



*Università del Piemonte Orientale*  
*“Amedeo Avogadro”*  
*Dipartimento di Scienze e*  
*Innovazione Tecnologica*

***Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali***  
***(Acque Interne e Agroecosistemi)***  
***- XXVIII ciclo -***

***Tesi finale***

***“MODELLI DI RILASCIO E DISPERSIONE DI***  
***FEROMONI PER LA LOTTA AGLI INSETTI***  
***NOCIVI NEI VIGNETI E NEI FRUTTETI”***

***Responsabile Scientifico:***

***Prof. Paolo Trivero***

***Dottorando:***

***Dott. Marco Cavagnero***

***Anno accademico 2014/2015***

# ***Indice***

---

<b>Indice</b> .....	2
<b>Introduzione</b> .....	7
<b>Capitolo 1. La confusione sessuale: stato dell’arte</b> .....	11
<b>1.1 Nascita della confusione sessuale</b> .....	12
<b>1.2 Diffusione della confusione sessuale</b> .....	13
<b>1.3 Meccanismi molecolari nella comunicazione a feromoni</b> .....	16
<b>1.4 Metodologie della confusione sessuale</b> .....	19
<b>1.5 Vantaggi della confusione sessuale</b> .....	22
<b>1.6 I diffusori di feromone</b> .....	22
<b>1.7 Concentrazione del feromone in campo</b> .....	29
<b>1.8 Monitoraggio dell’efficacia del metodo di lotta</b> .....	31
<b>1.9 Modelli previsionali di sviluppo fenologico</b> .....	33
<b>Capitolo 2. I principali insetti bersaglio</b> .....	37
<b>Le tignole della vite: <i>Lobesia botrana</i> e <i>Eupoecilia ambiguella</i></b> .....	38
<b>La tignoletta della vite: <i>Lobesia botrana</i></b> .....	38
<b>2.1 Descrizione dell’insetto</b> .....	38
<b>2.2 Distribuzione</b> .....	40
<b>2.3 Piante ospiti</b> .....	41
<b>2.4 Ciclo biologico</b> .....	42
<b>2.4.1 Primo volo</b> .....	43
<b>2.4.2 Secondo volo</b> .....	44
<b>2.4.3 Terzo volo</b> .....	44
<b>2.4.4 Quarto volo</b> .....	44
<b>La tignola della vite: <i>Eupoecilia ambiguella</i></b> .....	46
<b>2.5 Descrizione dell’insetto</b> .....	46
<b>2.6 Distribuzione</b> .....	48

---

---

<b>2.7</b>	<b>Piante ospiti</b> .....	<b>48</b>
<b>2.8</b>	<b>Ciclo biologico</b> .....	<b>48</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Primo volo</b> .....	<b>48</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Secondo volo</b> .....	<b>49</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Terzo volo</b> .....	<b>49</b>
<b>2.9</b>	<b>Feromoni sessuali</b> .....	<b>49</b>
<b>2.10</b>	<b>Dinamica di popolazione</b> .....	<b>50</b>
<b>2.10.1</b>	<b>Azione dei fattori abiotici</b> .....	<b>50</b>
<b>2.10.2</b>	<b>Azione dei fattori biotici</b> .....	<b>52</b>
<b>2.11</b>	<b>Danni alle colture</b> .....	<b>52</b>
<b>2.12</b>	<b>Metodi di lotta</b> .....	<b>55</b>
	<b>La tignola orientale del pesco: <i>Cydia molesta</i></b> .....	<b>57</b>
<b>2.13</b>	<b>Descrizione dell’insetto</b> .....	<b>57</b>
<b>2.14</b>	<b>Distribuzione</b> .....	<b>59</b>
<b>2.15</b>	<b>Piante ospiti</b> .....	<b>59</b>
<b>2.16</b>	<b>Ciclo biologico</b> .....	<b>59</b>
<b>2.17</b>	<b>Danni alle colture</b> .....	<b>60</b>
<b>2.18</b>	<b>Metodi di lotta</b> .....	<b>62</b>
	<b>La carpocapsa del melo: <i>Cydia pomonella</i></b> .....	<b>64</b>
<b>2.19</b>	<b>Descrizione dell’insetto</b> .....	<b>64</b>
<b>2.20</b>	<b>Distribuzione</b> .....	<b>66</b>
<b>2.21</b>	<b>Piante ospiti</b> .....	<b>66</b>
<b>2.22</b>	<b>Ciclo biologico</b> .....	<b>66</b>
<b>2.23</b>	<b>Danni alle colture</b> .....	<b>67</b>
<b>2.24</b>	<b>Metodi di lotta</b> .....	<b>69</b>
	<b>Capitolo 3. Analisi del rilascio dei diffusori</b> .....	<b>71</b>
<b>3.1</b>	<b>Studio del rilascio in condizioni paragonabili a quelle di campo</b> .....	<b>73</b>

---



---

<b>3.1.1</b>	<b>Diffusori esposti alla radiazione solare diretta e diffusori in ombra</b> .....	79
<b>3.1.2</b>	<b>Diffusori esposti a differenti condizioni di ventilazione forzata</b> .....	82
<b>3.1.3</b>	<b>Diffusori scarichi o “di controllo”</b> .....	84
<b>3.1.4</b>	<b>Analisi dei dati meteorologici</b> .....	85
<b>3.1.5</b>	<b>Confronto con i dati di rilascio raccolti in altre località</b> .....	87
<b>3.2</b>	<b>Studio del rilascio in condizioni di campo</b> .....	89
<b>3.2.1</b>	<b>Confronto con i dati di rilascio raccolti in altre località</b> .....	93
<b>3.2.2</b>	<b>Osservazione dei diffusori di feromone in termografia IR</b> .....	95
<b>3.3</b>	<b>Analisi dei fattori che regolano il rilascio di feromone</b> .....	96
<b>3.3.1</b>	<b>Temperatura dell’aria</b> .....	99
<b>3.3.2</b>	<b>Velocità del vento</b> .....	100
<b>3.3.3</b>	<b>Radiazione solare</b> .....	101
<b>3.4</b>	<b>Descrizione delle modalità con cui avviene il rilascio</b> .....	101
<b>3.4.1</b>	<b>Fase I</b> .....	102
<b>3.4.2</b>	<b>Fase II</b> .....	102
<b>3.4.3</b>	<b>Fase III</b> .....	103
<b>3.4.4</b>	<b>Fase IV</b> .....	104
<b>3.5</b>	<b>Studio del rilascio in condizioni limite</b> .....	105
<b>3.5.1</b>	<b>Analisi del rilascio alle basse temperature</b> .....	105
<b>3.5.2</b>	<b>Analisi del rilascio a temperature elevate</b> .....	107
<b>3.6</b>	<b>Osservazione dei diffusori in microscopia</b> .....	108
<b>3.6.1</b>	<b>Osservazioni condotte in microscopia ottica</b> .....	108
<b>3.6.2</b>	<b>Osservazioni condotte in microscopia elettronica a scansione</b> .....	110
<b>3.6.3</b>	<b>Analisi dimensionale dei pori dei diffusori carichi e scarichi</b> .....	114
<b>3.6.4</b>	<b>Analisi dei diffusori al SEM/EDS</b> .....	119
<b>3.7</b>	<b>Definizione della relazione rilascio-temperatura</b> .....	121
<b>3.7.1</b>	<b>Definizione della relazione rilascio-temperatura con la legge di Clausius-Clapeyron</b> .....	122
<b>Capitolo 4. Sviluppo e validazione dei modelli di rilascio</b> .....		<b>125</b>
<b>4.1</b>	<b>Sviluppo dei modelli di rilascio</b> .....	<b>127</b>
<b>4.2</b>	<b>Validazione dei modelli di rilascio</b> .....	<b>129</b>

---

---

<b>4.3</b>	<b>Applicazioni dei modelli di rilascio.....</b>	<b>136</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Utilizzo dei modelli per determinare il contenuto di feromone rimanente</b>	<b>136</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Utilizzo dei modelli per conoscere il rilascio durante le ore del giorno.....</b>	<b>138</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Utilizzo dei modelli per prevedere il rilascio di feromone.....</b>	<b>140</b>
<b>4.4</b>	<b>Datalogger da campo per il controllo del rilascio e del contenuto di feromone rimanente.....</b>	<b>141</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Test e validazione in campo del datalogger.....</b>	<b>144</b>
	<b>Capitolo 5. Simulazione della dispersione in campo dei feromoni.....</b>	<b>149</b>
<b>5.1</b>	<b>Anali dello stato dell'arte.....</b>	<b>150</b>
<b>5.2</b>	<b>Simulazione della dispersione in campo dei feromoni.....</b>	<b>152</b>
<b>5.2.1</b>	<b>La catena modellistica.....</b>	<b>153</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Descrizione del caso studio.....</b>	<b>155</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Analisi dei risultati ottenuti.....</b>	<b>161</b>
	<b>Conclusioni.....</b>	<b>166</b>
	<b>Bibliografia.....</b>	<b>170</b>
	<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>177</b>
	<b>Appendice.....</b>	<b>180</b>

# ***Introduzione***

La confusione sessuale è un metodo di lotta a carattere preventivo che attraverso l'immissione nell'ambiente, attraverso appositi diffusori, del feromone sessuale prodotto dalle femmine di una specie, mira ad impedire ai maschi della stessa specie di rintracciare il partner e portare a termine l'accoppiamento.

Questo metodo di lotta trova applicazione anche nella difesa dei vigneti e dei frutteti da insetti nocivi quali la tignoletta della vite *Lobesia botrana* e la tignola della vite *Eupoecilia ambiguella* per quanto concerne i vigneti, mentre nel campo della frutticoltura i più importanti insetti nocivi che sono controllati con il metodo della confusione sessuale sono la tignola orientale del pesco *Cydia molesta* e la carpocapsa del melo *Cydia pomonella*.

Conoscere i fattori ambientali che influenzano il rilascio dei diffusori è utile per una corretta disposizione degli stessi all'interno dell'area da proteggere ma soprattutto per prevedere, in un qualunque momento della stagione, l'entità del rilascio nei giorni successivi e stimare la quantità di feromone già erogato, da cui ricavare per differenza quello ancora disponibile all'interno dei diffusori, senza la necessità di dover procedere a pesate gravimetriche degli erogatori.

In questo lavoro di tesi vengono presentati i risultati di una sperimentazione condotta con l'obiettivo di individuare i fattori, meteorologici e non, che influenzano il rilascio delle molecole di feromone dalle principali tipologie di diffusori prodotti dalla società giapponese Shin-Etsu e impiegati nella lotta con il metodo della confusione sessuale agli insetti nocivi nei vigneti e nei frutteti. Nello specifico lo studio si concentrerà sui modelli Isonet L e Isonet L plus utilizzati nella lotta alle tignole della vite *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella*, sui modelli Isomate C plus e Isomate C TT utilizzati nella lotta alla carpocapsa del melo *Cydia pomonella* e sui modelli Isomate OFM rosso e Isomate OFM rosso flex utilizzati nella lotta alla tignola orientale del pesco *Cydia pomonella*.

Sono state inoltre effettuate osservazioni in microscopia ottica e in microscopia elettronica a scansione di alcuni diffusori carichi e di alcuni dei diffusori utilizzati nella sperimentazione per indagare l'eventuale effetto di deterioramento del diffusore dovuto all'azione della radiazione solare e degli agenti meteorici. Sono state inoltre condotte osservazioni di diffusori carichi e scarichi, a temperatura ambiente e dopo essere stati riscaldati in cella climatica, con l'obiettivo di studiare l'effetto che le variazioni di temperatura esercitano sulle dimensioni dei pori.

Sulla base dei risultati ottenuti con le sperimentazioni di campo e di laboratorio sono stati creati differenti modelli di rilascio per le principali tipologie di diffusori Shin-Etsu, modelli in grado di prevedere il rilascio di feromone e fornire una stima affidabile

della quantità di feromone ancora presente nei diffusori necessitando della sola conoscenza della temperatura dell'aria.

I modelli sono stati validati utilizzando dati di rilascio raccolti in campo in anni precedenti in differenti località e sono successivamente stati ingegnerizzati come algoritmi di calcolo inseriti in un prototipo di datalogger da campo che è stato testato in campo in tre differenti località durante la stagione di lotta dell'anno 2015 ottenendo ottimi risultati sia in termini di affidabilità che di capacità di prevedere correttamente l'entità del rilascio e il contenuto di feromone rimanente.

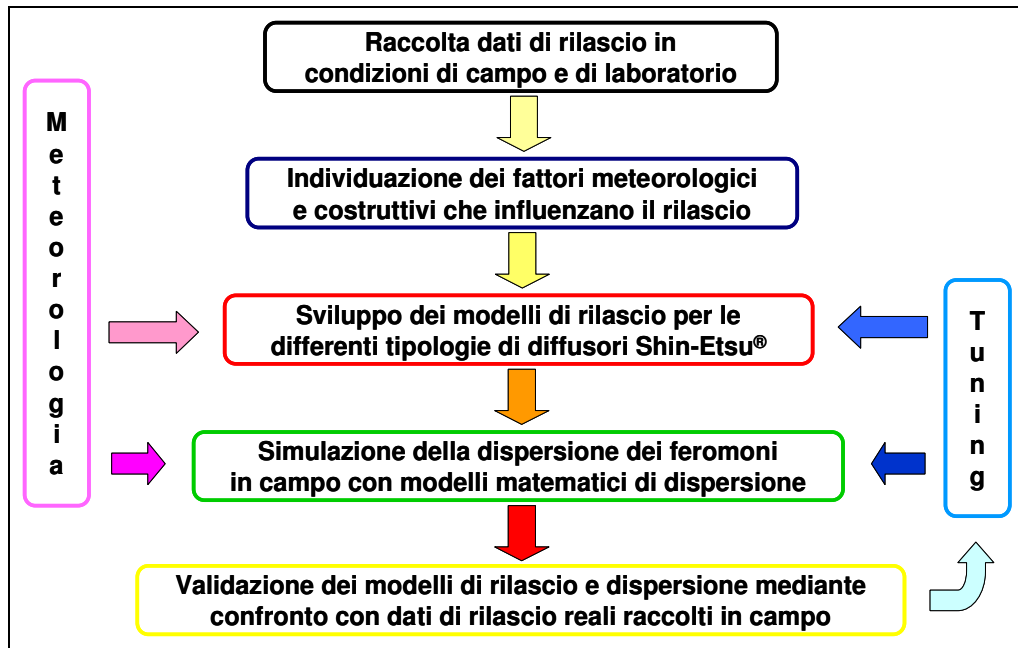
Gli output del modello di rilascio possono essere utilizzati come input di un modello matematico di dispersione in grado di simulare la dispersione dei feromoni in campo. Tale modello può essere utilizzato con funzione previsionale o diagnostica. Nel primo caso, nota la previsione meteorologica fornita da un modello è possibile prevedere il rilascio nei giorni successivi utilizzando il modello di rilascio e il modello di dispersione. Nel secondo caso è possibile individuare situazioni meteorologiche tipiche dell'area di studio (ad esempio il vento dominante, o la presenza di brezze caratteristiche) e valutare la dispersione dei feromoni in presenza di un rilascio medio definito a priori e di condizioni meteorologiche tipiche dell'area in esame.

Nell'ultimo capitolo della tesi un modello di dispersione a particelle, ideato per la simulazione della dispersione in atmosfera degli inquinanti, viene utilizzato per simulare la dispersione delle molecole di feromone rilasciate da ipotetici diffusori Shin-Etsu collocati in un ettaro di terreno in presenza di condizioni meteorologiche realmente verificatesi.

Riassumendo, i principali obiettivi dell'attività di ricerca sono:

- individuare i fattori, meteorologici e costruttivi, che influenzano il rilascio del feromone dai diffusori di feromone prodotti dall'azienda giapponese Shin-Etsu e utilizzati nella lotta agli insetti nocivi nei vigneti e nei frutteti;
- sviluppare, per le differenti tipologie di diffusori, modelli di rilascio di pratica applicazione utilizzabili per determinare l'erogazione dei diffusori e la quantità di feromone ancora contenuta all'interno degli stessi senza dover procedere con pesate gravimetriche dei diffusori;
- simulare la dispersione dei feromoni in campo utilizzando modelli matematici meteorologici e di dispersione.

Il seguente schema a blocchi riassume la metodologia di analisi sopra descritta:



**Figura 1.0:** schema a blocchi della metodologia di analisi utilizzata nello studio

***Capitolo 1.***  
***La confusione***  
***sessuale: stato***  
***dell’arte***

La confusione sessuale (in inglese *'mating disruption'*) è un metodo di lotta a carattere preventivo che attraverso l'immissione nell'ambiente, tramite appositi diffusori, dell'analogo di sintesi del feromone sessuale prodotto dalle femmine della specie bersaglio, mira a creare all'interno dell'area da proteggere una concentrazione di feromone (alcuni nanogrammi per metro cubo d'aria) in grado di mascherare la scia di feromone emessa dalle femmine per attrarre i maschi al momento dell'accoppiamento. I maschi non sono quindi più in grado di rintracciare le femmine, con conseguente riduzione del numero degli accoppiamenti e della popolazione dell'insetto bersaglio (Cardé e Minsk, 1995; Sanders, 1997).

Il metodo della confusione sessuale non presenta inoltre impatti negativi sull'ambiente, e contribuisce pertanto ad un innalzamento del livello qualitativo dell'intera filiera produttiva.

L'efficacia della confusione sessuale è stata ampiamente dimostrata in diversi comprensori (Varner *et al.*, 2001; Mazzocchetti *et al.*, 2004; Bagnoli *et al.*, 2006; Marchesini *et al.*, 2006; Bigot *et al.*, 2008). In frutticoltura ha dimostrato buona efficacia nei confronti della cidia del pesco *Cydia molesta* (Molinari *et al.*, 2000) e della carpocapsa del melo *Cydia pomonella* (Angeli *et al.*, 2003; Angeli *et al.*, 2007). In viticoltura la confusione sessuale è invece applicata con successo nella lotta a due fitofagi della vite, la tignoletta *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermuller; Lepidoptera, Tortricidae) e la tignola *Eupoecilia ambiguella* (Hubner; Lepidoptera, Tortricidae) (Ioriatti *et al.*, 2005; Lucchi *et al.*, 2007).

## **1.1 Nascita della confusione sessuale**

Risalgono agli anni '50-'60 l'isolamento e la produzione del primo feromone sessuale, quello del baco da seta *Bombyx mori* (Viggiani, 1977). Nel corso degli ultimi decenni i progressi tecnologici effettuati dalla chimica analitica hanno facilitato la messa a punto di metodi che consentono l'isolamento, l'identificazione e la sintesi dei feromoni emessi dagli insetti, aprendo così la via a nuove tecniche di difesa delle colture.

La prima esperienza di confusione fu condotta da Burgess nel 1964 contro *Limantria dispar* L. ed in seguito numerose furono le ricerche sull'applicabilità di tale metodo contro una gran varietà di Lepidotteri dannosi alle colture forestali, ai frutteti, alle colture erbacee ed alle derrate alimentari.

Nell'ultimo trentennio i feromoni sessuali di centinaia di insetti sono stati identificati e sono state sintetizzate altrettante sostanze che, seppur diverse, hanno la capacità di impedire ai maschi di trovare e fecondare le femmine. Nonostante ciò, le sostanze



oggi sintetizzate non sono ancora state perfezionate e molte ricerche devono ancora essere fatte perché i preparati che si utilizzano in confusione sessuale possiedano tutte le caratteristiche di durata in conservazione, costanza di emissione e stabilità agli agenti esterni necessarie per la riuscita della confusione. In molti casi, infatti, i feromoni sono stati ottenuti con preparazioni incomplete, con miscele di prodotti chimici attivi contro diverse specie, oppure con sostanze contenenti impurità di cui non sempre si conosceva l'effetto. Spesso miscele non ancora perfezionate rilasciano un insieme di odori che solo marginalmente hanno effetto di confusione e quindi necessitano di essere applicate a concentrazioni più elevate, immettendo nell'ambiente anche sostanze superflue.

In Italia le prime concrete applicazioni della confusione sessuale si ebbero nel 1986 nella lotta a *Cydia molesta* (Ioriatti e Arn, 1992). Dalla fine degli anni '80 i feromoni sono stati gradualmente introdotti nelle pratiche di campo per la difesa delle colture in Trentino come in altri distretti viticoli europei di Paesi quali la Svizzera, la Francia e la Germania, consolidando il metodo come una valida alternativa al sistema chimico.

## **1.2 Diffusione della confusione sessuale**

La lotta biologica con il metodo della confusione sessuale interessa porzioni di territorio sempre più estese e sta sostituendo anno dopo anno le tradizionali tecniche chimiche di difesa dagli insetti nocivi, garantendo al tempo stesso un elevato livello di protezione alle colture.

In Italia (dati relativi all'anno 2012) la confusione sessuale interessa circa 72.000 ha di terreno (circa il 30%, in superficie, del mercato europeo), così suddivisi:

- *Pomacee*: 32.000 ha, circa il 30% della superficie totale a Pomacee,
- *Drupacee*: 22.000 ha, circa il 27% della superficie totale a Drupacee,
- *Vite*: 17.000 ha, di cui 13.500 su uva da vino (9.500 ha in Trentino e da 600 a 770 ha in Piemonte, Emilia, Veneto, Toscana, Sicilia e Alto Adige) e 3.500 ha su uva da tavola (Puglia), circa il 2,5% della superficie a Vite.

In Europa, la confusione sessuale è diffusa su circa il 16% della superficie a Pomacee, sull'11% di quella a Drupacee e sul 4% a Vite.

Nel Mondo, circa 1.000.000 di ettari di terreno sono trattati con il metodo della confusione sessuale.

I grafici e le mappe seguenti riportano la distribuzione, suddivisa per regione, degli ettari di terreno protetti in Italia con il metodo della confusione sessuale per Pomacee, Drupacee e Vite (dati relativi all'anno 2012 – fonte: IBMA, “La top ten del controllo biologico”, Macfrut, Cesena, 27 settembre 2012).

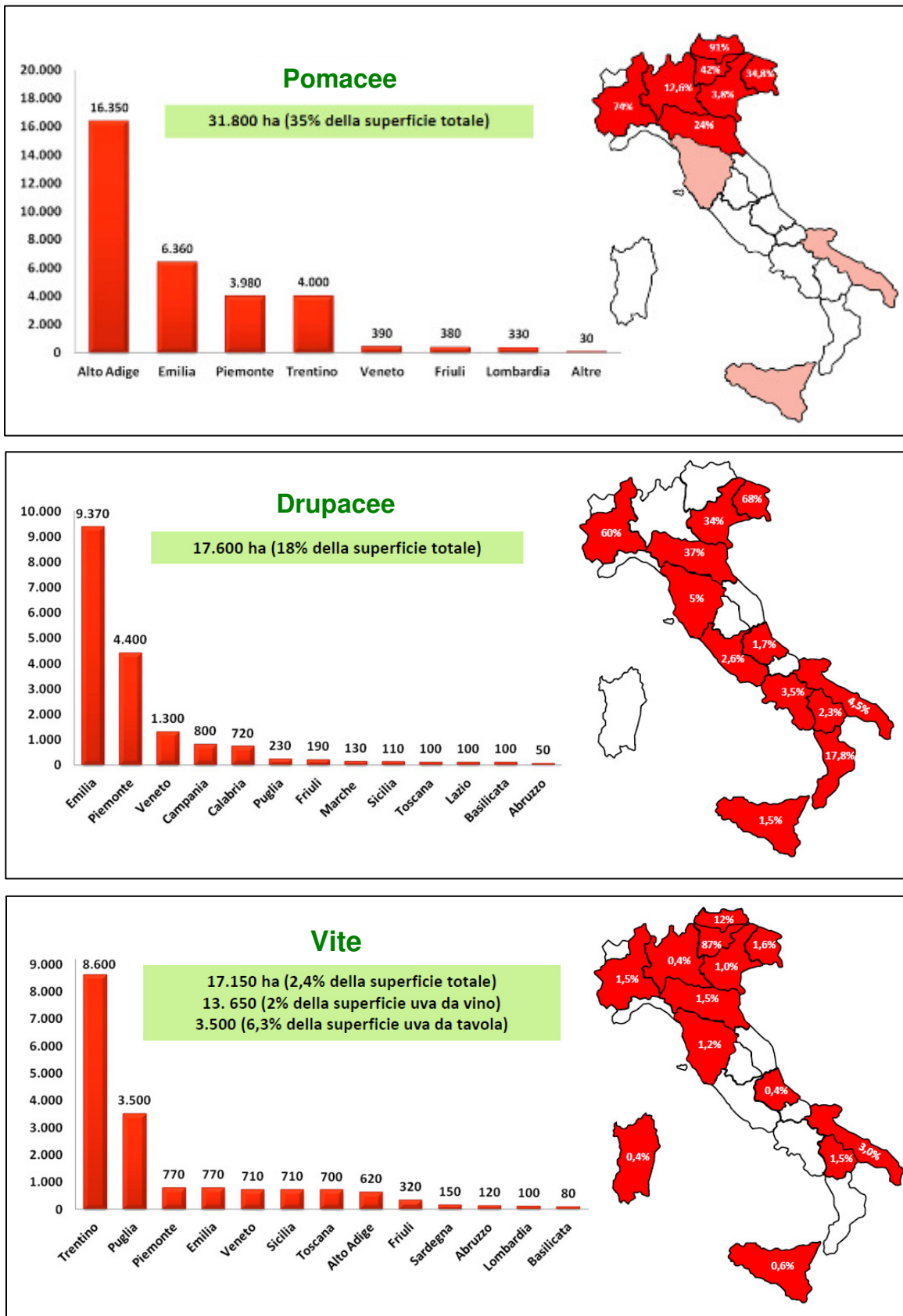
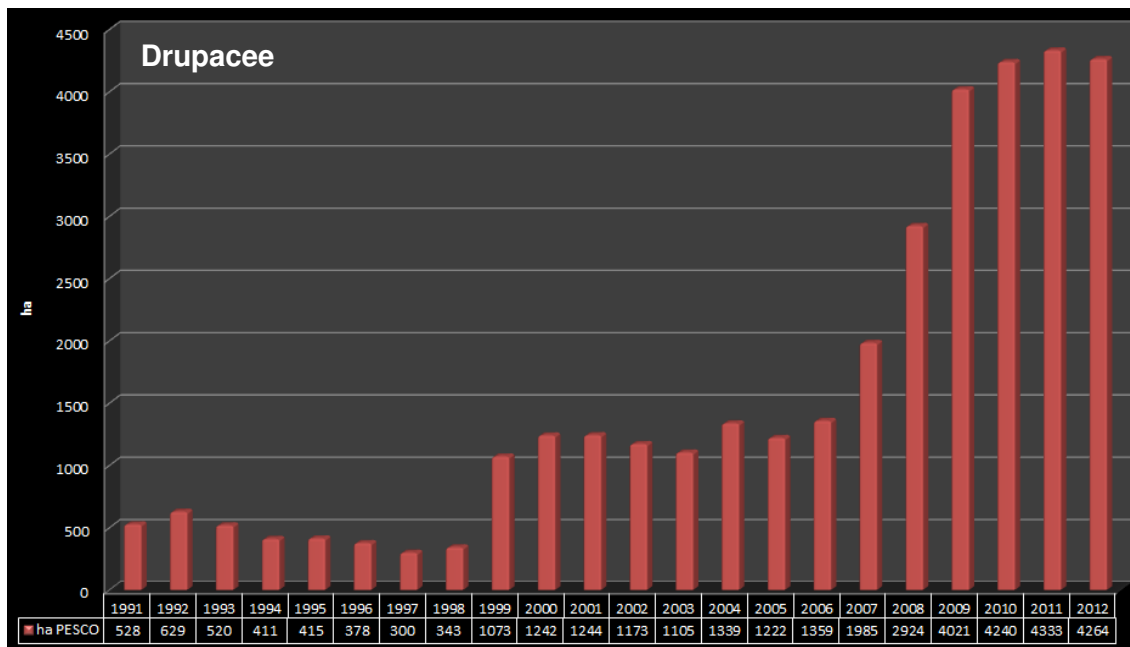
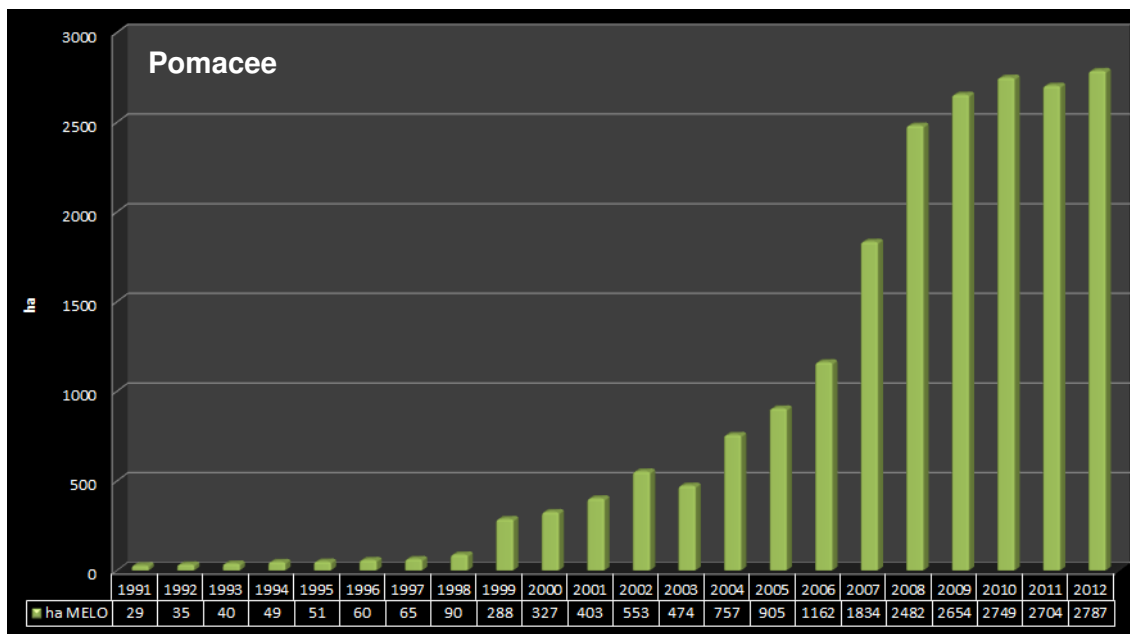
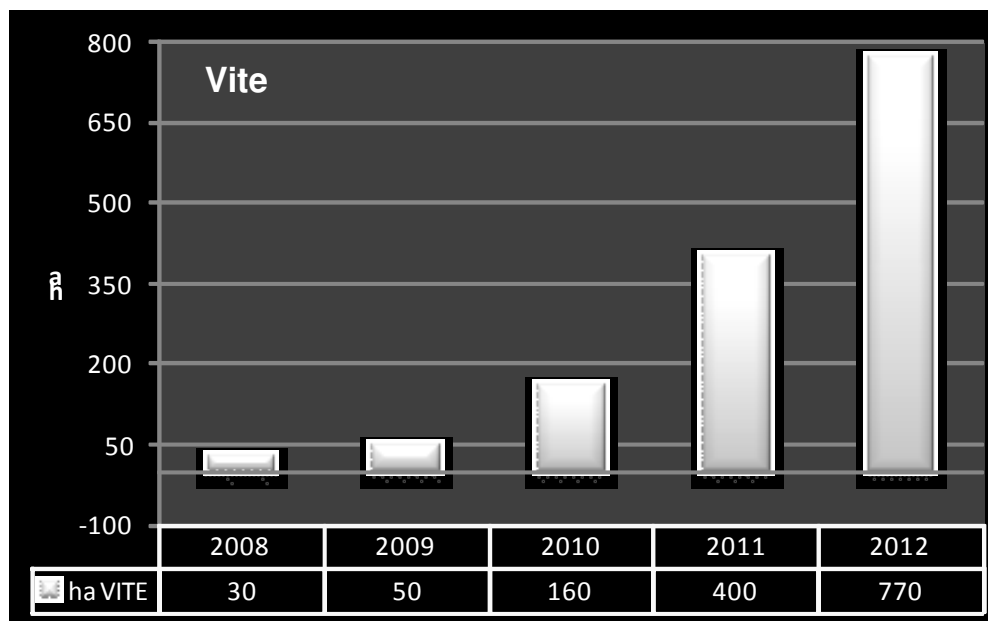


Figura 1.1 - distribuzione, per regione, degli ettari di terreno in confusione sessuale

I grafici seguenti riportano invece la diffusione nella Regione Piemonte degli ettari di terreno protetti con il metodo della confusione sessuale rispettivamente per Pomacee, Drupacee e Vite (dati relativi all'anno 2012 – fonte: CReSO Ricerca, “La confusione sessuale in Piemonte”, Manta (CN), marzo 2013).





**Figura 1.2** - diffusione, nella Regione Piemonte, degli ettari di terreno protetti con il metodo della confusione sessuale su Pomacee, Drupacee e Vite

Nel 2010 in Italia erano circa 14.300 gli ettari di vigneto protetti con il metodo della confusione sessuale, poco più dell'1% dell'intero territorio viticolo nazionale e concentrati per circa il 95% in Trentino Alto Adige. In Europa è invece la Germania il Paese che vanta la maggiore superficie di vigneti protetti con il metodo della confusione sessuale.

La superficie di territorio protetta con il metodo della confusione sessuale è in continuo aumento. In Piemonte, nelle aree viticole di Langhe, Roero e Monferrato, l'impiego della confusione sessuale per la difesa della vite è iniziato nel 2008, anno in cui si contava una superficie coperta di circa 30 ettari, cresciuta nel corso del 2012 a circa 770 ettari.

### **1.3 Meccanismi molecolari nella comunicazione a feromoni**

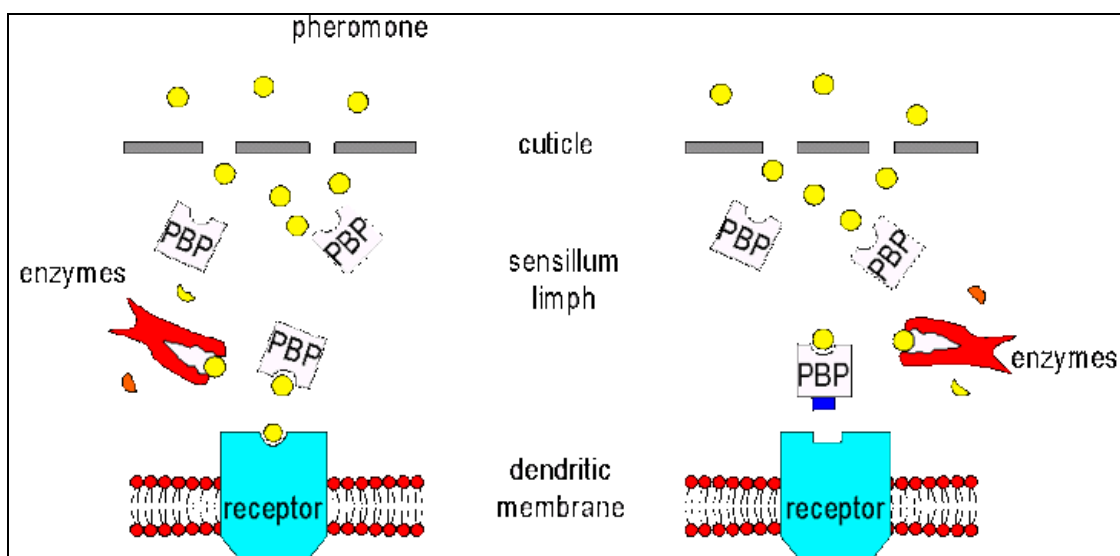
Negli insetti l'olfatto gioca un ruolo fondamentale nella regolazione del comportamento. Gli insetti mostrano infatti un'incredibile capacità di percepire e discriminare gli odori.

Il compito di monitorare le caratteristiche temporali, spaziali e d'intensità di una piuma (o scia) di feromone e di fare confluire i messaggi fino al cervello dell'insetto è svolto da neuroni recettori sensoriali olfattivi, molto sensibili, localizzati nel sensillo dell'antenna. Questi sono protetti da un liquido di natura proteica, la linfa del sensillo,

che è prodotta da delle cellule ausiliarie. La parete cuticolare del sensillo è perforata da piccoli pori che permettono l'accesso di molecole volatili, come quelle dei feromoni. Una volta penetrato all'interno della superficie dell'antenna, la molecola idrofobica del feromone diffonde all'interno del sensillo attraverso i pori presenti sulla sua superficie. Molto importanti, a questo punto, è il ruolo svolto da alcune proteine, chiamate PBP (pheromone binding proteins) che permettono alla molecola lipofila del feromone di passare attraverso la linfa del sensillo, idrofila, e raggiungere la membrana chemiosensibile del dendrite. Queste proteine presentano una struttura glomerulare con all'interno una regione idrofobica dove si lega il feromone.

In natura la piuma di feromone presenta numerosi cambi di concentrazione. Per l'orientamento dell'insetto pulsazioni ripetitive, fino a tre al secondo, sono uno stimolo più efficace di un flusso molecolare costante. Per questo motivo è di primaria importanza che le molecole di feromone siano eliminate rapidamente in maniera da mantenere la capacità sensoriale intatta nel tempo. Si ritiene che questa inattivazione avvenga tramite una modificazione enzimatica della molecola. Nella linfa del sensillo sono infatti state identificate un'esterasi e un'aldeide ossidasi. Dati raccolti durante prove in vitro hanno dimostrato che tali enzimi possono inattivare fino a  $10^6$  molecole di feromone in 0,5 secondi.

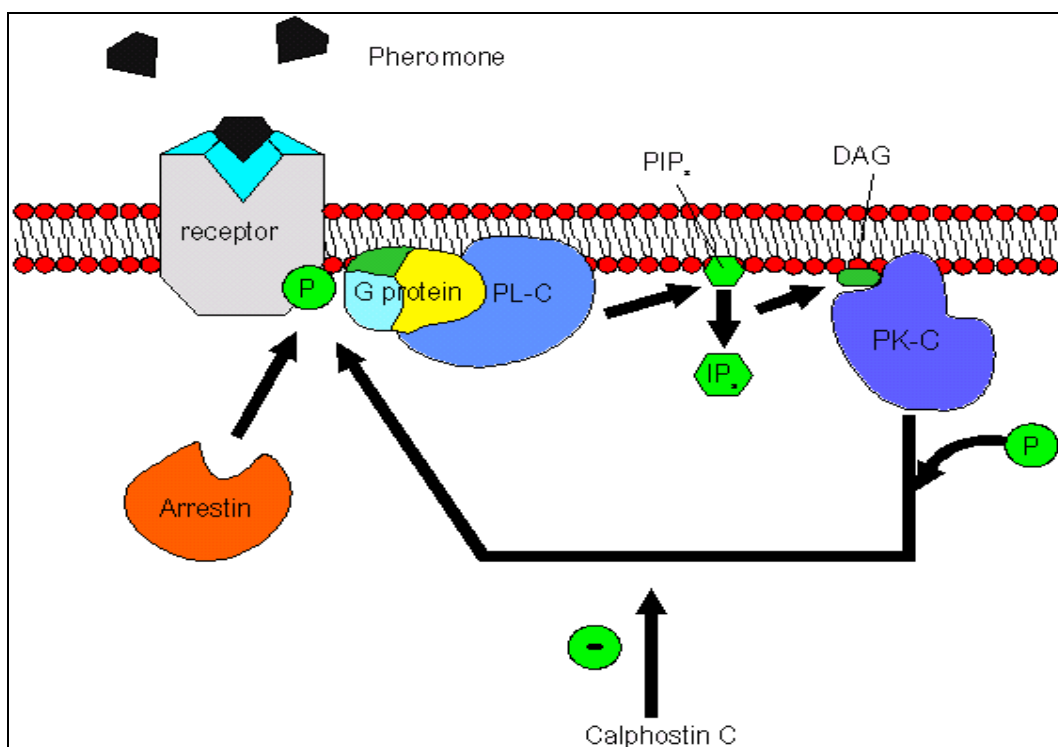
I neuroni sensoriali all'interno del sensillo hanno il compito di riconoscere specifici composti odorosi e di trasformare le informazioni relative alla loro qualità e quantità in uno stimolo di natura elettrica che viene trasferito attraverso gli assoni del sistema nervoso al cervello.



**Figura 1.3** - meccanismi molecolari nella ricezione dei feromoni

Il processo di traduzione dello stimolo, da chimico ad elettrico, sembra iniziare tramite l'interazione della molecola di feromone con uno specifico recettore di natura proteica facente parte delle proteine G. Il legame proteina-feromone determina l'attivazione della fosfolipasi C (PL-C), proteina con il compito di sintetizzare molecole di inositolo trifosfato (IP<sub>3</sub>). Il meccanismo attraverso il quale un andamento oscillatorio della concentrazione di IP<sub>3</sub> nel tempo determini la creazione di un impulso elettrico non è ancora totalmente chiaro. Si pensa che lo stimolo elettrico dipenda dall'attivazione, da parte degli IP<sub>3</sub>, di canali ionici per il Ca<sup>2+</sup> all'interno della membrana cellulare con la creazione di una differenza di potenziale che si propaga lungo l'assone fino a raggiungere il cervello.

I recettori sensoriali degli insetti mostrano un'elevata capacità di risposta alla presenza di molecole di feromoni ed una sensibilità tale da recepire fino a 10 stimoli al secondo. Risulta quindi essenziale che, tra uno stimolo e l'altro, la successione di reazioni chimiche precedentemente descritta venga rapidamente bloccata in maniera tale da rendere il sistema capace di recepire un nuovo stimolo. La molecola responsabile di tale compito sembra essere un'inibitrice della protein kinase C (PK-C), chiamata Calphostin C, che determina la fosforilazione delle proteine recettore del sensillo, incapaci così di percepire lo stimolo feromonico.

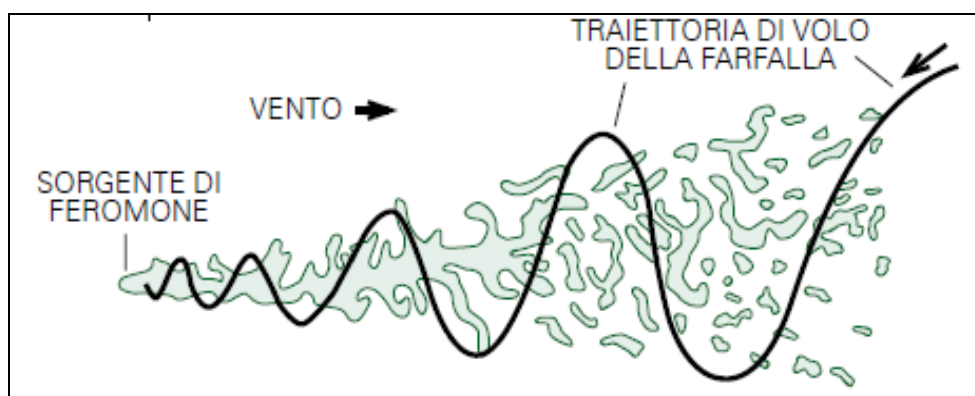


**Figura 1.4** - meccanismi molecolari di traduzione dello stimolo feromonico

## 1.4 Metodologie della confusione sessuale

Il comportamento degli insetti durante la fase dell'accoppiamento è stato oggetto di approfonditi studi di laboratorio. Tutto inizia con il rilascio, regolato da ormoni, di molecole di feromone sessuale da parte della femmina. Questo rilascio è modulato dalla temperatura, dal fotoperiodo e dall'età dell'individuo (maturità sessuale). Quando un maschio percepisce una concentrazione sufficientemente alta di feromone inizia a volare e, "agganciandosi" alla piuma di feromone, inizia un avvicinamento controvento fino ad arrivare in prossimità della femmina. A questo punto inizia la fase della ricerca della femmina, che dura fino a quando la femmina non viene localizzata. Segue poi la fase del corteggiamento che si conclude con l'accoppiamento.

La fase d'avvicinamento controvento è innescata dallo stimolo olfattivo ma dipende anche dalla capacità visiva dell'insetto, che riesce a percepire i propri movimenti in relazione a ciò che lo circonda. La piuma di feromone emessa da una femmina ha una struttura a vortici che garantisce al maschio una sequenza di segnali on/off che consentono il processo di orientamento. Il maschio si muove controvento con un avanzamento a zig/zag in relazione alle lacune o alla diminuzione di concentrazione della piuma. Il corteggiamento ravvicinato coinvolge invece a vari livelli l'olfatto, la vista e le capacità meccanorecettive dell'insetto.



**Figura 1.5** - meccanismo di "aggancio" del maschio alla piuma feromonale femminile

L'emissione del feromone da parte della femmina agisce da innesco del comportamento sessuale in quasi tutte le specie d'insetti. Anche il maschio possiede la capacità di emettere dei mediatori chimici che permettono alla femmina di identificarlo e di comprenderne la "fitness". Inoltre i feromoni maschili possono agire

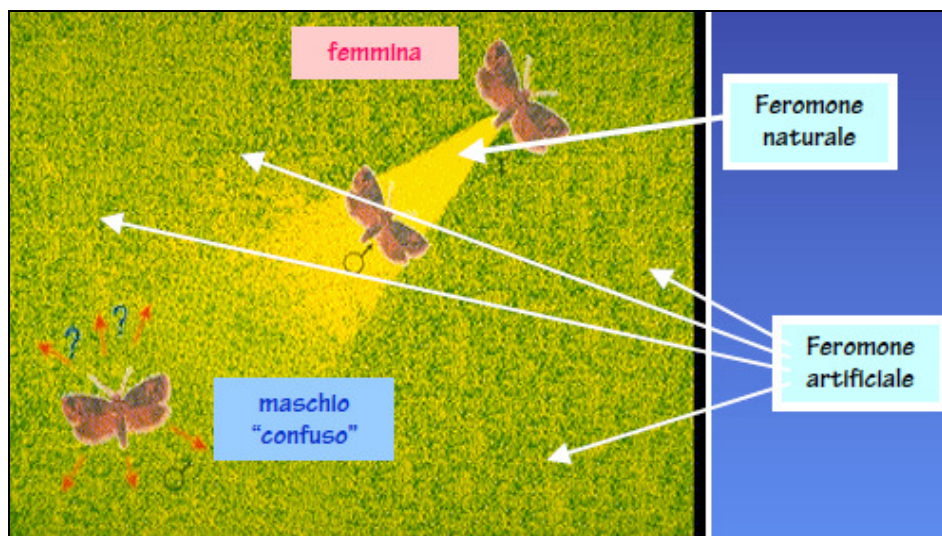
come afrodisiaci e possono avere un effetto nell'allontanamento degli altri maschi potenziali concorrenti per la riproduzione.

Considerando che il fenomeno del corteggiamento ravvicinato coinvolge, oltre all'olfatto, anche la vista e le capacità meccanorecettive dell'insetto, le tecniche che hanno lo scopo di evitare l'accoppiamento a questo livello avranno un'efficacia inferiore rispetto a quelli messi in atto durante la fase dell'avvicinamento del maschio alla femmina.

Numerosi sono i meccanismi che entrano in gioco durante la confusione sessuale (Sanders, 1997). Quelli più importanti sono tre:

- 1) **competizione fra sorgenti naturali e sintetiche** (*false trail following*, inseguimento di una traccia falsa da parte dei maschi). Per concorrenza fra varie sorgenti di emissione naturali (le femmine) e sintetiche (i diffusori di feromone) i maschi sono attratti dalle fonti di odore artificiale che, competendo con quelle delle femmine, fanno cambiare loro rotta troppo spesso (Roehrich e Carles, 1985; Maini e Accinelli, 2001; Marchesini *et al.*, 2007). Per far sì che questo meccanismo sia di successo occorre che ogni dispenser abbia un richiamo così potente come la più potente delle femmine e che sia presente un quantitativo di dispenser tale per cui la probabilità che un maschio trovi una femmina invece di una sorgente sintetica sia molto bassa. A differenza del metodo del mascheramento delle piume naturali, che si basa sull'emissione di elevate quantità di attrattivo e un numero di 400-800 diffusori per ettaro, la tecnica del disorientamento mira a inibire gli accoppiamenti tramite l'applicazione di un maggior numero di erogatori, variabile da 1.600 a 2.300 per ettaro, che rilasciano quantità di feromone di poco superiore ai richiami emessi dalle femmine.
- 2) **mascheramento delle piume naturali** (*confusione sessuale in senso stretto*, l'odore delle femmine viene mascherato dai feromoni). Il meccanismo di inibizione avviene per mascheramento (*mascking*) del feromone naturale da parte di quello sintetico (Neumann *et al.*, 1986). I maschi non riescono a distinguere l'odore delle femmine da quello di fondo creato dalle fonti artificiali. In campo si crede che l'insetto voli in maniera disorientata fino a che, avvicinandosi ad una femmina, non ne riesca a percepire la piuma. Maggiore è la concentrazione della nuvola feromonale, più vicino alla femmina il maschio deve andare allo scopo di percepire la sua piuma. L'efficacia di questo meccanismo dipende quindi dalla concentrazione del feromone e dal numero di femmine presenti.





**Figura 1.6** - rappresentazione del meccanismo di mascheramento delle piume feromonal femminili (confusione sessuale in senso stretto)

- 3) **affaticamento sensoriale.** Questa ipotesi è basata sull'eccessivo carico sensoriale (*sensory overload*). La stimolazione causata dai feromoni sintetici provoca una riduzione della risposta agli stimoli sessuali a livello del sistema nervoso periferico (adattamento) o di quello centrale (abitudine, assuefazione) (Ioratti e Arn, 1993). L'adattamento è la riduzione della percentuale di attivazione dei chemiorecettori, mentre l'abitudine è la riduzione nella risposta rispetto ad un segnale e si verifica a livello del cervello dell'insetto.

Il contributo di ognuno di questi meccanismi può dipendere dalla natura dell'ingrediente attivo, dalla sua concentrazione e dalla sua distribuzione nello spazio e nel tempo. L'inseguimento di una falsa traccia, ad esempio, non può operare efficacemente con un feromone incompleto. Esso dipende anche dagli andamenti dell'emissione dei dispenser che deve mantenersi dentro un range ottimale. La capacità del feromone di mascherare la posizione della femmina aumenta probabilmente con l'aumentare dell'intensità di ogni fonte e con l'ammontare generale di sostanza per ettaro. L'eccessivo carico sensoriale può essere efficace fuori dalla fase di risposta dell'insetto, e perciò è l'unico meccanismo che può usufruire del vantaggio di un sistema operante ventiquattro ore su ventiquattro.

La messa a punto di questo metodo di lotta richiede l'adattamento della diffusione, che è regolata da fattori chimici e fisici, alla biologia e all'etologia dell'insetto nelle condizioni particolari della coltura da proteggere. Combinato ad altri mezzi di previsione aiuta a stabilire il momento ottimale per l'effettuazione di un campionamento o di un trattamento, facilitando le decisioni dell'agricoltore.

## **1.5 Vantaggi della confusione sessuale**

La lotta biologica agli insetti nocivi con il metodo della confusione sessuale, ove tecnicamente possibile e applicabile, presenta innumerevoli vantaggi rispetto alle tradizionali tecniche di difesa basate sull'impiego di prodotti chimici.

Tra questi i più importanti vantaggi della confusione sessuale possono essere così riassunti:

- consente di ridurre le popolazioni degli insetti bersaglio nel corso degli anni, permettendo un controllo totale in presenza di basse popolazioni. In presenza di alte popolazioni iniziali supporta e integra i tradizionali metodi di lotta chimica;
- migliora la sostenibilità dell'attività agricola, garantendo un minore utilizzo di prodotti chimici tradizionali con conseguente riduzione dei residui che vengono accumulati nel terreno;
- non lascia residui sulle produzioni e sui loro derivati, garantendo pertanto una maggiore qualità dei prodotti e dell'intera filiera produttiva;
- garantisce una minore esposizione agli insetticidi per gli operatori agricoli e per l'ambiente;
- le molecole di feromone sono caratterizzate da una bassa tossicità e da una rapida dissipazione nell'ambiente, principalmente tramite volatilizzazione e degradazione;
- non presenta pericoli di resistenza, come invece può accadere con i prodotti chimici tradizionali. E' una strategia di lotta determinante in caso di popolazioni resistenti agli insetticidi di sintesi;
- è caratterizzata da una perfetta selettività nei confronti della specie bersaglio. Viene pertanto favorito il controllo biologico degli insetti utili.

## **1.6 I diffusori di feromone**

I diffusori impiegati nella confusione sessuale sono degli strumenti appositamente studiati per rilasciare nell'ambiente le molecole di feromone sintetico contenute al loro interno sfruttando principi di natura chimico-fisica. Grande importanza risiede pertanto nella loro tecnologia costruttiva (Cork, 2004). I diffusori devono garantire per tutta la stagione di lotta un rilascio il più possibile costante, in grado di assicurare una concentrazione di feromone sufficiente ai fini del disorientamento degli insetti maschi. I diffusori vengono applicati all'interno dell'area da proteggere prima del volo della prima generazione dell'insetto bersaglio, con una distribuzione il più possibile regolare. Lungo i bordi dell'area da proteggere viene di norma incrementato il numero dei diffusori e, se possibile, l'applicazione dei diffusori viene estesa ad una

fascia esterna all'area da proteggere, con l'obiettivo di garantire un'adeguata copertura delle aree di margine, nelle quali la concentrazione del feromone potrebbe subire una riduzione per l'effetto di rimozione delle molecole da parte del vento.

I diffusori vengono di norma posizionati ad una altezza dal suolo compresa fra 1 e 2 metri, evitando l'esposizione diretta ai raggi solari.

Nell'applicazione dei diffusori si tiene anche conto della dimensione dell'area da proteggere e della tipologia di impianto della coltura (disposizione dei filari), così come della pressione dell'insetto bersaglio.

L'entità dell'erogazione dei diffusori dipende dalla velocità di permeazione delle molecole di feromone attraverso le pareti del diffusore e dalla velocità di evaporazione del feromone. Conoscere i fattori ambientali che influenzano il rilascio è utile non solo per una corretta disposizione dei diffusori all'interno dell'area da proteggere ma soprattutto per prevedere, in un qualunque momento della stagione, l'entità del rilascio nei giorni successivi e stimare la quantità di feromone già erogato, da cui ricavare per differenza quello ancora disponibile all'interno dei diffusori, senza la necessità di dover procedere a pesate gravimetriche degli erogatori.

A partire dagli anni '80 sono stati condotti diversi studi, sia di campo sia di laboratorio, volti a determinare il rilascio delle molecole di feromone da parte delle principali tipologie di diffusori presenti sul mercato, caratterizzati da tecnologie costruttive e materiali a volte anche molto diversi, valutandone il rilascio tramite pesate gravimetriche o analisi in gascromatografia (Warthen *et al.*, 1998; Tomaszewska *et al.*, 2005) o ancora valutando l'efficacia nel contenimento delle popolazioni dell'insetto bersaglio di diversi schemi di posizionamento dei diffusori all'interno dell'area da proteggere attraverso l'impiego di trappole a feromone utilizzate per la cattura degli individui maschi e la determinazione del livello di infestazione dell'insetto monitorato (Karg e Sauer, 1995; Karg e Sauer, 1997; Karg e Suckling, 1997; Sauer e Karg, 1998). Sono stati proposti differenti modelli di rilascio in grado di determinare il rilascio di feromone in funzione della sola temperatura dell'aria (Brown *et al.*, 1992; Bradley *et al.*, 1995; Suckling *et al.*, 1997; Cavagnero e Pavarino, 2012), della temperatura dell'aria e della velocità del vento (Van der Kraan e Ebberts, 1990; McDonough, 1997) o di coefficienti legati alle caratteristiche intrinseche del diffusore (McDonough *et al.*, 1992). Alcuni modelli sono basati su una diretta proporzionalità fra rilascio di feromone e temperatura dell'aria (Bradley *et al.*, 1995); altri autori propongono invece curve di rilascio di tipo esponenziale (Van der Kraan e Ebberts, 1990). Brown sostiene invece che la relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria è descritta da una forma modificata della legge di Clausius-Clapeyron (McDonough *et al.*, 1989; Brown *et al.*, 1992).

I principali fattori che determinano l'erogazione del feromone sono:

- la struttura del **supporto**, la sua forma, le sue dimensioni, le eventuali interazioni fisico-chimiche fra supporto e attrattivo;
- il peso molecolare delle **molecole**, la lunghezza della catena, la presenza di doppi legami, la presenza di gruppi funzionali, il numero e la posizione delle insaturazioni e l'isomeria (Bierl-Leonhardt, 1982);
- i **fattori ambientali** quali temperatura e vento, e in minor misura i raggi ultravioletti, che possono favorire la degradazione chimica del prodotto e del supporto, provocando così una perdita di efficacia nell'erogazione (Weatherston *et al.*, 1985).

La produzione delle miscele di feromone può avvenire seguendo tre differenti tipologie di approcci:

- la **miscela ottimizzata**, ovvero l'unione di varie sostanze che nel loro complesso rappresentano l'approssimazione più vicina possibile al feromone emesso dalla femmina;
- un **feromone incompleto**, ovvero un componente del feromone ottenuto in modo più o meno accurato che assomiglia a quello della femmina;
- una **sostanza analoga** o in grado di mimetizzarsi, cioè la creazione di una sostanza che, seppur diversa, è in grado di mimetizzarsi con il feromone femminile e confondere i maschi.

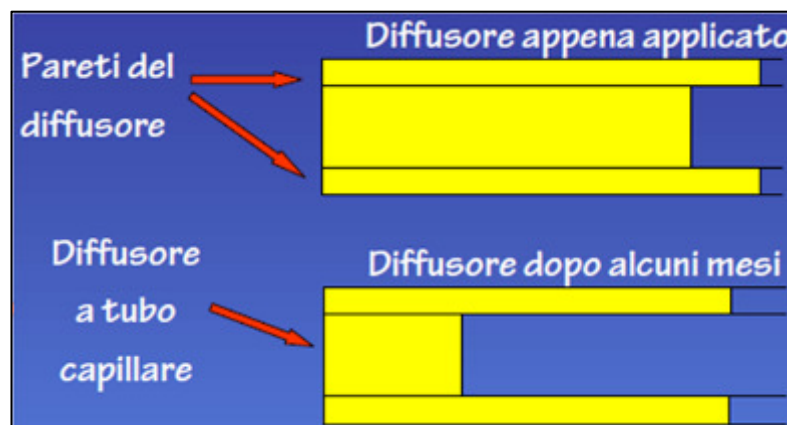
Esistono in commercio numerosi tipi di diffusori che presentano vantaggi e svantaggi diversi in funzione del prodotto che si intende diffondere e della biologia del fitofago.

Si tratta in generale di impregnare o di includere il feromone nella massa di un supporto che può essere caucciù, plastica od altro materiale artificiale o naturale:

- **microfibrille**: le microfibrille sono dei piccoli tubicini di qualche decimo di millimetro di diametro, generalmente di materiale plastico. Sono riempite di attrattivo e di solvente e chiuse ad una delle due estremità. Le microfibrille, miscelate a colla, sono distribuite nella coltura tramite un'apposita apparecchiatura. L'emissione dell'attrattivo avviene essenzialmente attraverso l'estremità aperta, con un'intensità piuttosto elevata in un primo tempo, intensità che poi si riduce e rimane in seguito ad un livello abbastanza costante. L'emissione è regolata unicamente dal diametro dell'apertura, mentre la lunghezza della microfibrilla determina il contenuto rimanente.
- **laminati plastici polistratificati**: si tratta di diffusori in cui uno strato contenente il principio attivo è situato fra altri due strati con funzione di barriera, allo scopo di garantire una lenta e costante emissione. Sono disponibili come nastri da applicare manualmente. Lo spessore e la natura

degli strati di plastica permette teoricamente di regolare la diffusione delle molecole di feromone.

- **micro e macrocapsule:** una goccia di principio attivo è inglobata da un involucro polimerico. Le capsule che si ottengono hanno un diametro variabile da qualche micron a qualche millimetro, in funzione della tecnica di fabbricazione. Possono essere preparate delle sospensioni in acqua e distribuite con un normale polverizzatore. Le dimensioni delle capsule, lo spessore e la permeabilità dell'involucro permettono di regolare l'emissione.
- **diffusori a spaghetti:** consistono in tubicini capillari di materiale plastico con un'anima in ferro, chiusi alle due estremità. Il feromone sintetico evapora in aria dalla superficie del tubo diffusore dopo averne attraversato la parete attraverso i pori presenti nella parete stessa. Se la superficie della parete del diffusore bagnata dal feromone si riduce, anche la quantità di feromone rilasciato si riduce. Poiché il tubo diffusore è molto poroso al suo interno e le sue dimensioni capillari sono realizzate specificamente per la molecola da contenere e rilasciare, la parete si mantiene bagnata per un periodo molto lungo, anche se il liquido al suo interno cala. In questo modo la superficie dalla quale il diffusore rilascia il feromone non varia per un lungo periodo e l'evaporazione si mantiene costante a parità di condizioni esterne.



**Figura 1.7** - meccanismo di funzionamento dei diffusori di feromone a capillare

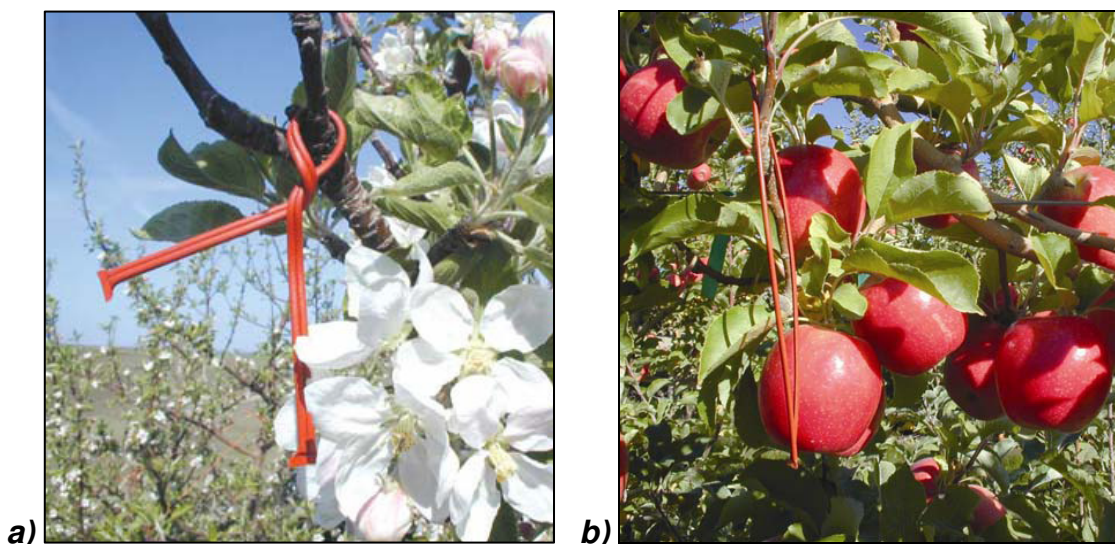
L'emissione del diffusore dipende dalla velocità di permeazione del feromone attraverso la parete ( $V_p$ ) e dalla velocità di evaporazione del feromone dalla superficie esterna del diffusore ( $V_e$ ).



