**C.N.R- IBIMET**
**Consiglio Nazionale delle Ricerche**
**Istituto di Biometeorologia -** *Sede Centrale*

# REPORT Progetto misura 16.2 PSR 2014-2020 della Regione Toscana
# PIF 100 Imprese 3S ECO-NURSERY

**2016-2018**

**Responsabile dell'attività del CNR-IBIMET**: Dr. Piero Battista

Gruppo di lavoro: Piero Battista, Rapi Bernardo, Romani Maurizio, Sabatini Francesco, Nicola Luchi (CNR-IPSP), Marco Michelozzi (CNR-IBBR), Aida Raio (CNR-IPSP)

Nell'ambito del progetto, il CNR-IBIMET è coinvolto nelle azioni della **Fase 5 - Integrated Pest Management (IPM) ed impiego di bio-pesticidi** con il Dipartimento di Scienze delle Produzioni AgroAlimentari e dell'Ambiente (DISPAA), l'Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (CNR - IPSP), l'Istituto di Bioscienze e Biorisorse (CNR - IBBR), la Società Agricola Romiti Vivai e GIEFFE Vivai.

**Azione 5.1**. Uso Razionale dei Fitofarmaci.

Soggetto attuatore: CNR-IBIMET. Partner: Società Agricola Romiti Vivai e GIEFFE. L'attività mira alla messa a punto di un sistema di supporto fitosanitario, da realizzarsi nell'ambito di due sub-azioni:

- **5.1.1** Sviluppo e realizzazione del sistema di supporto.
- **5.1.2** Sperimentazione e collaudo del sistema di supporto.

**Azione 5.2.** Gestione delle fitopatie e delle piante infestanti: monitoraggio e impiego di prodotti naturali, biopesticidi e bioerbicidi.

Soggetto attuatore DISPAA. Partner: CNR-IBIMET (con la collaborazione dell'Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (CNR - IPSP) e dell'Istituto di Bioscienze e Biorisorse (CNR - IBBR)), Società Agricola Romiti Vivai, GIEFFE. Anche questa azione prevede due sub-azioni:

- **5.2.1** Diagnosi delle fitopatie.
- **5.2.2** Impiego di prodotti naturali, biopesticidi e bioerbicidi.

Le attività della **Fase 5** sono state suddivise facendo una distinzione tra il lavoro richiesto per la realizzazione degli strumenti di supporto "Uso razionale dei fitofarmaci" e quello necessario per la "Gestione delle fitopatie e delle piante infestanti". Ambedue le azioni sono tese all'individuazione di tecnologie innovative per un aumento delle conoscenze e una razionalizzazione degli interventi di lotta fitosanitaria. La prima si basa su strumenti di monitoraggio e sulla modellistica agrometeorologica, mentre la seconda mira ad individuare e promuovere l'impiego di prodotti a minor impatto ambientale, come biopesticidi e bioerbicidi.

**Fase 5 - Integrated Pest Management (IPM) ed impiego di bio-pesticidi**

La gestione integrata dei patogeni è un approccio possibile ai problemi ambientali generati dalle classiche metodologie di lotta. Il suo obiettivo è quello di tenerne sotto controllo lo sviluppo, riducendo al minimo il numero di trattamenti chimici e contrastandone la diffusione. Si tratta, quindi, di una strategia che si concentra sulla prevenzione e il controllo, attraverso una combinazione di tecniche che vanno dal monitoraggio ambientale, all'impiego di corrette pratiche culturali, dall'introduzione di resistenti al ricorso a prodotti a basso impatto ambientale. La lotta chimica tradizionale è utilizzata solo quando strettamente necessaria, allo scopo di rimuovere l'organismo bersaglio limitando i rischi per la salute umana, gli organismi benefici e gli ecosistemi.

Adottare queste procedure significa, in primo luogo, fare attenzione ai fattori ambientali che influenzano lo sviluppo del patogeno e la sua pericolosità. Il ricorso a strumenti di monitoraggio agrometeorologici (stazioni agrometeorologiche, trappole, telecamere, ecc.) e la corretta identificazione dei rischi, attraverso modelli di simulazione e indici affidabili, è quindi determinante. Soltanto grazie alla disponibilità di informazioni affidabili sulle reali condizioni ambientali ed epidemiologiche, è possibile maturare decisioni consapevoli sulla tipologia di lotta da adottare, sui prodotti da impiegare e sui tempi d'intervento.

