



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

**AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2017 DEL
TIPO DI
OPERAZIONE 16.2.01 "SUPPORTO PER PROGETTI PILOTA E PER LO
SVILUPPO DI NUOVI
PRODOTTI, PRATICHE, PROCESSI E TECNOLOGIE NEL SETTORE
AGRICOLA E
AGROINDUSTRIALE"**

FOCUS AREA 3A DGR N. 227 DEL 27 FEBBRAIO 2017

RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO 5395698

DOMANDA DI PAGAMENTO 5700793

FOCUS AREA: 3A

Titolo Piano	INNOVASPRING, INNOVATIVE System for PyRus communIs sustaiNable Growth and production
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	COOPERATIVA TERREMERSE SOC. COOP. IN SIGLA "TERREMERSE SOC.COOP."

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	18
Data inizio attività	28/09/2022
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	28/03/2024

Relazione relativa al periodo di attività dal	28/09/2022	al 28/03/2024
Data rilascio relazione	14/05/2024	

Autore della relazione	Gianfranco Pradolesi, Serena Baiocco, Gianni Gilioli		
telefono		email	sbaiocco@terremerse.it

Sommario

1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO	2
1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO	2
2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE	3
2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI	3
2.2 PERSONALE	77
2.3 TRASFERTE	78
2.4 MATERIALE CONSUMABILE	78
2.5 SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE	78
2.6 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI	78
2.7 ATTIVITÀ DI FORMAZIONE	79
2.8 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI	79
3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ	80
4 - ALTRE INFORMAZIONI	81
5 - CONSIDERAZIONI FINALI	81
6 - RELAZIONE TECNICA	81

1 - Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

Descrivere brevemente il quadro di insieme relativo alla realizzazione del piano.

Le attività del Piano di innovazione di cui TERREMERSE SOC. COOP. è Responsabile organizzativo e l'Università degli Studi di Brescia Responsabile scientifico rispettano sostanzialmente quanto previsto nel GANTT del Progetto. Le attività di divulgazione non hanno rispettato l'avvio previsto dal mese 5, ma sono state anticipate al mese 1 per diffondere subito la notizia di approvazione del Piano e attrarre attenzione sui principi dell'agricoltura di precisione nella frutticoltura.

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
1 Esercizio della cooperazione	TERREMERSE UNIBS	Esercizio della cooperazione	1	1	18	18

3.1 Implementazione e validazione dei modelli per la difesa del pero	TERREMERSE UNIBS	Azioni dirette alla realizzazione del piano	1	1	18	18
3.2 Realizzazione di impianti di copertura antiacqua per il contenimento della maculatura	TERREMERSE	Azioni dirette alla realizzazione del piano	2	2	18	18
3.3 Implementazione di strategie innovative per la realizzazione della gestione idrica	TERREMERSE	Azioni dirette alla realizzazione del piano	1	1	18	18
3.4 Stima degli impatti legati alla pericolltura	TERREMERSE UNIBS	Azioni dirette alla realizzazione del piano	3	3	18	18
4 Divulgazione	TERREMERSE UNIBS	Divulgazione	5	1	18	18

2 - Descrizione per singola azione

Compilare una scheda per ciascuna azione

2.1 Attività e risultati

Azione	1) AZIONE ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE										
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE - UNIBS										
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Il coordinamento del Piano di innovazione è stato assolto dal Comitato Tecnico-Scientifico. Il comitato è presieduto dal Responsabile scientifico e dal Responsabile Organizzativo.</p> <p>Il Responsabile scientifico ha monitorato le attività scientifiche previste nel Piano e promosso la collaborazione nel team.</p> <p>Il Responsabile organizzativo ha coordinato, gestito e controllato l'attuazione delle Azioni, Sotto-azioni e Fasi del Piano.</p> <p>Il comitato si è riunito periodicamente con l'obiettivo di condividere lo stato di avanzamento dei lavori, supervisionare il perseguimento degli obiettivi previsti dal Piano, effettuare una valutazione dei risultati e degli scostamenti dai risultati attesi. Lo strumento utilizzato è stato quello della videoconferenza per gli appuntamenti periodici condotti da TERREMERSE e UNIBS. Più frequentemente, per condividere documenti e agevolare lo svolgimento delle specifiche Sotto-azioni, il team ha interagito utilizzando anche altri strumenti come call, email e google drive.</p> <p>Lista delle principali attività del comitato Tecnico-Scientifico:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Data</th> <th>Modalità</th> <th>Argomenti trattati</th> <th>Partecipanti</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25/10/2022</td> <td>Web meeting</td> <td>Kick-off meeting</td> <td>TERREMERSE, UNIBS</td> </tr> </tbody> </table>			Data	Modalità	Argomenti trattati	Partecipanti	25/10/2022	Web meeting	Kick-off meeting	TERREMERSE, UNIBS
Data	Modalità	Argomenti trattati	Partecipanti								
25/10/2022	Web meeting	Kick-off meeting	TERREMERSE, UNIBS								

15/11/2022	In presenza	Definizione caratteristiche impianto di copertura a Ferrara	TERREMERSE
28/11/2022	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> Definizione del piano sperimentale per il calcolo dell'LCA Definizione modalità rilievi insetti Analisi dei dati di letteratura con riferimento alle temperatura di sviluppo ottimali per gli insetti oggetto di studio 	TERREMERSE, UNIBS
21/12/2022	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> Aggiornamento del piano sperimentale per il calcolo dell'LCA per i 2 contesti aziendali (Ravenna e Ferrara) Prime simulazioni di sviluppo di carpocapsa effettuate utilizzando rilievi precedenti. Definizione dell'attività di monitoraggio per psilla, per cui non sono disponibili trappole a feromone specifico 	TERREMERSE, UNIBS
13/01/2023	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> Definizione del questionario di raccolta dati Preparazione di un documento excel Definizione dell'attività di monitoraggio per la messa a punto e calibrazione dei modelli di ticchiolatura del pero e maculatura bruna 	TERREMERSE, UNIBS
03/02/2023	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> Definizione delle fasi fenologiche di psilla da simulare e analisi della letteratura Analisi dei rilievi di insetti effettuati in precedenza per determinare la sovrapposizione delle generazioni 	TERREMERSE, UNIBS
10/03/2023	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> Condivisione dati relativi ai primi rilievi di campo Criticità prime simulazioni psilla 	TERREMERSE, UNIBS

08/05/2023	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> • Presentazione del questionario da sottoporre alle aziende per la raccolta dei dati • Proposte per la realizzazione di un articolo su rivista scientifica internazionale 	TERREMERSE, UNIBS
08/06/2023	In presenza	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi delle simulazioni di ticchiolatura del pero e di maculatura bruna • Condivisione dei risultati di correlazione tra i dati di comparsa sintomi raccolti in campo 	TERREMERSE
22/08/2023	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi dei dati raccolti a Ferrara e Ravenna per il calcolo degli impatti • Analisi degli scenari da confrontare per il calcolo dell'LCA 	TERREMERSE, UNIBS
06/11/2023	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi dei dati di monitoraggio di psilla e carpocapsa • Discussione della prima bozza dell'articolo scientifico relativo alla carpocapsa 	TERREMERSE, UNIBS
26/01/2024	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> • Confronto simulazioni e dati di monitoraggio di neanidi e ninfe di psilla • Suddivisione delle diverse generazioni in base ai picchi 	TERREMERSE, UNIBS
29/01/2024	Web meeting	<ul style="list-style-type: none"> • Analisi delle informazioni utili per ultimare il calcolo dell'LCA • Analisi della prima bozza di articolo per L'Informatore Agrario 	TERREMERSE, UNIBS
14/03/2024	Web meeting	Revisione della bozza dell'articolo scientifico per finalizzarne la sottomissione	TERREMERSE, UNIBS

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Gli obiettivi di coordinamento sono stati pienamente raggiunti, le attività non hanno subito variazioni significative rispetto a quanto previsto dal GANTT del Piano.</p>
Attività ancora da realizzare	Nessuna

Azione	<p>3) AZIONE DI REALIZZAZIONE DEL PIANO SOTTO-AZIONE 3.1: Implementazione e validazione dei modelli per la difesa del pero</p>
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE - UNIBS
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Nel corso del Progetto INNOVASPRING sono stati implementati e calibrati i modelli di ticchiolatura del pero, maculatura bruna, carpocapsa e psilla.</p> <p>MODELLI MALATTIE Per la realizzazione di DSS atti a contrastare le principali fitopatie del pero sono stati messi a punto dei modelli che simulano i rischi infettivi utilizzando dati meteo-climatici a frequenza oraria o giornaliera di pioggia, bagnatura fogliare, temperatura e umidità dell'aria. I dati raccolti tramite il monitoraggio nei siti sperimentali sono stati utilizzati per la parametrizzazione e validazione dei modelli.</p> <p>TICCHIOLATURA DEL PERO Con riferimento al modello di ticchiolatura del pero è stato effettuato un approfondimento dello stato dell'arte con lo scopo di identificare gli elementi utili per lo sviluppo del modello:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ontogenesi degli pseudotecii e ricerca del biofix, data di inizio del periodo di rischio per le infezioni primarie; • stima del potenziale di maturazione ascosporica; • condizioni meteo necessarie per l'instaurarsi di infezioni primarie; • incubazione ed epoca presenza sintomi visibili su foglia. <p>Dallo studio dello stato dell'arte è emersa una maggiore attenzione verso la ticchiolatura del melo, causata da <i>Venturia inaequalis</i>, rispetto alla ticchiolatura del pero, causata da <i>Venturia pyrina</i>, riflesso della diversa diffusione nel mondo delle due colture.</p> <p>Gli elementi identificati in letteratura sono stati implementati in Matlab e testati utilizzando anche dati storici, sia di monitoraggio delle ascospore, catturate tramite captaspore, sia di campo dal 2018 al 2022, raccolti dal Centro di Saggio di Terremerse.</p> <p>Per quanto riguarda il biofix è stata testata la soglia riportata nell'articolo di Rossi et al. del 2009. La soglia, determinata sulla base di una regressione logistica, dovrebbe</p>

consentire di identificare il momento a maggiore probabilità (> 50%) per il primo rilascio ascosporico della stagione. Tuttavia, dal confronto tra la simulazione e i dati storici del captaspore è emerso come l'utilizzo di questa soglia anticipi di molto i rilasci.

Si è proceduto quindi effettuando ulteriori indagini come l'analisi della maturazione delle ascospore, analisi eseguita anche preventivamente nel corso della stagione 2022, in concomitanza con la presentazione del presente Progetto. Lo scopo dell'analisi era di rilevare - a parità di condizioni climatiche - eventuali differenze in termini di maturazione delle ascospore tra la *Venturia pyrina* e la *Venturia inaequalis*, per la quale sono presenti già diversi studi.

A novembre, prima della caduta delle foglie, sono state prelevate foglie ticchiate di pero e melo ed è stata predisposta una lettiera artificiale in grado di riprodurre le condizioni ambientali di una normale lettiera all'interno del frutteto.

La lettiera è stata posta in campo presso un pereto a conduzione biologica dell'azienda agricola Cooperativa agricola braccianti territorio ravennate (C.A.B.Ter.RA), coordinate GPS (44°27'16.8"N 12°06'56.1"E) (foto 3.1.1).



Figura 3.1.1 Sito di prova a C.A.B. Ter.RA



Figura 3.1.2 a Destra foglia di melo con sintomi da ticchiolatura e a sinistra foglie di pero con sintomi da ticchiolatura.

Le foglie sono state adagiate sopra uno strato di tessuto non tessuto e successivamente è stata posta una rete per evitare che si muovessero per l'effetto del vento.

PERO

MELO



Figura 3.1.3 lettiera per il monitoraggio della maturazione degli pseudoteci di *Venturia pyrina* (a sinistra) e *Venturia inaequalis* (a destra).

A partire dal 1° febbraio, sono state prelevate settimanalmente 25 foglie e attraverso microscopio è stato identificato lo stadio di maturazione di 10 pseudoteci di *Venturia inaequalis* (ticchiolatura melo) e *Venturia pyrina* (ticchiolatura pero) secondo la scala descritta da James e Sutton nel 1982 (James, J. R., & Sutton, T. B. (1982). Sotto stereoscopio e con l'utilizzo di un bisturi gli pseudoteci sono stati prelevati dalle foglie, adagiati su un vetrino porta-oggetto, idratati con una goccia d'acqua e successivamente coperti e schiacciati mediante un vetrino copri-oggetto.

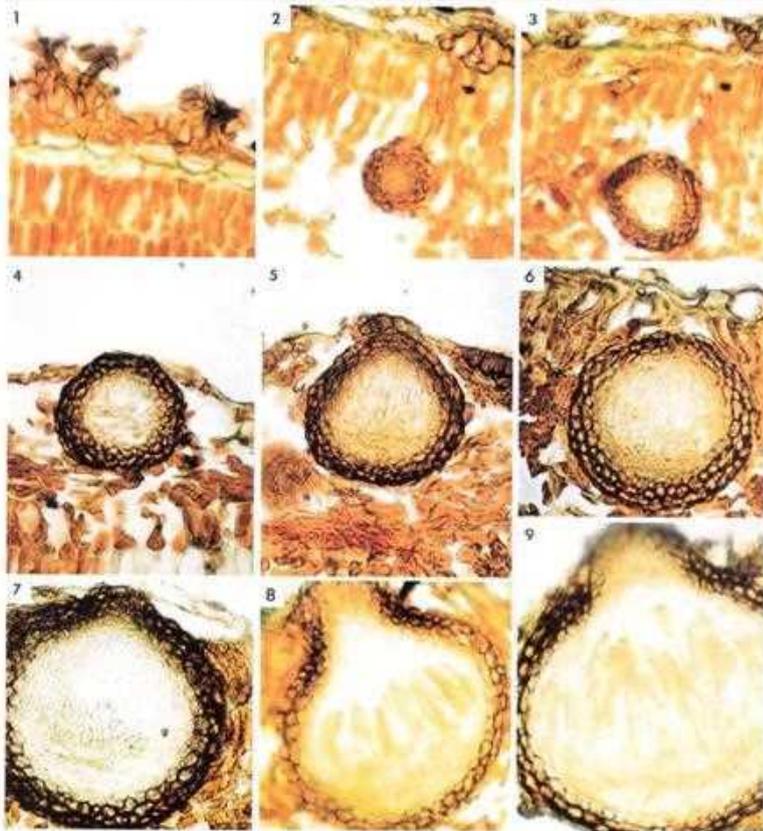
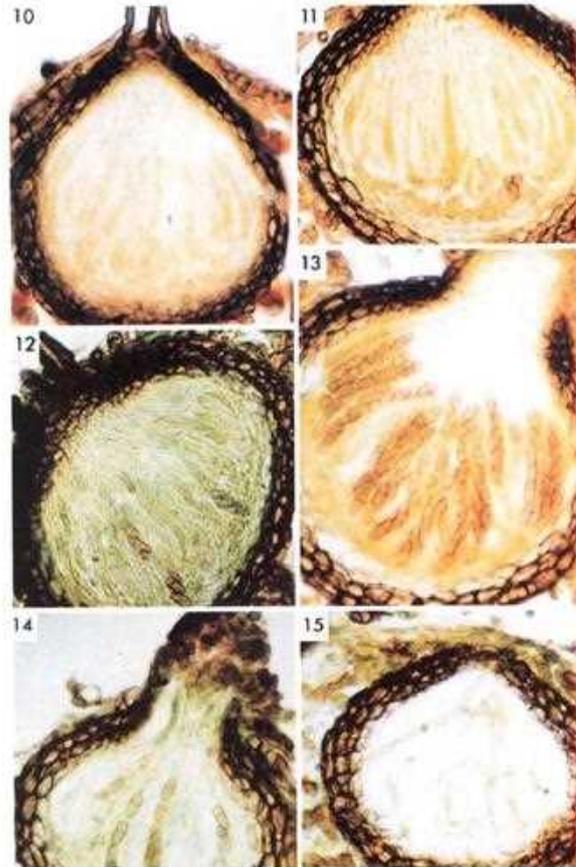


Fig. 1-9. Pseudotecheal development of *Vicia inaequalis* in various stages. 1, (stage 1a) 13 sub-antical strata; 2, (st. 2) pseudotecheal initial showing coating of the hyphae; 3, (st. 3) formation of the axogonium from the initial; 4, (st. 4) pseudotecheal physis beginning to appear on the inner of pseudotecheum as the axogonium disappears; 5, (early st. 5) pseudotecheal physis fills the lumen and the pseudotecheum has increased in diameter; 6, (later st. 5) pseudotecheum that has increased in diameter; 7, (st. 6) appearance of ascus; 8, (st. 7) ascus about one-half mature size; 9, (st. 8) ascus 1 firm, but contents not differentiated. All figures $\times 400$.

Figura 3.1.4 Scala St creata da James e Sutton 1982 per lo stadio fenologico della maturazione degli pseudoteci di *V. inaequalis*



Figs. 10-15. Pseudothecial development of *Venturia inaequalis* in various stages. 10, (stage 9) asci with spores in the process of formation; 11, (stage 10) asci with ascospores being formed, usually septate; 12, (st. 11) asci with ascospores formed but not pigmented; 13, (st. 12) ascospores pigmented and mature; 14, (st. 13) asci empty; and 15, (st. 14) asci aborted. All figures $\times 400$.

Figura 3.1.5 Segue scala St James e Sutton 1982

I dati del 2022 e del 2023 mostrano che la maturazione delle ascospore di *Venturia inaequalis* e di *pyrina* sono perfettamente sincronizzate. È stato, quindi, possibile sfruttare le conoscenze e le dinamiche messe a punto per la ticchiolatura del melo per la simulazione di questa fase ed identificare una soglia - basata sui dati di pioggia, temperatura e umidità dell'aria e bagnatura fogliare - utile per la stima dell'inizio del periodo di rischio da infezioni primarie, che coincide con la presenza di ascospore mature.



Figura 3.1.6 Pseudoteci visti allo stereoscopio su pero (a sinistra) e su melo (a destra)



Figura 3.1.7 Pseudotecio con formazione degli aschi di *V. inaequalis* (ticchiolatura melo), stadio st 6.



Figura 3.1.8 Pseudoteci con aschi e ascospore formate ma non pigmentate *V. inaequalis* (ticchiolatura melo), Stadio st 12

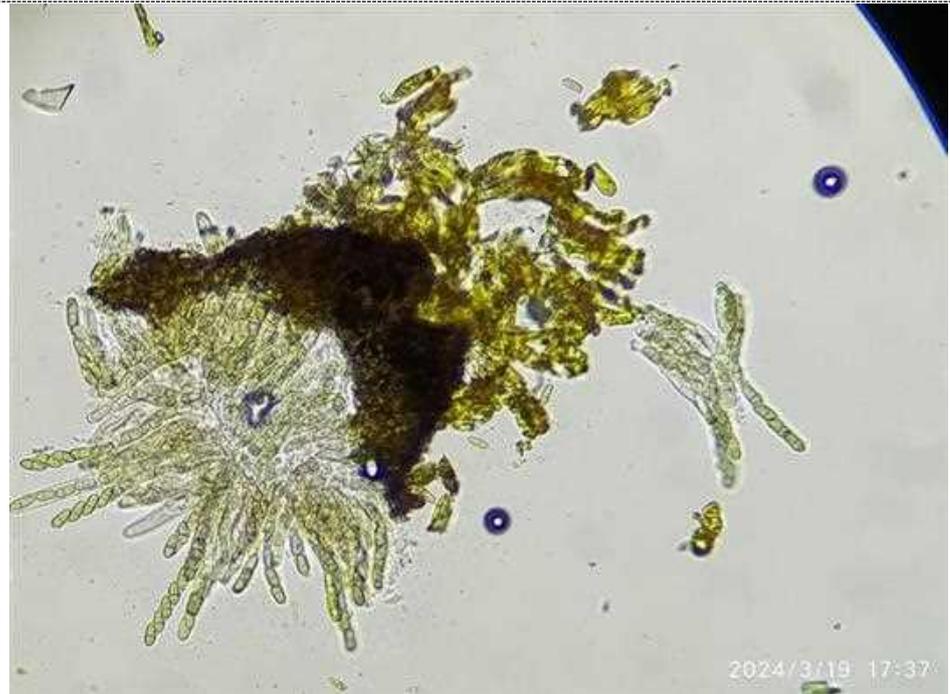


Figura 3.1.9 Pseudotecio con aschi e ascospore pigmentate e mature di *V. inaequalis*, stadio st 13



Figura 3.1.10 Pseudotecia con formazione degli aschi di *Venturia pyrina* (ticchiolatura del pero), stadio st 6

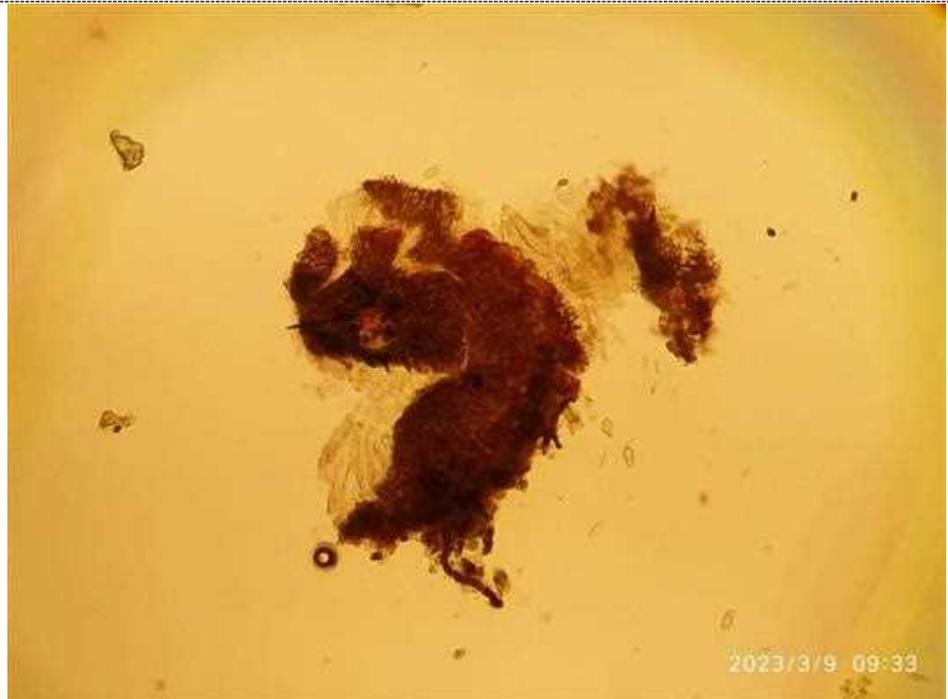


Figura 3.1.11 Pseudotecio con aschie ascospore formate ma non pigmentate di *V. pyrina*, stadio st 12



Figura 3.1.12 Pseudotecio con aschi e ascospore pigmentate e mature di *V. pyrina*, stadio st 13

Nel 2023 gli pseudotecci di *V. pyrina* e *V. inaequalis* con all'interno ascospore mature sono stati rilevati l'8 marzo. Di seguito i dati dei rilievi a cadenza settimanale per la stagione 2023.

Rilievo 25 gennaio 2023:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Pseudotecci senza parafisi	4	1	Pseudotecci senza parafisi	4
2	Pseudotecci senza parafisi	4	2	Pseudotecci senza parafisi	4
3	Pseudotecci senza parafisi	4	3	Pseudotecci senza parafisi	4
4	Pseudotecci senza parafisi	4	4	Pseudotecci senza parafisi	4
5	Pseudotecci senza parafisi	4	5	Pseudotecci senza parafisi	4
6	Pseudotecci senza parafisi	4	6	Pseudotecci senza parafisi	4
7	Pseudotecci senza parafisi	4	7	Pseudotecci senza parafisi	4
8	Pseudotecci senza parafisi	4	8	Pseudotecci senza parafisi	4
9	Pseudotecci senza parafisi	4	9	Pseudotecci senza parafisi	4
10	Pseudotecci senza parafisi	4	10	Pseudotecci senza parafisi	4

Tabella 3.1.1 rilievo N. 1 maturazione pseudotecci ticchiolatura pero e melo del 25 gennaio 2023

Rilievo 01 febbraio 2023:

TicchiolaturaMelo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	aschi non ancora rilevati	5	1	aschi non ancora rilevati	5-6
2	aschi non ancora rilevati	5	2	aschi non ancora rilevati	5-6
3	aschi non ancora rilevati	5	3	aschi non ancora rilevati	5-6
4	aschi non ancora rilevati	5	4	aschi non ancora rilevati	5-6
5	aschi non ancora rilevati	5	5	aschi non ancora rilevati	5-6
6	aschi non ancora rilevati	5	6	aschi non ancora rilevati	5-6
7	aschi non ancora rilevati	5	7	aschi non ancora rilevati	5-6
8	aschi non ancora rilevati	5	8	aschi non ancora rilevati	5-6
9	aschi non ancora rilevati	5	9	aschi non ancora rilevati	5-6
10	aschi non ancora rilevati	5	10	aschi non ancora rilevati	5-6

Tabella 3.1.2 rilievo N.2 maturazione pseudotecci ticchiolatura pero e melo del 01 febbraio 2023

Rilievo 7 febbraio 2023:

TicchiolaturaMelo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	1	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
2	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	2	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
3	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	3	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
4	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	4	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
5	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	5	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
6	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	6	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
7	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	7	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
8	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	8	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
9	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	9	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5
10	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5	10	Aschi non ancora formati Pseudotecci di dimensioni maggiori	5

Tabella 3.1.3 rilievo N.3 maturazione pseudotecci ticchiolatura pero e melo del 7 febbraio 2023

Rilievo 15 febbraio 2023:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	1	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
2	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	2	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
3	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	3	Aschi non ancora formati	5
4	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	4	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
5	Aschi non ancora formati	5	5	Aschi non ancora formati	5
6	Aschi non ancora formati	5	6	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
7	Aschi non ancora formati	5	7	aschi in formazione, viste prime ascospore ialine in formazione	6
8	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni grandi	6	8	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
9	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni grandi	6	9	Aschi non ancora formati	5
10	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	10	Aschi non ancora formati	5

Tabella 3.1.4 rilievo N.4 maturazione pseudotecici ticchiolatura pero e melo del 15 febbraio 2023

Rilievo 23 febbraio 2023:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8	1	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
2	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	2	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
3	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	3	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
4	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	4	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	6
5	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6	5	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8
6	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8	6	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8
7	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8	7	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8
8	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	7-8	8	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8
9	aschi in formazione, di dimensioni maggiori, contenuto non ancora differenziato	7-8	9	aschi in formazione, no ascospore aschi di dimensioni piccole	6
10	aschi in formazione, presenza di ascospore immature	9	10	aschi in formazione, presenza di ascospore immature	9

Tabella 3.1.5 rilievo N.5 maturazione pseudotecici ticchiolatura pero e melo del 23 febbraio 2023

Rilievo 1 marzo 2023:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Aschi con ascospore in formazione	10	1	Aschi in formazione, no ascospore	8
2	Aschi con ascospore formate, settate	9	2	Aschi in formazione, no ascospore	8
3	Aschi con ascospore formate, settate	9	3	Aschi in formazione, no ascospore	8
4	Aschi con ascospore formate, settate	9	4	Aschi con ascospore formate, settate	9
5	Aschi con ascospore in formazione	9	5	Aschi con ascospore in formazione	8
6	Aschi con ascospore in formazione	9	6	Aschi con ascospore formate, settate	9
7	Aschi in formazione, no ascospore	8	7	Aschi con ascospore formate, settate	9
8	Aschi in formazione, no ascospore	8	8	Aschi con ascospore formate, settate	9
9	Aschi con ascospore formate, settate	9	9	Aschi con ascospore formate, settate	9
10	Aschi in formazione, no ascospore	8	10	Aschi con ascospore formate, settate	9

Tabella 3.1.6 rilievo maturazione pseudotecici ticchiolatura pero e melo del 01 marzo 2023

Rilievo 08 marzo 2023:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12	1	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
2	Aschi con ascospore formate, settate	11	2	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
3	Aschi con ascospore formate, settate	11	3	Aschi con ascospore formate, settate	11
4	Aschi con ascospore mature	13	4	Aschi con ascospore formate, settate	11
5	Aschi con ascospore formate, settate	11	5	Aschi con ascospore formate, settate	11
6	Aschi con ascospore formate, settate	11	6	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
7	Aschi con ascospore mature	13	7	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
8	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12	8	Aschi con ascospore mature	13
9	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12	9	Aschi con ascospore formate, settate	11
10	Aschi con ascospore formate, settate	11	10	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12

Tabella 3.1.7 rilievo N.7 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 08 marzo 2023

Rilievo 15 marzo 2023:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	pseudoteci vuoti	14	1	Aschi con ascospore formate, settate	11
2	Aschi con ascospore mature	13	2	Aschi con ascospore mature	13
3	Aschi con ascospore mature	13	3	Aschi con ascospore mature	13
4	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12	4	Aschi con ascospore formate, settate	12
5	Aschi con ascospore formate, settate	11	5	Aschi con ascospore formate, settate	11
6	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12	6	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
7	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12	7	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
8	Aschi con ascospore mature	13	8	Aschi con ascospore mature	13
9	Aschi con ascospore formate, settate	11	9	Aschi con ascospore in formazione non ancora pigmentante	12
10	Aschi con ascospore formate, settate	11	10	Aschi con ascospore mature	13

Tabella 3.1.8 rilievo N.8 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 15 marzo 2023

Per quanto riguarda il 2024 le prime ascospore mature di *V. pyrina* e *V. inaequalis* sono state rilevate il 28/02/2024.