La prima è legata al coefficiente di permeazione della parete, a sua volta legato alla tipologia di materiale, e allo spessore della parete; la seconda è dipende invece dalla velocità media del vento e dalla temperatura media dell'aria.

E' possibile distinguere tre casi:

- $V_p > V_e$ : si verifica un accumulo di feromone sulla parete esterna del diffusore con possibilità di decomposizione della molecola a causa della radiazione solare e alterazione della capacità emissiva del diffusore;
- $V_p < V_e$ : il rilascio di feromone potrebbe non essere sufficiente per garantire un adeguato livello di protezione alla coltura, ovvero una concentrazione di feromone in aria sufficientemente alta per impedire gli accoppiamenti dell'insetto bersaglio;
- $V_p = V_e$ : è la condizione ottimale. La scelta dei polimeri e degli spessori delle pareti dei diffusori è variabile a seconda della molecola di feromone impiegato in modo da avvicinarsi il più possibile alla condizione ottimale.



**Figura 1.8** - diffusori di feromone “a spaghetti” Shin-Etsu: **a)** a capillare singolo e **b)** a capillare doppio

- **piastrine**: si tratta di erogatori laminari di natura cellulosica (dimensioni 3x5 cm e 1,5 mm di spessore) impregnati con l'attrattivo, miscelato a due stabilizzanti che fungono da protettori nei riguardi degli agenti ossidanti chimici e fisici;



**Figura 1.9** - diffusore di feromone “a piastrina” Suterra

- **ampolle**: si tratta di ampole in plastica contenenti la miscela di attrattivo e stabilizzanti. La natura e lo spessore del contenitore e la quantità di prodotto in esso contenuto sono i fattori che determinano l'entità del rilascio.



**Figura 1.10** - diffusore di feromone “a doppia ampolla” Basf

Attualmente è in commercio un diffusore totalmente biodegradabile realizzato in Mater-Bi® (amido di mais) dalla ditta italiana Isagro.



**Figura 1.11** - diffusore di feromone biodegradabile Isagro

I diffusori vanno applicati prima dell'inizio del volo degli insetti maschi adulti della generazione svernante. Questo per permettere ai diffusori di iniziare ad erogare quando il numero degli insetti risulta essere ancora basso, sempre in relazione alla popolazione presente alla fine dell'anno precedente.

Prima della diffusione del metodo della confusione sessuale il primo volo non era quasi mai monitorato, perché molto anticipato nella stagione e non particolarmente dannoso per le piante e le produzioni. Nel metodo della confusione sessuale è invece di primaria importanza contenere la popolazione dell'insetto bersaglio fin dalla prima generazione per garantire il successo del metodo di lotta per il resto della stagione. Le trappole di monitoraggio, negli appezzamenti in confusione, normalmente non fanno registrare catture di insetti della generazione svernante. Per stabilire la comparsa dei primi adulti bisogna far fede ai modelli previsionali o alle catture registrate in appezzamenti non in confusione.

Una delle critiche che maggiormente vengono rivolte ad un'applicazione così precoce degli erogatori riguarda la loro durata. Infatti, in occasione di stagioni molto calde, i diffusori potrebbero non riuscire a coprire l'intera stagione. Per verificare il contenuto di feromone rimanente all'interno dei diffusori è possibile effettuare pesate gravimetriche degli erogatori, prelevandoli ad intervalli regolari nel corso della stagione, o analisi gas-cromatografiche, queste ultime decisamente più costose anche se più precise rispetto alle pesate. Nessuno di questi due metodi viene di fatto utilizzato in campo, sia per l'elevato costo sia per i tempi necessari per svolgere le misure. Pertanto non è possibile conoscere la quantità di feromone ancora presente all'interno degli erogatori, se non utilizzando un modello previsionale di rilascio.



## **1.7 Concentrazione del feromone in campo**

La concentrazione del feromone all'interno di una coltura dipende da numerosi fattori chimici, fisici e meteorologici che ne influenzano l'emissione dagli erogatori, la diffusione, la degradazione e l'evaporazione. L'interruzione delle comunicazioni fra gli insetti richiede una concentrazione minima di feromone in aria, alcuni nanogrammi per metro cubo d'aria, concentrazione che deve essere assicurata durante tutto il periodo di attività sessuale dell'insetto.

La natura chimico-fisica del supporto di diffusione, per la sua porosità, la sua permeabilità, le sue dimensioni, il suo colore, la sua affinità con l'attrattivo, determina in gran parte la velocità di emissione del prodotto.

L'aumento del numero di atomi di carbonio della molecola da diffondere rallenta di molto la velocità di liberazione.

Anche la natura dei gruppi funzionali delle molecole gioca un ruolo importante nel determinare l'entità del rilascio: ad esempio, per molecole con la stessa lunghezza della catena, gli alcoli diffondono due o tre volte più rapidamente degli acetati (Butler e McDonough, 1981; Bier-Leonhardt, 1982).

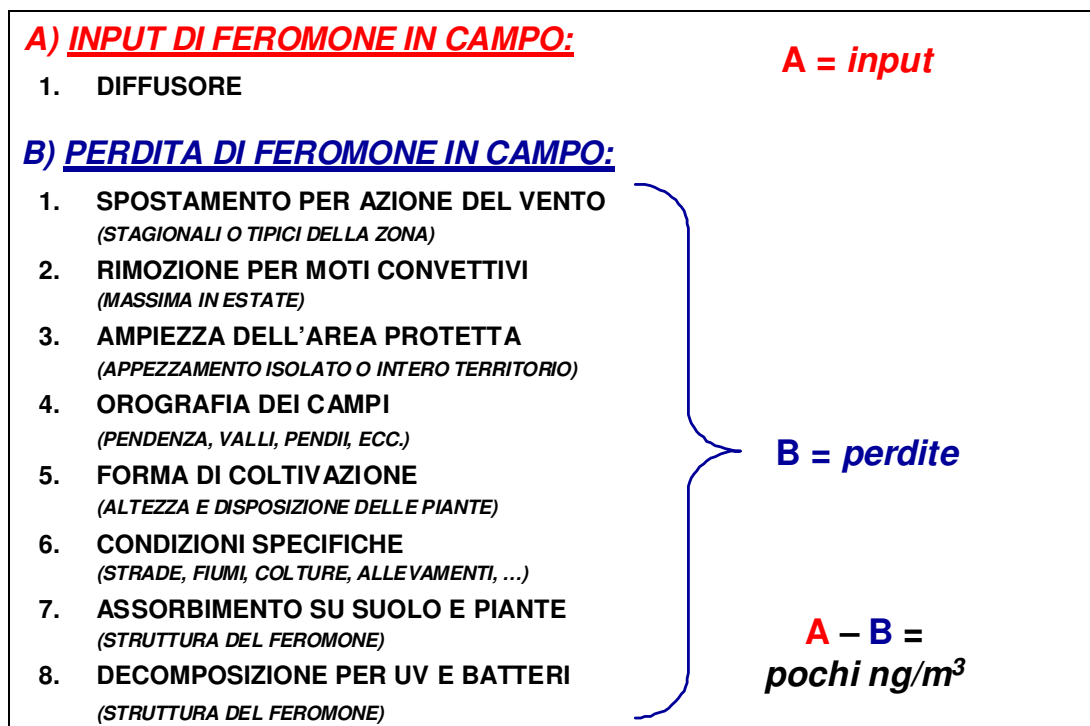
La velocità di emissione dell'attrattivo aumenta molto rapidamente con il crescere della temperatura e spesso anche il vento gioca un ruolo determinante sul rilascio. L'influenza della luce sulla degradazione dei prodotti è maggiormente evidente in presenza di doppi legami.

In pieno campo il vento determina una rapida dispersione dell'attrattivo mentre la massa vegetata ha effetto opposto e può assorbire sulla superficie fogliare una parte del feromone, che potrà essere liberato in seguito (Wall *et al.*, 1981).

Anche la forma e le dimensioni dell'area da proteggere influenzano la concentrazione di attrattivo nell'atmosfera della coltura. La concentrazione di feromone non è omogenea, ma si accresce dal lato sopra vento al lato opposto a mano a mano che l'aria, a contatto con i diffusori, si carica d'attrattivo.

La concentrazione del prodotto varia anche in base alla tipologia della coltura. Ad esempio, nelle colture ad alto fusto, i movimenti convettivi dell'aria sono ostacolati e modificati dalla vegetazione, pertanto le molecole di feromone tenderanno a persistere maggiormente all'interno dell'area da proteggere.

Lo schema seguente riassume il destino delle molecole di feromone emesse in campo dai diffusori di feromone (input di feromone), analizzando tutte le possibili “perdite” di feromone in campo a seguito degli effetti della meteorologia e delle caratteristiche specifiche dell'area da proteggere e della coltura stessa.



**Figura 1.12** - schema riassuntivo del destino delle molecole di feromone una volta emesse dai diffusori

Nel corso della giornata l'attività sessuale degli insetti che rivestono maggiore interesse per la confusione sessuale è generalmente limitata, poiché si svolge al crepuscolo, durante la notte o all'alba, in un momento della giornata in cui le basse temperature limitano l'emissione dell'attrattivo. Le alte temperature che si verificano generalmente durante il giorno causano una parziale perdita di prodotto, che d'altra parte è difficilmente contenibile, se non con dispositivi tecnologici complicati ed a costi proibitivi.

Inoltre prove di laboratorio e di pieno campo hanno dimostrato che, per una determinata emissione d'attrattivo, l'efficacia della confusione diminuisce all'aumentare della densità della popolazione. Si ritiene infatti che, in condizioni di elevata densità, i fitofagi si possano incontrare attraverso movimenti casuali, senza utilizzare la comunicazione tramite feromoni. E' quindi vantaggioso introdurre la lotta per confusione sessuale in presenza di basse densità di popolazione, mirando ad una regolazione del fitofago nel lungo periodo. Se la popolazione di partenza è troppo elevata è consigliabile ridurla preliminarmente per mezzo di un trattamento abbattente classico.

I metodi per la determinazione della concentrazione del feromone in aria sono essenzialmente due:

- **trappole adsorbenti**: la cattura dei composti volatili avviene mediante trappole assorbenti costituite da carbone attivo, vetro o polimeri porosi. Successivamente i feromoni che si adsorbono a questi filtri vengono raccolti lavando il filtro stesso con opportuni solventi, analizzati e quantificati in laboratorio. Lo svantaggio di questa tecnica è legato al fatto che i feromoni possono andare incontro a reazioni che ne modificano la struttura oppure possono essere introdotte delle impurità a causa della formazione di prodotti secondari;

- **elettroantennografia (EAG)**: un importante passo avanti nella determinazione della quantità di feromone presente in aria è stato lo sviluppo di un mezzo di misurazione elettroantennografico. Tale tecnica si basa sulla registrazione degli impulsi elettrici prodotti dalle cellule sensoriali presenti nelle antenne degli insetti quando vengono stimulate dai feromoni. Alle due estremità di un'antenna vengono posizionati gli elettrodi, collegati ad un amplificatore che a sua volta è collegato ad un convertitore di segnale da analogico a digitale. In questo modo il segnale può essere trasmesso ad un computer che è in grado di rappresentare graficamente la variazione del potenziale elettrico delle cellule sensoriali dovuta alla stimolazione. Quando le cellule sensoriali delle antenne vengono stimulate dai feromoni la rapida depolarizzazione a cui la membrana cellulare va incontro è dose dipendente: l'ampiezza del segnale che viene registrato è direttamente proporzionale all'intensità della variazione di potenziale elettrico, che a sua volta è in relazione con la quantità di stimolo presente, ovvero di feromone. La risposta varia anche in relazione al tipo di stimolo: le cellule sensoriali non sono tutte sensibili allo stesso modo ma possono essere specializzate nel rispondere solo a certi composti chimici. Quindi il numero ed il tipo di cellule sensoriali presenti è importante nel determinare la risposta.

Il vantaggio di questa tecnica è quello di utilizzare il sistema olfattorio proprio dell'animale, che è stato selezionato per rispondere solo a certi composti. Inoltre l'elettroantennografia risulta utile quando l'analisi chimica non è in grado di isolare adeguatamente i composti che compongono il feromone da altre sostanze chimiche presenti nel campione.

### **1.8 Monitoraggio dell'efficacia del metodo di lotta**

Durante la stagione, negli appezzamenti in confusione, è necessario effettuare alcuni controlli che permettano di verificare l'efficacia del metodo di lotta in relazione all'entità della popolazione dell'insetto bersaglio. Questo per intervenire nella maniera più tempestiva possibile qualora si verificasse un'infestazione elevata.

Si possono distinguere due differenti tipologie di monitoraggio:

- **trappole di monitoraggio**: con l'utilizzo delle trappole sessuali è possibile monitorare la presenza e la densità dell'insetto bersaglio tramite la cattura diretta degli individui. All'interno delle trappole è appeso un diffusore di feromone, mentre sulla base delle stesse è presente uno strato di colla per la cattura degli insetti che si posano nella trappola attratti dalla piuma feromonale.

Normalmente, negli appezzamenti in confusione, non si registrano catture, e quelle che si registrano spesso non vengono prese in considerazione per valutare l'entità della popolazione dell'insetto perché possono essere solo catture accidentali. In ogni caso catture molto alte, continue e diffuse sono un indice di mancato controllo dell'insetto.

Nelle aree in confusione è importante prevedere la sistemazione delle trappole sia al centro dell'appezzamento che lungo il bordo esterno opposto nel lato esposto al vento dominante, vista l'influenza molto marcata di questo agente atmosferico sul mantenimento della concentrazione di feromone in campo.



**Figura 1.13** - trappole a feromoni per il monitoraggio dell'insetto bersaglio

- **getti e frutti**: a differenza delle trappole, con questo metodo è possibile ottenere informazioni sulla presenza e sul livello di infestazione dell'insetto bersaglio attraverso il monitoraggio dei danni causati a getti e frutti. Il verificarsi di tale presenza è un segnale di allarme che normalmente compare nei casi di popolazione in aumento, anche in assenza di catture nelle trappole di monitoraggio.

E' importante effettuare questi controlli lungo i bordi e al centro degli appezzamenti in confusione, ponendo particolare attenzione nelle zone dove si sono verificati danni di una certa entità nella stagione precedente, in appezzamenti piccoli (sotto i due ettari), in aree ventose (> 2 m/s), per le varietà tardive.

In letteratura esistono pochi studi sulle soglie di intervento riguardanti la confusione sessuale. Per il pesco si può pensare ad una soglia di intervento molto conservativa, dell'1÷2% dei getti colpiti dalla prima generazione. Per il melo si adotta la percentuale dell'1% di frutti bacati registrati nella stagione precedente come soglia per decidere di effettuare un trattamento abbattente larvicida nella stagione in corso.

Nel corso della stagione, in relazione all'andamento dei voli dell'insetto, è utile effettuare una serie di controlli su 1000 frutti per ogni ettaro di frutteto. La soglia di intervento varia da 0,3 a 0,8% di perforazioni fresche, in relazione anche al periodo dell'anno (da giugno ad agosto).

Per la vite si considera una soglia di intervento, sulla seconda generazione, pari al 5% dei grappoli colpiti dalle larve della prima generazione.

In caso di superamento delle soglie di intervento è necessario procedere con un trattamento abbattente. Le tradizionali tecniche di difesa prevedono l'impiego di insetticidi chimici chitinoinibitori, regolatori della crescita e ad azione neurotossica contro le larve di seconda e terza generazione (Scannavini *et al.*, 2005; Scannavini *et al.*, 2010) e di prodotti microbiologici a base di *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* e *aizawai* (Moiraghi *et al.*, 2004).

I principi attivi da preferire sono quelli a minore impatto ambientale, soprattutto in relazione agli effetti sugli insetti utili.

Può risultare utile, in caso di ridotta efficacia della confusione sessuale dovuta ad una elevata pressione dell'insetto, verificata con il monitoraggio delle trappole e dei getti, effettuare un trattamento abbattente sulla prima generazione.

L'utilizzo della confusione sessuale permette inoltre di ridurre i fenomeni di resistenza o di riduzione di efficacia dei trattamenti insetticidi che si possono verificare per alcuni insetti come, ad esempio, *Cydia pomonella*. Questo perché, combinando l'uso della confusione con i trattamenti insetticidi, si riescono a colpire quegli insetti sui quali gli insetticidi presentano una riduzione di efficacia.

Nel corso degli anni l'utilizzo continuativo della confusione sessuale, se applicata su ampie aree, determina una diminuzione delle popolazioni dell'insetto bersaglio e del numero di trattamenti abbattenti necessari per il loro contenimento.

### **1.9 Modelli previsionali di sviluppo fenologico**

I modelli maggiormente impiegati nella difesa fitosanitaria dagli insetti dannosi sono quelli di tipo fenologico. La crescita degli insetti è un meccanismo complesso, risultante dall'interazione di fattori interni quali l'alimentazione e la variabilità genetica, e di fattori esterni come l'umidità, la radiazione luminosa e la temperatura.

Nella maggior parte dei modelli fenologici del settore entomologico viene considerata quasi esclusivamente la temperatura come fattore predominante per la crescita. Gli insetti sono animali a sangue freddo. Questo significa che mantengono all'interno del proprio corpo una temperatura simile a quella dell'ambiente circostante, pertanto risentono fortemente delle variazioni termiche ambientali, le quali condizionano il loro sviluppo rallentandolo o accelerandolo. Tale caratteristica è inoltre comune anche alle piante e ciò determina uno stretto legame tra lo sviluppo dell'ospite e quello del fitofago.

Per la maggior parte dei fitofagi che attaccano le colture del nostro territorio temperature inferiori ai 10°C bloccano lo sviluppo. Temperature superiori fanno procedere lo sviluppo sempre più rapidamente per poi rallentare intorno ai 30°C, fino a bloccarlo nuovamente in corrispondenza della temperatura letale. Questa risposta varia da stadio a stadio (uovo, larva, pupa e adulto) e da specie a specie e può essere determinata con precisione attraverso opportune indagini in laboratorio.

Fino a pochi anni fa la risposta degli insetti alla temperatura veniva rappresentata da modelli lineari basati sulle sommatorie dei gradi-giorno in quanto si immaginava che, entro certi limiti, la velocità di sviluppo fosse direttamente e linearmente proporzionale alla temperatura. Ricerche più precise hanno mostrato invece che in prossimità delle temperature limite inferiore e superiore la risposta non è più lineare. Per questo motivo vengono sempre più impiegati modelli non lineari.

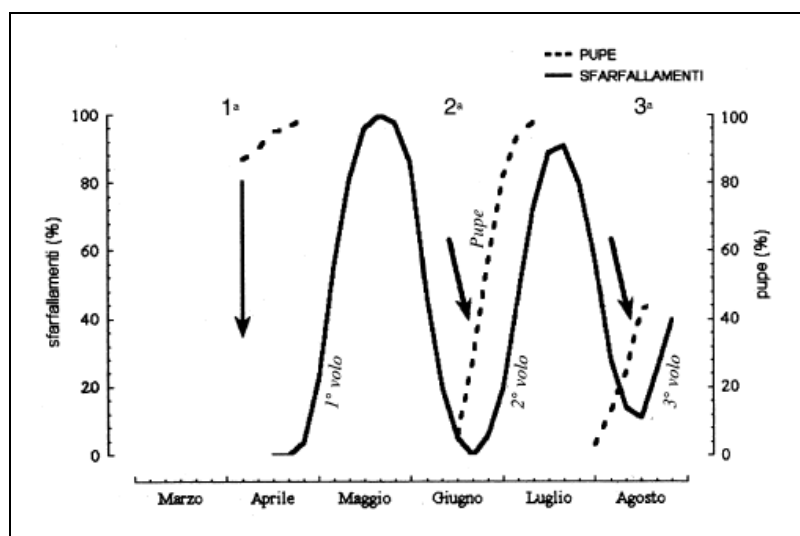
Nella messa a punto dei modelli fenologici possono essere considerati altri elementi importanti che condizionano lo sviluppo delle popolazioni dei fitofagi, come ad esempio la dispersione intorno a un valore medio della risposta dell'insetto alla temperatura, dovuta principalmente alla variabilità individuale e al microclima e responsabile del sovrapporsi delle generazioni nelle specie che svolgono parecchie generazioni l'anno. Anche il fotoperiodo influenza lo sviluppo dell'insetto, poiché in molte specie determina l'entrata in diapausa di una parte degli individui fin dai primi mesi estivi.

I modelli di sviluppo fenologico più diffusi sono i **modelli di sviluppo “a ritardo variabile” (MRV)**. Tali modelli sono in grado di simulare lo sviluppo di una popolazione di insetti descrivendo il passaggio degli individui attraverso le varie fasi fenologiche unicamente sulla base delle temperature rilevate in campo.

Questi modelli riproducono un processo di tipo stocastico in cui i tempi di sviluppo di ogni singolo stadio sono caratterizzati da un valore medio e da una varianza. Gli individui di una popolazione, infatti, passano attraverso le stesse fasi in tempi diversi principalmente a causa della variabilità genetica e microclimatica.

Questi modelli sono in grado di descrivere la distribuzione in classi d'età e la variabilità genetica di una popolazione, indicando non solo quando si verifica mediamente un dato evento fenologico ma la sua intera distribuzione nel tempo.

Una volta messo a punto un modello fenologico è in grado di fare previsioni, per zone climatiche omogenee, sull'andamento dei diversi stadi dell'insetto e di indicare il momento migliore per intervenire con i trattamenti ovidici, larvicidi o insetticidi o quello in cui applicare i diffusori di feromone all'interno dell'area da proteggere.



**Figura 1.14** - esempio di previsione di un modello di sviluppo fenologico

Il modello fenologico non è però in grado di indicare se, nel singolo appezzamento, la densità dell'insetto è tale da rendere necessario un intervento. Per arrivare a questo risultato occorrerebbe disporre di **modelli di tipo demografico** in grado di prevedere anche le variazioni del numero di individui della specie monitorata.

Per avere una stima quantitativa della popolazione di insetti presente si devono conoscere tutte le principali cause di mortalità: l'influenza delle condizioni climatiche avverse, l'attività dei predatori naturali, le malattie (virus, batteri, protozoi), le migrazioni degli insetti da e verso gli ambienti circostanti e non ultimo i trattamenti fitosanitari. Per questo i modelli demografici sono molto complessi e molteplici sono gli approcci metodologici seguiti dai ricercatori.

Se da un lato i modelli demografici hanno una notevole importanza scientifica in quanto rappresentano un valido strumento di analisi delle interazioni tra le diverse componenti dell'ecosistema naturale, un loro impiego nella pratica agricola è molto oneroso e anche di difficile gestione.

Le trappole sessuali attualmente disponibili per un grande numero di specie d'importanza agraria costituiscono un modo semplice ed economico per misurare le popolazioni di insetti, anche se non per tutte le specie esiste una diretta proporzionalità fra le catture di individui e l'intensità dell'infestazione che si manifesta in campo.



# ***Capitolo 2.***

## ***I principali insetti bersaglio***

## **Le tignole della vite: *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella***

### **La tignoletta della vite: *Lobesia botrana***

La tignoletta della vite (*Lobesia botrana*, Den. & Schiff.), anche detta verme dell'uva, Eudemide o, in dialetto piemontese, “camurot”, è un Lepidottero appartenente alla famiglia dei Tortricidi descritto per la prima volta in Austria da Denis e Schiffermüller nel 1776.

La classificazione tassonomica dell'insetto è la seguente:

Ordine: Lepidoptera

Sottordine: Heteroneura

Sezione: Dytrisia

Superfamiglia: Tortricoidea

Famiglia: Tortricidae

Sottofamiglia: Tortricinae

Genere: *Lobesia*

Specie: *botrana*

### **2.1 Descrizione dell'insetto**

L'adulto, di dimensione variabile tra gli 8 e gli 11 mm di apertura alare, presenta una lunghezza a riposo di 6-7 mm.

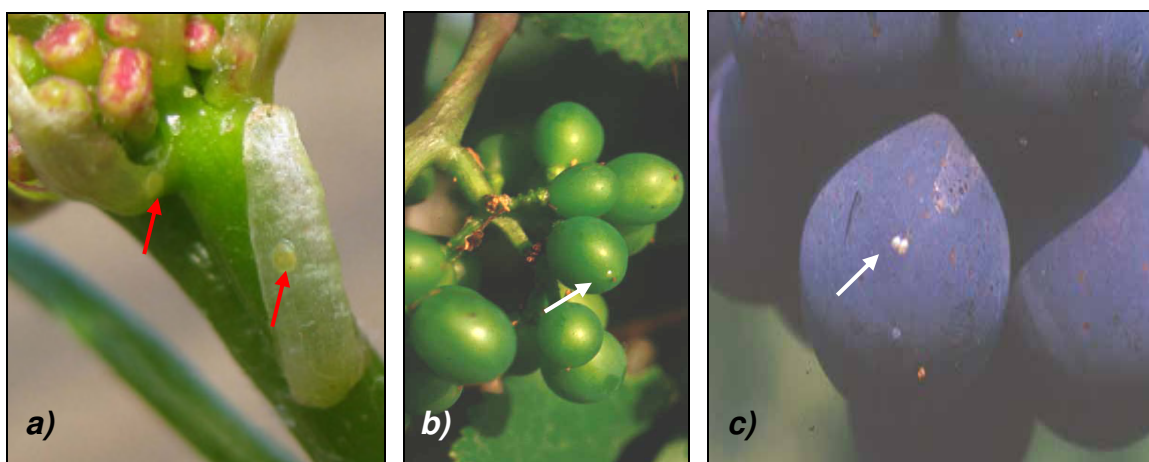


**Figura 2.1** - adulto di *Lobesia botrana*

Le ali anteriori sono grigiastre variegata di giallo brunastro, con qualche lieve sfumatura azzurrognola negli esemplari più intensamente colorati. Tra le varie macchie sulle ali, la più vistosa parte dal bordo costale e si restringe verso quello anale. Le tibie sono chiare e munite di spine apicali.

Gli adulti sono facilmente riconoscibili a vista e la determinazione sessuale non costringe ad analisi dei genitali. Il dimorfismo sessuale non è marcato: i maschi, come per buona parte dei lepidotteri, hanno l'addome più sottile e terminante a punta, mentre nelle femmine l'addome si presenta con una cavità in corrispondenza dell'ovopositore.

Le uova, di forma di forma leggermente ellittica (0,6-0,9 x 0,4-0,7 mm), vengono deposte singolarmente e non in gruppi in prevalenza sui bottoni fiorali o sugli acini, meno frequentemente su bratteole, pedicelli o rachidi. Le uova hanno dapprima colore bianco giallastro, poi imbruniscono da una parte nello stadio di “testa nera” e infine imbruniscono completamente prima della schiusa.



**Figura 2.2** - uova di *Lobesia botrana*: **a)** I, **b)** II e **c)** III generazione

Le larve, che alla nascita hanno una lunghezza di circa 1 mm, raggiungono di solito i 9-10 mm, passando da un colore biancastro con capo scuro del primo stadio, a nocciola scuro ocraceo fino ad un verde brunastro con capo leggermente più chiaro degli stadi più avanzati.

Le pseudozampe addominali e anali sono munite di uncini rispettivamente in numero di 35 e 25. Il pettine anale può avere anche 8 denti.



**Figura 2.3** - larve di *Lobesia botrana*: a) I, b) II e c) III generazione

Le crisalidi hanno colorazione verdastra prima, bruna dopo qualche giorno e dimensioni normalmente maggiori per le femmine, comprese fra i 4 i 6 mm di lunghezza. Il cono anale presenta una terminazione a forma di ventaglio chiamata cremaster con 4 setole dorsali e 4 medio-dorsali che distingue *Lobesia botrana* da *Eupoecilia ambiguella*.

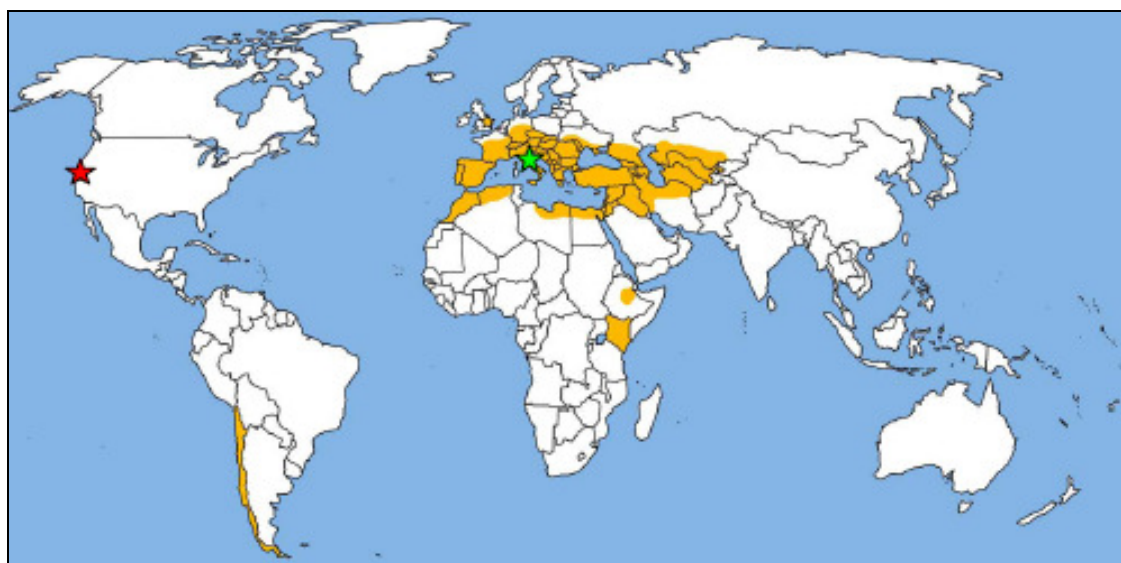


**Figura 2.4** - crisalide di *Lobesia botrana*

## **2.2 Distribuzione**

La tignoletta della vite è una delle principali avversità della vite in Europa, nel Sud della Russia, in Giappone, nel Medio-Oriente, nel Nord e nell'Est Africa. In Europa la tignoletta si è propagata sulla vite dalla metà del 1800. E' stata segnalata per la prima volta come avversità della vite in Austria nel 1800, dopo ventiquattro anni dalla

sua descrizione. Da questo momento la sua diffusione in tutti i vigneti europei è stata progressiva. Nel 1854 la specie è segnalata in Germania, nel 1865 in Russia, nel 1869 in Ungheria, nel 1880 in Svizzera e nel 1908 in Lussemburgo. In Francia la specie è stata rinvenuta per la prima volta nel 1890 nel Dipartimento delle Alpi Marittime e un anno più tardi nel Sud della Spagna. La sua progressiva diffusione in tutti i vigneti dell'Europa è coincisa con l'aumento del commercio dell'uva e con l'applicazione delle moderne tecniche di viticoltura dopo la crisi causata dalla fillossera. Nel 1942 Silvestri rileva che in Italia l'intensità dei danni è molto variabile e saltuaria, avendosi un'infestazione grave in qualche regione a intervalli abbastanza lunghi e in altre con maggiore frequenza, a differenza della Francia e d'altri paesi dove la grande estensione e specializzazione della coltura della vite hanno favorito la moltiplicazione della tignoletta. Inoltre la pratica agraria di tenere i vigneti specializzati senza colture erbacee e con terreno pulito da tutte le piante spontanee è stata la causa della moltiplicazione poco ostacolata di *Lobesia botrana*.



**Figura 2.5** - areale di distribuzione di *Lobesia botrana*

### **2.3 Piante ospiti**

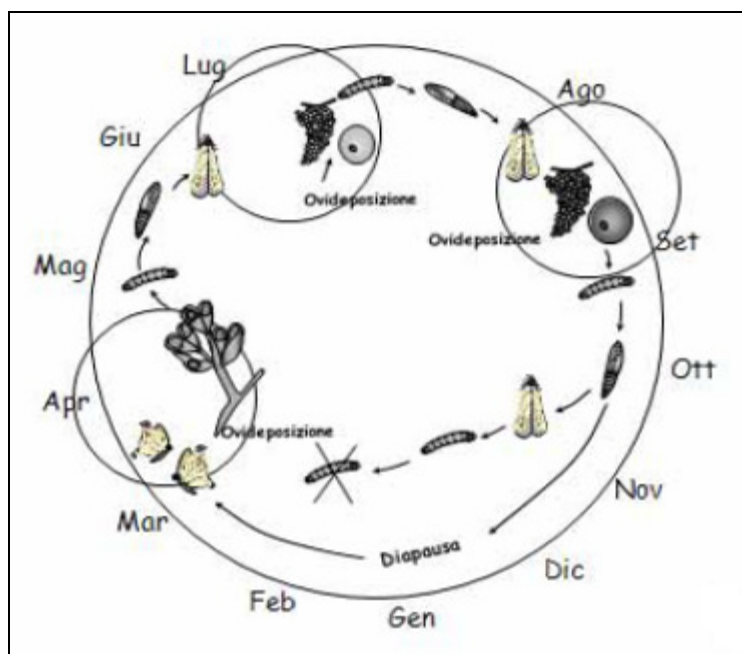
*Lobesia botrana* è capace di completare il proprio sviluppo su un gran numero di specie vegetali, sia spontanee sia coltivate, in virtù dell'elevata polifagia.

In letteratura sono citate svariate piante come possibili ospiti della tignoletta, appartenenti a 27 diverse famiglie. *Daphne gnidium* L. è considerata come la possibile pianta ospite originaria di *Lobesia botrana* prima della colonizzazione della vite, anche se non tutti gli autori sono della stessa opinione. Tra le specie coltivate si

segnalano il ribes (*Ribes uva-crispa*), il ribes nero (*Ribes nigrum*), l'olivo (*Olea europaea*), il ciliegio (*Prunus avium*), il susino (*Prunus domestica*), il kaki (*Diospyros cachi*), il melograno (*Punica granatum* L.), il kiwi (*Actinidia chinensis*) e la nettarina (*Prunus persica*). Tra le specie spontanee la clematide (*Clematis vitalba*), il rosmarino (*Rosmarinus officinale*) e il tarassaco (*Taraxacum officinale*).

## 2.4 Ciclo biologico

Nei nostri ambienti la tignoletta della vite evolve di norma con tre generazioni l'anno. Normalmente il picco di sfarfallamento della prima generazione si osserva nella prima decade di maggio, con massime presenze con il raggiungimento di 140 gradi-giorno (parametro rappresentante la sommatoria dei valori di temperatura media giornaliera che dall'inizio dell'anno superano il limite biologico di 10°C), anche se una parte degli sfarfallamenti è scalare e continua per tutto il mese. Il picco della seconda generazione si verifica di regola a 7-10 giorni dal principio delle catture che si hanno nella prima decade di luglio. Le femmine depongono in media 40-60 uova, disposte separatamente sugli acini, e le larve si schiudono dopo 4-7 giorni di sviluppo embrionale. Dai primi di agosto alla metà di settembre avviene il terzo volo dell'annata.



**Figura 2.6** - ciclo biologico di *Lobesia botrana*

### **2.4.1 Primo volo**

*Lobesia botrana* sverna sotto forma di crisalidi (maschio 4-7 mm; femmina 5-9 mm). Queste si localizzano preferibilmente nella corteccia dei ceppi e nelle varietà allevate a spalliera nel cordone fruttifero. La temperatura media di fine inverno e inizio primavera sembra avere un ruolo ben definito nel meccanismo d'inibizione della diapausa. L'inizio del primo volo si ha nei nostri ambienti da metà aprile, con una proterandria (anticipo dei maschi rispetto alle femmine) di alcuni giorni, e si prolunga per 4-6 settimane.

Gli adulti (10-13 mm d'apertura alare e 6-8 mm di lunghezza) hanno un'attività massima al crepuscolo, ma si può rilevare una certa attività all'alba o nei giorni nuvolosi. L'adulto è molto agile e può compiere voli a distanze anche di alcuni chilometri, ma la maggioranza delle farfalle vola nel raggio di 100 metri. Le femmine si accoppiano generalmente una sola volta, anche se alcuni fattori ambientali, come ad esempio l'alimentazione delle larve, possono favorire accoppiamenti multipli. Al contrario, i maschi nel corso della loro vita si possono accoppiare più volte.

La femmina, dopo 1-3 giorni dall'accoppiamento, secondo la temperatura, inizia l'ovideposizione. Una volta deposto, l'uovo rimane aderente al substrato per l'azione di un prodotto, secreto da una particolare ghiandola, che si solidifica al contatto con l'aria. Le uova sono deposte dalle femmine in maniera isolata e più raramente in piccoli gruppi di 2-3 elementi sulla corolla di fiori ancora chiusi, sulle brattee e, raramente, sul rachide delle infiorescenze. Lo sviluppo embrionale dalla deposizione dell'uovo alla sua schiusa passa attraverso 5 fasi. Dopo un tempo d'incubazione di circa 6 giorni, variabile in funzione della temperatura, la larva perfora l'uovo con la mandibola da uno dei due poli, abbandonando, senza ingerirlo, il corion lacerato, che resta aderente al substrato. La larva neonata, avente una lunghezza di circa 1 mm, con capsula cefalica e scudo protoracico quasi neri, dopo un periodo di vagabondaggio di circa 24 ore, variabile in funzione dell'insolazione e della temperatura, cerca un luogo adatto per l'insediamento. Il processo dispersivo si attua mediante l'uso del filo di seta, caratteristica che la differenzia dal punto di vista etologico da *Eupoecilia ambiguella*, e per locomozione sopra il substrato, ed è influenzato dalla densità larvale. La larva di primo stadio comincia la perforazione del bottone fiorale corrodendone un petalo in un punto vicino al calice e penetrando nel boccio. Le larve si nutrono nel boccio, divorando l'ovario e gli stami, poi, tornando per l'apertura da cui sono entrate, fuoriescono del tutto o in parte, attaccando un boccio contiguo e unendolo con un filo di seta. Man mano che la larva si sviluppa costruisce una sorta di glomerulo, composto anche da 6-8 bottoni fiorali, al cui interno completa lo sviluppo. Una larva può formare anche 2-3 glomeruli nel corso della sua vita.



Lo sviluppo larvale avviene attraverso cinque stadi. La larva abbandona le infiorescenze per incrisalidarsi, preferibilmente sopra le foglie. La durata della fase larvale è di 30-40 giorni e lo stadio di crisalide di 10-12 giorni; il numero di uova deposto per ogni femmina in questa generazione oscilla tra le 40-50 e le 70-80.

#### **2.4.2 Secondo volo**

Alla metà di giugno sfarfallano i primi adulti del secondo volo. Le femmine depongono le uova sopra gli acini verdi generalmente nelle zone più ombreggiate del grappolo. Le larve neonate presentano lo stesso comportamento erratico di quelle della prima generazione e, trovato un luogo idoneo, penetrano nell'acino, iniziando l'erosione vicino all'inserzione peduncolare o nel punto di contatto tra due acini. La larva durante il suo sviluppo danneggia mediamente 5-7 acini. La durata della fase larvale è di 20-30 giorni e lo stadio di crisalide di 8-10 giorni. Il numero di uova deposto per ogni femmina in questa generazione oscilla tra le 70-90 e le 80-90.

Le larve di seconda generazione, raggiunta la maturità, cercano un riparo sotto il ritidoma del ceppo, nelle screpolature dei pali tutori in legno o in altri ricoveri, dove incrisalidano all'interno di un bozzolo di seta. La diapausa invernale interessa già alcune larve mature nella seconda quindicina di agosto e tutte le larve sviluppate in settembre. Essa è stimolata, già allo stadio di uovo e di larva di prima età, dalla riduzione del fotoperiodo, inferiore alle 15 ore di luce, mentre viene poco influenzata dalla temperatura.

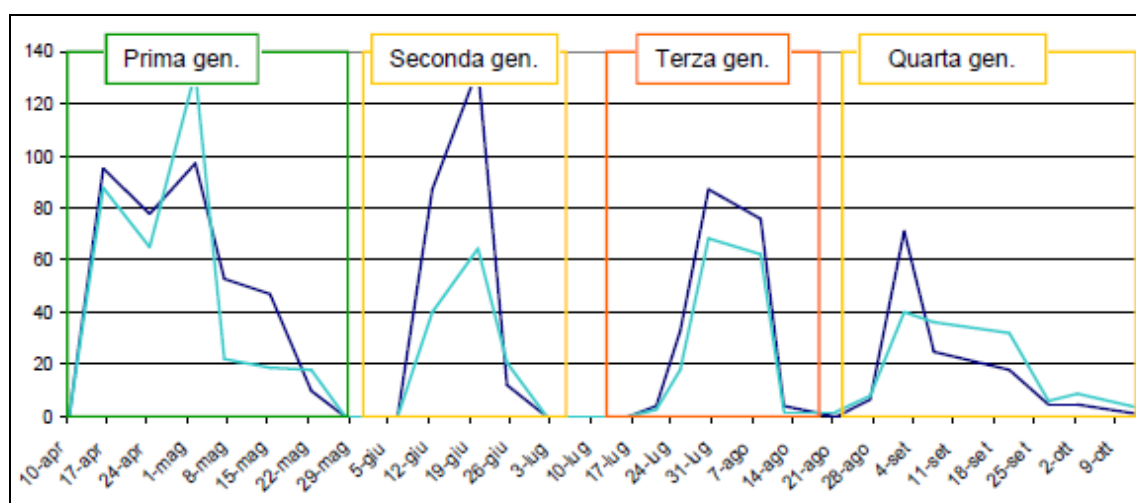
#### **2.4.3 Terzo volo**

Il terzo volo inizia, normalmente, ai primi d'agosto e si prolunga per tutto il mese. L'ovideposizione avviene sopra gli acini in via di maturazione. Le larve si sviluppano nei mesi di agosto e settembre. Il comportamento della larva è simile a quello della seconda generazione, salvo che gli acini, essendo più acquosi, favoriscono la penetrazione delle larve specialmente quelle di prima età, aumentando così il numero di acini colpiti, che oscillano mediamente tra i 10 e i 20. Una volta raggiunta la maturità, la larva con la diapausa indotta cerca un luogo adatto per la trasformazione in ninfa. Il numero di uova deposto mediamente per ogni femmina in questa generazione è di 140.

#### **2.4.4 Quarto volo**

E' stato osservato come in condizioni climatiche favorevoli la tignola della vite possa compiere un quarto volo (Marchesini e Dalla Montà, 2004).





**Figura 2.7** - voli di *Lobesia botrana* monitorati con trappole sessuali a feromoni in due differenti località

## **La tignola della vite: *Eupoecilia ambiguella***

La tignola della vite (*Eupoecilia ambiguella*, Hubner) è, al pari di *Lobesia botrana*, un Lepidottero appartenente alla famiglia dei Tortricidi.

La classificazione tassonomica dell'insetto è la seguente:

Ordine: Lepidoptera

Sottordine: Heteroneura

Sezione: Dytrisia

Superfamiglia: Tortricoidea

Famiglia: Tortricidae

Sottofamiglia: Tortricinae

Genere: *Eupoecilia*

Specie: *ambiguella*

### **2.5 Descrizione dell'insetto**

L'adulto, di dimensione variabile tra i 12 e i 15 mm di apertura alare, è facilmente riconoscibile per la presenza, sulle ali anteriori di color giallo paglierino, di una larga banda trasversale bruna. Le ali posteriori sono grigio scuro.



**Figura 2.8** - adulto di *Eupoecilia ambiguella*

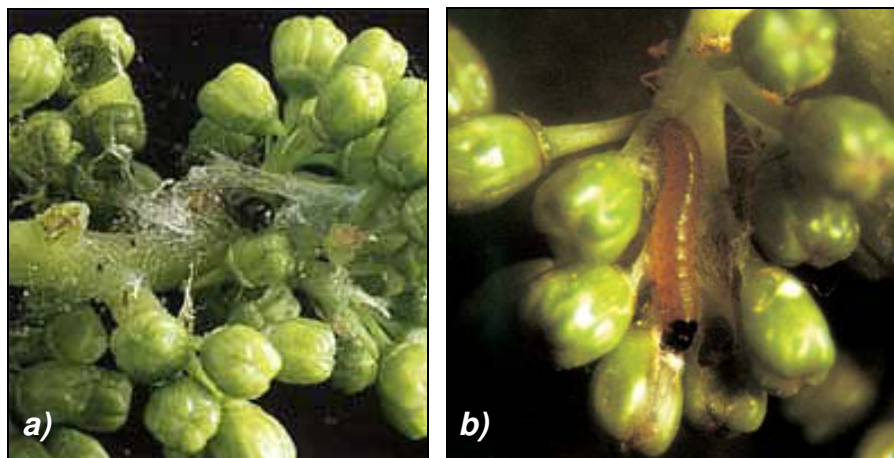
Le uova sono leggermente più grandi e più ellittiche di quelle di *Lobesia botrana* e hanno un diametro variabile da 0,6 a 0,9 mm. Il colore delle uova di *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella* è lo stesso alla deposizione, mentre con lo sviluppo le uova

di *Eupoecilia ambiguella* si caratterizzano per la presenza di punti e macchiette di colore arancione vivo o color ruggine.



**Figura 2.9** - uova di *Eupoecilia ambiguella* di II generazione

Le larve alla nascita non sono distinguibili a occhio da quelle di *Lobesia botrana*. Le giovani larve sono di color grigiastro, mentre quelle mature, aventi una lunghezza compresa fra i 10 e i 12 mm, sono di colore rossastro piuttosto scuro, fino a nocciola-verdastro con aree setifere più scure, con capo e scuto protoracico e talvolta anche quello anale brunastri. Le pseudo zampe addominali ed anali presentano uncini.



**Figura 2.10** - **a)** grappolo prima della fioritura con nido larvale e **b)** larva di *Eupoecilia ambiguella* di I generazione

Le crisalidi hanno dimensioni comprese fra i 5 e i 6 mm, sono caratterizzate da una colorazione bruno-rossastra e sono munite di 16 setole complessive.

## **2.6 Distribuzione**

La tignola della vite presenta una distribuzione geografica più ampia di quella della tignoletta, spingendosi più a nord, oltre l'areale della vite, senza però raggiungere i paesi più settentrionali. Il suo areale di distribuzione comprende anche le regioni indo-orientali, ma non include il Nord Africa.

In Italia è presente su tutto il territorio nazionale, ma la sua presenza è significativa solamente in alcune aree viticole dell'Italia settentrionale, in particolare in regioni quali la Lombardia e il Veneto. Nei vigneti dell'Italia centro-meridionale può mancare del tutto ed essere presente solo in microclimi montani e collinari. Nel complesso, comunque, anche in aree ad essa favorevoli, la distribuzione della specie è piuttosto puntiforme.

## **2.7 Piante ospiti**

*Eupoecilia ambiguella* è una specie ampiamente polifaga su piante erbacee e arboree. Molte delle piante ospiti sono le stesse di *Lobesia botrana*. Tra le Oleacee si segnalano anche i generi *Ligustrum* e *Syringa*, ma non l'olivo. Al di fuori dell'areale della vite *Eupoecilia ambiguella* viene ritrovata comunemente in presenza di specie vegetali appartenenti a generi caratterizzati da frutti a bacca quali *Frangula*, *Hedera*, *Lonicera* e *Ribes*.

## **2.8 Ciclo biologico**

Nei nostri ambienti la tignola della vite evolve di norma con due generazioni l'anno. Così come *Lobesia botrana*, anche *Eupoecilia ambiguella* sverna come crisalide, di solito riparata in un piccolo bozzolo al di sotto della corteccia della vite.

### **2.8.1 Primo volo**

Il primo volo ha luogo generalmente in maggio ma è possibile, in condizioni meteorologiche particolarmente calde, un anticipo al mese di aprile o talvolta addirittura al mese di marzo.

Questo volo dura circa un mese e raramente termina oltre la prima quindicina di giugno. Le uova sono deposte sui boccioli fiorali o su altre parti dell'infiorescenza dopo circa una settimana dall'accoppiamento. Le larve appena nate si comportano come quelle di *Lobesia botrana*, ma con voracità apparentemente maggiore, potendo una sola larva compromettere anche 50-60 fiori. Nei nidi o nei glomeruli le larve riescono a confezionare una sorta di astuccio, che pare manchi nella tignoletta, e

sono in grado, giunte a maturità, di trasportarlo con sé in altri punti della stessa infiorescenza o del grappolo in formazione per trasformarlo in un bozzoletto.

Nell'Italia settentrionale l'incrisalidamento comincia ad avvenire al termine di circa un mese di sviluppo larvale, nella seconda metà di giugno. Lo stadio di crisalide dura poco più di una settimana.

### **2.8.2 Secondo volo**

Il secondo volo dell'anno si registra di norma dalla fine di giugno in poi e continua per quasi tutto il mese di luglio, con una punta nella prima quindicina del mese, raramente nella seconda. Gli adulti di questa generazione sembra depongano un numero di uova inferiore a quello della generazione precedente, in media una trentina di uova per femmina. Le uova vengono deposte tutte sugli acini. Dopo un periodo di incubazione che può durare appena tre giorni si sviluppano le larve che penetrano all'interno degli acini stessi, i quali in questo periodo presentano un diametro di circa 5-6 mm, spostandosi poi su altri acini e legandoli con tele più compatte di quelle costruite da *Lobesia botrana*, fino anche ad una ventina di acini per larva. La durata dello sviluppo larvale è maggiore in questa generazione che nella precedente, e ciò sembra dovuto soprattutto alla durata dell'ultimo stadio larvale, il quinto, che può raggiungere anche i 20 giorni, e al tempo piuttosto alto che le larve mature impiegano per cercarsi un riparo sul tronco e costruirsi il bozzoletto. Nell'Italia settentrionale l'incrisalidamento inizia nella prima quindicina di ottobre. Lo stadio di crisalide dura fino alla primavera successiva.

### **2.8.3 Terzo volo**

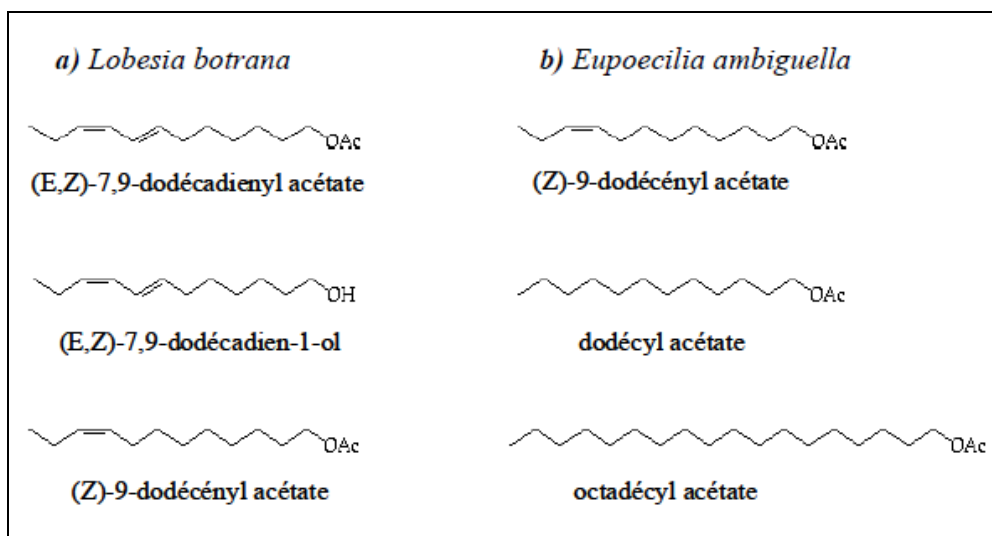
Esiste la possibilità di un terzo volo dovuto allo sfarfallamento di adulti derivanti da qualche crisalide formatasi già a fine agosto, ma ciò accade poco comunemente.

## **2.9 Feromoni sessuali**

Con il termine grapamone si indica il principale feromone sessuale di *Lobesia botrana*, (E,Z)-7-9 dodecadienyl acetato, estere dell'acido acetico con alcol a lunga catena a 12 atomi di carbonio con due doppi legami alternati a configurazione opposta. Sono stati individuati e isolati altri due feromoni sessuali di *Lobesia botrana*, (E,Z)-7,9 dodecadien-1-ol e (Z)-9 dodecenyl acetato.

Il feromone sessuale principale di *Eupoecilia ambiguella* è lo (Z)-9 dodecenyl acetato, che è anche uno dei feromoni sessuali di *Lobesia botrana*, estere dell'acido acetico con alcol a lunga catena a 12 atomi di carbonio con un unico doppio legame.

Sono stati individuati e isolati altri due feromoni sessuali di *Eupoecilia ambiguella*, il dodecyl acetato e l'octadecyl acetato.



**Figura 2.11** - struttura chimica dei feromoni sessuali di **a)** *Lobesia botrana* e **b)** *Eupoecilia ambiguella*

## 2.10 Dinamica di popolazione

La dinamica di popolazione è regolata dall'azione combinata di fattori biotici e abiotici. Difficile è distinguere e valutare il peso degli uni rispetto agli altri nelle differenti condizioni agro-ecologiche. Si può affermare tuttavia che i fattori biotici, rappresentati da predatori, parassitoidi e patogeni, giocano un ruolo significativo nel limitare la densità della popolazione di tignola e tignoletta e nel ridurre considerevolmente i danni arrecati da questi insetti alla vite.

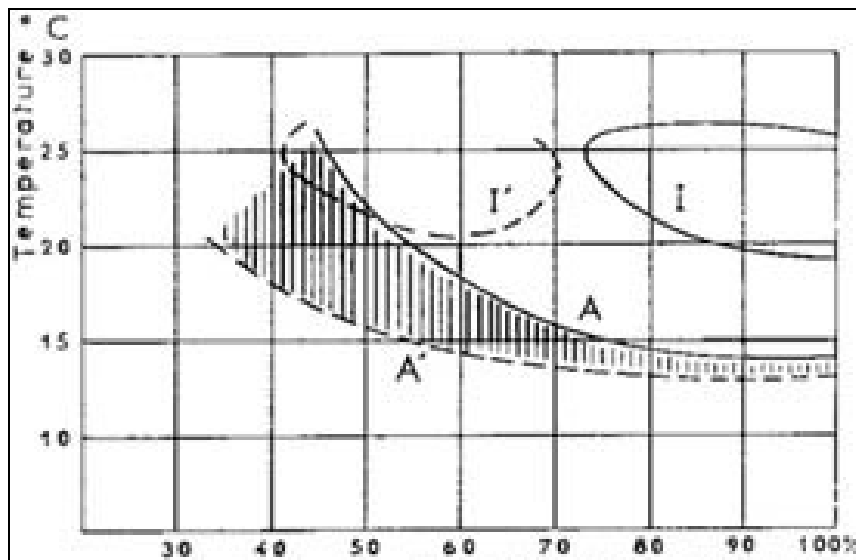
### 2.10.1 Azione dei fattori abiotici

L'umidità relativa dell'aria esercita una forte influenza sull'attività degli adulti di *Lobesia botrana*: il volo è più intenso quando l'umidità relativa varia fra il 40% e il 70%. Questo caratterizza il differente comportamento di *Lobesia botrana* e di *Eupoecilia ambiguella* nei confronti dei fattori climatici.

La longevità delle femmine di *Lobesia botrana* è strettamente correlata con le condizioni ambientali, tuttavia la maggior parte delle uova sono deposte nella prima settimana. Studi sull'influenza della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria sullo sviluppo embrionale dell'uovo di *Lobesia botrana* hanno rilevato che la soglia termica,

per lo sviluppo embrionale, si colloca a circa 9°C, mentre la schiusa esige una temperatura leggermente superiore.

Mentre a temperature medie il tasso di mortalità di *Lobesia botrana* è basso anche entro ampie oscillazioni di umidità relativa, al di sopra di 22°C e al di sotto di 18°C la mortalità è elevata con umidità relativa ridotta.



**Figura 2.12** - ecoclimatogramma temperatura-umidità delle esigenze ecologiche degli adulti di *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella* (**A**: limite della zona di attività degli adulti di *Eupoecilia ambiguella*; **A'**: limite della zona di attività degli adulti di *Lobesia botrana*; **I**: zona di attività e massima ovideposizione di *Eupoecilia ambiguella*; **I'**: zona di attività e massima ovideposizione di *Lobesia botrana*)

Tra i fattori abiotici limitanti lo sviluppo di *Eupoecilia ambiguella* sono da ricordare le condizioni termo-igrometriche che regolano l'attività degli adulti. I valori ottimali di temperatura e di umidità relativa sono compresi rispettivamente tra i 22 e i 25°C e tra il 70 e il 100%. Poco al di sopra dei 30°C si registrano elevate mortalità degli adulti, anche in condizioni di umidità elevata.

Inoltre notevole importanza sembrano esercitare le escursioni termiche del mese di marzo nella fase finale di sviluppo delle crisalidi. In questo mese, infatti, gli sbalzi di temperatura, se superiori ai 20°C, causerebbero cali notevoli di popolazione, paragonabili a quelli prodotti da un mese di luglio caldo e asciutto.

### **2.10.2 Azione dei fattori biotici**

I fattori biotici sono stati oggetto di numerosi studi volti a valutare la loro reale azione di contenimento e la possibilità di una loro utilizzazione nella pratiche di campo. Fra essi sono principalmente da considerare i microrganismi patogeni, i predatori e i parassiti. Il ruolo dei predatori generici sembra importante, anche se difficile da valutare. Si tratta, nella maggior parte dei casi, di parassiti primari endofagi polifagi. Lo stadio vitale maggiormente interessato dalla parassitizzazione è quello di crisalide svernante e può raggiungere il 90% in vigneti sufficientemente equilibrati, dove l'uso di fitofarmaci è oculato. Un alto tasso di parassitizzazione invernale può significare un ridotto attacco di prima generazione.

Le larve delle tignolette della vite sono predate da Aracnidi, Dermatteri, Neurotteri Crisopidi, Ditteri Sirfidi e Imenotteri. Larve e crisalidi possono ancora essere attaccate da funghi entomopatogeni quali *Vertidihium spp.* e *Poediomyces spp.*, nonché da virus della poliedrosi citoplasmatica.

Tra i nemici naturali il ruolo più importante è occupato dai parassitoidi, dei quali sono state identificate più di 30 specie, attive soprattutto su larve e crisalidi della terza generazione. Tra i parassitoidi viene segnalata l'attività di Imenotteri Calcidoidei (Eulofidi, Pteromalidi, Tricogrammatidi), Braconidi ed Icneumonidi (*Pimpla contemptor*) e Ditteri Tanichidi (*Phytomyptera nigrina*). Gli Icneumonidi (in particolare *Dicaelotus inflerus*, *Campoplex capitator* e *C. capita* Aub.) sembrano avere un'importanza superiore rispetto a quella degli altri parassitoidi. A fine inverno possono essere raggiunte elevate percentuali di parassitizzazione ed alcuni di essi sono ritenuti interessanti per i programmi di lotta biologica.

L'azione letale dei parassitoidi si combina con quella dei predatori e dei patogeni quali funghi, protozoi e virus, in grado di creare epidemie mortali sugli stadi giovanili. Questo aspetto è evidente soprattutto nei vigneti non trattati con insetticidi di sintesi ma, pur giocando un ruolo importante nel controllo biologico delle tignole, parassitoidi, predatori e patogeni non sono in grado di limitare le popolazioni di *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella* in modo significativo.

### **2.11 Danni alle colture**

I danni procurati all'uva dalle tignole della vite sono del tutto simili, per cui non è possibile distinguerli se non dopo il reperimento delle rispettive larve o adulti.

In prima generazione, per valutare il danno causato dall'insetto sulla produzione vengono utilizzati diversi metodi, tra cui l'asportazione diretta del fiore o degli acini.



Nella maggior parte dei vigneti i danni della prima generazione, anche se evidenti, non comportano una diminuzione della produzione: la perdita di alcuni fiori viene compensata da uno sviluppo maggiore degli acini circostanti. Se si eccettuano le varietà con infiorescenze molto piccole e se si escludono alcune regioni del Nord, dove il clima favorisce gli attacchi precoci di botrite, non è quasi mai necessario intervenire in prima generazione. Nei diversi paesi, secondo le situazioni, la soglia d'intervento oscilla da 10 a 100 larve ogni 100 infiorescenze. Nelle generazioni estive, con attacchi bassi o medi le perdite possono essere considerate poco importanti se valutate in peso, ma la qualità delle uve può peggiorare fortemente per la comparsa di diverse malattie fungine dovute a specie fungine appartenenti ai generi *Botrytis*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Cladosporium* e *Penicillium*, tra cui *Botrytis cinerea* (più comunemente detta muffa grigia) è la più importante. Anche se la botrite ha la capacità di penetrare direttamente nei tessuti vegetali, il suo sviluppo è fortemente favorito dagli attacchi dell'insetto. Le larve possono trasportare i conidi del fungo sopra il corpo e nell'intestino, dove il fungo non viene disattivato. Così le larve disseminano le spore sia con i loro movimenti sia con gli escrementi, che costituiscono una base nutritiva adeguata per la germinazione del fungo.

In seconda generazione gli acini immaturi sono meno sensibili allo sviluppo di *B. cinerea*, frenandone lo sviluppo. Il fungo può permanere allo stato latente sugli acini ancora verdi.

La terza generazione larvale coincide con i grappoli in via di maturazione. Negli acini si registra una diminuzione dell'acidità e un aumento della concentrazione di zucchero, fattori che favoriscono l'attacco del fungo. Le soglie di danno per le generazioni estive sono più restrittive, variando da 2 a 20 larve ogni 100 grappoli.





**Figura 2.13** - danni di **a) I**, **b) II** e **c) III** generazione, con sviluppo di muffa grigia

## **2.12 Metodi di lotta**

La lotta contro le tignole della vite può essere effettuata con tecniche di lotta guidata che si basano sul monitoraggio eseguito con l'uso di trappole sessuali, oppure con tecniche di campionamento. Il campionamento randomizzato su un centinaio di grappoli deve essere eseguito nelle epoche che corrispondono alle tre generazioni e deve essere ripetuto un paio di volte per determinare l'andamento della generazione e il picco di massima presenza.

Il controllo dei nidi attivi prodotti dalle larve di prima generazione sui grappoli fiorali è il metodo più semplice e sicuro in quanto può essere svolto dal viticoltore con un modesto impegno temporale. Inoltre il livello di infestazione osservato nei grappoli fiorali è predittivo di quale potrà essere il danno provocato dalle larve di seconda generazione.

Le numerose esperienze pratiche concordano nel ritenere la soglia di infestazione del 5-8% sui grappoli fiorali come limite di tolleranza ammesso. Superata tale soglia, la confusione va aiutata con un trattamento insetticida sulle larve della seconda generazione.

Nei confronti delle larve della prima generazione, l'eventuale ricorso ad un intervento chimico può avvenire nella fase dei bottoni fiorali separati con infestazioni medie su almeno il 35-40% dei grappoli per le varietà da vino con grappolo spargolo o per varietà sensibili, e di 50% per quelle a grappolo serrato. Difficilmente comunque si raggiungono nelle nostre zone attacchi così massicci per la prima generazione che normalmente viene monitorata quale parametro per la determinazione dell'epoca in cui avranno luogo le generazioni carpofaghe.

