurytomidae*, *Pteromalidae*, *Torymidae*, *Trichogrammatidae* e *Bethylidae*) e una famiglia di Ditteri (*Tachinidae*) (Scaramozzino *et al.*, 2017).

Come per la maggior parte dei nemici naturali di *L. botrana*, il ruolo svolto nel controllo naturale da ciascuna specie di parassitoide è molto variabile nello spazio e nel tempo: nelle condizioni più favorevoli, la percentuale di parassitismo può raggiungere l'80% (Thiéry e Xuéreb 2004). Tipicamente, la frequenza di parassitoidi di uova e larve è alta nelle prime due generazioni e diminuisce drasticamente nella generazione svernante, che è principalmente colpita da parassitoidi larvali-pupali e pupali.

La specie più diffusa ed efficace nei vigneti europei è il parassitoide larvale *Campoplex capitator*, della famiglia degli *Ichneumonidae* (Figura 10).



**Figura 10** - Esempio di *Campoplex capitator* (Foto di Hakon Haraldseide)

Da sempre questo insetto è ritenuto il miglior candidato per il controllo biologico della tignoletta della vite. In uno studio di 2 anni nei vigneti francesi, questa specie ha avuto un tasso medio di parassitismo del 40% (Xuéreb e Thiéry 2006).

L'utilizzo di questo parassitoide in vigneto risulta però limitato a livello applicativo a causa di alcune difficoltà emerse nell'allevamento massale (Thiéry e Xuéreb, 2004).

Alcuni studi suggeriscono la possibilità di impiegare ooparassitoidi del genere *Trichogramma* (Hommay *et al.*, 2002; El-Wakeil, 2008). Questi sono dei micro-imenotteri parassitoidi che hanno la capacità di agire sulle uova. In condizioni ottimali, il rilascio di questa specie può ridurre i danni causati dalla tignola della vite e dare risultati equivalenti ai trattamenti insetticidi (Nagarkatti *et al.*, 2002)

Negli anni sono stati svolti gli studi finalizzati all'impiego di *Trichogramma* spp., tuttavia il metodo non è stato ancora commercializzato (Castaneda- Samayoa *et al.*, 1993; Lucchi *et al.*, 2016).

#### 1.9.4 Confusione sessuale

La confusione sessuale o mating disruption (MD) rappresenta un mezzo di lotta biotecnica basato sull'alterazione del comportamento riproduttivo; esso prevede di andare ad interferire nella comunicazione sessuale tra individui della stessa specie basata sulla secrezione di



messaggeri chimici, quali i feromoni. La fase di accoppiamento dei lepidotteri inizia con il rilascio del feromone sessuale da parte della femmina, la quale innesca nel maschio il volo di avvicinamento (con una traiettoria a zig-zag) alla sorgente. La confusione sessuale ha lo scopo di interferire a livello di questa comunicazione chimica tra maschio e femmina, diffondendo nell'aria l'analogo sintetico del feromone sessuale, impedendo la localizzazione e la fecondazione del maschio, e di conseguenza limitandone la riproduzione (Franco *et al.*, 2011). I primi tentativi di utilizzare il metodo della confusione sessuale furono portati avanti in Francia e in Svizzera durante gli anni '70 (Roehrich *et al.*, 1977; Rauscher & Arn, 1979) mentre in Italia una prima prova venne condotta su due ettari di vigneto nel Lazio utilizzando dei piccoli tubi di gomma impregnati di feromone sintetico (Vita *et al.*, 1985).

Il meccanismo d'azione di questo mezzo di lotta biotecnico consiste nel mantenere il feromone di sintesi ad alte concentrazioni, in modo da creare una sorta di assuefazione dei recettori posti a livello degli antennumeri, rendendoli insensibili al feromone naturale prodotto dalle femmine (Csiro, 1982). Altri autori (Cardè, 1990; Sanders, 1997) hanno ipotizzato che la confusione sessuale abbia un'azione di mascheramento del feromone sessuale naturale, in quanto il suo effetto sarebbe azzerato da una presenza uniforme di feromone artificiale.

Nel caso in cui si inseriscono all'interno di un vigneto più fonti che rilasciano il blend sintetico si viene invece a creare una vera e propria competizione fra i feromoni artificiali e quelli naturalmente rilasciati dalle femmine del lepidottero (Cardé, 2007).

In un vigneto, ci sono una serie di fattori (ad esempio, il sistema di allevamento, sesto d'impianto e densità fogliare) che possono influenzare l'omogeneità, la concentrazione e la distribuzione del feromone e quindi incidono sul meccanismo d'azione e sull'efficacia della confusione sessuale (Schmitz *et al.*, 1997; Sauer e Karg, 1998).

Gli erogatori di feromone vengono posizionati in vigneto prima dell'inizio dei voli; infatti, le applicazioni tardive non permettono un controllo ottimale dell'insetto ed il loro numero è variabile a seconda della tipologia, ma in genere vengono installati circa 500 erogatori/ha in modo omogeneo, disposti tra i grappoli in modo da essere protetti dalla radiazione solare (Vitta, 2020)

Le varie formulazioni possono essere classificate a seconda del modo in cui è rilasciato il feromone (dispenser, spray, ecc.), del materiale utilizzato (gomma, PVC, polietilene, amido di mais), del design del prodotto (cavi, tubicini, piastre laminate, fiale) e del tasso di feromone rilasciato (Audemard, 1988).

Un erogatore efficace deve rilasciare il principio attivo a seconda della necessità nei diversi periodi di volo. Tuttavia, questa esigenza deve mediare con le condizioni climatiche quali la

temperatura, la velocità del vento e la radiazione solare che influenzano la permanenza nell'appezzamento del feromone rilasciato. Per questo motivo, l'obiettivo dei produttori è mantenere un tasso di emissione per tutta la stagione entro un intervallo specifico. A questo scopo sono stati sviluppati dei distributori di feromoni centralizzati ad aerosol che, a differenza dei sistemi tradizionali di rilascio passivo, garantiscono un rilascio più mirato e costante nel tempo. Questi dispositivi utilizzano dei sensori che forniscono dati climatici dell'appezzamento, permettendo soprattutto di controllare a distanza il rilascio dei feromoni, in risposta al comportamento riproduttivo, variabile da specie a specie: per quanto concerne i lepidotteri, solitamente il tasso di erogazione dei feromoni viene incrementato dal dispositivo nei momenti in cui il fitofago è maggiormente attivo, ossia durante le ore crepuscolari. In Italia, dove *L. botrana* svolge tre o quattro generazioni, i dispenser devono rilasciare feromone dalla fine di marzo fino a settembre. Come detto precedentemente, l'efficacia della confusione sessuale dipende principalmente dalla possibilità di mantenere un'omogenea concentrazione del feromone per tutta la durata del periodo che richiede il trattamento. Creare un dispenser dal design ottimale dal punto di vista del rilascio del feromone non assicura un disturbo sufficiente del volo dei maschi alla ricerca di femmine. Una grande variabilità è data infatti da fattori spaziali e temporali come la topografia del vigneto e la direzione del vento (Neumann e Cravedi, 1989).

L'applicazione estensiva della confusione sessuale contro *L. botrana* nelle aree viticole europee comporta un'elevata pressione selettiva che può portare alla formazione di popolazioni «resistenti». Sebbene non siano stati ancora registrati dei casi, l'eterogeneità del lepidottero può predisporre la specie alla resistenza (Wyatt, 1997; Roehrich *et al.*, 1976). Un aumento della quantità di feromoni emessi dalle femmine potrebbe determinare, in un'aria permeata di feromoni sintetici, una maggiore possibilità per il maschio di localizzare la compagna. Ciò potrebbe teoricamente portare a un fallimento dell'efficacia.

## **1.10 Macchine per la distribuzione dei prodotti fitosanitari**

### **1.10.1 Atomizzatore tradizionale**

L'atomizzatore agricolo ("sprayer"), detta anche irroratrice ad aeroconvezione, è una macchina agricola utilizzata per effettuare trattamenti fitosanitari in particolar modo nei frutteti. Queste macchine permettono di miscelare il prodotto fitosanitario disciolto in acqua, il quale viene successivamente nebulizzato direttamente sulla coltura attraverso degli ugelli.

Queste macchine in generale sono costituite da un telaio su cui è montato un serbatoio principale, destinato a contenere la miscela da distribuire; questo in genere viene realizzato in

vetroresina o polietilene (materiali che risultano inerti alla corrosione). Nella parte superiore del serbatoio è presente un'ampia apertura necessaria per il carico del prodotto da distribuire.

Il liquido presente all'interno del serbatoio viene prelevato da una pompa e un circuito idraulico permette il suo trasporto verso il sistema di polverizzazione. Le irroratrici utilizzate nei trattamenti alle colture arboree e in particolare alla vite, sono solitamente a polverizzazione pneumatica. Quest'ultima tipologia di polverizzazione permette alla miscela di essere inviata ad uno o più dispositivi erogatori disposti lungo un condotto a sezione variabile. Entro di esso passa una corrente di aria a forte velocità, generata da un ventilatore, in genere di tipo centrifugo. Tale corrente provvede sia alla nebulizzazione del liquido, sia al trasporto delle gocce formate sino alla pianta da trattare.

Queste macchine sono in grado di nebulizzare il liquido mediante ugelli a pressione, distribuendo le goccioline sulla vegetazione attraverso una corrente d'aria artificiale che muove le foglie, aiutando le goccioline a penetrare all'interno della chioma (Fox *et al.*, 2008).

Tuttavia, solo una parte delle goccioline raggiunge la vegetazione bersaglio. Una parte del volume di applicazione viene trasferita direttamente al suolo (Grella *et al.*, 2017), una parte viene persa nell'atmosfera sotto forma di spruzzi o deriva del vapore causata dall'azione del vento (Gil *et al.*, 2007) e ulteriori perdite possono verificarsi attraverso deflusso (Khot *et al.*, 2012) e dilavamento della pioggia (Rial *et al.*, 2003).

Per contenere il fenomeno della deriva sono stati realizzati degli ugelli chiamati "antideriva" la cui geometria interna consente di ottenere gocce più grandi e tra loro più uniformi. Le gocce, essendo più grandi, diventano meno soggette al trasporto del vento, producendo meno deriva a parità di copertura fogliare.

Gli ugelli antideriva possono essere costituiti da una pre-camera situata all'interno del corpo d'ugello che permette di ridurre la pressione del liquido in uscita dallo stesso, favorendo la formazione di gocce di dimensioni maggiori; esistono anche degli ugelli antideriva ad iniezione d'aria, i quali permettono di inglobare dell'aria alla miscela. L'aria passa attraverso un foro posto su un lato del corpo dell'ugello, e successivamente viene aspirata ed iniettata nel liquido (effetto Venturi) per poi attraversare l'orifizio di uscita. Le gocce inglobando aria assumono in questo modo una dimensione maggiore.

#### 1.10.2 Atomizzatore a tunnel con dispositivo di recupero

Gli atomizzatori a tunnel con dispositivo di recupero sono macchine agricole che, rispetto agli atomizzatori classici, possono arrivare a garantire un risparmio del 40% dei prodotti fitosanitari distribuiti, permettendo al contempo di ridurre notevolmente la deriva aerea e la contaminazione del suolo causata dal fenomeno del ruscellamento (Backer e Ruhling, 1991).

Sono macchine costituite da due pannelli opposti, ognuno da un lato del filare, i quali permettono di coprire interamente la parete vegetale e di intercettare e recuperare parte della soluzione che non si deposita sulla vegetazione. Il prodotto viene recuperato grazie a delle griglie poste sul pannello dove le gocce si vanno a condensare. Il prodotto depositato sulle strutture grigliate verrà prima raccolto in un pozzetto e successivamente filtrato e rinviato, grazie ad una pompa, al serbatoio generale in modo tale da poter essere riutilizzato. Il prodotto viene nebulizzato negli ugelli dopo il lavoro di trasporto della miscela svolto da una pompa a pistoni o a membrana. Questa tipologia di irroratrice ha una portata variabile dai 500 ai 3000 litri (Figura 11).



**Figura 11** – Atomizzatore a tunnel con dispositivo di recupero

Queste macchine sono capaci di recuperare e riciclare la maggior parte della frazione irrorata che non è stata trattenuta dalla chioma, rendendo possibile un controllo efficiente dei parassiti anche a tassi di dose di fitofarmaco ridotta (del 50% e 70%, nelle prime fasi di crescita della coltura; o, 15% e 30% a pieno sviluppo del fogliame) (Siegfried e Hollinger, 1996; Doruchowski e Holownicki, 2000). Nonostante questi vantaggi il numero di irroratrici a tunnel nelle aziende viticole italiane è piuttosto ridotto, a causa della minore velocità di lavoro, del costo più elevato della macchina, della necessità di fare frequenti soste per la pulizia del sistema di filtrazione delle impurità e della difficoltà nel distribuire omogeneamente il prodotto anche nella parte interna della vegetazione, soprattutto per le varietà più vigorose (Pergher *et al.*, 2013). Il suo ingombro e la difficile manovrabilità la rende adatta per aziende di grande estensione, situate in condizioni relativamente pianeggianti ed omogenee. Richiede inoltre un investimento economico rilevante da parte del viticoltore: per questo motivo viene ritenuto

congruo investire su questa tecnologia nel caso di aziende con almeno 50 ha di superficie vitata.

### 1.10.3 Sistema LiDAR

La distribuzione dei prodotti fitosanitari con tecniche “tradizionali” molto spesso risulta inefficace perché potrebbero verificarsi dei fenomeni di sovra-dosaggio, con conseguente aumento dei costi ed elevato impatto ambientale, oppure si rivela insufficiente, determinando una scarsa efficacia di protezione delle colture e riduzione delle rese. In questa ottica, la distribuzione dovrebbe essere modulata in modo tale da risultare conforme alle esigenze delle piante in campo (Alam *et al.*, 2020; Sharda *et al.*, 2011). Il passaggio dal sistema “tradizionale” di distribuzione degli agrofarmaci alla tecnica dell’irrorazione di precisione deve, tuttavia, essere oggetto di un’attenta valutazione a livello aziendale. In vigneto uno degli obiettivi fondamentali è quello di distribuire il prodotto solo dove è presente la vegetazione bersaglio e di adeguare le modalità di distribuzione e la qualità della stessa alle caratteristiche morfologiche della vegetazione (altezza, spessore, strati fogliari e sviluppo vegetativo).