Rilievo 01 febbraio 2024:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Pseudoteci senza parafisi	4-5	1	Pseudoteci senza parafisi	4-5
2	Pseudoteci senza parafisi	4-5	2	Pseudoteci senza parafisi	4-5
3	Pseudoteci senza parafisi	4-5	3	Pseudoteci senza parafisi	4-5
4	Pseudoteci senza parafisi	4-5	4	Pseudoteci senza parafisi	4-5
5	Pseudoteci senza parafisi	4-5	5	Pseudoteci senza parafisi	4-5
6	Pseudoteci senza parafisi	4-5	6	Pseudoteci senza parafisi	4-5
7	Pseudoteci senza parafisi	4-5	7	Pseudoteci senza parafisi	4-5
8	Pseudoteci senza parafisi	4-5	8	Pseudoteci senza parafisi	4-5
9	Pseudoteci senza parafisi	4-5	9	Pseudoteci senza parafisi	4-5
10	Pseudoteci senza parafisi	4-5	10	Pseudoteci senza parafisi	4-5

Tabella 3.1.9 rilievo N.1 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 01 febbraio 2024

Rilievo 9 febbraio 2024:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Pseudoteci senza parafisi	4-5	1	Pseudoteci senza parafisi	4-5
2	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	2	Pseudoteci senza parafisi	4-5
3	Pseudoteci senza parafisi	4-5	3	Pseudoteci senza parafisi	4-5
4	Pseudoteci senza parafisi	4-5	4	Pseudoteci senza parafisi	4-5
5	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	5	Pseudoteci senza parafisi	4-5
6	Pseudoteci senza parafisi	4-5	6	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
7	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	7	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
8	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	8	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
9	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	9	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
10	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	10	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6

Tabella 3.1.10 rilievo N.2 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 9 febbraio 2024

Rilievo 15 febbraio 2024:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	1	Pseudoteci senza parafisi	4-5
2	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	2	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
3	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	3	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
4	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	4	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
5	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	5	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
6	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	6	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
7	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	7	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
8	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	8	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
9	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	9	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6
10	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6	10	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5-6

Tabella 3.1.11 rilievo N.3 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 15 febbraio 2024

Rilievo 22 febbraio 2024:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6	1	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6
2	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6	2	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6
3	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6	3	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6
4	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6	4	Rilevate inizio abbozzi ascocarpi	6
5	Rilevati Ascocarpi con ascospore non mature	9	5	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5
6	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5	6	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5
7	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5	7	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5
8	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5	8	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5
9	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5	9	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5
10	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5	10	Rilevate ultrastrutture pseudotecio	5

Tabella 3.1.12 rilievo N.4 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 22 febbraio 2024

Rilievo 28 febbraio 2024:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	1	Ascocarpi senza ascospore	8
2	Ascocarpi senza ascospore	8	2	Ascocarpi senza ascospore	8
3	Ascocarpi senza ascospore	8	3	Ascocarpi senza ascospore	8
4	Ascocarpi senza ascospore	8	4	Ascocarpi con ascospore mature	12
5	Ascocarpi con ascospore non mature	10	5	Ascocarpi senza ascospore	8
6	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	6	Ascocarpi senza ascospore	8
7	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	7	Ascocarpi senza ascospore	8
8	Ascocarpi con ascospore mature	12	8	Ascocarpi senza ascospore	8
9	Ascocarpi con ascospore mature	12	9	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11
10	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	10	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11

Tabella 3.1.13 rilievo N.5 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 28 febbraio 2024

Rilievo 4 marzo 2024:

Ticchiolatura Melo			Ticchiolatura Pero		
N° Pseudotecio	Stadio	Scala St	N° Pseudotecio	Stadio	Scala St
1	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	1	Ascocarpi con ascospore non mature	10
2	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	2	Ascocarpi con ascospore non mature	10
3	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	3	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11
4	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	4	Ascocarpi con ascospore mature	12
5	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11	5	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11
6	Ascocarpi con ascospore non mature	10	6	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11
7	Ascocarpi con ascospore mature	12	7	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11
8	Ascocarpi con ascospore mature	12	8	Ascocarpi con ascospore mature	12
9	Ascocarpi con ascospore mature	12	9	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11
10	Ascocarpi con ascospore non mature	10	10	Ascocarpi con ascospore in formazione (aline)	11

Tabella 3.1.16 rilievo N.6 maturazione pseudoteci ticchiolatura pero e melo del 4 marzo 2024

Gli output ottenuti dalle simulazioni del biofix implementato nel corso del Progetto e i dati storici del captaspore hanno mostrato un'ottima corrispondenza.

Per il calcolo della dinamica del potenziale di rilascio ascosporico (PAT) è stato preso in esame l'articolo di Rossi et al. del 2009, ed in particolare il *DDwet* (figura 3.1.13) per tenere conto nella dinamica degli effetti di temperatura e bagnatura. Di seguito un estratto dell'articolo:

$$vpd = (1 - rh/100) \cdot 6.11 \cdot \exp[(17.47 - T_i)/(239 + T_i)] \quad (4)$$

$$DDwet_i = \sum_{j=1}^n (T_j \cdot WET_j) \text{, when } T_j < 0, T_j = 0$$

where *i* is the subscript for days, with *i* = 1 (day of the biofix) to *n*, *T_i* is the air temperature in each day, and WET is a dichotomic variable calculated as follows: when *R_i* ≥ 0.2 mm and *vpd_i* ≤ 4 hPa, WET_{*i*} = 1; elsewhere, WET_{*i*} = 0.

Figura 3.1.13 equazione del vpd (deficit di vapor di pressione) e del *DDwet* (gradi giorno con prolungate bagnature) prese dall'articolo di Rossi et al., 2009.

Inizialmente il calcolo della bagnatura, WET, è stato implementato così come riportato nell'articolo e calcolato su finestre mobili di 24 ore, verificando la contemporanea presenza delle seguenti condizioni: presenza di pioggia (RAIN > 0) e (AND) deficit di

pressione di vapore (VPD) ≤ 4 hPa. Per la stima del VPD si utilizzano i dati di temperatura e umidità relativa dell'aria.

È stata implementata sia una versione in cui si considerano (per il calcolo del VPD) la temperatura e l'umidità mediata nella finestra di 24 ore, sia la media giornaliera dei valori di VPD calcolati a livello orario (a partire da temperature e umidità orarie). Come prevedibile, la curva ottenuta a partire da dati orari è più *smooth* (regolare), ma i risultati sono simili.

Nel 2023 le piogge distribuite in modo uniforme nell'arco del periodo considerato (Grafico 3.1.1) consentono di avere una simulazione del potenziale di ascospore catturate con un captaspore (Potenziale Ascosporico Trappolato, PAT) adeguato (Grafico 3.1.2).

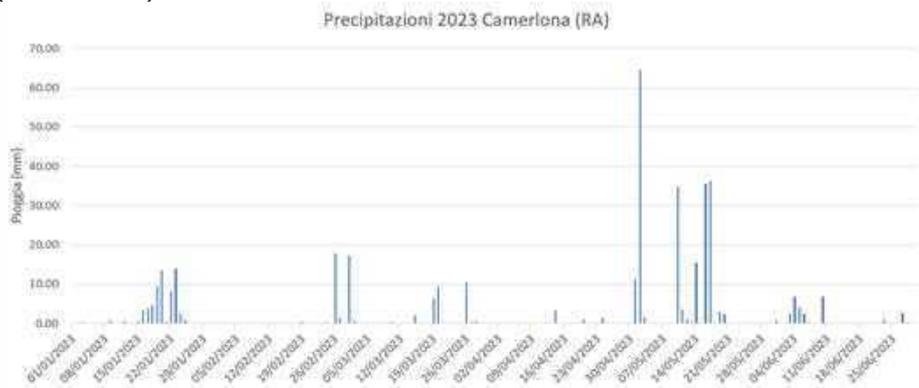


Grafico 3.1.1 Andamento delle precipitazioni del 2023 a Camerlona (RA)

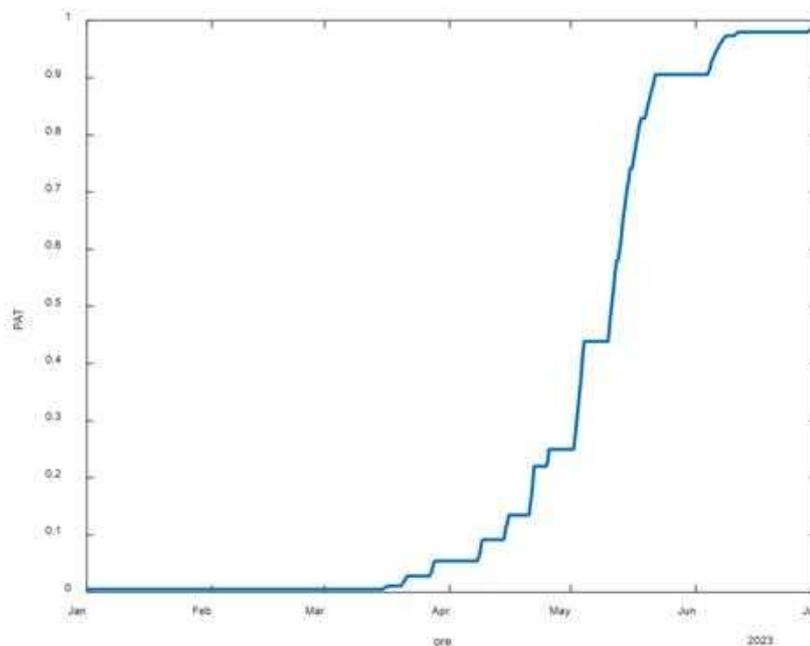


Grafico 3.1.2 Simulazione della maturazione delle ascospore con i dati meteo registrati del 2023.

Tuttavia, per stagioni "siccitose" come ad esempio quella del 2022 non si ottengono risultati soddisfacenti.

Nel marzo 2022 infatti si sono verificate delle piogge solo a fine febbraio e inizio marzo (prima del biofix) e alla fine del mese di marzo (Grafico 3.1.3).

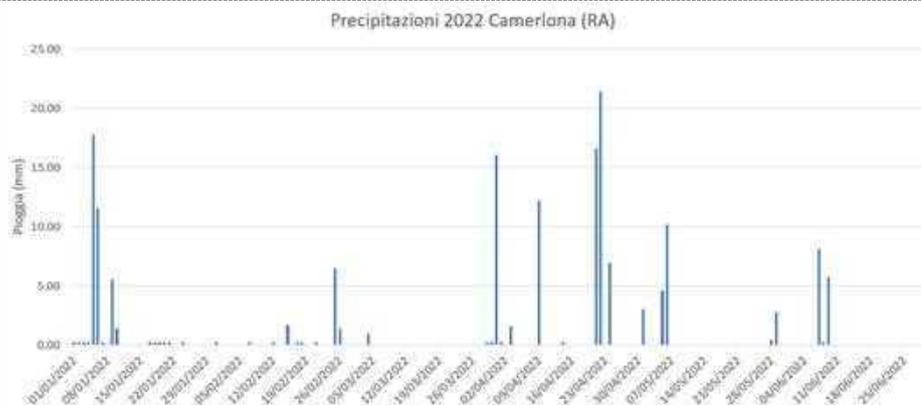


Grafico 3.1.3 Andamento delle precipitazioni del 2022 a Camerlana (RA)

La condizione di AND con la pioggia non consente quindi la maturazione delle ascospore (che nella realtà sono maturate anche a diverse condizioni di bagnatura). Come è evidente dalla simulazione mostrata (grafico 3.1.4) di seguito la maturazione delle ascospore avrebbe avuto inizio solo alla fine di marzo, diversamente da quanto accaduto realmente.

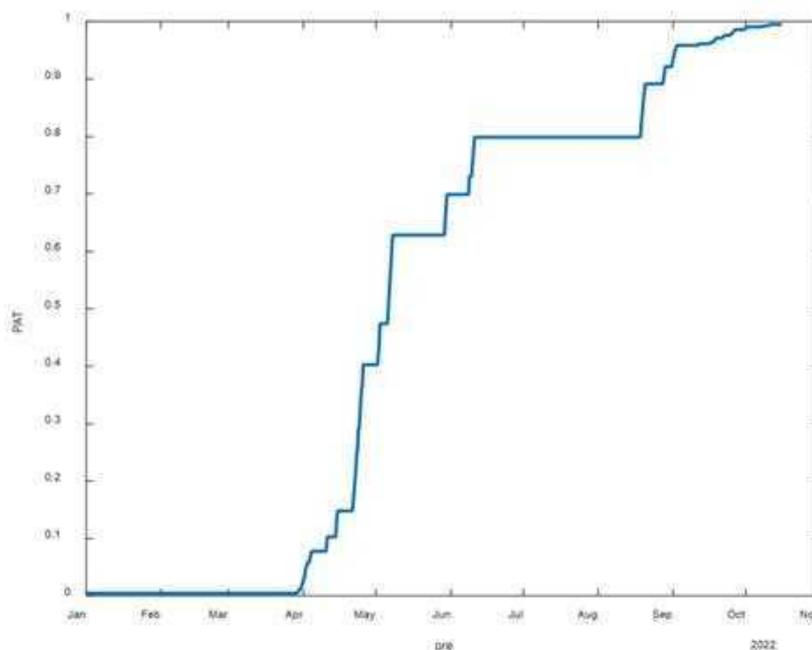


Grafico 3.1.4 simulazione del PAT con i dati meteo registrati nel 2022

Per consentire una maturazione di ascospore anche in assenza di pioggia è stata modificata la condizione: $WET_{ore} = 1$ se $VPD \leq 0.5$ (indipendentemente che si sia verificata una pioggia o meno). Inoltre è stata rilassata la condizione che riguarda la finestra mobile di 24 ore. Utilizzando dati orari di VPD si è trovato opportuno aumentare il valore di soglia per la condizione della VPD media da 4 a 8. L'AND tra pioggia e $VPD \leq 4$ consentiva infatti la maturazione di ascospore solo in giornate estremamente umide e piovose. Secondo la condizione suggerita in letteratura il VPD dovrebbe essere infatti inferiore a 4 mediamente nella giornata. Con l'introduzione di un VPD orario indipendente dalla pioggia le performance del PAT migliorano notevolmente (Grafico 3.1.5). Tuttavia si rileva comunque un rallentamento rispetto ai dati dei rilievi per la stagione 2022, più seccata (grafico 3.1.6).

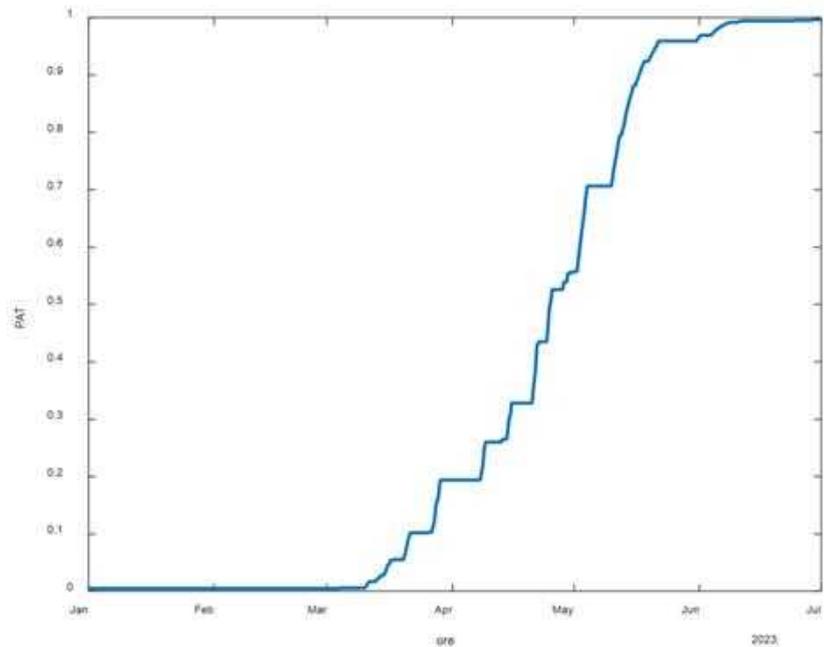


Grafico 3.1.5 Simulazione del PAT con la modifica del WET_ore con i dati meteo registrati nel 2023.

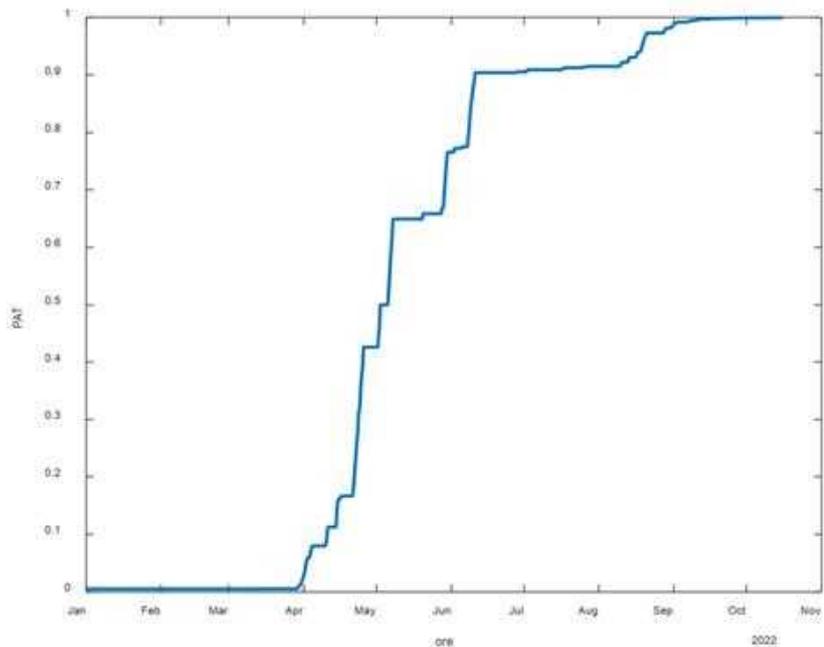


Grafico 3.1.6 Simulazione del PAT con la modifica del WET_ore con i dati meteo registrati nel 2022.

Per consentire una maturazione di ascospore anche durante giornate più secche successive a eventi piovosi si è deciso di apportare ulteriori modifiche. Infatti, secondo l'articolo di Stensvand et al. del 2005, periodi di secco possono rallentare la maturazione delle ascospore, non necessariamente interromperla. Le correlazioni migliori sono state ottenute considerando periodi di secco di al massimo 7 giorni dopo un evento piovoso. Le ascospore continuano quindi, a seguito di una pioggia, a maturare per 7 giorni, e poi la maturazione si interrompe fino alla pioggia successiva. Questa nuova condizione suggerita dallo studio menzionato condotto sul melo, è stata inserita in questa versione del modello ticchiolatura pero. Per evitare però una indiscriminata accelerazione della maturazione di ascospore, la modifica è stata applicata solo nei periodi realmente "siccitosi". La condizione è stata riformulata come di seguito: si impone la maturazione delle ascospore successive ad una pioggia, solo se la pioggia precedente rispetto alla corrente è avvenuta più di 9 giorni prima, e se nei 7 giorni successivi alla pioggia

corrente non si verificano ulteriori piogge. In questo modo, le stagioni umide e piovose non subiscono un'accelerazione del PAT, reso già veloce dalla presenza delle piogge, mentre le stagioni siccitose riscontrano un sostanziale incremento della maturazione di ascospore, risultato compatibile con le catture effettuate mediante captaspore. Nonostante il notevole miglioramento (ottime performance sia per stagioni siccitose che piovose, con PAT aderenti alla realtà) i rilievi di campo hanno dimostrato, come anticipato, che la maturazione di ascospore è possibile anche in assenza di piogge. Questa condizione non potrebbe essere quindi correttamente rappresentata dal modello implementato in questa versione che, per questo motivo, non si considera comunque soddisfacente. Considerando casi estremi come assenza di piogge nel mese di marzo otterremmo come risultato una completa traslazione (> di un mese) dello sviluppo del PAT. In questa versione infatti la pioggia è condizione necessaria. Tuttavia dai rilievi è emerso che, come per il melo, anche per il pero la maturazione delle ascospore possa avvenire in presenza di bagnature, ad esempio le bagnature notturne, in cui si raggiungono valori di VPD compatibili con quelli rilevabili in concomitanza di eventi piovosi.

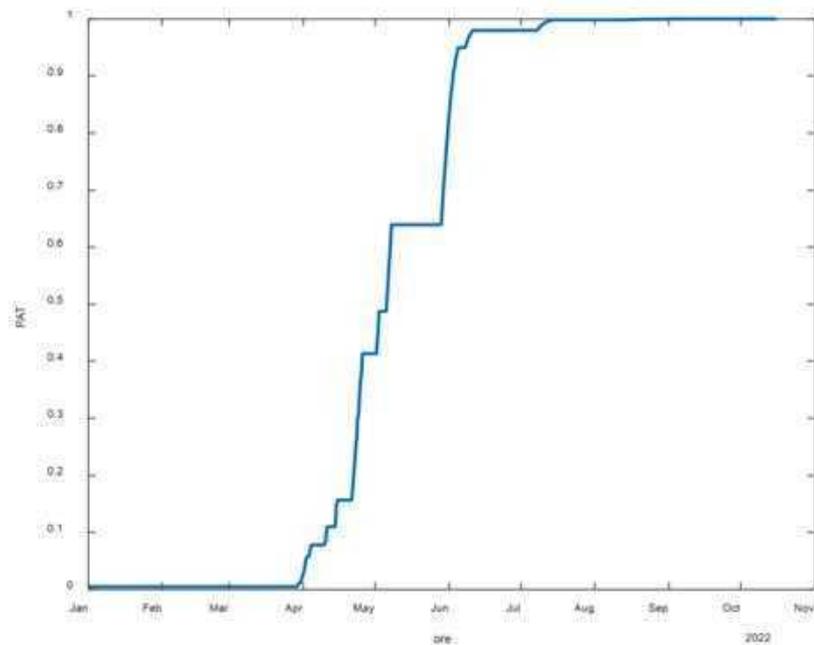


grafico 3.1.7 Simulazione della partenza della maturazione delle ascospore con i dati meteo del 2022

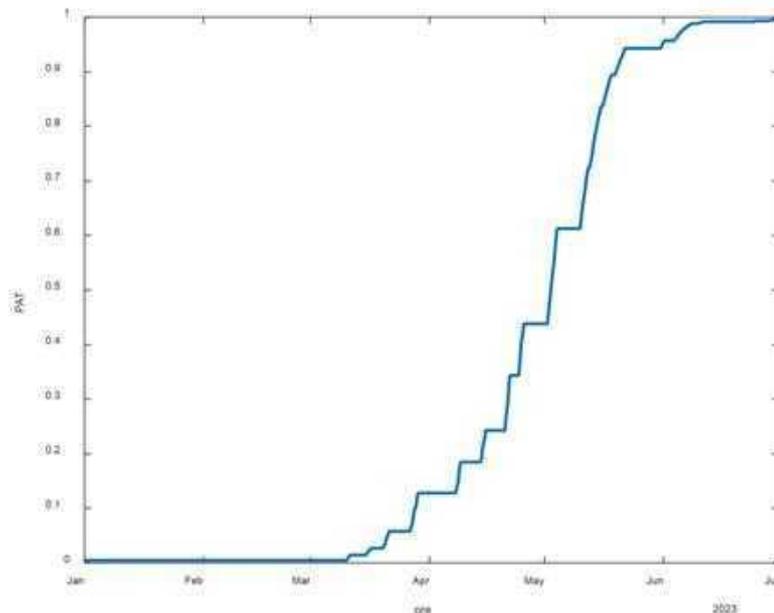


Grafico 3.1.8 Simulazione della partenza della maturazione delle ascospore con i dati meteo del 2023

Essendo la pioggia un parametro estremamente condizionante e avendo rilevato in campo rilasci di ascospore (anche significativi) non preceduti da eventi piovosi ma da bagnature è stato quindi ulteriormente modificato il calcolo del WET. In questa versione, WET dipende esclusivamente dalle ore in cui $VPD \leq \text{valore_di_soglia}$, indipendentemente dalla presenza di pioggia. Se $VPD \leq \text{valore_di_soglia}$, allora $WET = 1$. Per identificare il valore di soglia sono state effettuate simulazioni iterative variando il *valore_di_soglia* a partire da 4 (valore di partenza dell'articolo di Rossi, utilizzato in combinazione con le piogge) fino a un valore di 0.5. Le iterazioni sono state eseguite con passo di 0.1 e confrontate con i dati dei rilievi a disposizione. Le migliori performance sono state ottenute con i valori di soglia di 0.75 e 0.8, sia in stagioni siccitose che piovose.

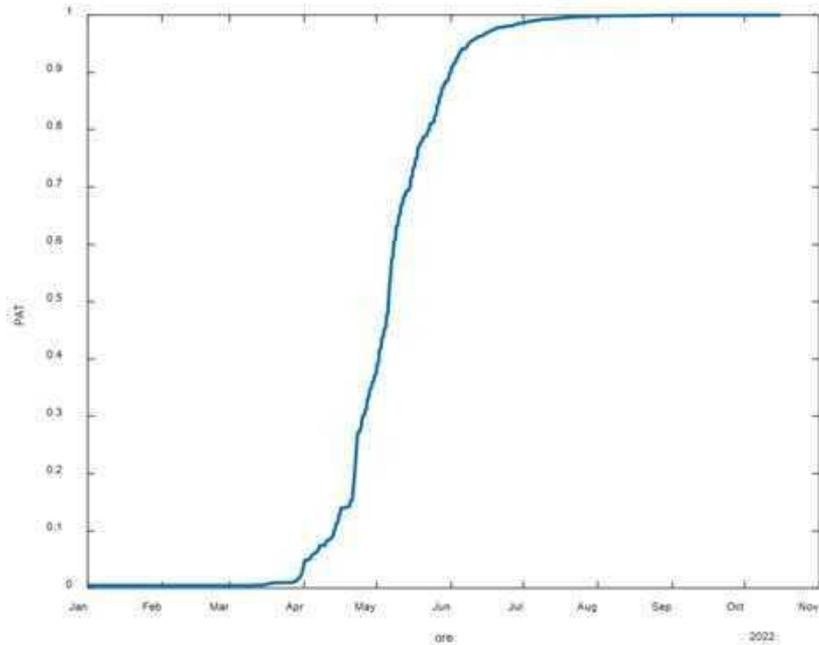


Grafico 3.1.9 Simulazione partenza PAT con valore soglia VPD = 0.75 dai dati registrati nel 2022

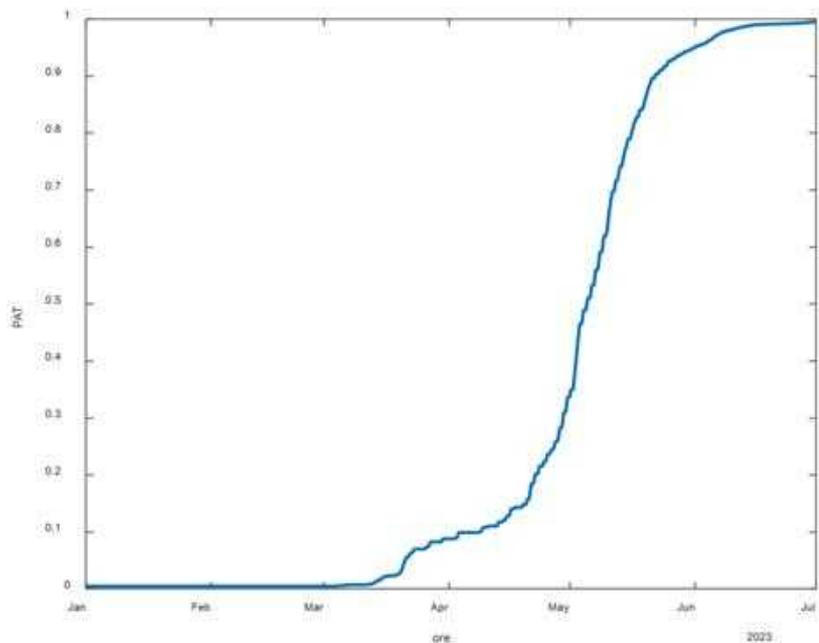


Grafico 3.1.10 Simulazione partenza PAT con valore soglia VPD = 0.75 dai dati registrati nel 2023

Costruendo le curve del PAT con i dati giornalieri di catture delle ascospore, effettuate tramite captaspore, sia per il 2022 (grafico 3.1.11) che per il 2023 (grafico 3.1.12), e normalizzando in base al numero totale di spore rilevate in ogni stagione, si ottengono le seguenti curve:

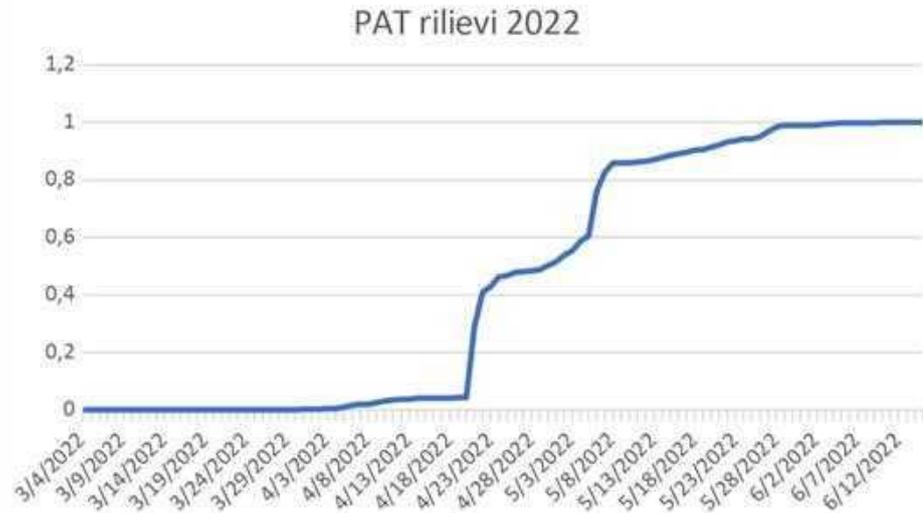


Grafico 3.1.11 Curva del PAT con i dati giornalieri registrati nel 2022

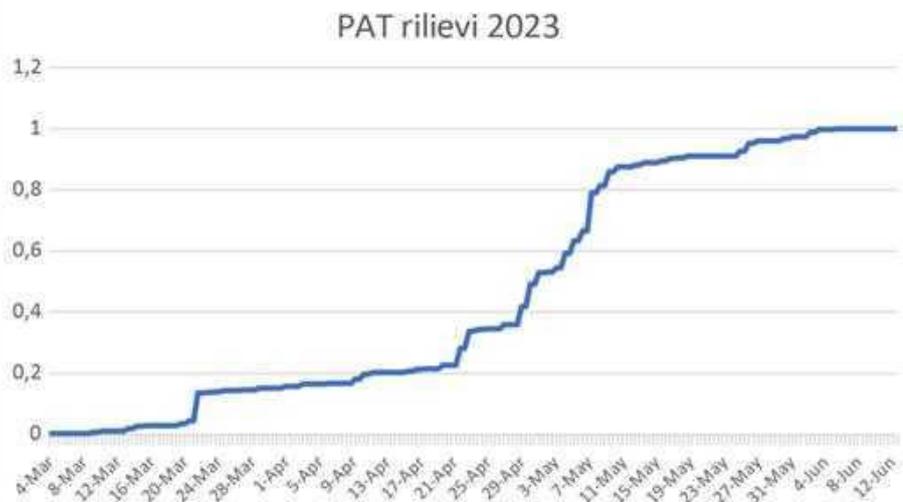


Grafico 3.1.12 Curva del PAT con i dati giornalieri registrati nel 2022

Di seguito (Grafici 3.1.1. e 3.1.14) il confronto tra le curve del PAT ottenute utilizzando i dati di cattura del captaspore e le curve simulate con l'ultima versione descritta:

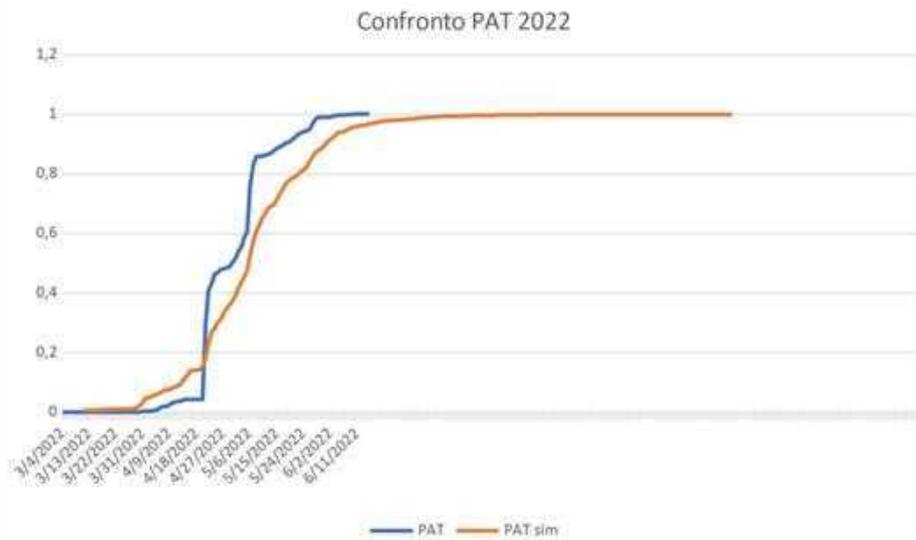


Grafico 3.1.13 confronto tra la curva PAT simulata dal modello (in arancione) e la curva del PAT ottenuta dal monitoraggio ascosporico tramite il captaspore nel 2022



Grafico 3.1.14 confronto tra la curva PAT simulata dal modello (in arancione) e la curva del PAT ottenuta dal monitoraggio ascosporico tramite il captaspore nel 2022

Per valutare in campo le condizioni di infezione da *Venturia pyrina* sono state utilizzate 80 piante spia di pero William.