Per il volo della seconda generazione i controlli per la determinazione del momento del trattamento e dell'entità dell'attacco avvengono tramite l'utilizzo di trappole sessuali e consistono nel monitorare le catture settimanali, onde determinare il picco di massima presenza. Questo si verifica normalmente con catture di 15-20 maschi per trappola per settimana, ma tale indicazione deve essere supportata dal controllo dei grappoli, per rilevarne la percentuale con uova. Il trattamento va effettuato con presenze di uova su almeno il 3-5% dei grappoli per i vitigni pregiati e suscettibili agli attacchi di *Botrytis cinerea* (Pinot grigio, Pinot bianco, Pinot nero e Chardonnay) e il 5-8% per gli altri.

Al superamento della soglia di intervento è possibile eseguire dei trattamenti a base di insetticidi chimici o biologici. I fosfororganici con debole attività citotropica o a lenta azione (fosalone, tebufenozide e formulazioni microcapsulate di esteri fosforici) vanno applicati alla schiusa delle uova. I fosfororganici ovo-larvicidi e con attività

citotropica possono essere impiegati alla nascita delle larve o alla comparsa dei fori di penetrazione.

Tra gli insetticidi biologici i più utilizzati sono i preparati biologici a base di *Bacillus thuringiensis*, un batterio gram-positivo, aerobio, sporigeno, flagellato, reperibile nei terreni ed in diversi ambienti di tutto il pianeta, scoperto in Giappone nei primi del '900. Il primo formulato fu commercializzato in Francia nel 1938, altri ne seguirono nell'immediato dopoguerra in diversi Paesi. La sottospecie *kurstaki*, quella oggi utilizzata, è stata scoperta nel 1962.

Attualmente gli insetticidi a base di *B. thuringiensis* rappresentano la voce più importante del mercato dei mezzi di controllo biologico degli insetti, minacciati in questo primato soltanto dal diffondersi delle piante transgeniche, resistenti agli insetti, che peraltro esprimono nei propri tessuti le tossine dello stesso microrganismo.

## **La tignola orientale del pesco: *Cydia molesta***

La tignola orientale del pesco (*Cydia molesta*, Busk) è un Lepidottero appartenente alla famiglia dei Tortricidi originario dell'Estremo Oriente, introdotto in Italia nel corso degli anni '20.

La classificazione tassonomica dell'insetto è la seguente:

Ordine: Lepidoptera

Sottordine: Heteroneura

Sezione: Dytrisia

Superfamiglia: Tortricoidea

Famiglia: Tortricidae

Sottofamiglia: Tortricinae

Genere: *Cydia* (*Grapholita*)

Specie: *molesta*

### **2.13 Descrizione dell'insetto**

Gli adulti sono farfalle di medie dimensioni (circa 10-15 mm di apertura alare). Le ali anteriori, i cui bordi sono finemente frangiati, sono di colore grigio-brunastro, con diffuse screziature e mazzature biancastre.



**Figura 2.14** - adulto di *Cydia molesta*

Le uova sono molto simili a quelle della carpocapsa del melo, anche nelle diverse fasi dello sviluppo, ma sono leggermente più piccole e vengono deposte in numero di una cinquantina per femmina di preferenza sulla pagina inferiore delle foglie.





**Figura 2.15** - uova di *Cydia molesta*

Le larve, che sono di colore rosato o ocraceo, raggiungono la lunghezza di circa 10-14 mm. La crisalide, di colore castano chiaro o rossastro, è lunga circa 6-7 mm.



**Figura 2.16** - larve di *Cydia molesta*

## **2.14 Distribuzione**

*Cydia molesta* è un Lepidottero ritenuto originario della Cina settentrionale, da dove si è diffuso in America, Australia e Paesi europei. In Italia è stato rinvenuto per la prima volta in Liguria intorno al 1920, ed è divenuto uno dei fitofagi più pericolosi per la frutticoltura italiana, specialmente per le Drupacee.

La specie attualmente è ampiamente diffusa nella maggior parte dei continenti (Asia, America, Australia ed Europa).

## **2.15 Piante ospiti**

*Cydia molesta* attacca principalmente il pesco ma può danneggiare tutte le Drupacee (susino, albicocco, mandorlo, ciliegio) e le Pomacee coltivate (melo, pero e cotogno).

## **2.16 Ciclo biologico**

*Cydia molesta* sverna allo stadio di larva matura e può svernare in campo, protetta da bozzolotti negli anfratti della scorza o alla base delle piante, nel terreno o negli anfratti delle strutture.

Gli adulti (1° volo) sfarfallano in primavera molto presto, a volte anche a fine inverno, a seconda delle zone. Lo sfarfallamento avviene da marzo a maggio, con un picco di presenze nella seconda quindicina del mese di aprile.

Le femmine ovidepongono sui giovani germogli o sulle foglioline originando la prima generazione larvale che è attiva, sui germogli, da fine aprile a fine maggio.

Gli adulti del 2° volo compaiono nel mese di giugno ed originano la seconda generazione larvale, attiva soprattutto sui frutti dalla seconda metà di giugno alla seconda decade di luglio.

Queste larve originano gli adulti (3° volo) che sfarfallano, generalmente, dalla seconda decade di luglio fino alla prima decade di agosto. Prende così avvio la terza generazione larvale, sempre attiva sui frutti, che compare dal mese di luglio agli inizi di agosto.

Durante il mese di agosto sfarfallano gli adulti del 4° volo; questi originano la quarta generazione larvale, attiva in pieno agosto. Queste larve possono o svernare oppure originare una 5<sup>a</sup> generazione, tra agosto e settembre, che si sovrappone alla 4<sup>a</sup> generazione.

*Cydia molesta* compie, pertanto, 4-5 generazioni all'anno, con sovrapposizioni a fine estate e con voli praticamente continui.

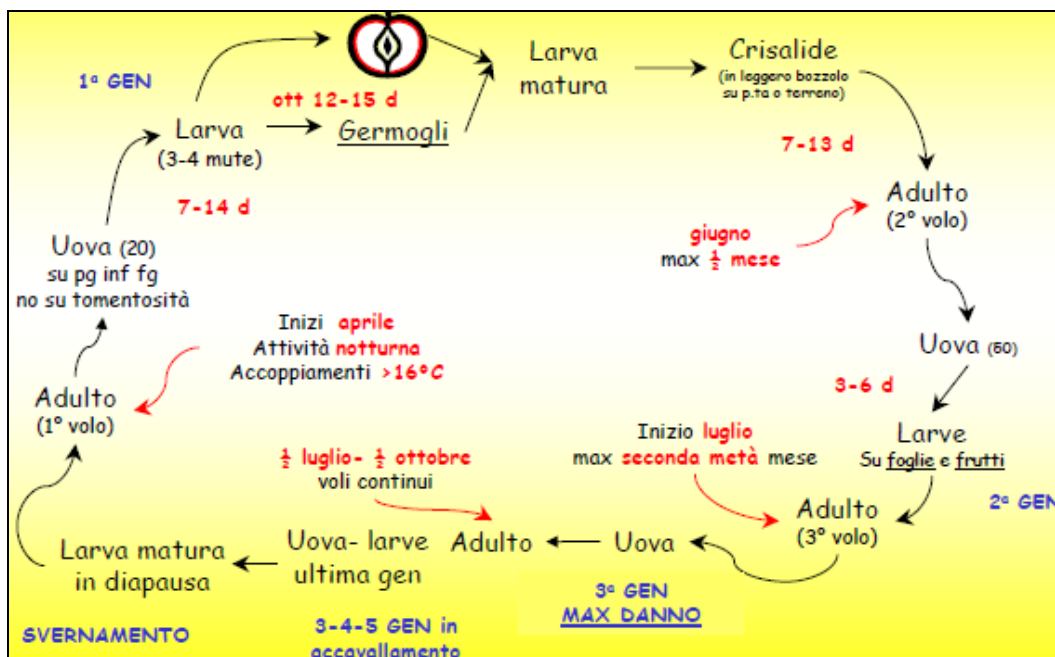


Figura 2.17 - ciclo biologico di *Cydia molesta*

## 2.17 Danni alle colture

In Emilia-Romagna *Cydia molesta* è considerata uno dei più dannosi fitofagi delle piante da frutto. Sul pesco e sulle altre drupacee i danni sono rilevabili a carico dei germogli ma soprattutto sui frutti, nei quali le larve del fitofago scavano profonde gallerie. In primavera e in autunno quando le piante riprendono a vegetare, le larve minano i germogli penetrando attraverso i piccioli o le nervature principali delle foglie e scavano una galleria discendente che provoca il disseccamento dell'apice che assume un caratteristico aspetto a bandiera. L'attacco interessa gli apici non ancora lignificati e risulta di interesse economico soprattutto sulle piante in allevamento. Una sola larva può attaccare diversi germogli, accentuando il già grave danno.

L'attacco ai germogli si può ripetere anche in estate ed è particolarmente dannoso per le giovani piante in allevamento, perché provocando il risveglio di gemme laterali per mancanza di dominanza apicale determina la perdita della forma di allevamento, e per le piante innestate da poco, per la perdita degli "occhi innestati" e quindi del cimale che interessa.





**Figura 2.18** - danno su germoglio da larve di I generazione di *Cydia molesta*

Sul pesco le infestazioni a carico dei frutti avvengono nella fase di frutto noce e in prossimità della maturazione (20-25 giorni prima della raccolta per le varietà a maturazione precoce e 40-45 giorni per le varietà tardive). Le larve penetrano nei frutti in qualsiasi punto dell'epicarpo oppure dal peduncolo e scavano gallerie nella polpa in direzione del nocciolo.

I danni sui frutti sono molto gravi e, generalmente, vengono provocati dalle generazioni successive alla prima. Le larve scavano gallerie nella polpa fino alla zona centrale a raggiungere il nocciolo nelle Drupacee, mentre nelle Pomacee sono generalmente superficiali. Solo in alcuni casi, a differenza della carpocapsa del melo che si addentra sempre nella polpa, le gallerie si approfondiscono fino ai semi. Dal foro di penetrazione fuoriesce una rosura brunastra spesso accompagnata da essudato gommoso.

Spesso i frutti infestati sono soggetti a cascola, specialmente se l'ingresso della larva avviene nella zona pedunculare. I frutti subiscono disfacimento molle sia per l'attività diretta delle larve sia per il successivo attacco di agenti fungini del marciume dei frutti che entrano dai fori delle larve.



**Figura 2.19** - danni da larve di *Cydia molesta* di generazioni successive alla prima, con sviluppo di essudato gommoso

## **2.18 Metodi di lotta**

La lotta contro *Cydia molesta* segue i criteri di lotta guidata ed integrata; essa è basata o sul campionamento degli organi attaccati (germogli e frutti) oppure sul monitoraggio della popolazione mediante trappole sessuali.

In ogni caso i due parametri possono completarsi a vicenda ed essere utilizzati entrambi contemporaneamente.

Il monitoraggio si esegue con trappole sessuali; la tecnica di esecuzione prevede l'installazione delle trappole nel frutteto all'inizio di aprile, con una densità delle trappole di 2-3 trappole per ettaro, per il primo ettaro, più una per ogni ettaro successivo al primo.

La soglia di intervento è variabile da zona a zona e mediamente è di 10 adulti catturati per trappola per settimana a partire dal 2° volo.

L'intervento viene eseguito dopo 7-8 giorni dal superamento della soglia per la 2<sup>a</sup> generazione e dopo 4-6 giorni dal superamento della soglia per le generazioni successive.

In considerazione che i maggiori danni da *Cydia molesta* sono prodotti dalle generazioni estive sui frutti e che la prima generazione, sui germogli, può essere controllata con interventi cumulativi insieme ad altri fitofagi, può essere utilizzata, per la prima generazione, una soglia di intervento alta (anche oltre 20 catture per trappola per settimana), mentre si tende, per le generazioni estive, a mantenere la soglia bassa di 10 catture.

In determinate condizioni operative si può impiegare il *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki*. Impiegabili infine, all'inizio dei voli, i regolatori di sviluppo chitino-inibitori.

Il campionamento si esegue sui germogli. Sulle giovani piante in allevamento si interviene quando i germogli colpiti sono il 10% degli organi campionati. In altri casi la determinazione della soglia, sia sulla % di getti colpiti sia sulla % di frutti colpiti, viene valutata volta per volta.

Il trattamento viene eseguito al superamento della soglia, utilizzando i prodotti già indicati per il metodo del monitoraggio.

In alcune condizioni operative, ove le caratteristiche del frutteto lo consentono, è possibile applicare il metodo della confusione sessuale collocando i dispenser erogatori del feromone all'inizio dei voli (o appena prima) della prima generazione.

## **La carpocapsa del melo: *Cydia pomonella***

La carpocapsa del melo (*Cydia pomonella*, Linnaeus) è un Lepidottero appartenente alla famiglia dei Tortricidi originario del centro Europa, volgarmente noto come “verme delle mele” o “baco delle mele”.

La classificazione tassonomica dell’insetto è la seguente:

Ordine: Lepidoptera

Sottordine: Heteroneura

Sezione: Dytrisia

Superfamiglia: Tortricoidea

Famiglia: Tortricidae

Sottofamiglia: Tortricinae

Genere: *Cydia*

Specie: *pomonella*

### **2.19 Descrizione dell’insetto**

Gli adulti sono piccole farfalle di circa 15-22 mm di apertura alare. Le ali anteriori sono di colore grigiastro, mazzate con striature bronzee trasversali più intense nel margine distale. Le ali posteriori sono bruno-rossastre a riflessi dorati rameici.



**Figura 2.20** - adulto di *Cydia pomonella*

Le uova sono di forma lenticolare, di colore grigio-giallastro o biancastro opalescente alla deposizione. Successivamente virano verso l’arancione e poi passano all’ultima

fase, detta di “testa nera”, dovuta alla trasparenza del capo-torace della larva ormai pronta allo sgusciamiento.



**Figura 2.21** - uova di *Cydia pomonella*

Le larve sono dapprima biancastre, con il capo scuro, poi inscuriscono sempre più, nel corso dei cinque stadi larvali, divenendo giallastre ed infine rosee. La loro lunghezza, a maturità, è di circa 15-20 mm. La crisalide è di colore giallo-brunastro.



a)



b)

**Figura 2.22** – a) larva e b) crisalide di *Cydia pomonella*

## **2.20 Distribuzione**

*Cydia pomonella* è una specie già conosciuta all'epoca romana, originaria dell'area centro-europea di distribuzione del melo selvatico a frutti grossi (*Malus sylvestris*). Da tale area d'origine si è poi estesa, già in tempi antichi, verso l'Asia e dal 1700 è presente anche negli Stati Uniti.

Attualmente è una specie diffusa in gran parte del mondo. Il limite della distribuzione è dato dalla necessità di almeno 600 gradi-giorno durante il periodo vegetativo della pianta ospite. Le temperature minime invernali non sono una condizione limite per la resistenza al freddo delle larve in diapausa. Il limite meridionale della sua distribuzione è dato dalla necessità della specie di trascorrere una parte della diapausa stessa a temperature alquanto basse.

## **2.21 Piante ospiti**

*Cydia pomonella* è una specie tipicamente carpofaga, che si sviluppa soprattutto a spese del melo e del pero, che costituiscono gli ospiti principali.

Può comunque attaccare anche altre specie quali cotogno, sorbo, nespolo, noce, kaki e più raramente albicocco, susino e pesco.

## **2.22 Ciclo biologico**

*Cydia pomonella* supera l'inverno allo stadio di larva matura, racchiusa in un piccolo bozzolo, negli anfratti della scorza della pianta ospite oppure alla base della stessa nel terreno, o anche in bozzoli sulle cassette da raccolta (specialmente se di legno).

In primavera le larve si impupano e successivamente, tra aprile e maggio, sfarfallano gli adulti. Il massimo picco di sfarfallamento si ha nella seconda decade di maggio. Gli adulti si accoppiano e le femmine ovidepongono sulle foglie; da queste uova nascono le larve di 1<sup>a</sup> generazione che iniziano la loro attività da fine maggio e la protraggono fino ai primi di luglio. Terminato il loro ciclo, queste larve si incrisalidano sui rametti, o su altri organi legnosi della pianta, ed originano gli adulti di 2<sup>a</sup> generazione. Questi sfarfallano da giugno-luglio fino alla prima metà di agosto e ovidepongono direttamente sui frutti già sviluppati (picco di sfarfallamento nella prima settimana di luglio). Le larve della seconda generazione che hanno una incubazione molto breve sono attive da luglio a tutto agosto.

Queste larve hanno due alternative di sviluppo: la prima consiste nella possibilità di entrare in diapausa, terminando il ciclo annuale; la seconda consiste nella possibilità



di incrisalidarsi per dare origine ad una 3<sup>a</sup> generazione i cui adulti sfarfallano da agosto a settembre.

In questo secondo caso in agosto si assiste ad un accavallamento di due voli: i ritardatari del secondo volo e gli adulti del terzo. Il massimo sfarfallamento della terza generazione si ha nella seconda o terza decade di agosto. Le larve di quest'ultima generazione sono attive a settembre-ottobre, a seconda degli ambienti. All'approssimarsi della stagione fredda (variazione del fotoperiodo e abbassamento della temperatura) le larve si riparano nel bozzolo per svernare.

*Cydia pomonella* compie pertanto tre generazioni all'anno, oppure due se si considerano i casi in cui la terza generazione rimanga incompleta o vada perduta. In alcuni areali dell'Europa centro-settentrionale può compiere una sola generazione.

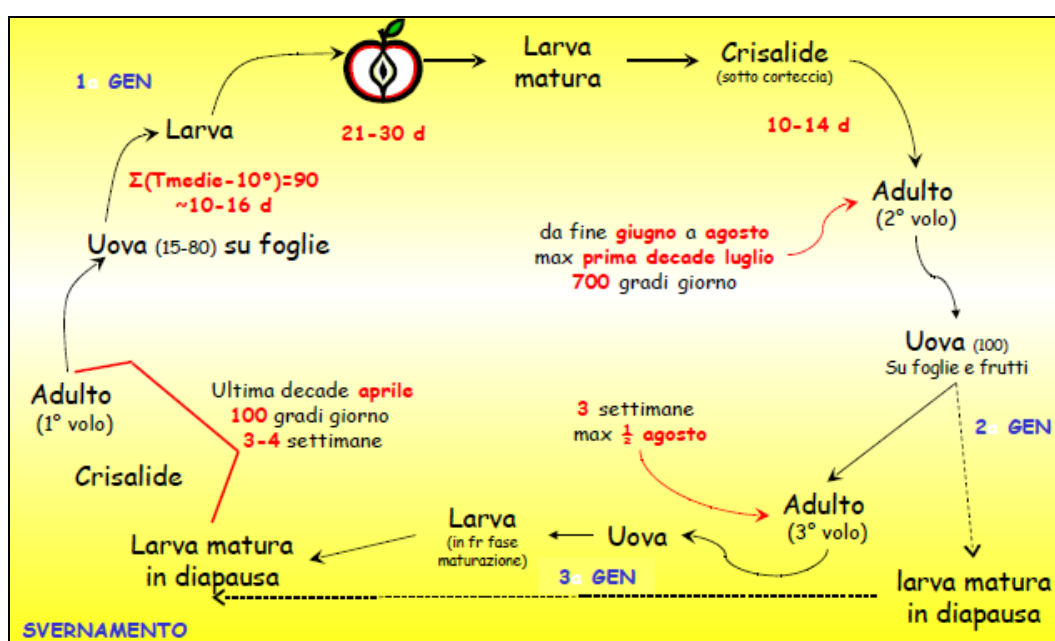


Figura 2.23 - ciclo biologico di *Cydia pomonella*

## 2.23 Danni alle colture

*Cydia pomonella* è uno degli insetti più dannosi per le Pomacee; le sue larve, carpfaghe, danneggiano direttamente i frutti, provocando gravi perdite produttive, sia nella qualità che nella quantità, per la frutticoltura mondiale delle Pomacee.

Il danno è determinato dagli stadi larvali che, essendo carpfagi, penetrano nei frutti in qualsiasi momento del loro accrescimento e maturazione scavando gallerie nella polpa. Le gallerie iniziano in qualsiasi parte del frutto, con una certa predilezione per la zona calicina. Queste gallerie sono dapprima superficiali, poi si affondano nella

polpa fino ad arrivare nella zona centrale, dove sono posti i semi. Le gallerie, in seguito all'attività trofica delle larve, si riempiono di rosure ed escrementi.

Finito il suo sviluppo, la larva esce dal frutto scavando una galleria di uscita, e si incrisalida sugli organi legnosi. Il foro di uscita è ben evidente, anche per la grande quantità di rosure e di escrementi che lo contornano.

Nelle ultime generazioni spesso la larva attacca direttamente molti frutti, scavando subito gallerie dirette al centro ed uscendo immediatamente per attaccare altri frutti; dopo averne attaccati alcuni, si incrisalida. Il danno è la conseguenza dell'attività trofica delle larve che provocano sia cascola diretta dei frutti colpiti, sia gravi deprezzamenti di quelli non caduti che non possono essere commercializzati.

A volte nelle Pomacee le larve giovani che iniziano a scavare le gallerie nel frutto vanno soggette a mortalità naturali o a seguito di trattamenti per cui provocano solo erosioni superficiali del frutto, che cicatrizzando originano il “bacato secco”.



**Figura 2.24** - danni da larve di *Cydia pomonella*



## **2.24 Metodi di lotta**

La lotta contro *Cydia pomonella* viene attualmente eseguita utilizzando metodi razionali di lotta guidata ed integrata. Nel passato si effettuavano invece trattamenti "a calendario" che, oltre a prevedere un numero maggiore di interventi, non garantivano il completo successo del metodo di lotta.

La lotta si basa sul monitoraggio ambientale relativo alla valutazione della presenza del fitofago ed in particolare dei momenti della sua massima presenza (picco di sfarfallamento) utilizzando le trappole sessuali.

La metodologia di lotta guidata prevede l'applicazione delle trappole nel frutteto, operazione normalmente svolta a fine aprile, in numero di 2-3 trappole per il primo ettaro, ed una per ogni ettaro successivo al primo. In aziende non molto grandi e con appezzamenti uniformi possono bastare 2-3 trappole per tutta l'azienda o per appezzamenti omogenei.

Dal momento della posa delle trappole si controllano le catture ogni settimana, valutando anche i momenti di maggior volo che si deducono dai dati medi, per la pianura padana, riportati nel ciclo biologico (20-30 maggio per la I generazione, 1-7 luglio per la II generazione e 20-30 agosto per la III generazione).

La soglia di intervento è di due maschi catturati per trappola per settimana. Nel caso di momenti a rischio è opportuno valutare la possibilità di un trattamento anche se la soglia non viene raggiunta in una settimana ma in due, considerando una soglia cumulativa di due maschi per trappola per due settimane.

La soglia di intervento può essere riferita anche al campionamento del danno, ed è pari all'1% di frutti con fori iniziali di penetrazione.

I trattamenti devono essere eseguiti secondo lo schema seguente:

- 1<sup>a</sup> generazione: trattamento dopo 8-10 giorni dal superamento della soglia oppure trattamento con prodotti chitino-inibitori (regolatori dello sviluppo o di crescita ed ovicidi). In questo caso si deve intervenire immediatamente al superamento della soglia (due adulti catturati) oppure dopo 4-5 giorni dall'inizio dei voli;
- 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> generazione: trattamento dopo circa 4-5 giorni dal superamento della soglia oppure, solo per la 2<sup>a</sup> generazione, trattamenti con regolatori di crescita o sviluppo, con le stesse modalità d'intervento descritte per la 1<sup>a</sup> generazione.

Generalmente i trattamenti effettuati contro la prima generazione di *Cydia pomonella* coincidono con i trattamenti effettuati contro altri importanti fitofagi del melo quali microlepidotteri minatori e ricamatori.

I nemici naturali di *Cydia pomonella* sono molto numerosi, tuttavia essi non sono in grado di controllare le popolazioni dei fitofagi anche in considerazione del fatto che

esso provoca danni anche con una presenza molto bassa. Tra i nemici naturali presenti nell'ambiente vi sono diversi parassitoidi appartenenti al gruppo degli Imenotteri.

Il metodo della confusione sessuale, in alcuni areali molto settentrionali, ha fornito risultati promettenti ed interessanti anche per *Cydia pomonella*. In altri casi ha fornito risultati interessanti applicandola contro la 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> generazione dopo aver controllato la 1<sup>a</sup> generazione con prodotti chimici o biotecnologici.

Sono stati fatti notevoli passi avanti anche nel settore della lotta microbiologica. In alcuni paesi quali Stati Uniti ed Inghilterra sono stati messi a punto dei preparati a base di virus che hanno dato buoni risultati in sostituzione di prodotti chimici. Questi preparati vengono distribuiti come i normali prodotti insetticidi.

Infine si deve ricordare anche la buona attività del microrganismo fungino *Beauveria bassiana* quale possibile applicazione di lotta microbiologica. Il fungo è in grado di attaccare le larve svernanti di *Cydia pomonella*, che possono essere parassitizzate dal fungo durante la stagione invernale. Le larve infette sono facilmente riconoscibili in quanto appaiono calcificate e coperte dalla vegetazione bianca del fungo parassita.

# ***Capitolo 3.***

## ***Analisi del rilascio dei diffusori***

La sperimentazione oggetto di questo lavoro di tesi è stata condotta principalmente presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell’Università del Piemonte Orientale di Alessandria, e in parte presso la Tenuta “Cascina Faletta” di Casale Monferrato (AL). L’obiettivo principale della sperimentazione è quello di approfondire le conoscenze relative al rilascio e all’erogazione dei feromoni dai diffusori per confusione sessuale prodotti dalla società giapponese Shin-Etsu e distribuiti in tutto il mondo dalle società del gruppo CBC (in Italia CBC (Europe) Srl), individuando i fattori, meteorologici e non, che ne influenzano il rilascio.

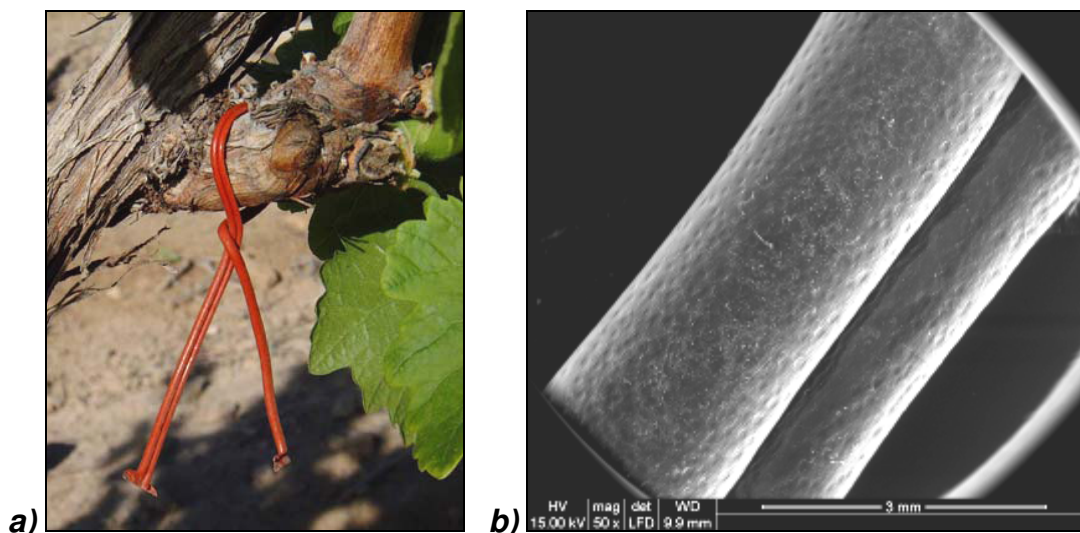
Sono state condotte anche attività di laboratorio, quali lo studio del rilascio alle alte temperature, svoltosi in cella climatica a temperatura controllata, e l’osservazione dei diffusori in microscopia ottica ed in microscopia elettronica a scansione, attività che saranno descritte nel dettaglio nel seguito del presente capitolo.

I diffusori impiegati nella sperimentazione sono diffusori per confusione sessuale prodotti dalla società giapponese Shin-Etsu. Lo studio si è voluto concentrare sulle principali tipologie di diffusori attualmente commercializzati e utilizzati nelle applicazioni di campo, ovvero i modelli Isonet L e Isonet L plus utilizzati per la lotta alle tignole della vite *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella*, i modelli Isomate C TT e Isomate C plus utilizzati per la lotta alla carpocapsa del melo *Cydia pomonella* e i modelli Isomate OFM rosso e Isomate OFM rosso flex utilizzati per la lotta alla tignola orientale del pesco *Cydia molesta*.

Si tratta di erogatori costituiti da un unico capillare in polietilene nei modelli a capillare singolo (Isonet L e Isonet L plus, Isomate C plus e Isomate OFM rosso), o due capillari uguali saldati al margine tra loro nel caso dei modelli a capillare doppio (Isomate C TT e Isomate OFM rosso flex), capillari che contengono la miscela feromonale con le molecole di feromone sessuale caratteristiche degli insetti bersaglio. I diffusori a capillare singolo sono inoltre dotati di un’anima in metallo che conferisce rigidità ai diffusori e maggior praticità nella loro applicazione.

Le dimensioni dei diffusori variano a seconda delle tipologie e dei modelli, così come il loro contenuto, costituito da una miscela contenente il principio attivo vero e proprio (il feromone sessuale della specie bersaglio) e altre molecole con funzione antiossidante e conservante addizionate al feromone stesso.

L’erogazione delle molecole di feromone avviene attraverso i pori presenti nella parete del capillare.



**Figura 3.1** - a) diffusore di feromone Shin-Etsu applicato in vigneto e b) immagine in microscopia elettronica a scansione dei pori presenti sulla parete dei diffusori.

### **3.1 Studio del rilascio in condizioni paragonabili a quelle di campo**

La prima parte della sperimentazione è stata condotta in ambiente esterno presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell'Università del Piemonte Orientale di Alessandria utilizzando diffusori carichi, ovvero diffusori contenenti feromone al loro interno, e diffusori scarichi, ovvero privi di feromone, di seguito definiti “diffusori di controllo”, utilizzati per tenere conto del contributo dell'umidità atmosferica e della deposizione delle polveri presenti in atmosfera al peso totale dei diffusori.

La metodologia di analisi prevede la raccolta di dati di rilascio mediante l'effettuazione di pesate gravimetriche dei diffusori stessi. Prima di essere applicati tutti i diffusori sono stati pesati per determinarne il peso iniziale. Durante il periodo della sperimentazione sono state effettuate pesate gravimetriche periodiche dei diffusori utilizzando una bilancia da laboratorio avente sensibilità pari a 0,0001 g.

Le pesate gravimetriche sono state effettuate con cadenza il più possibile regolare, generalmente settimanale, e, compatibilmente con le condizioni meteorologiche, nello stesso momento della giornata.

Una volta raccolti, i dati delle pesate gravimetriche sono stati elaborati per determinare l'entità del rilascio di feromone verificatosi nel periodo compreso tra due pesate gravimetriche successive. Per ciascuna delle tipologie di diffusori carichi utilizzati, i valori del rilascio calcolati per ogni singolo diffusore sono stati mediati e il rilascio medio è stato espresso in mg di feromone erogato al giorno per ettaro di

vigneto (mg/ettaro/giorno) utilizzando per il calcolo il numero di diffusori normalmente applicati in campo in un ettaro di terreno (500 diffusori/ettaro per i modelli Isonet L, Isonet L plus e Isomate C TT, 600 diffusori/ettaro per i modelli Isomate OFM Rosso e Isomate OFM Rosso Flex e 1000 diffusori/ettaro per il modello Isomate C plus).

La sperimentazione è iniziata il 18 aprile 2013 con l'applicazione di otto diffusori carichi per ciascuna delle tipologie di erogatori impiegati nello studio. In aggiunta ai diffusori carichi è stato anche utilizzato un set di otto diffusori scarichi non contenenti feromone al loro interno per tenere conto delle fluttuazioni di peso dei diffusori non dovute al rilascio di feromone.

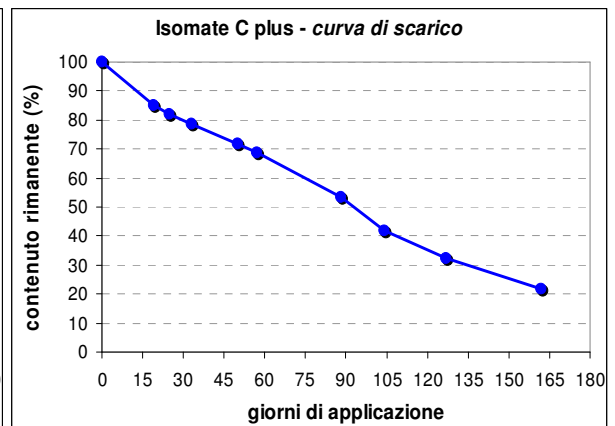
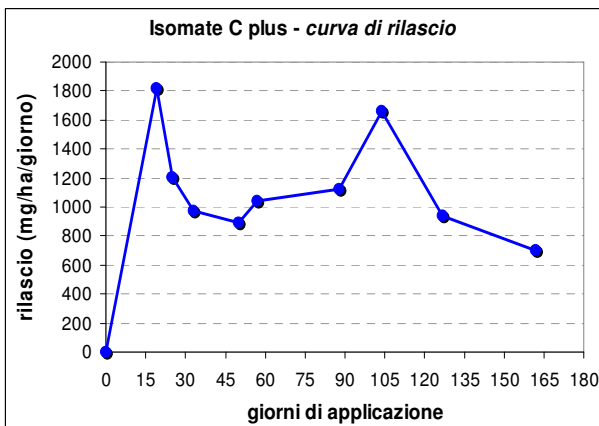
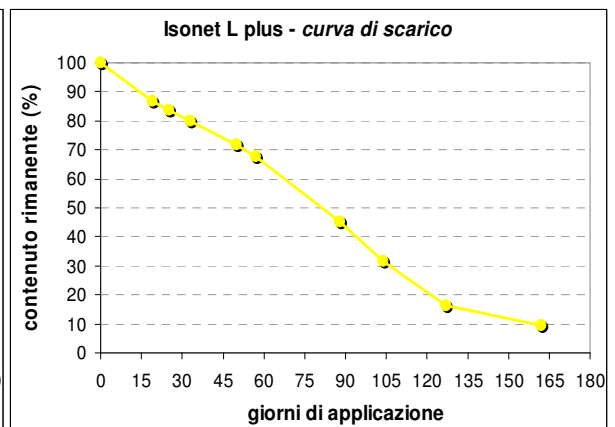
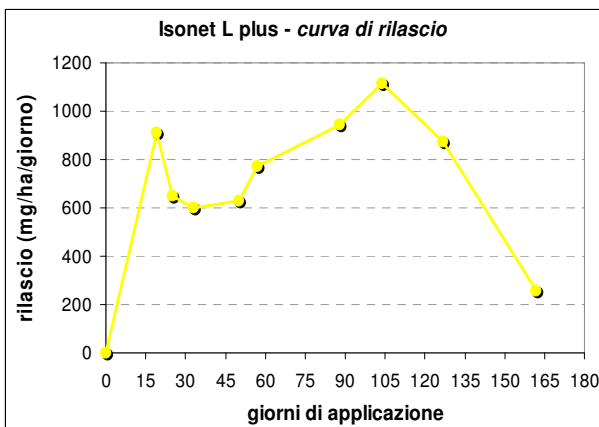
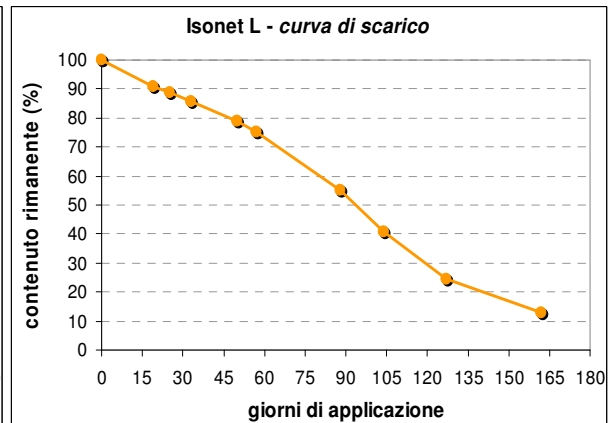
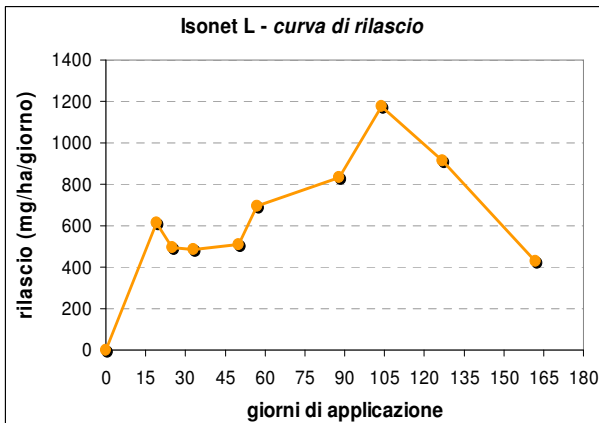
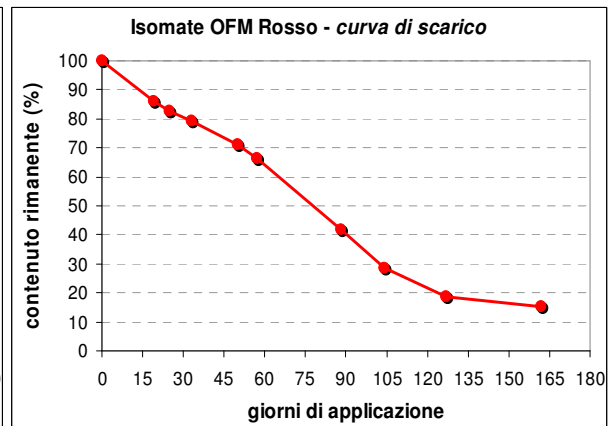
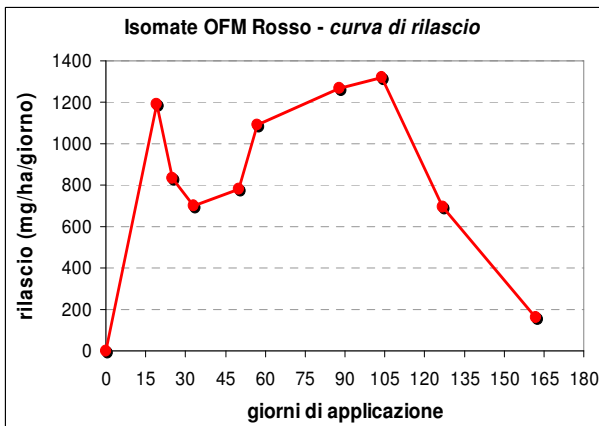


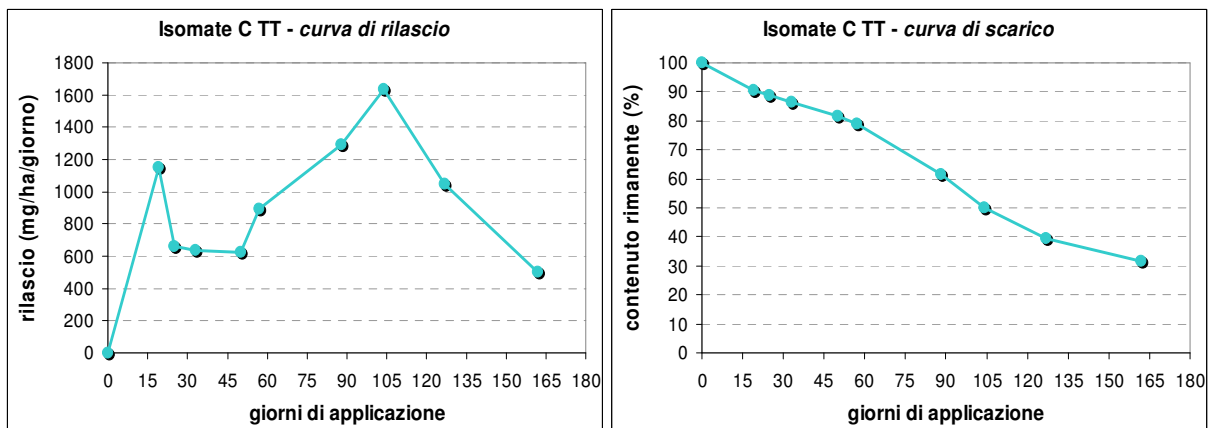
**Figura 3.2 - a) e b)** diffusori di feromone applicati presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell'Università del Piemonte Orientale di Alessandria

La campagna di misure ha avuto una durata complessiva di circa sei mesi, e si è conclusa il 27 settembre 2013, dopo 162 giorni di misure.

Nei grafici seguenti si riportano le curve di rilascio e di scarico delle diverse tipologie di diffusori utilizzati nello studio ottenute con le elaborazioni delle pesate gravimetriche effettuate durante la sperimentazione.

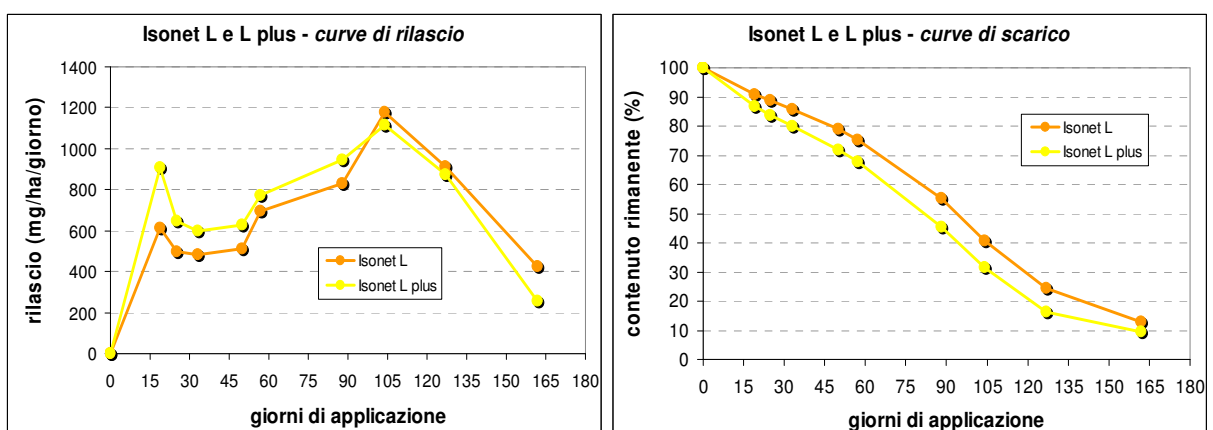
Come detto, il rilascio è espresso in mg di feromone erogato al giorno per ettaro di vigneto (mg/ettaro/giorno), mentre il contenuto di feromone rimanente è espresso in percentuale rispetto al contenuto totale della miscela di feromoni e coadiuvanti presente all'interno dei diffusori. Entrambi i parametri sono rappresentati in funzione del numero di giorni trascorsi dall'applicazione dei diffusori.





**Figura 3.3** - curve di rilascio e di scarico delle diverse tipologie di diffusori utilizzati durante la sperimentazione

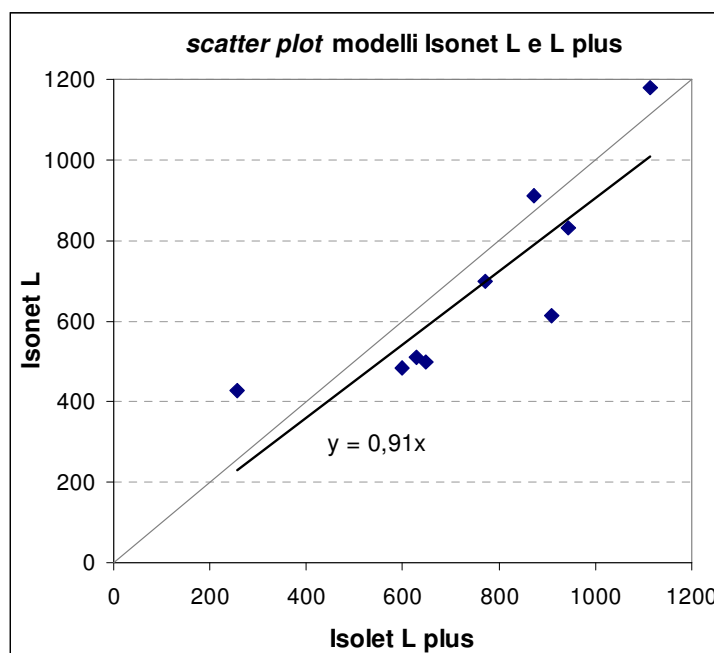
I grafici che seguono mostrano invece il confronto fra le curve di rilascio e di scarico dei diffusori modelli Isonet L e Isonet L plus, entrambi utilizzati nella lotta alle tignole della vite. Le due tipologie di diffusori, caratterizzati dalla medesima tecnologia costruttiva (diffusori a capillare singolo con anima in metallo), si differenziano per la composizione della miscela di feromoni contenuta al loro interno. I diffusori del modello Isonet L contengono esclusivamente il feromone sessuale della tignoletta della vite *Lobesia botrana* ((E,Z)-7,9-Dodecadienil acetato, 172 mg circa), mentre i diffusori del modello Isonet L plus contengono una miscela dei feromoni sessuali della tignoletta della vite *Lobesia botrana* e della tignola della vite di *Eupoecilia ambiguella* ((E,Z)-7,9-Dodecadienil acetato, 165 mg circa + (Z)-9-Dodecenil acetato, 15 mg circa).



**Figura 3.4** - confronto fra le curve di rilascio e di scarico dei diffusori modelli Isonet L e Isonet L plus ottenute durante la sperimentazione



Il grafico seguente mostra invece lo scatter plot dei valori di rilascio ottenuti per le due tipologie di diffusori modelli Isonet L e Isonet L plus.

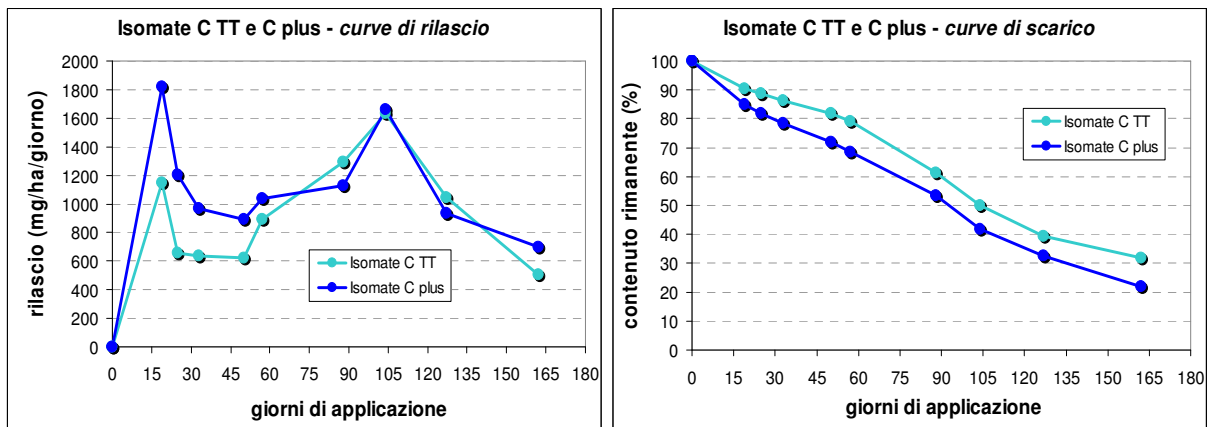


**Figura 3.5** - scatter plot dei valori di rilascio delle due tipologie di diffusori modelli Isonet L e Isonet L plus

Si può osservare come i diffusori del modello Isonet L plus presentino, a parità di condizioni esterne, un rilascio leggermente maggiore per gran parte del periodo della sperimentazione rispetto ai diffusori del modello Isonet L. Tale differenza può essere giustificata dalla differente composizione chimica della miscela feromonale contenuta all'interno delle due tipologie di diffusori, in particolare dalla differente capacità di evaporazione caratteristica delle due tipologie di molecole di feromone sessuale contenute all'interno dei diffusori.

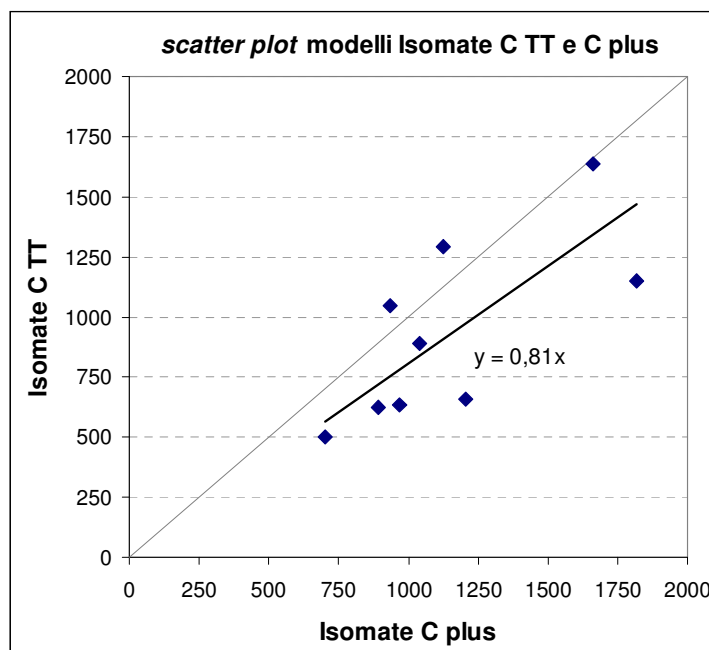
I grafici che seguono riportano invece il confronto fra le curve di rilascio e di scarico dei diffusori modelli Isomate C TT e Isomate C plus. In questo caso le due tipologie di diffusori, entrambe utilizzate per la lotta alla carpocapsa del melo, si differenziano per la diversa tecnologia costruttiva, pur presentando il medesimo contenuto in termini di composizione chimica della miscela feromonale. I diffusori del modello Isomate C TT sono realizzati con la tecnologia del capillare doppio, mentre i diffusori del modello Isomate C plus sono diffusori a capillare singolo.

Il contenuto totale di feromone (miscela di (E,E)-8,10-Dodecadien-1-ol, Dodecan-1-ol e Tetradecan-1-ol) è doppio nel modello a capillare doppio (380 mg) rispetto a quello a capillare singolo (190 mg).



**Figura 3.6** - confronto fra le curve di rilascio e di scarico dei diffusori modelli Isomate C TT e Isomate C plus ottenute durante la sperimentazione

Il grafico seguente rappresenta lo scatter plot dei valori di rilascio ottenuti per le due tipologie di diffusori modelli Isomate C TT e Isomate C plus.



**Figura 3.7** - scatter plot dei valori di rilascio delle due tipologie di diffusori modelli Isomate C TT e Isomate C plus

Si può osservare come i diffusori del modello Isomate C plus presentino, a parità di condizioni di campo, un rilascio leggermente maggiore per gran parte del periodo della sperimentazione rispetto ai diffusori del modello Isomate C TT. Tale differenza può essere giustificata dalla differente tecnologia costruttiva delle due tipologie di diffusori che, come già detto, presentano la medesima composizione chimica della miscela feromonale contenuta al loro interno. In particolare, la minore erogazione di feromone riscontrata per i diffusori del modello Isomate C TT rispetto a quelli del modello Isomate C plus potrebbe essere spiegata dal fatto che l'erogazione dei feromoni da due capillari situati a piccolissima distanza tra loro potrebbe creare intorno ai capillari stessi un microambiente con una concentrazione di feromone molto maggiore rispetto a quella che si avrebbe intorno a un capillare singolo, come nel caso dei diffusori del modello Isomate C plus. Questo potrebbe influire sul rilascio di ulteriori molecole di feromone, agendo come fattore limitante nei confronti del rilascio di ulteriori molecole di feromone dai diffusori a capillare doppio.

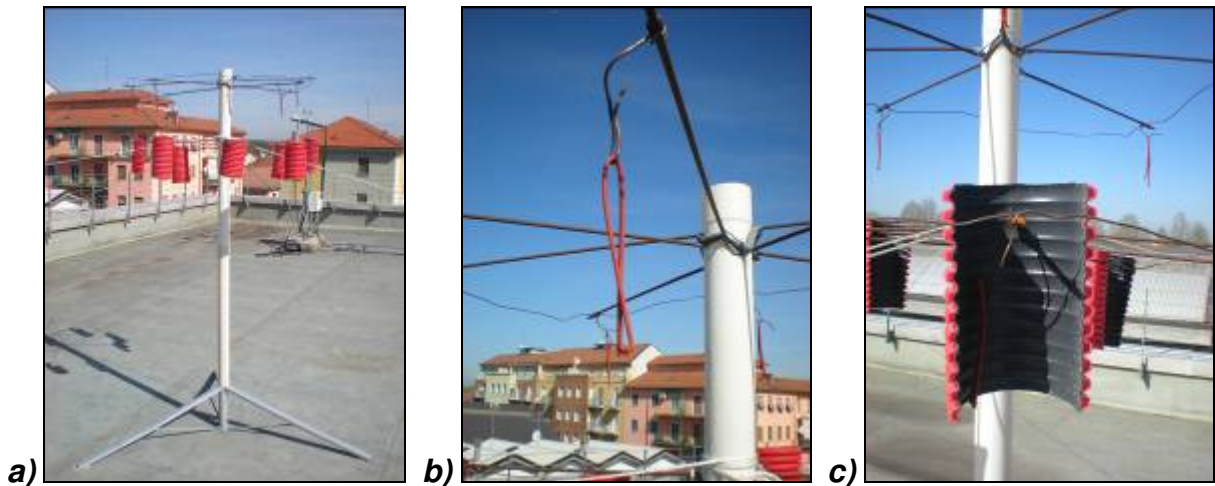
E' possibile inoltre osservare come nell'ultima parte della sperimentazione, sia per i diffusori dei modelli Isonet L e Isonet L plus che per quelli dei modelli Isomate C plus e Isomate C TT, le curve di rilascio delle due tipologie di diffusori a confronto si sovrappongono o, in alcuni casi, si invertano rispetto alla parte iniziale della sperimentazione. Questo comportamento può essere spiegato dal fatto che i diffusori che hanno erogato più feromone ad inizio stagione sono più scarichi verso la fine del periodo di applicazione, con conseguente riduzione del rilascio nel periodo finale.

### ***3.1.1 Diffusori esposti alla radiazione solare diretta e diffusori in ombra***

Alcuni dei diffusori carichi sono stati utilizzati per valutare il rilascio in condizioni di luce solare diretta e di ombra. A tale scopo è stata costruita una semplice struttura di sostegno sulla quale sono stati applicati i diffusori.

Una parte dei diffusori carichi sono stati esposti per tutta la campagna di misure ai raggi solari, mentre i restanti sono stati protetti dalla radiazione solare tramite coperture semicircolari in plastica, poste ad una certa distanza dai diffusori per evitare un riscaldamento anomalo degli stessi con conseguente possibile influenza sull'entità del rilascio.

L'apertura delle coperture sul lato esposto a nord ha consentito inoltre ai diffusori di risentire dell'effetto del vento, impedendo così anche la formazione intorno ad essi di un microambiente saturo di molecole di feromone che ne avrebbe potuto rallentare il rilascio.

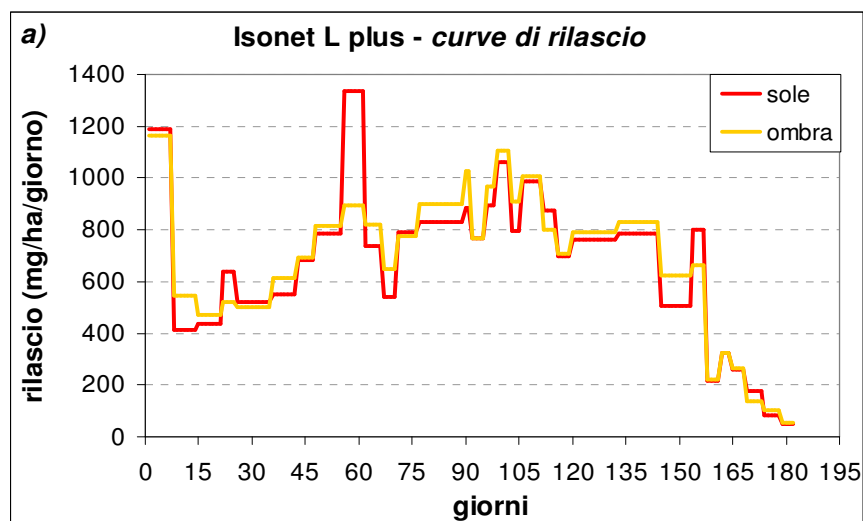


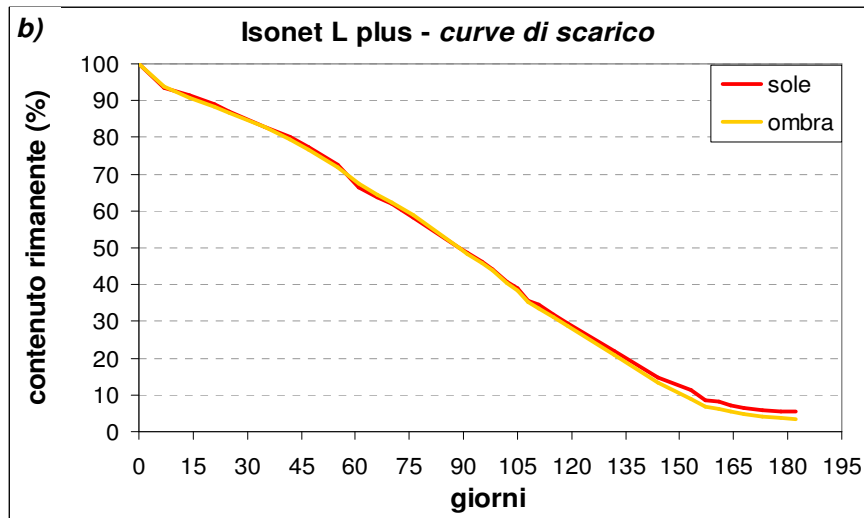
**Figura 3.8** - a) struttura di supporto per i diffusori di feromone, b) dettaglio di un diffusore esposto al sole, c) dettaglio di un diffusore in ombra

Nei grafici seguenti sono rappresentate le curve di rilascio e di scarico dei diffusori esposti alla radiazione solare diretta e di quelli in ombra.

Il rilascio, calcolato a partire dai dati delle pesate gravimetriche dei diffusori, è espresso in mg di feromone rilasciato al giorno per ettaro di vigneto, alla dose di 500 diffusori per ettaro. Lo scarico è espresso come percentuale di contenuto di feromone rimanente calcolato rispetto alla quantità totale della miscela di feromone e coadiuvanti presente nei diffusori.

Il dato anomalo presente nel valore del rilascio dell'ultima settimana di maggio è dovuto alla rimozione, da parte delle precipitazioni, dei pappi pelosi trasportatori del polline adesi alla parete esterna dei diffusori.

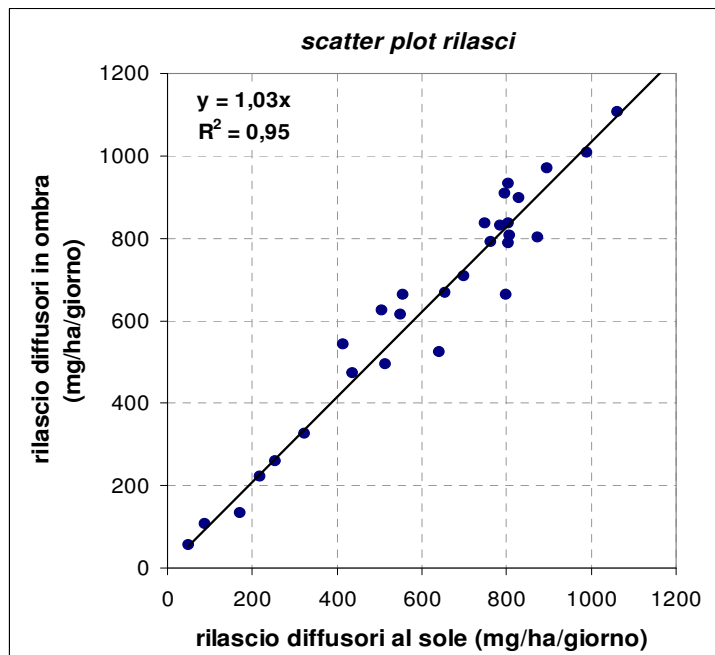




**Figura 3.9** - a) curve di rilascio e b) curve di scarico dei diffusori in condizioni di radiazione solare diretta e ombra

Gli erogatori esposti alla radiazione solare diretta e quelli all’ombra presentano curve di rilascio molto simili, senza alcuna differenza statisticamente significativa tra le due serie di dati (T-test per  $p < 0,05$ ).

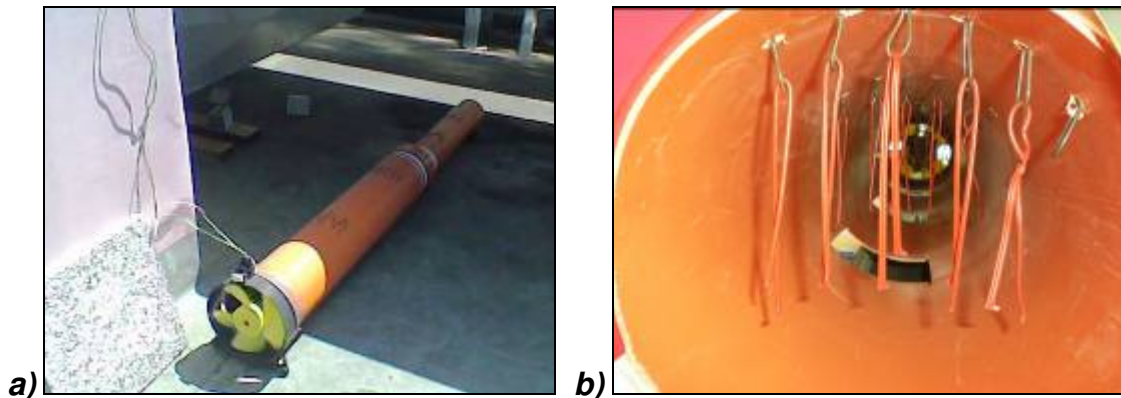
Il grafico seguente rappresenta invece lo scatter plot dei valori di rilascio dei diffusori esposti alla radiazione solare e di quelli in ombra.