Per conseguire questo scopo è stato sviluppato un prototipo da applicare ad un comune atomizzatore basato su uno scanner laser, ossia un sensore LiDAR che permette di stimare il volume della chioma e di estrapolare l'area fogliare, garantendo una mirata applicazione dell’insetticida.

Il sensore LiDAR (Light Detection And Ranging) è una tecnologia di telerilevamento che utilizza l'impulso luminoso di un laser per raccogliere misure che possono poi essere utilizzate per creare modelli tridimensionali. Si tratta di un sensore attivo che, è in grado di inviare degli impulsi luminosi verso un bersaglio (ad esempio la superficie della vegetazione) e tramite un detector, rileva il ritorno dell’impulso dopo che è stato riflesso. Il sistema riesce a rilevare con esattezza la distanza tra il sensore e il bersaglio conoscendo la velocità della luce e andando a registrare il tempo (espresso in nanosecondi) impiegato dall’impulso luminoso per andare e tornare dalla vegetazione (Figura 12).



**Figura 12** – Sensore LiDAR applicato ad un atomizzatore standard

Conoscendo inoltre in maniera precisa le coordinate del sensore nello spazio tridimensionale (qualora collegato a GPS e sistema inerziale di navigazione) è possibile ricavare le coordinate dei punti in cui l’impulso luminoso ha colpito gli oggetti. Il risultato che si ottiene è una nuvola di punti ciascuno con le proprie coordinate in uno spazio tridimensionale, da cui è possibile estrapolare informazioni sull’altezza e sulla geometria 3D della vegetazione (Cai *et al.*, 2017).

Questo sistema ha come obiettivo quello di ridurre la quantità di volumi dei fitofarmaci impiegati (prodotto irrorato) regolando l’apertura e la chiusura degli ugelli, al fine di andare a trattare solo le zone con reale presenza di fogliame, evitando così di spruzzare su zone non coperte. Il sistema è in grado di analizzare i dati in “real-time” e di correlare la posizione del mezzo, rilevata tramite GPS, con l’obiettivo di poter controllare la somministrazione dei principi attivi dei prodotti irrorati e di misurare il grado di superficie fogliare.

Questa tecnica consente di ridurre sensibilmente il fenomeno della deriva del prodotto distribuito (in quanto gli ugelli che avrebbero potuto somministrare prodotto anche in assenza di bersaglio, rimangono chiusi) e di conseguenza, rispetto ad altre tecnologie già presenti, tipo le macchine a recupero, di ottenere risparmi significativi con investimenti economici limitati.

Oltre al vantaggio della riduzione dell’impatto ambientale e dei costi di applicazione del fitofarmaco, questo strumento richiede un investimento iniziale relativamente contenuto e, per

questo motivo, può essere introdotto anche in aziende di medio-piccole dimensioni, offrendo efficacia nel controllo della distribuzione di agrofarmaci.

Il sistema LiDAR rispecchia a pieno gli obiettivi previsti dalla politica agricola Europea, perché garantisce una distribuzione razionale degli input, riduce l'impatto ambientale e i costi di gestione e razionalizza l'impiego di risorse idriche, aspetto fondamentale più che mai in questo periodo storico di cambiamenti climatici.

## 2. SCOPO DELLA RICERCA

Nell'ottica di una gestione integrata del vigneto, l'obiettivo della ricerca è stato quello di valutare l'efficacia di alcuni dei principali atomizzatori disponibili in commercio con un nuovo prototipo innovativo, nel controllo dell'infestazione di *L. botrana*. A tale scopo è stato valutato l'indice di infestazione e la severità di infestazione in funzione della differente modalità di distribuzione dell'insetticida.

È stata valutata e messa a confronto l'entità dell'infestazione utilizzando due atomizzatori attualmente in commercio (un atomizzatore standard, e un atomizzatore a tunnel con recupero) con un prototipo di misurazione innovativo, basato sulla tecnologia LiDAR. Questo prototipo, da applicare ad un atomizzatore tradizionale, consente di stimare la superficie fogliare nel vigneto, andando a regolare l'apertura e la chiusura degli ugelli, evitando così l'irrorazione su zone non coperte dalla chioma.

Allo scopo di studiare la dinamica della popolazione di *L. botrana* e la sua distribuzione in un vigneto della collina litoranea marchigiana, è stato inoltre effettuato un confronto tra un sistema tradizionale di monitoraggio basato sull'utilizzo di comuni trappole chemiotropiche a feromoni con un sistema innovativo di monitoraggio da remoto ISCOUT<sup>®</sup>, basato sull'utilizzo di una trappola assistita da videocamera.

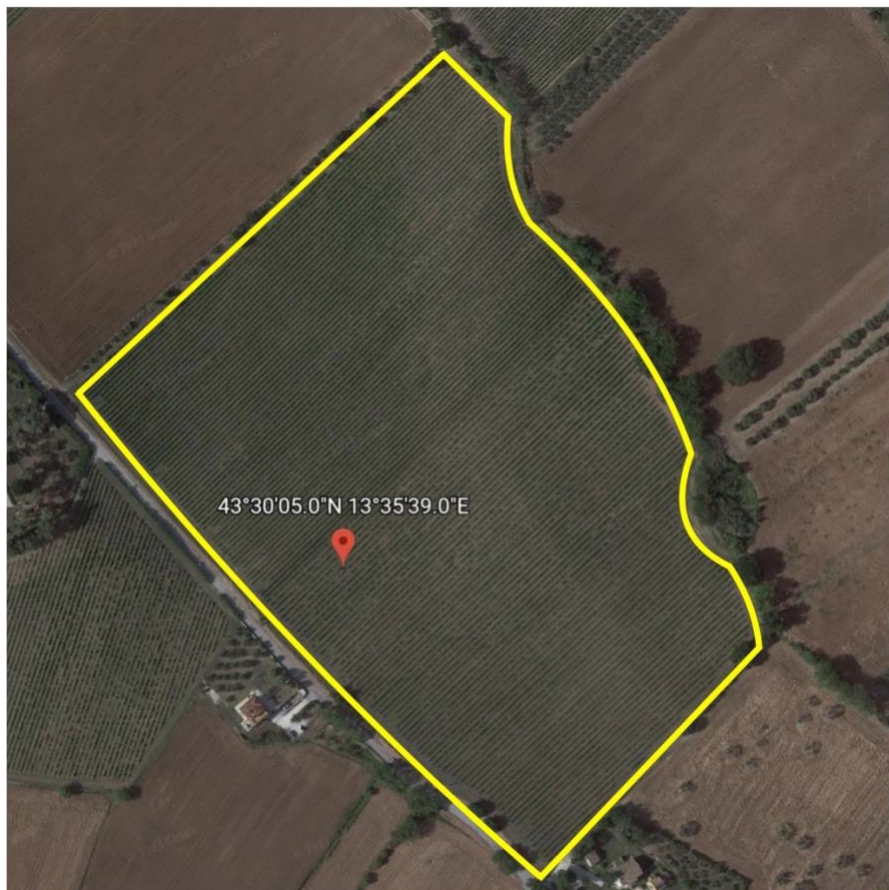


### 3. MATERIALI E METODI

#### 3.1 Campi sperimentali

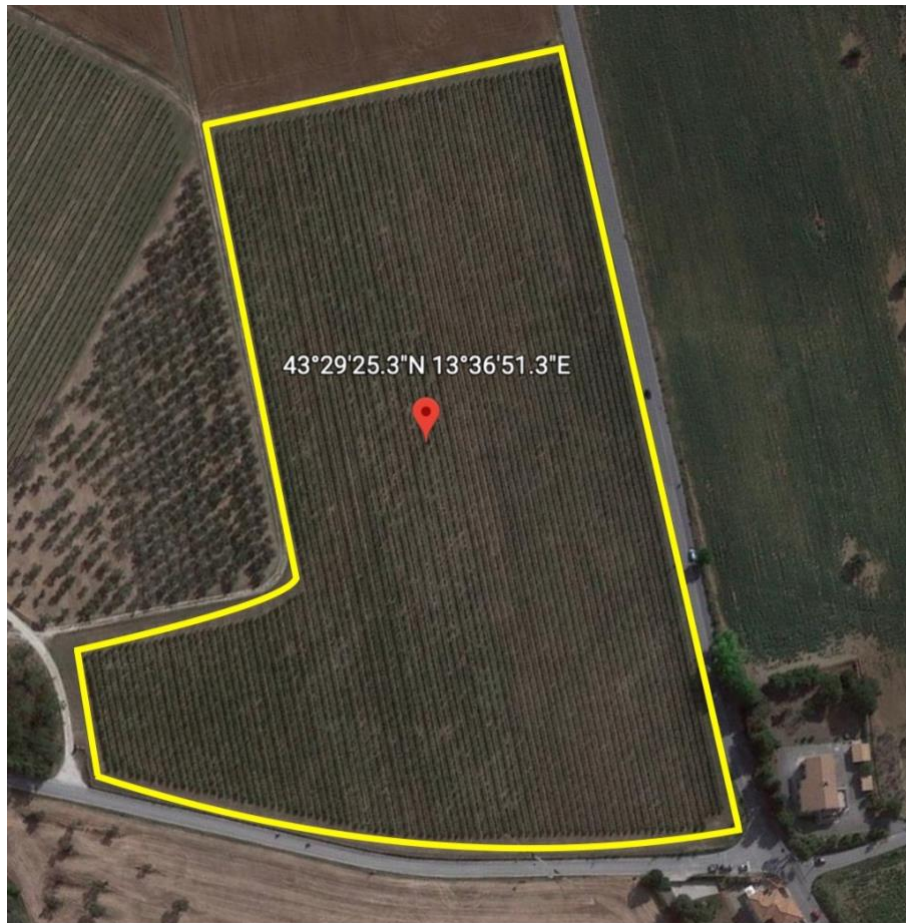
La prova è stata condotta nel 2022 in due vigneti a conduzione biologica situati nell'Italia centrale, di proprietà dell'Azienda Agricola Conte Leopardi.

La valutazione del sistema innovativo LiDAR è stata effettuata nel primo vigneto situato a Sirolo, frazione Coppo (provincia di Ancona, 43°30'05"N 13°35'39"E, 63-85 m s.l.m.) si estende per circa 9 ettari e presenta diverse cultivar, quali Chardonnay, Montepulciano, Moscato giallo e Sauvignon, allevate a guyot o a cordone speronato, con distanze tra i filari e lungo i filari rispettivamente di 3,0 m e 1,3 m.



*Figura 13 - Foto satellitare del vigneto situato a Sirolo, frazione Coppo (AN) (Fonte: Google Earth)*

La valutazione del sistema innovativo di monitoraggio ISCOUT® è stata effettuata nel secondo vigneto situato a Numana, frazione Svarchi (provincia di Ancona, 43°29'25.3"N 13°36'51.3"E, 25-48 m s.l.m.) si estende per 4,6 ettari e presenta diverse cultivar, quali Montepulciano, Merlot e Sirah, allevate a guyot o a cordone speronato, con distanze tra i filari e lungo i filari rispettivamente di 3,0 m e 1,3 m.



**Figura 14** - Foto satellitare del vigneto situato a Sirolo, frazione Svarchi (AN) (Fonte: Google Earth)

I dati di temperatura, umidità relativa e precipitazione utilizzati sono stati ottenuti da una stazione meteo situata a Sirolo (43°28'49.0"N 13°35'23.5"E) e resi disponibili dal “Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico” (SIRMIP), gestito dal Servizio di Protezione Civile della Regione Marche (SIRMIP on-line).

(<http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexjs.sol?lang=it>).

### 3.1.1 Valutazione del sistema innovativo LiDAR

#### 3.1.1.1 Disegno sperimentale

Nell'ottica di andare a valutare l'infestazione di *L. botrana* in funzione della differente modalità di distribuzione dell'insetticida, la prova nel vigneto situato a Coppo è stata limitata in un'area contenente la sola cultivar Sauvignon.

Come indicato dal disciplinare di produzione integrata della vite per la regione Marche, sono stati eseguiti dei trattamenti fitosanitari nei confronti della seconda generazione. Tuttavia, il disciplinare non prevede alcuna strategia di controllo nei confronti della prima generazione di *L. botrana*: per questo motivo il controllo è stato indirizzato esclusivamente nei confronti della generazione carpofaga. L'epoca ottimale per il posizionamento dell'intervento è stata determinata in relazione alla curva di volo registrata con le trappole a feromoni e all'andamento delle ovideposizioni. A tale scopo, è stato effettuato un campionamento preliminare su 100 grappoli, alla ricerca di uova di *L. botrana*.

Una volta individuate le prime uova allo stadio di "testa nera" (27/06/2022), è stata fissata l'epoca del trattamento a 2-3 giorni da tale rinvenimento. Il trattamento fitosanitario è stato eseguito mediante due applicazioni, a distanza di una settimana l'una dall'altra (Bagnoli, 1990). Il prodotto fitosanitario utilizzato per il controllo della tignoletta è stato il DIPEL® DF, un'insetticida biologico in granuli idrodispersibili a base di *Bacillus thuringiensis* subsp. *Kurstaki* ceppo ABTS 351 54%, attivo contro le larve di lepidotteri. In entrambe le applicazioni, effettuate il 30/06/2022 e il 07/07/2022, sono stati utilizzati 0,8 kg di prodotto disciolti in 200 litri di acqua (dosaggio: 4kg su 1000 litri).

Il disegno sperimentale ha previsto la definizione di 3 trattamenti ("Standard", "Lidar", "Recupero") costituiti da 3 differenti macchine distributrici (atomizzatori) più un controllo non trattato.

Per il primo trattamento ("Standard") è stato utilizzato un atomizzatore standard per applicazioni insetticide.