Le piante sono state precedentemente posizionate in serra nel mese di febbraio questo per avere in anticipo del tessuto sensibile nei confronti della ticchiolatura del pero (Figura 3.1.13).



Figura 3.1.13 piante in vaso varietà William posizionate in serra e utilizzate come piante spia.

Sempre all'interno del pereto biologico della C.A.B.Ter.RA sono state impostate delle parcelle testimoni non trattate nei confronti della ticchiolatura e all'interno di esse venivano posizionate 5 piante in vaso, prima di una pioggia e di altre 5 subito dopo la stessa pioggia, per studiare gli effetti di una pioggia diretta e quelli della "coda" di bagnatura, che segue un evento piovoso (Figura 3.1.14).

Terminate le ore di bagnatura e comunque prima dell'evento piovoso successivo, le 10 piante venivano recuperate e portate in serra.

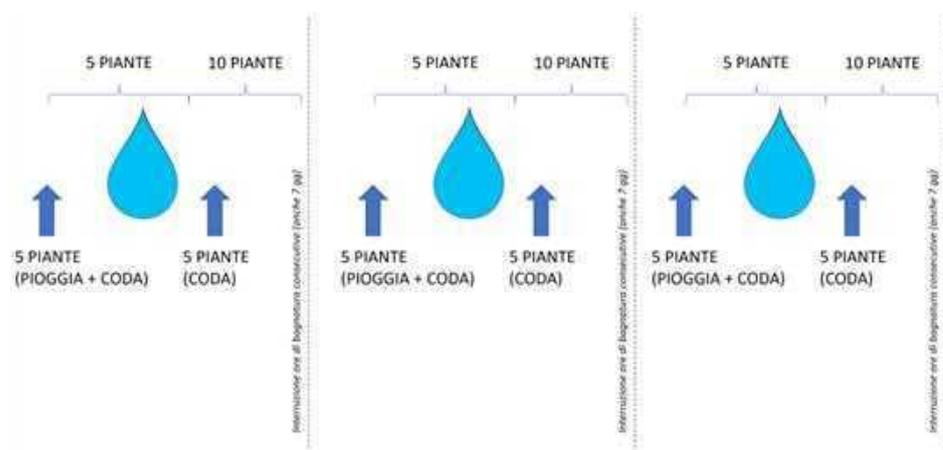


Figura 3.1.14 schema di posizionamento delle piante spia prima e dopo un evento piovoso

Nel 2023 (tabella 3.1.17) si sono verificati 12 eventi piovosi e in 5 di questi sono stati rilevati sintomi ascrivibili alla ticchiolatura del pero sulle foglie delle piante spia. In tabella sono elencati i posizionamenti delle piante spia (pioggia + coda e coda) ed evidenziati in verde i gruppi di piante spia in cui sono stati rilevati sintomi di ticchiolatura del pero.

INSTALLAZIONE PIOGGIA+CODA	RITIRO PIOGGIA+CODA	INSTALLAZIONE CODA	RITIRO CODA
13/03/2023 ore 9	17/03/2023 ore 8	15/03/2023 ore 17	17/03/2023 ore 8
17/03/2023 ore 8	24/03/2023 ore 17	20/03/2023 ore 18	24/03/2023 ore 17
24/03/2023 ore 17	31/03/2023 ore 9:30	27/03/2023 ore 9	31/03/2023 ore 9:30
31/03/2023 ore 9:30	6/04/2023 ore 16	3/04/2023 ore 14	6/04/2023 ore 16
06/04/2023 ore 16	12/04/2023 ore 17:30	11/04/2023 ore 9	12/04/2023 ore 17:30
12/04/2023 ore 17:30	17/04/2023 ore 9	14/04/2023 ore 17	17/04/2023 ore 9
23/04/2023	9/05/2023 ore 9	3/05/2023 ore 9	9/05/2023 ore 9
9/05/2023 ore 9	12/05/2023 ore 14	In questo caso per la vicinanza delle piogge non sono state installate piante di coda.	
12/05/2023 ore 14	15/05/2023 ore 17:30	In questo caso per la vicinanza delle piogge non sono state installate piante di coda.	
15/05/2023 ore 17:30	18/05/2023 ore 16	In questo caso per la vicinanza delle piogge non sono state installate piante di coda.	
18/05/2023 ore 16	24/05/2023 ore 17	In questo caso per la vicinanza delle piogge non sono state installate piante di coda.	

Tabella 3.1.17 schema di posizionamento delle piante spia del 2023. In verde il gruppo di piante spia in cui sono comparsi i sintomi di ticchiolatura del pero

Nell'annata agraria del 2024 (Tabella 3.1.18, fino al 31 marzo, si sono verificati 4 eventi piovosi, di cui 3 infettivi. Infatti, come si evince nella tabella riportata di seguito (date evidenziate in verde), sono stati rilevati sintomi di ticchiolatura del pero sulle piante spia installate prima e dopo una pioggia infettiva.

INSTALLAZIONE PIOGGIA+CODA	RITIRO PIOGGIA+CODA	INSTALLAZIONE CODA	RITIRO CODA
08/03/2024 ore 14:00	14/03/2024 ore 11:00	11/03/2024 ore 8:00	14/03/2024 ore 11:00
18/03/2024 ore 8:30	22/03/2024 ore 16:30	19/03/2024 ore 9:00	22/03/2024 ore 16:30
25/03/2024 ore 8:30	29/03/2024 ore 14:00	28/03/2024 ore 10:30	29/03/2024 ore 14:00
29/03/2024 ore 14:00	09/04/2024 ore 11:00	02/04/2024 ore 11:00	09/04/2024 ore 11:00
09/04/2024 ore 11:00	17/04/2024 ore 12:30	11/04/2024 ore 8:30	17/04/2024 ore 12:30
17/04/2024 ore 12:30	23/04/2024 ore 9:00	18/04/2024 ore 15:30	23/04/2024 ore 9:00

Tabella 3.1.18 schema di posizionamento delle piante spia del 2024. In verde il gruppo di piante spia in cui sono comparsi i sintomi di ticchiolatura del pero

L'analisi della comparsa dei sintomi sui peri in vaso e (figura 3.1.19), in particolare, sulle piante di "coda", che non avevano direttamente subito l'evento piovoso, ma solo gli effetti in termini di umidità e bagnatura, ha evidenziato come per la ticchiolatura del pero possa essere sufficiente anche una bagnatura prolungata, non necessariamente scatenata da un evento piovoso. La comparsa dei sintomi si è verificata infatti anche sulle piante di pero di "coda", cioè posizionate in campo subito dopo un evento piovoso, sia nel 2023 che nel 2024.

Le condizioni di infezione sono state simulate utilizzando la curva di Logan-Lactin funzione della temperatura nelle ore di bagnatura (Grafico 3.1.15, Grafico 3.1.16). Per il calcolo della comparsa dei sintomi è stata utilizzata la funzione riportata nell'articolo di Rossi et al. (2007) per la ticchiolatura del melo. I dati di monitoraggio dimostrano infatti che non ci sono sostanziali differenze nella tempistica di comparsa dei sintomi tra la *V. pyrina* e *V. inaequalis*. Tuttavia, ulteriori rilievi di campo sono necessari per affinare i parametri della funzione.

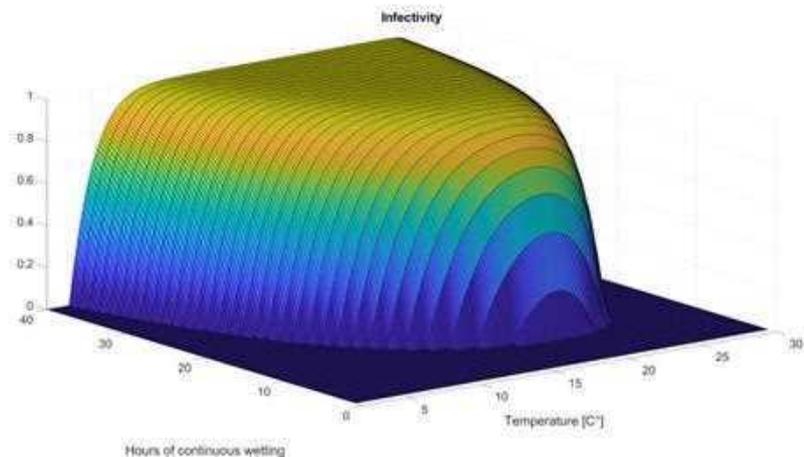


Grafico 3.1.15 Percentuale di infezione in funzione di temperatura e ore di bagnatura.

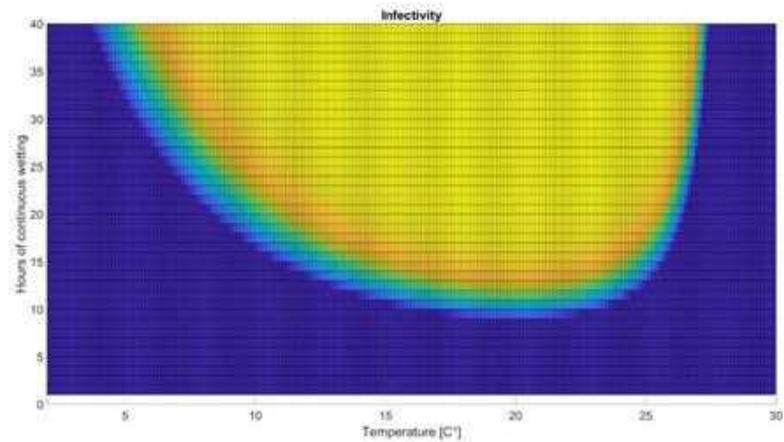


Grafico 3.1.16 Isocurve relative a diversi tassi di infezione in funzione di temperatura e ore di bagnatura; in giallo elevati valori di infettività.



Figura 3.1.19 sintomi di ticchiolatura del pero su foglia su una pianta spia

La stagione 2022 è stata favorevole alla proliferazione della malattia a causa delle abbondanti piogge che hanno caratterizzato il mese di aprile 2022. Il livello di malattia è stato rilevato conteggiando il numero di foglie e frutti colpiti (incidenza) su foglie e 200 frutti. Inoltre, solamente sulle foglie, è stata rilevata la percentuale d'area fogliare colpita dalla malattia.

Il 2 maggio è stato rilevato il 18.8% di foglie colpite con 0.35% di severità e il 45% di frutti colpiti.

Anche il 2023 è stato favorevole all'instaurarsi della malattia grazie alle piogge cadute nella seconda decade di aprile. Infatti sulle parcelle testimoni sono stati rilevati i primi sintomi sia su frutto che su foglia il 7 maggio.

Il 22 maggio 2023 è stato rilevato il 16.7% di foglie colpite con 0.34% di area colpita. I frutti, molto più sensibili rispetto alle foglie, hanno raggiunto un 85% di incidenza.

Nel 2024 la sperimentazione è stata portata avanti fino all'esaurimento ascosporico che scaturiscono le infezioni primarie. A causa delle temperature miti che hanno caratterizzato i mesi di febbraio e marzo si è verificata un'accelerazione della maturazione degli pseudotecii e infatti le prime ascospore mature e pronte per essere rilasciate sono state rilevate il 28 febbraio (Tabella 3.1.13), con circa 10 giorni di anticipo rispetto alla stagione precedente (primi pseudotecii con ascospore mature rilevate l'8 marzo 2023, Tabella 3.1.7).

L'anticipo di maturazione è stato rilevato anche in campo, infatti, già dal 9 aprile 2024 sono stati rilevati sintomi sia su foglia che su frutto.

Al 2 maggio la parcella testimone presentava il 22% di foglie colpite con 1.2% di severità e il 53% di frutti colpiti.

MACULATURA BRUNA

Con riferimento al modello di maculatura bruna sono stati implementati due modelli da utilizzare in combinazione (Montesinos, et al., 1995; Llorente et al., 2011; Giosuè et al., 2006).

La maculatura bruna del pero (BSP), causata dal fungo ascomicete *Stemphylium vesicarium*, è una delle malattie fungine più gravi in grado di causare perdite produttive significative nella maggior parte delle aree di coltivazione del pero europee. Le prime segnalazioni di BSP furono descritte a metà degli anni '70 in Emilia-Romagna (Italia) sulla cv Abate Felte e successivamente la malattia si diffuse rapidamente in Francia, Spagna, Portogallo, Olanda e Belgio. I sintomi della malattia si manifestano dalla fioritura alla raccolta e consistono in lesioni necrotiche su foglie, rametti, piccioli e soprattutto sui frutti che possono essere colpiti per oltre il 90%. Inizialmente le macchie sono circolari e brune e talvolta sono circondate da un alone rosso e possono localizzarsi nella zona del calice o nella zona equatoriale del frutto. Successivamente le macchie possono espandersi a causa dell'invasione di funghi saprofiti che, come *Alternaria* spp., possono portare alla putrefazione. I frutti colpiti non sono commerciabili e l'intensità della malattia dipende dai livelli di inoculo e dalle condizioni ambientali. Come altre malattie fungine, la BSP è caratterizzata da due forme di inoculo: una di tipo sessuale caratterizzata da pseudotecii e ascospore di *Pleospora* alli mentre l'inoculo di tipo asessuale è composto da conidi di *S. vesicarium*. La fase sessuale è responsabile della conservazione del fungo e si svolge durante l'autunno e l'inverno sulla lettiera del frutteto.

Il ciclo della malattia è estremamente complesso a causa della capacità saprofita di *S. vesicarium*. Gli pseudotecii sono stati osservati principalmente sulla lettiera di specie facenti parte alle Poaceae e di Fabaceae e in minima parte su foglie e frutti di pero. Gli pseudotecii crescono solo in presenza di elevata umidità relativa (>98%) con temperature ottimali comprese tra 10 e 15°. Le ascospore vengono espulse dagli pseudotecii dalla pioggia o dalla forte rugiada da febbraio all'inizio di giugno e tra agosto e ottobre. Il ruolo principale delle ascospore disperse nell'ambiente è quello di colonizzare i residui vegetali che fungeranno da fonte primaria per la produzione dei conidi durante la fase di crescita del pero. I conidi infatti rappresentano l'inoculo delle infezioni del pero che causano i danni economicamente più importanti.



Figura 3.1.20 captaspore posizionato nel pereto prova fuori dalla copertura

Proprio per tal motivo i modelli implementati si basano sulla simulazione delle condizioni di sporulazione e di infezione provocate dai conidi di *Stemphylium vesicarium*. I calcoli convenzionalmente iniziano dal 1 aprile di ogni anno. Il DSS messo a punto si basa quindi sull'integrazione di 2 modelli previsionali e consente la stima di:

1. un indice chiamato BSPspor (Brown Spot Prediction for sporulation), che prevede la possibile emissione di spore da parte del patogeno. In particolare si analizza il BSPspor3, calcolato su una finestra temporale di 3 giorni.
2. un indice chiamato BSPcast (Brown Spot Pear foreCASTing system), che prevede se si sono verificate delle condizioni di bagnatura e di temperature idonee all'infezione. Anche in questo caso si considera il BSPcast3 somma mobile degli ultimi 3 giorni di BSPcast. Il BSPcast è un modello di tipo empirico in grado di determinare quando le condizioni ambientali risultano favorevoli per le infezioni di pero da parte di *S. vesicarium* e per lo sviluppo della malattia.
3. un indice di rischio globale, indice combinato di BSPspor3 e BSPcast3, tiene conto sia delle condizioni che influenzano la sporulazione sia delle condizioni climatiche favorevoli all'infezione.

L'indice di rischio globale ha consentito la realizzazione di un widget (Figura 3.1.21) a semaforo di facile interpretazione per l'utente, in grado di evidenziare i momenti di maggior rischio, ossia quando l'indice cumulato BSPCast e l'indice BSPSpor superano i valori di soglia.



Figura 3.1.21 widget semaforico user friendly

Nell'ottica di fornire un'informazione di immediata interpretazione il widget a semaforo è stato costruito sfruttando la seguente logica (figura 3.1.22):

- rischio basso o assente (verde) se entrambi gli indici sono inferiori alla soglia;
- rischio intermedio (giallo) se almeno uno degli indici è borderline o elevato;
- rischio elevato (rosso) se entrambi gli indici sono superiori alla soglia, cioè si verificano le condizioni per la sporulazione e l'infezione.

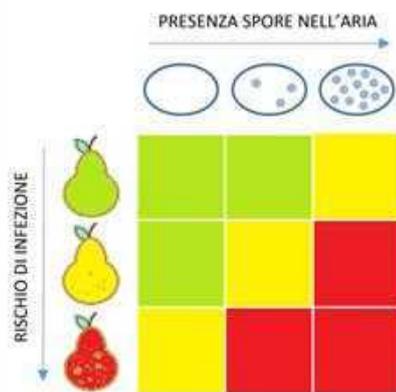


Figura 3.1.22 logica utilizzata per la realizzazione del rischio globale, ottenuto combinando l'indice di rischio infettivo (BSPCast) e l'indice di sporulazione (BSPSpor)

Per valutare il trend dei due indici, cliccando sul widget è possibile visualizzare i grafici correlati anche dei dati di temperatura (Grafico 3.1.15).



Grafico 3.1.17 output del modello maculatura bruna visualizzazione su agronomica 30.it

I dati di monitoraggio sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di un captaspore. Il captaspore è stato posizionato in campo nella parte del pereto fuori dalla copertura il 1 aprile 2023 e il monitoraggio è continuato fino al 12 settembre 2023. Nel grafico 3.1.17 sono riportati il monitoraggio aerobiologico dei conidi di *Stemphylium vesicarium* in relazione alle precipitazioni cadute.

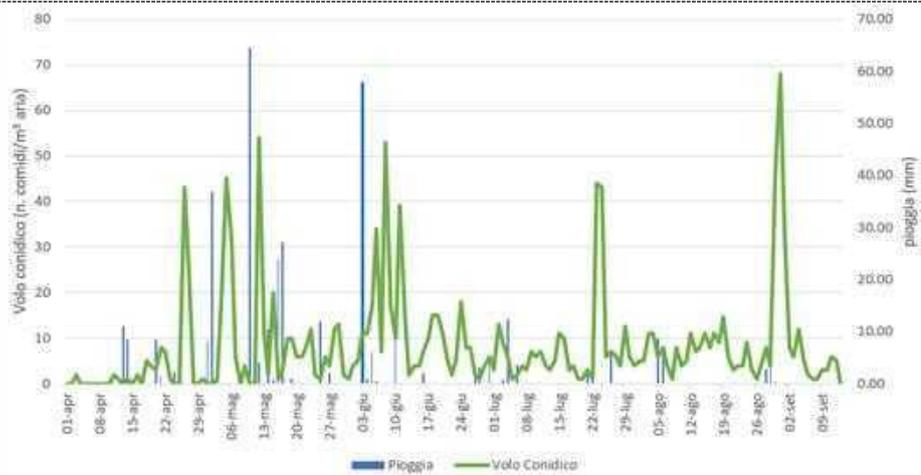


Grafico 3.1.18 Monitoraggio aerobiologico dei conidi di *S. vesicarium* e andamento pluviometrico 2023 a Copparo (RA).

Dal grafico 3.1.18 si nota come la dispersione dei conidi di *S. vesicarium* non avvenga simultaneamente con una pioggia ma anche dopo qualche giorno. Infatti, il volo conidico di *S. vesicarium* avviene soprattutto con prolungate bagnature della lettiera, causata dalla precipitazioni. Questi dati vanno a confermare gli studi di Giosuè et al., 2006.

I voli tra fine aprile e inizio maggio hanno scaturito la comparsa dei primi sintomi su frutto rilevati l'11 maggio (vedi sotto-azione 3.2 pag. 46).

Nel Grafico 3.1.19 invece è riportato il volo conidico in associazione all'indice BSPspor calcolato prendendo i dati meteorologici registrati giornalmente dalla stazione meteo posta fuori dalla copertura.

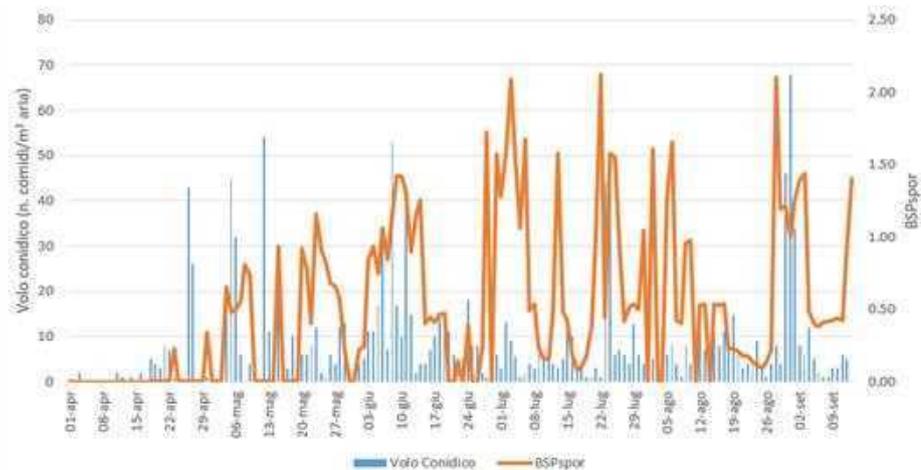


Grafico 3.1.19 Monitoraggio aerobiologico dei conidi di *S. vesicarium* e simulazione del BSPspor.

MODELLI PARASSITI

Con riferimento ai modelli dei parassiti sono stati implementati dei modelli fenologici di popolazioni strutturate in stadi (vedere ad es. Pasquali et al., 2019) già utilizzati, con buoni risultati, anche per altri insetti. Il modello fenologico permette di conoscere la percentuale cumulata di individui presenti in ogni stadio di sviluppo di una popolazione. Gli individui sono caratterizzati da un'età fisiologica che determina la percentuale di sviluppo all'interno di uno stadio.

Il vantaggio del modello fenologico è che, una volta calibrato, richiede solamente dati meteorologici come input per poter simulare la dinamica. Per calibrare il modello sono necessari dati di monitoraggio della popolazione, raccolti in campo con frequenza settimanale o bi-settimanale, per uno o più stadi di sviluppo. Per simulare le dinamiche degli insetti occorre stimare le funzioni dei tassi di sviluppo per ciascuno stadio. Queste funzioni descrivono l'influenza della temperatura sui tempi medi di sviluppo di ciascuno stadio considerato. Le funzioni possono essere stimate utilizzando dati di laboratorio, dove le durate di sviluppo stadio-specifiche vengono misurate utilizzando coorti di individui allevati in cella climatica a determinate temperature costanti.

Nel modello fenologico, viene simulata la fenologia di una popolazione composta da 100 individui (opportunamente distribuiti sull'età fisiologica) che si sviluppano ad una velocità che è dettata dalle funzioni di sviluppo temperatura-dipendenti stadio-specifiche. La simulazione inizia con un numero di 100 individui nello stadio svernante a inizio anno. Lo sviluppo degli individui comporta il loro avanzamento in età fisiologica e, una volta raggiunto il 100% di sviluppo all'interno di uno stadio, il loro trasferimento, attraverso equazioni di flusso, allo stadio successivo. Una volta raggiunto lo stadio riproduttivo, ogni adulto produce un uovo. Vengono così generate 100 uova della successiva generazione che a loro volta si svilupperanno. I processi descritti sono rappresentati nello schema qui sotto riportato (Figura 3.1.23).

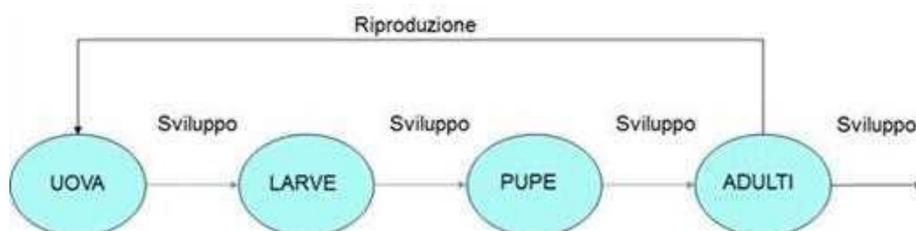


Figura 3.1.23 fenofasi descritte mediante il modello fenologico

Nel modello fenologico la popolazione è sempre pari a 100 individui e il sistema è conservativo.

Oltre alla descrizione della dinamica degli insetti, per carpocapsa è stato studiato il processo di diapausa, che permette agli insetti di superare le condizioni critiche del periodo invernale. In particolare, all'interno del modello è stata descritta la fase di terminazione del periodo di svernamento, simulando l'uscita dalla diapausa.

Per entrambe le specie, il lavoro finalizzato allo sviluppo e all'implementazione dei modelli si è articolato nelle seguenti fasi: i) revisione della letteratura, ii) estrazione dati da letteratura, iii) sviluppo e parametrizzazione dei modelli, iv) monitoraggio in campo per la raccolta di dati di abbondanza, v) calibrazione e validazione dei modelli.

Revisione della letteratura

Scopo della revisione della letteratura è stato quello di ottenere un approfondimento circa le strategie del ciclo di vita delle due specie oggetto di studio, ottenendo elementi fondamentali per lo sviluppo dei modelli: ciclo di vita, voltinismo, ruolo delle variabili abiotiche rispetto alla terminazione del periodo di diapausa, ruolo della temperatura rispetto alle tempistiche di sviluppo stadio-specifiche.

La ricerca della letteratura è stata compiuta tramite i principali motori di ricerca quali Scopus e Google Scholar.

Estrazione dei dati da letteratura

Alcuni articoli sono stati selezionati in quanto riportanti dati fondamentali per descrivere, attraverso delle funzioni, la relazione esistente tra temperatura dell'aria e durata di sviluppo di ciascuno stadio delle specie oggetto di studio.

I dati riguardano le durate medie in ciascuno stadio di individui sottoposti in camera climatica a diverse temperature costanti. Per la carpocapsa sono stati selezionati i seguenti articoli: Aghdam et al., 2009 a, b; Blomefield & Giliomee, 2009. Per la psilla sono stati selezionati i seguenti articoli: Kim, Cho, Jeon, Yiem, & Lee, 2000; Lim, Choi, Lee, Cho, & Song, 2014; McMullen & Jong, 1977; Schaub, Graf, & Butturini, 2005.