**Figura 3.10** - scatter plot dei valori di rilascio dei diffusori esposti alla radiazione solare e di quelli in ombra

### 3.1.2 Diffusori esposti a differenti condizioni di ventilazione forzata

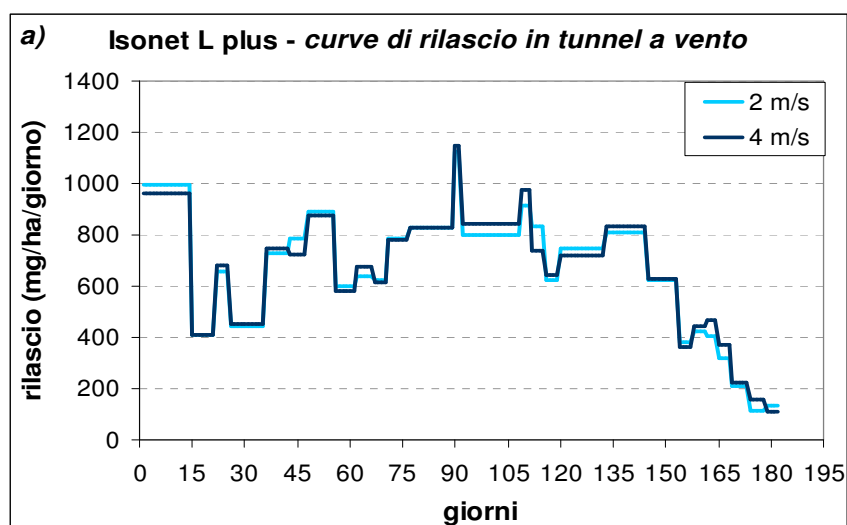
Ulteriori diffusori carichi sono stati utilizzati per misure di rilascio in condizioni di ventilazione forzata. A tale scopo è stato costruito un apparato sperimentale in grado di generare, tramite una ventola alimentata da un pannello fotovoltaico accoppiato ad una batteria tampone per il funzionamento nelle ore notturne, una condizione di ventilazione forzata e continua per tutto il periodo della sperimentazione.

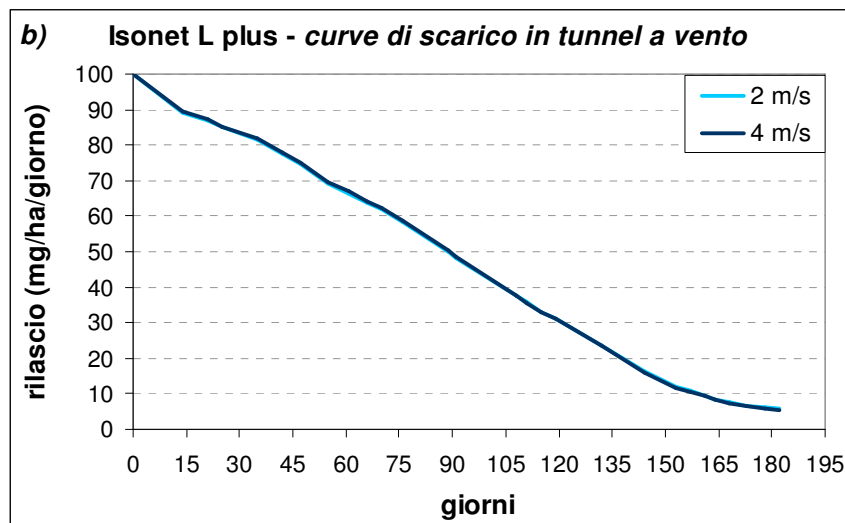


**Figura 3.11** - a) apparato per la generazione della ventilazione forzata e b) diffusori applicati all'interno delle sezioni di flusso

L'apparato presenta due sezioni di flusso, con le quali è stato possibile valutare il rilascio dei diffusori alle velocità di 2 e 4 m/s. I diffusori sono stati posizionati contemporaneamente in entrambe le sezioni di flusso, in modo da poter valutare il rilascio alle due velocità mantenendo inalterate le restanti condizioni al contorno.

I grafici seguenti mostrano le curve di rilascio e di scarico dei diffusori utilizzati nelle prove in condizioni di ventilazione forzata.

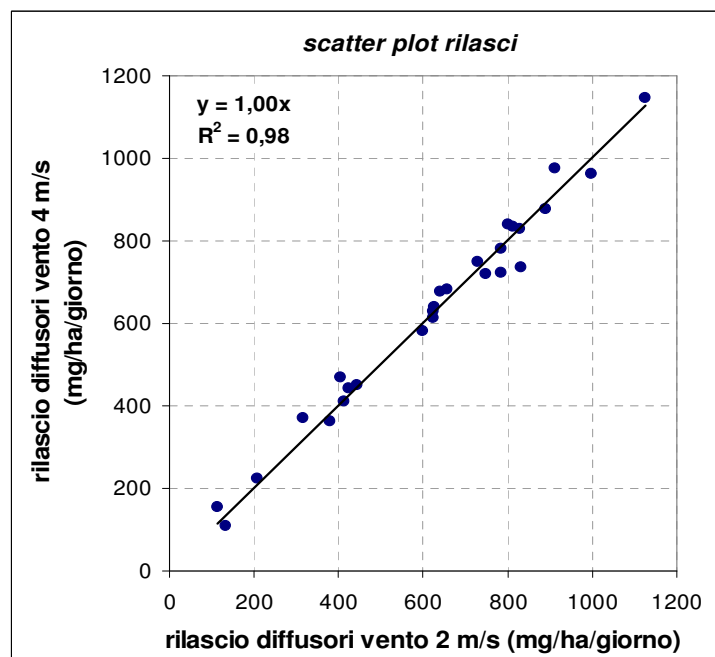




**Figura 3.12** - a) curve di rilascio e b) curve di scarico dei diffusori utilizzati nelle prove in condizioni di ventilazione forzata

Gli erogatori esposti alle due differenti velocità del vento presentano curve di rilascio molto simili, senza alcuna differenza statisticamente significativa tra le due serie di dati (T-test per  $p < 0,05$ ).

Il grafico seguente mostra invece lo scatter plot dei valori di rilascio dei diffusori utilizzati nelle prove in condizioni di ventilazione forzata.

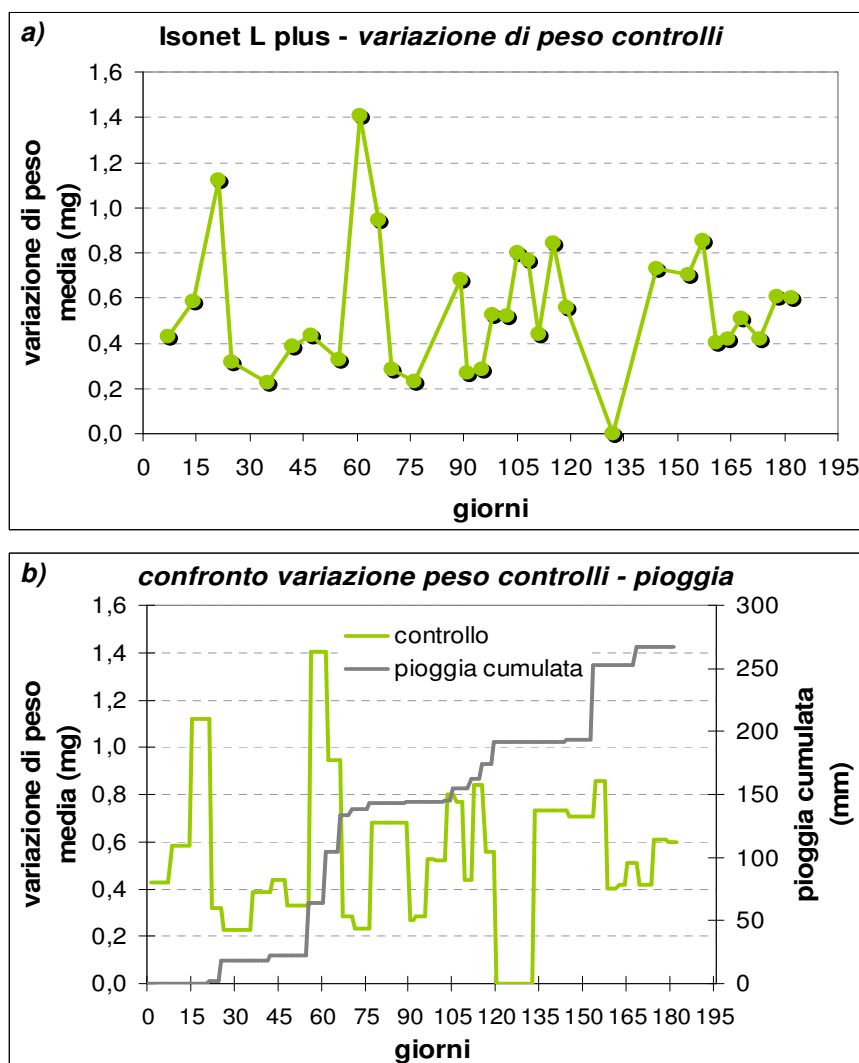


**Figura 3.13** - scatter plot dei valori di rilascio dei diffusori utilizzati nelle prove in condizioni di ventilazione forzata

### 3.1.3 Diffusori scarichi o “di controllo”

I diffusori di controllo, ovvero diffusori non contenenti più feromone al loro interno, sono stati utilizzati per correggere il peso dei diffusori carichi al momento delle pesate gravimetriche, eliminando il contributo dell’umidità e della deposizione delle polveri presenti in atmosfera al peso totale dei diffusori (Koch *et al.*, 2002).

I grafici seguenti mostrano le fluttuazioni del peso medio dei diffusori di controllo, principalmente per effetto della deposizione delle polveri e della loro rimozione da parte delle precipitazioni. I valori delle fluttuazioni riportati nel grafico sono stati sottratti ai valori del peso medio dei diffusori carichi dopo ogni pesata prima di procedere al calcolo del rilascio.

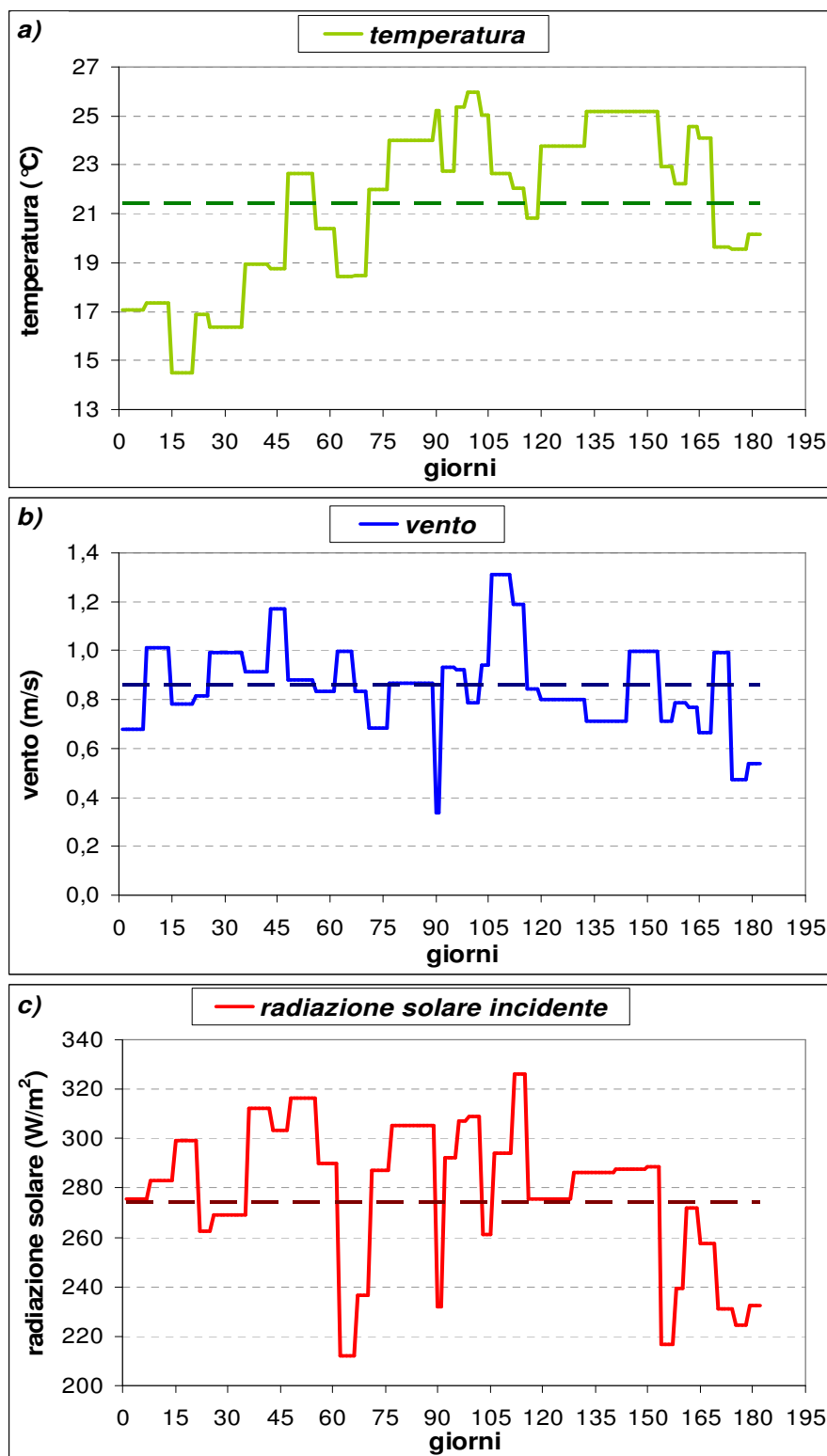


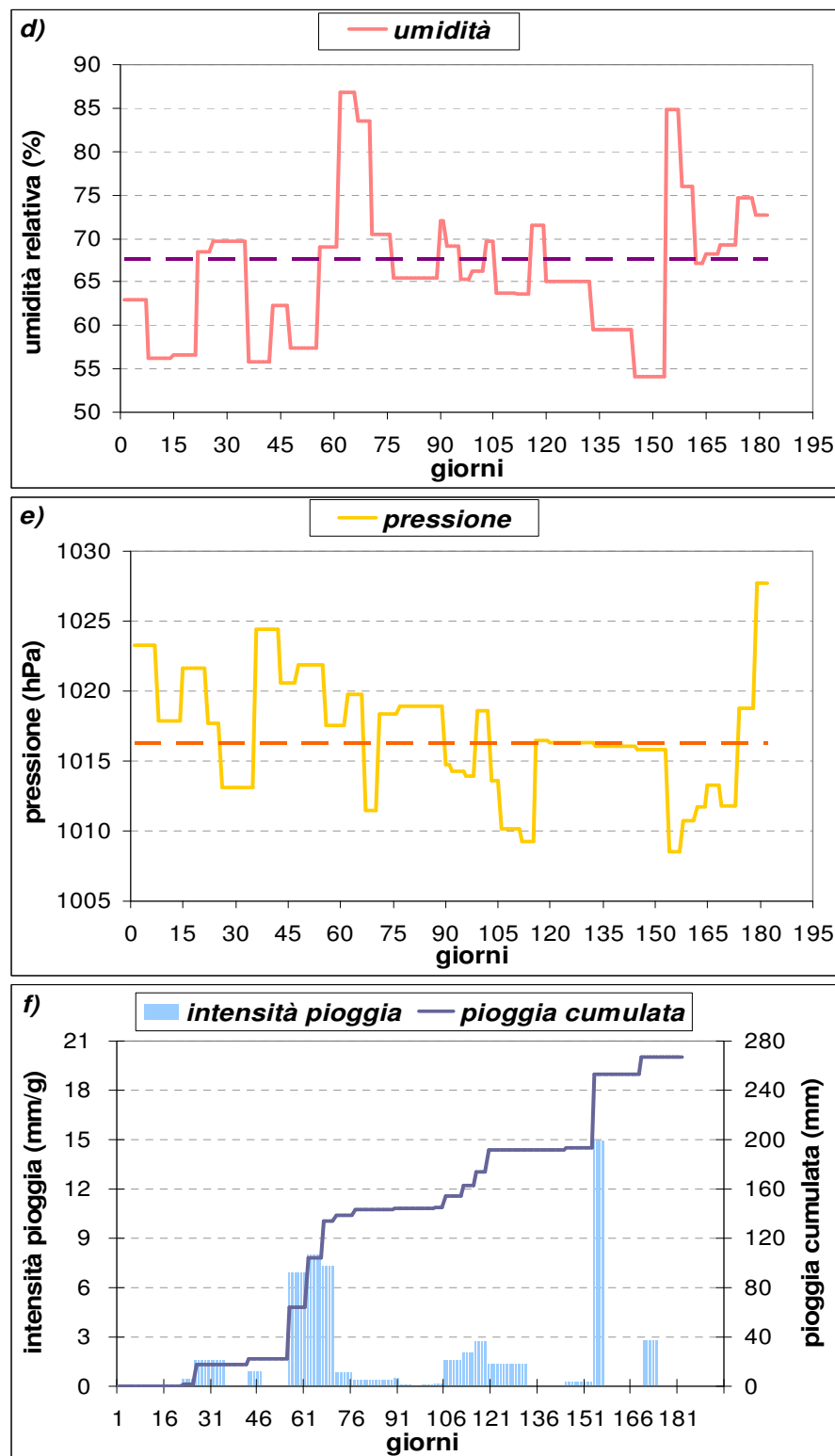
**Figura 3.14** - a) variazioni del peso medio dei diffusori di controllo e b) confronto fra le variazioni di peso dei diffusori di controllo e gli eventi di precipitazione verificatisi



### 3.1.4 Analisi dei dati meteorologici

I grafici seguenti rappresentano gli andamenti delle variabili meteorologiche monitorate durante la sperimentazione.





**Figura 3.15** - andamenti dei principali parametri meteorologici monitorati durante la sperimentazione. La linea tratteggiata rappresenta il valor medio di ciascun parametro calcolato sull'intero periodo della sperimentazione.

I dati meteorologici sono quelli registrati dalla centralina meteorologica installata presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell’Università del Piemonte Orientale di Alessandria.

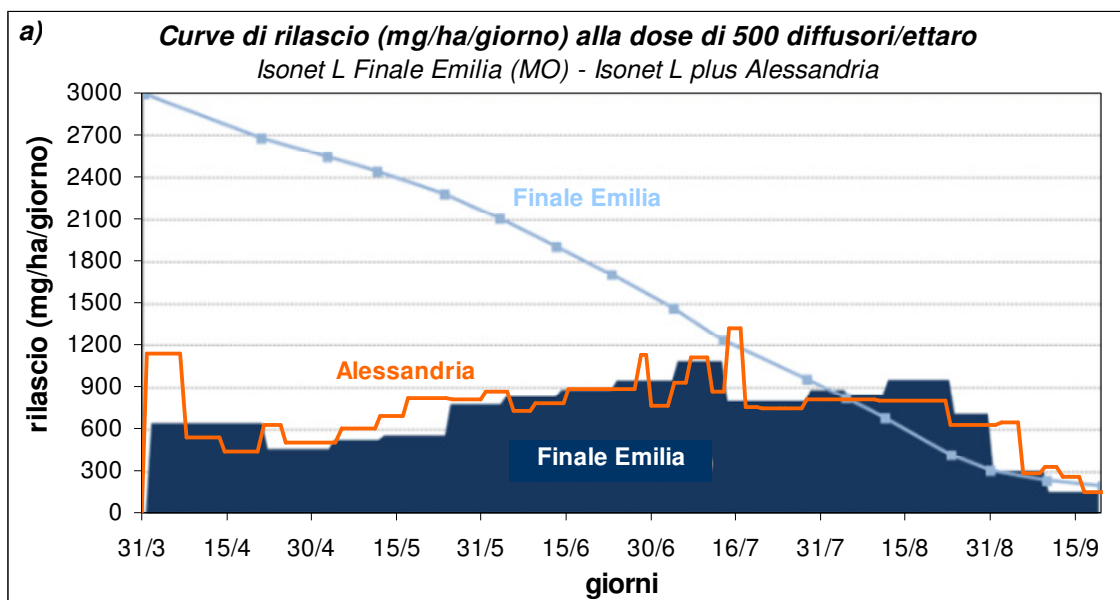
La centralina rileva ogni minuto i valori dei seguenti parametri: temperatura dell’aria, velocità del vento, umidità relativa dell’aria, radiazione solare incidente e riflessa, pressione atmosferica e intensità di precipitazione.

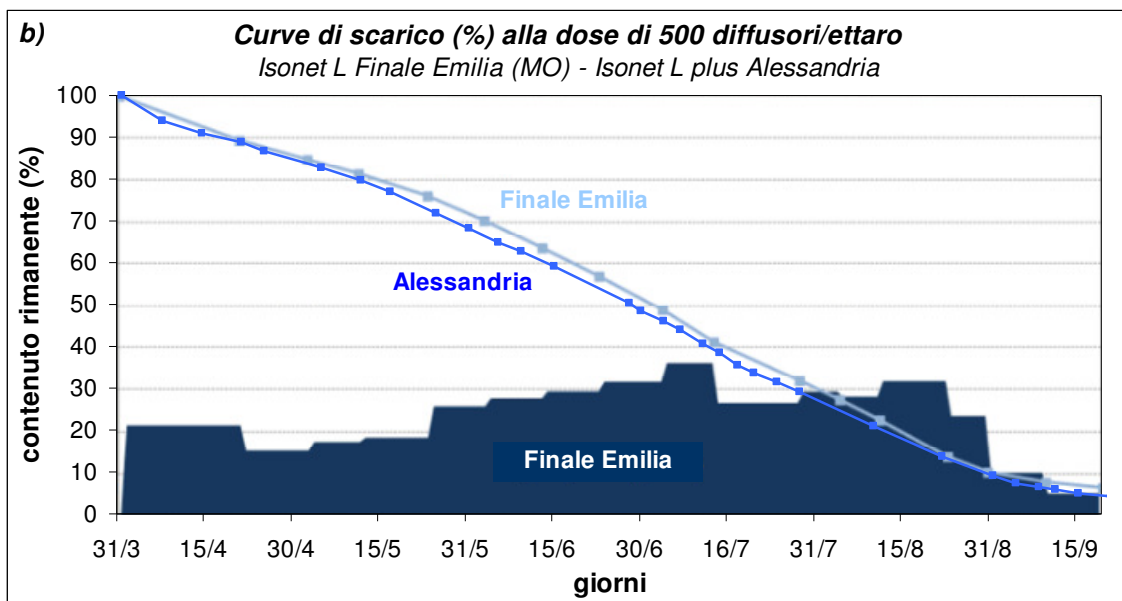
I dati sono stati mediati assumendo come periodi di integrazione i giorni trascorsi tra una pesata gravimetrica dei diffusori e quella successiva.

### 3.1.5 Confronto con i dati di rilascio raccolti in altre località

Per valutare la bontà del lavoro svolto le curve di rilascio e di scarico ottenute durante la sperimentazione sono state confrontate con quelle raccolte in un’altra località nel medesimo periodo. In particolare si è fatto riferimento alle curve di rilascio e di scarico ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori svolte dai tecnici dell’azienda CBC (Europe) Srl presso i campi prova situati nella località di Finale Emilia (MO).

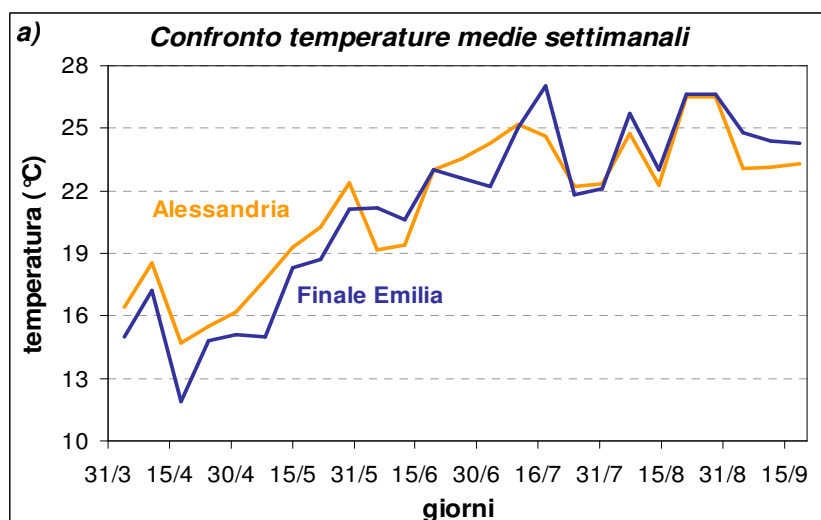
I grafici seguenti mostrano il confronto fra le curve di rilascio e di scarico ottenute nelle due località.

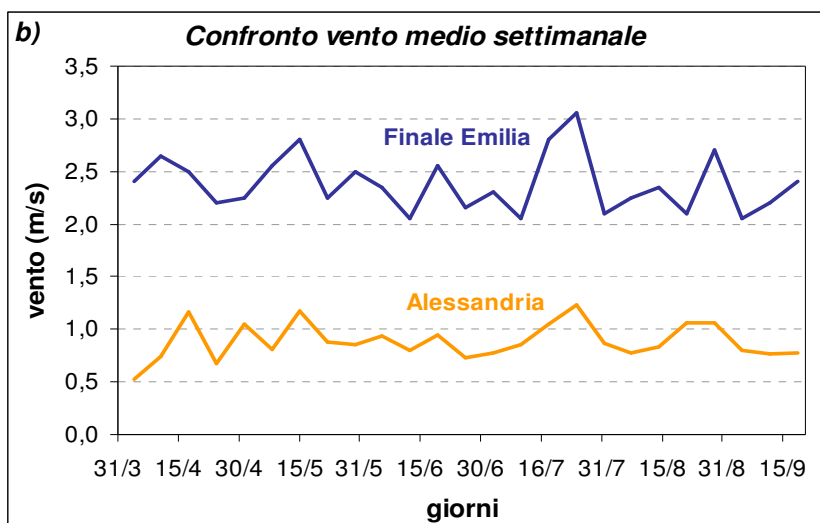




**Figura 3.16** - confronto fra **a)** le curve di rilascio e **b)** le curve di scarico ottenute con le pesate gravimetriche effettuate nelle località di Alessandria e Finale Emilia (MO)

Nei grafici seguenti si riportano invece gli andamenti dei valori medi settimanali dei parametri meteorologici temperatura dell'aria e velocità del vento, registrati dalle centraline meteorologiche collocate nelle località di Alessandria e Finale Emilia (MO). La centralina meteorologica di riferimento per la località di Finale Emilia è quella collocata nella medesima località e appartenente alla rete meteorologica dell'ARPA Emilia Romagna. I dati rilevati dalla centralina meteorologica di Finale Emilia sono stati scaricati dal portale telematico "DEXTER" dell'ARPA Emilia Romagna.





**Figura 3.17** - confronto fra **a)** temperatura media dell’aria e **b)** velocità media del vento registrate nelle località di Alessandria e Finale Emilia (MO)

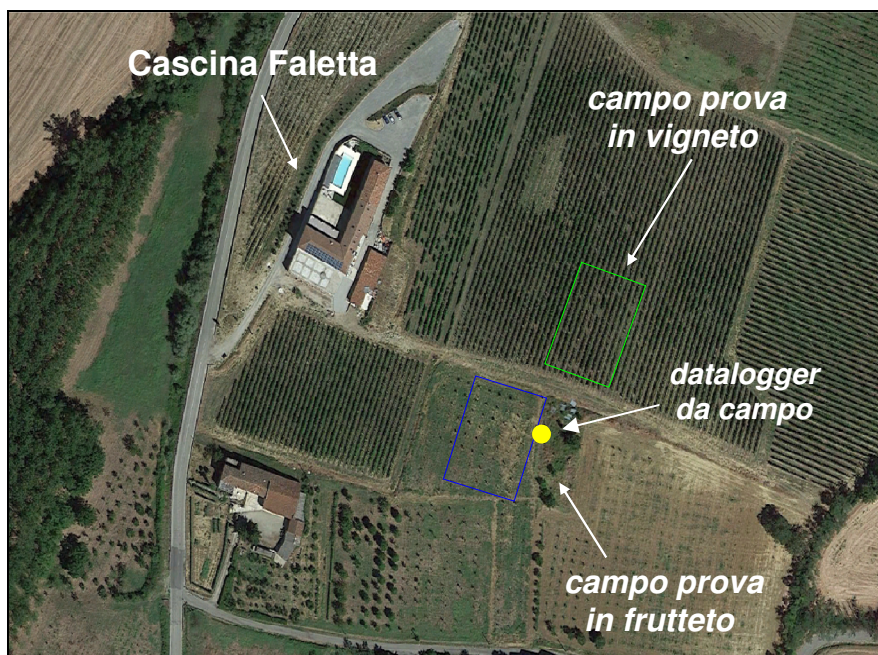
Si osserva un rilascio maggiore nella località di Alessandria nel periodo compreso fra la terza decade di aprile e la fine del mese di maggio, periodo in cui la temperatura media dell’aria è sempre stata sempre superiore rispetto alla località di Finale Emilia. Ciò lascia già intuire come la temperatura dell’aria eserciti un ruolo piuttosto rilevante nel determinare il rilascio dei diffusori. Per il resto del periodo l’andamento delle curve della temperatura e del rilascio nelle due località è invece molto simile, a conferma della bontà del lavoro svolto.

### **3.2 Studio del rilascio in condizioni di campo**

La seconda parte della sperimentazione è stata condotta in campo presso la Tenuta “Cascina Faletta” di Casale Monferrato (AL). La tenuta, situata nel Comune di Casale Monferrato, in Regione Mandoletta, ad una quota altimetrica prossima ai 200 metri s.l.m.m., sui primi contrafforti collinari del Monferrato che affacciano verso est sulla città di Casale Monferrato e sull’intera Pianura Padana, dispone di diversi ettari di terreno annessi alla cascina stessa, adibiti principalmente a vigneto e frutteto. Inoltre presso la tenuta operano diversi tecnici agricoli specializzati nei vari settori di interesse che con le loro conoscenze sono stati in grado di supportare la sperimentazione in campo per quanto concerne gli aspetti legati ai trattamenti di campo e allo sviluppo fenologico delle piante e degli insetti parassiti.

L’immagine seguente riporta una vista da satellite dell’area di interesse, con indicata la posizione della Cascina Faletta e quella delle porzioni di vigneto e di frutteto

annessi alla cascina utilizzati per condurre le sperimentazioni in campo. E' indicata anche la posizione del datalogger da campo che sarà descritto nel seguito di questo lavoro di tesi nel capitolo relativo allo sviluppo e alla validazione dei modelli di rilascio. Nelle aree indicate sono stati applicati i diffusori di feromone, così come descritto nel dettaglio nel seguito del presente paragrafo.



**Figura 3.18** - vista da satellite dell'area utilizzata per le sperimentazioni di campo

Le immagini seguenti riportano invece un dettaglio delle porzioni di vigneto e di frutteto utilizzate per le sperimentazioni di campo presso la Cascina Faletta.

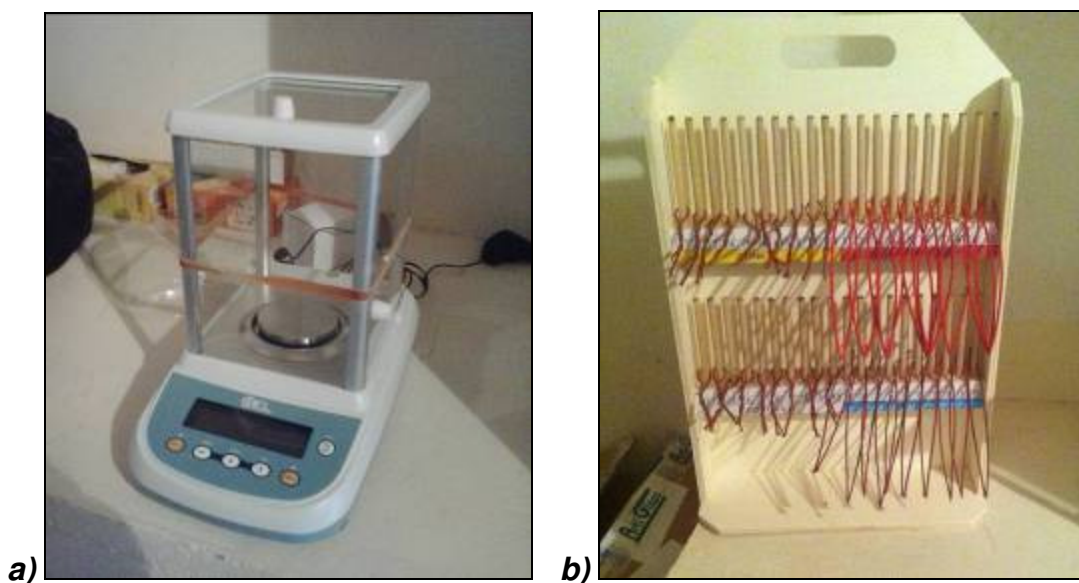


**Figura 3.19** - immagini delle porzioni di vigneto e frutteto utilizzate per le sperimentazioni di campo presso la Cascina Faletta di Casale Monferrato (AL)



La sperimentazione è stata condotta utilizzando diffusori del modello Isonet L, applicati nel vigneto, e diffusori dei modelli Isomate C TT e Isomate OFM rosso flex, applicati nel frutteto. A questi si aggiungono i diffusori scarichi, ovvero non contenenti feromone al loro interno, applicati sia all'interno del vigneto che nel frutteto.

Anche in questo caso la metodologia di analisi prevede la raccolta di dati di rilascio attraverso la pesatura gravimetrica periodica dei diffusori applicati in campo. Prima di essere applicati tutti i diffusori sono stati pesati per determinarne il peso iniziale. Durante il periodo della sperimentazione i diffusori sono stati periodicamente prelevati dalle loro postazioni in campo e sono stati portati presso i laboratori della Cascina Faletta dove sono state effettuate le pesate gravimetriche degli stessi utilizzando una bilancia di precisione da laboratorio avente sensibilità pari a 0,0001 g. Le pesate gravimetriche sono state effettuate con cadenza il più possibile regolare, generalmente settimanale, e, compatibilmente con le condizioni meteorologiche, nello stesso momento della giornata.



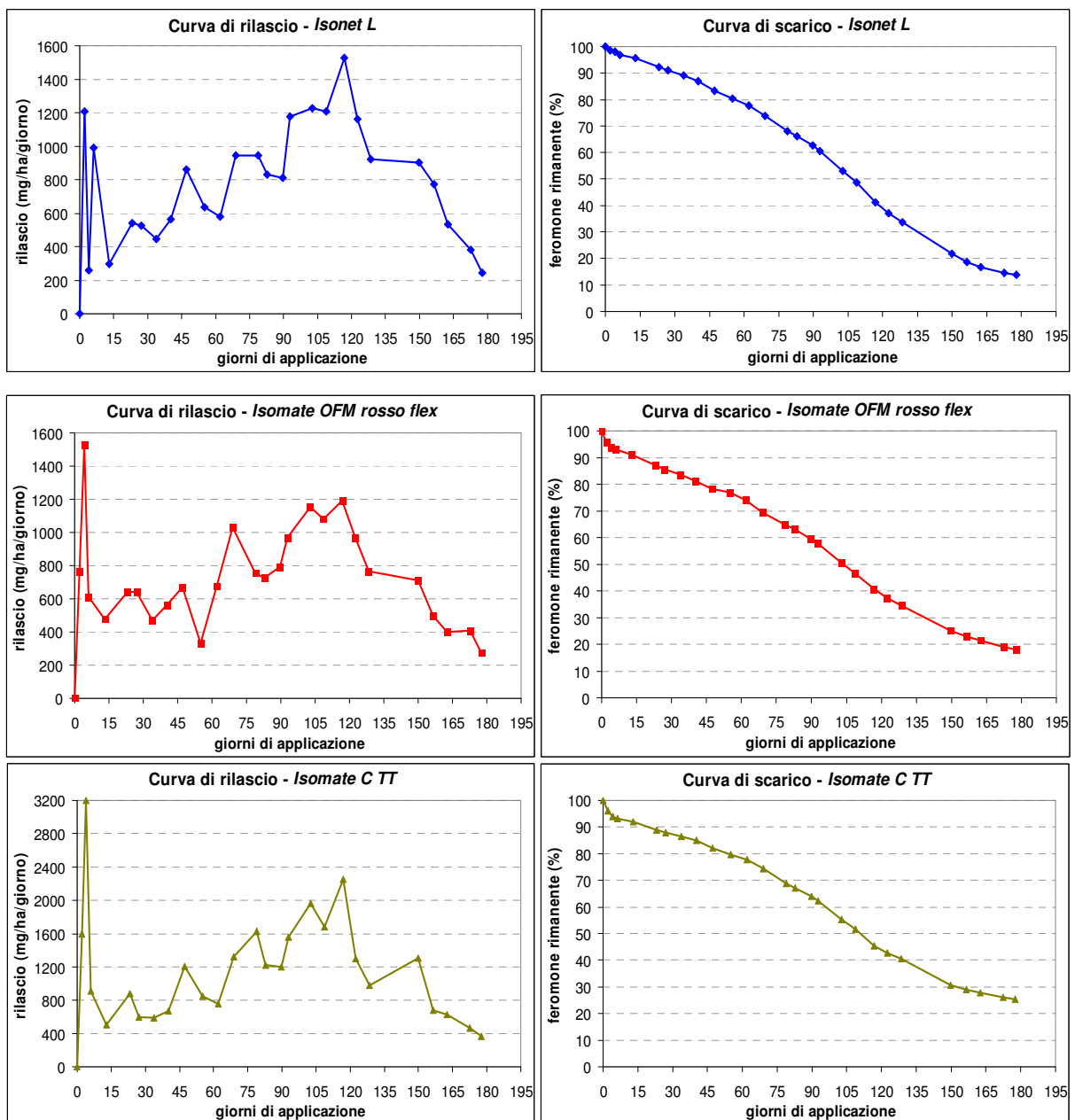
**Figura 3.20** - **a)** bilancia di precisione utilizzata per le pesate gravimetriche dei diffusori e **b)** sistema utilizzato per il prelievo dei diffusori in campo e il loro trasporto al laboratorio per le successive pesature

Una volta raccolti, i dati gravimetrici sono stati elaborati per calcolare l'entità del rilascio di feromone verificatosi nel periodo compreso tra una pesata gravimetrica e quella successiva. Per ciascuna delle tipologie di diffusori utilizzati i valori del rilascio calcolati per ogni singolo diffusore sono stati mediati e il rilascio medio è stato espresso in mg di feromone erogato al giorno per ettaro di vigneto (mg/ettaro/giorno)

alla dose di 500 diffusori/ettaro per i modelli Isonet L e Isomate C TT e 600 diffusori/ettaro per il modello Isomate OFM rosso flex.

La sperimentazione è iniziata il 28 marzo 2015 con l'applicazione in campo dei diffusori e si è conclusa il 22 settembre 2015 dopo 178 giorni di misure.

Nei grafici seguenti si riportano le curve di rilascio e di scarico delle diverse tipologie di diffusori utilizzati nello studio ottenute con le elaborazioni delle pesate gravimetriche effettuate durante la sperimentazione.



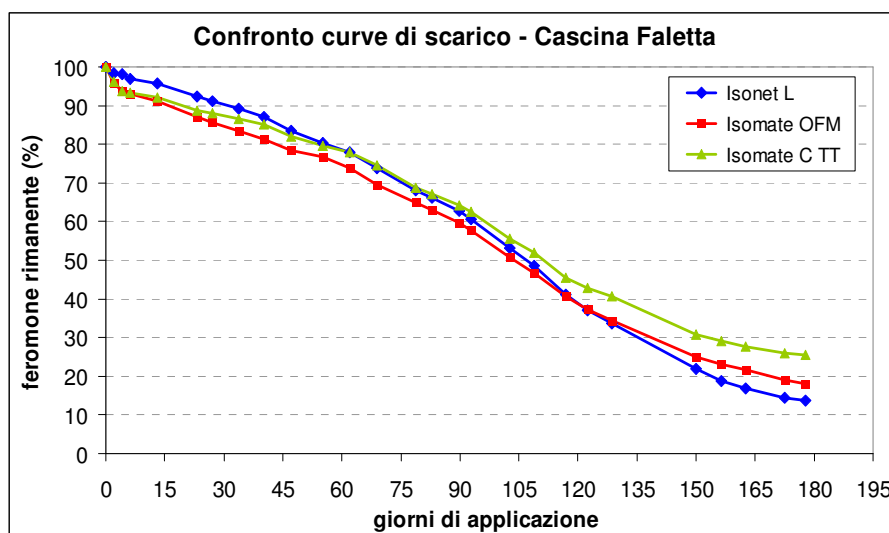
**Figura 3.21** - curve di rilascio e di scarico delle diverse tipologie di diffusori utilizzati durante la sperimentazione in campo



Il rilascio è espresso in mg di feromone erogato al giorno per ettaro di vigneto (mg/ettaro/giorno), mentre il contenuto di feromone rimanente è espresso in percentuale rispetto al contenuto totale della miscela di feromoni e coadiuvanti presente all'interno dei diffusori. Entrambi i parametri sono rappresentati in funzione del numero di giorni trascorsi dall'applicazione dei diffusori.

Si può osservare come, ad esclusione della settimana iniziale in cui il rilascio di feromone è molto elevato, l'andamento del rilascio delle tre tipologie di diffusori utilizzati nello studio è molto simile per gran parte del periodo della sperimentazione.

Il grafico seguente mostra invece il confronto fra le curve di scarico ottenute durante la sperimentazione per le tre tipologie di diffusori. Si può osservare come tutti i diffusori presentino curve di scarico con andamenti molto simili, a conferma della bontà del lavoro svolto.

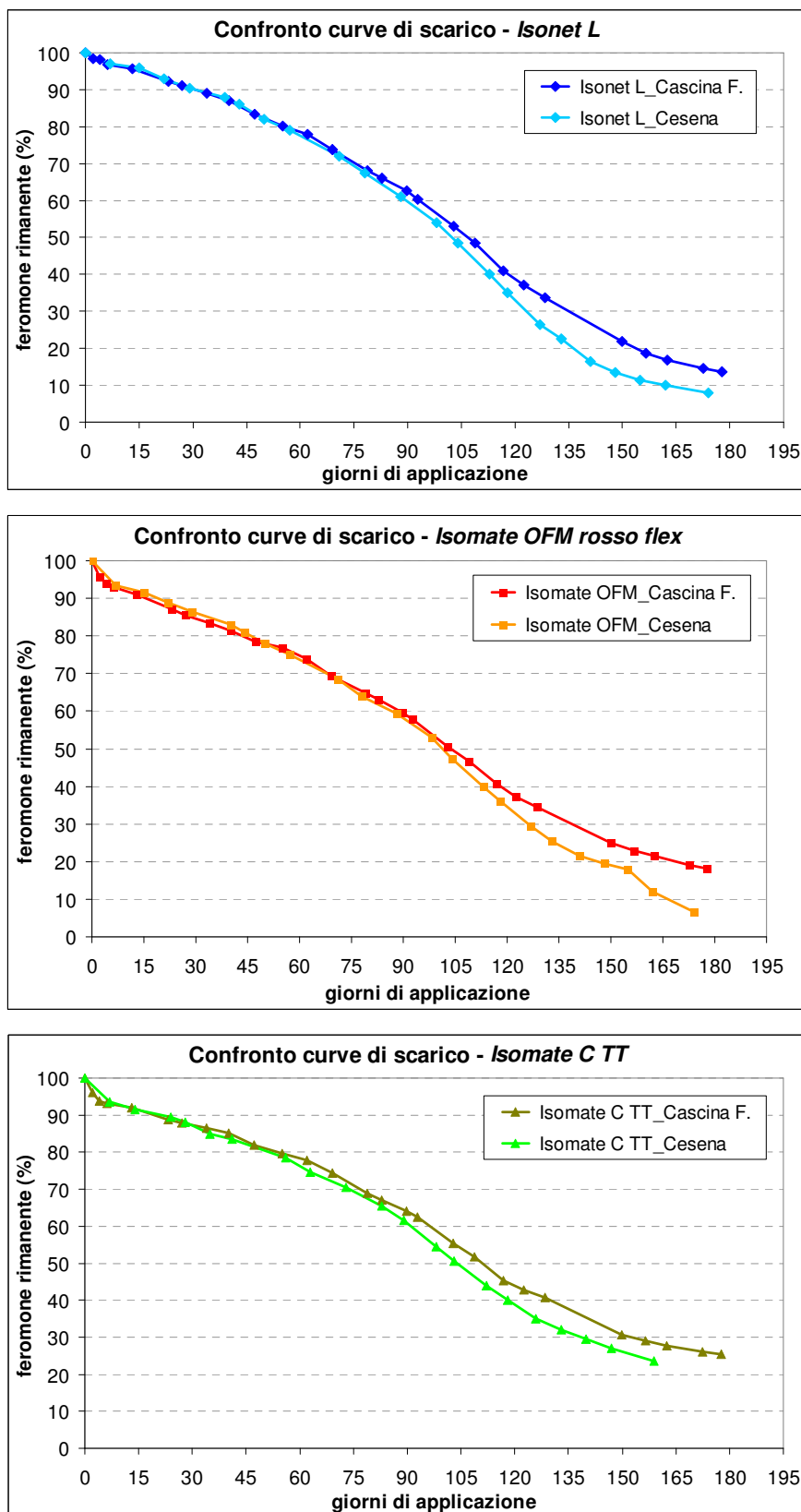


**Figura 3.22** - confronto fra le curve di scarico delle diverse tipologie di diffusori utilizzati durante la sperimentazione in campo

### **3.2.1 Confronto con i dati di rilascio raccolti in altre località**

Anche in questo caso, per valutare la bontà del lavoro svolto le curve di rilascio e di scarico ottenute con le misure effettuate in campo sono state confrontate con quelle raccolte in altre località nel medesimo periodo. In particolare, si è fatto riferimento alle curve di rilascio e di scarico ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori svolte dai tecnici dell'azienda CBC (Europe) Srl presso i campi prova situati nella località di Cesena (FC).

I grafici che seguono mostrano i risultati del confronto fra le curve di scarico ottenute nelle due località.



**Figura 3.23** - confronto fra le curve di scarico ottenute presso la Cascina Faletta di Casale Monferrato (AL) e nei campi prova della ditta CBC (Europe) Srl a Cesena (FC)

Si può osservare come le coppie di curve di scarico a confronto relative alla stessa tipologia di diffusore presentino nella prima parte del periodo di sperimentazione lo stesso andamento per tutte e tre le tipologie di diffusori posti a confronto, mentre nella seconda parte del periodo di sperimentazione si assiste ad un progressivo allontanamento delle curve di scarico a causa di un maggior rilascio di feromone dai diffusori applicati in campo nella località di Cesena rispetto a quelli applicati presso la Cascina Faletta di Casale Monferrato. Ciò è dovuto principalmente alle temperature più elevate riscontrate durante la sperimentazione nella località di Cesena rispetto a quelle verificatesi nel medesimo periodo nella località piemontese situata tra le colline del Monferrato.

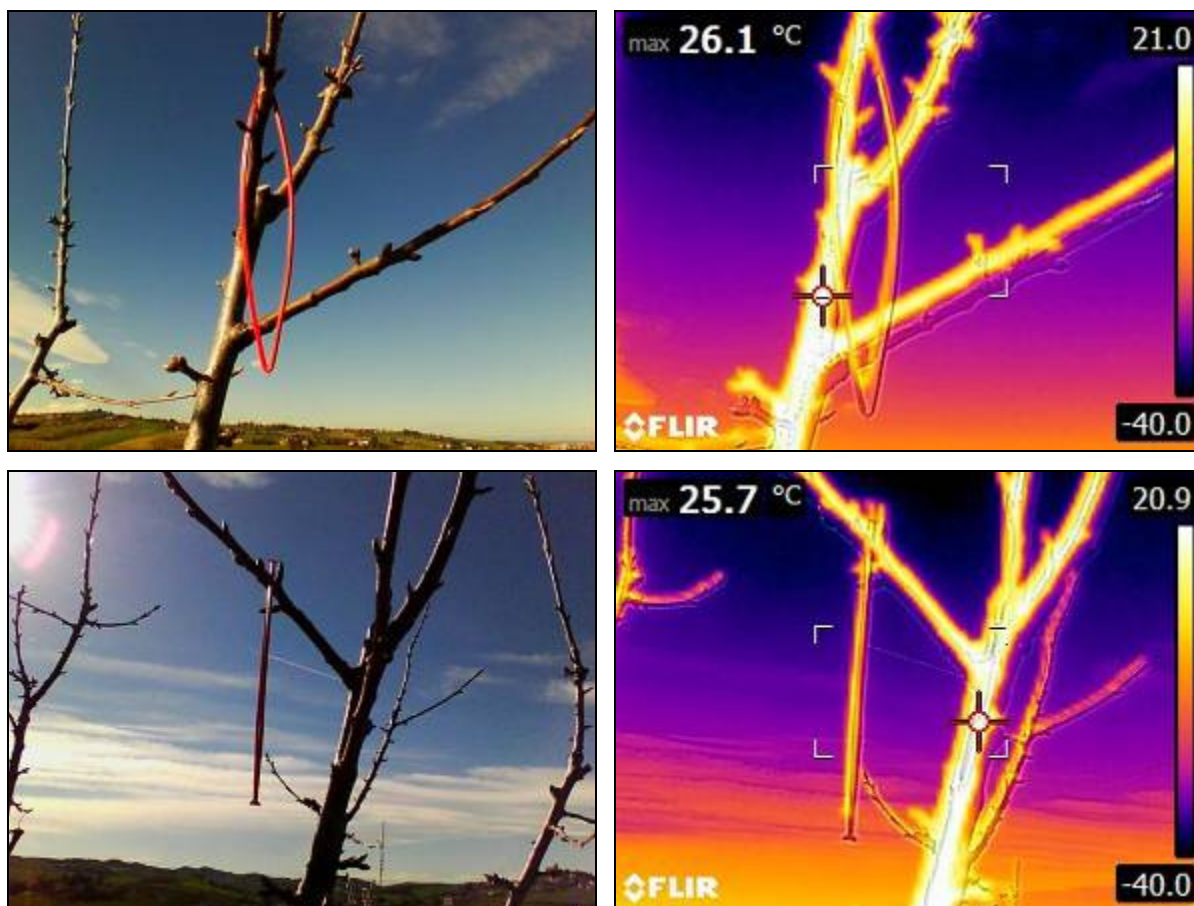
### ***3.2.2 Osservazione dei diffusori di feromone in termografia IR***

Presso i campi prova della Cascina Faletta sono state anche effettuate delle osservazioni con macchina termografica di alcuni dei diffusori di feromone applicati in campo e utilizzati nella sperimentazione.

Una macchina termografica è uno strumento in grado di determinare la temperatura superficiale di un oggetto, presente nel campo visivo della macchina, mediante l'utilizzo di un filtro in grado di rilevare lo spettro elettromagnetico emesso da un corpo e considerare esclusivamente la parte dello spettro emissivo compresa nell'intervallo delle lunghezze d'onda ricadenti nel campo dell'infrarosso termico (IR). Questo strumento trova larga applicazione nei settori dell'edilizia e dell'efficientamento energetico degli edifici, soprattutto per quanto riguarda l'analisi della dispersione termica degli edifici attraverso finestre, muri o coperture o per l'individuazione dei ponti termici normalmente presenti negli edifici.

In questo caso si è voluta effettuare una osservazione in termografia IR di alcuni dei diffusori applicati in campo al fine di determinarne la temperatura superficiale in condizioni di pieno soleggiamento e in presenza di condizioni di temperatura dell'aria note. Le osservazioni sono state effettuate il 28 marzo 2015, giorno dell'applicazione in campo dei diffusori di feromone, in presenza di una temperatura dell'aria prossima ai 22°C.

La figura seguente mostra alcune delle immagini ottenute con la macchina termografica e la corrispondente immagine ottica dell'area di ripresa. Si può osservare come la radiazione solare scaldi i diffusori di feromone portandoli a temperature più elevate dell'aria di pochi gradi centigradi.

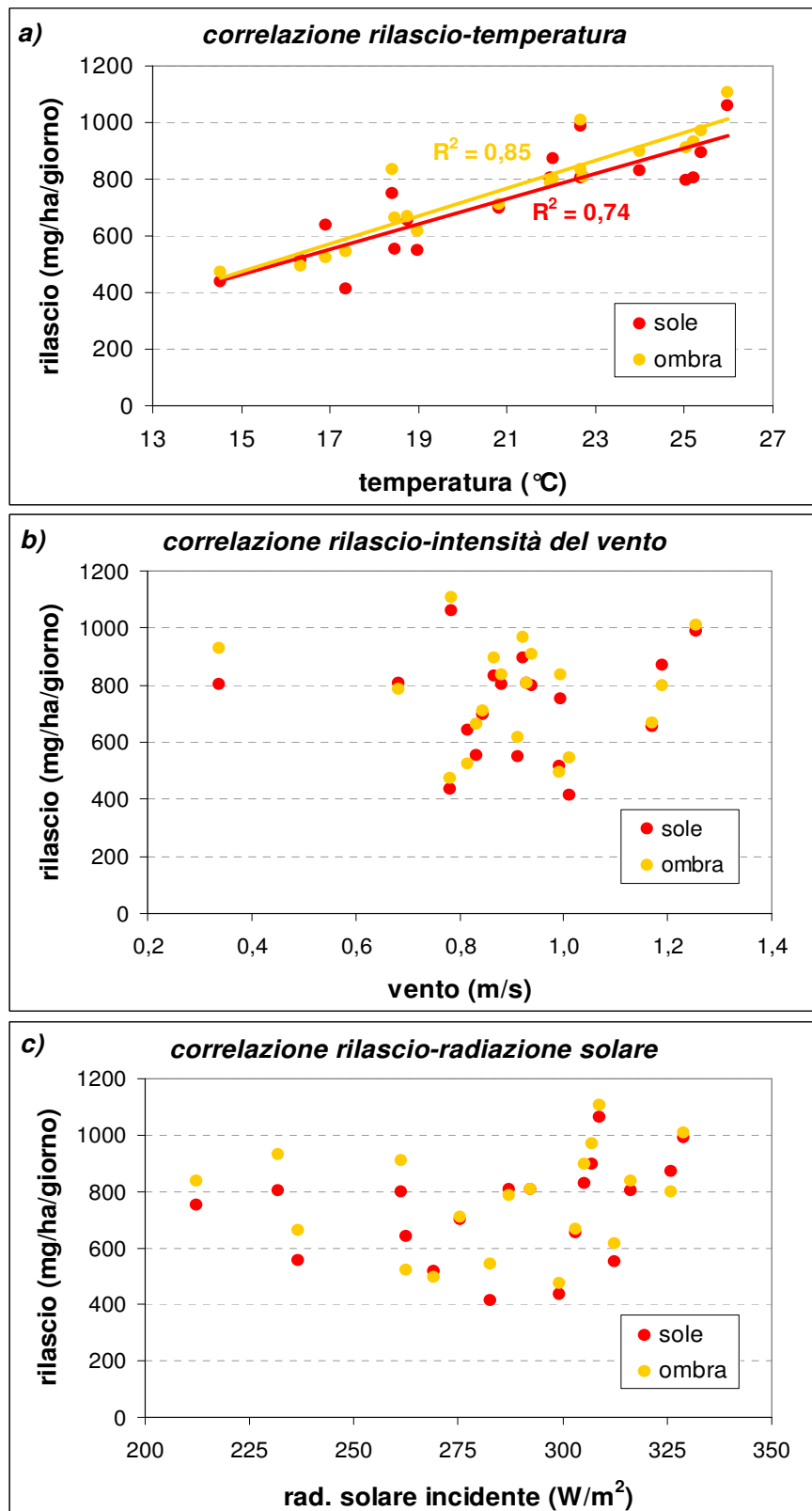


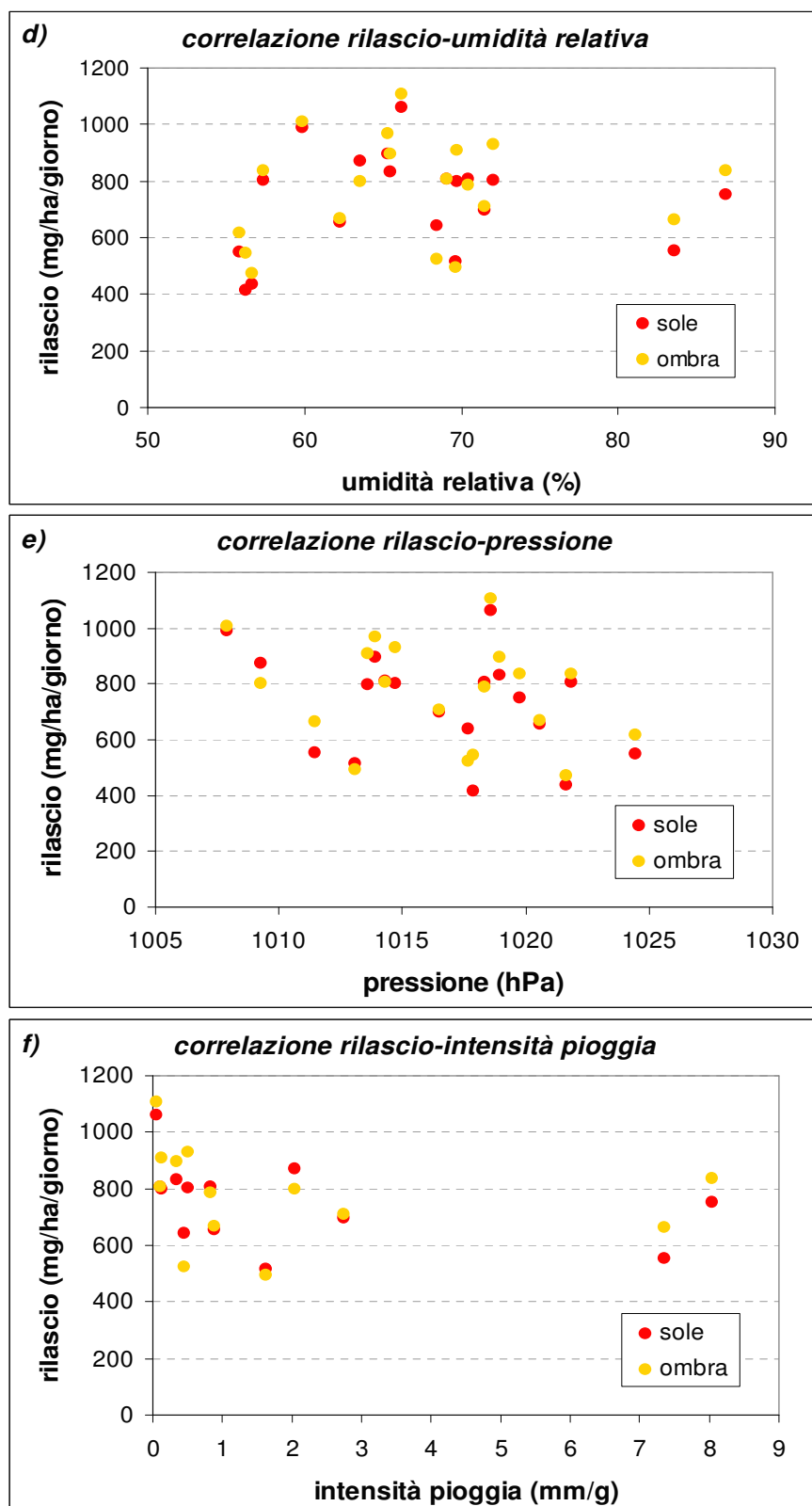
**Figura 3.24** - immagini in termografia IR di alcuni diffusori applicati in campo presso la Cascina Faletta e corrispondente immagine ottica dell'area di ripresa

### **3.3 Analisi dei fattori che regolano il rilascio di feromone**

Come detto, il primo obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di individuare i fattori, meteorologici e non, che esercitano un ruolo nel regolare il rilascio di feromone dai diffusori oggetto di studio. A tale scopo sono state ricercate le eventuali correlazioni esistenti fra i valori del rilascio misurati durante la sperimentazione e quelli assunti dalle diverse variabili meteorologiche monitorate durante il medesimo periodo.

I grafici seguenti mostrano i valori del rilascio dei diffusori rappresentati in funzione dei valori assunti dai diversi parametri meteorologici monitorati durante la sperimentazione. Si può osservare dai grafici i parametri intensità del vento, intensità della radiazione solare, umidità relativa dell'aria, pressione atmosferica e intensità di precipitazione non mostrano alcuna correlazione fra i valori assunti dai parametri stessi e il rilascio di feromone. L'unico parametro per il quale è possibile osservare un alto grado di correlazione con il rilascio di feromone è la temperatura dell'aria.





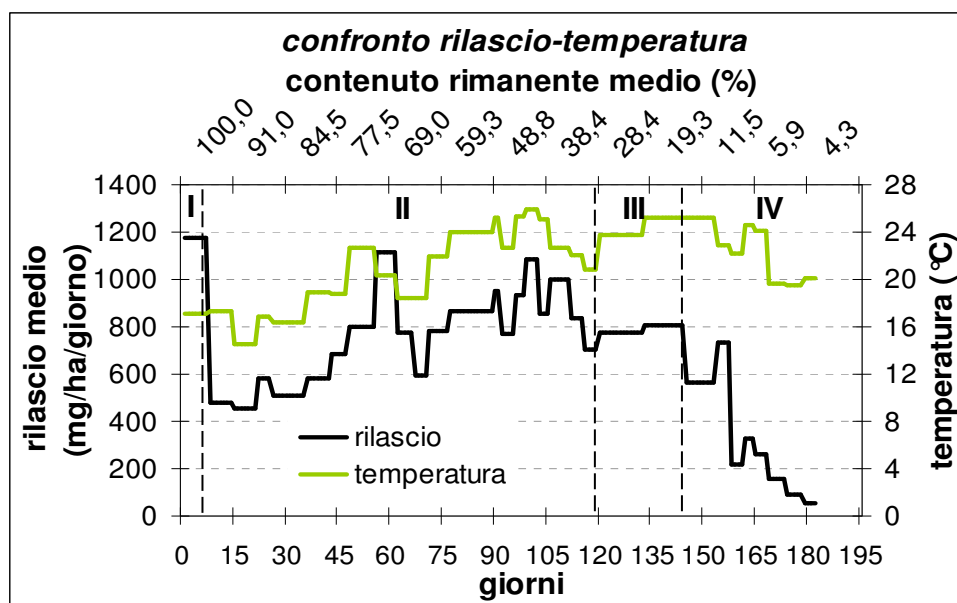
**Figura 3.25** - analisi delle correlazioni fra il rilascio dei diffusori e le variabili meteorologiche monitorate durante la sperimentazione

Se si suppone una relazione lineare fra la temperatura dell'aria e il rilascio di feromone, la retta che meglio interpola i dati sperimentali è caratterizzata da un  $R^2$  pari a 0,85 per i diffusori in condizioni di ombra e di 0,74 per i diffusori esposti alla radiazione solare diretta. Per una analisi più approfondita degli effetti della temperatura dell'aria sul rilascio del feromone, e per ulteriori elaborazioni e commenti, si rimanda ai successivi sottoparagrafi.