Nel secondo trattamento ("Lidar") è stato utilizzato lo stesso atomizzatore associato ad un prototipo di misurazione innovativo per stimare la superficie fogliare nel vigneto durante le normali operazioni di trattamento. Questo sistema è basato su uno scanner laser installato sul mezzo agricolo che permette di stimare il volume delle chiome e di estrapolare l'area fogliare utilizzando semplici e veloci algoritmi tali da consentire di eseguire l'operazione in tempo reale. Il sistema utilizza una tecnica di rilevamento denominata LiDAR (Light Detection And Ranging) che, successivamente all'analisi della copertura vegetale, permette di regolare

l'apertura e la chiusura degli ugelli dell'atomizzatore in funzione della vegetazione rilevata, evitando così l'irrorazione su zone non coperte dalla chioma. Questo sistema permette inoltre di creare una mappa fogliare di tutto il vigneto, contemporaneamente alla fase di trattamento. Lo scopo di questo sistema è quello di ottenere sia una riduzione della quantità di principio attivo utilizzato, sia un decremento in termini di risorse idriche sfruttate.

Nel terzo trattamento ("Recupero") è stato invece utilizzato un atomizzatore a tunnel con recupero, un macchinario agricolo scavallante equipaggiato con specifici pannelli esterni anti-deriva, realizzati per recuperare parte del prodotto erogato. Questa macchina consente il trattamento completo di due filari ad ogni passaggio, permettendo di recuperare il liquido nebulizzato che non aderisce alla vegetazione, andando a limitare il fenomeno della deriva ambientale.

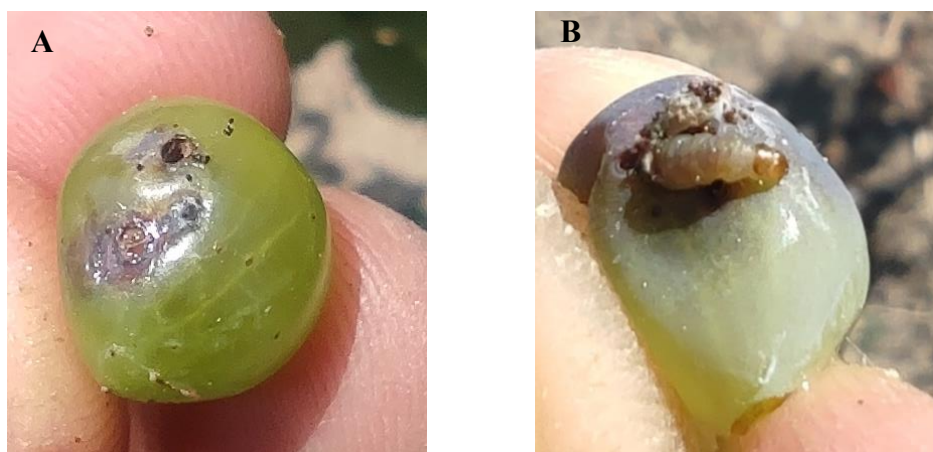
Per ciascun trattamento (Standard, Lidar e Recupero) sono stati considerati 6 filari di Sauvignon, mentre per il Controllo sono stati utilizzati 2 filari della stessa cultivar. Per ciascun trattamento sono stati successivamente individuati i 2 filari, ben distanziati, che presentavano il minor numero di fallanze, tali da garantire un prelievo uniforme dei grappoli durante le successive operazioni di campionamento.

### *3.1.1.2 Valutazione dell'indice di infestazione e della severità di infestazione*

Allo scopo di valutare l'infestazione di *L. botrana* nel vigneto Coppo in funzione della differente modalità di distribuzione dell'insetticida, e dunque al fine di stabilire l'efficacia dei diversi atomizzatori utilizzati, è stato effettuato un campionamento non distruttivo in cui le unità di campionamento sono state costituite dai grappoli.

All'interno dei 2 filari selezionati per ciascun trattamento sono state scelte 8 zone omogenee (4 nel primo filare e 4 nel secondo) in cui sono state individuate 8 repliche. Ciascuna replica è stata individuata all'interno di 6 interpali; in ciascuna replica sono state identificate 4 sub-parcelle costituite ciascuna da almeno 3 piante contigue. Per ciascuna replica sono state dunque osservate 12 piante, per un totale di 96 piante per tesi. Da ciascuna pianta sono stati scelti 2 grappoli da campionare, uno esposto a nord (grappolo di sinistra) e uno esposto a sud (grappolo di destra). All'interno di ciascuna pianta scelta, sono stati selezionati i 2 grappoli meglio sviluppati sulla base di uno schema a priori per evitare una scelta soggettiva (Pavan *et al.*, 1987). Sono stati campionati 24 grappoli per replica, per un totale di 192 grappoli per tesi.

La valutazione dei danni sulle viti è stata effettuata attraverso l'ispezione visiva dei grappoli selezionati. Il campionamento è stato eseguito a distanza di circa 15 giorni dal trattamento insetticida (Vassiliou *et al.*, 2011), in modo da valutare il danno prodotto dalla seconda generazione. A metà luglio sono stati dunque controllati tutti i grappoli per verificare la presenza di acini infestati con presenza di fori di penetrazione larvali (Figura 15 A) e/o larve vive imputabili alla seconda generazione (Figura 15 B).



**Figura 15** - Foro di penetrazione larvale (A) larva di seconda generazione (B)

Per valutare l'indice di infestazione per pianta, sono stati contati tutti i grappoli infestati con presenza di acini con almeno un foro di penetrazione larvale o almeno una larva viva. L'indice di infestazione della pianta è stato dunque calcolato come il numero di grappoli infestati rispetto al numero totale di grappoli esaminati per ciascuna pianta (Vassiliou *et al.*, 2011). Oltre all'indice di infestazione per pianta, che fornisce informazioni sulla proporzione di presenza di grappoli infestati per pianta, è stato calcolato un indice quantitativo di gravità dell'infestazione per pianta. Questo indice tiene conto dell'abbondanza del parassita o delle sue tracce di presenza. La severità dell'infestazione dei grappoli è stata calcolata dividendo la somma di tutti gli acini infestati (con presenza di fori di penetrazione) per pianta, per il numero totale di grappoli campionati per pianta.

### 3.1.1.3 Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda

La dinamica della popolazione adulta di *L. botrana* è stata valutata attraverso l'utilizzo di trappole a pagoda (TRAPTEST Isagro®) innescate con feromone sessuale (Figura 16). Questa trappola è costruita interamente da materiale plastico e, data la sua particolare forma, è particolarmente indicata per il monitoraggio di specie di lepidotteri di piccola e media taglia. Essa è costituita da un tetto e da un fondo ricoperto di colla uniti tra loro ad assi incrociati.



**Figura 16 - Trappola a pagoda innescata con feromone sessuale**

Nel vigneto Coppo è stato posizionato un totale di 13 trappole a 50 m di distanza l'una dall'altra a 27 m dai bordi del vigneto per evitare interferenze tra le trappole e con le fasce di bordo. Sono state disposte ad un'altezza di 1,5 m da terra, all'interno della vegetazione e a livello del grappolo. Le trappole sono state innescate ciascuna con un dispenser contenente il feromone sessuale e posizionate nel vigneto il 13 maggio.

Le catture sono state registrate a partire dal 20 maggio e sono state concluse il 28 dicembre.

I fondi collati sono stati settimanalmente puliti e sostituiti una volta risultati troppo macchiati, tali da compromettere l'individuazione degli adulti catturati, mentre gli erogatori del feromone sono stati sostituiti una volta ogni quattro settimane come indicato del produttore. Tutte le trappole sono state controllate una volta alla settimana registrando il numero di maschi catturati (Figura 17).



*Figura 17 – Controllo settimanale delle catture*

### 3.1.2 Valutazione del sistema innovativo di monitoraggio ISCOUT®

Il secondo obiettivo è stato quello di studiare la dinamica della popolazione di *L. botrana* effettuando un confronto applicativo tra il sistema tradizionale di monitoraggio basato sull'utilizzo di comuni trappole chemiotropiche a feromoni con un sistema innovativo di monitoraggio da remoto, che prevede l'uso di una trappola assistita da videocamera.

A tale scopo, comuni trappole a pagoda (TRAPTEST Isagro®) innescate con feromone sessuale sono state posizionate nel vigneto Svarchi, assieme ad una trappola elettronica a controllo remoto.

### *3.1.2.1 Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda*

Nel vigneto Svarchi sono state posizionate 5 trappole a 50 m di distanza l'una dall'altra a 27 m dai bordi del vigneto e sono state disposte ad un'altezza di 1,5 m da terra, all'interno della vegetazione, allo stesso modo che nel precedente vigneto. Le trappole sono state innescate con il feromone sessuale e posizionate nel vigneto durante la stessa giornata, ossia il 13 maggio.

Le catture sono state registrate a partire dal 20 maggio e sono state concluse il 28 dicembre. Le procedure di controllo e di manutenzione delle trappole sono state eseguite in modo analogo al vigneto Coppo.

### *3.1.2.2 Monitoraggio degli adulti con trappola elettronica*

Al fine di effettuare un confronto con i dati di cattura forniti dalle trappole a pagoda tradizionali, nel vigneto di Svarchi è stata inoltre valutata la dinamica della popolazione attraverso l'utilizzo di una trappola elettronica iMETOS iSCOUT® PHEROMONE (Pessl Instruments) (Figura 18). Questo dispositivo è una trappola per insetti con elettronica integrata (sistema di telecamere, modem, alimentazione con pannello solare) e piastra metallica con fondo adesivo, disegnata per la cattura di insetti tramite feromone (consigliata in particolar modo per lepidotteri minatori).



**Figura 18** - Trappola elettronica iMETOS iSCOUT® PHEROMONE

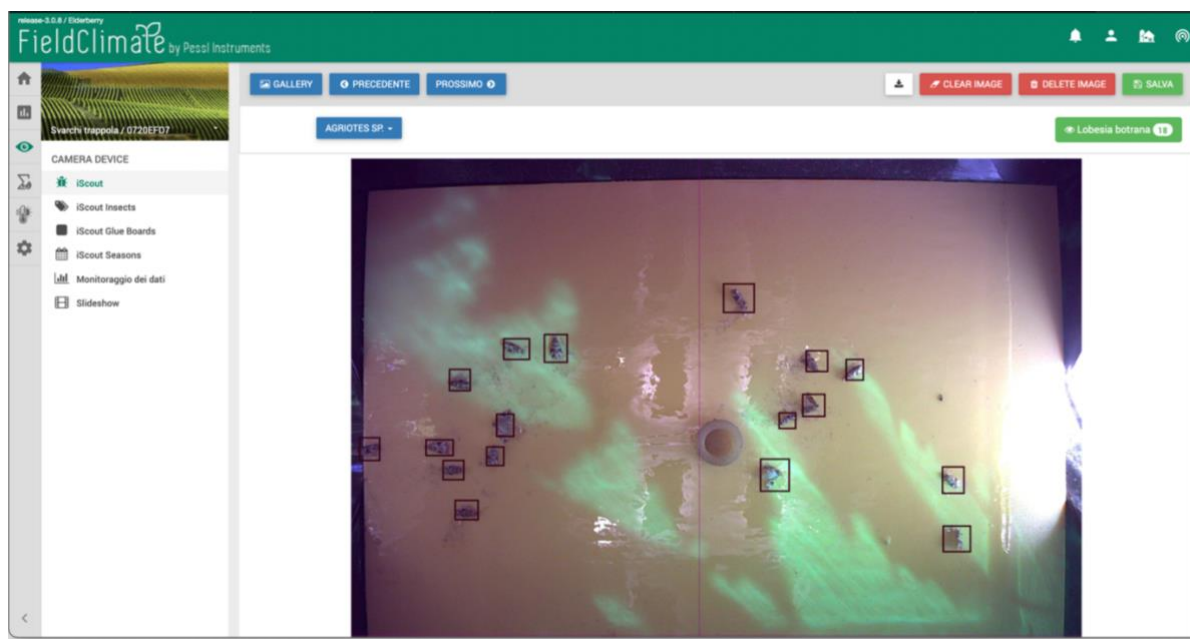


La trappola permette il controllo delle catture da remoto; Pessi Instruments ha infatti sviluppato una fotocamera ad alta risoluzione (Figura 19) integrata nella trappola che, in combinazione con un software di riconoscimento visivo, consente il monitoraggio automatico delle catture.



*Figura 19 - Fotocamera ad alta definizione*

Le immagini con una risoluzione di 10 Mega Pixel vengono inviate via modem alla piattaforma FieldClimate dove vengono analizzate con strumenti di AI (Intelligenza Artificiale) (Figura 20).



*Figura 20 – Piattaforma FieldClimate*

La trappola è autonoma grazie alla batteria ricaricata da pannello solare (Figura 21) ed ha un peso ridotto in modo da poter essere appesa ovunque in campo. Le immagini, scattate giornalmente al crepuscolo, hanno permesso di ottenere i dati delle catture giornaliere lungo tutta la stagione di monitoraggio. Le catture sono state contate manualmente da remoto e in ogni foto sono state contate solamente le falene rimaste intrappolate durante la giornata corrispondente.

La trappola elettronica è stata posizionata nel vigneto il 13 maggio, mentre le prime catture sono state registrate la giornata successiva.



*Figura 21 - Pannello solare per la ricarica automatica della batteria*

### 3.2 Analisi statistica

La distribuzione dell'indice medio di infestazione, del numero medio di acini infestati per pianta (severità dell'infestazione) e delle catture per trappola non è risultata normalmente distribuita.

La trasformazione della radice quadrata dell'arcoseno dei dati non è stata in grado di normalizzare le distribuzioni e di omogeneizzare le varianze dei dati del campione (Vassiliou *et al.*, 2011).

Sono state dunque eseguite analisi non parametriche durante tutta la durata dell'esperimento: è stato utilizzato il test di Kruskal-Wallis per confrontare l'indice medio di infestazione e la severità di infestazione e testare le significatività tra i diversi trattamenti (Standard; Lidar; Recupero; Controllo).

Tutte le analisi sono state eseguite utilizzando il programma "GraphPad Prism 8".