Sviluppo e parametrizzazione dei modelli

I modelli sono basati su un sistema di equazioni alle derivate parziali (equazioni di Kolmogorov) guidate da funzioni tasso di sviluppo che descrivono la velocità di sviluppo degli insetti in ciascuno stadio in funzione della temperatura. La soluzione del sistema di equazioni permette di determinare il numero di insetti presenti in ogni stadio a ogni tempo. Oltre alla variabile tempo, è presente anche la variabile età fisiologica che indica la percentuale di sviluppo di un individuo all'interno di uno stadio. L'età fisiologica varia da 0, che indica un individuo appena entrato nello stadio, a età 1, che indica un individuo alla fine della sua vita in quello stadio.

I dati di letteratura raccolti e le informazioni a disposizione hanno consentito di implementare una fine parametrizzazione dei modelli, allo scopo di fornire una rappresentazione realistica e *knowledge-based* del ciclo di vita dei parassiti oggetto di studio.

Monitoraggio in campo per la raccolta di dati di abbondanza

Per la calibrazione del modello carpocapsa è stato effettuato il monitoraggio del volo degli adulti in due differenti impianti di melo:

1. San Bartolo (RA), varietà Golden delicious, coordinate GPS: 44°20'28.70"N 12° 8'55.10"E
2. Ravenna varietà di Golden delicious, coordinate GPS: 44°25'59.0"N 12°11'58.1"E

Per monitorare il volo degli adulti di carpocapsa sono state utilizzate delle trappole modello Delta CM DA COMBO + AA (prodotto da Trecè, distribuite da Certis), costituite da una capsula in gomma naturale (dimensioni 19 x 10 mm) impregnata del feromone della Carpopapsa e dal caimomone a base di estere di pero; oltre all'erogatore è stata aggiunta la capsula con acido acetico. La combinazione di questi 3 attrattivi ha permesso il monitoraggio ottimale non solo dei maschi ma anche delle femmine di Carpopapsa.

Le trappole sono state installate all'interno di una parcella testimone non trattata ad un'altezza di circa 2,5 m dal suolo ad una densità di 2 trappole/ha.

Il controllo delle trappole veniva effettuato settimanalmente e il cambio dei dispenser feromonici e la capsula di acido acetico ogni 8 settimane.

Per la calibrazione del modello della psilla del pero è stato eseguito un monitoraggio puntuale in due diversi siti:

1. Villanova di ravenna (RA), varietà abate, coordinate GPS: 44°23'13.3"N 12°07'27.5"E
2. Copparo (FE), varietà abate, coordinate GPS: 44°54'58.1"N 11°51'27.3"E

I rilievi sono stati eseguiti all'interno di un parcellone testimone non trattato per la difesa nei confronti della psilla di dimensioni di 300 m².

Il protocollo prevedeva il conteggio di uova, neanidi, ninfe ed adulti su 80 getti vigorosi (sono maggiormente scelti dall'adulto per l'ovideposizione) scelti a random. Il monitoraggio è stato effettuato settimanalmente.

Il monitoraggio è iniziato il 1° gennaio ed è terminato il 30 novembre, con la caduta delle foglie del pero.

Calibrazione e validazione dei modelli

I dati collezionati durante la fase di monitoraggio implementata da TERREMERSE sono stati utilizzati per la calibrazione e la validazione dei modelli. La fase di calibrazione riguarda, principalmente, la stima di parametri delle funzioni di sviluppo della generazione svernante, che si ritiene possano essere differenti dalle funzioni di sviluppo delle altre generazioni in quanto soggetti a temperature più rigide. I parametri ottimali sono quelli che consentano la minimizzazione dello scostamento tra curve di emergenza cumulata osservate e simulate. Per carpocapsa sono stati stimati anche parametri legati all'uscita dalla diapausa.

Per la fase di validazione è stato considerato un set di dati indipendente rispetto a quello utilizzato durante la fase di calibrazione. Anche qui è stato misurato lo scostamento tra curve di emergenza cumulata osservate e simulate. I risultati di tale procedura consentono di affermare che i modelli sviluppati permettono di prevedere con accuratezza le tempistiche legate all'inizio dello sfarfallamento e le curve di volo dello stadio adulto delle specie oggetto di studio.

Vediamo ora in dettaglio i modelli sviluppati per carpocapsa e psilla.

CARPOCAPSA

Per carpocapsa vengono considerati 4 stadi di sviluppo: uova, larve, pupe e adulti. La condizione iniziale è di 100 larve, che rappresentano lo stadio svernante di carpocapsa. Rispetto al modello fenologico presentato in Pasquali et al. (2019), per la dinamica di carpocapsa si è tenuto conto del processo di diapausa che permette all'insetto di superare le temperature critiche della stagione invernale. In particolare, sono state descritte le condizioni che sanciscono il termine del periodo di diapausa, la distribuzione in età dello stadio diapausante e le funzioni che descrivono le tempistiche di sviluppo stadio-specifiche della generazione svernante.

Le funzioni di sviluppo, per i vari stadi di carpocapsa, sono descritte dalla funzione di Brière

$$v(T) = aT(T - T_{min})\sqrt{T_{max} - T} \quad T_{min} \leq T \leq T_{max} \quad (1)$$

i cui parametri sono stimati a partire da dati di letteratura sulle durate di sviluppo (Aghdam et al., 2009a e 2009b; Blomefield and Giliomee, 2009). Utilizzando un metodo dei minimi quadrati per la stima dei parametri, si ottengono i valori indicati nella Tabella 3.1.17.

STADIO	<i>a</i>	<i>T_{min}</i>	<i>T_{max}</i>
--------	----------	------------------------	------------------------

$i = 1$ UOVA	0.0001383	9.97	38.32
$i = 2$ LARVE	0.0000354	7.57	37.03
$i = 3$ PUPE	0.000042935	9.31	38.76
$i = 4$ ADULTI	0.00009476	9.65	35.39

Tabella 3.1.17 parametri utilizzati per calcolare le durate di sviluppo delle diverse fenofasi

Per simulare l'uscita dalla diapausa, si assume che le larve diapausanti e le successive pupe abbiano uno sviluppo diverso rispetto a quello delle generazioni successive. Dobbiamo, pertanto, stimare le funzioni di sviluppo delle larve diapausanti e delle pupe che da queste hanno origine.

Supponiamo che le 100 larve iniziali abbiano un'età fisiologica uniformemente distribuita sull'ultimo quarto dell'età fisiologica e che le larve svernanti inizino a svilupparsi quando la temperatura media sugli ultimi 10 giorni supera una soglia T_{diap} . Il metodo di stima prevede di simulare le dinamiche di carpocapsa e di confrontare le abbondanze percentuali cumulate degli adulti con quelle relative ai dati monitorati in campo. In particolare, minimizziamo la somma degli scarti quadratici medi tra le abbondanze percentuali cumulate simulate degli adulti N_{ad} e le abbondanze percentuali cumulate misurate in campo \underline{N}_{ad} con pesi che possono essere diversi per ogni generazione. Indicando con G il numero totale di generazioni di carpocapsa in un anno, con H il numero dei siti utilizzati per la minimizzazione, con w_g il peso attribuito a ogni generazione, con $n_{h,g}$ il numero di osservazioni per la generazione g e il sito h e con $t_{h,j}$ i tempi dei rilievi nel sito h , si vuole minimizzare

$$\sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G \frac{w_g}{n_{h,g}} \sum_{j=1}^{n_{h,g}} [N_{ad}(t_{h,j}) - \underline{N}_{ad}(t_{h,j})]^2 \quad (2)$$

Per la minimizzazione si utilizza la funzione MATLAB `fmincon` che si basa sul metodo dei minimi quadrati.

Per le fasi di calibrazione e validazione, consideriamo i dati relativi agli adulti monitorati in campo per 4 siti: S. Bartolo per gli anni 2021, 2022 e 2023 e Ravenna per l'anno 2022. Utilizziamo i dati raccolti a S. Bartolo nei tre anni 2021, 2022 e 2023 per stimare i parametri delle Brière che descrivono lo sviluppo delle larve in uscita dalla diapausa e lo sviluppo delle pupe successive.

I dati raccolti in campo sono soggetti a incertezza, di conseguenza le curve delle abbondanze percentuali cumulate non sono regolari, questo rischia di compromettere il procedimento di stima dello sviluppo degli individui diapausanti. Pertanto, prima di procedere alla stima, si ritiene utile regolarizzare i dati di abbondanza misurati in campo. Per fare questo, consideriamo i dati raccolti e li suddividiamo in generazioni; per ogni generazione j teniamo solo i dati che seguono un certo andamento e, una volta fissate a zero le abbondanze a inizio e fine generazione, cerchiamo la curva di tipo gamma

$$f_j(t) = a_j(t - t_{0,j})^{\beta_j} e^{-\lambda_j(t-t_{0,j})} I_{0,+\infty}(t - t_{0,j})$$

che meglio li approssima.

Dalle curve ottenute si potranno generare i dati eliminati perché non regolari. Consideriamo i 4 siti e regolarizziamo i dati raccolti.

- S. BARTOLO 2021

Di seguito riportiamo le curve di tipo gamma che approssimano i dati raccolti per le diverse generazioni di carpocapsa nel sito di S. Bartolo nell'anno 2021

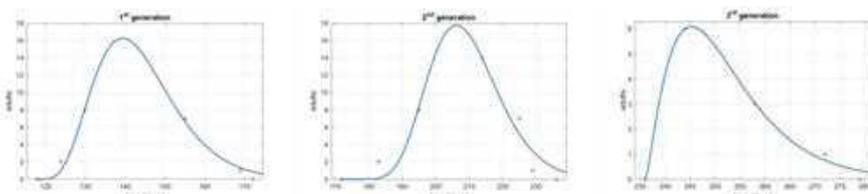


Grafico 3.1.20 curve di tipo gamma delle 3 generazioni di carpocapsa con i dati raccolti nel sito di S. Bartolo nell'anno 2021

Queste curve permettono di regolarizzare i dati raccolti come indicato nel Grafico 3.1.21, dove i pallini blu rappresentano i dati raccolti in campo e gli asterischi rossi i dati regolarizzati.

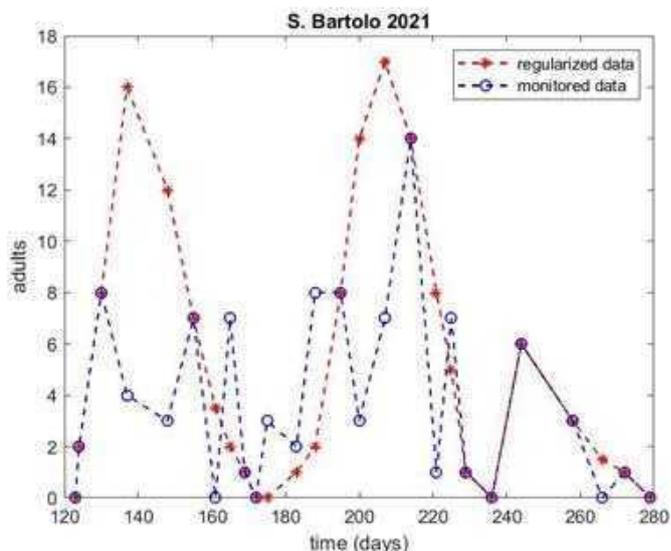


Grafico 3.1.21 regolarizzazione dei dati raccolti. In rosso i dati regolarizzati tramite le curve gamma in figura 3.1.25. In blu i dati di monitoraggio raccolti in campo.

- S. BARTOLO 2022

Di seguito riportiamo le curve di tipo gamma che approssimano i dati raccolti per le diverse generazioni di carpocapsa nel sito di S. Bartolo nell'anno 2022

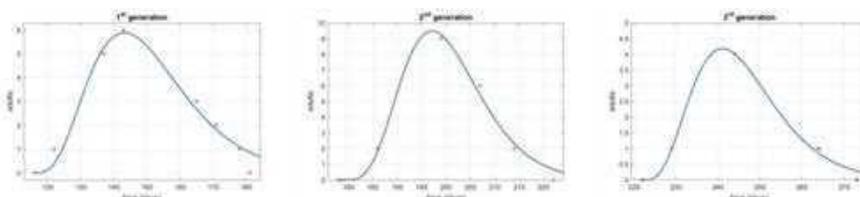


Grafico 3.1.22 curve di tipo gamma delle 3 generazioni di carpocapsa con i dati raccolti nel sito di S. Bartolo nell'anno 2022

Queste curve permettono di regolarizzare i dati raccolti come indicato nella figura seguente, dove i pallini blu rappresentano i dati raccolti in campo e gli asterischi rossi i dati regolarizzati.

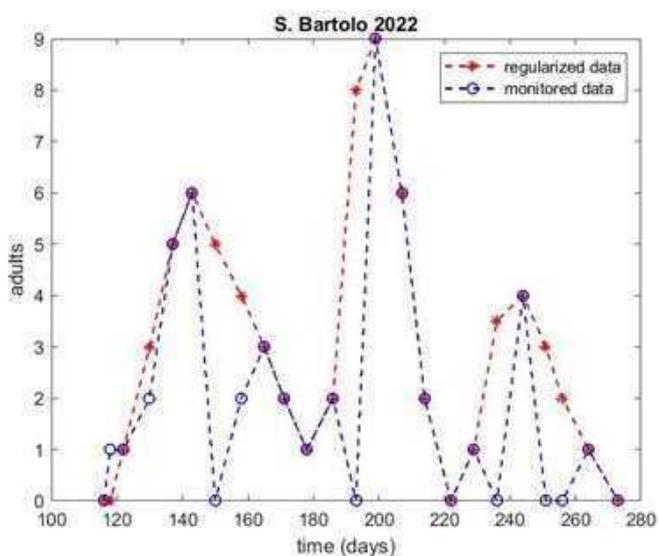


Grafico 3.1.23 regolarizzazione dei dati raccolti. In rosso i dati regolarizzati tramite le curve gamma in Grafico 3.1.22. In blu i dati di monitoraggio raccolti in campo.

- S. BARTOLO 2023

Di seguito riportiamo le curve di tipo gamma che approssimano i dati raccolti per le diverse generazioni di carpocapsa nel sito di S. Bartolo nell'anno 2023

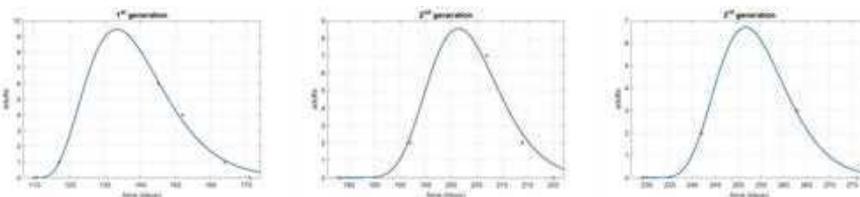


Grafico 3.1.24 curve di tipo gamma delle 3 generazioni di carpocapsa con i dati raccolti nel sito di S. Bartolo nell'anno 2023

Queste curve permettono di regolarizzare i dati raccolti come indicato nella figura seguente, dove i pallini blu rappresentano i dati raccolti in campo e gli asterischi rossi i dati regolarizzati.

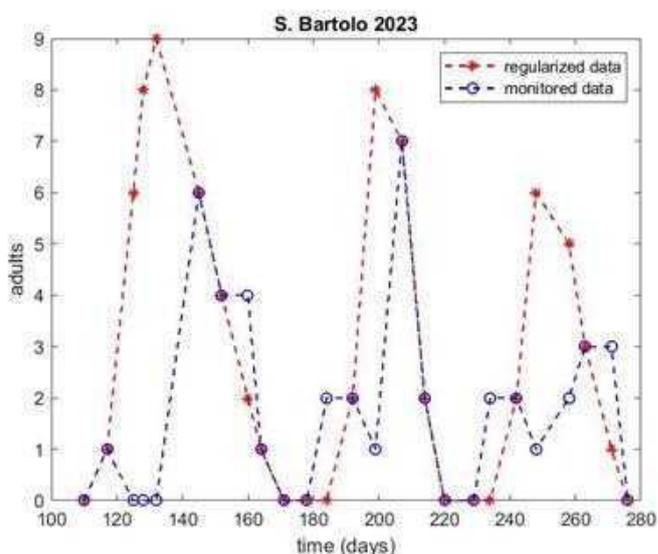


Grafico 3.1.25 regolarizzazione dei dati raccolti. In rosso i dati regolarizzati tramite le curve gamma in Grafico 3.1.24. In blu i dati di monitoraggio raccolti in campo

- RAVENNA 2022

Di seguito riportiamo le curve di tipo gamma che approssimano i dati raccolti per le diverse generazioni di carpocapsa nel sito di Ravenna nell'anno 2022

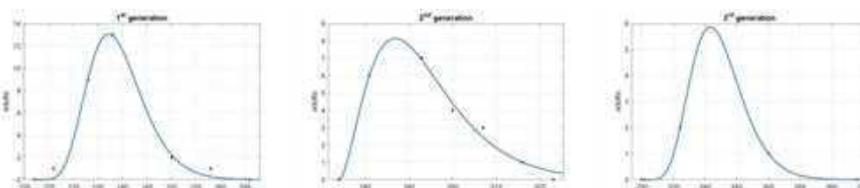


Grafico 3.1.26 curve di tipo gamma delle 3 generazioni di carpocapsa con i dati raccolti nel sito di Ravenna nell'anno 2022

Queste curve permettono di regolarizzare i dati raccolti come indicato nella figura seguente, dove i pallini blu rappresentano i dati raccolti in campo e gli asterischi rossi i dati regolarizzati.

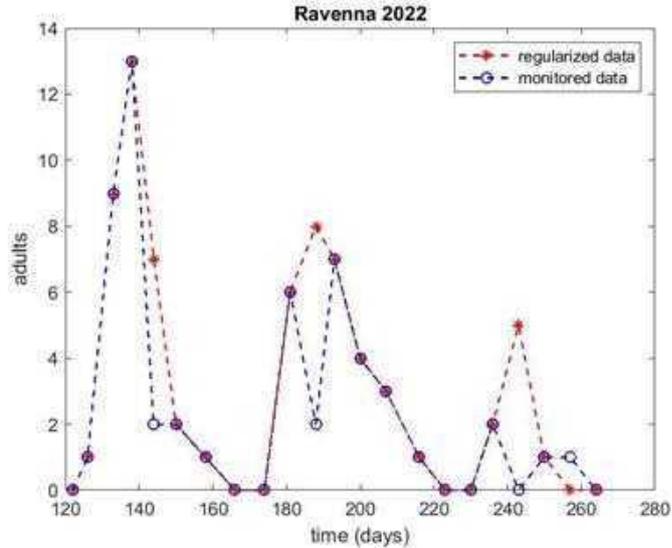


Grafico 3.1.27 regolarizzazione dei dati raccolti. In rosso i dati regolarizzati tramite le curve gamma in Grafico 3.1.26. In blu i dati di monitoraggio raccolti in campo

Utilizziamo i dati regolarizzati a S. Bartolo per gli anni 2021, 2022, 2023 per stimare lo sviluppo delle larve diapausanti e delle pupe generate da esse. Dalle abbondanze monitorate si ricavano le percentuali cumulate di individui per ogni generazione, che vogliamo approssimare con il modello fenologico.

Assegniamo peso uno alla prima generazione di adulti, poiché le larve svernanti confluiscono negli adulti di prima generazione, quindi è importante avere una buona approssimazione della prima generazione per riuscire a descrivere bene il processo di diapausa.

Minimizziamo la (2) per diversi valori di T_{diap} . Il minimo è ottenuto per $T_{diap} = 8$ °C e per le funzioni di sviluppo

$$v^2(T) = 0.00001608 T (T - 6.01)\sqrt{30.02 - T} \quad \text{per le larve diapausanti}$$

$$v^3(T) = 0.00008465 T (T - 8.18)\sqrt{27.6 - T} \quad \text{per le pupe che hanno origine dalle larve diapausanti.}$$

Le dinamiche di popolazione per i 4 siti, ottenute utilizzando gli sviluppi stimati per larve diapausanti e pupe successive e gli sviluppi di Briere con parametri indicati nella tabella più sopra per gli altri stadi, sono rappresentate nelle figure di seguito. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata, mentre gli asterischi rossi rappresentano le percentuali cumulate di adulti ottenute dalle abbondanze di adulti raccolte in campo.

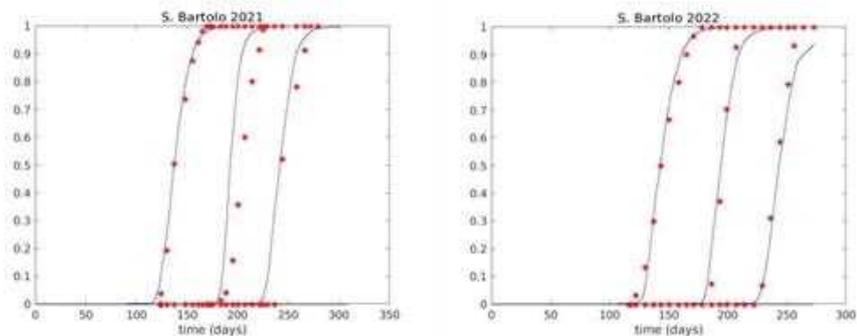


Grafico 3.1.28 dinamiche di popolazione degli adulti di carpocapsa per il sito di S. Bartolo nelle annate 2021 e 2022. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo.

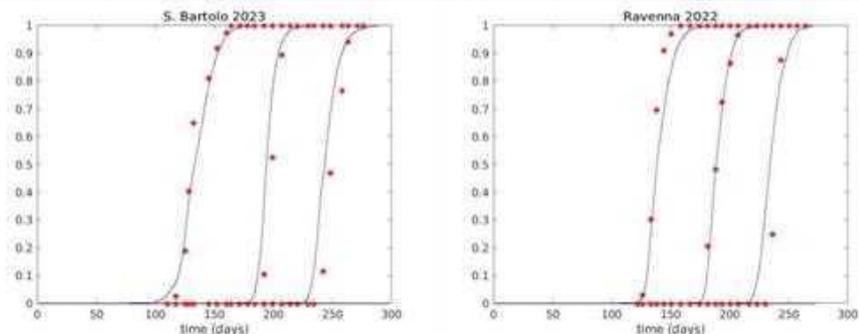


Grafico 3.1.29 dinamiche di popolazione degli adulti di carpocapsa per il sito di S. Bartolo 2023 e Ravenna 2022. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo

Nelle dinamiche ottenute si ha un miglioramento rispetto al caso in cui vengono utilizzate per le larve diapausanti e le pupe da esse generate le stesse funzioni di sviluppo utilizzate per le generazioni successive, come mostrano i grafici seguenti.

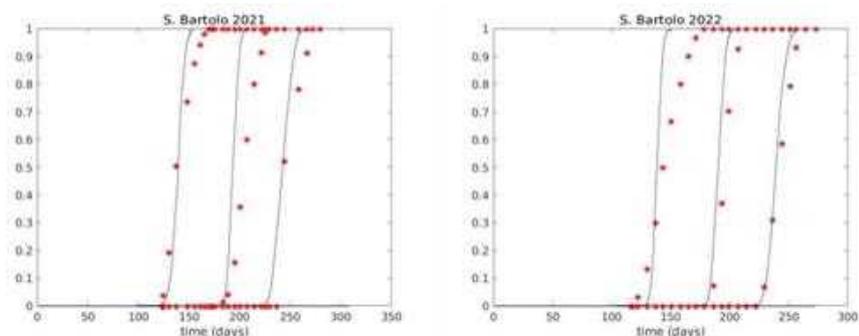


Grafico 3.1.30 dinamiche di popolazione degli adulti di carpocapsa con l'utilizzo con le funzioni di sviluppo per le larve diapausanti e le pupe per il sito di S. Bartolo 2021 e 2022. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo.

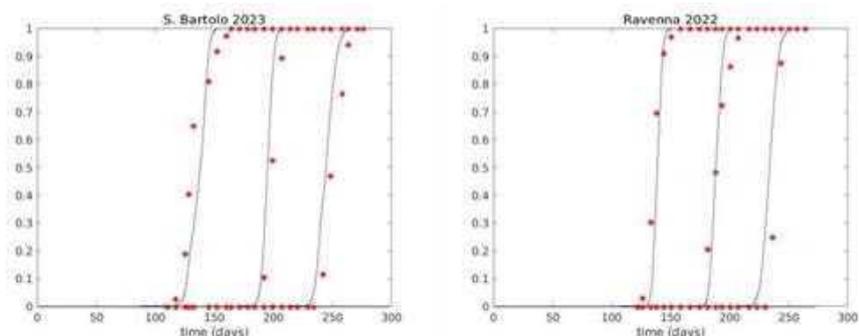


Grafico 3.1.31 dinamiche di popolazione degli adulti di carpocapsa con l'utilizzo con le funzioni di sviluppo per le larve diapausanti e le pupe per il sito di S. Bartolo 2021 e 2022. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo.

Questo indica come sia importante tenere conto del processo di diapausa per simulare le dinamiche.

PSILLA

Per descrivere la dinamica di psilla si utilizza il modello fenologico già utilizzato per carpocapsa. Gli stadi di psilla sono 7: uova, N1, N2, N3, N4, N5, adulti. Tuttavia, per semplicità vengono considerati solo 4 stadi: uova, neanidi (raggruppa N1, N2 e N3), ninfe (raggruppa N4 e N5) e adulti. Le funzioni di sviluppo di questi quattro stadi sono

rappresentate da funzioni di Brière (1) i cui parametri sono stimati a partire da dati di letteratura sulla durata media nei vari stadi: per uova, neanidi e ninfe, si considerano i dati in McMullen and Jong (1977) e in Kim et al. (2000); per gli adulti si considerano i dati in McMullen and Jong (1977). Si utilizza il metodo dei minimi quadrati per la stima dei parametri delle funzioni di Brière e si ottengono i valori riportati nella Tabella 3.1.18 .

	a	T_{min}	T_{max}
$i = 1$ UOVA	0.000067186	0.00014821	37.29
$i = 2$ NEANIDI	0.000053013	0.00005876	35.98
$i = 3$ NINFE	0.000055386	0.00005775	33.29
$i = 4$ ADULTI	0.000035429	6.71	38

Tabella 3.1.18 parametri di sviluppo delle diverse fenofasi della psilla utilizzate per le simulazioni

Di seguito sono rappresentate le funzioni di sviluppo dei quattro stadi considerati per psilla.

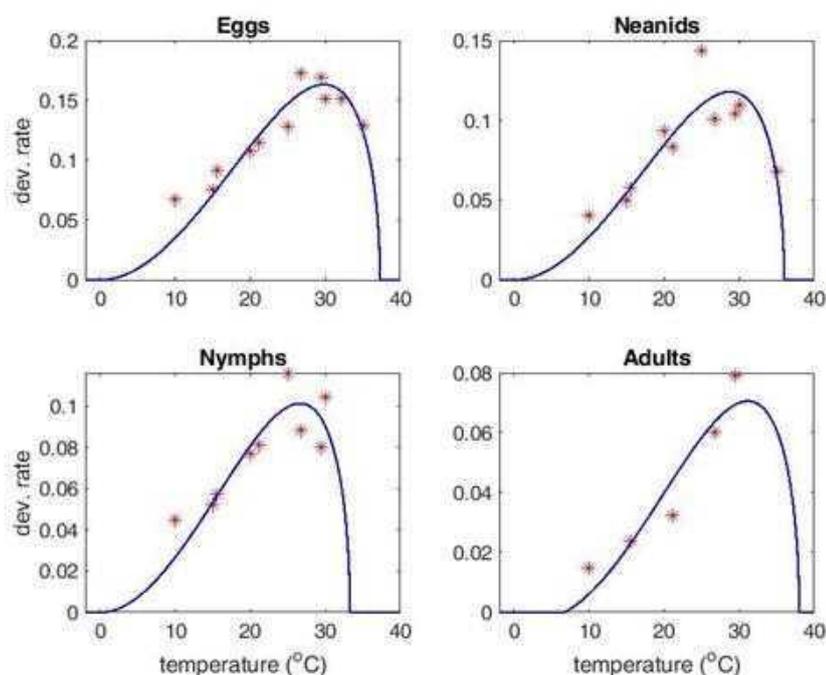


Grafico 3.1.32 Funzioni di sviluppo dei 4 stadi di sviluppo della psilla.

Psilla sverna come adulto, quindi simuliamo le dinamiche di psilla a partire da una condizione iniziale di soli adulti con età fisiologica zero, utilizzando gli sviluppi definiti qui sopra per uova, neanidi, ninfe e adulti. Le simulazioni sono effettuate per due siti in cui sono stati raccolti i dati di abbondanza per i 4 stadi nell'anno 2023: Camerlona e Ferrara. I dati raccolti rappresentano il numero di individui in ciascuno stadio alle date di rilievo, indipendentemente dalla generazione a cui appartengono, e sono rappresentati nelle seguenti figure.

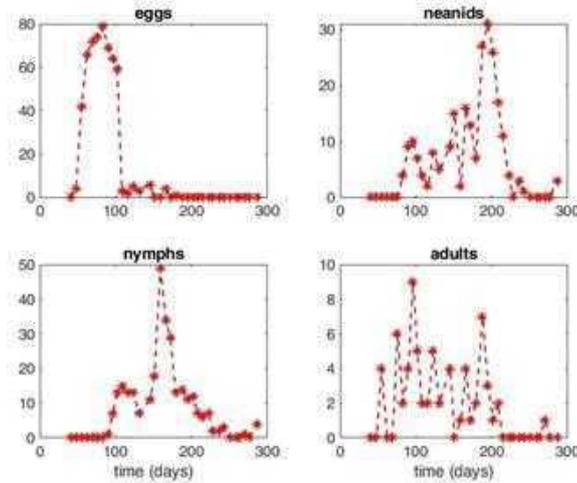


Grafico 3.1.33 dinamiche di popolazione della psilla nel sito sperimentale di Camerlona (RA) nell'anno 2023

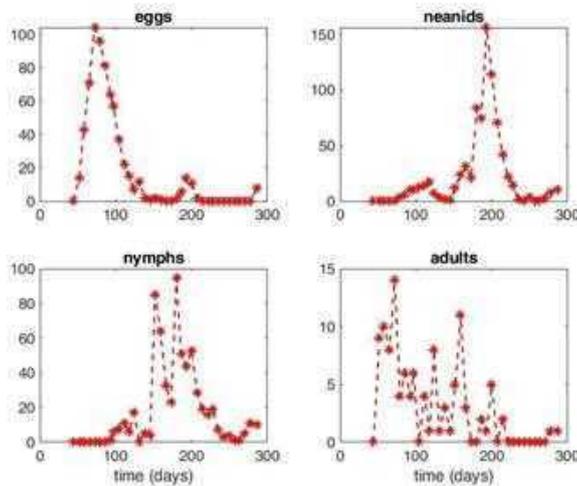


Grafico 3.1.34 dinamiche di popolazione della psilla nel sito sperimentale di Ferrara nell'anno 2023.