### 3.3.1 Temperatura dell'aria

Il grafico seguente mostra il confronto fra l'andamento della temperatura dell'aria e quello del rilascio medio dei diffusori carichi. Il rilascio è rappresentato in funzione sia dei giorni trascorsi dall'applicazione dei diffusori (asse delle ascisse inferiore) sia in funzione del contenuto di feromone rimanente espresso in percentuale (asse delle ascisse superiore).

Si può osservare come entrambe le curve presentino un andamento molto simile per gran parte del periodo della sperimentazione.



**Figura 3.26** - confronto fra l'andamento della temperatura dell'aria e il rilascio medio dei diffusori. Sono indicate in lettere romane, da I a IV, le fasi nelle quali può essere suddiviso il rilascio

Si ritiene che la temperatura dell'aria eserciti un doppio effetto sul rilascio. Un incremento della temperatura determina un incremento del rilascio in quanto a seguito della dilatazione termica della parete dei diffusori aumentano le dimensioni

dei pori, e di conseguenza aumenta la superficie utile per il rilascio delle molecole. Inoltre, un incremento di temperatura determina l'aumento dell'energia cinetica delle molecole di feromone le quali sono in grado di uscire dai pori e di staccarsi dalla parete del diffusore con maggiore rapidità.

Le osservazioni dei pori dei diffusori condotte in microscopia ottica e in microscopia elettronica a scansione a due diverse temperature, descritte nel seguito di questo lavoro di tesi, permetteranno di capire quale dei due fenomeni precedentemente descritti è quello maggiormente responsabile delle variazioni del rilascio al variare della temperatura.

Ci si aspetterebbe quindi un rilascio maggiore da parte dei diffusori esposti alla radiazione solare diretta rispetto a quelli in ombra, mentre non sono state rilevate differenze statisticamente significative fra le due curve di rilascio. Questo può essere dovuto alla presenza della copertura in plastica che protegge i diffusori dalla radiazione solare. Tale copertura durante il giorno mantiene la temperatura dei diffusori all'ombra più bassa rispetto a quella dei diffusori esposti ai raggi solari, mentre durante le ore notturne, in particolare dopo il tramonto, si potrebbe creare intorno ai diffusori con copertura un microambiente con temperatura leggermente superiore a quella dell'aria circostante.

Quanto sopra descritto potrebbe essere la causa del rilascio pressoché uguale fra le due tipologie di diffusori. Tale ipotesi ha bisogno di ulteriori studi per essere confermata, ma se fosse validata la copertura in plastica avrebbe l'effetto di rendere più omogenea l'erogazione dei diffusori durante l'arco della giornata, riducendone il rilascio durante le ore diurne e incrementandolo durante quelle notturne, periodo della giornata in cui si necessita della maggior presenza di feromone nell'area da proteggere in quanto quello in cui si verifica la maggior parte degli accoppiamenti degli insetti bersaglio.

### ***3.3.2 Velocità del vento***

Le prove in condizioni di ventilazione forzata hanno dimostrato come non vi siano differenze statisticamente significative tra i valori del rilascio per diffusori esposti a venti di intensità compresa fra i 2 e i 4 m/s. A fronte di questo risultato si potrebbe individuare nella velocità di permeazione delle molecole di feromone attraverso la parete dei diffusori il fattore limitante il rilascio. Il tempo di permeazione delle molecole di feromone attraverso i pori, maggiore del tempo di evaporazione delle molecole stesse dalla parete dei diffusori, impedirebbe la formazione di uno strato saturo di molecole sulla parete esterna dei diffusori.



Il vento potrebbe avere un effetto significativo sul rilascio se la velocità di permeazione del feromone attraverso la parete del diffusore fosse maggiore della velocità di evaporazione del feromone dalla parete stessa, ovvero se la concentrazione di feromone sulla superficie esterna del diffusore fosse prossima o quasi alla saturazione. In questo caso la rimozione da parte del vento di una parte delle molecole di feromone favorirebbe l'uscita dal diffusore di altre molecole, con conseguente incremento del rilascio (McDonough, 1997).

Non si può però escludere che sotto i 2 m/s il vento possa influire sull'entità del rilascio, anche se in letteratura è stato dimostrato, utilizzando un altro modello di diffusori sempre prodotti dall'azienda giapponese Shin-Etsu, che non vi sono differenze statisticamente significative nei valori del rilascio anche per diffusori esposti a velocità del vento di 0,8 e 1,8 m/s (Bradley *et al.*, 1995; Suckling *et al.*, 1997).

### **3.3.3 Radiazione solare**

La radiazione solare diretta, in particolare quella ultravioletta, potrebbe favorire la degradazione fotochimica sia delle molecole di feromone contenute all'interno del diffusore sia del capillare stesso, realizzato in polietilene, con possibile incremento del rilascio.

Dallo studio condotto non è possibile ricavare alcuna informazione circa la degradazione delle molecole di feromone. E' invece possibile cercare di individuare eventuali effetti dovuti all'azione dei raggi solari sulla parete esterna dei diffusori e sulla morfologia e le dimensioni dei pori.

Le osservazioni della parete dei diffusori condotte prima e dopo il loro utilizzo in microscopia elettronica a scansione hanno permesso di osservare l'effetto di alterazione della parete dei diffusori dovuto alla radiazione solare, alterazione però non tale da generare crepe o fratture all'interno della parete stessa. Si è inoltre osservato come la dilatazione termica della parete dei diffusori influenzi in maniera permanente le dimensioni dei pori, che risultano mediamente più grossi nei diffusori scarichi rispetto a quelli appena applicati.

Alle osservazioni in microscopia ottica ed in microscopia elettronica a scansione sarà dedicato un successivo paragrafo.

### **3.4 Descrizione delle modalità con cui avviene il rilascio**

Dall'analisi della figura 3.26 precedente è possibile individuare quattro fasi nelle quali può essere suddiviso il rilascio durante il periodo di applicazione dei diffusori, in

funzione delle modalità con cui esso si svolge. Le quattro fasi sono indicate in figura in lettere romane da I a IV.

Nel rappresentare e descrivere il rilascio di feromone nel seguito del presente capitolo non si farà riferimento solamente ai giorni trascorsi dal momento dell'applicazione dei diffusori, ma anche alla quantità di miscela di feromone e coadiuvanti ancora presente nei diffusori. Riferendosi al contenuto rimanente piuttosto che al tempo trascorso dall'applicazione i risultati di un qualsiasi studio possono essere estesi anche ad aree con differenti caratteristiche climatiche e ad anni caratterizzati da andamenti di temperatura differenti da quello registrato durante la sperimentazione.

### **3.4.1 Fase I**

E' quella immediatamente successiva all'applicazione dei diffusori. E' caratterizzata da un rilascio molto elevato, senza una diretta correlazione con la temperatura dell'aria. L'elevato rilascio è dovuto al fatto che i diffusori appena estratti dalla confezione hanno la parete esterna completamente imbevuta di molecole di feromone. Il rilascio misurato è in gran parte dovuto all'evaporazione di queste molecole. E' possibile ritenere pertanto che solo in questa fase il vento possa esercitare un effetto, anche se minimo, sul rilascio.

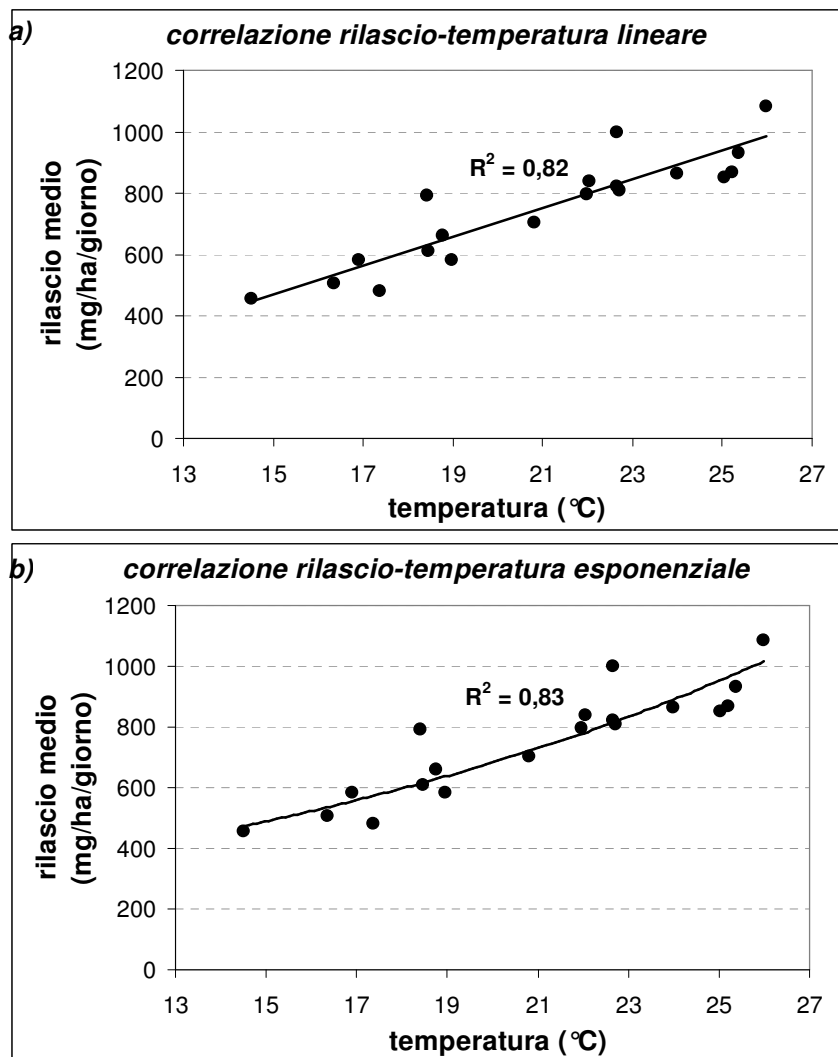
La durata di questa fase può essere considerata di circa una settimana.

### **3.4.2 Fase II**

Assieme alla fase III è quella di maggiore importanza per il successo del metodo di lotta, in quanto è durante questa fase che si verificano i voli principali degli insetti bersaglio. In questa fase esiste una diretta relazione fra il rilascio di feromone e la temperatura dell'aria, come mostrato nei grafici seguenti. Questa fase termina quando il contenuto di feromone rimanente nel diffusore è pari a circa il 25-30% di quello iniziale, variabile a seconda delle differenti tipologie di diffusore.

Nell'ipotesi di una relazione lineare fra temperatura e rilascio, la retta che meglio interpola i dati sperimentali è caratterizzata da un  $R^2$  pari a 0,82. Nell'ipotesi di una relazione di tipo esponenziale, invece, la curva che meglio interpola i dati sperimentali presenta un  $R^2$  pari a 0,83. La miglior bontà del fit esponenziale porterebbe a ritenere che il rilascio delle molecole di feromone dai diffusori utilizzati in funzione della temperatura sia di tipo esponenziale. L'intervallo delle temperature alle quali è stato misurato il rilascio è però piuttosto limitato, pur trattandosi dei valori di temperatura normalmente rilevabili in campo durante una stagione di lotta. Solo

con misure di rilascio ad alte e a basse temperature, anche se difficilmente riscontrabili nelle normali condizioni di campo, sarà possibile ottenere informazioni più complete ed esaustive sulla relazione che lega il rilascio di feromone con la temperatura dell'aria. A queste misure, definite “misure di rilascio in condizioni limite”, è dedicato il paragrafo successivo.



**Figura 3.27** - correlazione fra la temperatura dell'aria e il rilascio medio dei diffusori durante la fase II del rilascio: ipotesi di correlazione **a)** lineare e **b)** esponenziale

### 3.4.3 Fase III

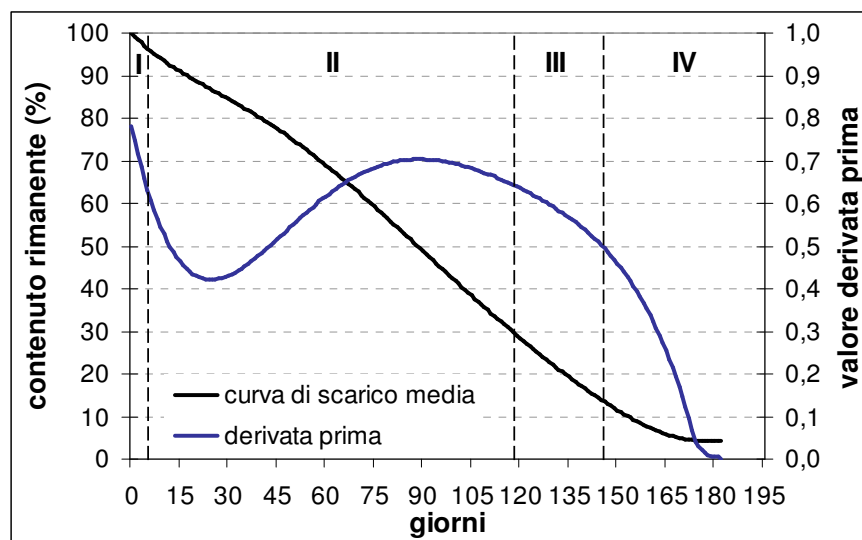
In questa fase il rilascio di feromone è ancora influenzato dalla temperatura dell'aria; il rilascio presenta infatti un andamento molto simile a quello della temperatura, ma non esiste più la diretta proporzionalità fra rilascio e temperatura riscontrata durante

la fase II. Questa fase termina quando il contenuto di feromone rimanente nel diffusore è pari a circa il 10-15% di quello iniziale, variabile anche in questo caso a seconda della tipologia di diffusore utilizzato.

### 3.4.4 Fase IV

Durante questa fase il rilascio di feromone non mostra più alcuna relazione con la temperatura dell'aria. La quantità di feromone presente all'interno dei diffusori è molto bassa e il rilascio subisce una netta riduzione, portandosi rapidamente a zero, poiché il diffusore è ormai quasi del tutto scarico.

Il grafico seguente mostra la curva di scarico media dei diffusori e la curva che rappresenta il valore assunto dalla derivata prima della curva di scarico (pendenza della retta tangente alla curva di scarico in ogni punto della stessa). Si può osservare anche in questo caso l'elevato rilascio caratteristico della prima settimana di applicazione dei diffusori, seguito da un calo e da un successivo incremento durante la fase II per effetto diretto della temperatura, mentre a partire dalla fase III si assiste ad una progressiva diminuzione dell'entità del rilascio, che si riduce in misura tanto maggiore quanto minore è la quantità di feromone ancora presente all'interno del diffusore.



**Figura 3.28** - curva di scarico dei diffusori e curva della sua derivata prima. Sono indicate in lettere romane, da I a IV, le quattro fasi nelle quali può essere suddiviso il rilascio

### **3.5 Studio del rilascio in condizioni limite**

Dall'analisi delle correlazioni esistenti tra i valori del rilascio e quelli della temperatura dell'aria è emerso come la bontà del fit esponenziale sia leggermente superiore a quella del fit lineare. Studiando il rilascio a temperature superiori ed inferiori a quelle normalmente rilevabili in condizioni di campo sarà possibile capire se la relazione rilascio-temperatura è di tipo esponenziale oppure se tale relazione è rappresentata da un altro tipo di curva.

In prima ipotesi, prima di condurre le misure descritte nel seguito del paragrafo, si è anche supposto che la relazione fra rilascio e temperatura potesse essere rappresentata da una funzione di tipo sigmoidale. Il rilascio potrebbe raggiungere asintoticamente lo zero per valori di temperatura prossimi o inferiori agli 0°C mentre a valori di temperatura molto alti il rilascio potrebbe raggiungere un valore massimo di plateau.

Le misure descritte nel seguito del paragrafo hanno messo in evidenza come a temperature prossime agli 0°C il rilascio raggiunga asintoticamente lo zero, mentre alle alte temperature, almeno fino a 60°C, non si raggiunge alcun valore di plateau, ma si ha una crescita continua ed esponenziale del rilascio.

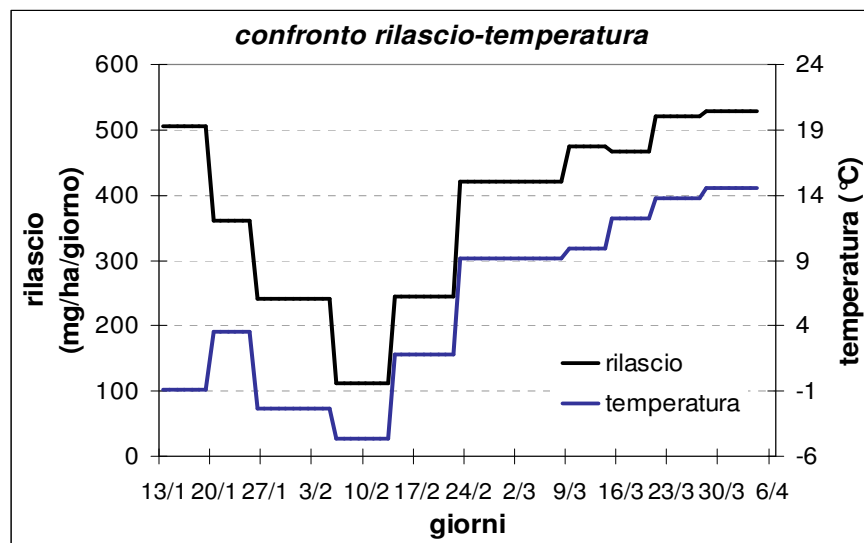
#### **3.5.1 Analisi del rilascio alle basse temperature**

Durante il periodo della sperimentazione è stata condotta anche una breve campagna di pesature invernali per studiare il rilascio dei diffusori in presenza di temperature esterne molto basse, spesso anche inferiori agli 0°C.

Analogamente a quanto fatto per il resto della campagna di misure, i diffusori sono stati applicati in ambiente esterno in condizioni paragonabili a quelle di campo, e con cadenza settimanale sono state effettuate le pesate gravimetriche degli stessi. Successivamente sono stati calcolati i valori del rilascio, tenendo conto anche delle fluttuazioni di peso dei diffusori di controllo.

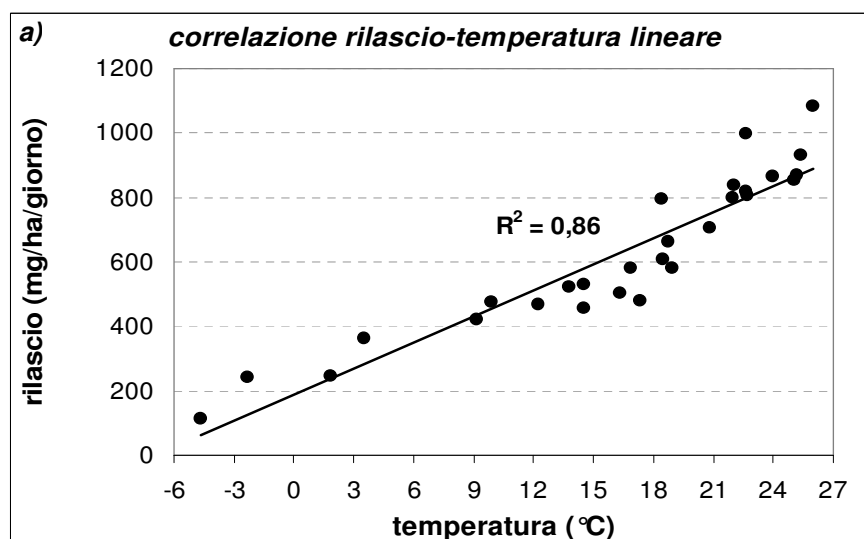
I valori di rilascio ottenuti sono rappresentati nel grafico seguente, assieme alla curva della temperatura dell'aria registrata dalla centralina meteorologica del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell'Università del Piemonte Orientale di Alessandria.

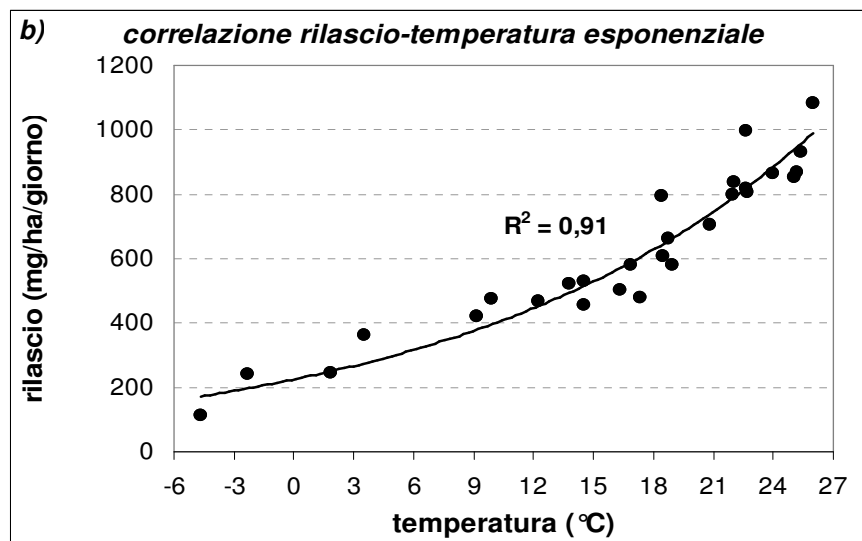
Si può osservare come le due curve presentino un andamento molto simile, ad eccezione della prima settimana in cui il rilascio è molto elevato in quanto i diffusori sono ancora molto carichi.



**Figura 3.29** - confronto fra l'andamento della temperatura dell'aria e il rilascio dei diffusori durante la sperimentazione condotta nel periodo invernale

Rappresentando i valori del rilascio e quelli della temperatura dell'aria ottenuti durante la sperimentazione invernale e durante quella condotta in condizioni “normali” di campo è possibile confermare che una funzione di tipo esponenziale è quella che meglio descrive il rilascio delle molecole di feromone in funzione della temperatura dell'aria. E' possibile inoltre osservare come a temperature inferiori agli 0 °C il rilascio si porti asintoticamente a zero.





**Figura 3.30** - correlazione fra la temperatura dell'aria e il rilascio dei diffusori relativa al periodo invernale e alle "normali" condizioni di campo: ipotesi di correlazione **a)** lineare e **b)** esponenziale

### 3.5.2 Analisi del rilascio a temperature elevate

Per poter studiare il comportamento dei diffusori a temperature superiori a quelle normalmente rilevabili in condizioni di campo è stata condotta una breve campagna di misure in condizioni di temperatura controllata utilizzando una cella climatica da laboratorio con la quale è stato studiato il rilascio dei diffusori fino ad una temperatura di 60 °C circa. I diffusori sono stati acclimatati alla temperatura di 35 °C e si è incrementata la temperatura interna alla cella di 5 °C dopo ogni pesata gravimetrica dei diffusori.

All'interno della camera climatica è stato inoltre inserito un termometro con funzione datalogger per registrare in continuo la temperatura dell'aria al fine di rilevare eventuali mal funzionamenti della cella dei quali non ci si potrebbe accorgere se non avendo traccia continua della storia della temperatura interna alla cella.

L'elevato rilascio verificatosi in presenza di valori di temperatura così elevati ha portato i diffusori a scaricarsi completamente nel giro di sole due settimane.

I valori del rilascio ottenuti con le misure in cella climatica sono rappresentati nel primo grafico del successivo paragrafo 3.7, nel quale si andrà a definire la relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria.

### **3.6 Osservazione dei diffusori in microscopia**

Sono state effettuate osservazioni al microscopio ottico e al microscopio elettronico a scansione di alcuni dei diffusori impiegati durante la sperimentazione. Tali osservazioni sono state condotte con l’obiettivo di indagare eventuali effetti di deterioramento della parete dei diffusori dovuti all’azione della radiazione solare o degli agenti atmosferici, ma anche per capire l’entità delle variazioni delle dimensioni dei pori dovute alle variazioni della temperatura dei diffusori.

#### **3.6.1 Osservazioni condotte in microscopia ottica**

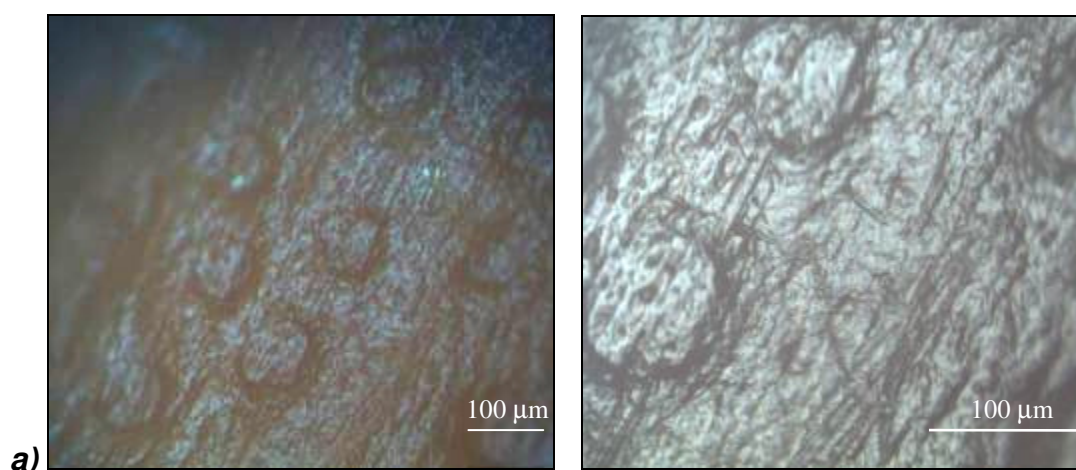
Le osservazioni in microscopia ottica sono state effettuate presso i laboratori del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell’Università del Piemonte Orientale di Alessandria utilizzando un microscopio ottico Olympus modello BX41.

I diffusori sono stati osservati all’ingrandimento 100x con obiettivi 10x, 20x e 50x, sia con polarizzatori incrociati sia senza polarizzatori.

Le osservazioni sono state condotte a temperatura ambiente, pertanto eventuali differenze riscontrabili nelle dimensioni dei pori dei diffusori non sono legate alla diversa temperatura dei diffusori al momento dell’osservazione.

**Diffusore carico:** obiettivo 10x  
con polarizzatori incrociati

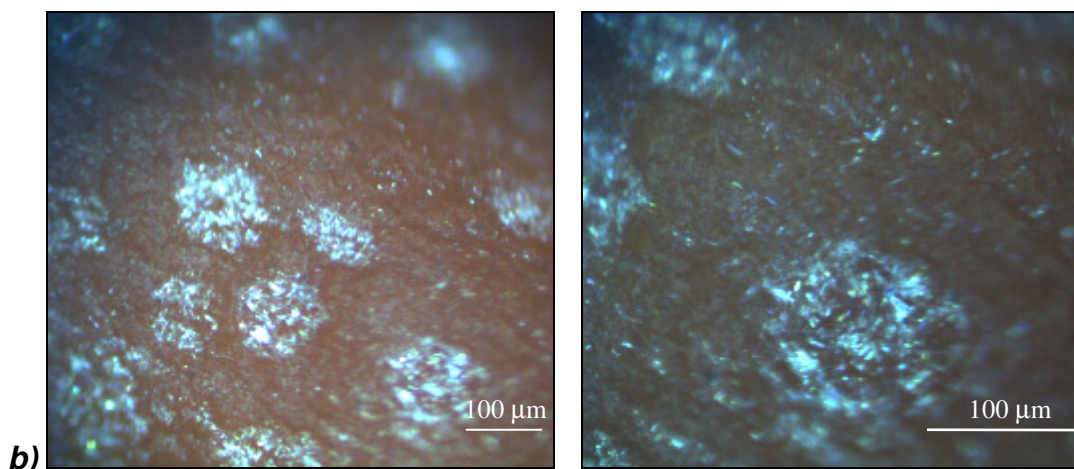
**Diffusore carico:** obiettivo 20x  
senza polarizzatori





**Diffusore scarico:** obbiettivo 10x  
con polarizzatori incrociati

**Diffusore scarico:** obbiettivo 20x  
con polarizzatori incrociati



**Figura 3.31** - immagini in microscopia ottica di una porzione di diffusore **a)** carico e **b)** scarico

E' evidente la differenza fra i diffusori carichi, i cui pori presentano le stesse caratteristiche ottiche della parete del diffusore, e quelli scarichi, i cui pori si distinguono invece dalla parete per la loro maggiore luminosità.

Una possibile spiegazione può essere ricercata nel fatto che il diffusore carico, oltre a contenere al suo interno le molecole di feromone, è rivestito anche sulla sua parete esterna dalle molecole stesse, pertanto i pori e la parete presentano al microscopio ottico un comportamento molto simile. L'individuazione dei pori è possibile attraverso l'ombra creata dalla luce sul bordo dei pori stessi.

I diffusori scarichi presentano invece una netta differenza di colore tra il poro, chiaro, e la parete, scura. I pori appaiono molto luminosi, ad indicazione che all'interno dei diffusori deve essere presente qualche sostanza in grado di riflettere la luce in misura maggiore rispetto al capillare in polietilene. Una sezione longitudinale di due diffusori, uno scarico e l'altro carico, ha permesso di individuare all'interno dei diffusori scarichi la presenza di una sostanza di colore bianco che ricopre la parete interna di tali diffusori. Potrebbe trattarsi di cristalli lasciati da una o più molecole presenti all'interno della miscela assieme ai feromoni, sostanze che potrebbero restare all'interno dei diffusori una volta evaporate le molecole di feromone. La conferma o meno di ciò la si avrà con le osservazioni condotte, ad un maggior livello di ingrandimento, al microscopio elettronico a scansione.

Dalle immagini raccolte al microscopio ottico non è possibile ricavare alcuna informazione circa l'alterazione della parete e/o della morfologia dei pori dovuta all'azione della radiazione solare. E' stato però possibile condurre un'analisi dimensionale sui pori di alcuni dei diffusori carichi e scarichi utilizzati nella sperimentazione, risultati che verranno illustrati nel seguito di questo paragrafo.

### ***3.6.2 Osservazioni condotte in microscopia elettronica a scansione***

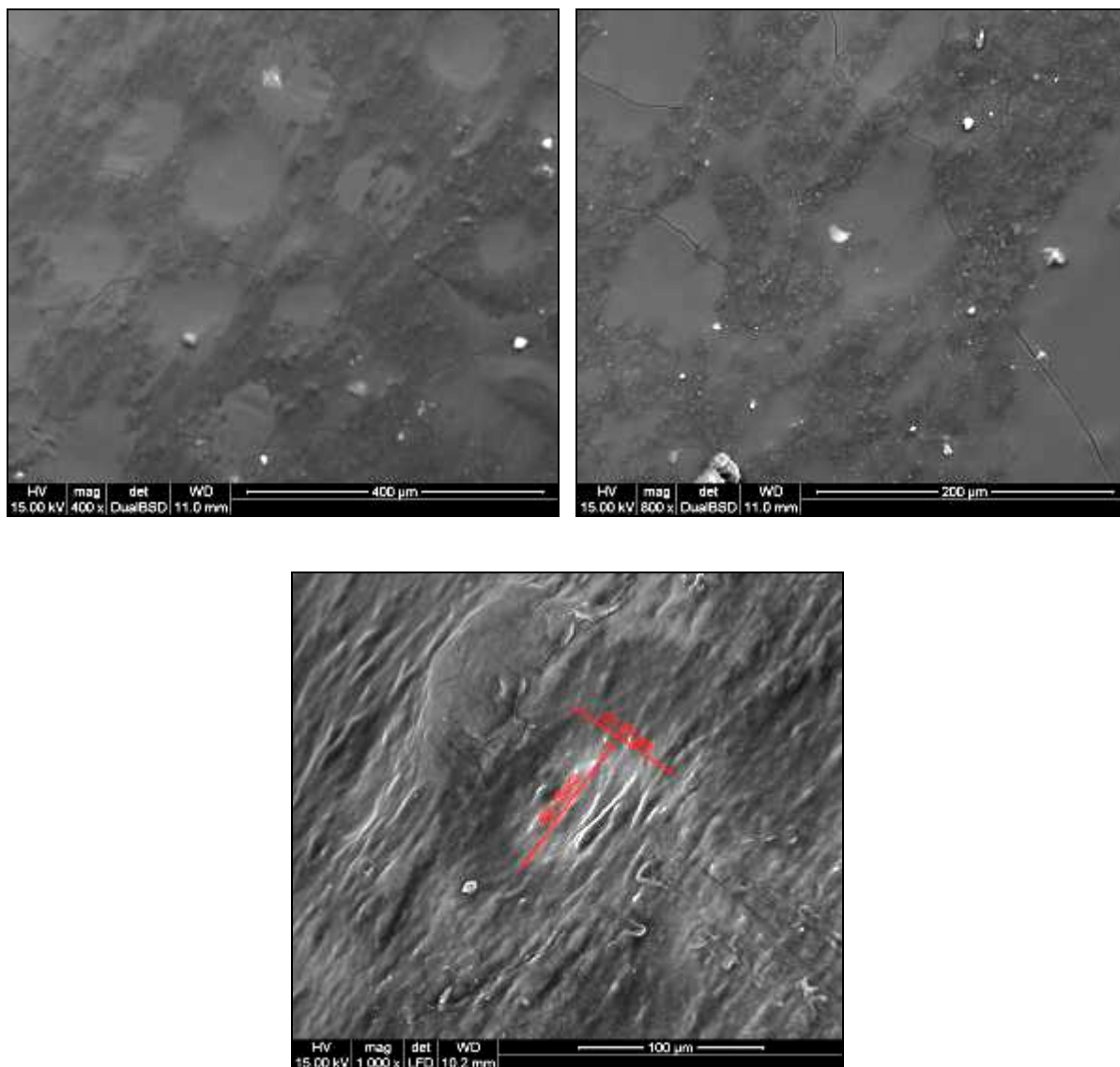
Anche le osservazioni in microscopia elettronica a scansione sono state condotte presso i laboratori del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell'Università del Piemonte Orientale di Alessandria, utilizzando un Microscopio Elettronico a Scansione con annessa micro-Sonda in Dispersione di Energia (SEM/EDS). Lo strumento utilizzato è il modello E-SEM Quanta 200, FEI Company, con annessa microsonda elettronica EDS EDAX microanalysis, Software GENESIS vers. 3.6.

Un microscopio a scansione elettronica genera immagini, in formato digitale, che sono il risultato della scansione della superficie del campione eseguita con un fascio di elettroni, accelerato e focalizzato. Gli elettroni possono rimbalzare più o meno elasticamente rispetto ai nuclei degli atomi del campione, e prendono quindi il nome di elettroni retrodiffusi (BSE: Back-Scattered Electrons), o possono scalzare elettroni degli orbitali più interni degli atomi del campione con conseguente emissione di elettroni secondari (SE: Secondary Electrons). Il riequilibrio energetico degli atomi a cui sono stati estratti elettroni secondari provoca l'emissione di raggi X raccolti da rivelatori a dispersione di energia (EDS: Energy Dispersive Spectrometer). Dagli spettri forniti dall'EDS è possibile ricavare informazioni sulla composizione chimica del campione.

Le analisi in SEM/EDS sono state effettuate operando in modalità High Vacuum (HV,  $P < 0$  Pa) su campioni conduttivi metallizzati con grafite e su campioni tal quali, impostando un'accelerazione di fascio pari a 15 kV, con un'emissione media di corrente in saturazione pari a 94  $\mu$ A ed una distanza di lavoro (WD) variabile da 10,2 mm a 11 mm. I campioni sono stati montati su carbon tape su portacampioni in alluminio detti stub aventi diametro di  $\frac{1}{2}$  pollice.

Si riportano di seguito alcune delle immagini acquisite relative ad un diffusore carico e a due diffusori utilizzati nelle misure di rilascio in condizioni di radiazione solare diretta e di ombra. I diffusori sono stati osservati a vari ingrandimenti utilizzando rilevatori diversi. Le specifiche di acquisizione di ciascuna immagine sono riportate nella didascalia delle stesse.

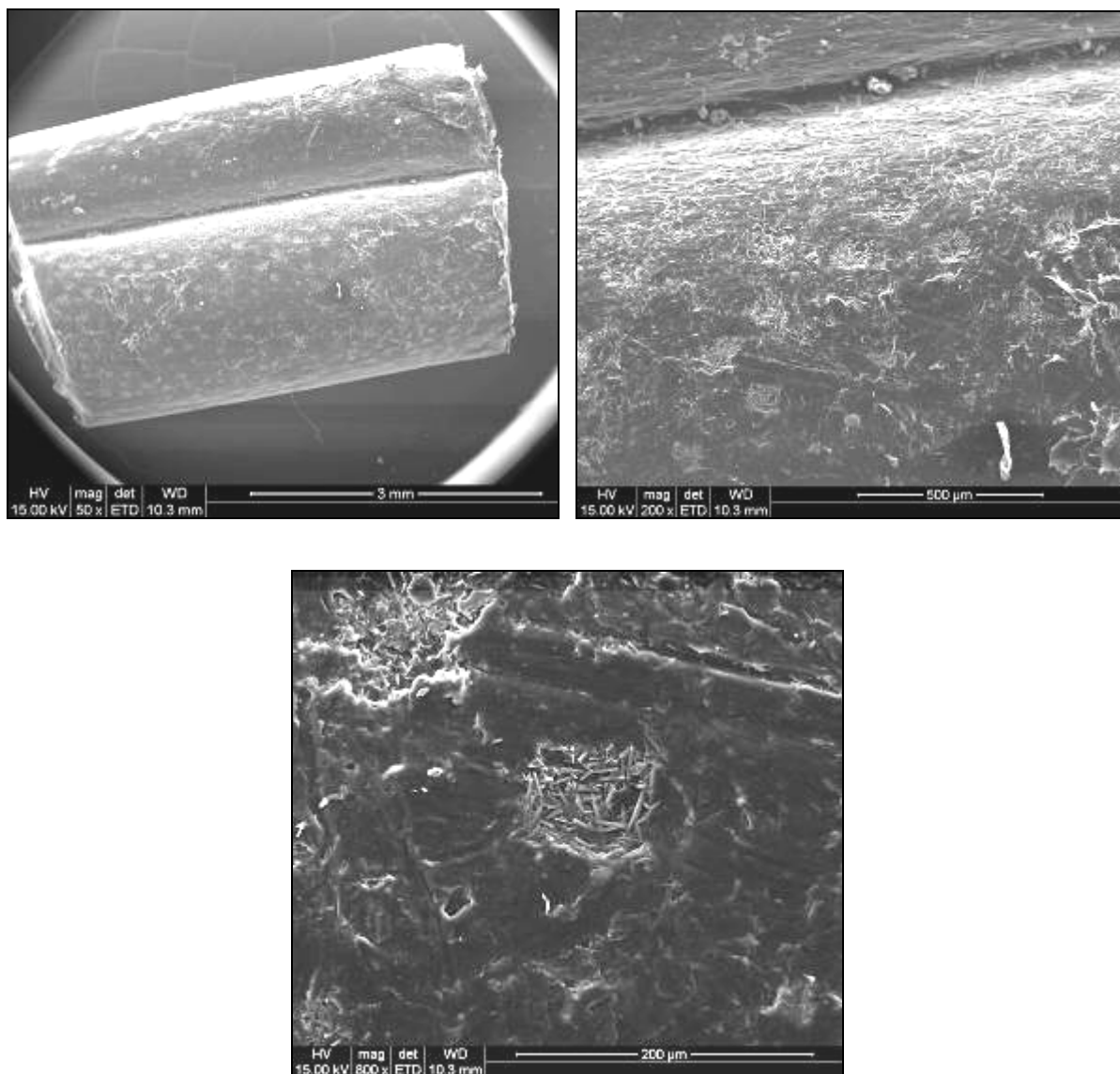
**a) Diffusore carico**



**Figura 3.32** - immagini in microscopia elettronica a scansione di una porzione di diffusore carico. Le due immagini in alto sono state acquisite con il rivelatore degli elettroni retrodiffusi (BSD) su campioni metallizzati, l'immagine in basso è stata acquisita con il rivelatore degli elettroni secondari LFD su campioni tal quali

E' possibile osservare un poro dalla tipica forma ellittica ed apprezzarne la sua profondità. Sono anche state indicate le dimensioni del poro oggetto di osservazione (larghezza e lunghezza).

**b) Diffusore scarico in condizioni di radiazione solare diretta**

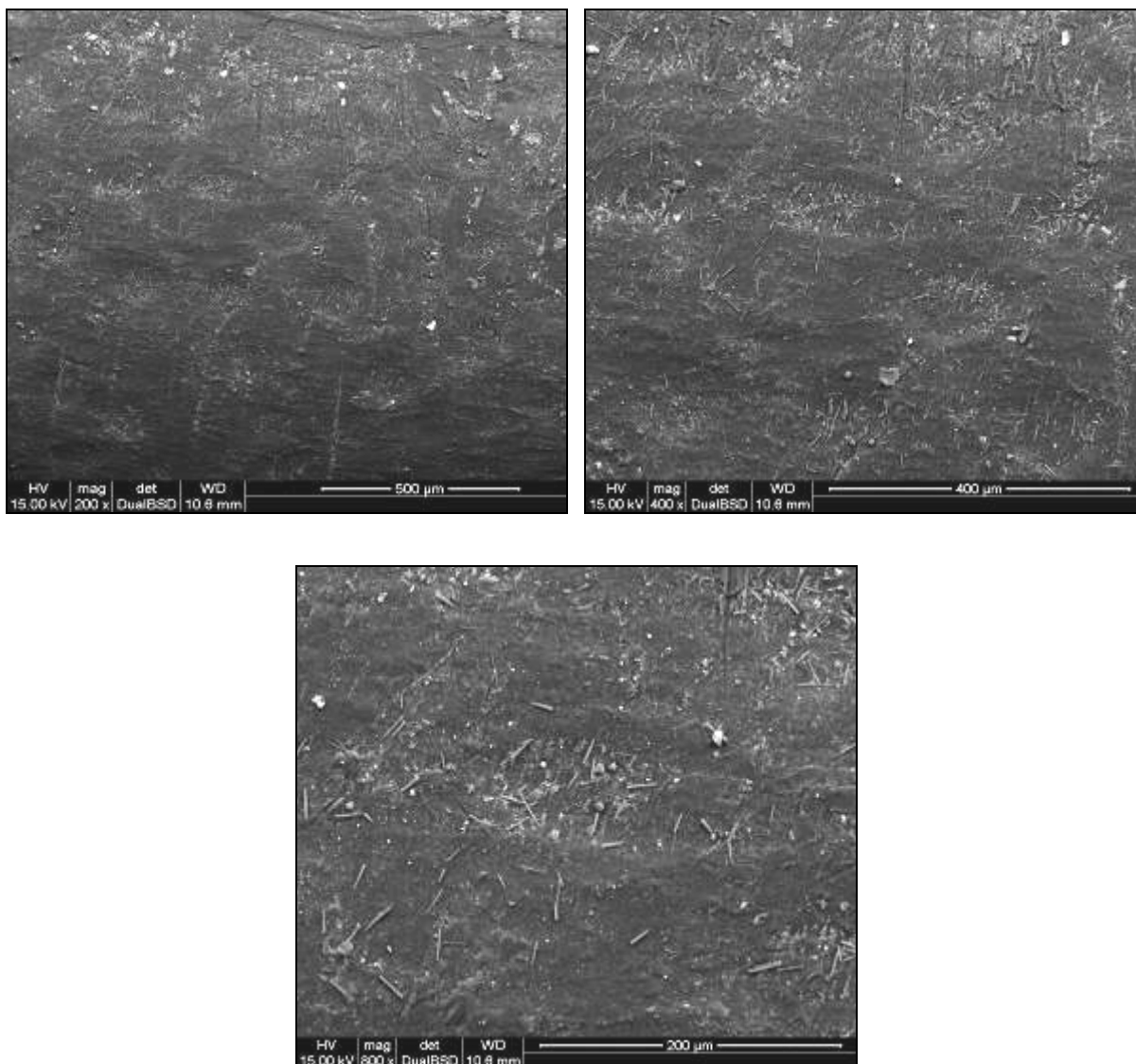


**Figura 3.33** - immagini in microscopia elettronica a scansione di una porzione di diffusore scarico esposto alla radiazione solare diretta. Tutte le immagini sono state acquisite con il rilevatore degli elettroni secondari ETD

Le immagini precedenti, anche se non possono essere confrontate con le immagini del diffusore carico e con quelle del diffusore scarico che seguono, in quanto acquisite con rilevatori diversi, consentono di osservare l'effetto di alterazione della parete del diffusore ad opera della radiazione solare e degli agenti meteorici.

E' possibile inoltre individuare all'interno dei pori i cristalli la cui presenza era già stata riscontrata durante le osservazioni condotte in microscopia ottica.

**c) Diffusore scarico in condizioni di ombra**



**Figura 3.34** - immagini in microscopia elettronica a scansione di una porzione di diffusore scarico non esposto alla radiazione solare diretta. Le immagini sono state acquisite con il rilevatore degli elettroni retrodiffusi (BSD) su campioni metallizzati

Le immagini confermano la presenza all'interno dei diffusori scarichi dei cristalli, anche se in minor quantità rispetto al diffusore esposto alla radiazione solare diretta. I cristalli individuati nelle precedenti immagini sono stati sottoposti ad analisi al SEM/EDS al fine di determinarne la composizione chimica. I risultati ottenuti sono descritti alle fine di questo paragrafo.

### **3.6.3 Analisi dimensionale dei pori dei diffusori carichi e scarichi**

Nel seguito del parametro viene descritta l'analisi dimensionale condotta sui pori dei diffusori carichi e di quelli scarichi utilizzati durante la sperimentazione, sia in microscopia ottica che in microscopia elettronica a scansione.

E' bene precisare, prima di procedere con le analisi, che la maggior parte dei pori, sia quelli dei diffusori carichi che quelli dei diffusori già utilizzati, non hanno una sezione circolare ma sono ellittici, in maniera più o meno accentuata, con una dimensione maggiore (asse maggiore o lunghezza del poro) prevalente rispetto all'altra (asse minore o larghezza del poro).

Dall'analisi dimensionale condotta utilizzando le immagini acquisite in microscopia ottica è emerso come la dimensione media dei pori dei diffusori scarichi relativa all'asse maggiore del poro sia di circa 10  $\mu\text{m}$  superiore a quella dei diffusori carichi. Tale differenza è statisticamente significativa (test di ipotesi sulla differenza fra due medie con varianze note,  $p < 0,01$ ).

Ciò fa supporre che l'azione di dilatazione termica del diffusore dovuta alle variazioni di temperatura induca effetti di deformazione permanente sui pori dei diffusori. La dilatazione termica agisce prevalentemente nel senso della lunghezza del diffusore, pertanto l'effetto di deformazione dei pori è maggiormente visibile lungo l'asse maggiore dei pori. All'opposto, la differenza fra i valori medi della dimensione minore dei pori dei diffusori carichi e di quelli scarichi (asse minore del poro) è di pochi micron. Tale differenza non è statisticamente significativa (test di ipotesi sulla differenza fra due medie con varianze note,  $p < 0,05$ ).

Analoga analisi dimensionale è stata condotta sulle immagini acquisite al microscopio elettronico a scansione ottenendo risultati molto simili, di seguito descritti. Con l'ausilio del software GIMP 2.6.8 sono state misurate sulle immagini le dimensioni (lunghezza e larghezza) dei pori di un diffusore carico e di uno scarico, a temperatura ambiente e dopo aver acclimatato i diffusori in cella climatica alla temperatura di 60 °C per circa un'ora. Si è voluto in questo modo valutare l'effetto delle variazioni di temperatura sulla dimensione dei pori, da cui ricavare informazioni su quanto la dilatazione termica dei pori incida sul rilascio di feromone.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei principali parametri statistici relativi alle dimensioni dei pori dei diffusori carichi e scarichi ottenuti con le osservazioni condotte a temperatura ambiente e dopo aver messo i diffusori in camera climatica alla temperatura di 60 °C. I diffusori utilizzati per le osservazioni a temperatura ambiente e a 60 °C sono gli stessi, e anche le porzioni dei diffusori sulle quali sono state effettuate le analisi sono il più possibile coincidenti. L'ultima colonna della tabella è relativa ad un parametro, il fattore di forma, che si è scelto di utilizzare per



avere a disposizione un parametro che tenga conto della forma più o meno ellittica del poro. Tale parametro altro non è che il rapporto tra la lunghezza e la larghezza del poro.

Il numero di pori sui quali sono state condotte le analisi è per i diffusori carichi di 40 pori a temperatura ambiente e 54 pori a 60°C, mentre per i diffusori scarichi è di 25 pori a temperatura ambiente e 23 pori a 60°C.

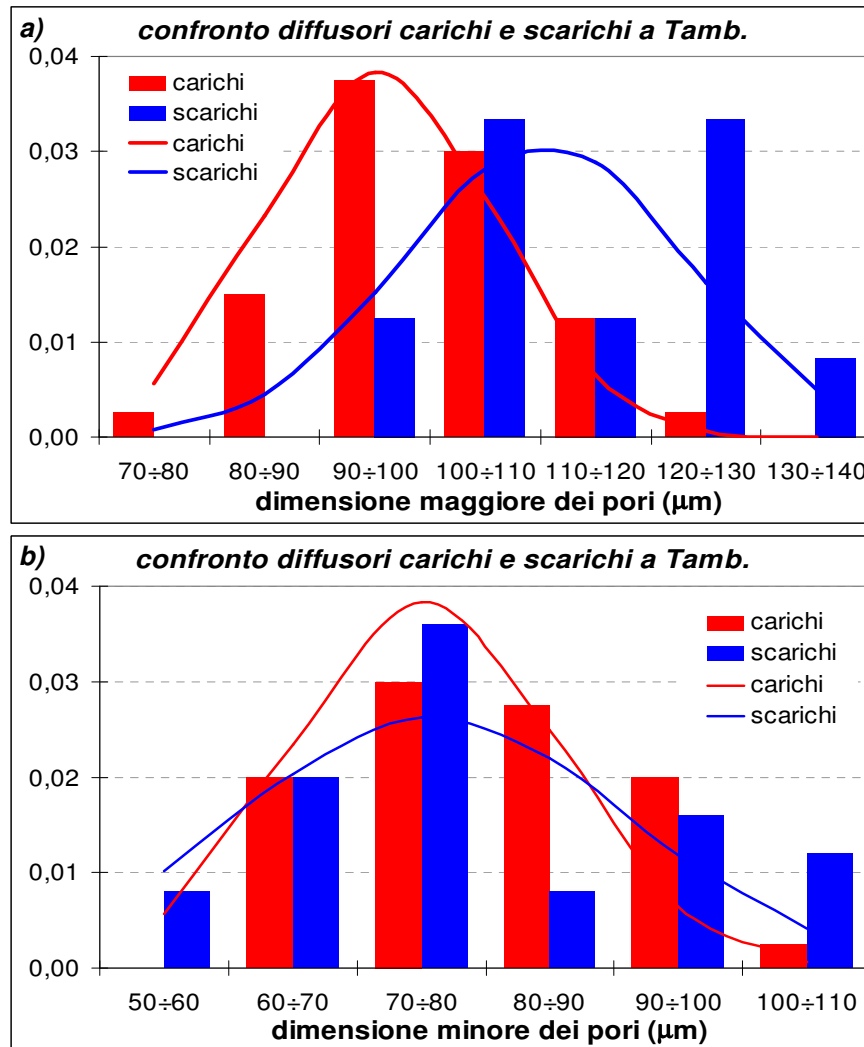
	Asse maggiore dei pori (lunghezza)		Asse minore dei pori (larghezza)		Fattore di forma (lunghezza/larghezza)	
	<i>media</i>	<i>dev.st.</i>	<i>media</i>	<i>dev.st.</i>	<i>media</i>	<i>dev.st.</i>
<b>diffusori carichi <math>T_{amb.}</math></b>	95,4	10,4	75,4	10,4	1,3	0,2
<b>diffusori carichi <math>T_{60^{\circ}C}</math></b>	97,6	10,8	72,8	11,2	1,4	0,3
<b>diffusori scarichi <math>T_{amb.}</math></b>	110,4	12,9	75,9	15,2	1,5	0,3
<b>diffusori scarichi <math>T_{60^{\circ}C}</math></b>	114,8	18,1	83,1	17,9	1,4	0,3

**Tabella 3.1:** valori, in  $\mu m$ , di alcuni parametri relativi alle dimensioni dei pori dei diffusori utilizzati nelle osservazioni condotte in microscopia elettronica a scansione

I pori dei diffusori scarichi presentano una lunghezza mediamente maggiore rispetto a quella dei diffusori carichi di circa  $15\mu m$ . Tale differenza è statisticamente significativa (test di ipotesi sulla differenza fra due medie con varianze note,  $p < 0,01$ ). Per quanto riguarda la larghezza media dei pori non vi è invece alcuna differenza statisticamente significativa tra le due tipologie di diffusori. Il risultato ottenuto è coerente con il fatto che la dilatazione termica del diffusore agisce prevalentemente nella direzione della lunghezza del diffusore, con conseguente allungamento e ovalizzazione dei pori stessi.

Anche il valore della deviazione standard delle dimensioni dei pori fornisce informazioni utili. I diffusori scarichi presentano, per entrambe le dimensioni dei pori, una deviazione standard maggiore rispetto a quella ottenuta sui diffusori carichi, e ciò potrebbe essere interpretato come un segnale del fatto che non tutti i pori subiscono la stessa variazione di dimensione al variare della temperatura.

Nei grafici successivi sono rappresentate le distribuzioni dei valori della lunghezza e della larghezza dei pori dei diffusori carichi e di quelli scarichi misurati sulle immagini acquisite a temperatura ambiente. Agli istogrammi è stata sovrapposta la curva gaussiana, nell'ipotesi di una distribuzione normale dei dati, rappresentata utilizzando i valori della media e della deviazione standard delle dimensioni dei pori riportati nella tabella precedente.



**Figura 3.35** - distribuzione dei valori delle dimensioni dei pori misurati sui diffusori carichi e su quelli scarichi, con sovrapposta la curva gaussiana nell'ipotesi di una distribuzione normale dei dati: **a)** lunghezza e **b)** larghezza dei pori

Per quanto riguarda il confronto fra le dimensioni medie dei pori nelle osservazioni condotte a temperatura ambiente e in quelle effettuate dopo aver trattato i diffusori in cella climatica a 60 °C per circa un'ora, si osserva come la lunghezza media dei pori



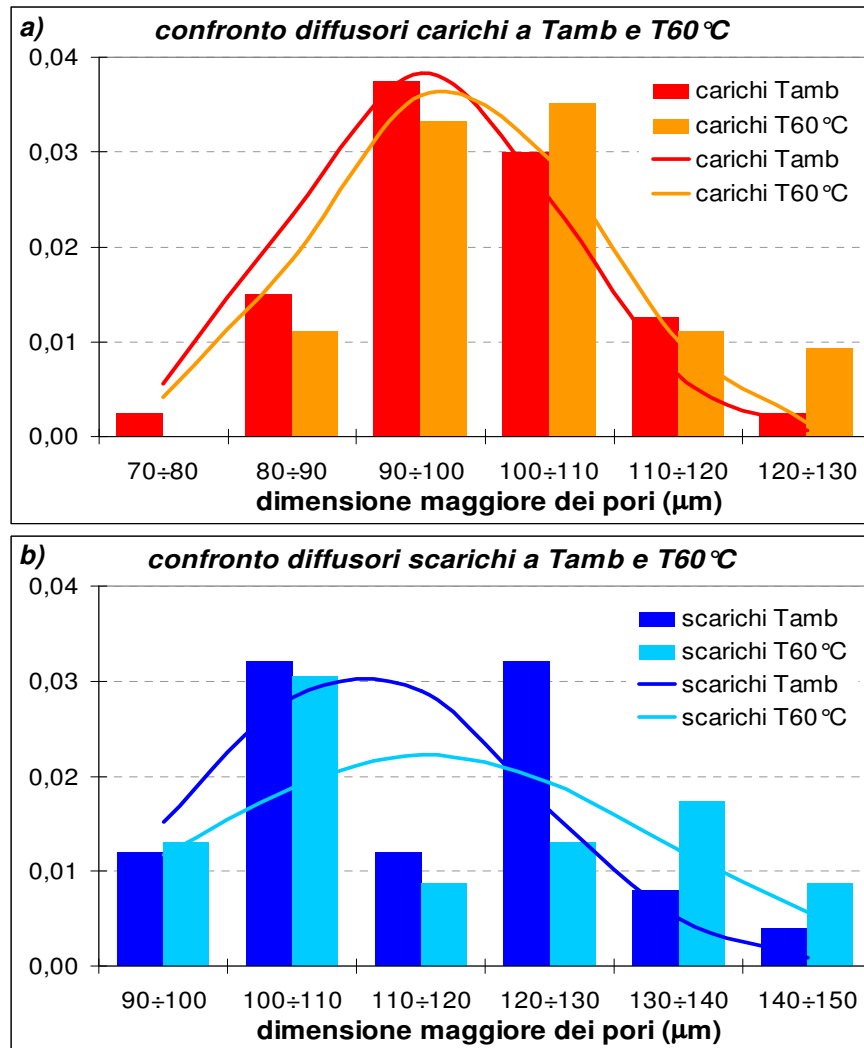
cresca sia per i diffusori carichi sia per quelli scarichi rispettivamente di circa  $2\mu\text{m}$  e  $4\mu\text{m}$ , anche se per entrambe le tipologie di diffusori tale incremento non può essere considerato statisticamente significativo (test di ipotesi sulla differenza fra due medie con varianze note,  $p < 0,05$ ). Inoltre, l'incremento di un paio di micron ottenuto per i pori dei diffusori carichi è di molto inferiore rispetto alla differenza tra la lunghezza media dei pori dei diffusori carichi e di quelli scarichi, pari a circa  $15\mu\text{m}$ .

Una spiegazione di questo risultato potrebbe essere ricercata nel fatto che le continue variazioni termiche giornaliere alle quali sono sottoposti i diffusori in campo, unite all'azione degradativa del sole e degli agenti meteorici, potrebbero aver reso meno rigida e più facilmente deformabile la parete dei diffusori, consentendo pertanto ai diffusori, e di conseguenza ai pori, di subire variazioni dimensionali maggiori rispetto a quelle osservate dopo un'unica dilatazione termica alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$ .

A parziale conferma di questa tesi vi è il fatto che l'aumento della lunghezza media dei pori osservata per i diffusori scarichi dopo il passaggio in cella climatica alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$  è stata circa il doppio di quella registrata per i diffusori carichi nelle medesime condizioni.

Anche in questo caso la deviazione standard della dimensione dei pori fornisce utili informazioni. Nelle analisi condotte a  $60^\circ\text{C}$  si è ottenuto un valore di deviazione standard maggiore rispetto alle analisi condotte a temperatura ambiente, sia per i diffusori carichi sia per quelli scarichi, a conferma di quanto ipotizzato in precedenza, e cioè che non tutti i pori rispondono allo stesso modo alle variazioni di temperatura.

Nei grafici successivi sono rappresentate le distribuzioni dei valori della lunghezza dei pori dei diffusori carichi e di quelli scarichi misurati sulle immagini acquisite a temperatura ambiente e su quelle acquisite dopo aver riscaldato i diffusori alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$ . Anche in questo caso agli istogrammi è stata sovrapposta la curva gaussiana, nell'ipotesi di una distribuzione normale dei dati, utilizzando i valori della media e della deviazione standard delle dimensioni dei pori riportati nella tabella precedente.



**Figura 3.36** - distribuzione dei valori della lunghezza dei pori osservati a temperatura ambiente e dopo essere stati scaldati a 60 °C, con sovrapposta la curva gaussiana nell'ipotesi di una distribuzione normale dei dati: diffusori **a)** carichi e **b)** scarichi

Si può quindi ritenere che le fluttuazioni di temperatura determinino, attraverso la dilatazione termica del diffusore, una variazione delle dimensioni dei pori, causando anche una deformazione permanente degli stessi misurata in circa 15μm, il 16% circa della lunghezza media dei pori dei diffusori carichi. Tale differenza, assumendo per semplicità di calcolo che i pori abbiano sezione circolare, corrisponde ad un incremento di sezione di circa il 34%.

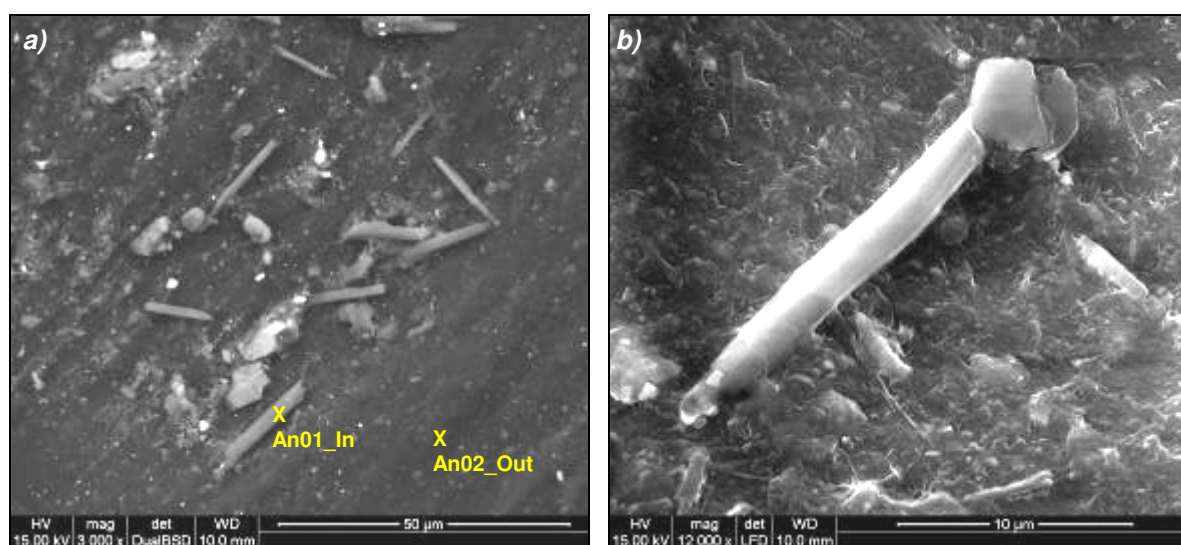
Tale incremento di sezione dei pori giustifica solo in parte l'incremento del rilascio che si osserva all'aumentare della temperatura. Ad esempio, con le misure condotte durante la sperimentazione, è stato possibile osservare come vi sia un raddoppio del rilascio di feromone passando da una temperatura di 14°C a una temperatura di

26°C. Si ritiene quindi che la maggior parte del rilascio sia dovuta all'effetto diretto della temperatura sull'evaporazione delle molecole di feromone dal diffusore, e solo in parte alla dilatazione dei pori dovuta alla dilatazione termica del diffusore.

### 3.6.4 Analisi dei diffusori al SEM/EDS

Come detto in precedenza, all'interno dei pori dei diffusori scarichi sono visibili dei cristalli, probabilmente generati a seguito della deposizione all'interno dei diffusori di una o più sostanze presenti nella miscela assieme ai feromoni. Al fine di ottenere informazioni più precise sulla composizione chimica di tali cristalli è stata condotta un'analisi al microscopio elettronico a scansione con associata micro-sonda in dispersione di energia (SEM/EDS). Dagli spettri forniti dall'EDS è possibile ricavare informazioni sulla composizione chimica del campione.