Trattandosi di un campo estremamente complesso e articolato, i partner di progetto hanno convenuto di procedere secondo tre direttive principali:

i) individuare e organizzare l'informazione tecnico-scientifica disponibile, per renderla fruibile agli operatori del settore;
ii) individuare gli strumenti e le procedure da utilizzare in ambito vivaistico per l'attuazione delle tecniche di lotta integrata all'interno del comparto;
iii) verificare la fattibilità e la validità dell'approccio agrometeorologico in termini di supporto alle attività gestionali e di lotta alle fitopatie.

Inoltre, è importante ricordare che gli strumenti e le metodologie individuate e messe a disposizione nell'ambito del progetto devono necessariamente essere rispettose del "modus

operandi" dei partner tecnici, soddisfacendo i requisiti di semplicità e fruibilità che li rendono potenzialmente utilizzabili a livello operativo nelle realtà produttive coinvolte.

Per tale motivo, gli utenti sono stati sensibilizzati sull'importanza d'introdurre nuove tecniche di lotta, basate sui principi dell'IPM (https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/sustainable_use_pesticides/ipm_en) e sull'impiego di bio-pesticidi. Gli strumenti di monitoraggio e supporto proposti dalla nostra unità operativa, devono pertanto essere considerati come una delle componenti essenziali della lotta integrata, che prevede tuttavia diverse altre misure, quali: i) l'introduzione di nemici naturali (predatori, parassiti, agenti patogeni e concorrenti), per controllare i parassiti e ridurne l'impatto negativo sulla produzione; ii) l'adozione di buone pratiche gestionali, che riducano la formazione, la riproduzione, la dispersione e la sopravvivenza dei parassiti agendo, ad esempio, sui parametri ambientali (temperatura, umidità, irrigazione, ecc.); iii) l'uso di controlli meccanici e fisici, come lavorazioni, barriere, reti e altro; iv) il controllo chimico basato sull'uso di prodotti naturali, a minor impatto ambientale.

Nella logica gestionale proposta, il ricorso ai pesticidi dovrebbe essere limitato ai casi di effettiva necessità, in combinazione con altre tecniche che hanno mostrato una buona efficacia, soprattutto nel medio e lungo termine. Queste precisazioni sono ritenute necessarie, per sottolineare l'importanza di un coinvolgimento diretto degli attori del comparto produttivo che devono, con l'aiuto della ricerca e degli organi istituzionali, procedere con convinzione verso il progressivo aggiornamento delle proprie tecniche produttive.

I sistemi informativi e di supporto, in questa fase, non possono che dare indicazioni ambientali e gestionali, lasciando agli operatori una piena autonomia nella scelta delle tecniche di lotta più adatte alla propria realtà.

I principi dell'IPM si fondano su solide conoscenze tecnico-scientifiche e la loro applicazione deve necessariamente passare attraverso una fase di confronto e formazione, nella quale il ruolo più importante è svolto dalle organizzazioni di settore, che hanno la forza e le competenze necessarie per promuovere l'innovazione. Nell'ambito del progetto 3S-Econursery, pertanto, proprio per promuovere la diffusione delle buone pratiche gestionali, è stato chiarito che un ruolo di primo piano è assegnato alle persone coinvolte a vario titolo all'interno della filiera vivaistica (operatori, tecnici, esperti e consulenti), che rappresentano un pilastro del sistema e devono svolgere la prima, più importante, azione di supporto.

Il ruolo assegnato al sistema informativo è quindi quello di raccogliere l'informazione esistente e renderla accessibile a queste figure e agli utenti finali, così che possano maturare una sempre maggiore consapevolezza rispetto all'importanza di adottare e diffondere tecniche gestionali pienamente sostenibili.

**Azione 5.1. Uso Razionale dei Fitofarmaci**

Le attività condotte nell'ambito di questa fase sono state orientate all'individuazione e alla messa a punto di procedure di supporto alla gestione integrata e sostenibile di patogeni e fitopatie, con particolare attenzione verso le specifiche esigenze manifestate dai partner e dagli operatori del settore florovivaistico pistoiese.

Il lavoro svolto ha consentito di individuare alcune soluzioni operative, per il monitoraggio e la valutazione del rischio fitosanitario, da introdurre e diffondere a livello operativo, con l'obiettivo di ridurre i rischi di danno per i vegetali, limitando al contempo l'apporto di agenti chimici dannosi per l'ambiente.