Vista l'importanza di conoscere l'impatto delle diverse generazioni nel frutteto, i dati di abbondanza vengono suddivisi in generazioni. Si considerano, poi, le percentuali cumulate di individui per ogni generazione, che vogliamo approssimare con il nostro modello fenologico.

Considerando come condizione iniziale 100 adulti con età fisiologica 0 al primo gennaio 2023, e utilizzando gli sviluppi riportati sopra, le dinamiche simulate non approssimano bene i dati raccolti, in particolare le dinamiche simulate risultano in ritardo, rispetto ai dati osservati. Come nel caso di carpocapsa è, pertanto, necessario considerare sviluppi diversi per gli adulti svernanti che producono le prime uova dell'anno. Procediamo, quindi, con la stima dei parametri della funzione di Brière che rappresenta lo sviluppo degli adulti svernanti. Per stimare i parametri minimizziamo la somma degli scarti quadratici medi tra le percentuali cumulate simulate e osservate

$$\sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G \frac{w_{g,s}}{n_{h,g,s}} \sum_{j=1}^{n_{h,g,s}} [N_s(t_{h,j}) - \underline{N}_s(t_{h,j})]^2$$

dove N_s rappresenta la percentuale cumulata di individui nello stadio s e gli altri simboli hanno significato analogo a quelli della formula (2).

Consideriamo i seguenti pesi: 0.2 per uova, neanidi e ninfe di prima generazione, 0.1 per neanidi e ninfe di seconda e terza generazione e otteniamo la seguente funzione di sviluppo per gli adulti svernanti

$$v^4(T) = 0.0001925 T (T - 9.41) \sqrt{35.15 - T}$$

Nelle figure 3.1.38 e 3.1.39 riportiamo le curve delle dinamiche simulate confrontate con i dati monitorati in campo per i siti di Camerlona e Ferrara per l'anno 2023.

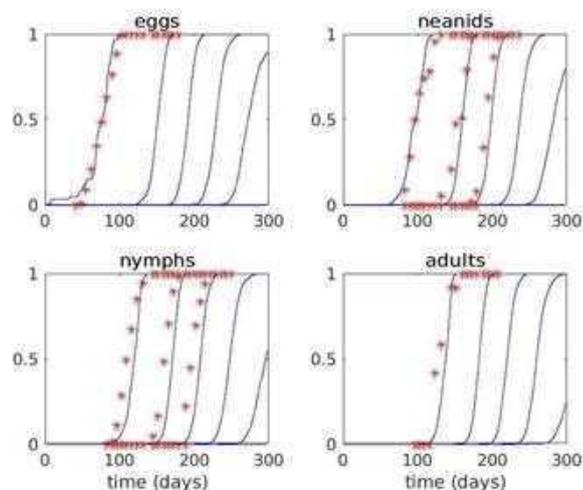


Grafico 3.1.35 dinamiche di popolazione dei 4 stadi fenologici della psilla con l'utilizzo con le funzioni di sviluppo e per il sito di Camerlona (RA) nel 2023. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo.

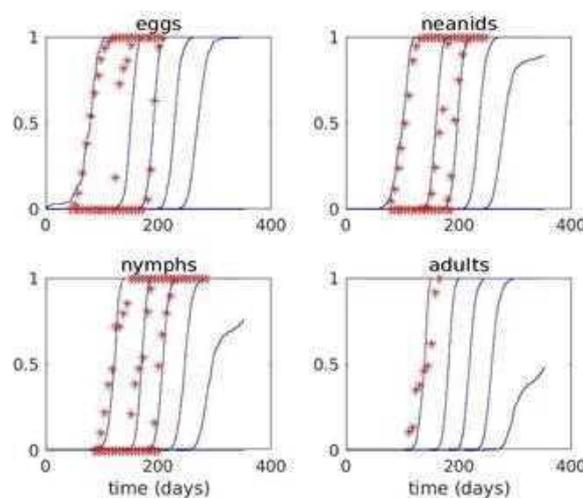


Grafico 3.1.36 dinamiche di popolazione dei 4 stadi fenologici della psilla con l'utilizzo con le funzioni di sviluppo e per il sito di Ferrara nel 2023. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo.

Le curve simulate ben rappresentano l'andamento dei dati raccolti in campo nei due siti di riferimento, nonostante un anticipo nella deposizione delle prime uova di prima generazione. La buona approssimazione delle dinamiche è confermata anche dai dati raccolti nei primi mesi dell'anno corrente nel sito di Ferrara, in cui sono state monitorate le uova e l'inizio delle neanidi. La figura 3.1.40 riporta le dinamiche simulate (con linea continua blu) confrontate con i dati raccolti (asterischi rossi).

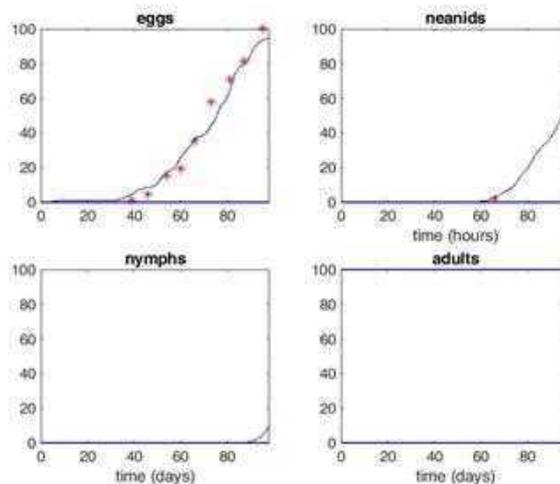


Grafico 3.1.37 dinamiche di popolazione dei 4 stadi fenologici della psilla con l'utilizzo con le funzioni di sviluppo e per il sito di Ferrara nel 2024. La linea blu continua rappresenta la dinamica simulata. Gli asterischi rossi sono le percentuali cumulate ottenute dai rilievi in campo.

La curva simulata della prima generazione di uova ben riproduce l'andamento dei dati di campo, mentre la data di inizio delle neanidi simulata è lievemente in anticipo rispetto al dato monitorato.

Referenze citate

Rossi, V., Salinari, F., Pattori, E., Giosue, S., & Bugiani, R. (2009). Predicting the dynamics of ascospore maturation of *Venturia pirina* based on environmental factors. *Phytopathology*, 99(4), 453-461.

James, J. R., and T. B. Sutton. "Environmental factors influencing pseudothecial development and ascospore maturation of *Venturia inaequalis*." *Phytopathology* 72.8 (1982): 1073-1080.

Stensvand, Arne, et al. "Use of a rainfall frequency threshold to adjust a degree-day model of ascospore maturity of *Venturia inaequalis*." *Plant Disease* 89.2 (2005): 198-202.

Rossi Vittorio, Simona Giosue, and Riccardo Bugiani. "A-scab (Apple-scab), a simulation model for estimating risk of *Venturia inaequalis* primary infections." *EPPO bulletin* 37.2 (2007): 300-308.

Montesinos, E., Moragrega, C., Llorente, I., Vilardell, P., Bonaterra, A., Ponti, I., Bugiani, R., Cavanni, P., Brunelli, A., 1995. Development and evaluation of an infection model for *Stemphylium vesicarium* on pear based on temperature and wetness duration. *Phytopathology* 85: 586-592.

Llorente, I., Vilardell, P., & Montesinos, E. (2011). Evaluation of a revision of the BSPcast decision support system for control of brown spot of pear. *Phytopathologia Mediterranea*, 50(1), 139-149.

Giosuè, S., Rossi, V., Bugiani, R., & Mazzoni, C. (2006). Modelling dynamics of airborne conidia of *Stemphylium vesicarium*, the causal agent of brown spot of pear. *IOBC WPRS BULLETIN*, 29(1), 169.

Aghdam, H. R., Fathipour, Y., Kontodimas, D. C., Radjabi, G., & Rezapanah, M. (2009). Age-Specific Life Table Parameters and Survivorship of an Iranian Population of the Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) at Different Constant Temperatures. *Annals of the Entomological Society of America*, 102(2), 233-240. <https://doi.org/10.1603/008.102.0205>

Aghdam, H. R., Fathipour, Y., Radjabi, G., & Rezapanah, M. (2009). Temperature-Dependent Development and Temperature Thresholds of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Iran. *Environmental Entomology*, 38(3), 885-895. <https://doi.org/10.1603/022.038.0343>

	<p>Blomefield, T. L., & Giliomee, J. H. (2009). Development Rates of the Embryonic and Immature Stages of Codling Moth, <i>Cydia pomonella</i> (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), at Constant and Fluctuating Temperatures. <i>African Entomology</i>, 17(2), 183–191. https://doi.org/10.4001/003.017.0208</p> <p>Kim, D., Cho, M., Jeon, H., Yiem, M., & Lee, J. (2000). Population trends and temperature-dependent development of pear psylla, <i>Cacopsylla pyricola</i> (Foerster)(Homoptera: Psyllidae). <i>Korean Journal of Applied Entomology</i>, 39(2), 73–82.</p> <p>Lim, K. H., Choi, J. H., Lee, H. C., Cho, Y. S., & Song, J. H. (2014). Emergence timing of overwintered adults laid eggs and control effect by eco-friendly materials to <i>Cacopsylla pyricola</i>. <i>XII International Pear Symposium 1094</i>, 443–449.</p> <p>McMullen, R. D., & Jong, C. (1977). Effect of temperature on the developmental rate and fecundity of the pear psylla, <i>Psylla pyricola</i> (Homoptera: Psyllidae). <i>The Canadian Entomologist</i>, 109(2), 165–169.</p> <p>Pasquali, S., Soresina, C., & Gilioli, G. (2019). The effects of fecundity, mortality and distribution of the initial condition in phenological models. <i>Ecological Modelling</i>, 402, 45–58.</p> <p>Schaub, L., Graf, B., & Butturini, A. (2005). Phenological model of pear psylla <i>Cacopsylla pyri</i>. <i>Entomologia experimentalis et applicata</i>, 117(2), 105–111.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Nel corso del progetto sono stati sviluppati i modelli per le principali fitopatie e parassiti del pero, in grado di fornire indicazioni oggettive, basate su dati meteorologici, utili per la scelta della strategia di difesa da adottare.</p> <p>I modelli messi a punto sono stati calibrati su dati raccolti in un periodo di tempo limitato. In linea generale, è noto che per incrementare l'accuratezza e le performance predittive dei modelli matematici di popolazioni sia necessaria una opportuna fase di calibrazione e di validazione degli stessi. La fase di calibrazione permette di parametrizzare il modello ed ottenere delle simulazioni aderenti alle dinamiche osservate tramite monitoraggio. Durante la fase di validazione, le performance del modello, vengono testate, rispetto al monitoraggio in campo, utilizzando dei dataset non precedentemente utilizzati in fase di calibrazione. Una buona calibrazione e validazione dei modelli richiederebbe un set di dati di monitoraggio raccolti in diverse aziende e per almeno 3 annualità e, se possibile, anche in diverse località. In questo modo, è infatti possibile testare i modelli in diverse condizioni micro-climatiche. I tempi ristretti del progetto hanno permesso la raccolta di dati per un periodo di tempo limitato. Per carpocapsa, ticchiolatura e maculatura si disponevano di dati di monitoraggio, raccolti in precedenza rispetto all'attuazione del progetto, che hanno consentito una fine calibrazione e validazione dei modelli. Il monitoraggio della psilla è invece iniziato in concomitanza con l'inizio del progetto e sono stati raccolti dati per una singola annualità. Pertanto, la calibrazione può al momento essere considerata parziale, in tal senso, rappresenta il punto di partenza per una successiva messa a punto del modello. Nonostante tali criticità, i risultati fin qui ottenuti sono molto promettenti per le avversità oggetto di studio.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Nessuna</i></p>

Azione	3) AZIONE DI REALIZZAZIONE DEL PIANO SOTTO-AZIONE 3.2: Realizzazione di impianti di copertura antiacqua per il contenimento della maculatura
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>La sensibilità della varietà di pero Abate Fetel alla maculatura bruna, unitamente alla difficoltà di contenimento della stessa con i fitofarmaci attualmente utilizzabili, ha aperto la strada alla ricerca di tecniche di difesa alternative.</p> <p>Nel Novembre 2022 TERREMERSE ha quindi lavorato alla progettazione di una copertura antiacqua per impedire il passaggio dell'acqua meteorica, al fine di verificare l'effetto dell'assenza di bagnatura fogliare, da imputare alle piogge, sul danno da maculatura.</p> <p>La prova è stata impostata presso l'azienda agricola Rizzi Matteo sita in via Ludovico Ariosto 102,44034 Copparo (FE), Coordinate GPS: 44°54'58.1"N 11°51'27.3"E. Il confronto è stato eseguito effettuando dei rilievi sotto copertura e dei rilievi fuori dalla copertura, dove l'impianto è stato trattato secondo la comune strategia aziendale.</p>  <p>Figura 3.2.1 sito di prova a Ferrara presso l'azienda agricola Rizzi Matteo.</p> <p>Il Progetto di copertura messo a punto ha previsto l'utilizzo di un telo in polietilene occhiellato e stabilizzato ai raggi UV. L'apertura del telo è stata eseguita in modo da coprire il 90% dell'interfila nel periodo compreso tra il post fioritura e la raccolta. Operativamente, un primo sopralluogo ha permesso di valutare l'impianto esistente, costituito da una copertura antigrandine a rete piana e struttura in cemento con sesto 3,8 metri tra le file e 8 metri sulla fila. Al fine di ottenere una superficie oggetto alla prova rappresentativa, la copertura è stata prevista su tre file per una lunghezza di 100 metri. Date le premesse sperimentali e la necessità di adattare la struttura esistente, la realizzazione della copertura (Figura 3.2.2) ha calcolato lo schema progettuale di seguito riportato:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) dato il peso della copertura aggiuntiva e la resistenza al vento della stessa le 3 file sono state ancorate lateralmente installando un'ancora e una fune trasversale in corrispondenza di ogni palo (ogni 8 metri); 2) su ciascuna fila è stata installata una fune in acciaio 30 cm sotto il filo su cui era già installata la rete antigrandine; 3) è stato fissato il telo antipioggia in polietilene alla fune di colmo attraverso l'uso di moschettoni in plastica; 4) su ciascuna fila è stato installato un ulteriore filo in acciaio 80 cm sotto la fune di colmo atto a tensionare ciascuno telino con una pendenza del 15% sufficiente a far defluire al centro dell'interfila l'acqua delle precipitazioni;

5) infine si è provveduto a tensionare la copertura attraverso un sistema di elastici chiamato spyder.

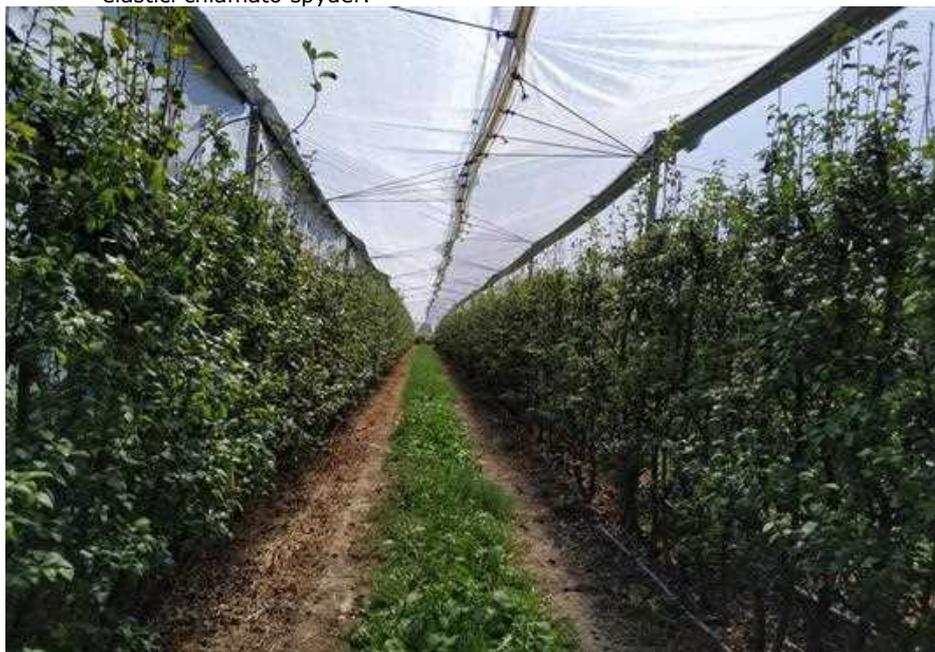


Figura 3.2.2 panoramica dell'installazione del telo antipioggia nel sito sperimentale.

L'installazione e la concomitante apertura della copertura anti-acqua è stata eseguita il 15 Aprile 2023 a Ferrara, in un pereto di Abate Fétel.

Lo stesso giorno è stata anche eseguita l'installazione di sensori sia sotto-copertura che fuori per monitorare gli effetti della copertura sui dati meteo-climatici.

Il protocollo sperimentale prevedeva che venisse effettuata la difesa nei confronti della maculatura bruna solamente nella parte del pereto fuori dalla copertura secondo le pratiche agricole aziendali. Nella parte sotto la copertura non è stato effettuato alcun trattamento nei confronti della fitopatìa.

A causa delle intense precipitazioni che hanno caratterizzato il periodo tra fine aprile e inizio giugno 2023 (son caduti più di 300 mm) sono stati rilevati i primi sintomi di maculatura bruna l'11 maggio sia dentro che fuori la copertura (Figura 3.2.3).



Figura 3.2.3 Primi sintomi di maculatura bruna su frutticino.

il 1° giugno è stato eseguito un primo rilievo per valutare se la copertura potesse ridurre le condizioni ambientali predisponenti per l'instaurarsi della malattia.

Il rilievo è stato eseguito stimando la percentuale di superficie interessata dal patogeno su 200 foglie e 50 frutti in 6 diversi punti (sia sotto la copertura che fuori), ricavando un indice di diffusione (incidenza, % di organi colpiti) e uno di intensità (severità, % di superficie dell'organo interessato dalla malattia).

I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) per $p < 0,05$, utilizzando il test di Duncan's NewMRT per la separazione delle medie, previa opportuna trasformazione statistica dei dati.

Dal rilievo si evince come sia la diffusione che la severità della malattia sia maggiore sotto la copertura (in media 37.5% di foglie colpite con un 1.95% di area fogliare colpita) rispetto ad 11% di incidenza e un 0.24 di severità rilevato su foglie fuori dalla copertura (grafico 3.2.1).

Il dato raccolto fuori dalla copertura differisce in maniera statisticamente significativa rispetto al dato rilevato sotto la copertura.

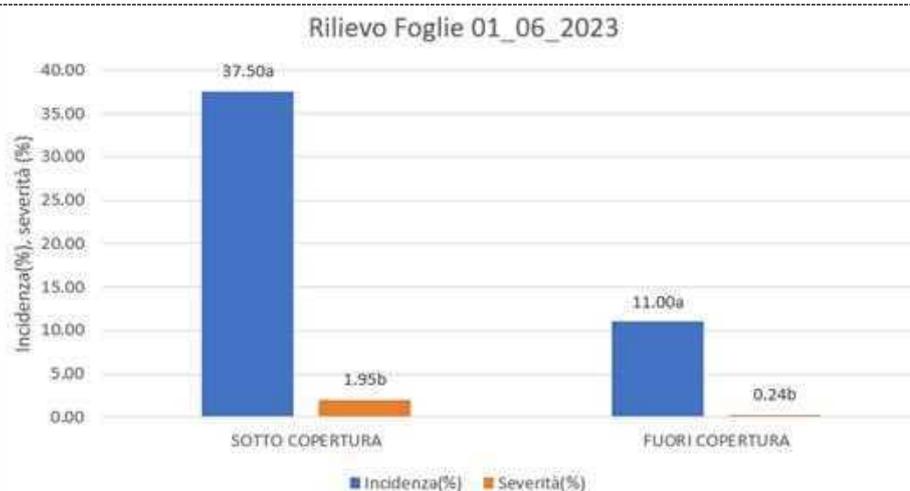


Grafico 3.2.1 livello di diffusione di severità su foglia di maculatura bruna sotto e fuori la copertura al primo rilievo del 01 giugno 2023.

Stesso discorso per quanto riguarda il rilievo eseguito sui frutti (Grafico 3.2.2, Figura 3.2.4): è stato rilevato, in media, un 80% di frutti colpiti sotto la copertura e un 4% di frutti colpiti fuori dalla copertura.

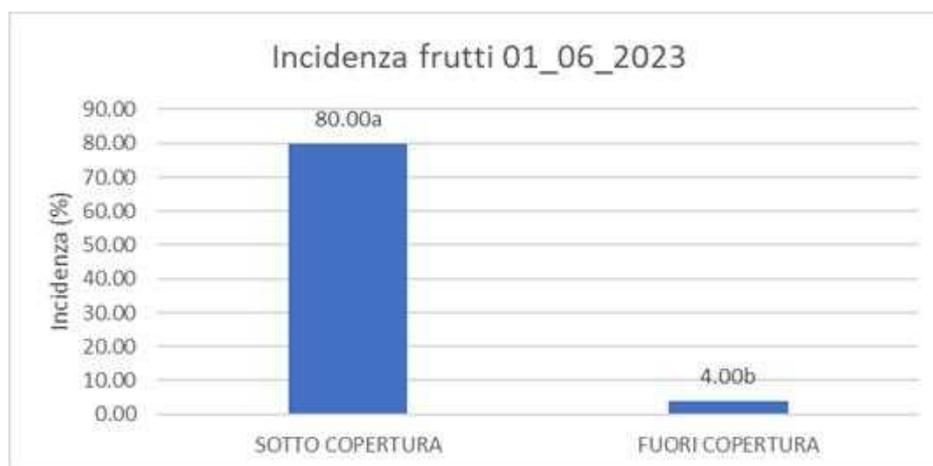


Grafico 3.2.2 livello di diffusione su frutto di maculatura bruna a sotto e fuori la copertura al primo rilievo del 01 giugno 2023.



Figura 3.2.4 sintomi di maculatura bruna su foglia e frutto rilevati il 1 giugno 2023

Molto probabilmente le infiltrazioni d'acqua dovute alle consistenti piogge cadute da fine aprile a inizio giugno hanno causato la dispersione dei conidi di *S. vesicarium* e la copertura non ha permesso l'evaporazione dell'acqua causando intense e prolungate bagnature fogliari innescando molteplici eventi infettivi. Infatti, la stazione meteo sotto la copertura ha registrato 801 ore di bagnature fogliari nel periodo compreso tra il 25 aprile e il 3 di giugno. Nello stesso periodo di tempo la stazione meteo fuori la copertura ne ha registrati 662. Le 139 ore di bagnatura fogliare in più rilevate sotto la copertura hanno creato un ambiente idoneo per la proliferazione della malattia. Inoltre, la simulazione con i dati meteo registrati dai sensori sotto copertura (grafico 3.2.3) mostra come l'indice di sporulazione (BSPspor) e l'indice di rischio infezione (BSPcast) siano già alti a partire dalla seconda metà di aprile.

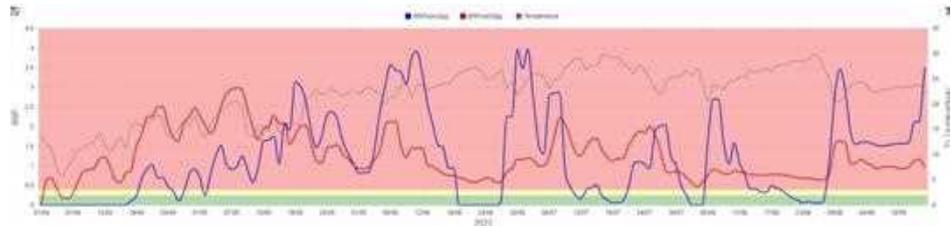


Grafico 3.2.3 *output* del modello previsionale della maculatura bruna utilizzando i dati meteo registrati sotto copertura.

Invece, la simulazione effettuata con i dati meteo registrati fuori dalla copertura (grafico 3.2.4) evidenzia un rischio alto di BSPcast evidenzia e un rischio mediamente più basso di BSPspor, rispetto alla simulazione con i dati meteo sotto copertura.

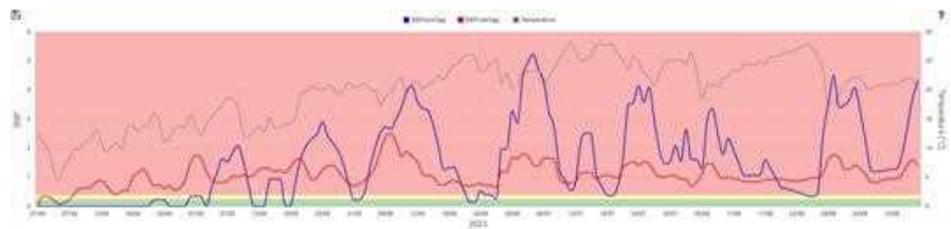


Grafico 3.2.4 *output* del modello previsionale della maculatura bruna utilizzando i dati meteo registrati fuori copertura.

Per ridurre le infiltrazioni d'acqua che causano un aumento delle ore di bagnatura fogliare e l'umidità relativa all'interno della copertura, il 15 giugno, è stata prevista l'installazione di un cupolino per limitare le infiltrazioni d'acqua piovana tra il telo e la fune di colmo.

L'alta incidenza di maculatura bruna rilevata sotto la copertura ha reso impossibile valutare l'effetto del cupolino. Per tale motivo, il 22 giugno 2023 sono state installate 20 piante spia senza sintomi di maculatura bruna (figura 3.2.5), 10 all'interno della copertura e 10 fuori dalla copertura che successivamente sono state monitorate per valutare il livello di malattia.



Figura 3.2.5 Installazione in campo delle piante spia. 10 piante spia sono state poste sotto la copertura e le restanti 10 fuori dalla copertura.

Il 5 luglio 2023 è stato eseguito un primo rilievo su 20 foglie per pianta spia (Grafico 3.2.5), per valutare la diffusione e la severità della maculatura bruna sulle piante spia poste sotto e fuori la copertura.

Sulle piante spia installate sotto la copertura è stato rilevato, in media, il 42% di incidenza di foglie colpite e l'8.5% di severità.

Nelle piante spia installate fuori la copertura è stato rilevato, in media, l'1.35% di incidenza di foglie colpite con lo 0.19% di area fogliare colpita.



Grafico 3.2.5 livello di diffusione di severità su foglia di maculatura bruna sulle piante spia posizionate sotto e fuori la copertura rilevato il 5 luglio 2023.

Infine, è stato eseguito un secondo rilievo il 23 agosto, che ha confermato i dati del rilievo precedente (Grafico 3.2.6).

Nelle piante spia poste sotto la copertura l'incidenza delle foglie colpite è aumentata al 55.7% con una percentuale di area fogliare colpita del 61.3%.

Le piante spia installate fuori dalla copertura presentavano il 6.9% di incidenza di foglie colpite con il 3.1% di severità di malattia.



Grafico 3.2.6 livello di diffusione di severità su foglia di maculatura bruna sulle piante spia posizionate sotto e fuori la copertura rilevato il 23 agosto 2023.

Nonostante questo ulteriore aggiustamento i livelli di bagnatura fogliare e umidità relativa si sono mantenuti elevati per il resto della stagione vegetativa.

I dati sono anche confermati dalle simulazioni con i dati meteo registrati sotto copertura: anche se c'è stata una riduzione del BSPspor tra la seconda metà e la fine di giugno (Grafico 3.2.7) e successivamente anche nella seconda decade di luglio e tra il 14 e il 27 agosto 2023 (Grafico 3.2.8), il cupolino installato non è stato sufficiente a contenere le infiltrazioni d'acqua. Infatti, da fine giugno fino a fine agosto sono presenti diversi picchi dell'indice BSPspor causati da prolungate bagnature fogliari.

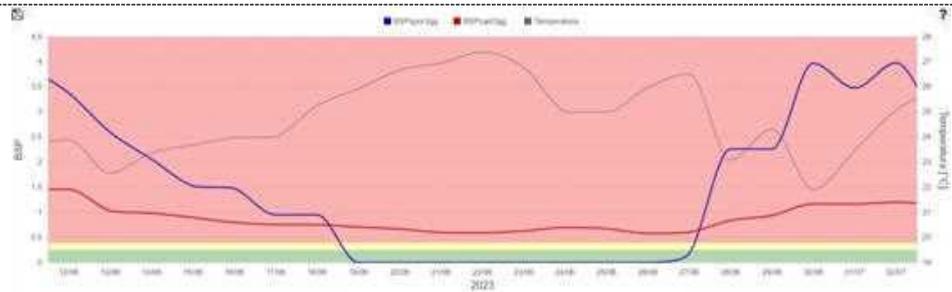


Grafico 3.2.7 *output* del modello previsionale della maculatura bruna utilizzando i dati meteo registrati sotto copertura con un *focus* su giugno 2023



Grafico 3.2.8 *output* del modello previsionale della maculatura bruna utilizzando i dati meteo registrati sotto copertura con un *focus* su luglio e agosto 2023

Infine, il 23 agosto, è stato eseguito un ultimo rilievo sui frutti (Grafico 3.2.98) per valutare la diffusione e la severità di malattia sia sotto che fuori la copertura. Ancora una volta i dati confermano che sotto la copertura la malattia ha una diffusione e una percentuale di area colpita maggiore, differenziandosi statisticamente rispetto fuori dalla copertura.