Sono state effettuate due analisi, una sulla superficie del cristallo, di seguito denominata An01\_In, e una al di fuori del cristallo, sulla parete del diffusore, di seguito identificata come An02\_Out.

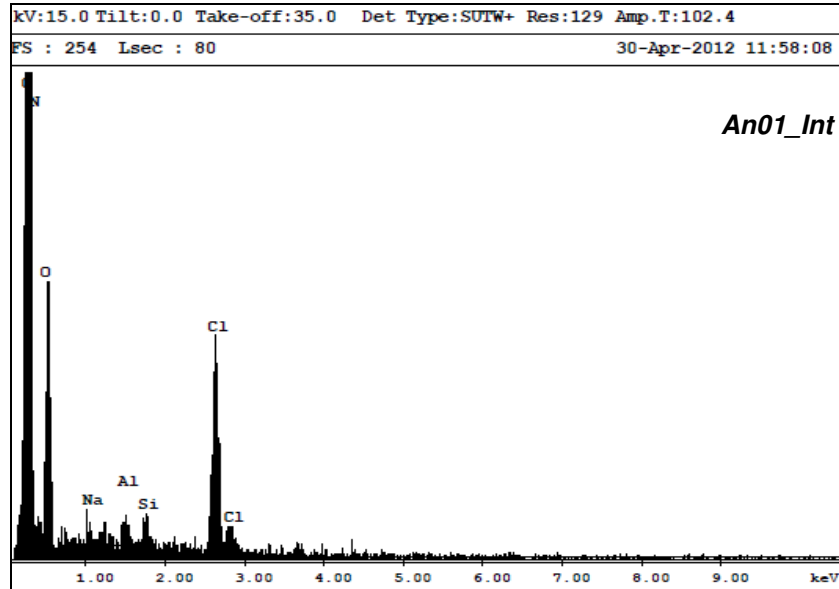


**Figura 3.37** - immagini in microscopia elettronica a scansione dei cristalli visibili all'interno dei pori dei diffusori scarichi: **a)** immagine ad ingrandimento 3000x con indicati i punti in cui è stata effettuata la misura dello spettro EDS, **b)** immagine a ingrandimento 12000x di un singolo cristallo

Si riporta di seguito lo spettro EDS ottenuto dall'analisi condotta sulla superficie del cristallo.

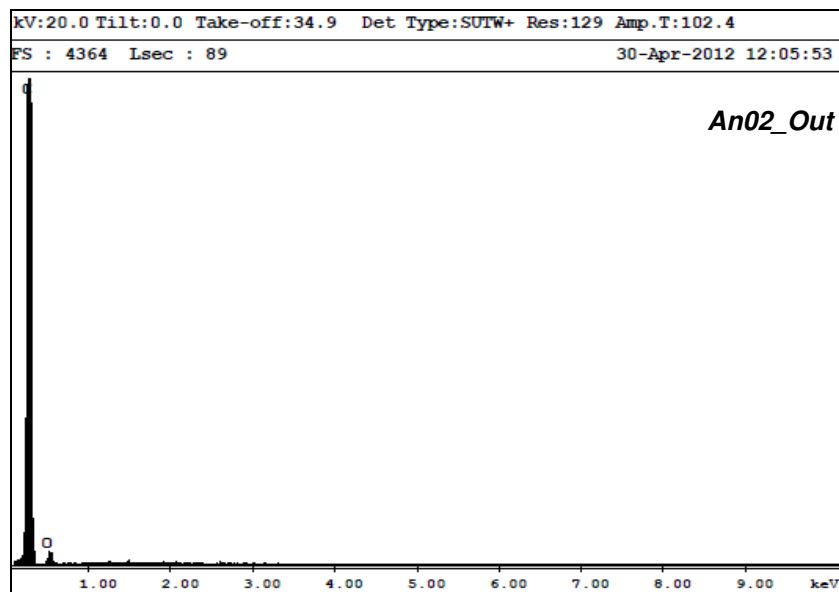
Lo spettro indica una significativa presenza di Cloro (Cl) e di Ossigeno (O), ed in misura minore anche di Sodio (Na), Alluminio (Al) e Silicio (Si).

Potrebbe trattarsi di cristalli di una sostanza con funzione conservante o antiossidante presente nella miscela feromonale, sostanza che precipita sotto forma di cristalli durante l’evaporazione dei feromoni.



**Figura 3.38** - spettro EDS ottenuto dall’analisi condotta sul cristallo

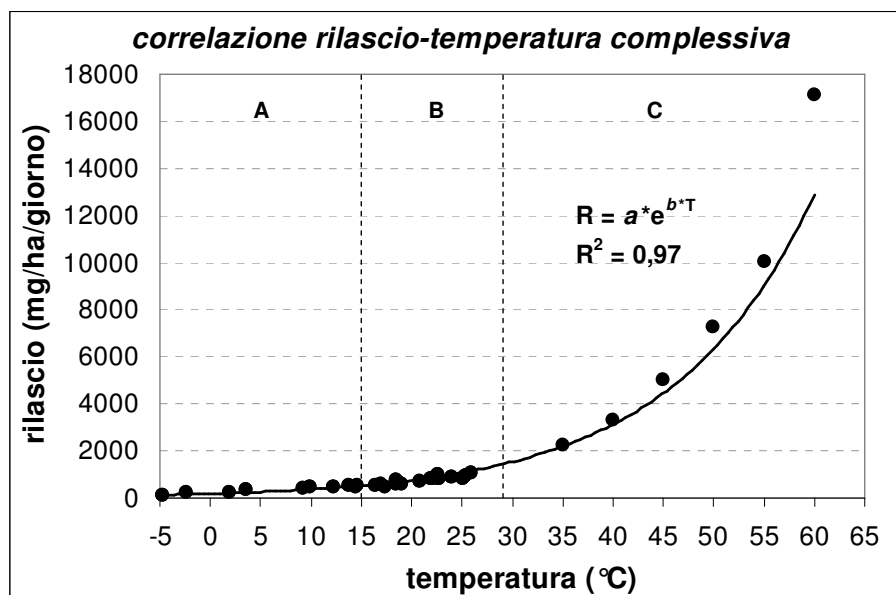
Di seguito si riporta invece lo spettro EDS ottenuto dall’analisi condotta sulla parete del diffusore. Lo spettro indica correttamente la presenza di solo Carbonio (C), essendo il capillare del diffusore realizzato in polietilene.



**Figura 3.39** - spettro EDS ottenuto dall’analisi condotta sulla parete del diffusore

### 3.7 Definizione della relazione rilascio-temperatura

Il grafico seguente rappresenta la correlazione fra il rilascio di feromone e la temperatura dell'aria ottenuta considerando tutti i valori di rilascio e di temperatura ottenuti durante le varie fasi della sperimentazione. Sono esclusi i dati di rilascio relativi alla prima settimana di applicazione dei diffusori per i motivi già ampiamente discussi.



**Figura 3.40** - correlazione fra la temperatura dell'aria e il rilascio di feromone relativa a tutte le fasi della sperimentazione: **A** - sperimentazione condotta durante il periodo invernale, **B** - condizioni “normali” di campo, **C** - sperimentazione condotta in cella climatica alle alte temperature

Sembra evidente, da una prima analisi dell'andamento dei valori del rilascio in funzione della temperatura dell'aria, come la relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria sia di tipo esponenziale, almeno nell'intervallo di temperature comprese fra i -5 e i +60 °C. Tale affermazione può essere confermata dal fit con curva esponenziale eseguito sui dati sperimentali. Il fit esponenziale presenta un valore di  $R^2$ , parametro che definisce la bontà di interpolazione di una curva sui dati sperimentali, pari a 0,97, valore molto elevato e di per sé sufficiente ad avvalorare la tesi di una relazione esponenziale fra rilascio di feromone e temperatura dell'aria.

Si osserva inoltre come il rilascio si porti asintoticamente a zero per valori di temperatura prossimi agli 0°C, mentre alle alte temperature il rilascio cresce in maniera esponenziale ma senza raggiungere un valore di plateau. Questo non significa che un ipotetico valore di plateau non possa essere raggiunto per valori di temperatura superiori ai 60°C, ma almeno fino a tale temperatura non vi è alcun segnale che possa essere raggiunto un valore di plateau.

Si segnala inoltre come la bontà del fit esponenziale (valore di  $R^2$ ) sia cresciuta con l'aggiunta dei dati di rilascio ottenuti con le misure alle alte temperature rispetto a quello ottenuto con le misure effettuate alle basse temperature e in condizioni “normali” di campo, ad ulteriore conferma che la relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria può essere ragionevolmente rappresentata da una funzione di tipo esponenziale.

La spiegazione della relazione esponenziale fra rilascio di feromone e temperatura dell'aria, ottenuta con le misure sperimentali, è descritta in due studi scientifici pubblicati tra la fine degli anni '80 e i primi anni '90, ed è rappresentata da una versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron.

### **3.7.1 Definizione della relazione rilascio-temperatura con la legge di Clausius-Clapeyron**

La relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria, descritta da una versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron, è stata descritta e pubblicata per la prima volta da McDonough nel 1989, a conclusione dei suoi studi effettuati per determinare i tassi di evaporazione di molecole di acetato da setti in gomma in funzione della temperatura dell'aria (McDonough *et al.*, 1989).

Successivamente, uno studio condotto da Brown nel 1992 utilizzando diffusori di feromone in polietilene, di concezione costruttiva molto simile a quella dei diffusori utilizzati nello studio descritto in questo lavoro di tesi, dimostra la validità della funzione derivata dalla legge di Clausius-Clapeyron descritta da McDonough anche per rappresentare il rilascio dei diffusori da lui utilizzati in funzione della temperatura dell'aria (Brown *et al.*, 1992).

La legge di Clausius-Clapeyron, nella sua versione originale, è rappresentata dalla seguente funzione, e fornisce la dipendenza quantitativa della pressione del vapore di un liquido (P) in funzione della sua temperatura (T):

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta H}{R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]$$

dove  $\Delta H$  è il calore di evaporazione caratteristico del liquido, espresso in kcal/mol, mentre  $R$  è la costante universale dei gas, pari a 1,987 cal/(K\* $\text{mol}$ ).

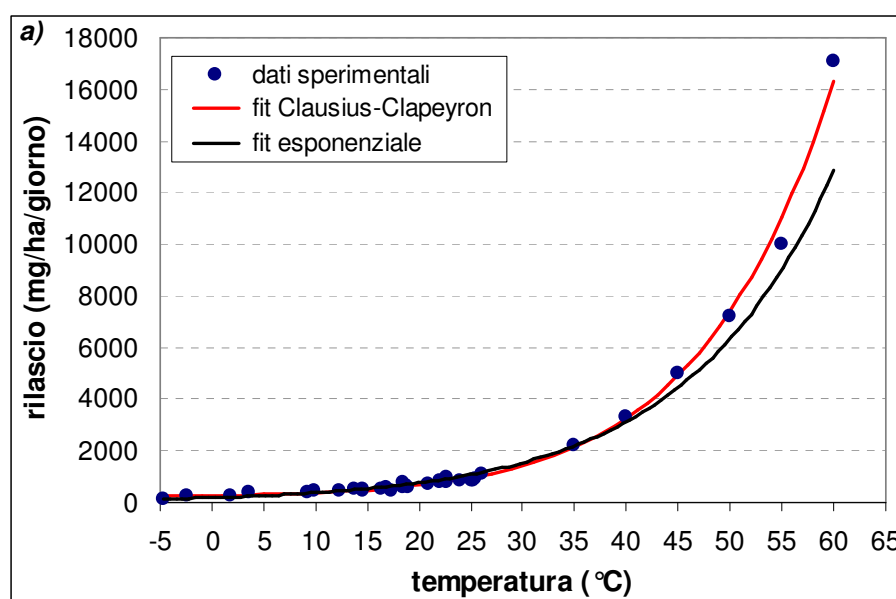
La relazione definita dalla versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron, utilizzata per descrivere il rilascio delle molecole di feromone in funzione della temperatura dell'aria, è invece rappresentata dalla seguente funzione:

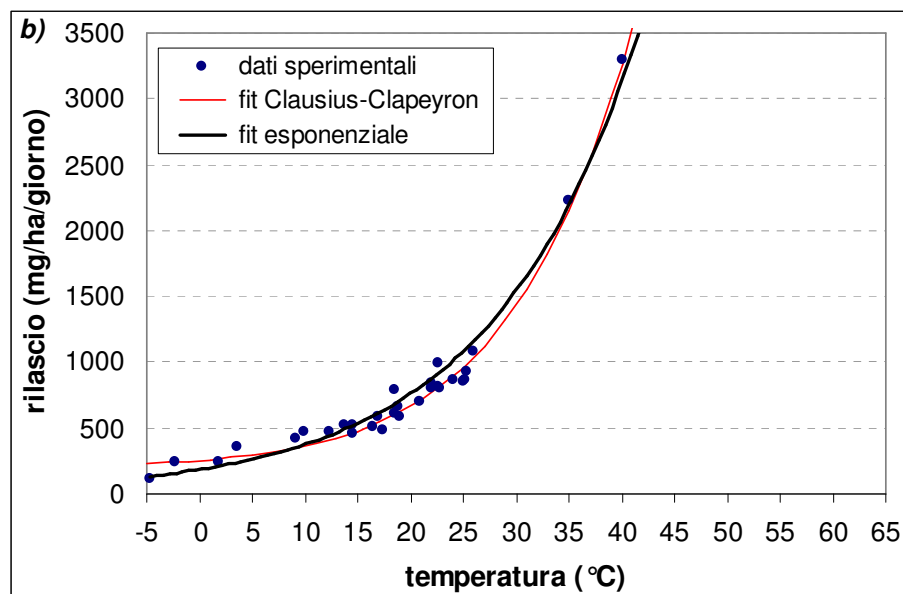
$$\ln(r) = a + k(1/T)$$

dove  $r$  rappresenta l'entità del rilascio di feromone espresso in mg/h,  $T$  è la temperatura assoluta dell'aria espressa in gradi Kelvin, mentre i coefficienti  $a$  e  $k$  rappresentano rispettivamente l'intercetta e la pendenza della retta di regressione temperatura-rilascio descritta dalla funzione precedente (Brown *et al.*, 1992).

Nella versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron il coefficiente  $k$  è definito dal parametro termodinamico  $\Delta H/R$ , dove  $\Delta H$  è il calore di evaporazione caratteristico della molecola di feromone, espresso in kcal/mol, mentre  $R$  è la costante universale dei gas, che vale 1,987 cal/(K\* $\text{mol}$ ) (McDonough *et al.*, 1989).

I grafici seguenti riportano il confronto fra la curva di rilascio descritta da una interpolazione di tipo esponenziale dei dati sperimentali e quella descritta da una interpolazione effettuata con la versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron. Si può osservare come la curva di interpolazione definita dalla versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron descriva meglio del fit esponenziale semplice la relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria per tutto l'intervallo di temperature considerate negli studi sperimentali descritti nei capitoli precedenti.





**Figura 3.41** - confronto tra il fit esponenziale semplice e quello definito dalla versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron per **a)** l'intero range di temperature considerate durante la sperimentazione e **b)** dettaglio dell'intervallo di temperature tipicamente riscontrabili in condizioni di campo

Per i motivi sopra esposti si è scelto di utilizzare la relazione definita dalla versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron per sviluppare i modelli di rilascio per le varie tipologie di diffusori, così come descritto nel capitolo successivo.



***Capitolo 4.  
Sviluppo e  
validazione dei  
modelli di rilascio***

I risultati delle sperimentazioni condotte e descritte nel capitolo precedente hanno dimostrato come il rilascio delle molecole di feromone dai diffusori Shin-Etsu dipenda principalmente dalla temperatura dell'aria. E' stato inoltre dimostrato come la relazione che lega il rilascio di feromone alla temperatura dell'aria sia di tipo esponenziale, almeno fino alla temperatura di 60°C, e tale relazione può essere descritta da una versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron. Sulla base di questi risultati sono stati creati differenti modelli di rilascio per ciascuna delle principali tipologie di diffusori attualmente commercializzati dalla società giapponese Shin-Etsu e utilizzati durante le sperimentazioni (modelli Isonet L e Isonet L plus, Isomate C TT e Isomate OFM rosso flex).

I modelli di rilascio sono algoritmi in grado di prevedere il rilascio di feromone e fornire la quantità di feromone ancora contenuta all'interno dei diffusori necessitando come unico dato di input il valore della temperatura dell'aria. L'obiettivo con il quale sono stati creati i modelli di rilascio è quello di fornire ai produttori e ai tecnici agricoli uno strumento di immediata e facile applicazione per prevedere il rilascio di feromone ed avere una stima affidabile della quantità di feromone ancora contenuta all'interno dei diffusori necessitando della sola conoscenza della temperatura dell'aria. I modelli di rilascio risultano, ad esempio, di estrema utilità per conoscere preventivamente il periodo in cui i diffusori, ormai quasi del tutto scarichi, perdono la regolarità nel rilascio, mettendo potenzialmente in pericolo la protezione della coltura. Dopo essere stati messi a punto, i modelli sono stati validati utilizzando i dati di rilascio raccolti in campo in altre località in anni passati, e le loro possibili applicazioni pratiche in agricoltura vengono illustrate in uno specifico paragrafo di questo capitolo, dove i modelli vengono impiegati per determinare il rilascio e il contenuto di feromone rimanente per alcune località situate nelle aree collinari di Langhe e Monferrato utilizzando i dati di temperatura registrati da centraline meteorologiche appartenenti alla rete meteorologica di ARPA Piemonte e alla Rete Agrometeorologica del Settore Fitosanitario della Regione Piemonte.

I modelli di rilascio sviluppati e validati sono stati inoltre successivamente ingegnerizzati come algoritmi di calcolo all'interno di un prototipo di datalogger da campo che è stato testato in campo in tre differenti località durante la stagione di lotta dell'anno 2015, ottenendo ottimi risultati sia in termini di affidabilità che di capacità di prevedere correttamente l'entità del rilascio e il contenuto di feromone rimanente. La descrizione del datalogger da campo e i risultati dei test effettuati sono riportati nell'ultimo paragrafo di questo capitolo.

## **4.1 Sviluppo dei modelli di rilascio**

Come già ampiamente detto, il rilascio delle molecole di feromone dai diffusori Shin-Etsu è regolato dalla temperatura dell'aria, e la relazione che lega il rilascio del feromone alla temperatura dell'aria è di tipo esponenziale e può essere definita da una versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron.

Sulla base di tali conoscenze sono stati sviluppati gli algoritmi che permettono di determinare il rilascio di feromone e il contenuto ancora disponibile all'interno dei diffusori necessitando della sola conoscenza della temperatura dell'aria.

E' utile ricordare che i diffusori rilasciano nell'ambiente sia le molecole di feromone contenute al loro interno, che rappresentano il principio attivo vero e proprio, sia quelle dei coadiuvanti con funzione antiossidante e conservante contenute nella miscela. Per semplicità si parlerà nel seguito del capitolo di rilascio di feromone e di contenuto di feromone rimanente, anche se in realtà il feromone è solo uno dei componenti della miscela che viene erogata dai diffusori.

Il rilascio di feromone dipende dalla temperatura dell'aria secondo una legge del tipo

$$R = e^a * e^{-k/T}$$

dove  $R$  è il rilascio di feromone, espresso in mg/ha/giorno, mentre  $T$  è la temperatura assoluta dell'aria, espressa in gradi Kelvin.

I valori dei coefficienti  $a$  e  $k$  sono stati definiti, in funzione dei dati sperimentali di rilascio ottenuti con le pesate gravimetriche dei diffusori, per le differenti tipologie di diffusori considerati nello studio.

Come detto in precedenza, il valore di  $k$  tiene conto del calore di evaporazione della molecola o delle molecole di feromone presenti nella miscela caratteristica di ciascuna tipologia di diffusore.

Per motivi di tutela della proprietà intellettuale, non essendo ancora stati pubblicati i risultati dello studio descritto in questa tesi di laurea, e per i possibili interessi commerciali ed economici che i modelli di rilascio rivestono, si è scelto di non pubblicare in questa tesi di dottorato i valori dei coefficienti della funzione di rilascio determinati per le varie tipologie di diffusori.

Conoscendo l'entità del rilascio di feromone dal momento dell'applicazione dei diffusori in campo è possibile determinare il loro contenuto di feromone rimanente effettuando una semplice differenza fra il contenuto totale di feromone e la quantità di feromone già erogato. Il contenuto rimanente viene normalmente espresso in percentuale rispetto al contenuto totale dei diffusori, utilizzando una formula del tipo:

$$c.r.\% = (C_{tot} - \Sigma R) / C_{tot} * 100$$

dove *c.r.%* è il contenuto di feromone rimanente all'interno dei diffusori espresso in percentuale rispetto al contenuto totale del diffusore,  $C_{tot}$  è il contenuto totale del diffusore, che varia a seconda della tipologia di diffusore, espresso in mg, mentre  $\Sigma R$  è la quantità totale di feromone già rilasciato dal momento dell'applicazione in campo dei diffusori.

Il valore del contenuto totale dei diffusori, differente per le varie tipologie di diffusori, è stato utilizzato per la messa a punto dei modelli di rilascio, ma non può essere reso noto in quanto informazione riservata di proprietà della ditta CBC (Europe) Srl.

Come descritto nei capitoli precedenti, per poter rappresentare e simulare correttamente il rilascio del feromone durante l'intera stagione di lotta è necessario considerare i due comportamenti relativi al rilascio di feromone che si verificano nella prima settimana circa di applicazione dei diffusori e quando il loro contenuto di feromone residuo scende sotto una certa soglia, ovvero quando i diffusori sono ormai quasi del tutto scarichi.

Nella prima settimana di applicazione i diffusori rilasciano una quantità di feromone molto elevata perché saturi di feromone. In questa fase il rilascio è in parte dovuto all'effetto della temperatura, in parte al cosiddetto "effetto saturazione". L'entità del cosiddetto "effetto saturazione" è differente per le varie tipologie di diffusori considerati, ed è stata definita mediante l'analisi delle curve di rilascio e di scarico ottenute con le sperimentazioni in campo.

Quando i diffusori sono ormai quasi del tutto scarichi, invece, il rilascio, pur continuando a risentire della temperatura, si abbatte piuttosto rapidamente. Il valore del contenuto di feromone rimanente al di sotto del quale si verifica questo fenomeno è differente per le varie tipologie di diffusori, e anch'esso è stato determinato dall'analisi delle curve di rilascio e di scarico ottenute con le sperimentazioni in campo.

I comportamenti dei diffusori nelle due fasi precedentemente descritte sono stati modellizzati per via empirica attraverso l'analisi dei dati sperimentali raccolti durante le varie fasi della sperimentazione, e sono rappresentati da due funzioni che modulano i valori di rilascio calcolati con la versione modificata della legge di Clausius-Clapeyron.

Anche in questo caso si è scelto di non fornire alcuna indicazione circa la forma di tali funzioni di modulazione, in quanto non ancora pubblicate e di sicuro interesse economico e commerciale, a parziale tutela della proprietà intellettuale ad esse connessa.

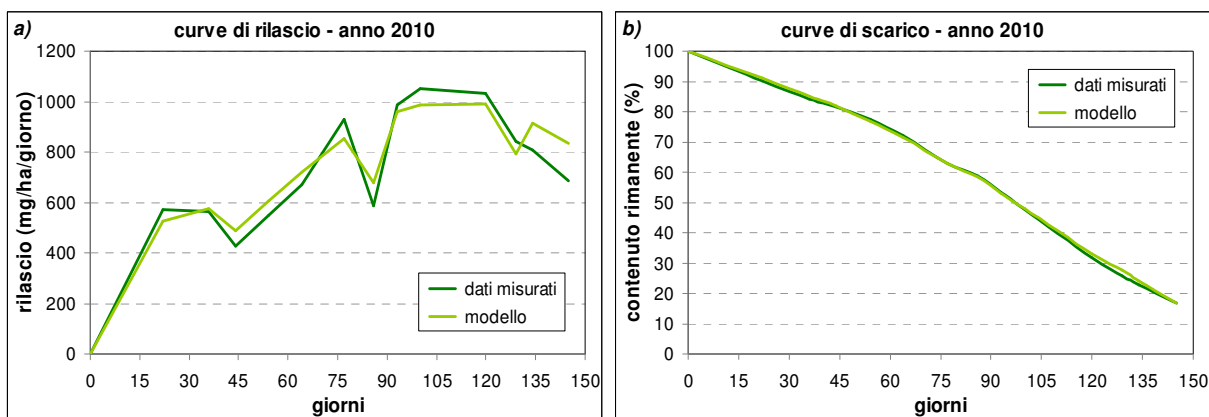
Come detto, con i modelli di rilascio sviluppati è possibile conoscere l'entità del rilascio passato, presente o futuro in funzione della sola temperatura dell'aria, ma prima di poter essere utilizzati i modelli devono essere testati e validati, così come descritto nel successivo paragrafo.

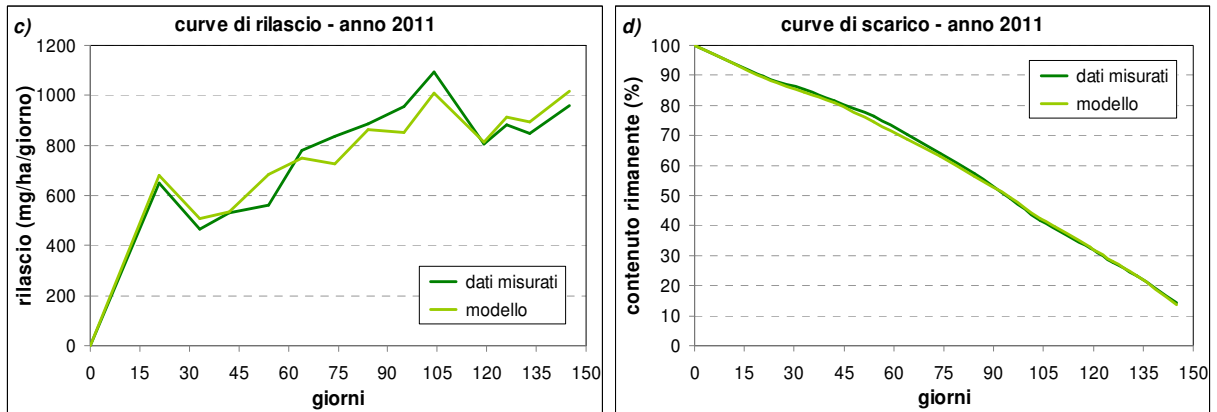
## 4.2 Validazione dei modelli di rilascio

Qualunque modello o algoritmo di nuova concezione, prima di essere utilizzato, deve essere opportunamente testato e validato. La validazione dei modelli di rilascio viene effettuata utilizzando i modelli stessi per prevedere dati di rilascio reali misurati in campo partendo da valori di temperatura rilevati in campo da centraline meteorologiche presenti sul territorio. Lo scarto fra i valori previsti dal modello e quelli reali misurati in campo permetterà di valutare la bontà e la capacità previsionale dei modelli sviluppati, ed eventualmente di apportare le dovute correzioni o aggiustamenti per rendere i modelli sviluppati ancora più aderenti alla realtà.

I modelli sono stati utilizzati per determinare il rilascio e il contenuto di feromone rimanente per diffusori Shin-Etsu modelli Isonet L, Isonet L plus, Isomate C TT e Isomate OFM rosso flex applicati in campo nel periodo 2010-2014 nella località di Finale Emilia (MO) utilizzando i dati di temperatura registrati dalla stazione meteorologica dell'ARPA Emilia Romagna collocata nella medesima località. Il calcolo del rilascio e del contenuto di feromone rimanente è stato effettuato seguendo la stessa cadenza temporale con la quale sono state effettuate le pesate gravimetriche dei diffusori applicati in campo.

I grafici seguenti mostrano il confronto tra le curve di rilascio e di scarico previste dal modello di rilascio e quelle ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori in campo per i diffusori del modello Isonet L plus utilizzati per la lotta alle tignole della vite *Lobesia botrana* e *Eupoecilia ambiguella*.

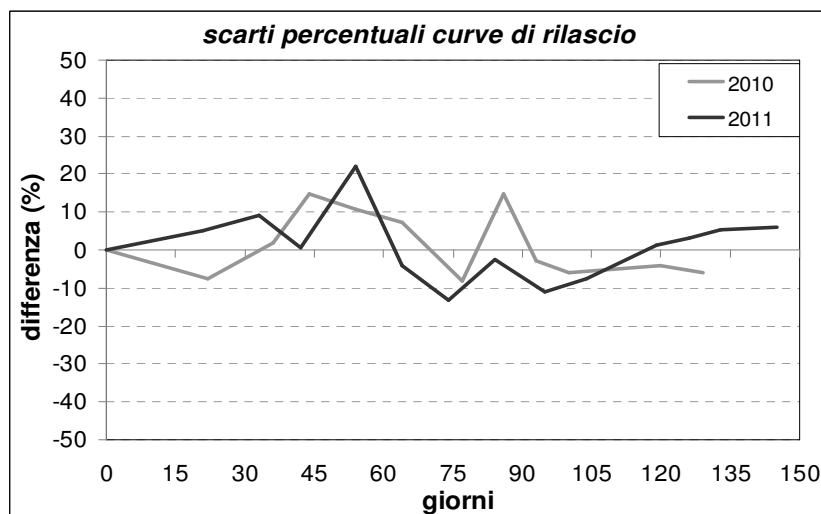




**Figura 4.1** - confronto tra le curve di rilascio (a) e (c)) e di scarico (b) e (d)) previste dal modello utilizzando i valori della temperatura dell'aria registrati dalla stazione meteorologica di Finale Emilia (MO) e quelle ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori applicati in campo nella medesima località negli anni 2010 e 2011

Il grafico seguente mostra gli scarti esistenti fra la curva di rilascio prevista dal modello e quella ottenuta in campo per i due anni di riferimento. Gli scarti sono espressi come differenza fra i valori della curva prevista dal modello e quelli della curva ottenuta con le misure di campo, differenza successivamente rapportata al valore di rilascio misurato in campo ed espressa in percentuale.

Valori di differenza negativi indicano una sottostima del modello rispetto alle pesate di campo e, al contrario, valori di differenza positivi indicano una sovrastima del modello rispetto alle pesate gravimetriche.



**Figura 4.2** - scarti fra le curve di rilascio previste dal modello e quelle ottenute con le pesature in campo, rapportati al valore di rilascio misurato in campo

Nella tabella seguente si riportano alcuni parametri relativi al confronto fra i valori di rilascio forniti dal modello e quelli misurati in campo. Per “differenza” si intende il valore, segno compreso, della differenza fra il valore di rilascio previsto dal modello e quello misurato in campo, rapportato al valore di rilascio misurato in campo ed espresso in percentuale, mentre per “scarto assoluto” si intende il valore assoluto delle differenze, ovvero il valore delle differenze privato di segno.

Mentre la differenza fornisce informazioni sugli eventi di sovrastima e sottostima del modello, lo scarto assoluto fornisce indicazioni su quanto i valori previsti dal modello si discostino da quelli ottenuti in campo, indipendentemente che si tratti di una sovrastima o di una sottostima.

	<b>rilascio - scarti, espressi in %, rispetto al valore di campo</b>			
	<b>2010</b>		<b>2011</b>	
	<b>differenza</b>	<b>scarto assoluto</b>	<b>differenza</b>	<b>scarto assoluto</b>
<b>valore medio</b>	1,3	7,0	1,0	6,5
<b>valore massimo</b>	14,9	14,9	21,9	21,9
<b>valore minimo</b>	-8,0	2,0	-13,2	0,5

**Tabella 4.1** - parametri relativi al confronto fra i valori di rilascio previsti dal modello e quelli misurati in campo negli anni 2010 e 2011 per diffusori del modello Isonet L plus

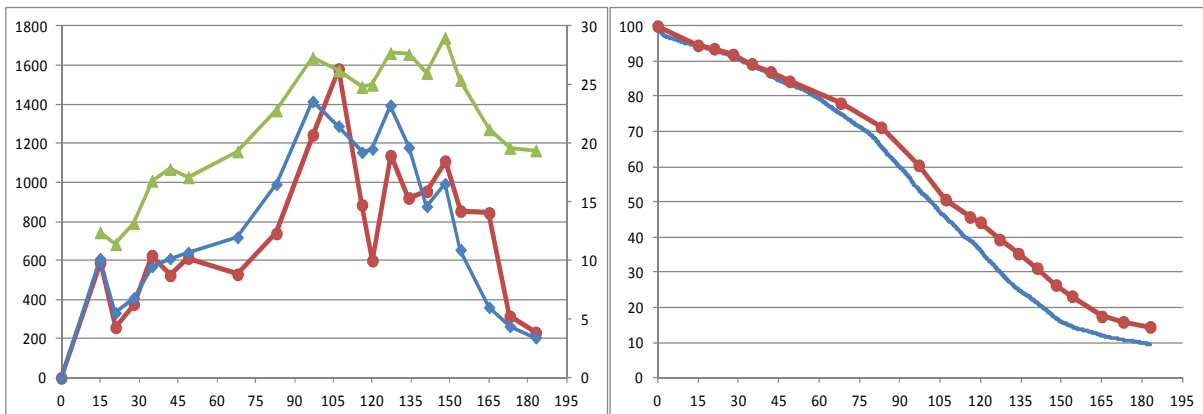
Dal confronto fra le curve di rilascio calcolate utilizzando il modello di rilascio e quelle ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori applicati in campo si può affermare che il modello è in grado di determinare in maniera sufficientemente precisa ed affidabile il rilascio di feromone dai diffusori Shin-Etsu considerati. Lo scarto assoluto medio è risultato compreso fra il 6% e il 7% del valore di rilascio misurato in campo.

I grafici seguenti riportano invece i risultati del medesimo confronto effettuato per le restanti tipologie di diffusori considerati nello studio. Al fine di una corretta interpretazione e lettura dei grafici che seguono, si riportano di seguito ai grafici le indicazioni relative ai colori utilizzati per descrivere le curve rappresentate, e quelle relative ai parametri presenti sugli assi dei grafici.

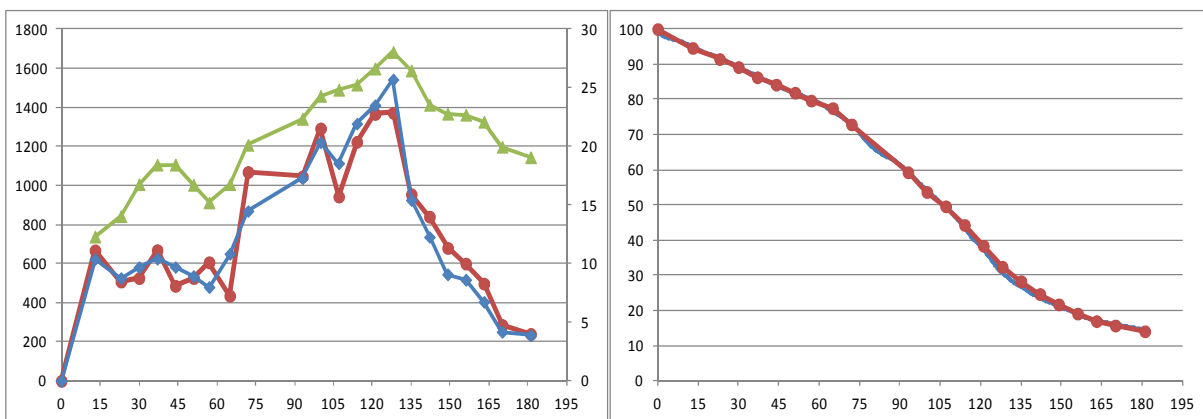
Le curve di rilascio e di scarico disponibili per il modello Isomate OFM rosso flex sono relative esclusivamente al periodo 2012-2014, in quanto trattasi di un nuovo modello di diffusore posto in commercio solamente a partire dall'anno 2012 in affiancamento al precedente modello a capillare singolo Isomate OFM rosso.

### Isomate OFM rosso flex (curve di rilascio e di scarico 2012-2014)

2012



2013



2014

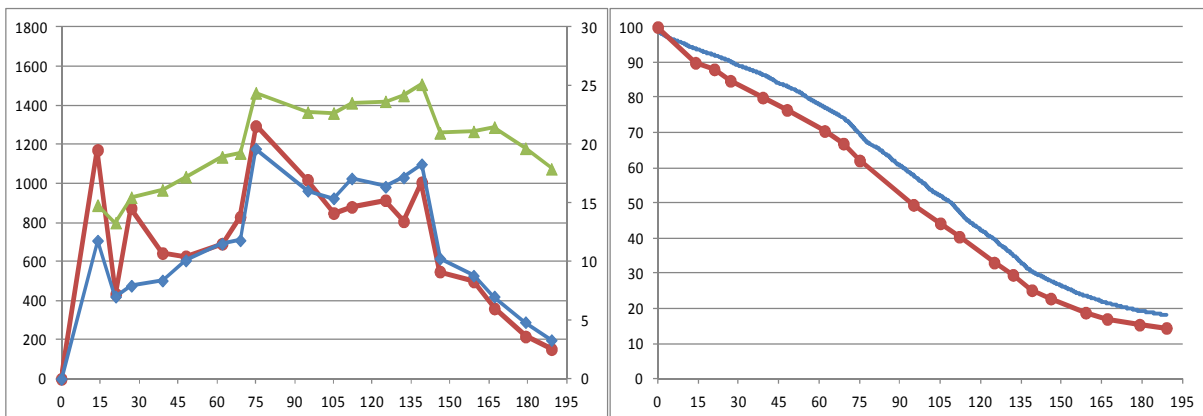
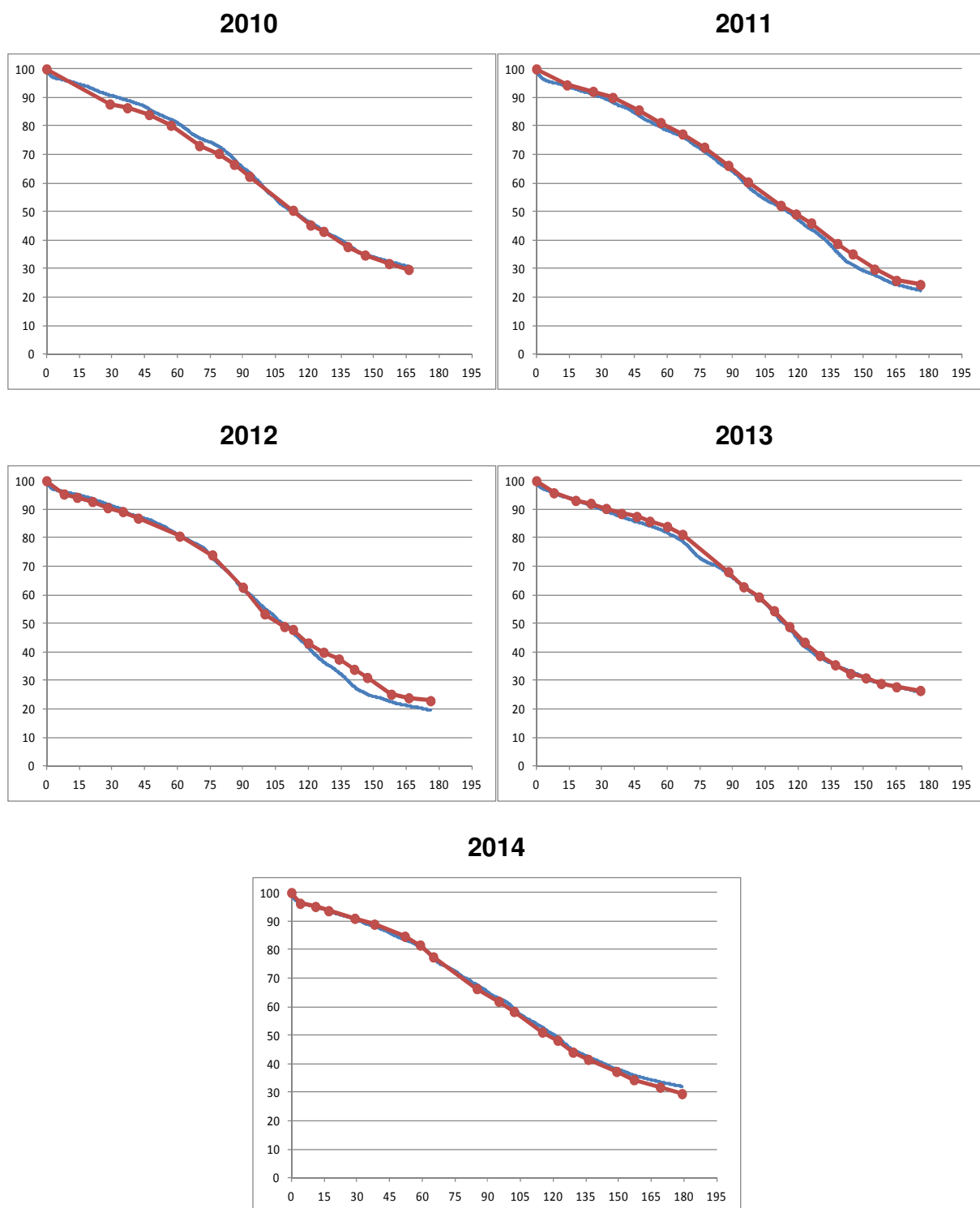


Figura 4.3 - confronto fra le curve di rilascio e di scarico previste dal modello e quelle ottenute in campo con le pesate dei diffusori modello Isomate OFM rosso flex

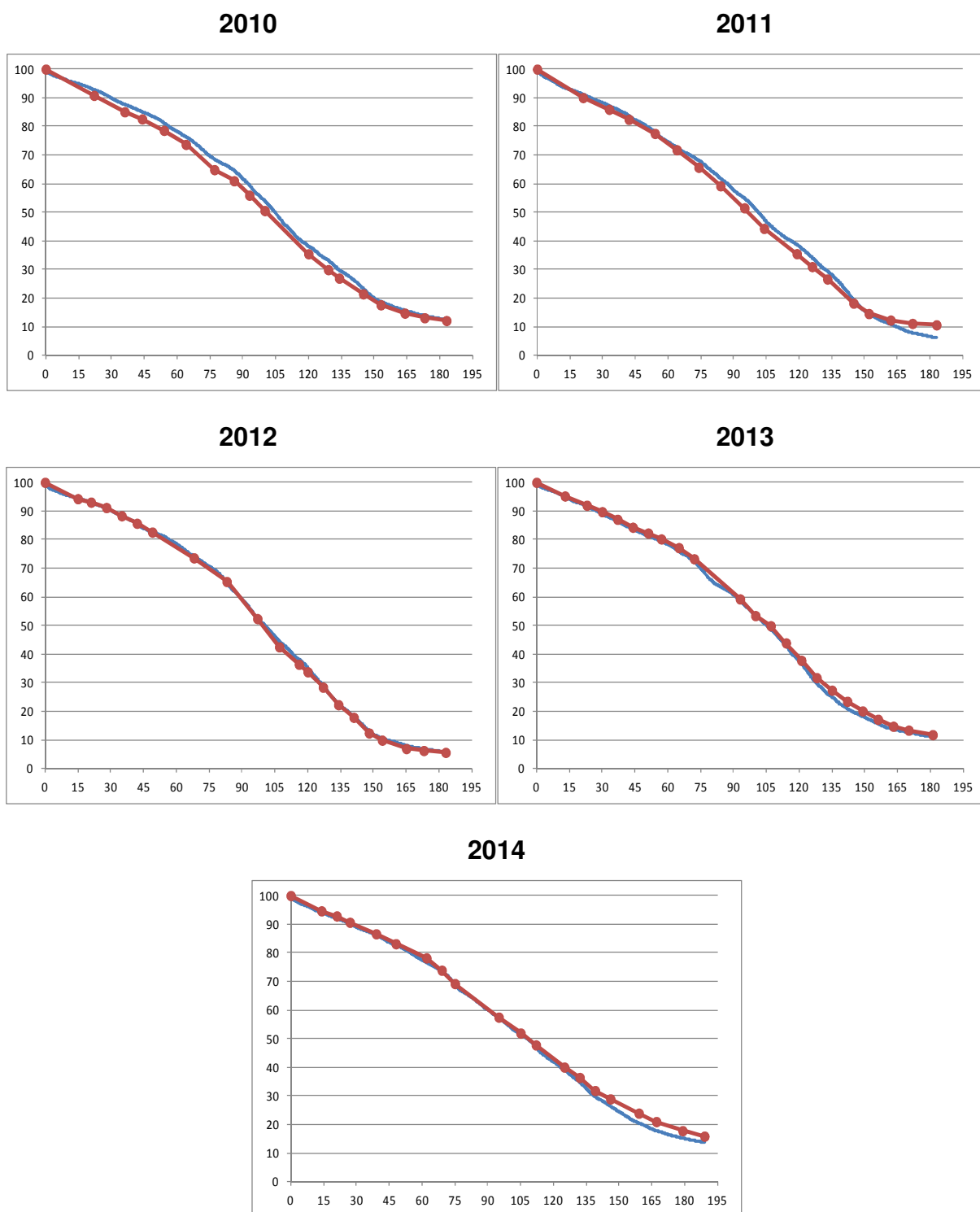


**Isomate C TT  
(curve di scarico 2010-2014)**



**Figura 4.4** - confronto fra le curve di scarico previste dal modello e quelle ottenute in campo con le pesate gravimetriche dei diffusori modello Isomate C TT

### Isonet L (curve di scarico 2010-2014)



**Figura 4.5** - confronto fra le curve di scarico previste dal modello e quelle ottenute in campo con le pesate gravimetriche dei diffusori modello Isonet L

Per i grafici delle curve di rilascio di feromone (modello Isomate OFM rosso flex, grafici della colonna di sinistra):

- **curva rossa**: curva di rilascio ottenuta con le pesate gravimetriche dei diffusori (●) effettuate in campo presso i campi prova della ditta CBC (Europe) Srl a Finale Emilia (MO)
- **curva azzurra**: curva di rilascio prevista dal modello utilizzando i dati di temperatura rilevati dalla centralina meteorologica di Finale Emilia (MO)
- **curva verde**: andamento della temperatura dell'aria rilevata dalla centralina meteorologica di Finale Emilia (MO)
- *asse x*: giorni trascorsi dall'applicazione in campo dei diffusori
- *asse y principale*: rilascio dei diffusori, espresso in mg/ha/giorno, alla dose di 600 diffusori/ha
- *asse y secondario*: temperatura dell'aria, in °C

Per i grafici delle curve di scarico di feromone (modello Isomate OFM rosso flex, grafici della colonna di destra, e modelli Isomate C TT e Isonet L):

- **curva rossa**: curva di scarico ottenuta con le pesate gravimetriche dei diffusori (●) effettuate in campo presso i campi prova della ditta CBC (Europe) Srl a Finale Emilia (MO)
- **curva azzurra**: curva di scarico prevista dal modello utilizzando i dati di temperatura rilevati dalla centralina meteorologica di Finale Emilia (MO)
- *asse x*: giorni trascorsi dall'applicazione in campo dei diffusori
- *asse y*: contenuto rimanente del diffusore, espresso in % rispetto al contenuto totale del diffusore

Dall'analisi dei grafici sopra riportati si può affermare che tutti i modelli sviluppati, nel complesso di una stagione di lotta, sono in grado di prevedere un rilascio di feromone molto simile a quello misurato in campo. Inoltre, dal confronto fra le curve di scarico, è possibile affermare che i modelli sono in grado di fornire in qualunque momento della stagione un valore di contenuto di feromone rimanente molto vicino alla reale situazione di campo.

Solamente per i diffusori del modello Isomate OFM rosso flex si sono riscontrate alcune differenze maggiormente significative fra i valori del rilascio previsti dal modello e quelli riscontrati in campo. Ad oggi, anche a seguito di diversi confronti avuti con i tecnici della ditta CBC (Europe) Srl, non è ancora stato possibile individuare con certezza le cause che hanno determinato una divergenza così significativa tra i valori previsti dal modello e quelli ottenuti con le pesature di campo esclusivamente per tale tipologia di diffusori.

### **4.3 Applicazioni dei modelli di rilascio**

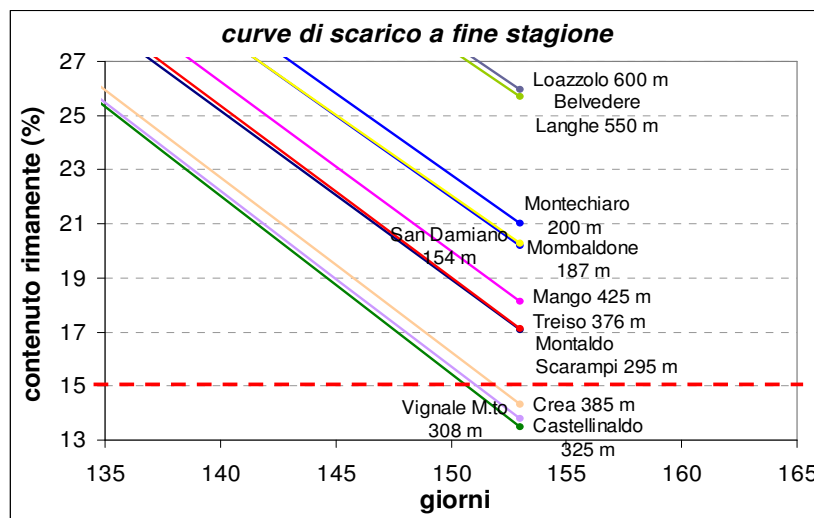
In questo paragrafo vengono descritte e illustrate le principali applicazioni dei modelli di rilascio. I modelli vengono impiegati per determinare il rilascio e il contenuto di feromone rimanente per alcune località situate nelle aree collinari di Langhe e Monferrato utilizzando i dati di temperatura registrati da centraline meteorologiche appartenenti alla rete meteorologica di ARPA Piemonte e alla Rete Agrometeorologica del Settore Fitosanitario della Regione Piemonte, e vengono forniti scenari di rilascio di riferimento basati su valori medi di temperatura rilevati in località situate in zone vallive o di media e alta collina caratterizzate da condizioni meteorologiche differenti.

#### **4.3.1 Utilizzo dei modelli per determinare il contenuto di feromone rimanente**

Per determinare il contenuto di feromone rimanente all'interno dei diffusori è necessario conoscere la quantità di feromone già erogato dal momento dell'applicazione in campo dei diffusori da cui ricavare, per differenza con il contenuto totale del diffusore, la quantità di feromone ancora presente all'interno dei diffusori. Per fare ciò è necessario conoscere l'andamento della temperatura dell'aria dal momento dell'applicazione in campo dei diffusori, utilizzando ad esempio i valori della temperatura dell'aria registrati da una centralina meteorologica di riferimento per la località di interesse. Tale centralina può essere una centralina privata di proprietà del produttore stesso, oppure una stazione meteorologica appartenente alla rete meteorologica regionale di ARPA Piemonte o alla Rete Agrometeorologica della Regione Piemonte. E' possibile scaricare gratuitamente i dati registrati da tali centraline accedendo alla Banca Dati Meteorologica di ARPA Piemonte al link <http://www.arpa.piemonte.it/annali/meteorologici> o alla Banca Dati Agrometeo attraverso il portale Sistema Piemonte della Regione Piemonte al link [http://www.sistemapiemonte.it/agricoltura/banca\\_dati\\_agrometeo/index.shtml](http://www.sistemapiemonte.it/agricoltura/banca_dati_agrometeo/index.shtml).

Conoscendo la quantità di feromone rilasciata è possibile determinare il contenuto di feromone rimanente e avere così una prima indicazione, molto utile soprattutto verso la fine della stagione di lotta, sulla capacità del diffusore di garantire la protezione della coltura fino al momento della raccolta del prodotto. Nel caso in cui il modello indichi un esaurimento precoce dei diffusori, dovuto alla presenza di temperature esterne molto più elevate della norma, sarà possibile intensificare i monitoraggi dell'insetto bersaglio ed eventualmente eseguire, se necessario, un trattamento abbattente classico integrativo alla lotta biologica con confusione sessuale.

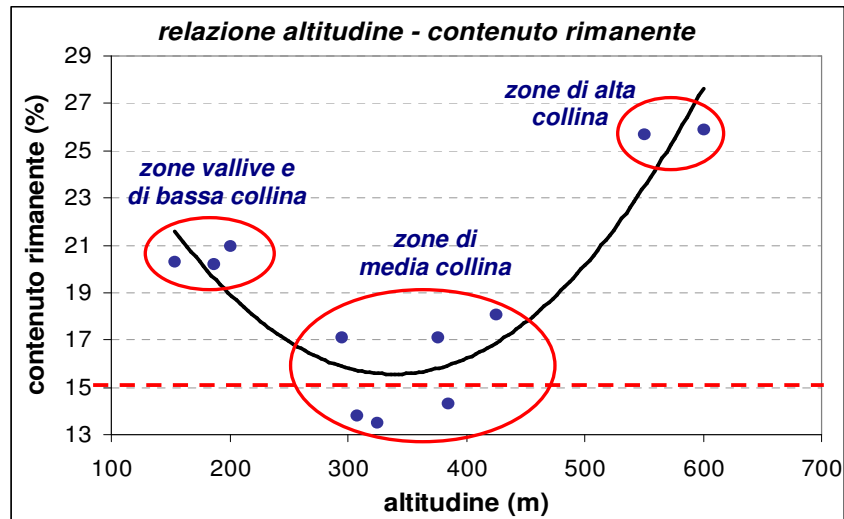
I modelli di rilascio sono stati utilizzati per determinare la vita media di ipotetici diffusori applicati in campo in differenti località collinari di Langhe e Monferrato, utilizzando come dati di temperatura di input le temperature medie mensili del periodo tipico di applicazione dei diffusori (semestre aprile-settembre) calcolate utilizzando i dati rilevati nel decennio 2001-2010 da stazioni meteorologiche appartenenti alla rete meteorologica regionale di ARPA Piemonte. Il grafico seguente mostra la porzione finale delle curve di scarico calcolate per le località indicate.



**Figura 4.6** - porzione finale delle curve di scarico calcolate per diffusori ipoteticamente applicati in alcune località collinari di Langhe e Monferrato. Per ogni località è indicata la quota altimetrica della centralina meteo di riferimento

Si può osservare come già al termine del quinto mese di applicazione i diffusori presentino, in alcune località, un contenuto rimanente di feromone inferiore al 15%, soglia al di sotto della quale i diffusori non garantiscono più un rilascio costante e direttamente proporzionale alla temperatura dell'aria.

Nel grafico successivo viene invece rappresentato il contenuto percentuale di feromone rimanente al termine del quinto mese di ipotetica applicazione dei diffusori in funzione della quota altimetrica della località di riferimento. Si può osservare come i diffusori ipoteticamente applicati in campo in località di media collina sono quelli che presentano il minor contenuto di feromone rimanente. Nelle aree vallive e di bassa collina il contenuto di feromone rimanente dopo i primi cinque mesi di applicazione dei diffusori è invece di circa cinque punti percentuali superiore rispetto a quello ottenuto per le località di media collina, mentre nelle zone di alta collina la protezione è assicurata per l'intera stagione di lotta grazie a temperature medie sempre inferiori rispetto alle aree situate a quote altimetriche inferiori.



**Figura 4.7** - relazione fra l'altitudine delle località di riferimento e il contenuto percentuale di feromone rimanente dopo cinque mesi di applicazione dei diffusori. La curva di interpolazione è una polinomiale di secondo ordine

Le aree di media collina possono pertanto essere considerate quelle potenzialmente maggiormente esposte agli attacchi dei fitofagi, specialmente quelli di ultima generazione, almeno per quanto riguarda gli aspetti legati all'erogazione del feromone e alla protezione della coltura, mentre nelle aree vallive e di bassa collina viene garantita una maggiore protezione dell'area di interesse anche a fine stagione grazie ad un maggior contenuto di feromone residuo ancora presente nei diffusori.

L'analisi condotta è stata effettuata utilizzando valori medi di temperatura relativi ad un periodo di 10 anni. Si tratta pertanto di scenari di riferimento, e come tali devono essere considerati. Possono verificarsi infatti stagioni caratterizzate da valori termici, e di conseguenza di rilascio e contenuto rimanente, anche molto diversi rispetto alle medie pluriennali qui riportate. Gli scenari descritti possono però servire come supporto ai tecnici di campo e ai produttori agricoli nel momento dell'applicazione in campo dei diffusori per pianificare il loro corretto posizionamento nell'area da proteggere e determinare il numero di erogatori da applicare per ettaro di terreno in funzione delle condizioni orografiche dell'area stessa.

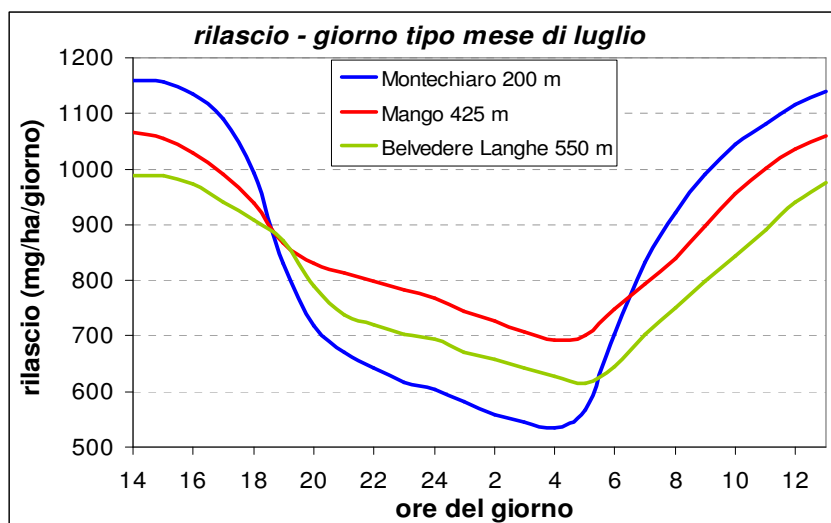
#### **4.3.2 Utilizzo dei modelli per conoscere il rilascio durante le ore del giorno**

Nel paragrafo precedente è stato descritto l'utilizzo dei modelli di rilascio per determinare il rilascio di feromone dal momento dell'applicazione in campo dei diffusori e il contenuto di feromone residuo ancora presente nei diffusori utilizzando i

dati di temperatura registrati da centraline meteorologiche presenti sul territorio. Utilizzando dati di temperatura acquisiti in tempo reale dalle medesime centraline è invece possibile conoscere il rilascio istantaneo di feromone in un qualsiasi momento della giornata.

Nel seguito del paragrafo i modelli di rilascio sono stati utilizzati per determinare il rilascio di feromone per una giornata tipo del mese di luglio in tre località collinari collocate a diverse quote altimetriche in aree vallive e di media e alta collina. I valori di temperatura utilizzati sono stati registrati nel triennio 2008-2010 da centraline meteorologiche dell'ARPA Piemonte installate nelle medesime località. I dati di temperatura registrati sono stati successivamente elaborati al fine di ottenere le medie orarie di temperatura.

Il grafico seguente mostra il giorno tipo del rilascio ottenuto per il mese di luglio nelle tre località indicate. Si può osservare come durante il giorno il rilascio sia maggiore nelle aree di pianura rispetto a quelle di media e alta collina, mentre durante le ore notturne la presenza delle inversioni termiche nelle zone vallive causa un rilascio inferiore rispetto alle zone collinari.



**Figura 4.8** - giorno tipo del rilascio calcolato per il mese di luglio in tre differenti località collinari di Langhe e Monferrato situate rispettivamente in condizioni di bassa, media e alta collina

L'integrale di ogni singola curva, ovvero l'area sottesa da ciascuna curva, rappresenta il rilascio giornaliero di feromone. L'area sottesa dalla curva della località situata in media collina è maggiore di quella sottesa dalla curva della località situata

in valle, a conferma di quanto detto in precedenza, ovvero che le zone di media collina sono quelle in cui si verifica il maggior rilascio di feromone.

Anche in questo caso le curve di rilascio sono state ottenute utilizzando valori medi di temperatura pluriennali. Durante una singola stagione di lotta condizioni meteorologiche anche molto differenti possono causare andamenti giornalieri del rilascio molto diversi rispetto a quelli qui presentati.

Dall'analisi degli scenari di rilascio riportati nei grafici precedenti si può concludere che nelle aree vallive e di bassa collina la durata dei diffusori è mediamente maggiore rispetto alle aree di media collina, garantendo pertanto una maggior protezione della coltura al termine del periodo di lotta, ma durante le ore notturne il rilascio di feromone si riduce notevolmente nelle aree vallive, specialmente in presenza di condizioni di inversione termica notturna. Ciò potrebbe ridurre la concentrazione di feromone nell'area di interesse durante la notte, periodo della giornata nel quale si verifica la maggior parte degli accoppiamenti degli insetti bersaglio. E' anche vero però che il minor rilascio dovuto alle basse temperature notturne nelle aree vallive e di bassa collina viene compensato dalla maggior permanenza del feromone nell'area da proteggere a causa della ventilazione generalmente scarsa o del tutto assente tipica delle inversioni termiche notturne.

Per pianificare correttamente il posizionamento dei diffusori nell'area da proteggere e valutarne preventivamente il rilascio è pertanto necessario prestare particolare attenzione alle differenze di temperatura fra le zone vallive, caratterizzate anche nel periodo estivo da inversioni termiche notturne, e quelle di media e alta collina, generalmente caratterizzate da temperature medie superiori (Biancotti e Fratianni, 2003). Una valutazione del destino del feromone in campo e la quantificazione della sua concentrazione in aria nell'area di interesse possono essere effettuate solamente con l'ausilio di un modello matematico di dispersione, così come descritto nel successivo capitolo.

### ***4.3.3 Utilizzo dei modelli per prevedere il rilascio di feromone***

Come detto in precedenza, i modelli di rilascio possono essere utilizzati sia a fini diagnostici che a fini previsionali. Si vuole ora descrivere la possibilità di utilizzare i modelli di rilascio con funzione previsionale per prevedere l'entità del rilascio in un periodo di tempo futuro. In questo caso, invece di utilizzare all'interno del modello valori di temperatura registrati da stazioni meteorologiche presenti sul territorio, è necessario utilizzare come dati di input i valori di temperatura previsti dalle previsioni meteorologiche e dai numerosi bollettini meteorologici diffusi a livello nazionale, regionale o locale per la località o l'area di interesse.



La possibilità di prevedere il rilascio può risultare di fondamentale importanza soprattutto in corrispondenza dei periodi nei quali si verificano i picchi di volo degli insetti bersaglio. Ad esempio, un periodo più freddo della norma potrebbe causare un rilascio non sufficiente a garantire nell'area da proteggere una concentrazione di feromone sufficiente ad impedire gli accoppiamenti dell'insetto bersaglio. Affiancando ai modelli di rilascio un modello matematico di dispersione per prevedere la concentrazione del feromone in campo in funzione delle condizioni meteorologiche e di rilascio, nonché un modello di sviluppo fenologico dell'insetto bersaglio in grado di prevedere i picchi di volo dell'insetto in funzione dei principali parametri bio-climatici, sarà possibile fornire ai produttori e ai tecnici agricoli uno strumento di supporto per un controllo integrato delle loro colture.