## 4. RISULTATI

### 4.1 Valutazione del sistema innovativo LiDAR

#### 4.1.1 Indice medio di infestazione e della severità di infestazione in funzione della modalità di distribuzione insetticida

Nel vigneto Coppo la percentuale di grappoli infestati per pianta è variata significativamente tra le diverse tesi considerate: il test di Kruskal-Wallis ha fornito una differenza statisticamente significativa nell'indice medio di infestazione ( $\chi^2 = 11.499$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = 0.009314$ ) nei diversi trattamenti.

L'indice medio di infestazione del Controllo ( $53,13 \% \pm 2,55$ ;  $\text{media} \pm \text{SE}$ ) risulta essere significativamente differente rispetto agli altri trattamenti ( $p\text{-value} < 0,05$ ) (Tabella 2; Figura 22).

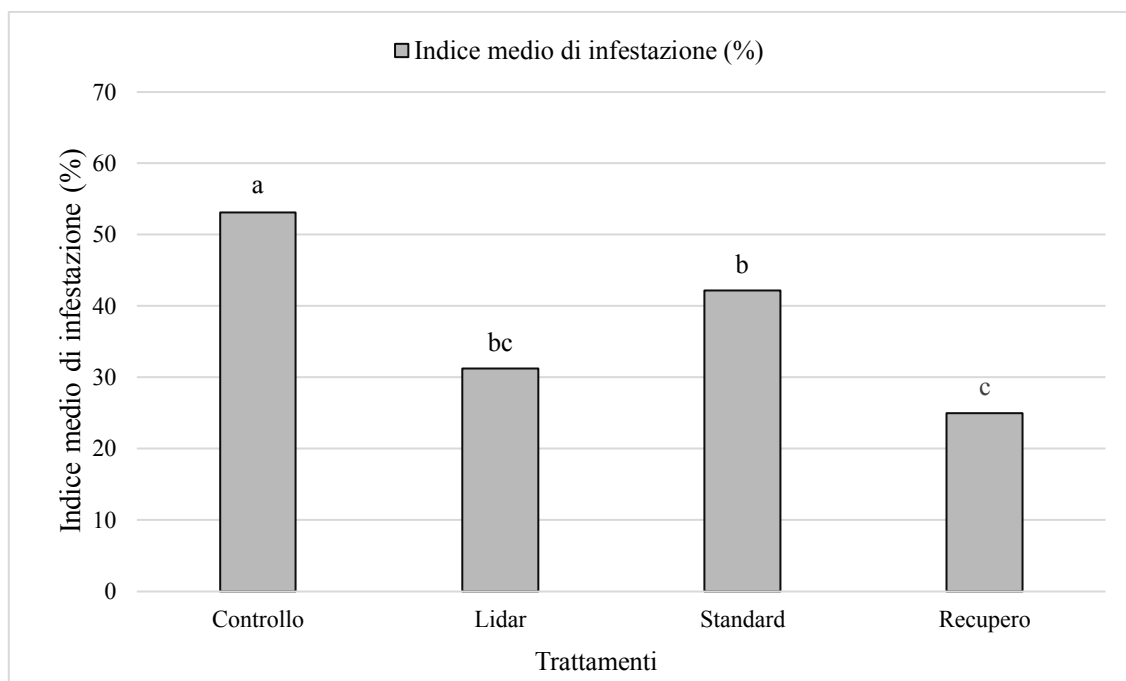
**Tabella 2** – Indice medio di infestazione (%)  $\pm$  SE (errore standard) e numero medio di acini infestati per pianta  $\pm$  SE della seconda generazione, rispettivamente su Controllo, Lidar, Standard e Recupero<sup>1</sup>.

	Controllo	Lidar	Standard	Recupero
Indice medio di infestazione (%)	$53,13 \pm 2,55^a$	$31,25 \pm 2,46^{bc}$	$42,19 \pm 2,92^b$	$25,00 \pm 2,50^c$
Severità di infestazione	$1,28 \pm 0,12^a$	$0,70 \pm 0,09^b$	$0,89 \pm 0,12^b$	$0,54 \pm 0,09^b$

valori nella riga con differenti lettere hanno differenze significative (Kruskal-Wallis,  $P < 0,05$ )

Una differenza significativa è stata evidenziata anche negli indici medi di infestazione calcolati in Standard e Recupero ( $p\text{-value} < 0,0001$ ): l'indice medio di infestazione è stato del  $42,19 \% \pm 2,92$  e del  $25,00 \% \pm 2,50$ , rispettivamente nello Standard e nel Recupero (Tabella 2).

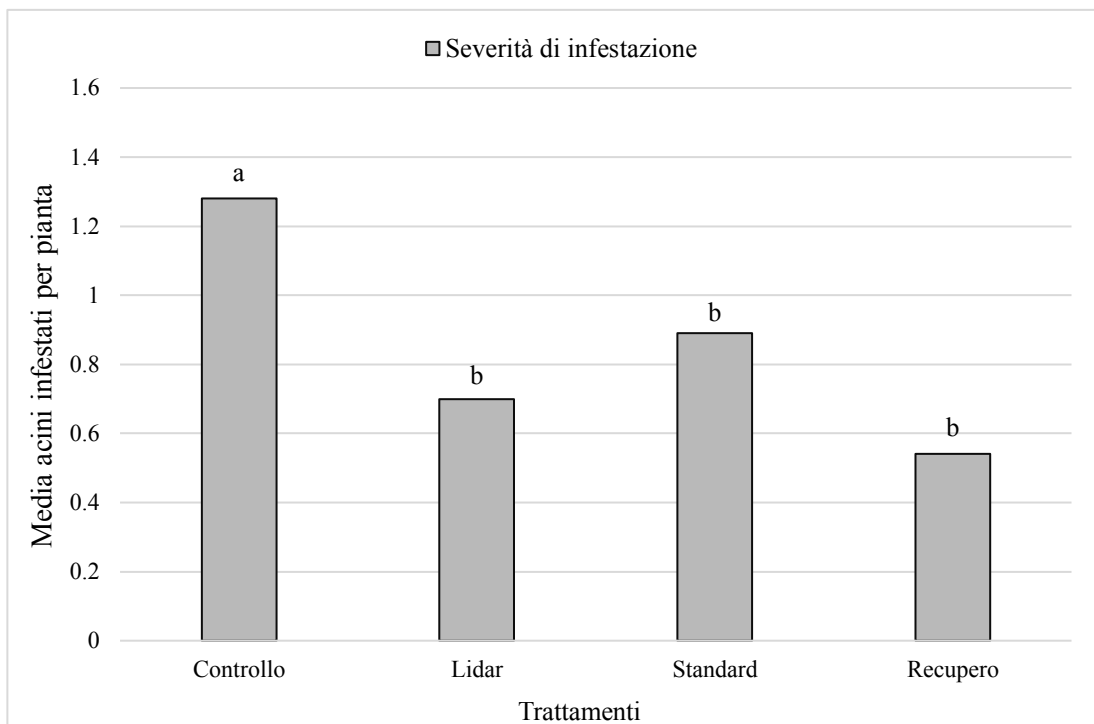
L'indice medio di infestazione è risultato essere più basso nel Lidar ( $31,25 \% \pm 2,46$ ) rispetto a quello rinvenuto nello Standard ( $42,19\% \pm 2,92$ ) (Tabella 2) nonostante non sia stata mostrata alcuna differenza significativa tra i due trattamenti.



**Figura 22** – *Indice medio di infestazione (%) per pianta della seconda generazione nei diversi trattamenti (Controllo; Lidar; Standard; Recupero)*

Un andamento simile è stato riscontrato anche per la severità di infestazione. Il test di Kruskal-Wallis ha fornito una differenza significativa nella severità di infestazione ( $\chi^2 = 11.231$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} < 0.05$ ). Il numero medio di acini infestati per pianta è variato significativamente tra il Controllo e i diversi trattamenti, con un numero medio di acini infestati per pianta più elevato nel Controllo ( $1,28 \pm 0,12$ ) ( $p\text{-value} < 0,001$ ;  $p\text{-value} < 0,05$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ , rispettivamente per Lidar, Standard e Recupero) (Tabella 2).

La differenza della severità di infestazione non è risultata significativa tra Lidar, Standard e Recupero, i quali hanno mostrato rispettivamente un numero medio di acini infestati per pianta di  $0,70 \pm 0,09$ ;  $0,89 \pm 0,12$ ;  $0,54 \pm 0,09$  (media  $\pm$  SE) (Tabella 2; Figura 23).



**Figura 23** - Media acini infestati per pianta della seconda generazione nei diversi trattamenti (Controllo; Lidar; Standard; Recupero)

#### 4.1.2. Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda

Nel vigneto Coppo è stata valutata la dinamica di popolazione di *L. botrana*, andando ad osservare le fluttuazioni della popolazione maschile durante l'intero periodo che va da maggio a dicembre.

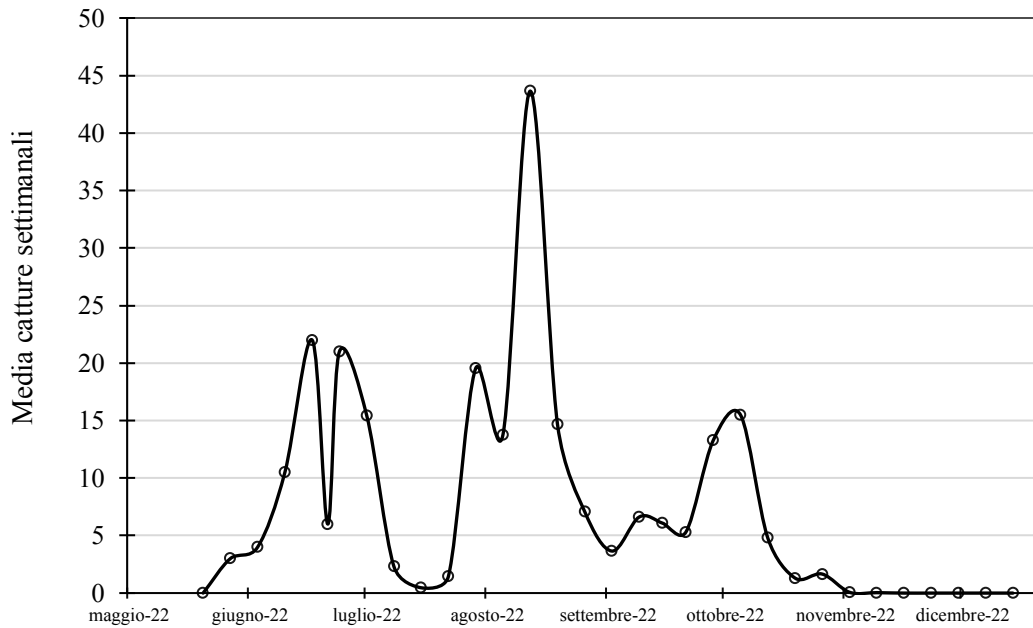
L'andamento della popolazione, determinato in base alla media degli esemplari adulti maschi catturati settimanalmente nelle Traptest, ha indicato che nel vigneto Coppo *L. botrana* ha formato 3 picchi di volo completi, come mostrato nella Figura 24.

Come mostrato dal grafico (Figura 24) i primi individui adulti sono stati catturati a partire dal 27 maggio con una media di 3 adulti per trappola per settimana, quando la temperatura media era di 21,13°C e l'umidità relativa di 69% (Figura 25). Le catture sono aumentate nella settimana successiva (3 giugno) indicando l'inizio del volo della prima generazione di *L. botrana*. Il primo picco di volo è stato osservato il 17 giugno, registrando una media di 22 adulti per trappola, quando la temperatura media era di 24,7°C e l'umidità relativa di 66,3%. Il decremento registrato nelle catture la settimana successiva (21 giugno) e visibile dal grafico è stata probabilmente dovuto al verificarsi di un evento piovoso. Il primo volo è terminato l'8 luglio, periodo in cui è stato individuato un repentino calo delle catture che ha portato ad una media delle catture di 2,3 individui per trappola. Il primo volo è terminato quando la temperatura media era di 23°C e l'umidità relativa del 60%.

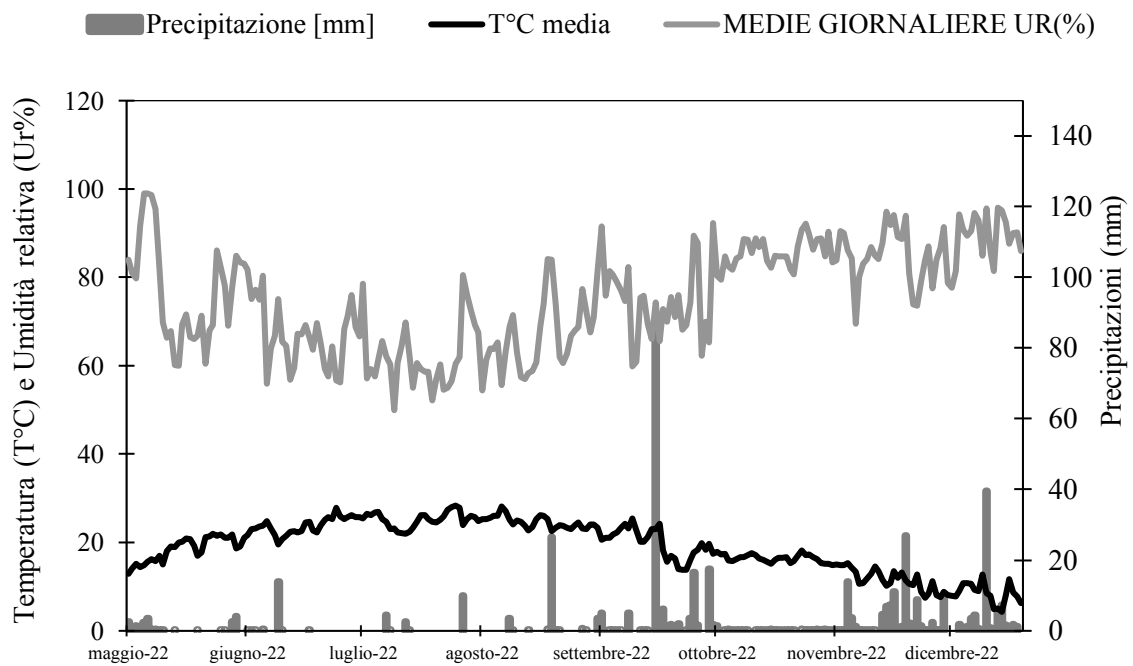
Nelle due settimane successive le catture sono rimaste relativamente basse; hanno ricominciato a salire a partire dal 29 luglio, sancendo l'inizio del secondo volo. Il secondo picco di volo è stato individuato il 12 agosto con una media di 43,6 catture per trappola, quando la temperatura media era di 24°C e l'umidità relativa del 57%. Il secondo volo è terminato il 2 settembre, quando la temperatura media era di 21°C e l'umidità relativa del 57%, registrando una media di 3,65 maschi catturati per trappola.