Sotto la copertura è stato rilevato l'80% di incidenza con il 10.80% di severità. Fuori dalla copertura invece, è stato rilevato il 55% di incidenza e il 5.55% di severità. Si noti comunque che fuori dalla copertura erano stati eseguiti 18 trattamenti fungicidi, mentre sotto la copertura non è stato eseguito alcun trattamento nei confronti della maculatura bruna.

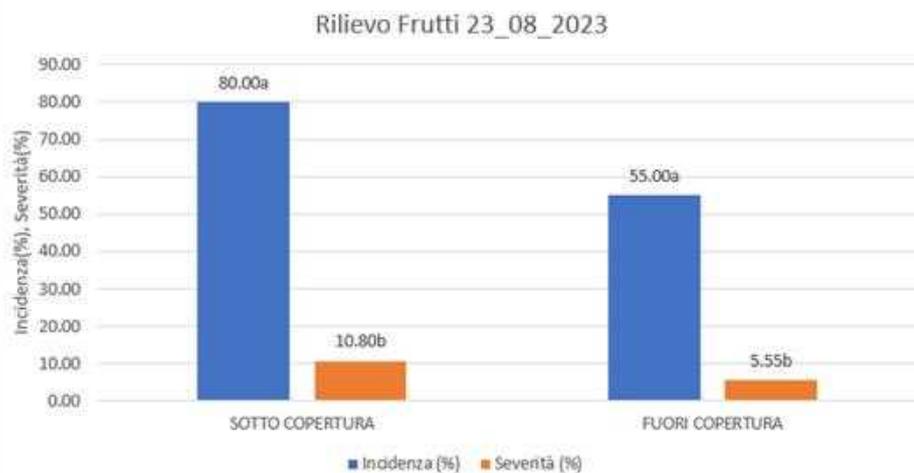


Grafico 3.2.9 livello di diffusione su frutto di maculatura bruna a sotto e fuori la copertura al primo rilievo del 23 agosto 2023.

Tuttavia la sinergia tra l'impianto di copertura e l'irrigazione di precisione effettuata mediante l'utilizzo di sensoristica IOT ha permesso un incremento della produzione del 55%, come evidenziato nei risultati della sotto-azione 3.3.



Figura 3.2.7 evidenti sintomi di maculatura bruna su frutto fuori copertura rilevanti durante l'ultimo rilievo eseguito il 23 agosto 2023.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività

Ad oggi, al meglio delle nostre conoscenze, non sono state eseguite prove di contenimento della maculatura tramite impianti di copertura anti-acqua. Nel presente Progetto, come previsto, è stata effettuata la progettazione dell'impianto nel 2022 e, nella stagione 2023, la valutazione della copertura nel contenimento della maculatura bruna. I teli hanno ridotto in modo significativo il passaggio dell'acqua sulla fila, tuttavia il passaggio di acqua nell'interfila, alimentato anche da una stagione estremamente piovosa, non ha consentito una riduzione della bagnatura. Sotto la copertura si sono registrati valori più elevati di umidità relativa che si sono riflessi in un prolungamento delle ore di bagnatura fogliare rispetto alla parte scoperta. In termini di effetti microclimatici la copertura con telo in polietilene ha ridotto

	<p>significativamente la bagnatura diretta dovuta all'acqua meteorica ma ha incrementato le bagnature dovute all'effetto serra instauratosi sotto la stessa. Si evidenzia tuttavia l'entità degli eventi meteorici (precipitazioni a carattere anche temporalesco) che si sono susseguiti, in particolar modo, nel mese di maggio (>300 mm). Le criticità della copertura sopra descritte, unitamente alle precipitazioni eccezionali, hanno favorito l'instaurarsi e il protrarsi di condizioni predisponenti alla diffusione della malattia.</p>
Attività ancora da realizzare	<i>Nessuna</i>

Azione	<p>3) AZIONE DI REALIZZAZIONE DEL PIANO SOTTO-AZIONE 3.3: Implementazione di strategie innovative per la realizzazione della gestione idrica</p>
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>La gestione efficiente e sostenibile dell'acqua costituisce uno degli obiettivi chiave della Politica Agricola Comune (PAC). Molte sono state le misure implementate negli ultimi anni, tuttavia, parafrasando le parole di Joëlle Elvinger, Membro della Corte dei conti europea, le politiche dell'UE non sono state abbastanza efficaci nel ridurre l'impatto dell'agricoltura sull'acqua, risorsa naturale da salvaguardare, preziosa per la vita e da cui dipende il futuro dell'agricoltura stessa.</p> <p>Nell'ambito del Progetto INNOVASPRING è stato effettuato un monitoraggio dell'umidità del suolo con l'obiettivo di razionalizzare la gestione idrica. È stata effettuata un'analisi tecnica delle caratteristiche dell'impianto irriguo esistente, delle proprietà idrauliche del terreno, dello stato fisiologico della coltura e della tecnica adottata sia per l'impianto a Ravenna che a Ferrara. Il sensore di crescita diametrico (o dendrometro) ha consentito la misura micrometrica delle variazioni del diametro del tronco e la valutazione del flusso xilematico della pianta (Figura 3.3.1).</p>

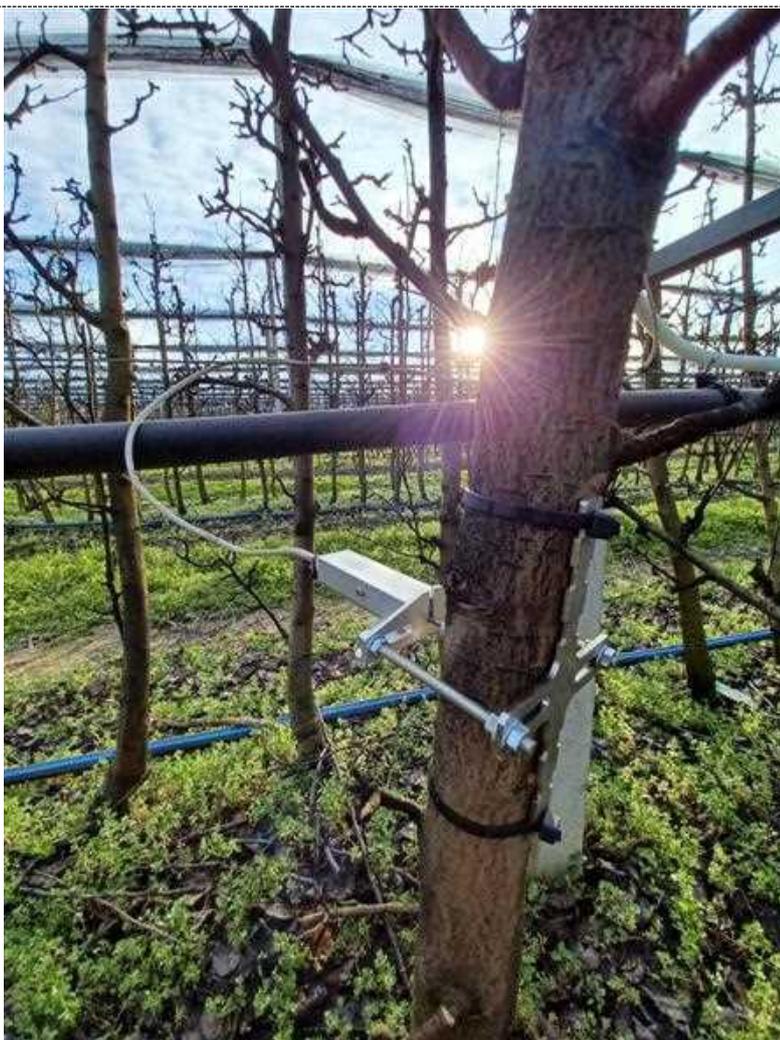


Figura 3.3.1 Particolare del dendrometro installato nel campo sperimentale di Ferrara

A Ravenna il pereto preso in esame predisponeva di un impianto microirriguo a goccia con ala gocciolante autocompensante spaziata 75 cm e con gocciolatori da 2,2 l/h appesa su filo all'altezza di 70 cm. L'impianto irriguo, alimentato da un'elettropompa sotto autoclave, era inoltre suddiviso in 2 settori automatizzati attraverso l'ausilio di idrovalvole e attuatori programmabili attraverso smartphone. La presenza di 2 settori gestibili separatamente ha permesso di monitorare la strategia irrigua aziendale (testimone), e applicare una strategia basata sulla stima dell'assorbimento radicale (tesi 1). In entrambi i settori è stato installato un punto di monitoraggio costituito da 2 sensori di umidità e temperatura del terreno alla profondità di 15 e 30 cm. Nel testimone i sensori hanno permesso di registrare gli apporti irrigui effettuati dall'azienda empiricamente mentre la coppia di sensori installata nella tesi 1 ha guidato la strategia irrigua supportando la scelta del turno e del volume irriguo. L'analisi delle caratteristiche fisiche del terreno (tessitura e contenuto di sostanza organica) hanno permesso di individuare le proprietà idrauliche mediante l'uso di funzioni pedotransfer. Nel dettaglio, per quanto concerne il sito di Ravenna è stato possibile definire capacità di campo (33%), punto di appassimento (10%) e acqua facilmente disponibile (12%). Quest'ultimo dato definisce il limite inferiore del range ottimale (evidenziato nel grafico 3.3.1) in termini di contenuto idrico del suolo per ogni specifica coltura.

La prova è stata eseguita su 3.11 ha:

- **TESI 1** (2.43 ha), irrigazione di precisione basata sull'utilizzo della sensoristica;
- **TESTIMONE** (0.68 ha), irrigazione empirica basata sulla strategia aziendale.

Sia nella TESI 1 che nel TESTIMONE sono stati installati dei sensori del suolo per consentire un'analisi dei risultati.

Come evidenziato nel Grafico 3.3.1, il TESTIMONE irrigato sulla base della strategia seguita dall'azienda è stato sottoposto ad un ripetuto stress da eccesso idrico: entrambe le curve di umidità del terreno, infatti, sia ad una profondità di 15 cm sia di 30 cm, si trovano in fascia gialla. Con la TESI 1, si è adottata una strategia di precisione tale da mantenere in fascia verde l'umidità più "superficiale" ad una profondità di 15 cm, limitando l'eccesso idrico alla profondità di 30 cm. In particolare, la strategia irrigua applicata ha previsto il mantenimento del range ottimale nelle fasi di moltiplicazione cellulare (25 giugno - 15 luglio) e nella fase di ingrossamento (31 luglio - 20 agosto) riducendo successivamente l'irrigazione fino ad arrestarla 3 giorni prima della raccolta.

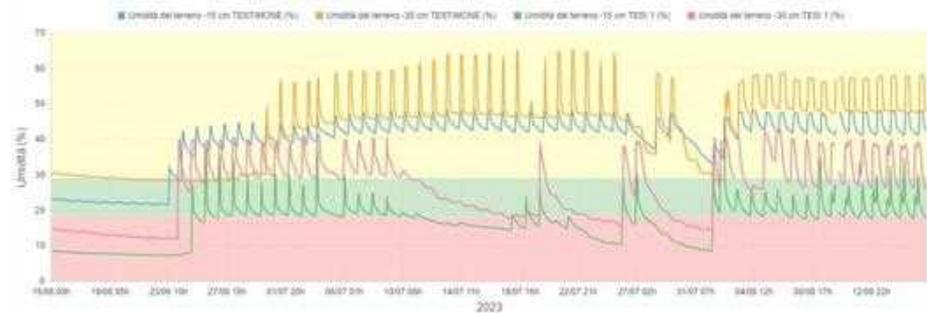


Grafico 3.3.1 Umidità del suolo rilevata alle profondità di 15 cm e 30 cm nella TESI 1 e nel TESTIMONE

A causa di gelate primaverili, forte alternanza dell'impianto e grossi problemi di ticchiolatura e di diversi insetti infestanti (contarinia del pero, afidi e metcalfa) molte piante avevano pochi frutti e quest'ultimi non erano idonei per il consumo fresco. Per tale motivo si è deciso di effettuare il rilievo di produzione raccogliendo tutti i frutti (scendi pianta) su 10 piante precedentemente selezionate e cariche di frutti. La raccolta dei frutti e il rilievo di produzione è stato eseguito il 16 agosto 2024.

Dai risultati rappresentati nel Grafico 3.3.2 emerge che la produzione nella TESI 1 ha ottenuto una produzione di circa 88.9 q/ha differenziandosi statisticamente rispetto al TESTIMONE ottenendo 57.3 q/ha.

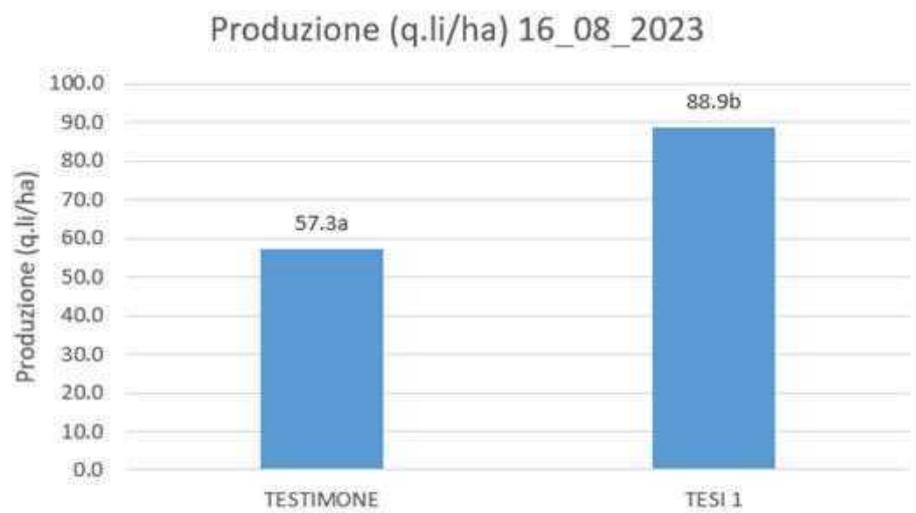


Grafico 3.3.2 rilievo di produzione eseguito il 16 agosto 2023.

L'analisi dei risultati ha evidenziato come l'utilizzo della sensoristica e dei dati interpretati utilizzando la piattaforma Agronomica consenta di ottenere un incremento di produzione del 55% a fronte di un risparmio d'acqua del 23% (**Grafico 3.3.2**).

Per ogni pianta sono stati selezionati 4 frutti per svolgere le analisi qualitative: penetrometro (pressione esercitata sul frutto, espresso in kg/cm²), contenuto di zuccheri (espressa in gradi Brix) e sostanza secca (%).

Su due frutti è stata effettuata l'analisi del penetrometro attraverso un penetrometro digitale (modello 53205, turoni) con un puntale di 8 mm e la determinazione del contenuto di zuccheri è stata eseguita attraverso un rifrattometro (modello 53007 PAL-1).

I dati ottenuti dall'analisi del penetrometro (grafico 3.3.3= non evidenziano differenze statisticamente significative. Dal punto di vista numerico la tesi irrigazione smart ha ottenuto un valore più alto (8.8 kg/cm²) rispetto agli 8.5 (kg/cm²) della tesi irrigazione aziendale.

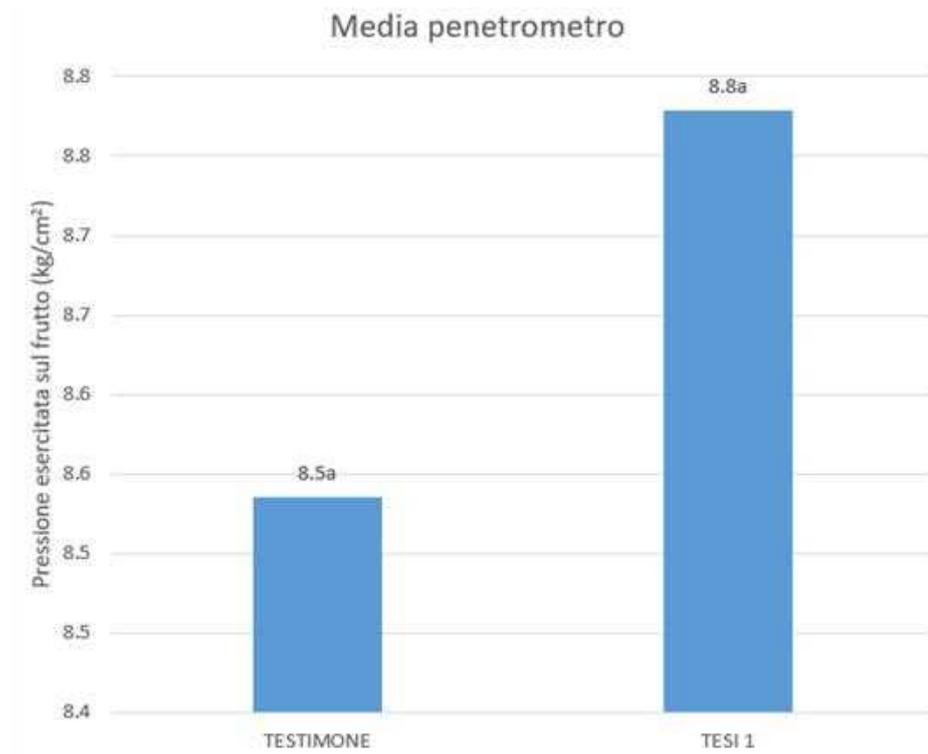


Grafico 3.3.3 Analisi penetrometro

Anche per il contenuto di zuccheri (Grafico 3.3.4) non si evidenziano differenze significative per le tesi in prova.

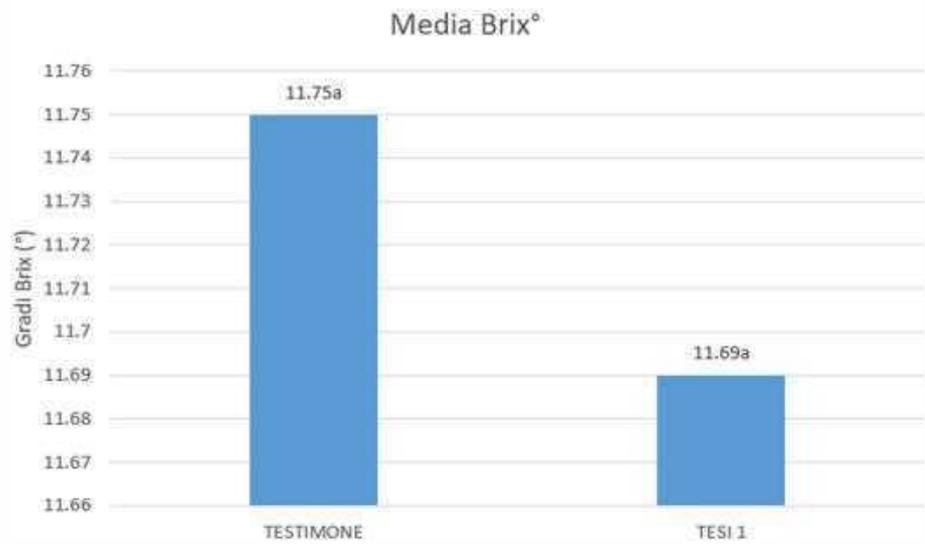


Grafico 3.3.4 analisi contenuto zuccherino

I rimanenti frutti sono stati tagliati in fette sottili, pesati ed adagiati su teglie in alluminio e posizionati all'interno di una stufa ad aria termoregolata a $70^{\circ}\text{C} \pm 2$ per 24 ore. Dopo le 24 ore si è proceduto al peso dei campioni dopo l'essiccazione e attraverso la seguente formula è stato calcolato, in percentuale, il residuo secco o sostanza secca:

Il residuo secco o sostanza secca R_s , espresso in percentuale arrotondato alla seconda cifra decimale, è dato da

$$R_s = \frac{100(c - a)}{(b - a)} \%$$

dove:

a = peso della capsula vuota

b = peso della capsula con il prodotto prima dell'essiccamento

c = peso della capsula con il prodotto dopo l'essiccamento

Dai dati rappresentati nel grafico 3.3.5 emerge come la percentuale di sostanza secca sia maggiore nella tesi irrigazione Smart, dove si raggiunge un valore pari a 18.8% differenziandosi statisticamente rispetto alla tesi irrigazione aziendale (17.62%).

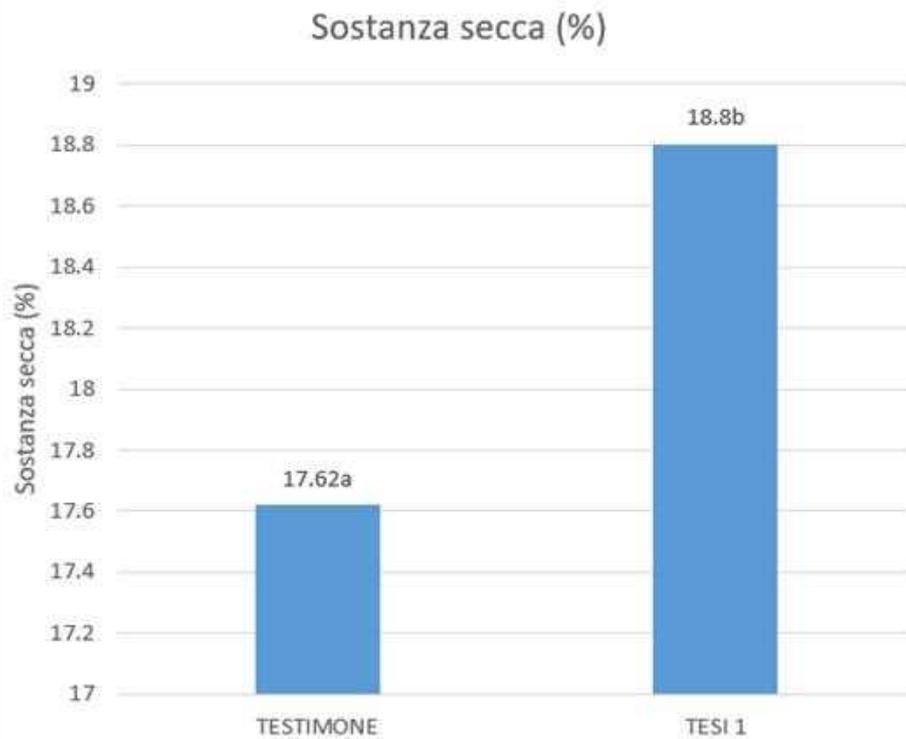


Grafico 3.3.5 analisi sostanza secca

L'irrigazione di precisione (TESI 1) ha permesso un incremento della sostanza secca del 4% a fronte del medesimo °Brix ottenuto seguendo la strategia aziendale (TESTIMONE).



Figura 3.3.2 Produzione di pero William, TESI 1

A Ferrara il pereto preso in esame disponeva di un impianto microirriguo ad aspersione sottochioma costituito da spruzzatori non autocompensanti installati ogni 3 metri su tubo in polietilene appeso a 40 cm di altezza. L'impianto irriguo, alimentato da motopompa, non disponeva di idrovalvole di settore ma solamente di valvole di partenza su ciascuna fila. A scopo sperimentale sulle 3 oggetto di prova sono state installate linee gocciolanti doppie con spaziatura di 50 cm tra gli erogatori e portata di 3,8 litri. Questo ha permesso di uniformare il sistema irriguo nei due siti sperimentali ed eliminare eventuali interazioni dell'irrigazione sottochioma con la difesa fitosanitaria. Non potendo differenziare l'irrigazione all'interno delle 3 file tra parte coperta e parte fuori copertura e valutato il potenziale produttivo assai basso a causa delle gelate primaverili, si è deciso di impostare l'irrigazione con l'obiettivo di mantenere all'interno del range ottimale lo strato prossimo ai 30 cm nella parte sotto copertura potenzialmente più asciutta. L'analisi delle caratteristiche fisiche del terreno (tessitura e contenuto di sostanza organica) hanno permesso di individuare le proprietà idrauliche mediante l'uso di funzioni pedotransfer. Nel dettaglio, per quanto concerne il sito di Ferrara è stato possibile definire capacità di campo (38%), punto di appassimento (12%) e acqua facilmente disponibile (14%). Quest'ultimo dato definisce il limite inferiore del range ottimale (evidenziato nel grafico sottostante in verde) in termini di contenuto idrico del suolo per ogni specifica coltura.

La prova è stata eseguita su 0.2736 ha:

- **SOTTO COPERTURA** (Tesi 1, 0.11856 ha), irrigazione di precisione basata sull'utilizzo della sensoristica;
- **FUORI COPERTURA** (Testimone, 0.15504 ha), irrigazione empirica basata sulla strategia aziendale.

Sia nella parte SOTTO COPERTURA che nel TESTIMONE FUORI COPERTURA sono stati installati dei sensori del suolo per consentire un'analisi dei risultati.

Come evidenziato nel Grafico 3.3.6, fino alla prima decade di giugno non sono state effettuate irrigazioni perchè le precipitazioni hanno soddisfatto il fabbisogno idrico della coltura anche sotto la copertura. Si evidenzia l'effetto della copertura nei confronti del contenuto di umidità del terreno nei primi 15 cm. Eccetto nei giorni tra il 10 e il 17 maggio in cui le precipitazioni hanno superato i 138 mm (Grafico 3.3.6), la copertura ha portato a una rapida asciugatura degli strati superficiali su cui non hanno avuto effetto nemmeno gli interventi irrigui (il ridotto contenuto di umidità ha portato alla formazione di fessurazioni superficiali con conseguente infiltrazione laterale dell'acqua irrigua).

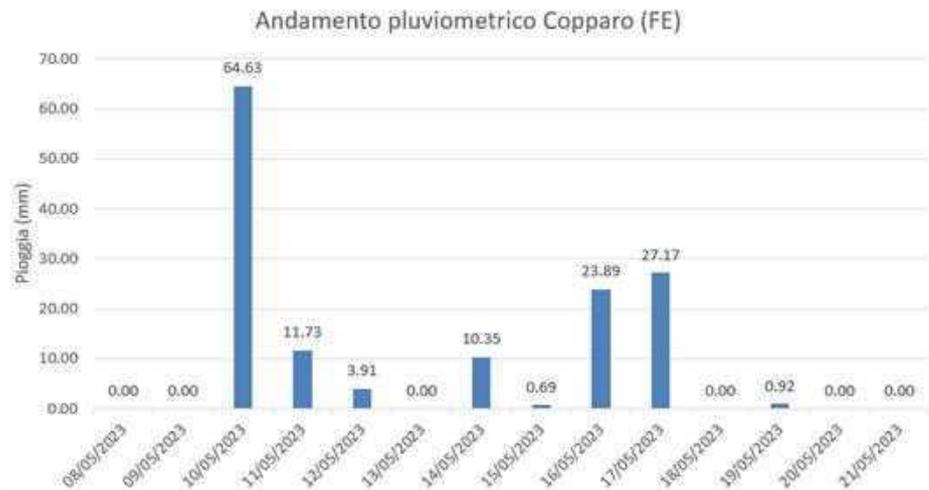


Grafico 3.3.6 precipitazioni cadute dal 10 al 17 maggio

Dal Grafico 3.3.7 si può inoltre dedurre come la copertura abbia portato a una riduzione del consumo idrico rispetto alla parte fuori copertura in cui l'umidità è scesa anche a 30 cm nonostante il volume irriguo sia stato il medesimo della parte coperta.

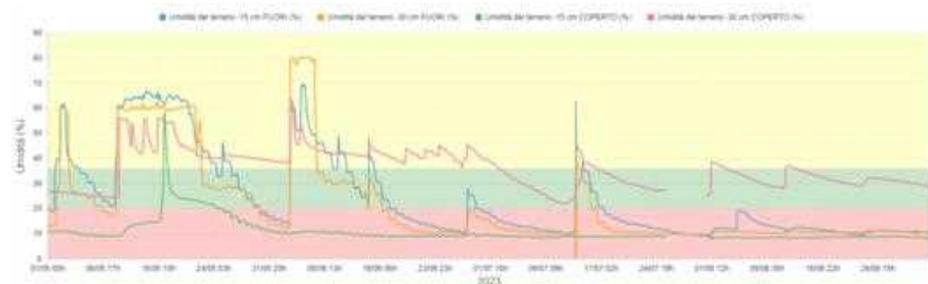


Grafico 3.3.7 Umidità del suolo rilevata alle profondità di 15 cm e 30 cm SOTTO COPERTURA e FUORI COPERTURA

In data 28 agosto è stato valutato l'effetto della diversa strategia irrigua sulla produzione. A causa del forte attacco di maculatura bruna sia sotto che fuori la copertura si è proceduto a raccogliere tutti i frutti presenti sulle piante selezionate per valutare la produzione (scendi pianta).

La produzione è stata valutata raccogliendo tutti i frutti presenti in 8 diversi punti per una lunghezza di 8 metri (da palo a palo). In totale, quindi è stata raccolta una superficie totale 243.2 m².

Dall'analisi dei dati produttivi rappresentati nel Grafico 3.3.8 si evidenzia che la tesi sotto la copertura ha raggiunto i 38.48 q/ha di produzione, differenziandosi statisticamente rispetto ai 20.3 q/ha rilevati nella tesi fuori copertura.