#### ***4.4 Datalogger da campo per il controllo del rilascio e del contenuto di feromone rimanente***

I modelli di rilascio sviluppati e validati per le principali tipologie di diffusori Shin-Etsu attualmente in commercio sono stati ingegnerizzati come algoritmi di calcolo all'interno di un prototipo di datalogger da campo che è stato testato in campo in tre differenti località durante la stagione di lotta dell'anno 2015.



***pannello fotovoltaico con  
batteria di accumulo per il  
funzionamento nelle ore notturne***

***unità di controllo con modem GSM  
per l'invio giornaliero dei dati  
tramite SMS telefonico***

***display LCD per la visualizzazione  
dei dati raccolti e il settaggio dei  
principali parametri del datalogger***

***sensore di temperatura esterno  
con schermo solare protettivo***

***Figura 4.9*** - datalogger da campo, testato e validato in campo durante la stagione di lotta dell'anno 2015, con indicazione delle principali caratteristiche costruttive

Il datalogger è stato realizzato grazie alla collaborazione con la società Airone Srl di Torino, che si è occupata della realizzazione di tutta la parte hardware e software e dell'ingegnerizzazione all'interno del datalogger dei modelli di rilascio come algoritmi di calcolo totalmente autonomi nel funzionamento.

Il datalogger è stato specificatamente progettato e realizzato per applicazioni in campo aperto. E' infatti alimentato mediante un pannello fotovoltaico accoppiato ad una batteria di accumulo, con annesso regolatore di carica, per il funzionamento nelle ore notturne, ed è inoltre dotato di una piccola batteria tampone ausiliaria per colmare gli eventuali “buchi” di carica dovuti a condizioni meteorologiche estremamente sfavorevoli alla carica della batteria quali lunghi periodi caratterizzati da giornate con cielo coperto o pioggia.

La batteria di accumulo e la batteria tampone sono allocate all'interno del corpo principale del datalogger, realizzato utilizzando una carcassa in materiale plastico con livello di protezione dagli agenti atmosferici IP65. Il corpo principale del diffusore ospita, oltre alle batterie, anche l'unità di calcolo vera e propria, il display e tutta la componentistica elettrica ed elettronica necessaria per il funzionamento del datalogger.

Il datalogger è inoltre dotato di appositi sistemi di supporto che ne consentono una agevole collocazione in campo sui pali in legno o in cemento normalmente presenti lungo i filari.

Il datalogger misura la temperatura dell'aria mediante un sensore di temperatura esterno dotato di apposito schermo solare protettivo per la protezione del sensore stesso dalla radiazione solare diretta. I valori di temperatura, misurati ogni minuto, vengono utilizzati all'interno degli algoritmi di calcolo per la determinazione del rilascio e del contenuto di feromone rimanente.

Il datalogger è in grado, tramite la presenza di un modem GSM con annessa SIM telefonica, di inviare giornalmente tramite SMS i dati raccolti relativi alla temperatura media dell'aria, al rilascio giornaliero di feromone e al contenuto di feromone rimanente.

Il datalogger è inoltre dotato di una scheda di memoria interna sulla quale viene effettuata con cadenza oraria la memorizzazione dei dati raccolti per una eventuale successiva analisi ed elaborazione a computer.

Come detto, il datalogger è completamente autonomo nel suo funzionamento, e può essere controllato a distanza dall'operatore mediante la ricezione giornaliera degli SMS telefonici.

Il datalogger è stato realizzato e successivamente testato in campo per operare sulle principali tipologie di diffusori Shin-Etsu attualmente in commercio, modelli Isonet L e

Isonet L plus, Isomate C TT e Isomate OFM rosso flex. L'operatore può scegliere attraverso la videata di controllo la tipologia di diffusore sulla quale fare lavorare il datalogger. Sempre attraverso la videata di controllo l'operatore può settare diversi altri parametri, legati sia al calcolo del rilascio che alle modalità di trasmissione tramite SMS dei dati raccolti.

Il datalogger indica sul display la data e l'ora, la temperatura dell'aria, il contenuto percentuale di feromone rimanente e l'entità del rilascio di feromone relativo agli ultimi tre giorni, rappresentato sul display mediante un indicatore grafico a tre livelli. Sul display viene inoltre indicato il numero identificativo associato allo specifico datalogger (10 nel caso del display della figura successiva), la tipologia di diffusore di feromone sul quale il datalogger sta operando (Isomate OFM rosso flex nel caso del datalogger della figura successiva) e l'intensità del segnale GSM disponibile nell'area dove è installato il datalogger, su una scala da 1 a 4 (M4 nel caso del datalogger della figura successiva).

Il datalogger è inoltre dotato di sistemi di allarme visivo che si attivano quando il rilascio di feromone è inferiore ad una determinata soglia stabilita in fase di sviluppo dei modelli di rilascio. Questo può verificarsi o in presenza di temperature esterne molto basse, o a fine stagione quando i diffusori, ormai quasi del tutto scarichi, non riescono più a garantire un rilascio sufficientemente elevato.

Il datalogger fornisce anche una rappresentazione grafica dell'andamento del rilascio di feromone relativo agli ultimi sette giorni e quello del contenuto di feromone rimanente relativo all'intera stagione di lotta. I grafici delle curve di rilascio e di scarico dei diffusori si alternano sul display insieme alla videata principale con un intervallo temporale prestabilito.





**Figura 4.10** - immagini delle tre videate che si alternano sul display del datalogger: **a)** videata principale, **b)** curva di rilascio degli ultimi sette giorni e **c)** curva di scarico da inizio stagione

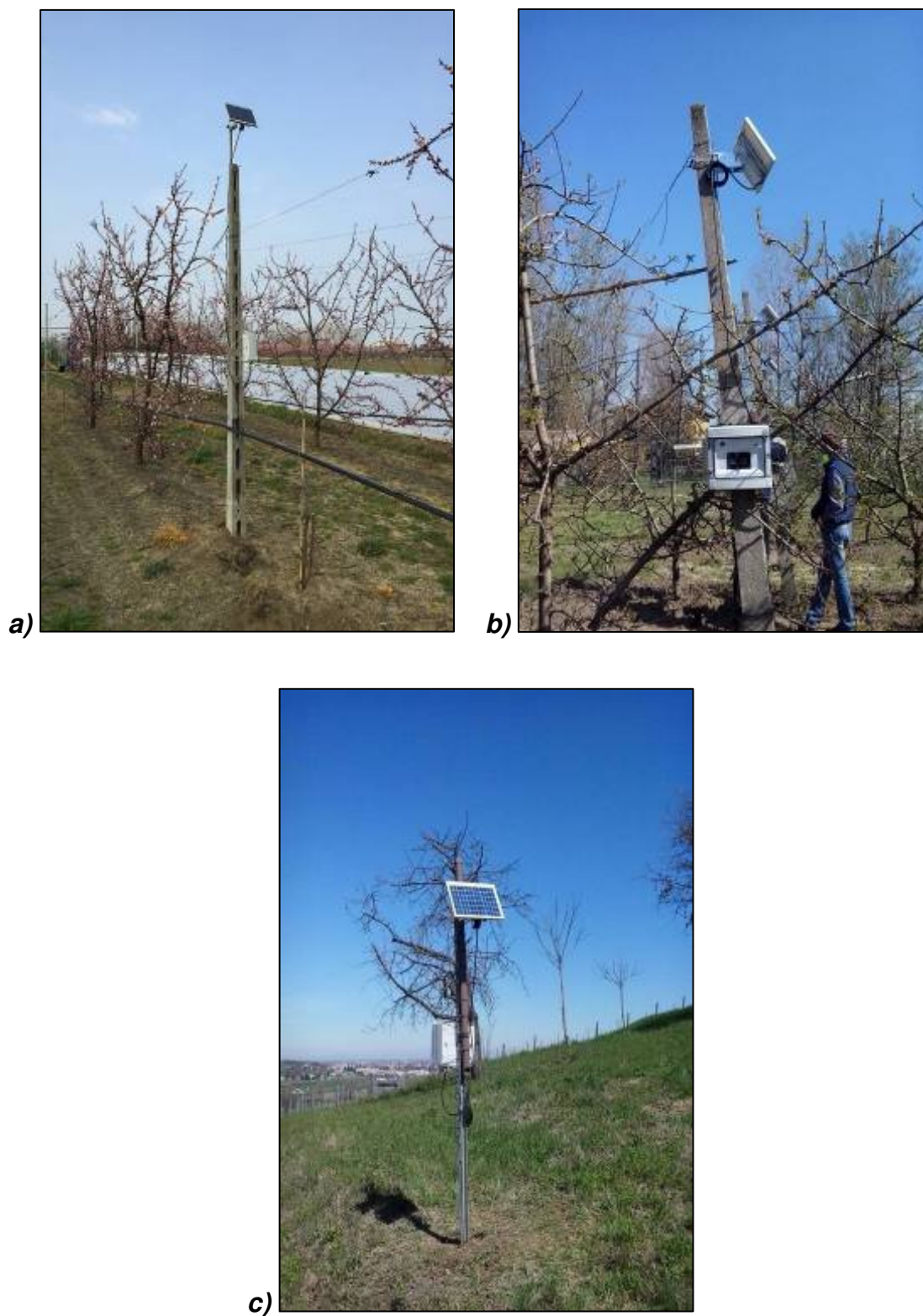
Come detto, il datalogger è stato testato in campo in tre differenti località, ottenendo buoni risultati sia in termini di affidabilità che di capacità di prevedere correttamente l'entità del rilascio e il contenuto di feromone rimanente per le principali tipologie di diffusori Shin-Etsu attualmente in commercio.

I risultati dei test condotti in campo sono descritti nel paragrafo successivo.

#### **4.4.1 Test e validazione in campo del datalogger**

Il datalogger da campo precedentemente descritto è stato realizzato in numero di sette esemplari, sei dei quali sono stati acquistati dalla società CBC (Europe) Srl e installati in campo presso i campi prova nelle località di Cesena (FC) e Bologna Borgo Panigale (BO), mentre il restante datalogger è stato applicato in campo nei terreni della tenuta Cascina Faletta di Casale Monferrato (AL).

Il datalogger installato presso la tenuta Cascina Faletta di Casale Monferrato è stato testato sul modello di diffusori Isomate OFM rosso flex, mentre nei campi prova della società CBC (Europe) Srl ciascuno dei tre datalogger installati è stato testato su un differente modello di diffusore, rispettivamente Isonet L, Isomate C TT e Isomate OFM rosso flex.



**Figura 4.11** - datalogger installati in campo nelle località di **a)** Cesena (FC), **b)** Bologna Borgo Panigale (BO) e **c)** Casale Monferrato (AL)

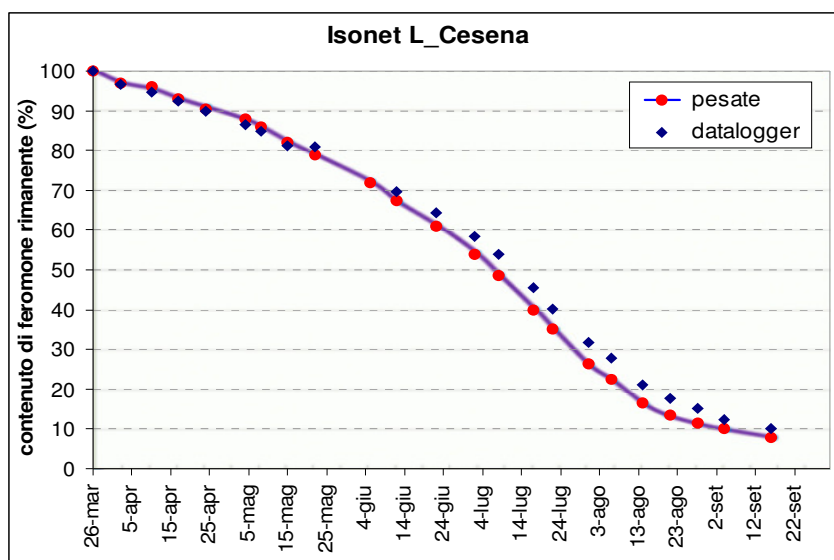
I datalogger installati in campo nella località di Cesena (FC) sono stati collocati in prossimità delle aree dei campi prova nelle quali vengono normalmente applicati i diffusori di feromone utilizzati per le pesature gravimetriche. E' stato così possibile confrontare le curve di rilascio e di scarico previste dai datalogger con quelle ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori applicati in campo nella medesima località.

Anche i datalogger installati in campo nella località di Bologna Borgo Panigale (BO) sono stati collocati in prossimità dei diffusori di feromone applicati in campo, ma in questo caso i diffusori di feromone non sono stati sottoposti a pesate gravimetriche ma sono stati periodicamente prelevati per essere successivamente sottoposti alle analisi in gas-cromatografia per determinarne il contenuto di feromone residuo mediante estrazione chimica del feromone.

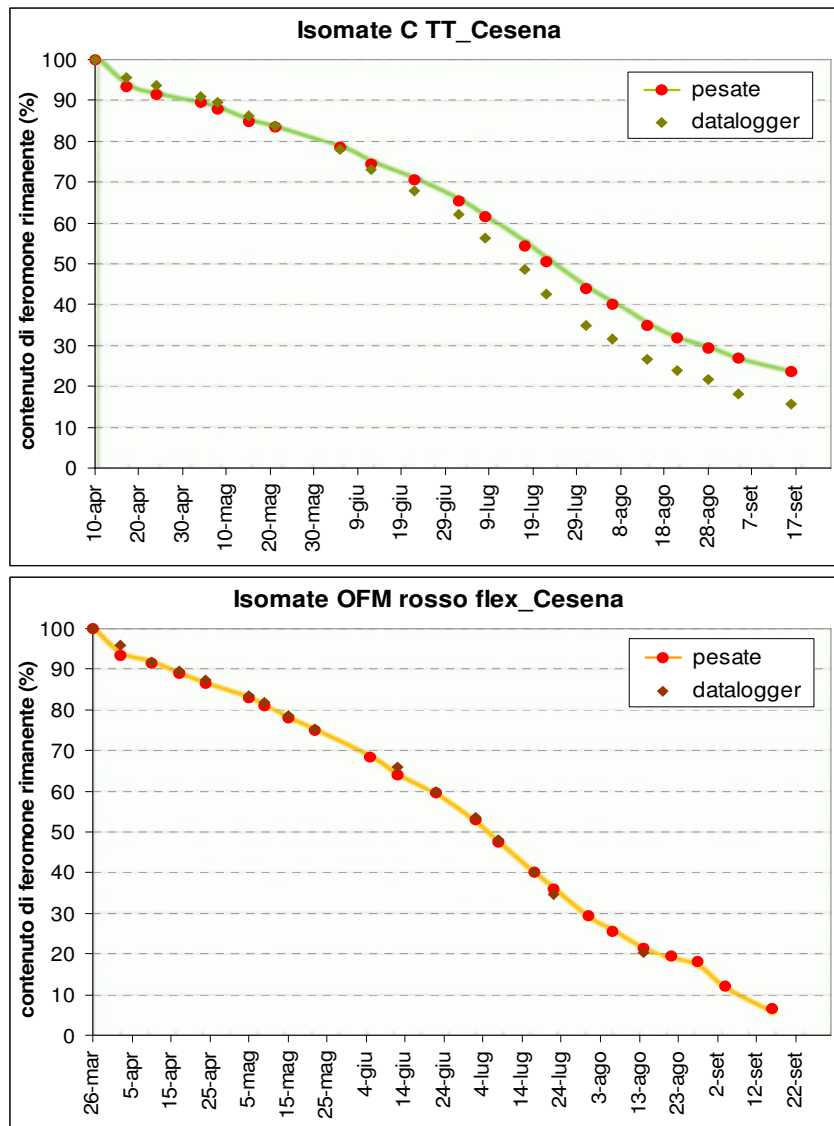
Nei campi prova presso la Cascina Faletta di Casale Monferrato (AL) si è invece proceduto analogamente a quanto descritto per i campi prova della località di Cesena (FC).

I grafici seguenti mostrano il confronto fra le curve di scarico fornite dai datalogger e quelle ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori applicati in campo nella località di Cesena (FC).

Per i diffusori applicati in campo nella località di Bologna Borgo Panigale (BO) al momento della stesura della presente tesi non si hanno ancora a disposizione i risultati delle analisi in gas-cromatografia degli stessi, pertanto non è stato possibile procedere al confronto fra le curve di scarico fornite dai datalogger e quelle ottenute con le analisi in gas-cromatografia.



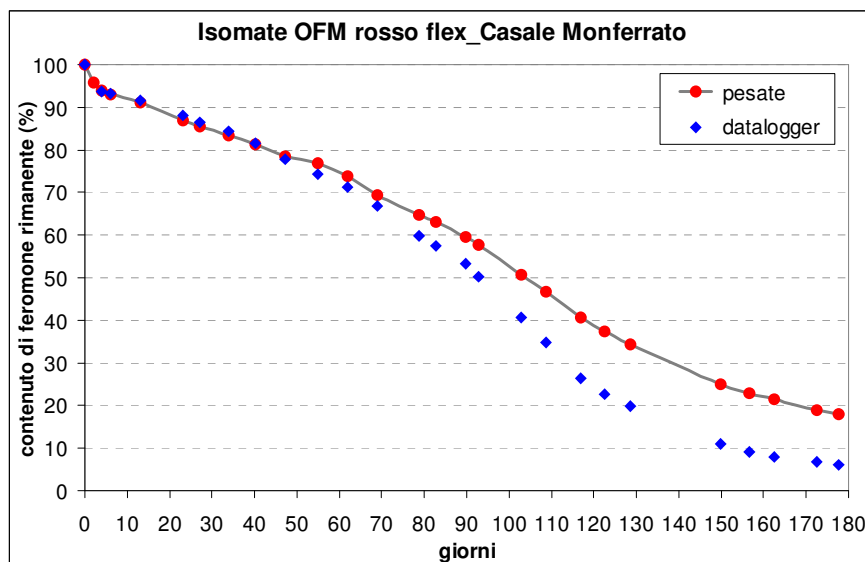




**Figura 4.12** - confronto fra le curve di scarico fornite dai datalogger e quelle ottenute con le pesate gravimetriche dei diffusori nella località di Cesena (FC)

Si può osservare come i datalogger siano stati in grado di determinare in maniera sufficientemente precisa il rilascio e il contenuto di feromone rimanente per le principali tipologie di diffusori considerati. Gli scostamenti fra i valori del rilascio previsti dai datalogger e quelli ottenuti in campo con le pesate gravimetriche dei diffusori sono imputabili principalmente alla diversa collocazione in campo del sensore di temperatura, che effettua una misura puntuale della temperatura dell'aria, rispetto alla posizione dei diffusori stessi, applicati in campo lungo i filari a distanze prestabilite gli uni dagli altri.

Il grafico seguente riporta invece il confronto fra la curva di scarico prevista dal datalogger e quella ottenuta con le pesate gravimetriche dei diffusori applicati in campo nella località di Casale Monferrato (AL), relativa a diffusori del modello Isomate OFM rosso flex.



**Figura 4.13** - confronto fra la curva di scarico fornita dal datalogger e quella ottenuta con le pesate gravimetriche dei diffusori nella località di Casale Monferrato (AL)

Si può osservare come il rilascio previsto dal datalogger sia risultato molto maggiore rispetto a quello ottenuto con le pesate gravimetriche dei diffusori. In questo caso però, per motivi legati alle lavorazioni agricole di campo, non è stato possibile installare il datalogger direttamente all'interno dei campi prova, ma solamente in un'area a gerbido adiacente.

La differenza fra le condizioni di temperatura presenti fra il punto di posizionamento dei diffusori all'interno dei campi prova e il punto di installazione del datalogger, seppur molto vicini fra loro, fa capire quanto sia importante procedere ad un corretto posizionamento in campo del datalogger ed in particolare del sensore di temperatura affinché i valori della temperatura registrati dal sensore stesso possano essere considerati il più possibile rappresentativi delle condizioni di temperatura che interessano i diffusori applicati in campo.



***Capitolo 5.  
Simulazione della  
dispersione in  
campo dei feromoni***

Nel seguito di questo capitolo vengono descritti e analizzati i risultati di alcune simulazioni della dispersione delle molecole di feromone ipoteticamente emesse da diffusori Shin-Etsu modello Isonet L plus in un ettaro di terreno in presenza di condizioni meteorologiche realmente verificatesi.

I valori di rilascio forniti dai modelli di rilascio descritti nel capitolo precedente diventano ora gli input del modello di dispersione.

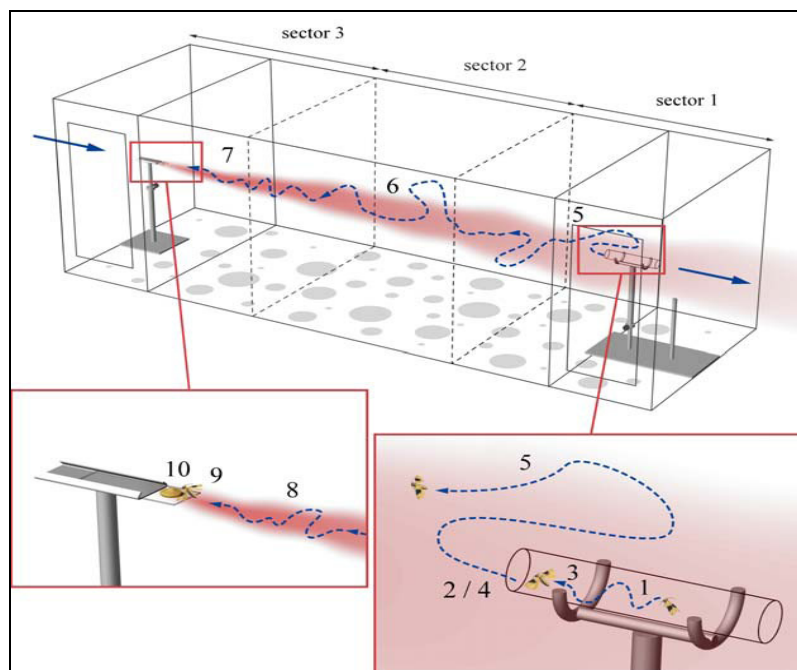
Le simulazioni sono state condotte utilizzando un modello di dispersione a particelle sviluppato per simulare la dispersione in atmosfera degli inquinanti atmosferici. Pur trattandosi delle prime simulazioni, i risultati ottenuti possono essere considerati più che soddisfacenti ed in linea con quanto attualmente pubblicato in letteratura e rilevabile in campo con misure in situ.

## **5.1 Anali dello stato dell'arte**

Determinare la concentrazione di feromone in aria è ancora oggi piuttosto difficile, e non esistono strumenti affidabili con tempi di risposta sufficientemente rapidi. Per ovviare a ciò, negli studi volti a indagare le fluttuazioni della concentrazione di un pennacchio odoroso sono normalmente utilizzate sostanze facilmente rilevabili e misurabili definite traccianti. Peterson (Peterson *et al.*, 1990; Peterson *et al.*, 1999) e Thistle (Thistle *et al.*, 1998; Thistle *et al.*, 2004) hanno utilizzato nei loro studi di campo sorgenti di esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) quale tracciante per studiare il comportamento istantaneo di un pennacchio attraverso il prelievo di campioni di aria ad intervalli regolari e a distanze prestabilite a valle della sorgente in presenza di differenti condizioni atmosferiche.

Murlis (Murlis *et al.*, 2000) ha invece utilizzato come tracciante ioni carichi negativamente rilasciati da un generatore di ioni. La concentrazione atmosferica di tali ioni è stata misurata utilizzando un apposito detector che fornisce in output un segnale elettrico proporzionale alla concentrazione degli ioni in aria.

Sono state condotte anche diverse sperimentazioni in tunnel del vento per studiare il comportamento degli insetti durante il volo in presenza di pennacchi di feromone con concentrazione variabile nel tempo e nello spazio (Elkinton *et al.*, 1984; Salom e McLean, 1991).



**Figura 5.1** - studio del volo degli insetti in tunnel del vento

Parallelamente alle attività di campo e di laboratorio hanno inizio le prime simulazioni della dispersione dei feromoni attraverso l'utilizzo di modelli matematici in grado di simulare l'evoluzione nello spazio e nel tempo di un pennacchio di feromone.

I primi studi riguardanti la dispersione delle molecole di feromone in campo furono condotti agli inizi degli anni '80 (Fares *et al.*, 1980). Nel 1984 Elkinton (Elkinton *et al.*, 1984) utilizza un modello Gaussiano per prevedere la concentrazione di feromone sottovento ad una sorgente di feromone. Tale modello è in grado di fornire concentrazioni di feromone mediate nel tempo su intervalli temporali di tre minuti.

Il comportamento degli insetti osservato durante le prove nel tunnel del vento è stato però differente da quello che ci si sarebbe aspettati in base all'output fornito dal modello. Il modello matematico prevedeva concentrazioni medie molto basse, non sufficienti per stimolare e attrarre gli insetti maschi, mentre durante le prove in tunnel del vento è stato osservato un volo direzionale degli insetti maschi a risalire la piuma feromonale. Questo accade poiché gli insetti rispondono a picchi di concentrazione istantanei in tempi dell'ordine di un secondo o meno, piuttosto che a valori medi di concentrazione (Aylor, 1976). Grande importanza risiede quindi nella turbolenza dell'aria, responsabile dei picchi e dei buchi di concentrazione.

Diversi autori hanno proposto modelli basati su approcci diversi per parametrizzare nel modo più opportuno la turbolenza dell'aria. Nel 2002 Farrell (Farrell *et al.*, 2002) sviluppa un modello adatto per la simulazione della dispersione dei feromoni in un mezzo turbolento in grado di fornire valori di concentrazione istantanei.

Le prime attività di simulazione condotte con l'obiettivo di valutare se la concentrazione di feromone in campo sia sufficiente a garantire un buon esito della confusione sessuale risalgono alla fine degli anni '90.

Suckling (Suckling *et al.*, 1999) ha sviluppato un modello Lagrangiano tridimensionale utilizzato per prevedere la distribuzione verticale del feromone rilasciato da diffusori in polietilene posizionati all'interno di un frutteto, utilizzando come input meteorologici i dati di temperatura e ventosità misurati in campo. Per validare il modello i valori di concentrazione previsti sono stati confrontati con quelli misurati in campo tramite campionamento dell'aria e successive analisi in gascromatografia.

Molto più recente è lo studio condotto da Strand (Strand *et al.*, 2009), il quale utilizza un modello tridimensionale Lagrangiano a particelle in grado di prevedere concentrazioni istantanee e mediate nel tempo emesse da erogatori di esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) posizionati in una foresta alla distanza di 50 metri gli uni dagli altri.

## **5.2 Simulazione della dispersione in campo dei feromoni**

Le simulazioni modellistiche della dispersione del feromone in campo sono state condotte utilizzando un approccio opposto rispetto a quello seguito da Suckling (Suckling *et al.*, 1999), il quale considera l'insieme dei diffusori di feromone come un'unica sorgente piana.

Nelle simulazioni effettuate infatti ogni singolo diffusore è stato considerato come una singola sorgente puntuale. Questa scelta potrebbe sì aumentare i tempi di calcolo ed elaborazione necessari al modello per funzionare, a vantaggio però di una più realistica rappresentazione della situazione di campo. Inoltre, considerare ogni singolo diffusore come una sorgente puntuale consente di modulare il rilascio dei diffusori posti in diverse condizioni orografiche (ad esempio, in uno stesso appezzamento dislocato sul pendio di una collina, i diffusori applicati in valle rispetto a quelli posti sulla cresta della collina).

Gli output dei modelli di rilascio descritti nel capitolo precedente vengono utilizzati come input di un modello matematico di dispersione tridimensionale Lagrangiano a particelle chiamato SPRAY. Si vuole in primis verificare se tale modello, sviluppato, validato e già ampiamente utilizzato per la dispersione in atmosfera degli inquinanti (Tinarelli *et al.*, 2000; Gariazzo *et al.*, 2004; Gariazzo *et al.*, 2007; Trivero *et al.*, 2011), possa essere utilizzato per simulare la dispersione dei feromoni in campo in presenza di condizioni meteorologiche realmente verificatesi fornendo in output valori di concentrazione paragonabili a quelli misurabili in campo e/o pubblicati in letteratura.

Il modello di dispersione può essere utilizzato con funzione previsionale o diagnostica. Nel primo caso, conoscendo la previsione meteorologica fornita da un modello meteorologico, è possibile prevedere il rilascio nei giorni successivi utilizzando il modello di rilascio e la dispersione in campo utilizzando il modello di dispersione. Nel secondo caso è possibile simulare la dispersione dei feromoni in presenza di condizioni meteorologiche tipiche dell'area di studio (ad esempio il vento dominante, o la presenza di brezze caratteristiche) o studiare gli effetti dell'orografia locale sulla dispersione dei feromoni in aria.

### 5.2.1 La catena modellistica

La catena modellistica utilizzata per le attività di simulazione è rappresentata nella figura seguente. L'ultimo anello di tale catena è il modello lagrangiano a particelle SPRAY 3.0, utilizzato per le simulazioni della dispersione in atmosfera dei feromoni emessi dai diffusori.

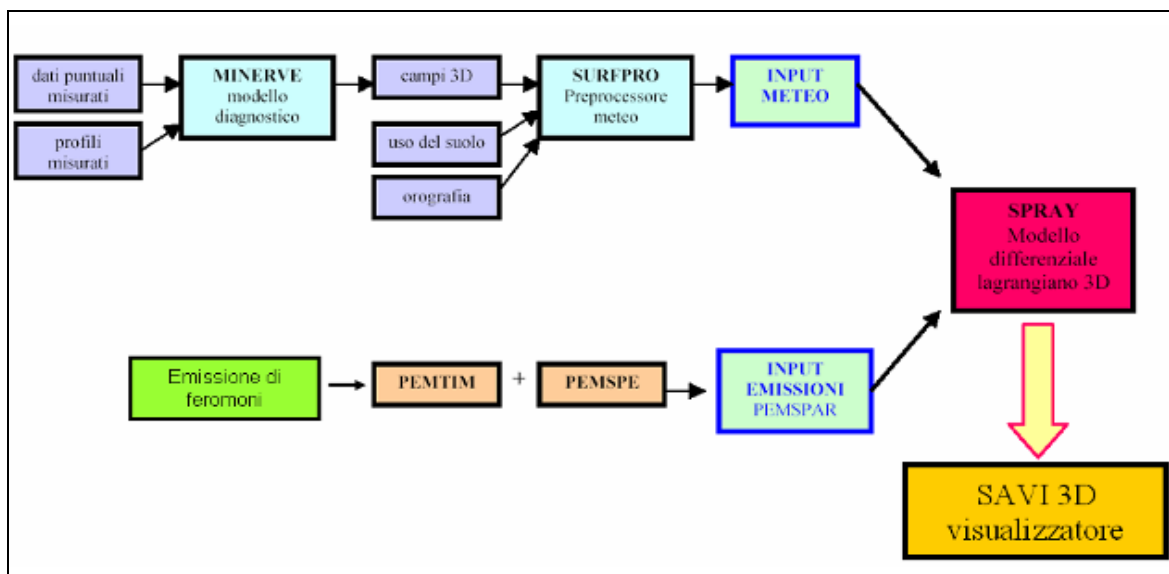


Figura 5.2 - schema concettuale della catena modellistica utilizzata

SPRAY è un modello tridimensionale lagrangiano a particelle sviluppato dalla ditta ARIANET s.r.l. di Milano per simulare la dispersione degli inquinanti atmosferici emessi da sorgenti puntuali, lineari e areali. L'inquinante è rappresentato da particelle il cui movimento all'interno di un dominio tridimensionale dipende dal vento medio e dalla turbolenza dell'aria. Il numero di particelle utilizzato per rappresentare l'emissione di ogni singola sorgente è definito dall'utente all'interno dei file di configurazione del modello. Sulla base di tale valore il modello automaticamente

determina la massa di ogni singola particella in funzione dell'entità dell'emissione delle varie sorgenti.

Il modello di dispersione necessita di due tipologie di dati di input: i dati meteorologici e i dati di rilascio dei diffusori. Il modello meteorologico diagnostico MINERVE si occupa dell'interpolazione dei campi tridimensionali delle principali grandezze meteorologiche quali temperatura, vento e umidità a partire da dati puntuali misurati al suolo da centraline meteorologiche e da profili di temperatura e vento forniti da stazioni di remote sensing a terra (radiosondaggi) o dal lancio di palloni sonda. I campi così ottenuti, insieme alle informazioni sull'uso del suolo e sull'orografia dell'area oggetto della simulazione, vengono ulteriormente elaborati dal processore meteorologico SURFPRO che gestisce parametri meteorologici quali la turbolenza, la stabilità atmosferica e la radiazione solare. L'output di SURFPRO rappresenta l'input meteorologico del modello SPRAY.

La seconda parte della catena modellistica serve per preparare gli input emissivi del modello. Le informazioni relative alle sorgenti emissive, in questo caso i diffusori di feromone, e all'entità del loro rilascio vengono definite in un file chiamato PENTIM, a cui deve essere associato un altro file, il PEMSPE, nel quale è possibile definire alcuni parametri chimico-fisici caratteristici della sostanza o delle sostanze delle quali si vuole valutare la dispersione in atmosfera. Dall'unione dei file PENTIM e PEMSPE si ottiene il file PEMPAR, che rappresenta l'input emissivo del modello di dispersione. La visualizzazione tridimensionale degli output del modello e l'elaborazione delle mappe di concentrazione di feromone è stata fatta utilizzando il software SAVI3D.

Tra i vari parametri settabili all'interno del file PEMSPE, quelli di maggiore interesse per la simulazione della dispersione dei feromoni sono quelli relativi ai moduli per il calcolo della deposizione secca e umida e del gravitational settling di gas e aerosol. Tali moduli di calcolo sono attivabili con appositi flag all'interno di uno dei file di configurazione del modello.

Per *deposizione secca* si intende la deposizione delle molecole di sostanze gassose e di aerosol (particolato) sul suolo e sulla vegetazione. Il modello fornisce in output un file con la massa della porzione di sostanza emessa che si è depositata al suolo nelle varie celle del grigliato di simulazione e che quindi viene sottratta da quella presente in atmosfera. La quantità di sostanza depositata è funzione della sua concentrazione atmosferica e della velocità di deposizione. Il valore della densità della sostanza non viene utilizzato per il calcolo. La *deposizione umida* è invece legata all'azione delle precipitazioni atmosferiche che raccolgono una parte delle sostanze presenti in atmosfera trasportandole al suolo all'interno delle gocce d'acqua.

Per *gravitational settling* si intende invece la stratificazione al suolo delle sostanze con densità superiore a quella dell'aria per effetto della forza di gravità. Tale modulo di calcolo è utilizzabile solo per gli aerosol e non per i gas. Il modello utilizza diversi parametri, tra cui la densità della sostanza o delle sostanze emesse dalle sorgenti emissive, fornita al modello nel file PEMSPE, per calcolare la velocità di deposizione. Tale componente di velocità viene sommata alla velocità verticale delle particelle, legata alla turbolenza dell'aria, per definire la velocità verticale totale delle particelle. Per poter considerare all'interno delle simulazioni sia la stratificazione dovuta alla maggiore densità dei feromoni rispetto all'aria, sia la loro deposizione secca e umida sul suolo e sulla vegetazione, è necessario considerare i feromoni come degli aerosol e non come dei gas.

### **5.2.2 Descrizione del caso studio**

Le simulazioni sono state effettuate utilizzando un dominio di simulazione di 500 x 500 metri situato in una zona agricola della pianura alessandrina, area della quale si avevano già a disposizione le informazioni sull'orografia e sull'uso del suolo. Trattasi di un'area interamente pianeggiante situata ad una quota compresa fra i 98 e i 99 metri s.l.m.m..

All'interno del dominio di simulazione è stata individuata un'area di un ettaro di superficie, per semplicità un quadrato di 100 metri di lato, i cui vertici sono definiti dalle seguenti coordinate: NW (UTM\_X 474.000; UTM\_Y 4.969.100), NE (UTM\_X 474.100; UTM\_Y 4.969.100), SE (UTM\_X 474.100; UTM\_Y 4.969.000), SW (UTM\_X 474.000; UTM\_Y 4.969.000).

All'interno dell'ettaro di terreno sono state virtualmente disposte le sorgenti emissive, ovvero i diffusori di feromone, ad una altezza dal suolo pari a 2 metri e alla distanza di 10 metri gli uni dagli altri, per un totale di 100 diffusori.

Si è scelto di non posizionare tutti i 500 diffusori che vengono normalmente applicati in campo in un ettaro di terreno per rendere più rapida la preparazione degli input emissivi e la simulazione stessa. Ognuno dei 100 diffusori è però caratterizzato da un rilascio 5 volte maggiore rispetto al valore fornito dal modello di rilascio per un singolo diffusore. Ogni erogatore integra pertanto il rilascio di se stesso e dei quattro diffusori circostanti.

Nella disposizione dei diffusori all'interno del grigliato di simulazione non è stato previsto l'incremento del numero di diffusori lungo il perimetro dell'area da proteggere per la protezione delle zone più esterne.

I dati meteorologici utilizzati come input meteo sono relativi alle condizioni meteorologiche realmente verificatesi rilevate nei giorni compresi fra il 19 e il 21

settembre 2005. Di tale periodo si avevano già a disposizione gli input meteorologici necessari al modello, preparati utilizzando i dati misurati al suolo dalla centralina meteorologica dell'ARPA Piemonte installata a Lobbi, frazione del Comune di Alessandria, a pochi chilometri dall'area di simulazione, e i profili di temperatura e vento forniti dai radiosondaggi effettuati con le strumentazioni RASS (Radio Acoustic Sounding System) e SODAR (SOund Detection And Ranging) installate sulla discarica di Castelceriolo (coordinate 44,929° N – 8,708° E) e di proprietà dell'Università del Piemonte Orientale.

La gran parte del lavoro propedeutico alla simulazione vera e propria consiste nella preparazione del file PENTIM, contenente le informazioni sulle sorgenti emmissive e sull'entità del rilascio.

Si riporta di seguito la porzione iniziale del file PENTIM con le informazioni relative al primo diffusore.

```
          900
          100          0
ng
          1
0.0000000E+00 0.0000000E+00
          19 09 05 0 0 0
          1#S01          #FEROMON #PTS.          1#
          72#
#          1#          1# 0# 0#
          # 474000.#4969000.#          2.#          1#          0# 0.150E+02#
          #          1.#          1.#          1.#          0.10E+00#          0.00#          0.00#          0.00E+00#
1#FER          #0.170E+06#          99#
#          2#          1# 0# 0#
1#FER          #0.170E+06#          99#
#          3#          1# 0# 0#
1#FER          #0.172E+06#          99#
#          4#          1# 0# 0#
1#FER          #0.170E+06#          99#
#          5#          1# 0# 0#
1#FER          #0.170E+06#          99#
#          6#          1# 0# 0#
1#FER          #0.170E+06#          99#
#          7#          1# 0# 0#
1#FER          #0.164E+06#          99#
#          8#          1# 0# 0#
1#FER          #0.168E+06#          99#
#          9#          1# 0# 0#
1#FER          #0.183E+06#          99#
#          10#          1# 0# 0#
1#FER          #0.201E+06#          99#
#          11#          1# 0# 0#
1#FER          #0.220E+06#          99#
#          12#          1# 0# 0#
1#FER          #0.264E+06#          99#
#          13#          1# 0# 0#
1#FER          #0.287E+06#          99#
#          14#          1# 0# 0#
1#FER          #0.267E+06#          99#
#          15#          1# 0# 0#
1#FER          #0.267E+06#          99#
#          16#          1# 0# 0#
```



1#FER	#0.273E+06#	99#
# 17#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.254E+06#	99#
# 18#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.246E+06#	99#
# 19#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.226E+06#	99#
# 20#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.199E+06#	99#
# 21#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.189E+06#	99#
# 22#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.162E+06#	99#
# 23#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.138E+06#	99#
# 24#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.126E+06#	99#
# 25#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.126E+06#	99#
# 26#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.115E+06#	99#
# 27#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.113E+06#	99#
# 28#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.115E+06#	99#
# 29#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.115E+06#	99#
# 30#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.111E+06#	99#
# 31#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.113E+06#	99#
# 32#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.117E+06#	99#
# 33#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.177E+06#	99#
# 34#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.219E+06#	99#
# 35#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.267E+06#	99#
# 36#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.301E+06#	99#
# 37#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.297E+06#	99#
# 38#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.311E+06#	99#
# 39#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.330E+06#	99#
# 40#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.332E+06#	99#
# 41#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.346E+06#	99#
# 42#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.322E+06#	99#
# 43#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.297E+06#	99#
# 44#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.236E+06#	99#
# 45#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.213E+06#	99#
# 46#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.207E+06#	99#
# 47#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.201E+06#	99#
# 48#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.164E+06#	99#
# 49#	1# 0# 0#	
1#FER	#0.134E+06#	99#

#	50#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.111E+06#	99#					
#	51#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.109E+06#	99#					
#	52#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.091E+06#	99#					
#	53#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.089E+06#	99#					
#	54#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.078E+06#	99#					
#	55#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.070E+06#	99#					
#	56#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.109E+06#	99#					
#	57#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.152E+06#	99#					
#	58#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.177E+06#	99#					
#	59#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.228E+06#	99#					
#	60#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.267E+06#	99#					
#	61#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.297E+06#	99#					
#	62#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.311E+06#	99#					
#	63#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.336E+06#	99#					
#	64#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.338E+06#	99#					
#	65#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.326E+06#	99#					
#	66#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.320E+06#	99#					
#	67#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.283E+06#	99#					
#	68#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.242E+06#	99#					
#	69#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.219E+06#	99#					
#	70#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.213E+06#	99#					
#	71#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.215E+06#	99#					
#	72#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.213E+06#	99#					
	2#S01		#FEROMON	#PTS.				1#	
	72#								
#	1#	1#	0#	0#					
	#	474010.	#4969000.	#	2.#		1#	0#	0.150E+02#
	#	1.#	1.#		1.#	0.10E+00#		0.00#	0.00# 0.00E+00#
	1#FER		#0.170E+06#	99#					
#	2#	1#	0#	0#					
	1#FER		#0.170E+06#	99#					
	...		...	...					
	...		...	...					
	...		...	...					

Per la compilazione di tale file è necessario rispettare la formattazione e il significato di ogni singolo campo. In particolare, analizzando il documento riga per riga:

- *riga 1*, codice di versione del PENTIM:

900

- *riga 2*, numero di sorgenti considerate, in questo caso i 100 diffusori di feromone (lo zero non viene letto):  
100                    0
- *riga 3*, unità di misura delle emissioni, in questo caso nanogrammi di feromone rilasciati da un singolo diffusore in un arco temporale di un'ora:  
ng  
I valori di concentrazione di feromone in aria forniti in output dal modello saranno espressi in nanogrammi di feromone per metro cubo d'aria.
- *riga 4*, tipologia della quantità emessa, dove 1 indica una emissione in massa:  
1
- *riga 5*, coordinate, in km, del vertice sud-ovest del sistema di riferimento per le emissioni. Le coordinate di ogni sorgente emissiva saranno considerate relative a questo punto. Se il punto è 0.0 le coordinate dei singoli diffusori sono da intendersi come “assolute”:  
0.0000000E+00    0.0000000E+00
- *riga 6*, origine dei tempi della simulazione espressa in giorno, mese, anno, ore, minuti, secondi:  
19 09 05 0    0    0
- *riga 7*, il primo numero è il numero sequenziale delle varie sorgenti. Segue un codice di identificazione della sorgente considerata e il nome della sorgente stessa. PTS significa “punti sorgente” ed è posto pari a 1 in caso di sorgenti con un'unica emissione:  
1#S01            #FEROMON #PTS.                    1#
- *riga 8*, numero di intervalli temporali di emissione considerati per ogni sorgente:  
72#
- *riga 9*, numero dell'intervallo temporale e durata in ore, minuti e secondi:  
#            1#    1#    0#    0#  
Ogni intervallo temporale ha una durata di un'ora, pertanto la durata totale della simulazione è di 72 ore.
- *riga 10*, coordinate x, y, z del baricentro dell'emissione. Le coordinate x e y sono espresse in UTM, mentre z è l'altezza dal suolo del diffusore, espressa in metri. Segue l'indicazione della tipologia di sorgente, dove 1 indica una sorgente puntuale, e la temperatura della sorgente, in °C, posta pari a 15°C per tutti i diffusori:  
# 474000.#4969000.#    2.#            1#    0# 0.150E+02#
- *riga 11*, dimensioni della scatola emissiva dx, dy, dz, in metri, diametro dell'emissione, in metri, velocità orizzontali lungo x e y e velocità verticale di uscita dei fumi, in m/s:  
#            1.#            1.#            1.#    0.10E+00#    0.00#    0.00# 0.00E+00#

- *riga 12*, numero sequenziale della specie emessa, codice alfanumerico della specie emessa, quantità emessa all'interno dell'intervallo temporale considerato, codice numerico della specie emessa che deve corrispondere a quello specificato all'interno del file PEMSPE:

1#FER #0.170E+06# 99#

L'intervallo temporale di emissione è di un'ora, pertanto per ogni diffusore sono indicati 72 input emissivi.

I valori di rilascio di feromone sono forniti dal modello di rilascio sulla base dei valori medi di temperatura calcolati su base oraria a partire dai dati di temperatura registrati dalla stazione meteorologica di Lobbi nei giorni 19, 20 e 21 settembre 2005.

Inoltre, come detto, i valori di rilascio di ogni diffusore sono cinque volte maggiori rispetto a quelli forniti dal modello di rilascio per garantire la quantità totale di feromone emesso in un ettaro di terreno alla dose di 500 diffusori per ettaro.

Al file PEMENTIM è necessario associare il file PEMSPE, contenente le informazioni chimico-fisiche delle sostanze emesse dalle sorgenti, in questo caso le molecole di feromone. Segue il file PEMSPE utilizzato nelle simulazioni.

```
* -----
      1
      1
1*FER * 99* 0*0.00000* 0.00E+00* 0.000E+00*0.870E+01* 0.001* 1*
* -----
```

Nel file PEMSPE vengono descritte le sostanze emesse in termini di:

- numero sequenziale della specie emessa;
- codice alfanumerico della specie emessa;
- codice numerico della specie emessa;
- indicatore di radioattività (0 = elemento non radioattivo);
- velocità di deposizione secca, in m/s;
- coefficiente di lisciviazione, in s<sup>-1</sup>;
- tempo di decadimento (emivita);
- densità, in kg/m<sup>3</sup>;
- diametro, in µm;
- tipo di specie emessa (1 = aerosol).

Di tutti questi parametri quello di maggiore interesse è la densità, calcolata ad esempio per il feromone sessuale principale di *Lobesia botrana* in 8,7 kg/m<sup>3</sup>, circa 6,7 volte quella dell'aria. Nel calcolo della densità le molecole di feromone sono state assimilate a molecole di gas.

Per poter considerare il *gravitational settling* delle molecole all'interno delle simulazioni è stato invece necessario considerare i feromoni come degli aerosol, settando a 1 il valore dell'ultima colonna del file PEMSPE.

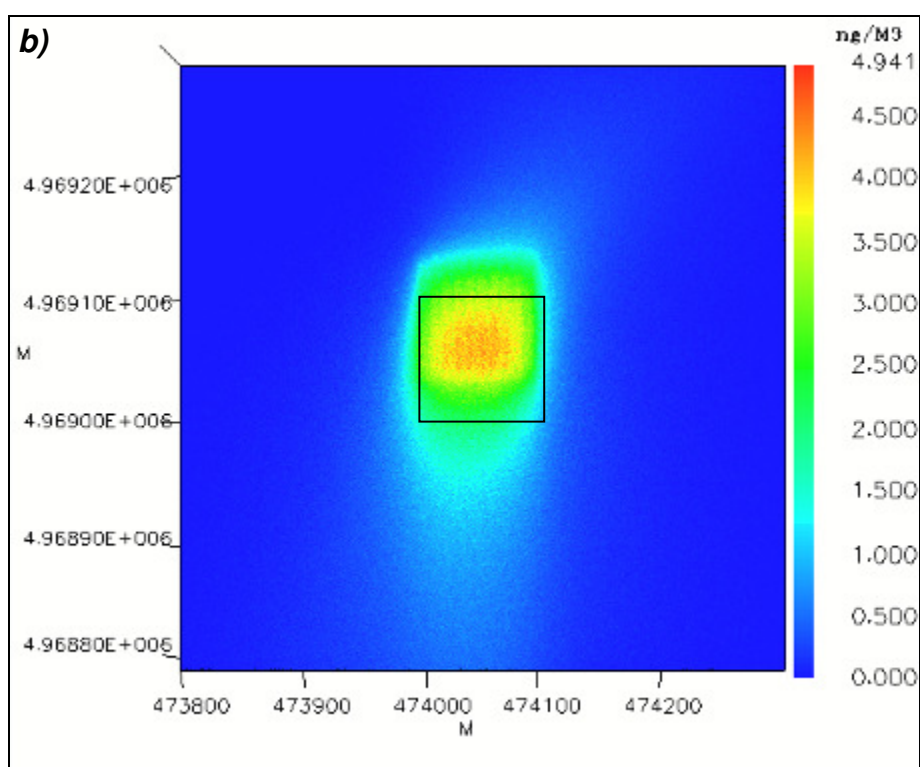
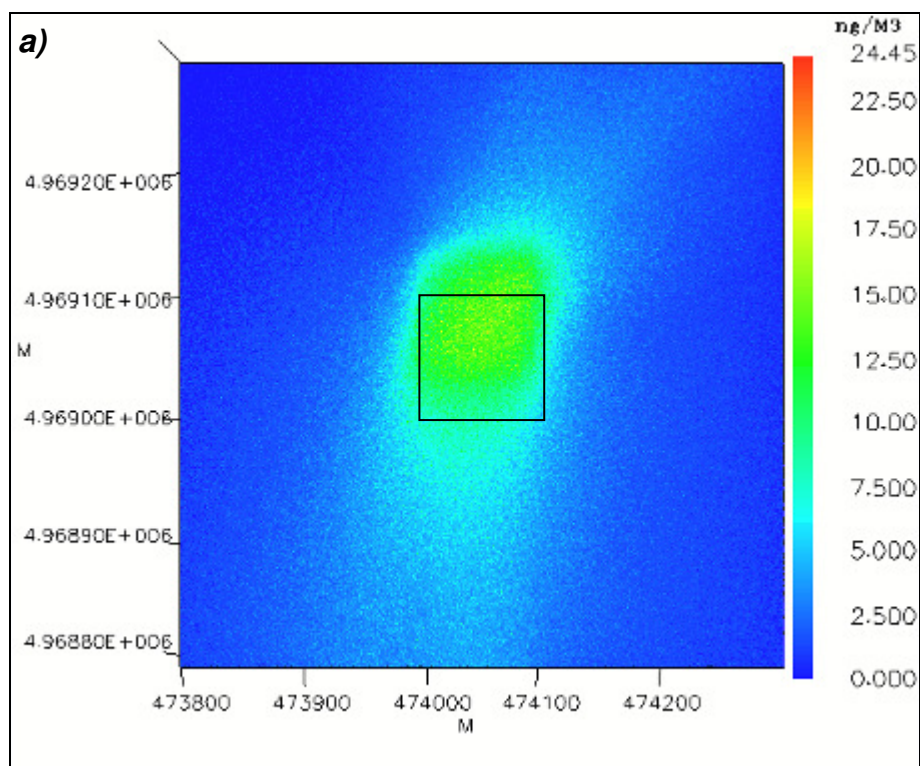
Sono state effettuate diverse simulazioni con risoluzione orizzontale del grigliato di calcolo sempre maggiore. La risoluzione spaziale ottimale, giusto compromesso fra un buon grado di dettaglio e tempi di calcolo non troppo elevati, è risultata di 1 metro.

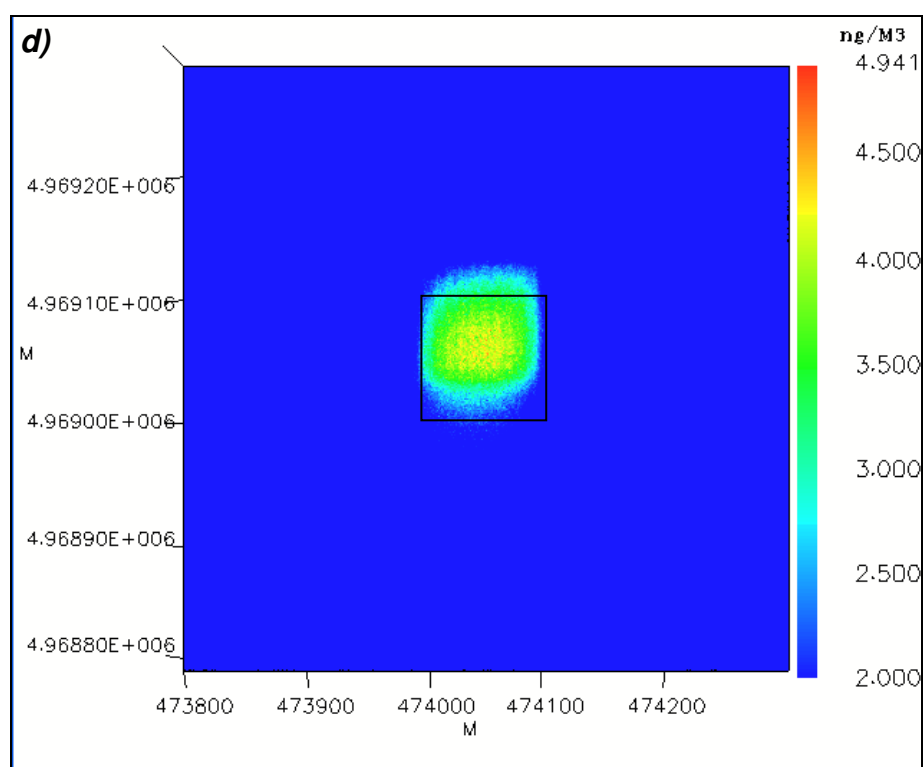
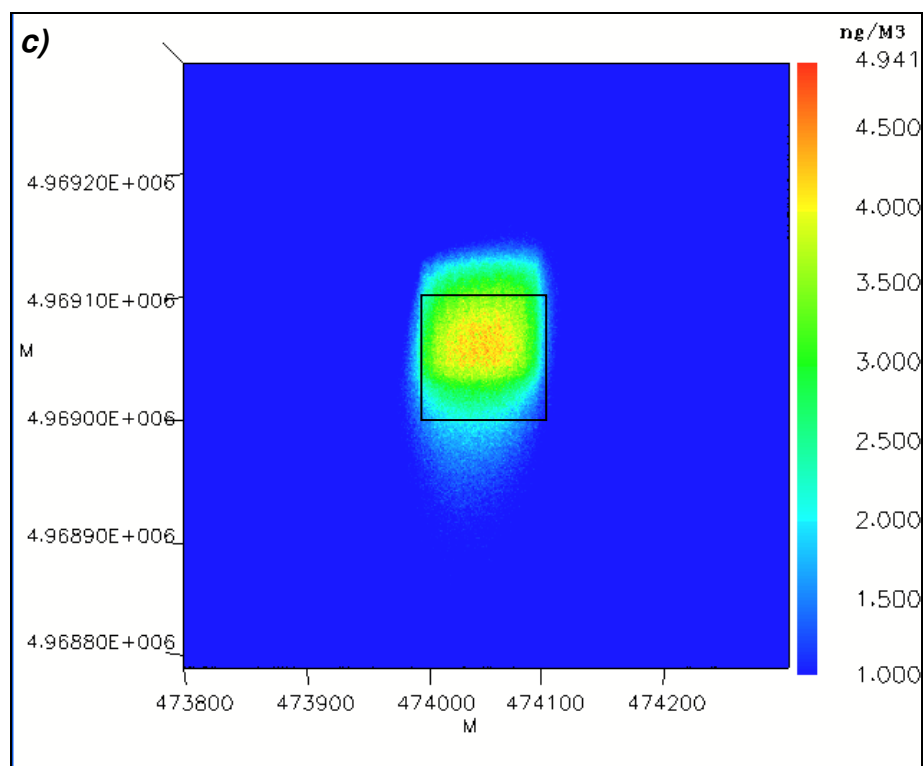
### **5.2.3 Analisi dei risultati ottenuti**

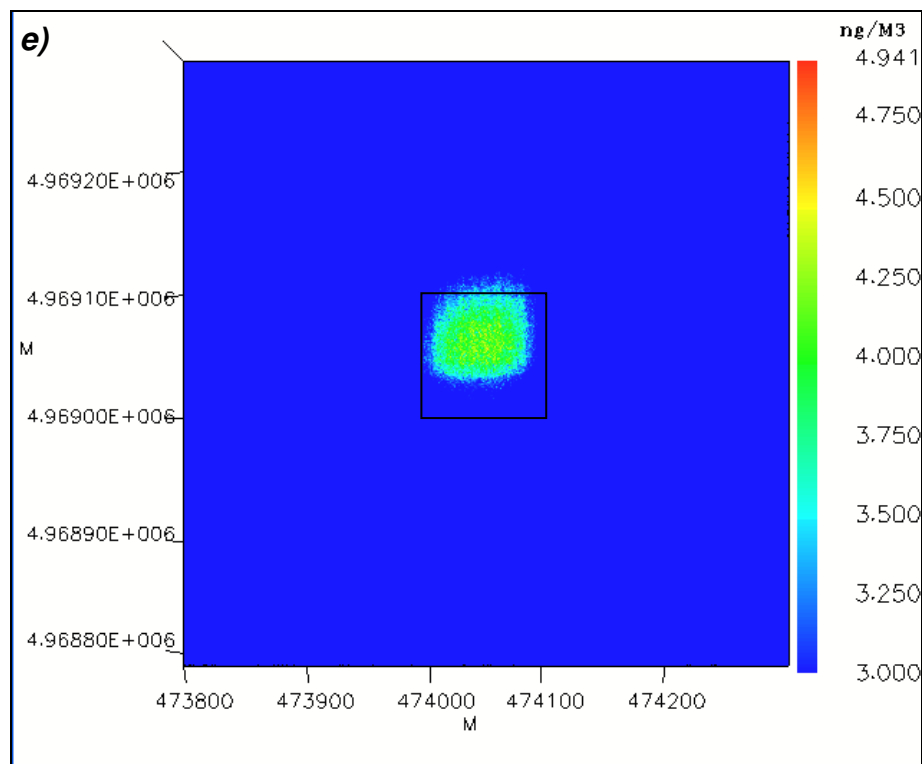
Di seguito sono riportate alcune mappe di concentrazione delle molecole di feromone in aria fornite in output dal modello di dispersione. La prima mappa rappresenta il valore massimo della concentrazione di feromone previsto dal modello nelle varie celle del grigliato di simulazione durante le 72 ore della simulazione. Le altre mappe rappresentano invece il valore medio della concentrazione di feromone calcolato sulle 72 ore della simulazione. La differenza fra le mappe di concentrazione media è nella scala dei valori di concentrazione, con riferimento al valore di concentrazione a cui è assegnato il colore blu. Nella prima mappa il valore minimo della scala è di 0 ng/m<sup>3</sup>, nella seconda è di 1 ng/m<sup>3</sup>, nella terza è di 2 ng/m<sup>3</sup> mentre nella quarta ed ultima mappa è di 3 ng/m<sup>3</sup>. Questo significa che le aree del grigliato di simulazione nelle quali la concentrazione media di feromone è inferiore al valore minimo della scala di concentrazione appaiono di colore blu all'interno delle mappe.

Si può osservare come la concentrazione media di feromone durante i tre giorni della simulazione sia compresa fra i 2 ng/m<sup>3</sup> delle aree più marginali e i 4 ng/m<sup>3</sup> dell'area più centrale dell'ettaro di terreno interessato dalla dispersione. Si nota inoltre come le zone di bordo risentano dell'effetto margine, con valori medi di concentrazione localmente inferiori ad 1 ng/m<sup>3</sup>.

Per comprendere in pieno l'aspetto delle mappe è necessario precisare che il vento, principale responsabile del trasporto dei feromoni, durante le 72 ore della simulazione ha soffiato principalmente lungo la direttrice nord-est/sud-ovest, con una provenienza prevalente da nord-est nella prima parte della simulazione e da sud-ovest nella seconda.







**Figura 5.3** - mappe di concentrazione di feromone in aria: **a)** massima, **b)** media, **c)** media con valore minimo della scala pari a  $1 \text{ ng/m}^3$ , **d)**  $2 \text{ ng/m}^3$  e **e)**  $3 \text{ ng/m}^3$

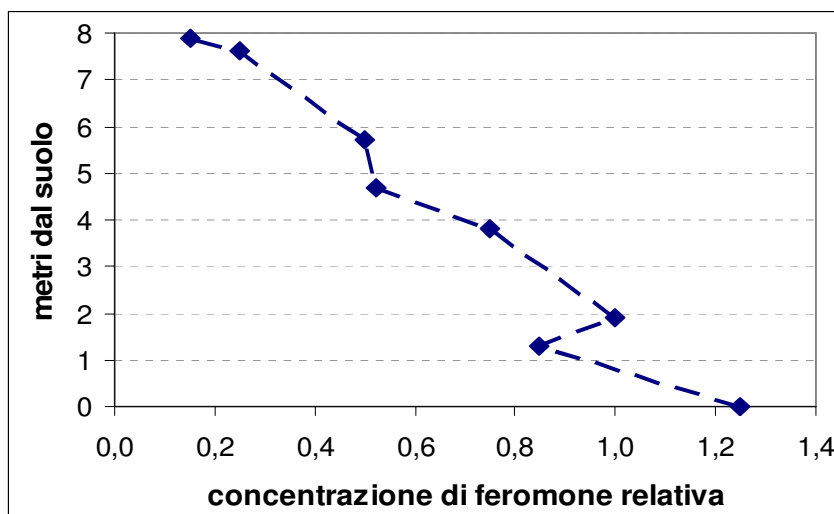
I valori di concentrazione ottenuti sono in linea con quelli tipici necessari per la confusione sessuale delle principali specie di insetti bersaglio, e sono altresì paragonabili a quelli misurabili in campo e pubblicati in letteratura.

E' necessario considerare che la simulazione ha interessato un ettaro di terreno isolato, pertanto non si è potuto beneficiare dell'apporto delle molecole di feromone provenienti dalle aree circostanti.

Il grafico seguente rappresenta il profilo verticale della concentrazione media di feromone prevista dal modello ed espressa come rapporto fra il valore calcolato ad una determinata altezza dal suolo e quello previsto a 2 metri, altezza alla quale sono posizionati i diffusori.

Nei primi due metri d'aria, quelli più vicini al suolo, la concentrazione di feromone è maggiore rispetto a quella prevista a quote superiori per effetto della stratificazione verticale delle molecole di feromone dovuta alla loro maggiore densità rispetto all'aria. Inoltre è possibile osservare un incremento della concentrazione di feromone in aria all'altezza alla quale sono posizionati i diffusori.