Al punto 5 "Descrizione della proposta progettuale" della proposta di progetto, sono state date precise indicazioni sugli obiettivi dell'IPM, fatti propri dal progetto 3S-EcoNursery:
*"La riduzione della quantità di pesticidi utilizzati, specialmente a largo spettro, è uno dei benefici maggiori dei sistemi integrati di gestione, che consente tra l'altro di agire in maniera mirata, secondo i principi dell'agricoltura di precisione, aumentando l'efficacia dei trattamenti".*

Per consentire agli agricoltori di raggiungere questo importante obiettivo, occorre predisporre e diffondere l'uso di sistemi in grado di fornire indicazioni sulle procedure da seguire e sui fattori da prendere in esame per effettuare scelte corrette in termini di:

- Contesto operativo/rischi e obiettivi;
- Tipologia di prodotto;
- Quantitativi e procedure;
- Tempistica e tempestività dei trattamenti;
- Rilevanza delle condizioni meteoclimatiche.

Un sistema di supporto deve quindi poter integrare le informazioni disponibili, per metterle a disposizione degli operatori, dando indicazione sui relativi livelli di rischio, così da poter predisporre interventi tempestivi ed efficaci, sulla base di elementi obiettivi e verificabili.

Disponendo di dati micrometeorologici, il sistema può consentire di riconoscere le peculiarità di ciascun settore e quindi indicare le strategie da adottare, in linea con le direttive europee e le buone pratiche riconosciute a livello tecnico-scientifico.

Seguendo i principi della modellistica agrometeorologica, inoltre, è possibile ottenere indicazioni spaziali sui rischi esistenti all'interno dell'area d'interesse, anche in forma previsionale. Questo può rappresentare un grande vantaggio operativo, sia per l'individuazione delle aree a maggior rischio che per la programmazione di trattamenti mirati.

Per garantire un adeguato livello informativo, tuttavia, occorre che si instauri un rapporto diretto e formale tra utente finale e gestore del sistema di supporto, che consenta di soppesare correttamente tutti gli elementi che contribuiscono a determinare le scelte operative.

Trattandosi di un comprensorio esteso, dinamico ed eterogeneo, per il momento molti fattori devono essere gestiti dell'utente, che mantiene una piena autonomia decisionale e operativa rispetto a qualsiasi indicazione che possa essere prodotta da operatori esterni o da un sistema automatico. Completando il quadro informativo e verificando la validità delle assunzioni fatte, l'utente può ricevere indicazioni più precise sulle strategie da adottare, sulle migliori condizioni operative e sulle possibilità effettive di ridurre l'impatto ambientale delle proprie attività.

Tuttavia, le procedure messe a punto per la valutazione del rischio fitosanitario basate sull'analisi dell'andamento temporale delle principali grandezze meteorologiche (radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria, ecc.), possono essere di supporto anche a realtà produttive per le quali non si dispone di una rete di rilevamento agrometeorologico. In questo caso, le informazioni che devono essere fornite al sistema di supporto sono sostanzialmente di natura tecnica, relativamente, ad esempio, alla tipologia vegetale presente nell'area d'interesse o alle tecniche gestionali in atto, che permettono almeno in linea di principio di determinare la validità e l'applicabilità delle indicazioni modellistiche.

In mancanza di una rete professionale e capillare di rilevamento, possono essere effettuate analisi epidemiologiche, basate su modelli geostatistici e indici di rischio. Nell'ambito del progetto, sono stati prodotti alcuni esempi di queste analisi, portati all'attenzione di esperti, per comprenderne l'interesse operativo e l'impatto potenziale dell'introduzione di tali metodologie nel comprensorio vivaistico pistoiese.

**Contesto operativo/rischi e obiettivi**

Come noto, l'uso dei pesticidi è sotto osservazione da parte di molti Enti ed organizzazioni, sia a livello locale sia a livello nazionale e internazionale. Tra gli addetti ai lavori, al di là degli aspetti allarmistici, vi è accordo sul fatto che occorre maturare una maggiore consapevolezza e diffondere un uso responsabile di questi importanti presidi fitoiatrici.

Il settore florovivaistico *in primis* sente l'esigenza di strumenti che permettano di assicurare uno scambio continuativo di informazioni tra gli utilizzatori finali e le figure che, a vario titolo, sono chiamate ad aggiornare e supportare i produttori. Strumenti che oggi possono essere facilmente accessibili, tramite dispositivi multimediali e ICT e multimediali, favoriscono lo scambio e la condivisione delle informazioni, limitando la necessità di sopralluoghi e d'incontri. Gli operatori, d'altro canto, sono sempre più preparati e consapevoli della necessità di proteggere loro

stessi e l'ambiente, rendendosi disponibili ad uno scambio d'informazioni che, comunque, richiede un impegno costante e grande chiarezza.