Il terzo volo è iniziato circa 20 giorni dopo la fine del volo precedente (21 settembre), quando la temperatura media era di 14°C e l'umidità relativa del 76%. Il terzo picco di volo è stato individuato il 5 ottobre, con un valore medio di 15,5 individui per trappola, quando la temperatura media era di 16°C e l'umidità relativa del 82%. Il terzo volo si è concluso il 26 ottobre quando le catture sono scese fino a raggiungere un valore medio di 1,65 maschi per trappola. Le catture sono cessate quando la temperatura media dell'aria era di 16,7°C e l'umidità relativa del 86%.

Dalle catture settimanali ottenuti mediante l'utilizzo delle Traptest si evince che la durata dell'attività di volo della tignoletta della vite nel vigneto Coppo è stata poco più di 5 mesi.



**Figura 24** - Andamento stagionale complessivo del numero medio di maschi catturati settimanalmente mediante Traptest nel 2022 nel vigneto Coppo (AN).



**Figura 25** - Andamento stagionale complessivo dei dati meteorologici a Sirolo, provincia di Ancona (Italia) nel 2021: le barre indicano la somma complessiva delle precipitazioni medie giornaliere in mm; la linea in grassetto rappresenta il valore medio giornaliero della temperatura; la linea grigia rappresenta il valore medio giornaliero di 'umidità relativa. Fonte: SIRMIP online.



## 4.2 Valutazione del sistema di monitoraggio innovativo ISCOUT®

### 4.2.1 Monitoraggio degli adulti con trappole a pagoda

Lo studio sulla dinamica della popolazione di *L. botrana* è stato inoltre condotto nel vigneto Svarchi, andando ad osservare le fluttuazioni della popolazione maschile durante l'intero periodo che va da maggio a dicembre.

L'andamento della popolazione, determinato in base alla media degli esemplari adulti maschi catturati settimanalmente nelle Traptest, ha indicato che nel vigneto Svarchi *L. botrana* ha formato 3 picchi di volo completi (Figura 26).

Come mostrato dal grafico (Figura 26) costruito utilizzando le medie delle catture settimanali rilevate attraverso le Traptest, i primi individui adulti sono stati catturati a partire dal 27 maggio con una media di 0,6 adulti per trappola per settimana, quando la temperatura media era di 21,13°C e l'umidità relativa di 69% (Figura 25).

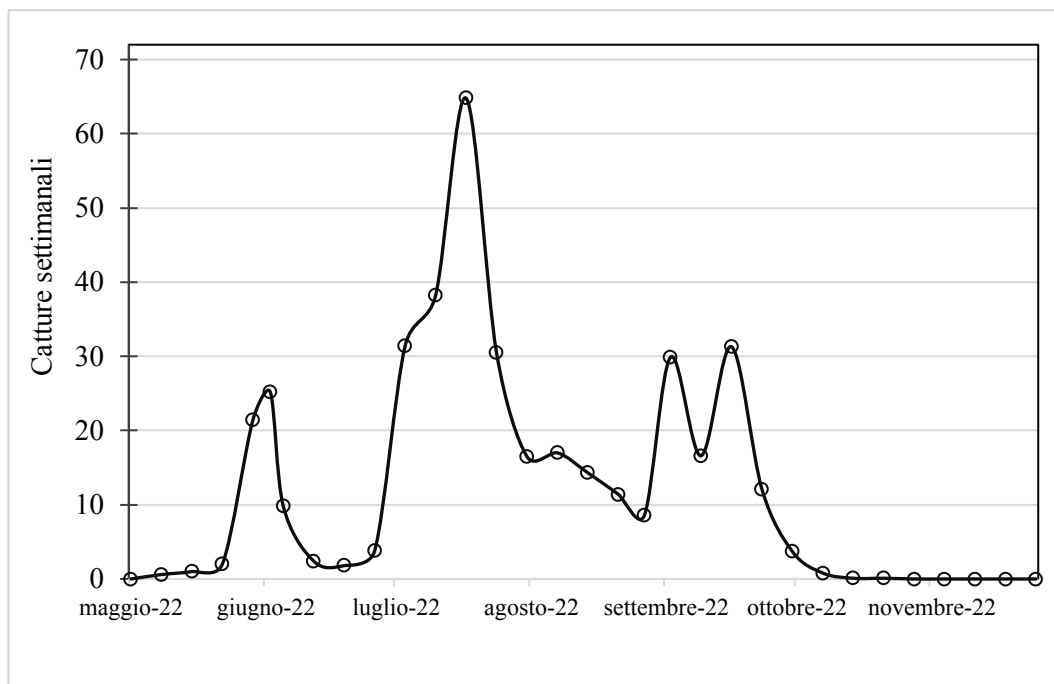
Le catture sono aumentate il 10 giugno indicando l'inizio del volo della prima generazione di *L. botrana*. Il primo picco di volo è stato osservato il 21 giugno, registrando una media di 26 adulti per trappola, quando la temperatura media era di 25,14°C e l'umidità relativa di 59,2%.

Il primo volo è terminato l'8 luglio, periodo in cui è stato individuato calo delle catture che ha portato ad una media delle catture di 1,8 individui per trappola. Il primo volo è terminato quando la temperatura media era di 23°C e l'umidità relativa del 60%.

Nelle settimane successive le catture sono salite a partire dal 15 luglio, sancendo l'inizio del secondo volo. Il secondo picco di volo è stato individuato il 5 agosto con una media di 64,8 catture per trappola, quando la temperatura media era di 26,07°C e l'umidità relativa del 65,25%. Il secondo volo è terminato il 2 settembre, nonostante non si sia verificato un vero e proprio decremento delle catture tale da distinguere nettamente la fine del secondo volo e l'inizio del terzo; in questo periodo la temperatura media era di 21°C e l'umidità relativa del 75%. Il terzo volo è iniziato approssimativamente il 15 settembre, quando la temperatura media era di 23°C e l'umidità relativa del 74%. Il terzo picco di volo è risultato frammentato, dal momento che il 28 settembre è stato registrato un anomalo decremento delle catture (Figura 26): le catture sono passate da 30 adulti per trappola del 21 settembre a 16,5 catture del 28 settembre, per poi aumentare nella settimana successiva. Questa frammentazione del picco di volo potrebbe essere attribuita ad un evento piovoso verificatosi il 25 settembre.

Il terzo volo si è concluso il 26 ottobre quando le catture sono scese fino a raggiungere un valore medio di 0,8 maschi per trappola. Le catture sono cessate quando la temperatura media dell'aria era di 16,7°C e l'umidità relativa del 86%.

Secondo i dati forniti dalle Traptest, la durata dell'attività di volo della tignoletta della vite in questo vigneto è stata poco più di 5 mesi, come nel vigneto Coppo.



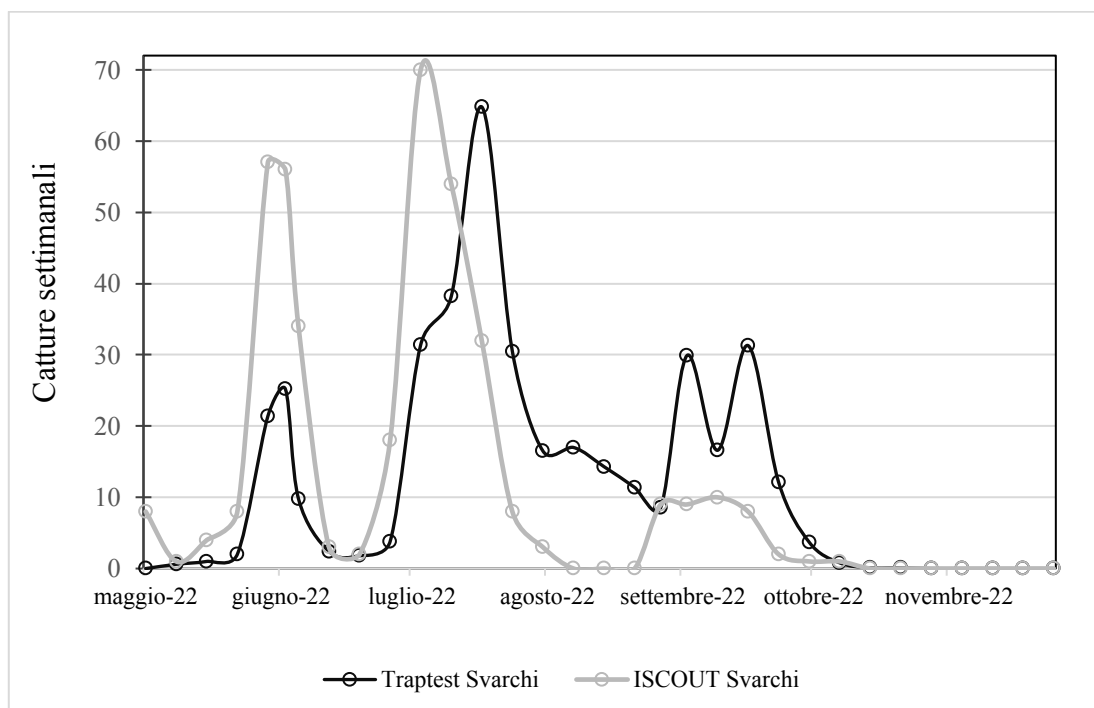
**Figura 26** - Andamento stagionale complessivo del numero medio di maschi catturati settimanalmente mediante Traptest nel 2022 nel vigneto Svarchi (AN).

#### 4.2.2 Confronto tra trappole a pagoda (Traptest) e trappola elettronica (ISCOUT®)

Dall'analisi dei dati di cattura giornalieri forniti dalla trappola elettronica (ISCOUT®) è emersa una parziale correlazione positiva con i dati settimanali forniti dalle Traptest. Come emerge dal grafico (Figura 27), il sistema di monitoraggio innovativo ha indicato i periodi di inizio e di fine dei voli approssimativamente allo stesso modo delle Traptest. Nonostante ciò, il secondo picco ottenuto dalla trappola elettronica è risultato anticipato di due settimane rispetto a quello fornito dalle Traptest.

D'altro canto, i dati forniti dalla trappola elettronica non hanno evidenziato delle corrette indicazioni sull'intensità delle catture se paragonati a quelli ottenuti mediante il sistema tradizionale di monitoraggio. Infatti, ad eccezione del secondo picco in cui, come è possibile

osservare dal grafico, sono state registrate intensità di cattura simili, il primo e il terzo picco hanno fornito un numero di catture diverso.



**Figura 27** - Confronto dell'andamento stagionale complessivo del numero medio di maschi catturati settimanalmente (Traptest) e sommatoria settimanale delle catture giornaliere (ISCOUT®)

## 5. CONCLUSIONI

Dagli esperimenti condotti nel 2022 in due vigneti della collina litoranea marchigiana, aventi l'obiettivo di valutare l'efficacia di due sistemi innovativi per il controllo di *L. botrana*, sono emersi diversi aspetti che andranno in futuro considerati al fine di sviluppare un sistema efficace, che riesca ad affiancare l'agricoltore nella gestione integrata del vigneto.

Dalla valutazione dell'indice di infestazione e della severità di infestazione condotta nel vigneto Coppo, in funzione della differente modalità di distribuzione dell'insetticida, non è stata rilevata una differenza significativa tra gli indici di infestazione riscontrati nei filari trattati mediante prototipo Lidar e Atomizzatore Standard.

Il Recupero è risultato essere il più efficiente sistema di distribuzione in quanto ha garantito la percentuale più bassa di infestazione, mostrando una differenza significativa nei confronti degli altri trattamenti.

Queste irroratrici sono infatti in grado di recuperare e riciclare la maggior parte della frazione irrorata che non è stata trattenuta dalla chioma, rendendo possibile un controllo efficiente dei parassiti anche con dosi di fitofarmaco ridotte.

Con l'utilizzo dei sistemi di irrorazione tradizionali, si incorre invece in potenziali perdite di principio attivo che possono arrivare fino all'80-90%, in particolar modo durante le prime fasi vegetative in cui la barriera fogliare non è ancora ben sviluppata. Invece, a differenza degli atomizzatori tradizionali, il sistema a tunnel con recupero permette di intercettare il prodotto fitosanitario, arrivando ad ottenere un risparmio del 40-50% nel costo dei fitofarmaci. Le macchine a recupero garantiscono, inoltre, vantaggi cospicui dal punto di vista della sostenibilità ambientale, dal momento che sono in grado di abbattere fino al 98% il fenomeno della deriva e di ridurre notevolmente la contaminazione del suolo per ruscellamento.

Questa tipologia di macchine agricole, seppur performante dal punto di vista ambientale, presenta tuttavia degli svantaggi e dei limiti applicativi in determinati contesti aziendali. In primo luogo, si tratta di macchine adatte ad operare in appezzamenti omogenei, senza ostacoli e con lievi pendenze, essendo macchinari molto più ingombranti, pesanti e difficili da manovrare rispetto agli atomizzatori tradizionali; inoltre, dal punto di vista agronomico, il sistema a recupero ha il limite di poter fungere da veicolo di dispersione di agenti patogeni

(spore, uova), proprio per il fatto che la soluzione viene recuperata e riutilizzata una volta che ha attraversato la parete fogliare.