**Figura 5.4** - profilo verticale della concentrazione di feromone in aria prevista dal modello ed espressa come rapporto fra il valore previsto ad una determinata altezza dal suolo e quello a 2 metri, all'altezza alla quale sono posizionati i diffusori

Si può pertanto ritenere che il modello sia in grado di simulare con un alto livello di dettaglio la dispersione dei feromoni all'interno dell'area di interesse, fornendo valori di concentrazione paragonabili a quelli misurabili in campo e pubblicati in letteratura. E' quindi possibile utilizzare tale modello, inizialmente sviluppato ed utilizzato per simulare la dispersione degli inquinanti atmosferici, anche per la dispersione in campo delle molecole di feromone.

Per rendere le simulazioni ancora più aderenti alle reali condizioni di campo sarà inoltre necessario considerare anche la deposizione secca e umida delle molecole di feromone, nonché la loro degradazione in atmosfera per effetto di altre molecole e/o dell'azione diretta dei raggi solari.

# ***Conclusioni***

In questo lavoro di tesi sono stati presentati e descritti i risultati della sperimentazione condotta con l'obiettivo di individuare i fattori, meteorologici e non, che regolano il rilascio delle molecole di feromone dai diffusori prodotti dall'azienda giapponese Shin-Etsu e impiegati nella lotta agli insetti nocivi nei vigneti e nei frutteti con il metodo della confusione sessuale.

Conoscere i fattori ambientali che influenzano il rilascio dei diffusori è utile non solo per una corretta disposizione degli stessi all'interno dell'area da proteggere ma soprattutto per prevedere, in un qualunque momento della stagione, l'entità del rilascio nei giorni successivi e stimare la quantità di feromone già erogato, da cui ricavare per differenza quello ancora disponibile all'interno dei diffusori, senza la necessità di dover procedere a pesate gravimetriche degli erogatori.

Dall'analisi delle correlazioni fra i valori del rilascio e quelli delle variabili meteorologiche monitorate durante le sperimentazioni in campo è stato possibile individuare nella temperatura dell'aria il principale fattore meteorologico che influenza il rilascio di feromone dai diffusori Shin-Etsu. Gli altri parametri meteorologici monitorati, quali intensità del vento, intensità della radiazione solare, umidità dell'aria, pressione atmosferica e intensità di precipitazione non hanno mostrato alcuna correlazione significativa fra i valori assunti dalle variabili e il rilascio di feromone. Le misurazioni condotte durante il periodo invernale e quelle condotte in camera climatica hanno confermato tale risultato.

Le misure condotte in condizioni di ventilazione forzata hanno invece dimostrato come non vi siano differenze statisticamente significative nell'entità del rilascio per venti di intensità compresa fra i 2 e i 4 m/s. A fronte di questo risultato si potrebbe individuare nella velocità di permeazione delle molecole di feromone attraverso la parete dei diffusori il fattore limitante il rilascio legato alle caratteristiche costruttive del diffusore stesso. Il tempo di permeazione delle molecole di feromone attraverso i pori, maggiore del tempo di evaporazione delle molecole stesse dalla parete dei diffusori, impedirebbe la formazione di uno strato saturo di molecole sulla parete esterna dei diffusori. Non si può però escludere che al di sotto dei 2 m/s possa verificarsi una differenza nel rilascio per differenti intensità del vento.

Per pianificare correttamente il posizionamento dei diffusori all'interno dell'area da proteggere e poterne prevedere il rilascio è quindi fondamentale conoscere le temperature medie dell'area di interesse, prestando particolare attenzione alle differenze di temperatura presenti fra le zone vallive, caratterizzate ad esempio da inversioni termiche notturne anche nel periodo estivo, e i pendii collinari, caratterizzati da temperature medie superiori.

Le analisi condotte in microscopia ottica e in microscopia elettronica a scansione di diffusori “vergini” ancora carichi e di quelli utilizzati nelle sperimentazioni di campo hanno permesso di osservare una lieve alterazione della parete esterna dei diffusori, dovuta principalmente all’azione della radiazione solare e degli agenti meteorici, ma probabilmente non in grado di influire sul rilascio di feromone. Le analisi hanno inoltre messo in evidenza come i pori dei diffusori scarichi presentino una lunghezza mediamente maggiore di quella dei pori dei diffusori carichi di circa 15µm.

Interessanti risultati sono stati invece ottenuti con le osservazioni dei diffusori dopo un periodo di riscaldamento degli stessi in cella climatica alla temperatura di 60°C. Le analisi, condotte principalmente con l’obiettivo di studiare l’effetto delle variazioni di temperatura sulle dimensioni dei pori, hanno messo in evidenza come nelle osservazioni condotte a temperatura ambiente e in quelle effettuate dopo aver scaldato i diffusori in camera climatica per circa un’ora si osservi una crescita della lunghezza media dei pori nelle osservazioni a 60°C sia per i diffusori carichi sia per quelli scarichi, rispettivamente di circa 2µm e 4µm. Inoltre, l’incremento di circa 2µm ottenuto per i diffusori carichi è di molto inferiore rispetto alla differenza tra la lunghezza media dei pori dei diffusori carichi e di quelli scarichi, pari a circa 15 µm. Una spiegazione di questo risultato potrebbe essere ricercata nel fatto che le continue variazioni termiche giornaliere alle quali sono sottoposti i diffusori in campo, unite all’azione degradativa del sole e degli agenti meteorici, potrebbero aver reso meno rigida e più facilmente deformabile la parete dei diffusori, consentendo pertanto ai diffusori scarichi di subire variazioni di dimensioni maggiori rispetto a quelle osservate sui diffusori carichi dopo un’unica dilatazione alla temperatura di 60°C.

Sulla base dei risultati delle sperimentazioni sono stati creati differenti modelli di rilascio per le principali tipologie di diffusori Shin-Etsu attualmente in commercio, modelli in grado di prevedere l’erogazione del feromone e fornire la quantità di feromone ancora contenuta all’interno dei diffusori necessitando come unico dato di input la temperatura dell’aria.

Dopo essere stati messi a punto, i modelli sono stati validati mediante confronto con dati reali raccolti in campo negli anni precedenti in differenti località. I valori di rilascio forniti dai modelli sono stati confrontati con quelli misurati in campo, ottenendo uno scarto medio tra valori misurati e valori previsti dal modello molto basso. I modelli validati sono stati impiegati per prevedere il rilascio e il contenuto di feromone rimanente per alcune località situate nelle aree collinari di Langhe e Monferrato, utilizzando dati di temperatura registrati negli anni passati da centraline

meteorologiche presenti sul territorio, al fine di mostrarne l'utilizzo e le potenzialità per previsioni di campo.

Tutti i modelli di rilascio sviluppati sono stati successivamente ingegnerizzati come algoritmi di calcolo all'interno di un prototipo di datalogger da campo, appositamente creato per soddisfare le specifiche esigenze di affidabilità e autonomia nelle condizioni di lavoro in campo aperto. Il prototipo di datalogger è stato testato in campo in tre differenti località durante la stagione di lotta dell'anno 2015, ottenendo ottimi risultati sia in termini di affidabilità che di capacità di prevedere correttamente l'entità del rilascio e il contenuto di feromone rimanente.

La concentrazione di feromone in aria non dipende però solo dal rilascio dei diffusori, che rappresenta l'input di feromone nell'ambiente, ma da diversi altri fattori che influenzano la permanenza del feromone all'interno dell'area da proteggere, primo fra tutti il vento, ma anche l'orografia (le molecole di feromone sono più pesanti dell'aria e tendono a scendere verso la base dei pendii, specialmente durante le notti con cielo sereno e calma di vento), la degradazione delle molecole da parte della radiazione solare o il loro assorbimento sul terreno e sulle foglie. Una valutazione della concentrazione di feromone in aria può essere fatta utilizzando modelli matematici di dispersione.

Nell'ultima parte di questo lavoro di tesi gli output del modello di rilascio sono stati utilizzati come input di un modello matematico di dispersione sviluppato e validato per simulare la dispersione in atmosfera degli inquinanti. I valori di concentrazione di feromone in aria ottenuti con le simulazioni effettuate sono paragonabili a quelli misurabili in campo e pubblicati in letteratura. Si può pertanto ritenere che il modello sia in grado di simulare con un alto livello di dettaglio la dispersione dei feromoni all'interno dell'area di interesse, fornendo valori di concentrazione paragonabili a quelli misurabili in campo e pubblicati in letteratura. E' quindi possibile utilizzare tale modello, inizialmente sviluppato ed utilizzato per simulare la dispersione degli inquinanti atmosferici, anche per la dispersione in campo delle molecole di feromone. Affiancando i modelli di rilascio e dispersione di feromoni, sviluppati e descritti in questo lavoro di tesi, ai diversi modelli di sviluppo fenologico già messi a punto per la maggior parte degli insetti bersaglio, sarà possibile fornire ai produttori e ai tecnici agricoli uno strumento di supporto decisionale molto utile per un monitoraggio integrato delle loro colture.

# ***Bibliografia***

**Ajassa R., Franceschetti B. (1994)** - *Osservazioni climatiche nelle Langhe e nel Monferrato meridionale*. Loffredo Editore, Napoli.

**Angeli G., Anfora G., Baldessari M., Germinara G. S., Rama F., De Cristofaro A., Ioratti C. (2007)** - *Mating disruption of codling moth *Cydia pomonella* with high densities of Ecodian sex pheromone dispensers*. *Journal of Applied Entomology*, 131(5): 311-318.

**Anfora G., Angeli G., Baldessari M., Ioratti C., Marchesini E., Mattedi L., Menke F., Mescalchin E., Schmidt S., Tasin M., Varner M. (2007)** - *Le tignole della vite*. In “Agricoltura integrata”, Istituto Agrario di San Michele all’Adige.

**Aylor D. E. (1976)** - *Estimating peak concentrations of pheromones in the forest*. In Anderson J. F., Kaya H. K. (Eds.), “Perspectives in Forest Entomology”, Academic Press, New York, NY, USA, pp. 177-188.

**Bagnoli B., Lucchi A., Giotti D. (2006)** - *Mating disruption for vine moths control in Tuscany: results of 2003 and 2004*. *OILB/SROP Bulletin*, 29: 143-148.

**Bagnoli B., Lucchi A., Pollini A. (2009)** - *Contro le tignole della vite si interviene sulla 2<sup>a</sup> generazione*. *Supplemento a L’Informatore Agrario*, 22: 9-12.

**Biancotti A., Fratianni S. (2003)** - *Local climatic variations in La Morra vineyards (Langhe Hills, Piedmont - Italy)*. In “Spaces, environments and landscapes of terroirs”, BEM editore, pp. 103-108.

**Bierl-Leonhardt B. A. (1982)** - *Release rate from formulations and quality control methods*. In Kyodenieus A. F., Beroza M., “Insect suppression with controlled release pheromone systems”, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1: 245-258.

**Bigot G., Ostan M., Sandra M., Pavan F., Zandigiaco P. (2008)** - *Lotta contro la tignoletta della vite con il metodo della confusione sessuale in Friuli Venezia Giulia*. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1: 203-210.

**Boselli M. (2007)** - *Tignoletta*. In *Difesa del vigneto*, *Divulgatore*, n. 3-4/2007.

**Bradley S. J., Suckling D. M., McNaughton K. G., Wearing C. H., Karg G. (1995)** - *A temperature-dependent model for predicting release rates of pheromone from a polyethylene tubing dispenser*. *Journal of Chemical Ecology*, 21: 745-760.

**Brown D. F., Knight A. L., Howell J. F., Sell C. R., Krysan J. L., Weiss M. (1992)** - *Emission characteristics of a polyethylene pheromone dispenser for mating disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae)*. Journal of Economic Entomology, 85: 910-917.

**Butler L. I., McDonough L. M. (1981)** - *Insect sex pheromones: evaporation rates of alcohols and acetates from natural rubber septa*. Journal of Chemical Ecology 7: 627-633.

**Cardé R. T., Minsk A. K. (1995)** - *Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints*. Annual Review of Entomology, 40: 559-585.

**Cavagnero M., Pavarino A. (2012)** - *Cosa influenza il rilascio di feromoni contro le tignole della vite*. L'Informatore Agrario, 28: 67-70.

**Cork A. (2004)** - *Pheromone manual*. Natural Resources Institute, Chatham Maritime, UK, Chapter 5, Controlled Release, pp. 190-194.

**Elkinton J. S., Cardé R. T., Mason C. J. (1984)** - *Evaluation of time-average dispersion models for estimating pheromone concentration in a deciduous forest*. Journal of Chemical Ecology 10: 1081-1108.

**Fares Y., Sharpe P. J. H., Magnuson C. E. (1980)** - *Pheromone dispersion in forests*. Journal of Theoretical Biology 84: 335-359.

**Farrell J. A., Murlis J., Long X., Li W., Cardé R. T. (2002)** - *Filament-based atmospheric dispersion model to achieve short time-scale structure of odor plumes*. Environmental Fluid Mechanics 2: 143-169.

**Gariazzo C., Pelliccioni A., Bogliolo M., Scalisi G. (2004)** - *Evaluation of a Lagrangian Particle Model (SPRAY) to assess environmental impact of an industrial facility in complex terrain*. Water, Air & Soil Pollution 155(1): 137-158.

**Gariazzo C., Papaleo V., Pelliccioni A., Calori G., Radice P., Tinarelli G. (2007)** - *Application of a Lagrangian particle model to assess the impact of harbour, industrial and urban activities on air quality in the Taranto area, Italy*. Atmospheric Environment, 41(30): 6432-6444.



**Ioriatti C., Arn H. (1992)** - *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated control*. Proceedings Working Group Meeting, San Michele all'Adige, 31 agosto - 3 settembre 1992.

**Ioratti C., Arn H. (1993)** - *Mating disruption in orchards and vineyards*. IOBC/wprs Bulletin, 15(5).

**Ioriatti C., Bagnoli B., Lucchi A., Veronelli V. (2005)** - *Vine moths control by mating disruption in Italy: results and future prospects*. Redia, 87: 117-128.

**Karg G., Sauer A. E. (1995)** - *Spatial distribution of pheromone in vineyards treated for mating disruption of the grape vine moth Lobesia botrana measured with electroantennograms*. Journal of Chemical Ecology, 21(9): 1299-1314.

**Karg G., Sauer A. E. (1997)** - *Seasonal variation of pheromone concentration in mating disruption trials against European grape vine moth Lobesia botrana (Lepidoptera: Tortricidae) measured by EAG*. Journal of Chemical Ecology, 23(2): 487-501.

**Karg G., Suckling D. M. (1997)** - *Polyethylene dispensers generate large-scale temporal fluctuations in pheromone concentration*. Environmental Entomology 26(4): 896-905.

**Koch U. T., Quasthoff M., Klemm M., Becker J. (2002)** - *Methods for reliable measurement of pheromone dispenser performance*. IOBC/wprs Bulletin, 25(9): 95-100.

**Lucchi A., Giotti D., Bagnoli B. (2007)** - *Efficacia della confusione sessuale contro la tignoletta*. L'Informatore Agrario, 17: 58-61.

**Maini S., Accinelli G. (2001)** - *Confusione - disorientamento e distrazione sessuale: confronti tra erogatori di feromoni di Cydia molesta (Busck)*. Informatore Fitopatologico, 10: 36-40.

**Marchesini E., Dalla Montà L. (2004)** - *Nel Veneto quattro generazioni di tignoletta della vite*. L'Informatore Agrario, 4: 75-78.

**Marchesini E., Reggiori F., Bassi G., Tosi E. (2006)** - *Strategie applicative col metodo del disorientamento nella difesa da tignoletta della vite (Lobesia botrana), in Veneto.* Atti Giornate Fitopatologiche 1: 147-152.

**Marchesini E., Maines R., Angeli G. (2007)** - *Controllare le tignole della vite con il disorientamento sessuale.* Speciale de L'Informatore Agrario, 17: 52-56.

**Mazzocchetti A., Angelucci S., Casolani A., di Lena B., di Paolo E., Odoardi M. (2004)** - *Applicazione del metodo della confusione sessuale nella difesa da Lobesia botrana (Denis & Schiffermuller) (Tortricidae) su vigneti allevati a tendone in Abruzzo.* Atti Giornate Fitopatologiche, 1: 77-82.

**McDonough L. M., Brown D. F., Aller W. C. (1989)** - *Insect sex pheromones: effect of temperature on evaporation rates of acetates from rubber septa.* Journal of Chemical Ecology, 15(3): 779-790.

**McDonough L. M., Aller W. C., Knight A. L. (1992)** - *Performance characteristics of a commercial controlled-release dispenser of sex pheromone for control of codling moth (Cydia pomonella) by mating disruption.* Journal of Chemical Ecology, 18(12): 2177-2189.

**McDonough L. M. (1997)** - *Release dynamics of pheromone from a pheromone dispenser.* Letters to the Editors. Journal of Chemical Ecology, 23(5): 1211-1216.

**Molinari F., Cravedi P., Rama F., Reggiori F., Dal Pane M., Galassi T. (2000)** - *L'uso dei feromoni secondo il metodo del “disorientamento” nella difesa del pesco da Cydia molesta e Anarsia lineatella.* Atti Giornate Fitopatologiche 81-84.

**Murlis J., Willis M. A., Cardé R. T. (2000)** - *Spatial and temporal structures of pheromone plumes in fields and forests.* Physiological Entomology 25: 211-222.

**Neumann U., Harries V., Vogt H., Schropp A., Englert W. D., Schruft G. (1986)** - *RAK I - Eupoecilia ambiguella pheromone: the first mating disruption product for commercial use in German vineyards.* British Crop Protection Conference - Pest and Disease, 371-375.

**Peterson H., Mazzolini D., O'Neill S., Lamb B. (1999)** - *Instantaneous spread of plumes in the surface layer.* Journal of Applied Meteorology 38: 343-352.

**Peterson H., Lamb B., Stock D. (1990)** - *Interpretation of measured tracer concentration fluctuations using a sinusoidal meandering plume model*. Journal of Applied Meteorology 29: 1284-1299.

**Roehrich R., Carles J. P. (1985)** - *Essai de confusion contre Lobesia botrana en 1983 CR de lutte intégrée en vignoble*, O.I.L.B. Srop, Bernkastel.

**Rovetto I., Tosi L., Schreiber G. (2003)** - *Controllo della carpocapsa del melo con la tecnica del disorientamento*. L'Informatore Agrario, 20: 57-60.

**Salom S. M., McLean J. A. (1991)** - *Flight behavior of scolytid beetle in response to semiochemicals at different wind speeds*. Journal of Chemical Ecology 17: 647-661.

**Sanders C. J. (1997)** - *Mechanism of mating disruption in moths*. In “Insect pheromone research: new directions”, Cardé R. T. and Minks A. K. (Eds.), Chapman & Hall, New York, pp. 333-346.

**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.

**Savino F. (2007)** - *L'utilizzo dei feromoni secondo Shin-Etsu*. 19° Forum di Medicina Vegetale, Locorotondo (BA), 13 dicembre 2007.

**Strand T., Lamb B., Thistle H., Allwine E., Peterson H. (2009)** - *A simple model for simulation of insect pheromone dispersion within forest canopies*. Ecological Modelling 220: 640-656.

**Suckling D. M., McNaughton K. G., Bradley S. J., Karg G., Wearing C. H., Bellas T. (1997)** - *Response by D. M. Suckling et al.* Letters to the Editors. Journal of Chemical Ecology, 23(5): 1216-1221.

**Suckling D. M., Green S. R., Gibb A. R., Karg G. (1999)** - *Predicting atmospheric concentration of pheromone in treated apple orchards*. Journal of Chemical Ecology, 25(1): 117-139.

**Thistle H. W., Shea P., Holsten E. H., Quilici D. (1998)** - *Pheromone dispersion in the canopy trunk space*. Brighton Conference - Pests and Diseases.

**Thistle H. W., Peterson H., Allwine G., Lamb B., Strand T., Holsten E. H., Shea P. J. (2004)** - *Surrogate pheromone plumes in three forest trunk spaces: composite statistics and case studies*. *Forest Science*, 50: 610-625.

**Tinarelli G., Anfossi D., Bider M., Ferrero E., Trini Castelli S. (2000)** - *A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies*. In Gryning S. E. & Batchvarova E. (Eds.), “Air pollution modelling and its applications XIII”, New York: Plenum Press, pp. 499-507.

**Tomaszewska E., Hebert V. R., Brunner J. F., Jones V. P., Doerr M., Hilton R. (2005)** - *Evaluation of pheromone release from commercial mating disruption dispensers*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 2399-2405.

**Trivero P., Biamino W., Borasi M., Cavagnero M., Musa M., Rinaudo C., Sesia V. (2011)** - *An Air Quality Balance Index estimating whole amount of air pollutants at ground level*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(7): 4461-4472.

**Van der Kraan C., Ebbers A. (1990)** - *Release rates of tetradecen-1-ol acetates from polymeric formulations in relation to temperature and velocity*. *Journal of Chemical Ecology*, 16: 1041-1058.

**Varner M., Mattedi L., Rizzi, C., Mescalchin E. (2001)** - *I feromoni nella difesa della vite. Esperienze in provincia di Trento*. *Informatore fitopatologico*, 51: 23-29.

**Viggiani G. (1977)** - *Lotta biologica ed integrata*, Liguori editore.

**Wall C., Sturgeon D. M., Greenway A. R., Perry J. N. (1981)** - *Contamination of vegetation with synthetic sex attractant released from traps for the pea moths, *Cydia nigricana**. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 30: 111-115.

**Warthen J. D., Mitchell E. R., Harte E. M. (1998)** - *Laboratory release rate studies of *Shin-Etsu*, freshly manufactured versus cold-stored, fresh pheromone ropes*. *Journal of Environmental Science and Health*, A33(5): 701-714.

**Weatherston L., Miller D., Lavoie-Dornik. J. (1985)** - *Commercial hollow-fiber pheromone formulations: the degrading effect of sunlight on celcon fibers causing increased release rates of the active ingredient*. *Journal of Chemical Ecology* 11: 1631-1644.

# ***Ringraziamenti***

Desidero ringraziare tutti coloro che, in misura più o meno grande, hanno contribuito a questo lavoro di tesi fornendomi dati, consigli utili o anche un semplice aiuto.

In particolare ringrazio:

- *il dott. Vittorio Veronelli, Amministratore Delegato della ditta CBC (Europe) Srl di Nova Milanese (MI), per i diffusori di feromone utilizzati nello studio e i dati storici di rilascio, nonché per aver creduto fin dall’inizio nel mio lavoro, e tutti i tecnici per il loro aiuto e la loro disponibilità durante la sperimentazione;*
- *l’ing. Luca Menegazzo, Amministratore Delegato della ditta Airone Srl di Torino, per lo sviluppo del datalogger da campo e per il supporto tecnico durante la sperimentazione in campo del datalogger;*
- *l’ing. Giovanni Rosso, proprietario e titolare della Tenuta “Cascina Faletta” di Casale Monferrato (AL), per aver messo a disposizione i terreni della tenuta e i locali della cascina per ospitare le sperimentazioni di campo, e tutti i tecnici per la disponibilità dimostrata durante la sperimentazione;*
- *il dott. Michele Manzini, tecnico di laboratorio presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell’Università del Piemonte Orientale di Alessandria, per l’aiuto e la disponibilità nella realizzazione degli apparati sperimentali utilizzati durante le varie fasi della sperimentazione;*
- *la dott.ssa Elena Borgo, ricercatrice presso il Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell’Università del Piemonte Orientale di Alessandria, per il contributo dato alle attività sperimentali di campo presso la Cascina Faletta;*
- *la dott.ssa Maya Musa, il dott. Alessandro Croce, il dott. Simone Cantamessa e la prof.ssa Graziella Berta del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell’Università del Piemonte Orientale di Alessandria, per le immagini in microscopia ottica e a scansione;*
- *il dott. Spanna e la dott.ssa Cressano del Settore Fitosanitario della Regione Piemonte - Sezione Agrometeorologia, per i dati meteorologici della Rete Agrometeorologica del Piemonte, e la prof.ssa Simona Fratianni del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università degli Studi di Torino per i dati orari delle centraline meteorologiche dell’ARPA Piemonte;*

- il *prof. Enrico Ferrero del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica dell'Università del Piemonte Orientale di Alessandria*, per i dati meteorologici rilevati dalla centralina meteo del Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica di Alessandria.

Un particolare ringraziamento va ovviamente al mio relatore, *prof. Paolo Trivero*, per i consigli, la disponibilità e l'aiuto fornitomi durante questo lavoro di tesi e non solo.

Desidero infine ringraziare il *dott. Alessio Pavarino*, compagno nel percorso di studio universitario e nella fase iniziale della sperimentazione, senza il quale lo studio oggetto di questo lavoro di tesi non avrebbe avuto inizio.

# ***Appendice***



# L'INFORMATORE AGRARIO

[www.informatoreagrario.it](http://www.informatoreagrario.it)



Edizioni L'Informatore Agrario

Tutti i diritti riservati, a norma della Legge sul Diritto d'Autore e le sue successive modificazioni. Ogni utilizzo di quest'opera per usi diversi da quello personale e privato è tassativamente vietato. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l. non potrà comunque essere ritenuta responsabile per eventuali malfunzionamenti e/o danni di qualsiasi natura connessi all'uso dell'opera.

● I RISULTATI DI UNA PROVA CONDOTTA IN PIEMONTE NEL 2011

# Cosa influenza il rilascio di feromoni contro le tignole della vite

di **Marco Cavagnero, Alessio Pavarino**

La confusione sessuale è un metodo di lotta a carattere preventivo. Attraverso l'immissione nell'ambiente con appositi diffusori dell'analogo di sintesi del feromone sessuale prodotto dalle femmine della specie bersaglio, mira a creare una concentrazione di feromone in aria in grado di mascherare la scia feromonale emessa dalle femmine per attrarre i maschi prima dell'accoppiamento. Viene così inibita la capacità dei maschi di rintracciare le femmine, con conseguente riduzione del numero degli accoppiamenti e della popolazione dell'insetto bersaglio (Cardé e Minsk, 1995; Sanders, 1997).

I diffusori impiegati per la confusione sessuale quindi sfruttano principi di natura chimico-fisica e grande importanza risiede pertanto nella loro tecnologia costruttiva (Cork, 2004).

In viticoltura la confusione sessuale è applicata con successo nella lotta a due fitofagi della vite, la tignoletta *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.; Lepidoptera, Tor-

tricidae) (foto 1) e la tignola *Eupoecilia ambiguella* (Hb.; Lepidoptera, Tortricidae) (foto 2) (Ioriatti *et al.*, 2005; Lucchi *et al.*, 2007). L'efficacia della confusione sessuale nella lotta alle tignole della vite è stata ampiamente dimostrata in diversi comprensori vitivinicoli (Varner *et al.*, 2001; Mazzocchetti *et al.*, 2004; Bagnoli *et al.*, 2006; Marchesini *et al.*, 2006; Bigot *et al.*, 2008). Nel 2010 in Italia erano circa 14.300 gli ettari di vigneto interessa-

ti dalla confusione sessuale, concentrati principalmente in Trentino-Alto Adige. In Piemonte l'impiego della confusione sessuale nella difesa della vite è iniziato nel 2010, anno in cui si contava una superficie di circa 160 ettari, cresciuta nel corso del 2011 a circa 400 ettari.

principalmente in Trentino-Alto Adige. In Piemonte l'impiego della confusione sessuale nella difesa della vite è iniziato nel 2010, anno in cui si contava una superficie di circa 160 ettari, cresciuta nel corso del 2011 a circa 400 ettari.

## Come il clima influenza il rilascio di feromone

Conoscere i fattori ambientali che influenzano il rilascio è utile non solo per una corretta disposizione dei diffusori all'interno dell'area da proteggere, ma anche per valutare in un qualunque momento della stagione l'entità del rilascio. A partire dagli anni 80 sono stati condotti diversi studi per determinare il rilascio di feromone di differenti tipologie di diffusori, valutandone il rilascio tramite pesate gravimetriche o analisi in gascromatografia (Warthen *et al.*, 1998; Tomaszewska *et al.*, 2005) o valutando l'efficacia di diversi schemi di applicazione nel contenimento delle popolazioni dell'insetto bersaglio (Karg e Sauer, 1995; Karg e Sauer, 1997; Karg e Suckling, 1997; Sauer e Karg, 1998).

In questo lavoro vengono presentati i risultati di uno studio condotto in Piemonte nell'anno 2011 con l'obiettivo di individuare i fattori meteorologici che influenzano il rilascio di feromone utilizzando diffusori Shin-Etsu Isonet L plus (foto 3) impiegati nella lotta alle tignole della vite *L. botrana* ed *E. ambiguella* (per l'impostazione della prova vedi riquadro a pag. 69).

## I risultati della sperimentazione

**Rilascio al sole e all'ombra.** Nel grafico 1 sono rappresentate le curve di rilascio e di scarico dei diffusori in condizioni di radiazione solare diretta e di ombra. Non vi sono differenze statisticamente significative fra le curve di rilascio delle due tesi (T-test,  $p < 0,05$ ). Il dato anomalo di rilascio dell'ultima settimana di maggio è dovuto alla rimozione, a opera delle



Foto 1 Adulto di *Lobesia botrana*

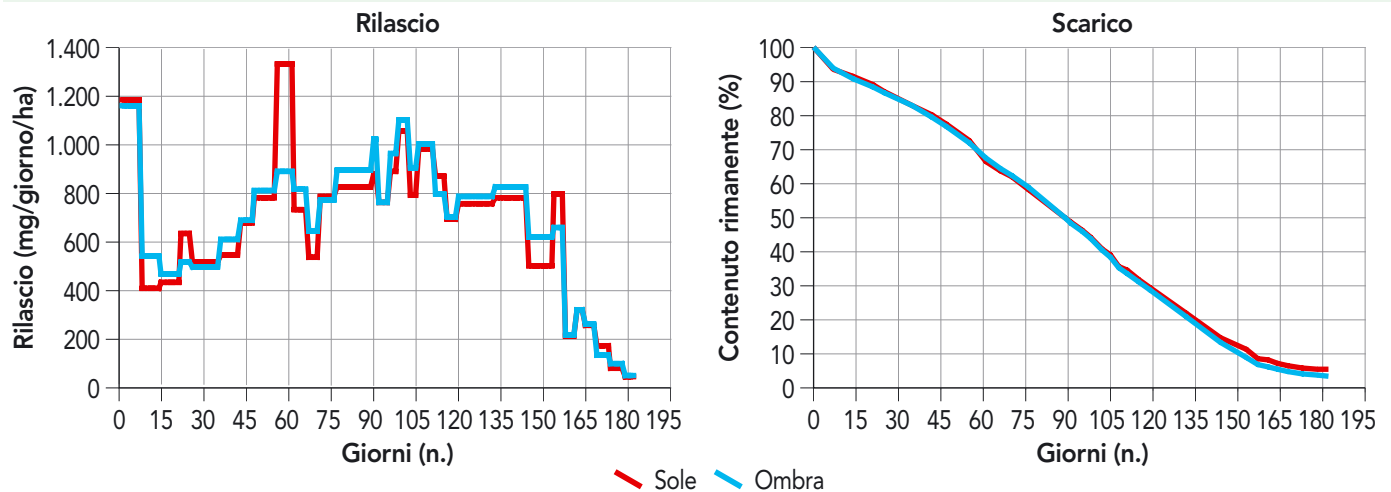


Foto 2 Adulto di *Eupoecilia ambiguella*



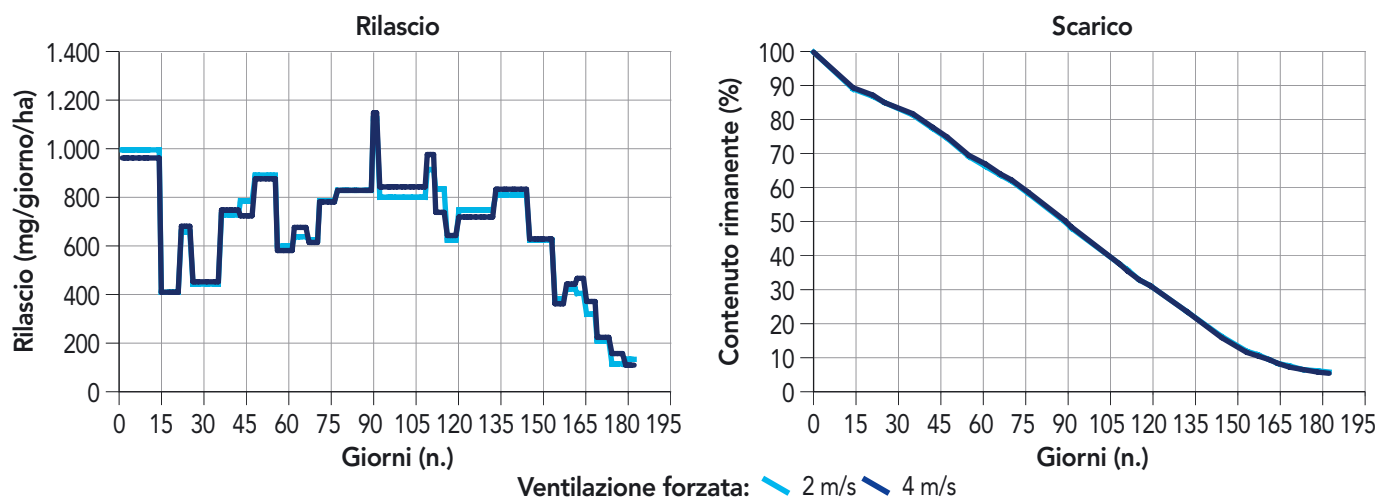
Foto 3 Diffusore Shin-Etsu Isonet L Plus utilizzato nelle prove

**GRAFICO 1 - Curve di rilascio e di scarico dei diffusori esposti alla radiazione solare diretta e all'ombra**



Il rilascio è espresso in milligrammi di feromone rilasciato al giorno per ettaro di vigneto, alla dose di 500 diffusori per ettaro. Lo scarico è espresso come percentuale di contenuto rimanente calcolato rispetto alla quantità totale della miscela di feromone e coadiuvanti presente nei diffusori.

**GRAFICO 2 - Curve di rilascio e di scarico dei diffusori utilizzati nelle prove in condizioni di ventilazione forzata**



Il rilascio è espresso in milligrammi di feromone rilasciato al giorno per ettaro di vigneto, alla dose di 500 diffusori per ettaro. Lo scarico è espresso come percentuale di contenuto rimanente calcolato rispetto alla quantità totale della miscela di feromone e coadiuvanti presente nei diffusori.

precipitazioni, dei pappi trasportatori del polline dei pioppi attaccati ai diffusori nei giorni precedenti la pesata.

**Prove in tunnel del vento.** Il grafico 2 mostra le curve di rilascio e di scarico dei diffusori utilizzati nelle prove in condizioni di ventilazione forzata. Non vi sono differenze statisticamente significative tra le curve di rilascio delle due tesi (T-test,  $p < 0,05$ ).

### I fattori che influenzano il rilascio

Sono state valutate le correlazioni tra il rilascio di feromone dei diffusori al sole e all'ombra e i valori assunti dalle variabili meteorologiche monitorate. Per intensità del vento, intensità della radiazione so-

lare, umidità relativa dell'aria, pressione atmosferica e precipitazioni non è stata riscontrata alcuna correlazione con il rilascio ( $R^2 < 0,1$  per tutti i parametri nelle ipotesi di correlazione lineare ed esponenziale). L'unico parametro che presenta un alto grado di correlazione con il rilascio è la temperatura dell'aria.

**Temperatura.** Il grafico 3 mostra il confronto tra l'andamento della temperatura dell'aria e quello del rilascio medio dei diffusori carichi in condizioni di radiazione solare diretta e ombra (media delle due curve di rilascio del grafico 1). Si osserva un andamento molto simile per gran parte del periodo di applicazione. Si ritiene che la temperatura eserciti un doppio effetto sul rilascio:

- sulle dimensioni dei pori attraverso la

dilatazione termica della plastica con cui sono realizzati i diffusori;

- sull'aumento dell'energia cinetica delle molecole di feromone, le quali sono in grado di uscire dai pori e di staccarsi dalla parete del diffusore con maggiore rapidità.

Ci si aspetterebbe quindi un rilascio maggiore da parte dei diffusori esposti ai raggi solari rispetto a quelli in ombra, mentre non vi sono differenze statisticamente significative fra le due curve di rilascio (T-test,  $p < 0,05$ ). Questo può essere dovuto alla presenza della copertura in plastica che protegge i diffusori dalla radiazione solare, che mantiene la temperatura dei diffusori all'ombra inferiore rispetto a quella dei diffusori esposti ai raggi solari durante il giorno, mentre du-

rante le ore notturne, in particolare dopo il tramonto, si potrebbe creare intorno ai diffusori con copertura un microambiente con temperatura leggermente superiore a quella dell'aria circostante che determina un rilascio maggiore rispetto ai diffusori senza copertura. **La copertura in plastica agisce quindi rendendo più omogenea l'erogazione durante la giornata, riducendola di giorno e incrementandola di notte, periodo della giornata in cui gli insetti compiono gli accoppiamenti.**

**Vento.** Le prove in condizioni di ventilazione forzata hanno dimostrato come il vento non influenzi il rilascio dei diffusori Shin-Etsu Isonet L Plus. Si ritiene che il fattore che limita il rilascio sia la permeazione delle molecole di feromone attraverso la parete dei diffusori. Il tempo di permeazione attraverso i pori, maggiore del tempo di evaporazione dalla parete, impedisce la formazione di uno strato saturo di molecole sulla parete esterna dei diffusori. Il vento avrebbe un effetto sul rilascio se la concentrazione di feromone sulla superficie esterna del diffusore fosse prossima alla saturazione. In questo caso la rimozione da parte del vento di una parte delle molecole favorirebbe la permeazione di altre, incrementando di conseguenza il rilascio (McDonough, 1997). La influenza del vento sul rilascio è stata dimostrata da altri autori alle velocità di 0,8 e 1,8 m/s utilizzando un modello di diffusori Shin-Etsu con medesima tecnologia costruttiva (Bradley *et al.*, 1995; Suckling *et al.*, 1997).

**Radiazione solare.** La radiazione solare, in particolare quella ultravioletta, potrebbe favorire la degradazione fotochimica sia delle molecole di feromone contenute nel diffusore sia del capillare in polietilene, con possibile incremento del rilascio. La mancanza di differenze statisticamente significative nel rilascio dei diffusori al sole e in ombra sia nei periodi con cielo nuvoloso sia in quelli soleggiati fa ritenere che **non vi sia una significativa attività di degradazione delle molecole di feromone da parte dei raggi solari.** Le osservazioni in microscopia ottica della parete esterna dei diffusori, condotte prima e dopo il periodo di applicazione, non hanno evidenziato differenze nella morfologia e nelle dimensioni medie dei pori.

### Modalità e tempi del rilascio

Per descrivere le modalità con cui si svolge il rilascio durante una stagione di lotta il periodo di applicazione è stato

diviso in quattro fasi (grafico 3). Nel descrivere il rilascio non si fa riferimento solamente ai giorni trascorsi dal momento dell'applicazione dei diffusori ma anche alla quantità di miscela di feromone e coadiuvanti ancora presente nei diffusori. Riferendosi al contenuto rimanente piuttosto che al tempo trascorso dall'applicazione i risultati di questo studio possono essere estesi ad aree con differenti caratteristiche climatiche, nonché ad anni caratterizzati da andamenti di temperatura anche molto differenti.

**1<sup>a</sup> fase.** È quella immediatamente successiva all'applicazione. È caratterizzata da un rilascio molto elevato, senza una diretta correlazione con la temperatura dell'aria. L'elevato rilascio è dovuto al fatto che i diffusori appena estratti dalla confezione hanno la parete esterna completamente imbevuta di feromone. Il rilascio misurato è in gran parte dovuto

all'evaporazione di queste molecole, e solo in questa fase il vento potrebbe avere un effetto sul rilascio. La durata di questa fase è di circa una settimana.

**2<sup>a</sup> fase.** Assieme alla 3<sup>a</sup> fase è quella di maggiore importanza per il successo del metodo di lotta, in quanto è in questa fase che si verificano i primi due voli di *L. botrana*. L'insetto svolge di norma tre generazioni all'anno, anche se è stato osservato come in condizioni climatiche favorevoli possa compiere un quarto volo (Marchesini e Dalla Montà, 2004). Il primo volo si verifica in aprile-maggio, il secondo tra l'ultima decade di giugno e la prima di luglio e il terzo in agosto-settembre. Spesso è la seconda generazione a risultare la più dannosa. È infatti questa la generazione che viene considerata la generazione bersaglio, sulla quale concentrare gli sforzi nel contenimento della popolazione (Bagnoli *et al.*, 2009). In

## Impostazione della prova

La sperimentazione è stata condotta in Piemonte nella provincia di Alessandria nel periodo aprile-settembre 2011. Sono stati utilizzati diffusori Isonet L Plus prodotti dall'azienda giapponese Shin-Etsu. Si tratta di erogatori costituiti da un capillare in polietilene contenente al suo interno le molecole di feromone sintetiche, saldato al margine con un filo in alluminio che conferisce rigidità ai diffusori. L'erogazione dei feromoni avviene attraverso i pori presenti nella parete del capillare, aventi diametro medio dell'ordine di qualche  $\mu\text{m}$  (foto A).

Ogni diffusore ha una lunghezza di 200 mm. Il capillare è caratterizzato da un diametro esterno di 2,3 mm e uno interno di 1,5 mm, con una parete di 0,4 mm di spessore. Il peso di ciascun diffusore è di poco inferiore a 1,2 g, dei quali circa 180 mg sono rappresentati dalla sostanza attiva, di cui 165 mg di feromone sessuale di *Lobesia botrana* [(E,Z)-7,9-dodecadienil acetato] e 15 mg di feromone sessuale di *Eupoecilia ambiguella* (Z)-9-dodecenil acetato]. Questa formulazione è stata creata da Shin-Etsu per proteggere le aree viticole minacciate prevalentemente da *L. botrana*, ma interessate anche da una certa presenza di *E. ambiguella*. Aggiunte alle molecole di feromone vi sono molecole con funzione antiossidante e conservante.



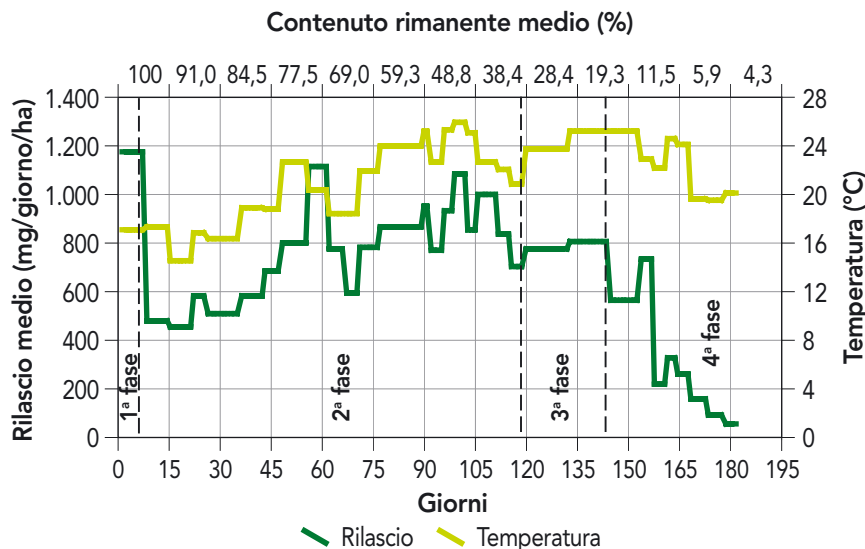
Foto A Dettaglio dei pori della parete del capillare da cui avviene l'erogazione di feromoni

Sono stati utilizzati quattro set di diffusori carichi, due per le misure al sole e all'ombra e due per le prove in tunnel del vento, e un set di diffusori privi di feromone all'interno definiti diffusori di controllo.

Tutti i diffusori sono stati applicati il 1° aprile, dopo essere stati pesati. Durante il periodo della sperimentazione sono state effettuate pesate gravimetriche dei diffusori con cadenza il più possibile regolare, generalmente settimanale, e nello stesso momento della giornata. Per ognuno dei cinque set il rilascio dei singoli diffusori è stato mediato e il rilascio medio è stato espresso in mg di feromone erogato al giorno per ettaro di vigneto, alla dose di 500 diffusori per ettaro. ●



**GRAFICO 3 - Temperatura dell'aria e rilascio dei diffusori in condizioni di radiazione solare diretta e all'ombra**



Il rilascio è rappresentato in funzione sia dei giorni trascorsi dall'applicazione dei diffusori sia in funzione del contenuto rimanente medio percentuale.

questa fase esiste una diretta proporzionalità tra il rilascio di feromone e la temperatura dell'aria, come mostra il grafico 4. La retta che rappresenta la linea di tendenza che meglio interpola i dati sperimentali è caratterizzata da un  $R^2$  pari a 0,83. Questa fase termina quando il contenuto del diffusore è circa il 30% di quello iniziale, indicativamente intorno alla metà di agosto.

**3ª fase.** Il rilascio è ancora influenzato dalla temperatura dell'aria, anche se non esiste più la diretta proporzionalità della 2ª fase. Questa fase termina quando il contenuto del diffusore è circa il 15% di quello iniziale, indicativamente nella prima metà di settembre.

**4ª fase.** Il rilascio non è più legato alla temperatura. La quantità di feromone presente nei diffusori è molto bassa e il rilascio subisce una netta riduzione, poiché il diffusore è quasi scarico.

## L'importanza della temperatura dell'aria

I risultati hanno permesso di individuare nella temperatura dell'aria il fattore meteorologico che influenza il rilascio di feromone dei diffusori Shin-Etsu Isonet L Plus. Le misure in condizioni di ventilazione forzata hanno dimostrato che il vento non agisce sul rila-

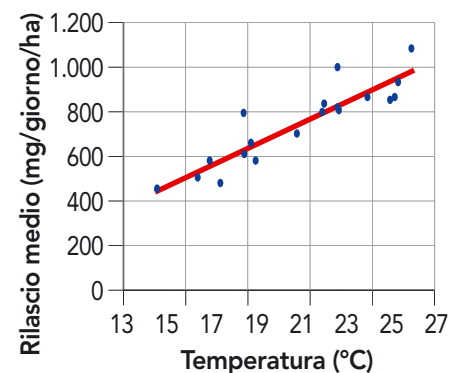
scio. Si ritiene inoltre che non vi sia una significativa attività di fotodegradazione delle molecole di feromone contenute nel diffusore e del capillare in polietilene da parte della radiazione solare.

Per pianificare il posizionamento dei diffusori in vigna e valutare il rilascio medio dei diffusori è quindi importante considerare le temperature medie dell'aria, prestando particolare attenzione alle differenze di temperatura fra le zone vallive, caratterizzate da inversioni termiche notturne anche nel periodo estivo, e i pendii collinari, caratterizzati da temperature medie superiori (Biancotti e Fratianni, 2003). La concentrazione di feromone in aria non dipende solo dal rilascio dei diffusori, che rappresenta l'input di

feromone, ma da diversi altri fattori che influenzano la permanenza del feromone all'interno dell'area da proteggere, primo fra tutti il vento, ma anche l'orografia (le molecole di feromone sono più pesanti dell'aria e tendono a scendere verso la base dei pendii, specialmente durante le notti con cielo sereno e calma di vento), la degradazione delle molecole da parte della radiazione UV o il loro adsorbimento sul terreno e sulle foglie. Una valutazione della concentrazione di feromone in aria può essere fatta con l'ausilio di modelli matematici di dispersione, attività che rappresenta la naturale continuazione di questo lavoro.

► **Occorre prestare attenzione alle differenze termiche tra zone vallive e collinari**

**GRAFICO 4 - Correlazione fra temperatura dell'aria e rilascio dei diffusori durante la 2ª fase**



La retta rappresenta la linea di tendenza che meglio interpola i dati sperimentali ( $R^2 = 0,83$ ). Il dato anomalo del rilascio dell'ultima settimana di maggio non è stato considerato.

**Marco Cavagnero**

Dipartimento di scienze e innovazione tecnologica (Disit) Università del Piemonte Orientale

**Alessio Pavarino**

Laureato in analisi e gestione dell'ambiente Università degli studi di Torino

Si ringraziano:

per i diffusori il tecnico vitivinicolo D. Franco; per i dettagli tecnici sui diffusori C. Bassanetti (Cbc Europe); per l'aiuto nella realizzazione del tunnel del vento M. Manzini (Disit, Alessandria); per le immagini in microscopia ottica A. Croce (Disit, Alessandria); per i dati meteo E. Ferrero (Disit, Alessandria); M. Solari per la tesi «Analisi e confronto dei dati meteorologici misurati dalla centralina della Facoltà di Scienze M.F.N.».

Le analisi statistiche sono state eseguite utilizzando il tool di analisi statistica di Microsoft Office Excel 2003 applicando il T-test eteroschedastico (T-test per due campioni assumendo varianza diversa) per  $p < 0,05$ .

Per commenti all'articolo, chiarimenti o suggerimenti scrivi a: [redazione@informatoreagrario.it](mailto:redazione@informatoreagrario.it)

Per consultare gli approfondimenti e/o la bibliografia: [www.informatoreagrario.it/rdLia/12ia28\\_6464\\_web](http://www.informatoreagrario.it/rdLia/12ia28_6464_web)

# Cosa influenza il rilascio di feromoni contro le tignole della vite

## BIBLIOGRAFIA

- Bagnoli B., Lucchi A., Giotti D. (2006) - *Mating disruption for vine moths control in Tuscany: results of 2003 and 2004*. Oilb/Srop Bulletin, 29: 143-148.
- Bagnoli B., Lucchi A., Pollini A. (2009) - *Contro le tignole della vite si interviene sulla 2a generazione*. L'Informatore Agrario, 22 suppl.: 9-12.
- Biancotti A., Fratianni S. (2003) - *Local climatic variations in La Morra vineyards (Langhe Hills, Piedmont - Italy)*. In: «Spaces, environments and landscapes of terroirs», Bem editore: 103-108.
- Bigot G., Ostan M., Sandra M., Pavan F., Zandigiaco P. (2008) - *Lotta contro la tignoletta della vite con il metodo della confusione sessuale in Friuli Venezia Giulia*. Atti Giornate fitopatologiche, 1: 203-210.
- Bradley S.J., Suckling D.M., McNaughton K.G., Wearing C.H., Karg G. (1995) - *A temperature-dependent model for predicting release rates of pheromone from a polyethylene tubing dispenser*. Journal of Chemical Ecology, 21: 745-760.
- Cardé R.T., Minsk A.K. (1995) - *Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints*. Annual Review of Entomology, 40: 559-585.
- Cork A. (2004) - *Pheromone manual*. Chapter 5 (Controlled release), Natural Resources Institute, Chatham Maritime (UK), 190-194.
- Ioriatti C., Bagnoli B., Lucchi A., Veronelli V. (2005) - *Vine moths control by mating disruption in Italy: results and future prospects*. Redia, 87: 117-128.
- Karg G., Sauer A.E. (1995) - *Spatial distribution of pheromone in vineyards treated for mating disruption of the grape vine moth Lobesia botrana measured with electroantennograms*. Journal of Chemical Ecology, 9: 1299-1314.
- Karg G., Sauer A.E. (1997) - *Seasonal variation of pheromone concentration in mating disruption trials against European grape vine moth Lobesia botrana (Lepidoptera: Tortricidae) measured by EAG*. Journal of Chemical Ecology, 2: 487-501.
- Karg G., Suckling D.M. (1997) - *Polyethylene dispensers generate large-scale temporal fluctuations in pheromone concentration*. Environmental Entomology, 4: 896-905.
- Koch U.T., Quasthoff M., Klemm M., Becker J. (2002) - *Methods for reliable measurement of pheromone dispenser performance*. Iobc/Wprs Bulletin, 9: 95-100.
- Lucchi A., Giotti D., Bagnoli B. (2007) - *Efficacia della confusione sessuale contro la tignoletta*. L'Informatore Agrario, 17: 58-61.
- Marchesini E., Dalla Montà L. (2004) - *Nel Veneto quattro generazioni di tignoletta della vite*. L'Informatore Agrario, 4: 75-78.
- Marchesini E., Reggiori F., Bassi G., Tosi E. (2006) - *Strategie applicative col metodo del disorientamento nella difesa da tignoletta della vite (Lobesia botrana) in Veneto*. Atti Giornate fitopatologiche, 1: 147-152.
- Mazzocchetti A., Angelucci S., Casolani A., di Lena B., di Paolo E., Odoardi M. (2004) - *Applicazione del metodo della confusione sessuale nella difesa da Lobesia botrana (Denis & Schiffermuller) (Tortricidae) su vigneti allevati a tendone in Abruzzo*. Atti Giornate fitopatologiche, 1: 77-82.
- McDonough L.M. (1997) - *Release dynamics of pheromone from a pheromone dispenser*. Letters to the eds, Journal of Chemical Ecology, 5: 1211-1216.
- Sanders C.J. (1997) - *Mechanism of mating disruption in moths*. In: Cardé R.T. and Minks A.K. eds, *Insect pheromone research: new directions*, Chapman & Hall, New York: 333-346.
- 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, 2: 289-302.
- Suckling D.M., McNaughton K.G., Bradley S.J., Karg G., Wearing C.H., Bellas T. (1997) - *Response by D. M. Suckling et al.* Letters to the eds, Journal of Chemical Ecology, 23: (5): 1216-1221.
- Tomaszewska E., Hebert V.R., Brunner J.F., Jones V.P., Doerr M., Hilton R. (2005) - *Evaluation of pheromone release from commercial mating disruption dispensers*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 2399-2405.
- Varner M., Mattedi L., Rizzi, C., Mescalchin E. (2001) - *I feromoni nella difesa della vite. Esperienze in provincia di Trento*. Informatore fitopatologico, 51: 23-29.
- Warthen J.D., Mitchell E.R., Harte E.M. (1998) - *Laboratory release rate studies of Shin-Etsu, freshly manufactured versus cold-stored, fresh pheromone ropes*. Journal of Environmental Science and Health, 5: 701-714.

## RIASSUNTO

La confusione sessuale è un metodo di lotta a carattere preventivo che, attraverso l'immissione nell'ambiente, attraverso appositi diffusori, dell'analogo di sintesi del feromone sessuale prodotto dalle femmine di una specie, mira a impedire ai maschi della stessa specie di rintracciare il partner e portare a termine l'accoppiamento. Questo metodo di lotta è impiegato nella difesa della vite da due insetti, la tignoletta *Lobesia botrana* (Lepidoptera, Tortricidae) e la tignola *Eupoecilia ambiguella* (Lepidoptera, Tortricidae). La confusione sessuale interessa aree sempre più estese e sta sostituendo anno dopo anno le tradizionali tecniche chimiche, garantendo un elevato livello di protezione alle colture.

Conoscere i fattori ambientali che influenzano il rilascio è utile non solo per una corretta disposizione dei diffusori all'interno dell'area da proteggere, ma anche per poter valutare, in un qualunque momento della stagione, l'entità del rilascio.

In questo lavoro vengono presentati i risultati di uno studio condotto in Piemonte nell'anno 2011 con l'obiettivo di individuare i fattori meteorologici che influenzano il rilascio delle molecole di feromone utilizzando diffusori Shin-Etsu Isonet L plus impiegati nella lotta alle tignole della vite *L. botrana* ed *E. ambiguella*. Sono inoltre descritti tempi e modalità con cui si verifica il rilascio durante una stagione di lotta.

I risultati hanno permesso di individuare nella temperatura dell'aria il fattore meteorologico che influenza il rilascio di feromone dei diffusori Shin-Etsu Isonet L plus. Le misure condotte in condizioni di ventilazione forzata hanno dimostrato come il vento non sia in grado di influenzare il rilascio. Si ritiene inoltre che non vi sia una significativa attività di fotodegradazione delle molecole di feromone contenute nel diffusore e del capillare del diffusore stesso da parte della radiazione solare.

## PAROLE CHIAVE

*Lobesia botrana*, *Eupoecilia ambiguella*, vite, confusione sessuale, diffusori, feromone, rilascio, meteorologia.

## SUMMARY

Since several years the method of mating disruption is used as a reliable tool for preservation of orchards and vineyards from bad insects and it is now replacing traditional chemical-based control methods. The method consists in the release into the environment, through special dispensers, of the synthetic sex pheromone produced by the females of a species. This generates a high concentration of pheromone in the air that masks female pheromone plumes, preventing males to track females and bring out the coupling. As a result, a reduction in the number of couplings and then in the size of the population occurs. In viticulture, the method of mating disruption is used in the biological control of two parasitoids, the grapevine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera, Tortricidae) and the grape berry moth *Eupoecilia ambiguella* (Lepidoptera, Tortricidae).

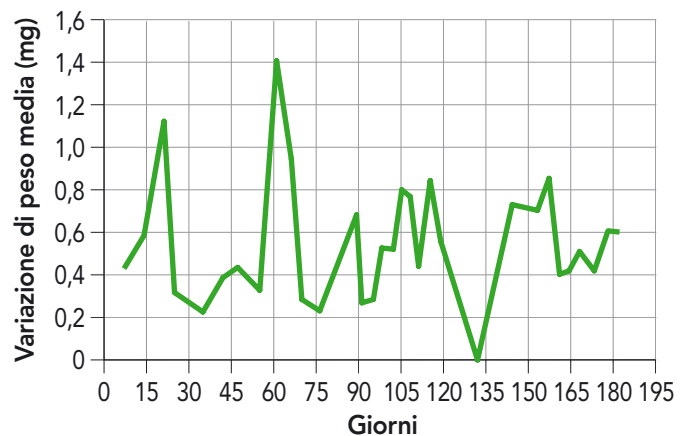
If the environmental factors that influence the release are known, it is possible to perform a correct placement of the dispensers into the vineyards, but mainly evaluate, at any time of the season, the amount of release.

Here we present the results of a study carried out in Piedmont in 2011 to identify meteorological factors that influence the release using Shin-Etsu Isonet L plus pheromone dispensers, commonly used in mating disruption of the grapevine moth *L. botrana* and the grape berry moth *E. ambiguella*. We also describe the dynamics of pheromone release during the period.

The results of this study show that the air temperature is the meteorological factor that influences the release of Shin-Etsu Isonet L plus pheromone dispensers. Measurements carried out under forced wind condition demonstrate that the wind is unable to influence the release. Moreover, we believe that the solar radiation has not a significant photodegradation activity on pheromone molecules and dispenser tubes.

# DIFESA DELLE COLTURE

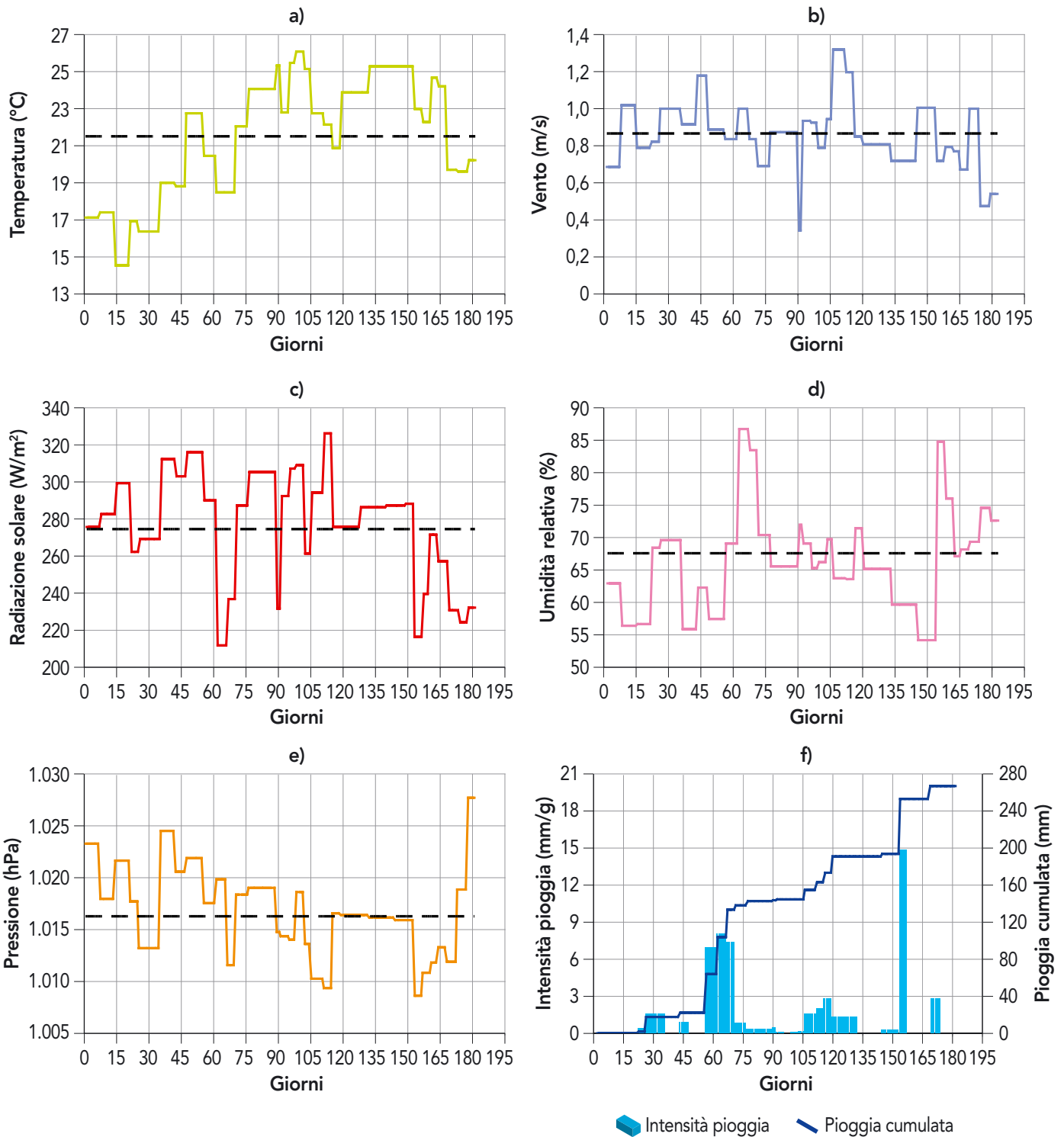
**GRAFICO A - Variazione del peso dei diffusori di controllo**



Il minore peso medio dei diffusori registrato durante il periodo della sperimentazione è stato considerato come il peso di riferimento sul quale calcolare le fluttuazioni.



## GRAFICO B - Parametri meteorologici monitorati durante la sperimentazione



I dati sono stati mediati assumendo come periodi di integrazione i giorni compresi tra una pesata e quella successiva. La linea tratteggiata rappresenta, nei primi grafici, il valore medio di ciascun parametro calcolato su tutto il periodo della sperimentazione, nell'ultimo sono rappresentate la quantità di pioggia cumulata e l'intensità media delle precipitazioni.