Produzione (q.li/ha) 23_08_2023

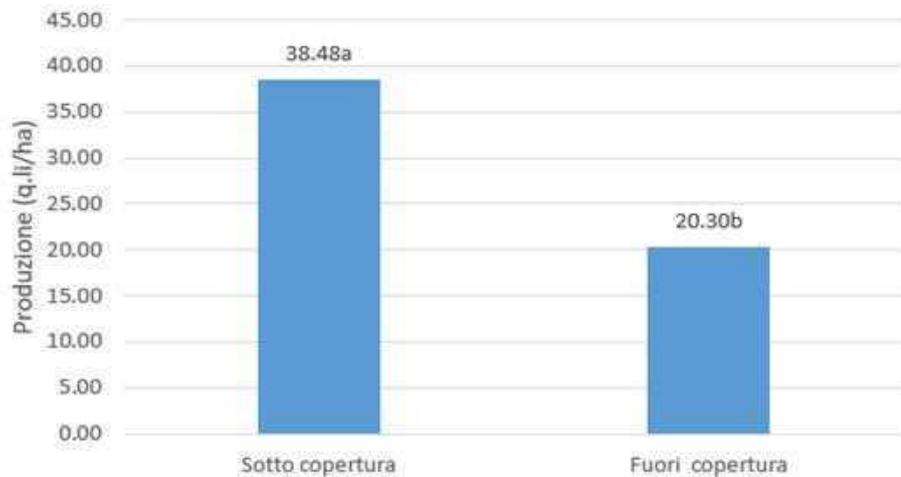


Grafico 3.3.8 Dati produttivi delle tesi saggiate rilevati il 23 agosto 2023

Per ogni punto di raccolta sono stati selezionati 4 frutti per eseguire le analisi qualitative: analisi del penetrometro (pressione esercitata sul frutto, espresso in kg/cm²), contenuto di zuccheri (espressa in gradi Brix), e della sostanza secca (%).

Su due frutti è stata effettuata l'analisi del penetrometro attraverso un penetrometro digitale (modello 53205, turoni) con un puntale di 8 mm e la determinazione del contenuto di zuccheri è stata eseguita attraverso un rifrattometro (modello 53007 PAL-1).

Dall'analisi dei dati del penetrometro (Grafico 3.3.9) del contenuto di zuccheri (Grafico 3.3.10) non si evincono differenze statisticamente significative tra le due tesi oggetto di studio.

Penetrometro

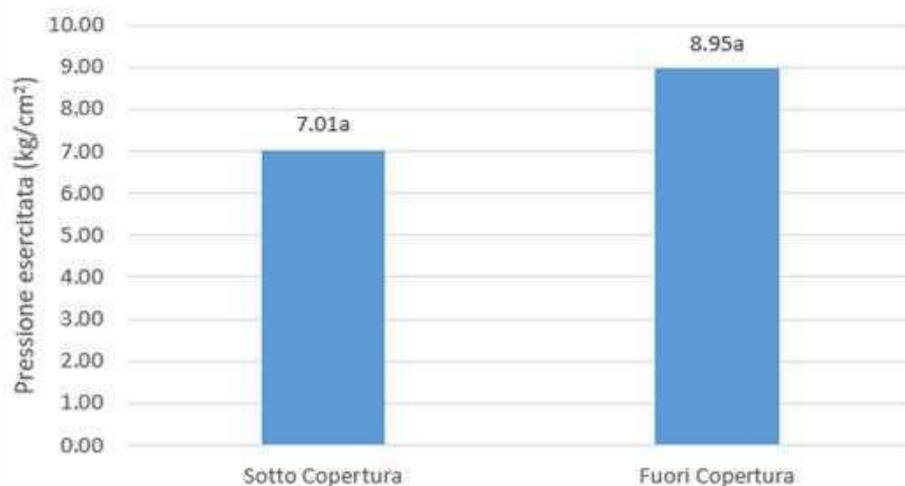


Grafico 3.3.9 analisi penetrometro



Grafico 3.3.10 analisi contenuto zuccherino

I rimanenti frutti sono stati tagliati in fette sottili, pesati ed adagiati su teglie in alluminio e posizionati all'interno di una stufa ad aria termoregolata a $70^{\circ}\text{C} \pm 2$ per 24 ore. Dopo le 24 ore si è proceduto al peso dei campioni dopo l'essiccazione e al calcolo della sostanza secca rappresentati nel Grafico 3.3.11.

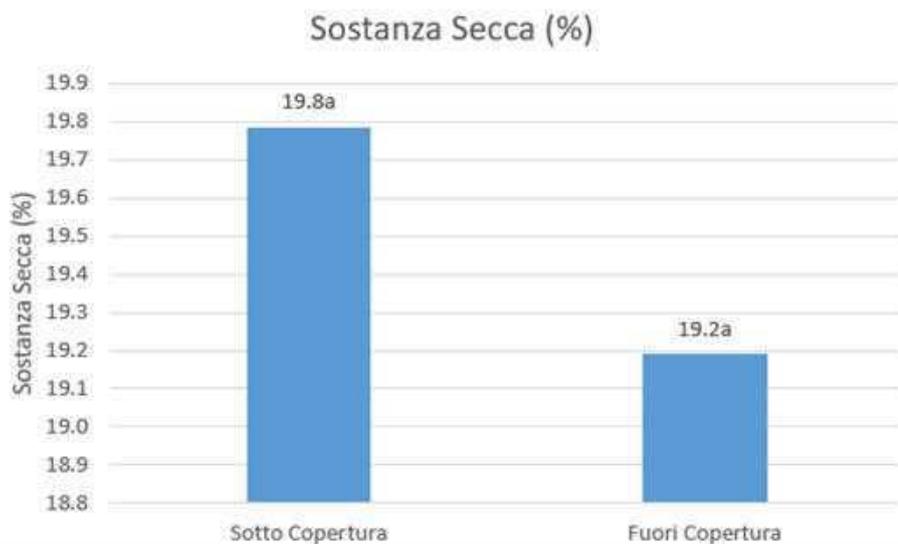


Grafico 3.3.10 analisi contenuto della sostanza secca.

Dall'analisi statistica non emergono differenze tra le due tesi saggiate. Si sottolinea che dal punto di vista numerico la sostanza secca calcolata nelle pere raccolte nella tesi sotto copertura presentano una % di sostanza secca pari al 19.8%.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività

L'irrigazione di precisione basata sull'utilizzo della sensoristica si è dimostrata uno strumento utile e semplice da utilizzare in grado di evitare, limitare o controllare gli stress idrici. L'utilizzo del DSS irrigazione ha dimostrato come sia possibile, a fronte di una ottimizzazione degli input produttivi e di una riduzione degli impatti ambientali, incrementare le rese e le qualità delle produzioni. L'auspicabile diffusione di questi

	sistemi di supporto alla decisione e di controllo dell'apporto idrico, in grado di garantire livelli di umidità ottimali per le colture, contribuirà ad accrescere la resilienza e adattabilità degli agricoltori agli eventi meteorologici estremi in aumento, riflesso di una crescente imprevedibilità climatica.
Attività ancora da realizzare	Nessuna

Azione	3) AZIONE DI REALIZZAZIONE DEL PIANO SOTTO-AZIONE 3.4: Stima degli impatti legati alla pericoltura
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE - UNIBS
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>1. QUANTIFICAZIONE DEI CARICHI ENERGETICI E AMBIENTALI DEI MODELLI DI GESTIONE CON LA METODOLOGIA LCA (Life Cycle Assessment)</p> <p>Nel contesto del progetto, è stata condotta una valutazione e quantificazione dei carichi energetici e ambientali e degli impatti potenziali associati considerando diversi scenari di gestione proposti dal progetto stesso, utilizzando la metodologia della Valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment). Sono state condotte analisi LCA per i contesti di studio di Ferrara e di Ravenna.</p> <p>Il disegno sperimentale ha confrontato gli impatti di quattro diversi modelli di gestione per ogni contesto con combinazioni differenti tra pratiche di gestione (aziendale empirica vs precisione) della difesa fitosanitaria e dell'irrigazione. Nel dettaglio, i modelli di gestione effettuati a Ravenna sono stati:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. R1-Difesa aziendale empirica; Irrigazione aziendale empirica 2. R2-Difesa aziendale empirica; Irrigazione di precisione 3. R3-Difesa di precisione (DSS Ticchiolatura); Irrigazione aziendale empirica 4. R4-Difesa di precisione (DSS Ticchiolatura); Irrigazione di precisione <p>A Ferrara sono stati:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. F1-Difesa aziendale empirica; Non irrigato 2. F2-Difesa aziendale empirica; Irrigazione di precisione 3. F3-Difesa aziendale sotto copertura (testimone non trattato); Irrigazione di precisione 4. F4-Difesa di precisione (DSS Maculatura); Non irrigato 5. F5-Difesa di precisione (DSS Maculatura); Irrigazione di precisione <p>Per garantire un'analisi accurata e completa, è stato necessario definire chiaramente i confini di sistema per il processo di valutazione del ciclo di vita (LCA). Questi confini hanno delimitato i limiti temporali, geografici e funzionali del sistema considerato, consentendo di identificare e quantificare in modo appropriato gli input e gli output rilevanti per ogni scenario di gestione.</p>

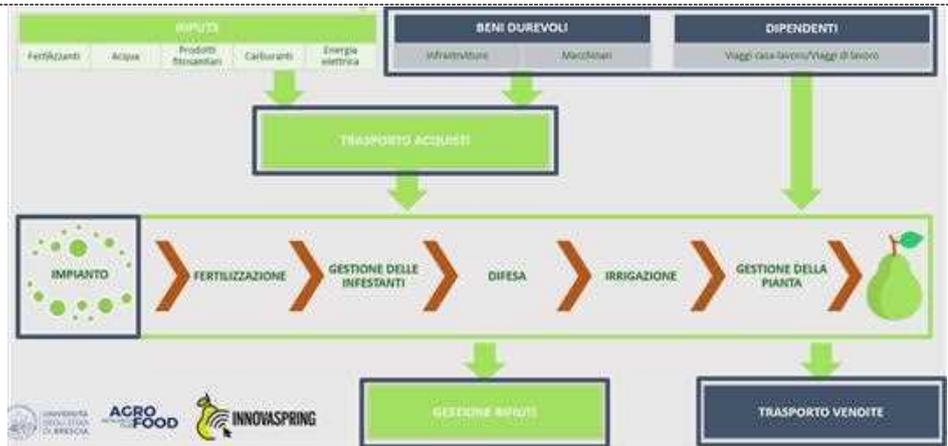


Figura 3.4.1 confini del sistema di studio

Per raccogliere dati affidabili e dettagliati relativi alle pratiche agronomiche e agli input utilizzati nei diversi modelli di gestione, è stato implementato un questionario mirato. Questo strumento ha consentito di acquisire informazioni direttamente dai responsabili delle operazioni agricole, garantendo una raccolta dati accurata e completa.

Impianto		Quantità	
Anno di impianto del frutteto	2003		
Densità di impianto	4*2		PIANTE TOTALI 4637
Materiale di impianto			
ferro, cemento, plastica			
Palizzata		876	n. pali
Fili		25560	m
Capucci copri pali	NO		
Reti antigrandine o antinsetto	NO		mq
Fertilizzanti			
Compost - Inertici fornitori - Pesa solo merce specificata			
Gestione del suolo (descrizione attività)			
Inerbimento interfilare		3,1ha	
Levorazione fra le piante		3,1ha	
trinciture		2 (maggio e pre raccolta)	
Diserbante			
Volume acqua adibito		Principio attivo	
Tenda in quanto bio non utilizza di erbi			
Difesa			
Quantità			
Numero trattamenti			
Volume trattamento medio		1000	

CEMENTO precompresso
 FERRO zincato 1.8
 PLASTICA Polipropilene
 PLASTICA HDPE

ESERCIZIO - Indirizzo Aziendale
 U/m
 n°
 l/ha

TESI R1 | **Impianto** | Difesa e Fertilizzazione | fertilizzazione | Gestione del suolo | Irrigazione

Figura 3.4.2 Esempio di questionario di raccolta dati e informazioni aziendali

Il questionario è stato progettato per coprire tutti gli aspetti rilevanti delle pratiche agronomiche, compresi trattamenti fitosanitari, concimazioni, irrigazione e gestione del suolo, oltre a raccogliere informazioni sul consumo di risorse come acqua, carburante ed energia. Attraverso i questionari è stato possibile definire degli inventari di ciclo di vita (LCI) necessari per la successiva valutazione dei carichi energetici e ambientali associati a ciascuno scenario di gestione considerato nei contesti di studio di Ferrara e Ravenna. Per ogni scenario di gestione, sono stati monitorati e raccolti dati di inventario relativi alle pratiche agronomiche e agli input impiegati per la produzione del 2023. L'unità funzionale considerata è stata la superficie espressa in ettari (ha). In dettaglio, per ogni scenario di gestione sono stati raccolti i seguenti dati di inventario:

- Trattamenti di difesa fitosanitaria
 - Quantità principi attivi impiegati (kg/L)
 - Volumi d'acqua per trattamento (L)
 - Consumo di carburante per trattamento (kg/L)
- Concimazioni

- Quantità prodotti distribuiti (kg)
- Consumo di carburante per intervento (kg/L)
- Irrigazione
 - Volumi d'acqua distribuiti (L)
 - Consumi energetici per la distribuzione (MJ)
- Gestione del suolo e altre operazioni
 - Consumo di carburante per intervento (kg/lt)

Al fine della determinazione delle emissioni dirette in aria, acqua e suolo, sono state utilizzate le indicazioni e gli emission factor contenuti nel documento tecnico PRODUCT CATEGORY RULES (PCR) ARABLE AND VEGETABLE CROPS, PRODUCT CATEGORY CLASSIFICATION: UN CPC 011, 012, 014, 017, 019, proposto dall' EPD, Environmental Product Declarations. In dettaglio sono state definite e monitorate le seguenti emissioni dirette:

- Emissioni in aria
 - Ammoniaca
 - Monossido di azoto
 - Anidride carbonica
 - Protossido di azoto
 - Prodotti fitosanitari
- Emissioni in acqua
 - Nitrati
 - Fosfati
 - Prodotti fitosanitari
- Emissioni nel suolo
 - Prodotti fitosanitari

Per i dati generici relativi ai prodotti impiegati, è stato utilizzato l'inventario Ecoinvent 3.7. I dati derivanti dai diversi modelli di gestione sono stati inventariati e analizzati utilizzando il software SimaPro 9.5. Nell'ambito del progetto, all'interno delle analisi LCA sono stati ricercati gli impatti più rilevanti associati alle pratiche agronomiche. Successivamente, sono stati selezionati gli indicatori per valutare tali impatti in base alle prestazioni definite dalla bibliografia e alla loro comprensibilità. In dettaglio, sono stati valutati i seguenti impatti con i rispettivi indicatori:

- Potenziale di riscaldamento globale, calcolato con l'indicatore di Global Warming Potential con orizzonte temporale di 20 anni V1.01, sviluppato dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
- Water footprint, calcolata con gli indicatori:
 - Scarsità idrica AWARE, sviluppato dal WULCA (Working Group on Water Use in LCA)
 - Eutrofizzazione delle acque, con indicatore sviluppato da Payen et al., 2021 per la valutazione del fosforo e dell'azoto.
 - Acidificazione, attraverso l'indicatore acidification potential sviluppato dal CML (Center of Environmental Science of Leiden University)

Ulteriori indicatori che sono stati calcolati, ma non approfonditi in quanto considerati meno rilevanti rispetto agli impatti delle pratiche agronomiche:

- Uso delle risorse abiotiche, attraverso l'indicatore Abiotic depletion sviluppato dal CML (Center of Environmental Science of Leiden University)
- Potenziale di degradazione della fascia di ozono, attraverso l'indicatore Ozone layer depletion (ODP) sviluppato dal CML (Center of Environmental Science of Leiden University)
- Formazione di ossidazione fotochimica, attraverso l'indicatore Photochemical oxidation sviluppato dal CML (Center of Environmental Science of Leiden University)

2. VALUTAZIONI TOSSICOLOGICHE ASSOCIATE AI MODELLI DI GESTIONE

Nell'ambito del progetto, sono stati impiegati i seguenti indicatori per la valutazione dei rischi tossicologici associati ai diversi modelli di gestione:

- Tossicità umana, è stata valutata in termini di cancerogenicità e non cancerogenicità impiegando l'indicatore USEtox, modello basato sui fattori di caratterizzazione disponibili e approvati scientificamente per gli impatti tossicologici legati alla salute umana di sostanze chimiche nella valutazione del ciclo di vita. Viene espresso come unità tossica comparativa per l'uomo.

- Ecotossicità dell'acqua dolce, indicatore dell'ecotossicità delle acque, sviluppato all'interno del modello USEtox, valuta la potenziale frazione di specie interessate nell'impatto (PAF) integrata nel tempo e nel volume di acque superficiali, per unità di massa del composto chimico emesso, espressa tramite un'unità comparativa (CTUe).

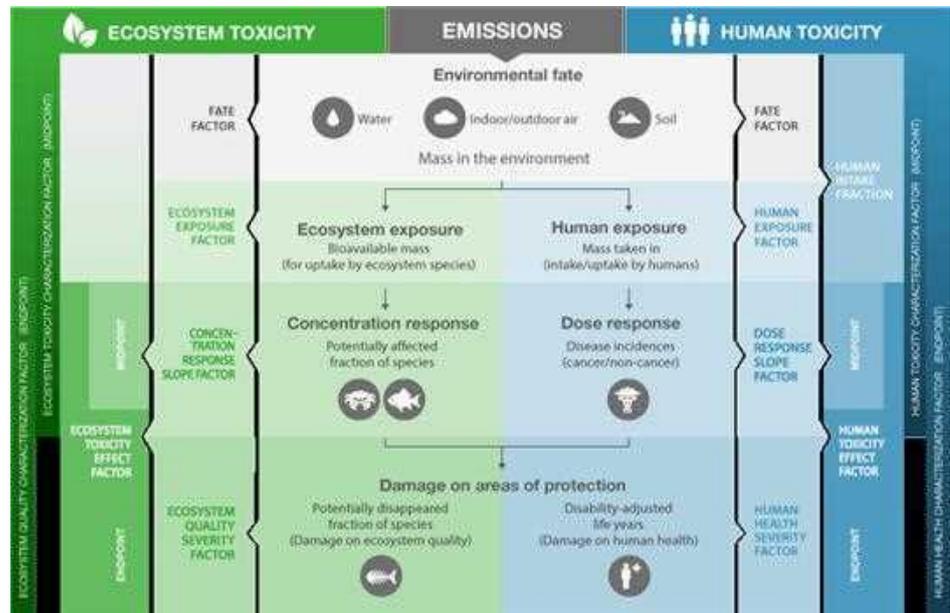


Figura 3.4.3 Framework concettuale degli indicatori USEtox

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecniche emerse durante l'attività

L'analisi del Ciclo di Vita (LCA), relativa ai vari scenari di gestione, ha consentito di identificare gli impatti associati alle diverse pratiche e di quantificare il miglioramento delle performance ambientali derivante dall'adozione di pratiche di precisione, come l'utilizzo di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) per la gestione della difesa e dell'irrigazione.

Per il contesto di Ravenna, per quanto riguarda il Potenziale di Riscaldamento Globale, si è registrata complessivamente una riduzione di fino al 50% delle emissioni di gas serra. Approfondendo l'analisi, si è osservato che le gestioni con difesa guidata con DSS (R3-R4) hanno determinato, considerando il solo contributo della categoria Difesa, una riduzione dell'impronta carbonica di 529,46 kg CO₂eq/ha, mentre le gestioni con irrigazione di precisione (R2-R4), considerando il solo contributo della categoria Irrigazione, hanno comportato una diminuzione del consumo energetico relativo, con un impatto emissivo ridotto di 493,78 kg CO₂eq/ha.

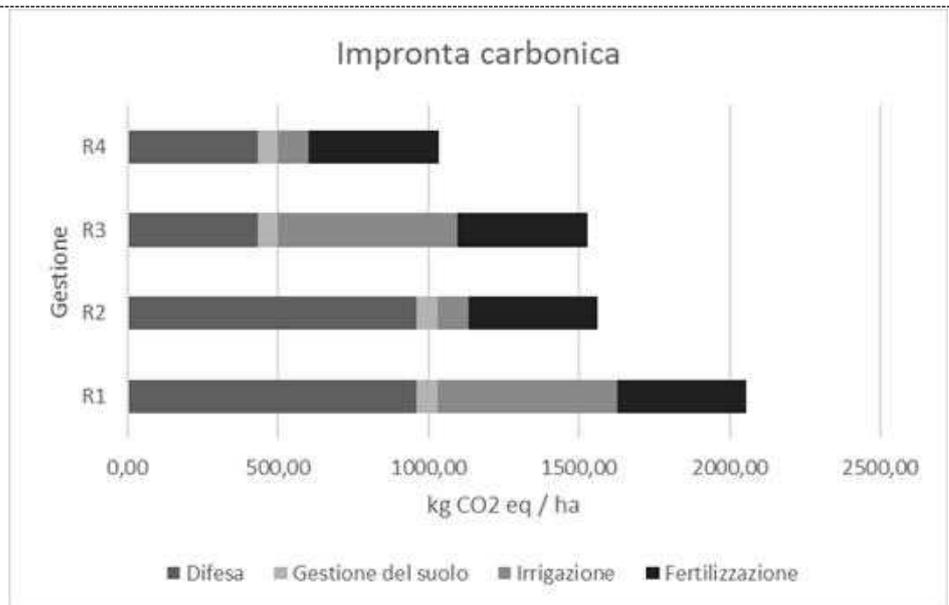


Grafico 3.4.4 Impronta carbonica nel contesto di Ravenna

Per il contesto di Ferrara, per la categoria Difesa si è osservata una riduzione consistente con 358,56 kg CO2eq/ha in meno nelle gestioni con difesa di precisione (F4-F5) rispetto a quelle con difesa aziendale (F1-F2).

Per quanto riguarda l'impronta idrica, per Ravenna, nel caso dell'indicatore di scarsità idrica AWARE, si è osservato un significativo risparmio idrico nelle gestioni con irrigazione di precisione (R2-R4). In particolare, si è registrata una riduzione del 23,59% del consumo di acqua rispetto alla gestione aziendale empirica (R1-R3).



Grafico 3.4.5 Scarsità idrica (indicatore AWARE) nel contesto di Ravenna

Relativamente all'acidificazione, l'impatto può essere correlato sia al consumo di carburanti che all'utilizzo di fertilizzanti. Come nel caso dell'impronta carbonica, si sono riscontrati valori più elevati per l'acidificazione nelle gestioni con irrigazione empirica, con un aumento del 34,50% delle emissioni, per la categoria "Irrigazione", rispetto alle gestione con R4.

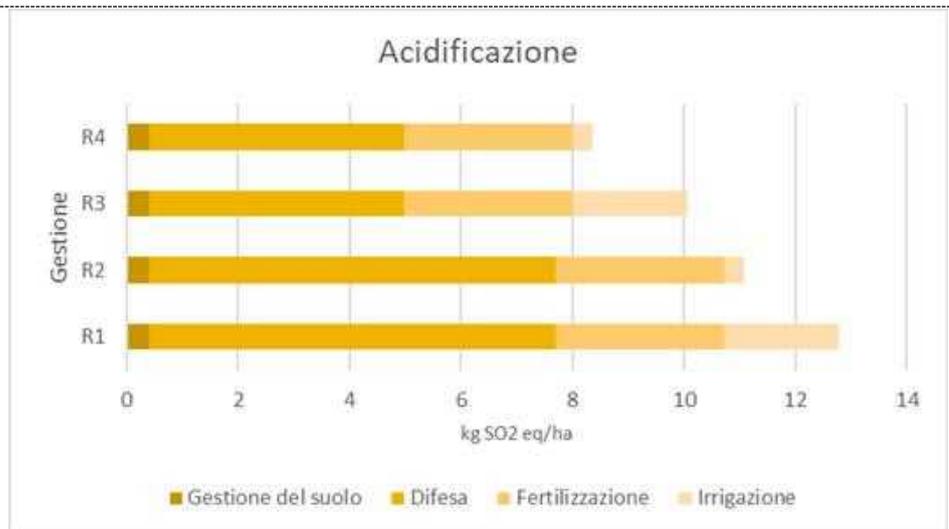


Grafico 3.4.6 Acidificazione nel contesto di Ravenna

Per quanto concerne l'eutrofizzazione, è necessario considerare che la categoria di impatto più significativa è la fertilizzazione, essendo la pratica principale che può causare eutrofizzazione. Tuttavia, le gestioni con irrigazione empirica presentano, anche per questa voce di impatto, valori maggiori sia per le emissioni di azoto che per quelle di fosforo. A parità di gestione delle fertilizzazioni, infatti, si è osservata una riduzione complessiva di circa il 30% dell'azoto equivalente per ettaro e del 24% del fosforo equivalente per ettaro nella gestione R4 rispetto alla gestione R1.



Grafico 3.4.7 Eutrofizzazione dell'acqua dolce per l'azoto nel contesto di Ravenna



Grafico 3.4.8 Eutrofizzazione dell'acqua dolce per il fosforo nel contesto di Ravenna

Per il contesto di Ferrara, indicatori rilevanti sono stati l'eutrofizzazione e l'acidificazione, piuttosto che la scarsità idrica, considerando il confronto tra gestioni irrigue e non irrigue. Per la categoria eutrofizzazione si è osservata una riduzione degli impatti in termini di Neq di circa 44,83% e di Peq di circa 21,28% nelle gestioni con difesa di precisione (F4-F5) rispetto a quelle con difesa aziendale (F1-F2). Per l'acidificazione si è osservata una riduzione di circa 95,55% nella categoria Difesa, nelle gestioni con difesa di precisione (F4-F5) rispetto a quelle con difesa aziendale (F1-F2). Infine, per quanto riguarda la valutazione tossicologica, per il contesto di Ravenna si sono riscontrate performance migliori nelle gestioni con difesa di precisione, con una riduzione complessiva dei valori del 66% rispetto alle gestioni con difesa empirica.

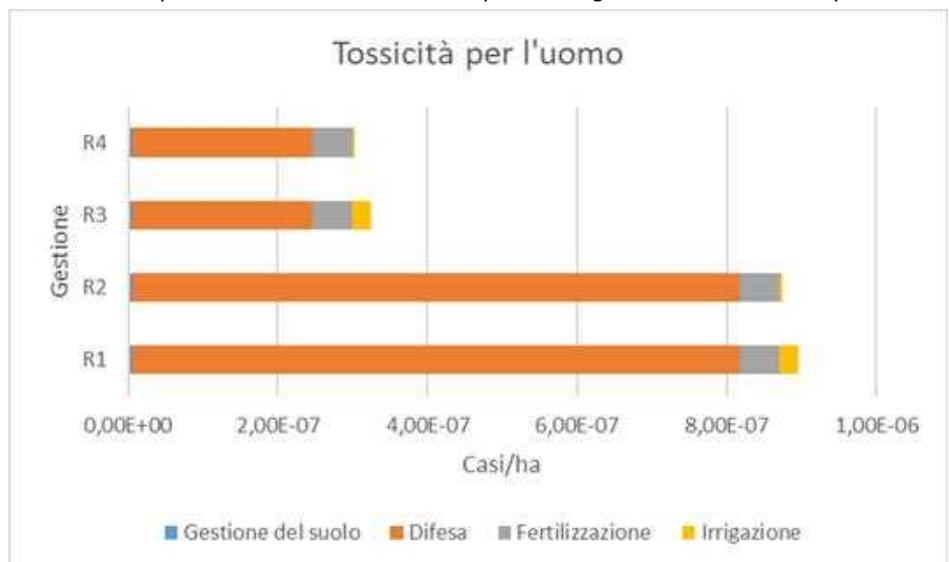


Grafico 3.4.9 Tossicità per l'uomo nel contesto di Ravenna

Considerando invece l'ecotossicità delle acque dolci, come previsto, gli impatti sono stati principalmente associati alla difesa. Di conseguenza, si è osservata una riduzione, in alcuni casi, di oltre il 70% degli impatti nella categoria "Difesa" tra le gestioni con difesa empirica e quelle guidate da DSS.

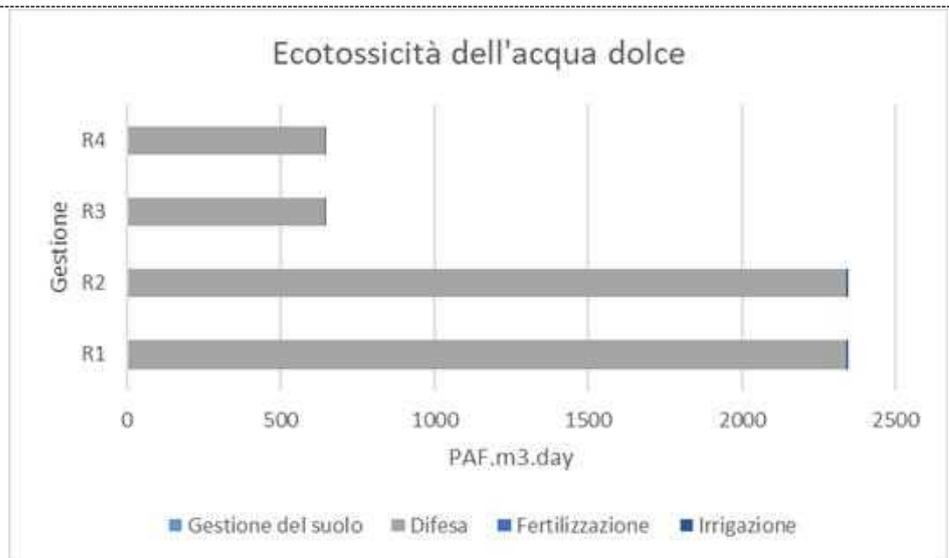


Gráfico 3.4.10 Ecotossicità dell'acqua dolce per il contesto di Ravenna

Nel contesto di Ferrara, si sono registrate riduzioni altrettanto consistenti, approssimativamente del 45,23%, per le categorie di tossicità per l'uomo e 48,56% per l'ecotossicità, nelle gestioni caratterizzate da difesa di precisione (F4-F5) rispetto a quelle con difesa aziendale (F1-F2). Di seguito sono riportati i grafici in colonne per Ravenna e Ferrara, con la ripartizione percentuale di ogni modello di gestione per gli indicatori di impatto.