Ad oggi, il numero di irroratrici a tunnel con recupero nelle aziende viticole italiane è ancora molto ridotto, a causa del costo molto più elevato della macchina rispetto alle irroratrici tradizionali, e alla limitata estensione della maggior parte delle realtà aziendali italiane, tali da non necessitare di simili investimenti. Oltre al fattore economico, anche le maggiori difficoltà nell'utilizzo e nella manutenzione, come ad esempio la necessità di fare frequenti soste per la pulizia del sistema di filtrazione, e della difficoltà nel distribuire omogeneamente il prodotto nella parte più interna della chioma, rendono queste macchine inadeguate nella maggior parte dei contesti aziendali italiani.

Nonostante il Recupero si sia confermato il metodo più efficace nel contenimento dell'infestazione, il trattamento mediante sistema Lidar ha anch'esso garantito un buon successo nel controllo della tignoletta, a maggior ragione considerando la minor quantità di fitofarmaco e acqua distribuita rispetto agli altri sistemi testati.

Di conseguenza il Sistema Lidar rappresenterebbe una valida opportunità per i viticoltori italiani grazie ad un buon compromesso tra costo, efficacia e riduzione dell'impatto ambientale.

Il secondo obiettivo di questo studio è stato quello di valutare l'efficacia di un sistema innovativo di monitoraggio da remoto basato sull'utilizzo di una trappola assistita da videocamera. Dai risultati ottenuti è emerso che la trappola elettronica è stata in grado di fornire una corretta informazione qualitativa della dinamica della popolazione. Infatti, ha indicato correttamente i periodi di inizio e di fine attività del volo stagionale della tignoletta, in maniera comparabile alle trappole tradizionali. Entrambe le tipologie di trappole hanno infatti mostrato che la durata dell'attività di volo di *L. botrana* è stata di 5 mesi, da fine giugno a fine ottobre.

L'anticipazione del secondo picco di volo riscontrato nella trappola elettronica rispetto a quelle tradizionali potrebbe essere imputabile alla variabilità stagionale nelle catture all'interno di uno stesso vigneto. Questo fattore è comunemente riscontrato anche nelle Traptest, nelle quali si calcola appositamente la media delle catture fornite dalle diverse trappole posizionate in vigneto. A questo scopo, saranno necessari ulteriori studi prevedendo l'utilizzo di un numero maggiore di dispositivi automatici.

Successivamente al confronto con i dati ottenuti dalle Traptest, si può concludere che questo sistema innovativo di monitoraggio non ha fornito indicazioni quantitative coerenti

(relativamente all'intensità di cattura) rispetto a quanto fornito dalle trappole tradizionali, le quali tutt'oggi rappresentano un metodo efficace e standardizzato per il monitoraggio delle popolazioni di insetti in tutto il mondo. Infatti, il sistema da remoto non ha la pretesa di andare a sostituire completamente le visite in campo degli operatori, né di affidare esclusivamente ad un computer il riconoscimento della specie monitorata, ma si propone come un metodo innovativo allo scopo di andare ad ottimizzare e facilitare le operazioni di monitoraggio. Le trappole a controllo remoto si propongono infatti come uno strumento che richiede una minore necessità della supervisione di un operatore rispetto alle trappole tradizionali. Quest'ultime sono strumenti relativamente semplici da gestire e hanno un costo molto contenuto. Tuttavia, richiedono periodiche visite in campo per l'osservazione e la registrazione delle catture, rendendo il monitoraggio un'attività ad elevata intensità di manodopera, dispendiosa in termini di tempo e denaro, in particolar modo negli ampi appezzamenti o in vigneti difficili da raggiungere. Di conseguenza, i trasporti per l'installazione, la manutenzione e l'intensa manodopera per il controllo periodico delle trappole da parte di personale qualificato rappresentano la maggior parte dei costi totali da affrontare nel monitoraggio tradizionale.

Questo sistema innovativo permette dunque di ridurre significativamente i costi del lavoro, risolvendo problemi logistici legati al monitoraggio tradizionale. Rimane tuttavia la necessità di avere personale competente che sia in grado di riconoscere dalle foto gli individui catturati appartenenti alla specie monitorata; il sistema testato in questa prova non è infatti in grado di riconoscere e discriminare tra le specie catturate appartenenti ad uno stesso ordine sistematico. Allo stesso modo delle trappole tradizionali, le trappole elettroniche richiedono periodica sostituzione dei fondi collati e degli erogatori del feromone.

Oltre al vantaggio di verificare da remoto la presenza delle catture, il monitoraggio visualizzabile in "real-time", mediante dati giornalieri, permette di ottenere dati di cattura continuativi durante l'intera stagione e, soprattutto, di posizionare con maggior precisione i trattamenti fitosanitari, rispetto al canonico controllo settimanale di campo.

Queste trappole consentono inoltre di fornire un valido supporto alle autorità territoriali al fine di una migliore accuratezza nella gestione dei modelli previsionali. La registrazione dei dati giornalieri a livello territoriale sarà utile al fine di futuri studi sulla dinamica di popolazione e per la costituzione di una rete di informazioni georeferenziate dell'andamento della popolazione in un determinato territorio; la prospettiva futura è infatti rappresentata da una possibile interconnessione delle trappole distribuite su più siti, allo scopo di creare una rete su scala locale o regionale, garantendo così informazioni in tempo reale circa l'andamento dell'infestazione nell'area considerata.

I dati di cattura, correlati ai dati climatici del territorio, forniranno un input più preciso per migliorare i modelli fenologici nei sistemi di supporto decisionale (DSS) alla gestione integrata (IMP) della tignoletta.

## BIBLIOGRAFIA

1. Agosta, S. J. (2006). On ecological fitting, plant–insect associations, herbivore host shifts, and host plant selection. *Oikos*, *114*(3), 556-565.
2. Alam, M., Alam, M. S., Roman, M., Tufail, M., Khan, M. U., & Khan, M. T. (2020). Real- Time Machine-Learning Based Crop/Weed Detection and Classification for Variable- Rate Spraying in Precision Agriculture. *7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ICEEE 2020*, 273–280.
3. Amo-Salas, M., Ortega-López, V., Harman, R., & Alonso-González, A. (2011). A new model for predicting the flight activity of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Crop Protection*, *30*(12), 1586-1593.
4. Anfora, G., Angeli, G., Baldessari, M., Ioriatti, C., Marchesini, E., Mattedi, L., Menke, F., Mescalchin, E., Schmidt, S., Tasin, M., Varner, M. (2007) *Le tignole della vite*. Serie “Agricoltura Integrata”. Istituto Agrario di San Michele all’Adige, S. Michele, 86
5. Anfora, G., Tasin, M., Bäckman, A. C., De Cristofaro, A., Witzgall, P., & Ioriatti, C. (2005). Attractiveness of year-old polyethylene Isonet sex pheromone dispensers for *Lobesia botrana*. *Entomologia experimentalis et applicata*, *117*(3), 201-207.
6. Arn, H., Rauscher, S., Guerin, P., and Buser, H. R. (1988). Sex pheromone blends of three tortricid pests in European vineyards. *Agriculture, ecosystems & environment*, *21*(1-2), 111-117.
7. Audemard, H. (1988). Confusion sexuelle avec des phéromones en Europe de l'ouest. *Agriculture, ecosystems & environment*, *21*(1-2), 101-110.
8. Backer, G. & Ruhling, W. (1991). Pflanzenschutz in Raumkulturen-Verringerung der Luft-und Bodenbelastung durch Mittelrecycling [Pest control in spatial crops-Reduction of air and soil contamination using recycling techniques]. *Landtechnik*, Issue 3, pp. 119-122.
9. Bagnoli, B. (1990). Incidenza delle infestazioni da artropodi e difesa dei vigneti in Toscana. *La Difesa Piante*, *13*(3-4), 89-112.



10. Bagnoli, B., & Lucchi, A. (2006). Parasitoids of *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) in Tuscany. *IOBC WPRS BULLETIN*, 29(11), 139.
11. Bagnoli, B., Lucchi, A., Loni, A., & Santini, L. (2002). Confusione sessuale contro *Lobesia botrana* in un'area viticola del Chianti. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 437-444.
12. Baker, T. C. (2010). Insect pheromones: useful lessons for crustacean pheromone programs? In: *Chemical communication in crustaceans* (Ed by Breithaupt T. and Thiel M.), pp. 531-550. Springer, New York, NY
13. Barbieri R., Cavallini G., Pollini A., (1996). Le tignole della vite: strategie ed esperienze di lotta. *L'informatore agrario* 14, 75-79.
14. Barbieri, R. (1987). Supervised control against vine moths. *Informatore Fitopatologico*, 37(7-8), 9-13.
15. Bernays, E., & Graham, M. (1988). On the evolution of host specificity in phytophagous arthropods. *Ecology*, 69(4), 886-892.
16. Bidochka, M. J., & Khachatourians, G. G. (1991). The implication of metabolic acids produced by *Beauveria bassiana* in pathogenesis of the migratory grasshopper, *Melanoplus sanguinipes*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 58(1), 106-117.
17. Bovey, P. (1966) Super-famille des Tortricoidea. *Entomologie Appliquée à l'Agriculture*, Vol. II. (ed. by A S Balachowsky), pp. 456–893. Masson, Paris.
18. Buonocore E., Tropea Garzia G., Colombo A., (2005). Comportamento della tignoletta in vigneti a uva da tavola. *L'informatore agrario*, 28, 63-67.
19. Buser, H. R., Rauscher, S., and Arn, H. (1974). Sex pheromone of *Lobesia botrana*:(E, Z)-7, 9-dodecadienyl acetate in the female grape vine moth. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 29(11-12), 781-783
20. Butenandt, A.; Beckmann, R.; Hecker, E. Über den sexuallockstoff des seidenspinners, I. Der biologische test und die isolierung des reinen sexuallockstoffes Bombykol. *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem.* 1961, 324, 71-83. DOI: 10.1515/bchm2.1961.324.1.71
21. Butt, T. M., Coates, C. J., Dubovskiy, I. M., and Ratcliffe, N. A. (2016). Entomopathogenic fungi: new insights into host–pathogen interactions. *Advances in genetics*, 94, 307-364.
22. Cai, J. C., Wang, X., Song, J., Wang, S. L., Yang, S., & Zhao, C. J. (2017). Development of real-time laser-scanning system to detect tree canopy characteristics

- for variable-rate pesticide application. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(6), 155–163.
23. Cardé, R. T. (1990). Principles of mating disruption. In: *Behavior-Modifying Chemicals for Insects Management: Applications of Pheromones and Other Attractants Principles of mating disruption* (Ed. by R. L. Ridgway and R. M. Silverstein), pp. 47-71. Marcel Dekker, New York.
  24. Cardé, R. T. (2007). Using pheromones to disrupt mating of moth pests. In: *Perspectives in ecological theory and integrated pest management* (Ed. by Kogan, M. and Jepson, P.), pp. 122-169. Cambridge University Press, Cambridge.
  25. Cardé, R. T., and Haynes, K. F. (2004). Structure of the pheromone communication channel in moths. In: *Advances in Insect Chemical Ecology* (Ed by: R. T. Cardé and J. G. Millar) pp. 283–332. Cambridge University Press, Cambridge.
  26. Castagnola, A. S., & Jurat-Fuentes, J. L. (2012). Bt crops: past and future. *Bacillus thuringiensis biotechnology*, 283-304.
  27. Castaneda-Samayoa, O., Holst, H., and Ohnesorge, B. (1993). Evaluation of some Trichogramma species with respect to biological control of *Eupoecilia ambiguella* Hb. and *Lobesia botrana* Schiff. (Lep., Tortricidae) /Evaluierung einiger Trichogramma-arten hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit zur biologischen Bekämpfung von *Eupoecilia ambiguella* Hb. und *Lobesia botrana* Schiff. (Lep., Tortricidae). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection*, 599- 610.
  28. Charmillot, P. J., Degen, T., Pasquier, D., & Briand, F. (2005). New pheromone-based methods for grape moth control. Preliminary trials in 2004. *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture (Switzerland)*.
  29. Colombera, S., Alma, A., and Arzone, A. (2001). Comparison between the parasitoids of *Lobesia botrana* and *Eupoecilia ambiguella* in conventional and integrated vineyards. *IOBC WPRS bulletin*, 24(7), 91-96.
  30. Coscollà R. (1981). Some thoughts on the population dynamics of *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) in the grape growing regions of Valencia. *Boletín-Servicio de Defensa contra Plagas e Inspeccion Fitopatologica*.
  31. Coscollá, R. (1997). La polilla del racimo de la vid (*Lobesia botrana* Den. & Schiff.). *Generalitat Valenciana*. Valencia, Spain.

32. Coscollá, R., Sánchez, J., and Beltrán, V. (1986). Estudio preliminar sobre mortalidad de huevos de *Lobesia botrana* Den. y Schiff. por efecto de altas temperaturas y bajas humedades relativas en laboratorio. *Bol. San. Veg. Plagas*, 12, 3-7.
33. Cozzi, G., Pascale, M., Perrone, G., Visconti, A., & Logrieco, A. (2006). Effect of *Lobesia botrana* damages on black aspergilli rot and ochratoxin A content in grapes. *International Journal of Food Microbiology*, 111, 88-92
34. Cozzi, G., Somma, S., Haidukowski, M., & Logrieco, A. F. (2013). Ochratoxin A management in vineyards by *Lobesia botrana* biocontrol. *Toxins*, 5(1), 49-59.
35. Csiro, R. B. (1982). Mechanisms of communication disruption by pheromone in the control of Lepidoptera: a review. *Physiological Entomology*, 7(4), 353-364.
36. Cuni, M. (1874). *Catálogo metódico y razonado de los lepidópteros que se encuentran en los alrededores de Barcelona, de los pueblos cercanos y otros lugares de Cataluña*. T. Gorchs.
37. Dalla Montà, L., Marchesini, E., & Pavan, F. (2007). Relazione fra tignole della vite e attacchi di *Botrytis cinerea*. *Informatore Fitopatologico*, 57(4), 28–35.
38. Delrio, G., Luciano, P., and Prota, R. (2021). Researches on grape-vine moths in Sardinia. In: *Integrated pest control in viticulture* (Ed by R. Cavalloro), pp. 57-67. CRC Press.
39. Doruchowski, G., & Holownicki, R. (2000). Environmentally friendly spray techniques for tree crops. *Crop Protection*, 19(8-10), 617-622
40. El-Sayed, A., Gödde, J., Witzgall, P., and Arn, H. (1999). Characterization of pheromone blend for grapevine moth, *Lobesia botrana* by using flight track recording. *Journal of Chemical Ecology*, 25(2), 389-400.
41. El-Wakeil N.E., Farghaly H.T., Ragab Z.A. (2008) - Efficacy of inundative releases of *Trichogramma evanescens* in controlling *Lobesia botrana* in vineyards in Egypt. *Journal of Pest Science*, 81, 49-55.
42. Ennouri, K., Triki, M. A., & Kallel, A. (2020). Applications of remote sensing in pest monitoring and crop management. In: *Bioeconomy for sustainable development* (Ed by C Keswani), pp. 65-77. Springer, Singapore.
43. Fermaud, M. (1998). Cultivar susceptibility of grape berry clusters to larvae of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 91(4), 974-980.
44. Fermaud, M., & Le Menn, R. (1989). Association of *Botrytis cinerea* with grape berry moth larvae. *Phytopathology*, 79, 651–656.

45. Fermaud, M., & Le Menn, R. (1992). Transmission of *Botrytis cinerea* to grapes by grape berry moth larvae. *Phytopathology*, 82, 1393–1398.
46. Fox, R. D., Derksen, R. C., Zhu, H., Brazee, R. D., & Svensson, S. A. (2008). A history of air-blast sprayer development and prospects. *Transactions of the ASABE*, 51(2), 405-410.
47. Franco, J. C., Da Silva, E. B., Fortuna, T., Cortegano, E., Branco, M., Suma, P., La Torre, I., Russo, A., Elyahu, M., Protasov, A., Levi-Zada, A., and Mendel, Z. (2011). Vine mealybug sex pheromone increases citrus mealybug parasitism by *Anagyrus sp. near pseudococci* (Girault). *Biological Control*, 58(3), 230-238.
48. Gabel, B., & Thiéry, D. (1996). Oviposition response of *Lobesia botrana* females to long-chain free fatty acids and esters from its eggs. *Journal of chemical Ecology*, 22(1), 161-171.
49. Gabel, B., Thiéry, D., Suchy, V., Marion-Poll, F., Hradsky, P., and Farkas, P. (1992). Floral volatiles of *Tanacetum vulgare* L. attractive to *Lobesia botrana* (Den. et Schiff.) females. *Journal of Chemical Ecology*, 18(5), 693-701
50. Gallardo, A., Ocete, R., Lopez, M. A., Maistrello, L., Ortega, F., Semedo, A., & Soria, F. J. (2009). Forecasting the flight activity of *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera, Tortricidae) in southwestern Spain. *Journal of Applied Entomology*, 133(8), 626-632.
51. Gil, Y., Sinfort, C., Brunet, Y., Polveche, V., & Bonicelli, B. (2007). Atmospheric loss of pesticides above an artificial vineyard during air-assisted spraying. *Atmospheric Environment*, 41(14), 2945-2957.
52. Goldshtein, E., Cohen, Y., Hetzroni, A., Gazit, Y., Timar, D., Rosenfeld, L. & Mizrach, A. (2017). Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) to optimize control applications frequency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 115-125.
53. Grella, M., Gallart, M., Marucco, P., Balsari, P., & Gil, E. (2017). Ground deposition and airborne spray drift assessment in vineyard and orchard: The influence of environmental variables and sprayer settings. *Sustainability*, 9(5), 728.
54. Hommay, G., Gertz, C., Kienlen, J. C., Pizzol, J., & Chavigny, P. (2002). Comparison between the control efficacy of *Trichogramma evanescens* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and two *Trichogramma cacoeciae* Marchal strains against grapevine moth (*Lobesia botrana* Den. & Schiff.), depending on their release density. *Biocontrol Science and Technology*, 12(5), 569-581.

55. Hurtrel, B., & Thiery, D. (1999). Modulation of flight activity in *Lobesia botrana* Den. & Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae) females studied in a wind tunnel. *Journal of insect behavior*, 12(2), 199-211.
56. Ifoulis, A. A., & Savopoulou-Soultani, M. (2004). Biological control of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) larvae by using different formulations of *Bacillus thuringiensis* in 11 vine cultivars under field conditions. *Journal of economic entomology*, 97(2), 340-343.
57. Ioriatti, C., Anfora, G., Tasin, M., De Cristofaro, A., Witzgall, P., e Lucchi, A. (2011). Chemical ecology and management of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of economic entomology*, 104(4), 1125-1137.
58. Ioriatti, C., Bagnoli, B., Lucchi, A., and Veronelli V. (2004). Il controllo delle tarme della vite attraverso la rottura dell'accoppiamento in Italia: risultati e prospettive future. *Redia*. 87, 117-128.
59. Ioriatti, C., Lucchi, A., and Bagnoli, B. (2008). Grape areawide pest management in Italy. In: *Areawide pest management Theory and Implementation* (Ed By: O. Koul, G. Cuperus, and N. Elliott) pp. 208-225.
60. Jaronski, S. T. (2007). Soil ecology of the entomopathogenic ascomycetes: a critical examination of what we (think) we know. *Use of entomopathogenic fungi in biological pest management*, 91-143.
61. Jermy, T. (1984). Evolution of insect/host plant relationships. *The American Naturalist*, 124(5), 609-630.
62. Khot, L. R., Ehsani, R., Albrigo, G., Landers, A. J., & Larbi, P. A. (2012). Spray pattern investigation of an axial-fan airblast precision sprayer using a modified vertical patternator. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(5), 647-654.
63. Kiaeian Moosavi, F., Cargnus, E., Pavan, F., & Zandigiacomo, P. (2017). Mortality of eggs and newly hatched larvae of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) exposed to high temperatures in the laboratory. *Environmental Entomology*, 46(3), 700-707.
64. Kiaeian Moosavi, F., Cargnus, E., Pavan, F., & Zandigiacomo, P. (2018). Effects of grapevine bunch exposure to sunlight on berry surface temperature and *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) egg laying, hatching and larval settlement. *Agricultural and Forest Entomology*, 20(3), 420-432.
65. Krywienczyk, J., & Dorworth, C. E. (1980). Serological relationships of some fungi of the genus *Pythium*. *Canadian Journal of Botany*, 58(12), 1412-1417.

66. Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: back to the future. *Journal of invertebrate pathology*, *132*, 1-41.
67. Linn Jr, C. E., & Roelofs, W. L. (1989). Response specificity of male moths to multicomponent pheromones. *Chemical Senses*, *14*(3), 421-437.
68. Linn, C. E., Campbell, M. G., and Roelofs, W. L. (1988). Temperature modulation of behavioural thresholds controlling male moth sex pheromone response specificity. *Physiological entomology*, *13*(1), 59-67.
69. Liu, Y. B., and Haynes, K. F. (1993). Impact of (Z)-7-dodecenol and turbulence on pheromone-mediated flight manoeuvres of male *Trichoplusia ni*. *Physiological entomology*, *18*(4), 363-371
70. López, O., Rach, M. M., Migallon, H., Malumbres, M. P., Bonastre, A., & Serrano, J. J. (2012). Monitoring pest insect traps by means of low-power image sensor technologies. *Sensors*, *12*(11), 15801-15819.
71. Lucchi, A., e Santini, L. (2011). Life history of *Lobesia botrana* on *Daphne gnidium* in a Natural Park of Tuscany. *IOBCWPRS Bulletin*, *67*, 197-202.
72. Lucchi, A., Sambado, P., Juan Royo, A. B., Bagnoli, B., & Benelli, G. (2018). *Lobesia botrana* males mainly fly at dusk: video camera-assisted pheromone traps and implications for mating disruption. *Journal of Pest Science*, *91*, 1327-1334.
73. Lucchi, A., Scaramozzino, P. L., Michl, G., Loni, A., and Hoffmann, C. (2016). The first record in Italy of *Trichogramma cordubense* Vargas & Cabello 1985 (Hymenoptera Trichogrammatidae) emerging from the eggs of *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera Tortricidae). *Vitis*. *55*, 161–164.
74. Maher, N. (2002). Sélection du site de ponte chez *Lobesia botrana* (Lepidoptera, Tortricidae): *influence de l'information chimique non-volatile présente sur les fruits de plantes hôtes* (Doctoral dissertation, Bordeaux 2).
75. Maher, N., and Thiéry, D. (2004). A bioassay to evaluate the activity of chemical stimuli from grape berries on the oviposition of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*, *94*(1), 27-33.
76. Maher, N., and Thiéry, D. (2006). *Daphne gnidium*, a possible native host plant of the European grapevine moth *Lobesia botrana*, stimulates its oviposition. Is a host shift relevant? *Chemoecology*, *16*(3), 135-144.
77. Maher, N., Jolivet, M., & Thiéry, D. (2001). Préférence de ponte de l'eudémis, *Lobesia botrana* (Lépidoptère, Tortricidae) entre différents cépages de vigne:

- influence de l'information chimique à la surface des baies. *IOBC/wprs bulletin*, 24(7), 103-108.
78. Maison, P. & Pargade, P. (1967) - Le piégeage sexuel de l'eudemis au service de l'avertissement agricole. *Phytoma*, 19(190), 9-13.
79. Marchal, P. (1912). Rapports sur les travaux accomplis par la mission d'étude de la cochylis et de l'eudémis pendant l'année 1911. Edition Ch. Beranger, *Librairie Polytechnique*, 326.
80. Marchesini, E., and Montà, L. D. (2004). Nel Veneto quattro generazioni di tignoletta della vite. *Informatore Agrario*, 60(4), 75-78.
81. Masante-Roca, I., Anton, S., Delbac, L., Dufour, M. C., & Gadenne, C. (2007). Attraction of grapevine moth to host and non-host plant parts in the wind tunnel: effects of plant phenology, sex, and mating status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 122, 239–245
82. Mercader, R. J., & Scriber, J. M. (2005). Phenotypic Plasticity of Host Selection in Adult Tiger Swallowtail Butterflies, *Papilio glaucus* L. (*Lepidoptera: Papilionidae*). In: *Insect Phenotypic Plasticity* (Ed by D. Whitman), pp. 33-66. CRC Press.
83. Meyling, N. V., & Eilenberg, J. (2007). Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: potential for conservation biological control. *Biological control*, 43(2), 145-155.
84. Milliére, P. (1875). Catalogue raisonné des Lépidoptères [du Département] des Alpes-Maritimes [III]. *Mém Soc Sci Nat Hist Lett Beaux-Arts Cannes Arrondissement Grasse*, 5, 51-216.
85. Moleas, T. (1984). Biologia ed etologia della *Lobesia botrana* in Puglia. In: *Atti del 3° Incontro sulla Difesa Integrata della Vite* (pp. 91–97). Rome, Italy: Regione Lazio Edizioni.
86. Mondy, N., & Corio-Costet, M. F. (2000). The response of the grape berry moth (*Lobesia botrana*) to a dietary phytopathogenic fungus (*Botrytis cinerea*): the significance of fungus sterols. *Journal of Insect Physiology*, 46(12), 1557-1564.
87. Mondy, N., & Corio-Costet, M. F. (2004). Feeding insects with a phytopathogenic fungus influences their diapause and population dynamics. *Ecological Entomology*, 29(6), 711-717.
88. Mondy, N., Charrier, B., Fermaud, M., Pracros, P., & Corio-Costet, M. F. (1998). Mutualism between a phytopathogenic fungus (*Botrytis cinerea*) and a vineyard pest (*Lobesia botrana*). Positive effects on insect development and oviposition

- behaviour. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 321(8), 665-671.
89. Moravie, M. A., Davison, A. C., Pasquier, D., & Charmillot, P. J. (2006). Bayesian forecasting of grape moth emergence. *Ecological Modelling*, 197(3-4), 478-489.
  90. Muccinelli, M. (2011). *Prontuario degli agrofarmaci*. Il sole 24 ore Edagricole.
  91. Nagarkatti, S., Muza, A. J., Saunders, M. C., & Tobin, P. C. (2002). Role of the egg parasitoid *Trichogramma minutum* in biological control of the grape berry moth, *Endopiza viteana*. *BioControl*, 47(4), 373-385.
  92. Neumann, U., & Cravedi, P. (1989). Applicazioni feromoniche con il metodo della confusione. *Notiziario sulle malattie delle piante*, (110), 104-122.
  93. Palaniswamy, P., Underhill, E. W., Steck, W. F., & Chisholm, M. D. (1983). Responses of Male Redbacked Cutworm, *Euxoa ochrogaster* (Lepidoptera: Noctuidae), to Sex Pheromone Components in a Flight Tunnell. *Environmental Entomology*, 12(3), 748-752
  94. Pavan, F., Bigot, G., Cargnus, E., and Zandigiaco, P. (2014). Influence of the carpophagous generations of the European grapevine moth *Lobesia botrana* on grape bunch rots. *Phytoparasitica*, 42(1), 61-69.
  95. Pavan, F., Cargnus, E., Kiaeianmoosavi, S., Bigot, G., Tacoli, F., and Zandigiaco, P. (2016). Bunch-zone leaf removal of grapevines to prevent damage by *Lobesia botrana* and grey mould. *Bulletin of Insectology* 69(1), 107-115.
  96. Pavan, F., Girolami, V., Cecchini, A., & Turbian, E. (1993). Evoluzione dei danni delle tignole della vite, *Lobesia botrana* (Den. e Schiff.) ed *Eupoecilia ambiguella* (Hb.), nell'Italia nord-orientale e lotta insetticida. *Redia*, 76, 417-431.
  97. Pavan, F., Sacilotto, G., & Girolami, V. (1987). Damage evolution, larval sampling and treatment period for grape moths. In: *Integrated pest control in viticulture* (Ed by R. Cavalloro), pp. 39-49. Rotterdam, the Netherlands: Balkema
  98. Pavan, F., Zandigiaco, P., e Dalla Monta, L. (2006). Influence of the grape-growing area on the phenology of *Lobesia botrana* second generation. *Bulletin of Insectology*, 59(2), 105.
  99. Pergher, G., Gubiani, R., Cividino, S. R., Dell'Antonia, D., & Lagazio, C. (2013). Assessment of spray deposition and recycling rate in the vineyard from a new type of air-assisted tunnel sprayer. *Crop Protection*, 45, 6-14.