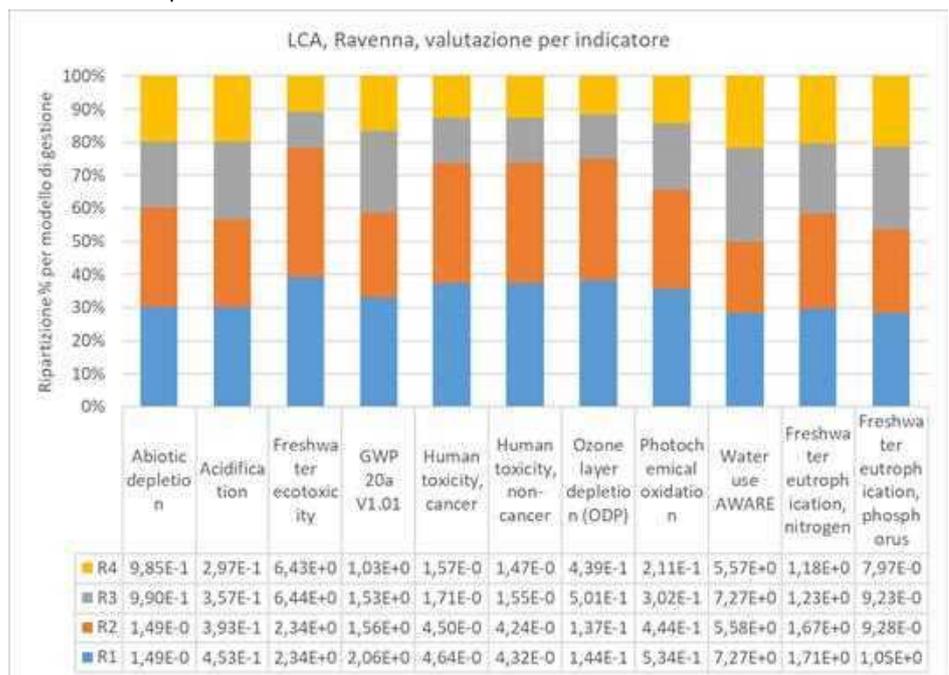


Gráfico 3.4.11 Indicatori LCA implementati nel contesto di Ravenna

	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Abiotic depletion</th> <th>Acidification</th> <th>Freshwater ecotoxicity</th> <th>GWP 20a V1.01</th> <th>Human toxicity, cancer</th> <th>Human toxicity, non-cancer</th> <th>Ozone layer depletion (ODP)</th> <th>Photochemical oxidation</th> <th>Water use AWARE</th> <th>Freshwater eutrophication, nitrogen</th> <th>Freshwater eutrophication, phosphorus</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F5</td> <td>4,59E-1</td> <td>1,86E-1</td> <td>1,75E+0</td> <td>7,83E+0</td> <td>2,31E+0</td> <td>5,79E+0</td> <td>4,53E-1</td> <td>2,89E-1</td> <td>5,60E+0</td> <td>2,62E-0</td> <td>2,99E-0</td> </tr> <tr> <td>F4</td> <td>7,42E-1</td> <td>1,95E-1</td> <td>3,75E+0</td> <td>7,69E+0</td> <td>2,32E+0</td> <td>5,56E+0</td> <td>5,46E-1</td> <td>3,25E-1</td> <td>9,23E+0</td> <td>3,20E-0</td> <td>3,62E-0</td> </tr> <tr> <td>F3</td> <td>7,13E-1</td> <td>1,03E-1</td> <td>2,60E+0</td> <td>5,04E+0</td> <td>1,64E+0</td> <td>5,42E+0</td> <td>8,69E-1</td> <td>1,52E-1</td> <td>5,53E+0</td> <td>6,80E-0</td> <td>1,81E-0</td> </tr> <tr> <td>F2</td> <td>7,18E-1</td> <td>2,70E-1</td> <td>3,59E+0</td> <td>1,14E+0</td> <td>3,38E+0</td> <td>6,84E+0</td> <td>7,04E-1</td> <td>4,25E-1</td> <td>5,60E+0</td> <td>3,92E-0</td> <td>4,14E-0</td> </tr> <tr> <td>F1</td> <td>6,92E-1</td> <td>2,21E-1</td> <td>3,53E+0</td> <td>9,13E+0</td> <td>2,58E+0</td> <td>5,80E+0</td> <td>6,71E-1</td> <td>3,61E-1</td> <td>8,14E+0</td> <td>3,80E-0</td> <td>3,62E-0</td> </tr> </tbody> </table>		Abiotic depletion	Acidification	Freshwater ecotoxicity	GWP 20a V1.01	Human toxicity, cancer	Human toxicity, non-cancer	Ozone layer depletion (ODP)	Photochemical oxidation	Water use AWARE	Freshwater eutrophication, nitrogen	Freshwater eutrophication, phosphorus	F5	4,59E-1	1,86E-1	1,75E+0	7,83E+0	2,31E+0	5,79E+0	4,53E-1	2,89E-1	5,60E+0	2,62E-0	2,99E-0	F4	7,42E-1	1,95E-1	3,75E+0	7,69E+0	2,32E+0	5,56E+0	5,46E-1	3,25E-1	9,23E+0	3,20E-0	3,62E-0	F3	7,13E-1	1,03E-1	2,60E+0	5,04E+0	1,64E+0	5,42E+0	8,69E-1	1,52E-1	5,53E+0	6,80E-0	1,81E-0	F2	7,18E-1	2,70E-1	3,59E+0	1,14E+0	3,38E+0	6,84E+0	7,04E-1	4,25E-1	5,60E+0	3,92E-0	4,14E-0	F1	6,92E-1	2,21E-1	3,53E+0	9,13E+0	2,58E+0	5,80E+0	6,71E-1	3,61E-1	8,14E+0	3,80E-0	3,62E-0
	Abiotic depletion	Acidification	Freshwater ecotoxicity	GWP 20a V1.01	Human toxicity, cancer	Human toxicity, non-cancer	Ozone layer depletion (ODP)	Photochemical oxidation	Water use AWARE	Freshwater eutrophication, nitrogen	Freshwater eutrophication, phosphorus																																																														
F5	4,59E-1	1,86E-1	1,75E+0	7,83E+0	2,31E+0	5,79E+0	4,53E-1	2,89E-1	5,60E+0	2,62E-0	2,99E-0																																																														
F4	7,42E-1	1,95E-1	3,75E+0	7,69E+0	2,32E+0	5,56E+0	5,46E-1	3,25E-1	9,23E+0	3,20E-0	3,62E-0																																																														
F3	7,13E-1	1,03E-1	2,60E+0	5,04E+0	1,64E+0	5,42E+0	8,69E-1	1,52E-1	5,53E+0	6,80E-0	1,81E-0																																																														
F2	7,18E-1	2,70E-1	3,59E+0	1,14E+0	3,38E+0	6,84E+0	7,04E-1	4,25E-1	5,60E+0	3,92E-0	4,14E-0																																																														
F1	6,92E-1	2,21E-1	3,53E+0	9,13E+0	2,58E+0	5,80E+0	6,71E-1	3,61E-1	8,14E+0	3,80E-0	3,62E-0																																																														
Attività ancora da realizzare	Nessuna																																																																								

Grafico 3.4.12 Indicatori LCA implementati nel contesto di Ferrara

Azione	4) AZIONE DIVULGAZIONE SOTTO-AZIONE 4.1: Realizzazione di visite guidate
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE - UNIBS
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Al termine della stagione produttiva del 2023 è stata realizzata una visita guidata presso il campo di prova sperimentale a Ravenna. Nel corso della visita Martino Marin, Responsabile Irrigazione di Precisione a Terremerse, ha mostrato e illustrato la sensoristica utilizzata per l'acquisizione dei dati e gli effetti dell'implementazione di una strategia di precisione rispetto a una strategia aziendale. Di seguito, la pagina dedicata alla visita di campo del 20 settembre 2023 (https://terremerse.it/innovaspring-ita/evento200923/).</p>

	
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>La visita ha consentito di mostrare la diversa risposta fisiologica delle piante sottoposte ad irrigazione di precisione rispetto a quelle soggette ad irrigazione empirica aziendale.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Nessuna</i></p>

<p>Azione</p>	<p align="center">4) AZIONE DIVULGAZIONE SOTTO-AZIONE 4.2: Realizzazione di incontri tecnici</p>
<p>Unità aziendale responsabile</p>	<p>TERREMERSE - UNIBS</p>
<p>Descrizione delle attività</p>	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Sono stati realizzati 5 incontri tecnici per le seguenti aree tematiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> • implementazione di strategie innovative per la razionalizzazione della gestione idrica, per ottimizzare la gestione irrigua sulla base dell'effettivo fabbisogno delle colture, sia in termini di volumi da distribuire sia in termini di programmazione temporale degli interventi irrigui; • stima degli impatti legati alla pericoltura; • implementazione e validazione dei modelli per la difesa del pero. <p>Per ogni evento è stata realizzata una pagina web contenente tutte le informazioni per partecipare: sintesi degli argomenti trattati, luogo, data e programma scaricabile.</p> <p>Di seguito, come esempio, la pagina dedicata all'incontro tecnico del 20 marzo 2024 (https://terremerse.it/innovaspring-ita/evento200324/).</p> <p>Di seguito il link alla pagina per accedere alle informazioni relative agli altri eventi: https://terremerse.it/innovaspring-ita/</p>

	 <p>Si svolgerà mercoledì 20 marzo 2024 a Bagnacavallo (RA) l'incontro tecnico del progetto INNOVASPRING.</p> <p>Il tema dell'incontro è "Implementazione di strategie innovative per la razionalizzazione della gestione idrica".</p> <p>In particolare, si riporteranno i risultati relativi all'utilizzo di sistemi di supporto alla decisione (DSS) per ottimizzare la gestione irrigua sulla base dell'effettivo fabbisogno delle colture, sia in termini di volume da distribuire sia in termini di programmazione temporale degli interventi irrigui.</p> <p>ARGOMENTI</p> <ul style="list-style-type: none"> IRRIGAZIONE DI PRECISIONE IRRIGAZIONE EMPIRICA FABBISOGNO IDRICO DSS SENSORISTICA IMPIANTISTICA <p>ALLEGATI</p> <p>Programma evento</p> <p>PROGETTO</p> <p>INNOVative System for Pyrus communis sustainable Growth and production</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Durante gli incontri è stato possibile divulgare le tecniche messe a punto nel corso del Progetto e i risultati ottenuti. In particolare i partecipanti hanno potuto apprezzare e conoscere la sensoristica utilizzata per l'acquisizione dei dati e i risultati ottenibili adottando una strategia di precisione elaborando dati pedo-climatici.</p> <p>Sono stati presentati e confrontati i risultati relativi alla Valutazione del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA) ottenuti implementando diversi modelli di gestione.</p> <p>Per Ravenna:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. R1-Difesa aziendale empirica; Irrigazione aziendale empirica 2. R2-Difesa aziendale empirica; Irrigazione di precisione 3. R3-Difesa di precisione (DSS Ticchiolatura); Irrigazione aziendale empirica 4. R4-Difesa di precisione (DSS Ticchiolatura); Irrigazione di precisione <p>Per Ferrara:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. F1-Difesa aziendale empirica; Non irrigato 2. F2-Difesa aziendale empirica; Irrigazione di precisione 3. F3-Difesa aziendale sotto copertura (testimone non trattato); Non irrigato 4. F4-Difesa di precisione (DSS Maculatura); Non irrigato 5. F5-Difesa di precisione (DSS Maculatura); Irrigazione di precisione <p>Sono stati inoltre presentate le varie fasi di realizzazione e calibrazione dei modelli di ticchiolatura del pero, maculatura bruna, <i>Cydia pomonella</i>, <i>Cacopsilla pyri</i>, illustrando in particolare i vantaggi ambientali, economici e sociali derivanti dall'utilizzo di questi sistemi di supporto alla decisione.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Nessuna</i></p>

<p>Azione</p>	<p>4) AZIONE DIVULGAZIONE SOTTO-AZIONE 4.3: Realizzazione di articoli tecnici e/o divulgativi</p>
<p>Unità aziendale responsabile</p>	<p>TERREMERSE - UNIBS</p>

Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Nel corso del Progetto sono stati realizzati quattro articoli divulgativi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Serena Baiocco, "APPROVATO INNOVASPRING", Terremere territori e mercati in rete, Rivista n.5/2022 (Allegato 1) 2) Serena Baiocco, "CON AGRONOMICA È PIÙ SEMPLICE ESSERE SOSTENIBILI", Terremere territori e mercati in rete, Supplemento n.1 Speciale Agricoltura Sostenibile 2023 (Allegato 2) 3) Serena Baiocco, Martino Marin, Federico Cavina, Jacopo Saragoni, Pietro Brancaccio, Gianfranco Donati, Gianfranco Pradolesi, "IRRIGAZIONE DI PRECISIONE: RISULTATI SUL PERO", L'Informatore Agrario, 15/24 (Allegato 3, 15/2024, L'Informatore Agrario pag. 41) 4) Isabella Ghiglieno, Luca Facciano, Anna Simonetto, Gianni Gilioli, Serena Baiocco, Martino Marin, Federico Cavina, Jacopo Saragoni, Gianfranco Pradolesi, "INNOVASPRING: GESTIONE SOSTENIBILE DEL PERO CON SOLUZIONI INNOVATIVE", L'Informatore Agrario, 15/24 (Allegato 3) <p>È stato inoltre realizzato un articolo scientifico, attualmente sottomesso al <i>Journal of Applied Entomology</i>:</p> <ol style="list-style-type: none"> 5) Giorgio Sperandio, Sara Pasquali, Gianfranco Pradolesi, Serena Baiocco, Federico Cavina, Gianni Gilioli. An empirical model for predicting insects diapause termination and phenology: an application to <i>Cydia pomonella</i>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>L'attività di diffusione delle informazioni alle aziende agricole è stata particolarmente curata, considerata l'importanza di un collegamento virtuoso tra innovazione e applicazione. Nel corso del Progetto sono state realizzate 5 pubblicazioni inerenti il Piano, sia su riviste specialistiche e a larga diffusione, che su riviste scientifiche internazionali. Sono stati quindi raggiunti gli obiettivi di trasmettere ai potenziali futuri utenti dell'innovazione gli elementi informativi e tecnici di base sulle tecnologie coinvolte e gli effetti che l'adozione di una agricoltura di precisione possa produrre in termini di risparmio di risorse e impatto ambientale, economico e sociale.</p>
Attività ancora da realizzare	<p>L'articolo scientifico è stato sottomesso nel mese di marzo 2024 alla rivista <i>Journal of Applied Entomology</i>. Attualmente, è in fase di valutazione da parte degli editori della rivista.</p>

Azione	4) AZIONE DIVULGAZIONE SOTTO-AZIONE 4.3: Realizzazione di audiovisivi
Unità aziendale responsabile	TERREMERSE - UNIBS

Descrizione delle attività

descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione

Come previsto dal Piano, il materiale raccolto nel corso del progetto è stato diffuso su diverse piattaforme e tramite i profili social di Terremerse (Facebook, LinkedIn, Twitter) al fine di raggiungere sia gli operatori di settore che, in generale, un profilo attento e sensibile rispetto ai temi dell'ambiente, del cibo e dell'alimentazione. Per catturare l'attenzione degli utenti e pubblicizzare il Progetto è stato creato *ad hoc* il seguente logo.



Il logo è stato riportato anche nei post, negli articoli pubblicati su *Terremerse territori e mercati in rete* e sull'*Informatore Agrario* e nelle news al sito, facilmente raggiungibili accedendo alla pagina dedicata al Progetto:
<https://terremerse.it/innovaspring-ita/>



ARTICOLI CORRELATI

Post Facebook 2022

Post Twitter 2022

Post Facebook 2023

Post Facebook 2024

Post LinkedIn 2024

Post Twitter 2024

News sito Terremerse 2023

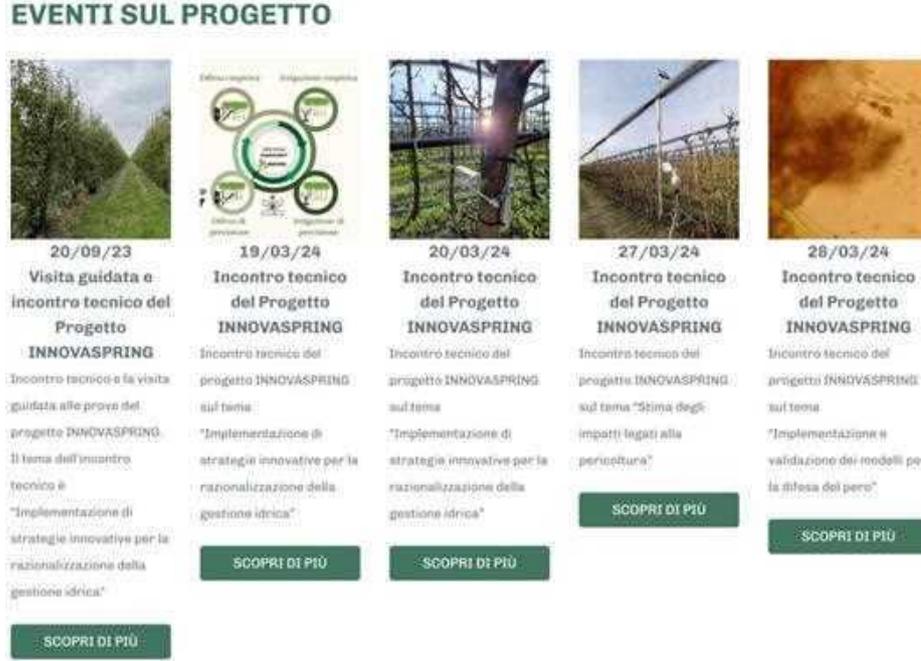
News sito Terremerse 2024

Rivista n.5/2022

Speciale Agricoltura Sostenibile 2023

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>L'obiettivo di questa sotto-azione di diffondere le informazioni e i risultati del Progetto ad un pubblico ampio e comunque interessato ai temi che riguardano l'agricoltura è stato raggiunto in particolar modo utilizzando i canali social di Terremerse, seguiti da migliaia di <i>follower</i>. Complessivamente, sono stati realizzati 6 post pubblicati su 3 canali social (Facebook, LinkedIn, Twitter) e 2 <i>news</i> sul sito di Terremerse, relative ai risultati del Progetto.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Nessuna</i></p>

<p>Azione</p>	<p align="center">4) AZIONE DIVULGAZIONE SOTTO-AZIONE 4.3: Realizzazione di una pagina web</p>
<p>Unità aziendale responsabile</p>	<p>TERREMERSE - UNIBS</p>
<p>Descrizione delle attività</p>	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Come previsto dal Piano di divulgazione, è stata realizzata una pagina WEB all'interno del portale di Terremerse, per rendere fruibili le informazioni e i risultati conseguiti nel Piano.</p> <p>Sulla pagina principale di Terremerse (https://terremerse.it/) è presente una sintesi contenente tutte le informazioni principali relative al Piano, nonché il logo come definito da bando:</p> <div data-bbox="734 1187 1149 2049" style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; text-align: center;"> </div>

	<p>A partire da questa pagina è possibile accedere ad una breve sintesi in lingua inglese (https://terremerse.it/innovaspring-eng/) o alla pagina di approfondimento in lingua italiana (https://terremerse.it/innovaspring-ita/), contenente tutte le informazioni relative al materiale diffuso e alle date delle visite guidate e degli incontri tecnici portati avanti nel corso del Progetto.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>L'obiettivo di realizzazione di una pagina web è stato raggiunto. Nella pagina web dedicata è possibile reperire diverse informazioni relative al Piano di innovazione, in particolare: elenco dei partecipanti al progetto, contesto, obiettivi, azioni principali, risultati, news, articoli, link a social e programmi per incontri tecnici e visite guidate. Di seguito uno <i>screenshot</i> della pagina web, con focus sugli eventi del Progetto:</p> 
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Nessuna</i></p>

2.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

Personale Azione 1

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Personale Dipendente fascia media	Responsabile organizzativo	168	9.929,38
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico	132	3.636,07
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico	120	4.130,66

	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico	80	1.376,96
			Totale:	19.073,07

Personale Azione 3

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Personale Dipendente fascia media	Responsabile organizzativo (Studio dei dati di letteratura e attività di monitoraggio)	409	24.153,81
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico (Studio dei dati di letteratura e sviluppo DSS)	1293	35.622,46
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico (Sopralluogo, progettazione e installazione impianti e sensoristica di campo)	861	29.587,92
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico (Installazione impianti, raccolta dati di campo)	1067	18.333,06
			Totale:	107.697,25

Personale Azione 4

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Personale Dipendente fascia media	Responsabile organizzativo (Scrittura degli articoli, dei contenuti web e presentazione incontri tecnici)	217	12.767,62
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico (Analisi statistica, scrittura degli articoli, dei contenuti web e presentazione incontri tecnici)	241	6.613,86
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico (Scrittura degli articoli, dei contenuti web e presentazione incontri tecnici e visita di campo)	304	10.476,36
	Personale Dipendente fascia bassa	Tecnico (Preparazione dati per realizzazione di articoli e incontri tecnici)	143	2.487,38
			Totale:	32.345,22

2.3 Trasferte

Cognome e nome	Descrizione	Costo
		Totale:

2.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo

		Totale:

2.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

Fornitore	Descrizione dell'attrezzatura	Costo
		Totale:

2.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

Descrivere i prototipi realizzati e i materiali direttamente imputabili nella loro realizzazione

--

Fornitore	Descrizione	Costo
		Totale:

2.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

--

2.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo

			Totale:

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
UNIBS		8.000,00	AZIONE 1 Coordinamento scientifico	8.000,00
UNIBS		31.158,20	SOTTO-AZIONE 3.1 Implementazione e validazione dei modelli per la difesa del pero	31.158,20
UNIBS		45.802,46	SOTTO-AZIONE 3.4 Stima degli impatti legati alla pericoltura	45.802,46
UNIBS		5.400,00	SOTTO-AZIONE 4.3 Realizzazione di articoli tecnici e/o divulgativi	5.400,00
			Totale:	90.360,66

3 - Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Lunghezza max 1 pagina

Criticità tecnico scientifiche	<p>Per quanto riguarda la prova eseguita per il contenimento della maculatura bruna tramite l'installazione di un impianto di copertura antiacqua, i teli hanno ridotto in modo significativo il passaggio dell'acqua sulla fila, ma il passaggio dell'acqua nell'interfila non ha consentito una riduzione della bagnatura e quindi un contenimento della malattia, probabilmente anche a causa degli straordinari eventi piovosi (più di 300 mm di pioggia in poco più di un mese). Si noti comunque che l'incidenza sui frutti fuori dalla copertura è stata del 55% a fronte di 18 trattamenti fungicidi effettuati.</p> <p>Con riferimento alla modellistica, la calibrazione del modello fenologico di psilla può al momento essere considerata parziale, a causa della limitata durata del progetto e dell'assenza di dati di monitoraggio precedenti. Tuttavia, nonostante tali criticità, i risultati fin qui ottenuti sono molto promettenti per l'avversità oggetto di studio.</p>
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Nessuna
Criticità finanziarie	Nessuna

4 - Altre informazioni

Riportare in questa sezione eventuali altri contenuti tecnici non descritti nelle sezioni precedenti

5 - Considerazioni finali

Riportare qui ogni considerazione che si ritiene utile inviare all'Amministrazione, inclusi suggerimenti sulle modalità per migliorare l'efficienza del processo di presentazione, valutazione e gestione di proposte da cofinanziare

6 - Relazione tecnica

DA COMPILARE SOLO IN CASO DI RELAZIONE FINALE

Descrivere le attività complessivamente effettuate, nonché i risultati innovativi e i prodotti che caratterizzano il Piano e le potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale

Con riferimento all'implementazione di strumenti innovativi per la difesa del pero è stato sviluppato un modulo di DSS per la difesa del pero (*Stemphylium vesicarium*, *Venturia pyrina*, *Cydia pomonella*, *Cacopsylla pyri*) e valutata l'aderenza delle simulazioni ai dati di monitoraggio di campo.

Per quanto riguarda le fitopatie, sono stati sviluppati i modelli di ticchiolatura del pero e di maculatura bruna in grado di simulare la dinamica del rischio infettivo e, quindi, di guidare la strategia di difesa. L'effetto è quello di limitare gli input esterni ad azioni mirate, guidate dal reale stato fitosanitario della coltura.

Per quanto riguarda gli insetti sono stati sviluppati dei modelli fenologici che permettono di descrivere il ruolo dei dati meteo-climatici sulle risposte fisiologiche individuali e stadio-specifiche e di simulare la dinamica di popolazione di carpocapsa e psilla per ciascun stadio di sviluppo considerato. I modelli permettono di ottenere, ad ogni intervallo temporale, la percentuale di popolazione presente in ciascuno stadio. Questa informazione è particolarmente importante per supportare la presa delle decisioni circa l'attuazione di azioni volte al monitoraggio e/o al controllo delle popolazioni. I modelli sviluppati richiedono come input i dati meteorologici e, una volta calibrati, non richiedono l'utilizzo di ulteriori dati provenienti da monitoraggio. I modelli sono stati calibrati utilizzando dati di monitoraggio dello stadio adulto delle specie oggetto di studio, raccolti in alcune aziende agricole dell'Emilia Romagna. Rispetto ai modelli presenti in letteratura, qui si è posta particolare attenzione alla rappresentazione realistica del processo di terminazione della diapausa e del successivo sviluppo della generazione svernante. Simulare questi aspetti è risultato fondamentale per ottenere dei risultati il più aderenti possibile ai dati osservati, con impatti positivi per quanto riguarda le performance dei modelli e i benefici per gli utilizzatori finali. Per entrambi gli insetti sono state stimate delle funzioni di sviluppo per gli stadi appartenenti alla generazione svernante. Le simulazioni delle dinamiche di carpocapsa e psilla, ottenute dal modello proposto, hanno generato curve di dinamica che ben approssimano l'andamento dei dati raccolti in campo.

I modelli sviluppati per la difesa del pero, opportunamente implementati all'interno di un *Decision Support System* (DSS), consentono di ottenere indicazioni quantitative a supporto della gestione delle specie oggetto di studio. In particolare, permettono di identificare le tempistiche ottimali per l'implementazione di azioni di monitoraggio e/o controllo di fitopatie e parassiti, allo scopo di razionalizzare l'uso di prodotti fitosanitari. Questi modelli possono quindi rappresentare degli strumenti particolarmente utili a supporto di una gestione sostenibile e *knowledge-based*, con impatti positivi per quanto riguarda i costi di gestione e la riduzione dell'uso dei prodotti fitosanitari, a vantaggio della salute dell'uomo e dell'ambiente.

Per quanto riguarda la maculatura bruna, la fitopatia economicamente più impattante per l'Abate Fétel, è stata condotta una prova sperimentale di contenimento della malattia mediante l'installazione di un impianto di copertura antiacqua. Tuttavia, a causa degli straordinari eventi piovosi (più di 300 mm di pioggia caduti tra maggio e giugno), i teli hanno ridotto in modo significativo il passaggio dell'acqua sulla fila, ma non nell'interfila. Non è stato quindi possibile ottenere una riduzione delle ore di bagnatura e quindi un contenimento della malattia.

L'integrazione della sensoristica di campo per la razionalizzazione della gestione idrica dei pereti e l'analisi della tecnica aziendale (gestione irrigua empirica) hanno consentito una valutazione della qualità delle produzioni e

dell'impatto ambientale di queste strategie. L'utilizzo del DSS irrigazione ha dimostrato come sia possibile, a fronte di una ottimizzazione degli input produttivi e di una riduzione degli impatti ambientali, incrementare le rese e le qualità delle produzioni (sostanza secca e °Brix). L'auspicabile diffusione di questi sistemi di supporto alla decisione e di controllo dell'apporto idrico, in grado di garantire livelli di umidità ottimali per le colture, contribuirà ad accrescere la resilienza e adattabilità degli agricoltori agli eventi meteorologici estremi in aumento, riflesso di una crescente imprevedibilità climatica.

L'analisi comparativa effettuata mediante l'approccio della Valutazione del Ciclo di Vita (LCA) ha evidenziato e quantificato i vantaggi derivanti dall'adozione dei sistemi di supporto alle decisioni nella gestione agronomica rispetto alla gestione empirica tradizionale. Le riduzioni degli impatti ambientali, inclusi quelli sulle emissioni di gas serra, sull'uso dell'acqua e su fenomeni come l'acidificazione, l'eutrofizzazione delle acque e la tossicità per l'uomo e per l'ambiente, mettono in risalto l'efficacia delle soluzioni innovative come la difesa e l'irrigazione di precisione. Tali approcci innovativi non solo possono generare benefici economici e produttivi, ma anche vantaggi ambientali concreti, promuovendo una gestione agronomica efficace e allo stesso tempo virtuosa. Per quanto concerne gli indicatori di risultato, per le "Valutazioni di impatto ambientale e di consumo energetico", sono stati finalizzati i seguenti aspetti: "potenziale di riscaldamento globale", "potenziale di acidificazione", "potenziale di eutrofizzazione", "potenziale di degradazione della fascia di ozono", "uso delle risorse abiotiche", "formazione di ossidazione fotochimica". Rispetto agli indicatori di risultato per la "Valutazione dei rischi legati all'uso dei prodotti fitosanitari", sono stati invece finalizzati: "quantificazione del rischio per la salute dell'uomo" e "quantificazione del rischio per la salute dell'ambiente".

Con riferimento al trasferimento delle competenze tecnico-scientifiche al mondo operativo tramite attività divulgativa sono state implementate diverse iniziative: una visita guidata, 5 incontri tecnici, 4 articoli divulgativi, un articolo scientifico, almeno 8 tra post su social e news sul sito di Terremerse e una pagina web dedicata al Progetto INNOVASPRING.

Data 14/05/2024

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