100. Preti, M., Moretti, C., Scarton, G., Giannotta, G., & Angeli, S. (2021). Developing a smart trap prototype equipped with camera for tortricid pests remote monitoring. *Bulletin of insectology*, 74(1), 147-160.
101. Priya, C. T., Praveen, K., & Srividya, A. (2013). Monitoring of pest insect traps using image sensors & dspic. *Int. J. Eng. Trends Tech*, 4(9), 4088-4093.
102. Quartey, G. K., & Coaker, T. H. (1993). Role of sex pheromone components in the orientation behaviour of *Ephestia cautella*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 66(3), 237-245.
103. Quesada-Moraga, E., Navas-Cortés, J. A., Maranhao, E. A., Ortiz-Urquiza, A., & Santiago-Álvarez, C. (2007). Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological research*, 111(8), 947-966.
104. Ragusa, E., Gennuso, E., Lombardo, A., and Tsolakis, H. (2011). Influenza dell'altitudine e di due tecniche agronomiche sull'infestazione e i danni indiretti causati da *Lobesia botrana* (Denis et Schiffermüller) (Lepidoptera, tortricidae). In: *Progetto per lo sviluppo dell'agricoltura biologica in Sicilia* (Ed by R. Siciliana), pp. 129-146. Qanat Edizioni.
105. Rapagnani, M. R., Caffarelli, V., & Barlattani, M. (1988, June). *Lobesia botrana* Schiff.: studio in laboratorio del ciclo di sviluppo in funzione della temperatura. In *Proceedings, Atti del XV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia* (pp. 13-17).
106. Raphael, M. M., & Maheswari, R. (2016). Automatic monitoring of pest trap. *Int. J. Adv. Res. Elec., Electr. Instr. Eng*, 5(4), 2470-2473.
107. Rauscher, S., & Arn, H. (1979). Mating suppression in tethered females of *eupoecilia ambiguella* by evaporation of (z)-9-dodecenyl acetate in the field. *Entomologia experimentalis et applicata*, 25(1), 16-20.
108. Rial Otero, R., Cancho Grande, B., Arias Estévez, M., López Periago, E., & Simal Gándara, J. (2003). Procedure for the measurement of soil inputs of plant-protection agents washed off through vineyard canopy by rainfall. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(17), 5041-5046.
109. Roehrich R., and Carles JP. (1977). Essai préliminaire de protection du vignoble contre *Lobesia botrana* Schiff. Au moyen de la pheromone sexuelle de synthese (methode de confusion). *Revue suisse de zoologie*, 1, 25-36

110. Roehrich R., Darrioumerle Y, Pargade P, Lalanne Cassou B (1976) Essai en vignoble de phéromones de synthèse pour la capture des mâles de l'Eudémis (*Lobesia botrana* Schiff.). *Ann Zool Écol Anim* 8, 473–480.
111. Roelofs, W. L., and Wolf, W. A. (1988). Pheromone biosynthesis in Lepidoptera. *Journal of chemical ecology*, 14(11), 2019-2031.
112. Roelofs, W. L., Kochansky, J., Carde, R. T., Arn, H., and Rauscher, S. (1973). Sex attractant of the grapevine moth. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 46, 71-73.
113. Sanders, C. (1997). Mechanisms of mating disruption in moths. In: *Insect pheromone research* (Ed by RT Cardé), pp. 333-346. Springer, Boston, MA.
114. Sauer, A. E., & Karg, G. (1998). Variables affecting pheromone concentration in vineyards treated for mating disruption of grape vine moth *Lobesia botrana*. *Journal of Chemical Ecology*, 24(2), 289-302.
115. Savopoulou-Soultani, M., and Tzanakakis, M. E. (1988). Development of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) on grapes and apples infected with the fungus *Botrytis cinerea*. *Environmental Entomology*, 17, 1–6.
116. Savopoulou-Soultani, M., Angelakis, E., Hatzissiliadis, A., Tzanakakis, M. E., and Stavridis, D. G. (1989). Captures of *Lobesia botrana* in traps and their relation to crop damage. In: *International symposium on plant-protection problems and prospects of integrated control in viticulture, proceedings 1989* (pp. 47-56). ref :11 ref
117. Savopoulou-Soultani, M., Stavridis, D. G., e Tzanakakis, M. E. (1990). Development and reproduction of *Lobesia botrana* on vine and olive inflorescences. *Entomologia Hellenica*, 8, 29-35.
118. Scaramozzino, P. L., Loni, A., and Lucchi, A. (2017). A review of insect parasitoids associated with *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) in Italy. 1. Diptera Tachinidae and Hymenoptera Braconidae (Lepidoptera, Tortricidae). *ZooKeys*, (647), 67.
119. Schmid, A., Antonin, P., Guignard, E., Caccia, R., & Raymond, J. C. (1977). *Bacillus thuringiensis* in the control of the grape moths, *Lobesia botrana* and *Clysia ambiguella*, in Romansh Switzerland. *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture*.
120. Schmitz, V., Renou, M., Roehrich, R., Stockel, J., & Lecharpentier, P. (1997). Disruption mechanisms of pheromone communication in the European grape moth *Lobesia botrana* Den & Schiff. III. Sensory adaptation and habituation. *Journal of Chemical Ecology*, 23(1), 83-95.

121. Sciarretta, A., Zinni, A., Mazzocchetti, A., & Trematerra, P. (2008). Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) male population in a Mediterranean agricultural landscape in central Italy. *Environmental Entomology*, 37(2), 382-390.
122. Shahini, S., Kullaj, E., Cakalli, A., Cakalli, M., Lazarevska, S., Pfeiffer, D. G., and Gumeni, F. (2010). Population dynamics and biological control of European grapevine moth (*Lobesia botrana*: Lepidoptera: Tortricidae) in Albania using different strains of *Bacillus thuringiensis*. *International Journal of Pest Management*, 56(3), 281-286.
123. Sharda, A., Fulton, J. P., McDonald, T. P., & Brodbeck, C. J. (2011). Real-time nozzle flow uniformity when using automatic section control on agricultural sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79(2), 169–179.
124. Shellie, K., & Glenn, D. M. (2008). Wine grape response to foliar particle film under differing levels of preveraison water stress. *HortScience*, 43(5), 1392-1397.
125. Siegfried, W., & Holliger, E. (1996). Application technology in fruit-growing and viticulture. *Report, Swiss Federal Research Station, Wädenswil, Switzerland*.
126. Silva-Moreno, E., and Tapia, E. (2020). Plaguicidas microbianos para el manejo integrado de *Lobesia botrana* en vides. *Boletín INIA*, 419.
127. Stavridis, D. G., and Savopoulou-Soultani, M. (1998). Larval performance on and oviposition preference for known and potential hosts by *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *European Journal of Entomology*, 95(1), 55-63.
128. Tamaki, Y., (1985). Sex Pheromones. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology* (Ed by Kerkut, G.A., Gilbert, L.I.) vol. 9, pp. 145-191. Pergamon Press, Oxford.
129. Tasin, M., Bäckman, A. C., Anfora, G., Carlin, S., Ioriatti, C., & Witzgall, P. (2010). Attraction of female grapevine moth to common and specific olfactory cues from 2 host plants. *Chemical Senses*, 35(1), 57-64.
130. Tasin, M., Betta, E., Carlin, S., Gasperi, F., Mattivi, F., & Pertot, I. (2011). Volatiles that encode host-plant quality in the grapevine moth. *Phytochemistry*, 72, 1999–2005.
131. Tasin, M., Knudsen, G. K., & Pertot, I. (2012). Smelling a diseased host: grapevine moth responses to healthy and fungus-infected grapes. *Animal Behaviour*, 83, 555–562.
132. Thiéry, D. (2005). Vers de la grappe. Les connaître pour s'en protéger. *Vigne & Vin*, Bordeaux, France.
133. Thiéry, D., & Gabel, B. (2000). Comportement de ponte des femelles le l'eudémis de la vigne en présence d'extraits de fleurs de 'Muller Thurgau'. Oviposition behaviour

- of the European grapevine moth in response to extracts of muller thurgau flowering stages. *IOBC/wprs Bulletin*, 24(4), 135-138.
134. Thiéry, D., and Moreau, J. (2005). Relative performance of European grapevine moth (*Lobesia botrana*) on grapes and other hosts. *Oecologia*, 143, 548–557
135. Thiéry, D., and Xuéreb, A. (2004). Vers une lutte biologique contre Eudémis (*Lobesia botrana*). *Proceedings Mondiaviti*, 47-52.
136. Thiéry, D., Rétaud, P., Dumas-Lattaque, L., Féru, R., Xuéreb, A., & Bourriau, F. (2006). Trapping *Lobesia botrana* females with apple juice: a valuable tool to predict oviposition?. *IOBC WPRS BULLETIN*, 29(11), 235
137. Thompson, S. R., Brandenburg, R. L., & Arends, J. J. (2006). Impact of moisture and UV degradation on *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin conidial viability in turfgrass. *Biological Control*, 39(3), 401-407.
138. Tillman, J. A., Seybold, S. J., Jurenka, R. A., & Blomquist, G. J. (1999). Insect pheromones an overview of biosynthesis and endocrine regulation. *Insect biochemistry and molecular biology*, 29(6), 481-514.
139. Torres-Vila, L. M., Cruces-Caldera, E., Rodríguez-Molina, M. C., & Cauterruccio, L. (2012). Host plant selects for egg size in the moth *Lobesia botrana*: integrating reproductive and ecological trade-offs is not a simple matter. *Moths: Types, Ecological Significance and Control Methods*; Cauterruccio, L., Ed, 145-167.
140. Tremblay, E. (1993). *Entomologia applicata - Volume secondo, parte seconda – Liguori editore* (pp.187-192)
141. Upadhyay, A. J., & Ingole, P. V. (2014). Automatic monitoring of pest insects traps using image processing. *Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(8), 5779-5783.
142. Valli. G. (1978). Lotta integrata nei vigneti. Ricerche e valutazioni preliminari sulle Tignole. *Notiziario sulle Malattie delle Piante* 92(93) 407- 419.
143. Van Lenteren, J. C., Bale, J., Bigler, F., Hokkanen, H. M. T., & Loomans, A. J. M. (2006). Assessing risks of releasing exotic biological control agents of arthropod pests. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 609-634.
144. Varela, L. G., Smith, R. J., Cooper, M. L., & Hoenisch, R. W. (2010). European grapevine moth, *Lobesia botrana*. *Napa Valley vineyards. Pract. Winery Vineyard*, 2010, 1-5.
145. Vartholomaiou, A. N., E. I. Navrozidis, C. C. Payne, and G. A. Salpiggidis. (2008). Agronomic techniques to control *Lobesia botrana*. *Phytoparasitica* 36 (3), 264-271.

146. Vassiliou, V. A. (2011). Effectiveness of insecticides in controlling the first and second generations of the *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in table grapes. *Journal of economic entomology*, 104(2), 580-585.
147. Venette, R. C., Davis, E. E., DaCosta, M., Heisler, H., and Larson, M. (2003). Mini Risk Assessment Grape berry moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermuller) [Lepidoptera: Tortricidae]. USDA CAPS PRA, Department of Entomology, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, USA
148. Villani, A., Stefanelli, G., & Pavan, F. (1997). Influenza della potatura verde sulla seconda generazione delle tignole dell'uva. *Notiziario ERSA*, 10(4), 12-15.
149. Vita, G., Caffarelli, V., & Pettenello, M. (1985). Esperienze di lotta integrata in un comprensorio viticolo del Lazio. In: *Proceedings of the XIV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia* (pp. 891-895).
150. Vitta N. (2020). Control biológico sobre *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller). *Plaguicidas microbianos para el manejo integrado de Lobesia botrana en vides. Boletín INIA*, (419), 21-33.
151. West, S. A., & Cunningham, J. P. (2002). A general model for host plant selection in phytophagous insects. *Journal of theoretical Biology*, 214(3), 499-513.
152. Willis, M. A., & Baker, T. C. (1987). Comparison of manoeuvres used by walking versus flying *Grapholita molesta* males during pheromone-mediated upwind movement. *Journal of Insect Physiology*, 33(11), 875-883.
153. Willis, M. A., & Baker, T. C. (1988). Effects of varying sex pheromone component ratios on the zigzagging flight movements of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. *Journal of Insect Behavior*, 1, 357-371
154. Witzgall, P., and Arn, H. (1990). Direct measurement of the flight behavior of male moths to calling females and synthetic sex pheromones. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 45(9-10), 1067-1069.
155. Wyatt, T. D. (1997). Putting pheromones to work: paths forward for direct control. In: *Insect pheromone research* (Ed by RT Cardé), pp. 445-459. Springer, Boston, MA.
156. Xuéreb, A., & Thiéry, D. (2006). Does natural larval parasitism of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) vary between years, generation, density of the host and vine cultivar?. *Bulletin of Entomological Research*, 96(2), 105-110.
157. Zangheri S., & Dalla Monta L., (1989). Observations sur la biologie des vers de la grappe dans l'Italie septentrionale et en Toscane, pp. 11-23. In: *Proceedings of a Meeting of the EC Experts' Group "Influence of environmental factors on the control*

*of grape pests, diseases & weeds* (Ed by Cavalloro, R. ), pp. 11-23; ref : 6 ref. CRC Press

158. Zangheri, S., Dalla Montà, L. and Duso, C. (1987) Observations on biology and control of grape moths in Venetia. In: *Integrated pest control in viticulture*. (Ed by R. Cavalloro) 11:408. CRC Press.