La volontà e l'obiettivo del comune lavoro rimane quello di ridurre al minimo le iniziative estemporanee o arbitrarie, basando l'attività su principi scientifici e su considerazioni condivise. In questo contesto, i sistemi di supporto alle decisioni si pongono anch'essi come strumenti di lavoro comune, in grado di dare concretezza e coerenza alle procedure di valutazione e ai criteri d'intervento, mettendo in evidenza anche le incertezze e le eventuali carenze informative.

Stante l'interesse primario nella salvaguardia delle produzioni e delle attività produttive, anche le indicazioni fornite dal DSS sono di natura prevalentemente conservativa e non hanno la pretesa di porsi come imposizioni. Si tratta di iniziare un percorso di confronto e di verifica che, nel medio termine, permetta di abbandonare empirismo e soggettività per seguire la strada dell'equilibrio e del controllo dei risultati.

Si deve, infine, ricordare che lo scambio a la condivisione delle informazioni all'interno della filiera produttiva rappresenta la via maestra per accelerare il processo innovativo, il solo che può portare all'adozione delle buone pratiche ambientali, sulla scia di quanto già fatto nei paesi più avanzati (Stati Uniti, Olanda, Australia, Canada, ecc.).

**Scelta e impiego del prodotto fitosanitario**

La scelta e la somministrazione dei prodotti fitosanitari (P.F.) è oggi sotto la responsabilità di tecnici abilitati, che operano secondo rigide normative ambientali. Un sistema di supporto, pertanto, non può che richiamare i principi di base e le condizioni previste per l'impiego, mettendo a disposizione i dati e le informazioni richieste per una rapida valutazione della situazione ambientale e dei limiti operativi esistenti.

Tutte le banche dati realizzate in questi anni mettono al primo posto le caratteristiche dei principi attivi presenti nei vari prodotti commerciali, collegandoli alle modalità d'impiego e ai vari elementi d'interesse sanitario, ambientale e normativo (https://www.sian.it/fitovis/; http://indicatori-pan-fitosanitari.isprambiente.it/entitypan/basic/19; http://indicatori-pan-fitosanitari.isprambiente.it/content/uso-sostenibile-dei-prodotti-fitosanitari; http://ipm.ucanr.edu/GENERAL/pesticides.html; http://npic.orst.edu/; https://www.hracglobal.com/; http://www.frac.info/; http://www.irac-online.org/) Le sostanze attive utilizzate posseggono, infatti, proprietà molto diverse e svolgono funzioni differenti, agendo come antidoti diretti o come propedeutici o facilitatori dell'azione di altre sostanze, secondo principi specifici che devono essere sempre ricordati.

In molti casi, il loro impiego consapevole ed efficace richiede la conoscenza dei cicli di sviluppo degli organismi patogeni e delle piante, proprio perché la loro azione è orientata ad influenzare i loro processi fisiologici, tramite il controllo di metaboliti o il blocco di processi vitali o

altro. Le stesse norme e modalità d'impiego possono cambiare, a seconda dell'ambiente nel quale il prodotto viene utilizzato (agricolo, urbano o domestico) e della funzione che di esso viene fatta (professionale, semiprofessionale o hobbistica). Tutte queste informazioni sono disponibili presso i siti informativi e riportate in etichetta, assieme ai dati sulla tossicità (etichetta CLP), ma devono essere aggiornate continuamente a causa soprattutto dei continui cambiamenti del quadro normativo.

Dal 2015, la classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio dei prodotti chimici è regolata dalle norme del Regolamento (CE) n. 1272/2008 denominato CLP (Classification, Labelling and Packaging), secondo i principi del GHS (Globally Harmonized System), definito dal Consiglio economico e sociale delle Nazioni Unite.

Vediamo, in maniera sintetica, alcuni principi utilizzati per la classificazione del prodotto fitosanitario:

- **Organismo Bersaglio** (Target). Si tratta di indicare l'obiettivo del trattamento, l'organismo verso il quale l'intervento è diretto. Si distinguono, pertanto, prodotti batterici, fungicidi (o anticrittogamici), insetticidi, acaricidi, nematodicidi, molluschicidi, rodenticidi, diserbanti, repellenti, fumiganti, fitoregolatori, fisiofarmaci.
- **Modalità di somministrazione.** Alla pianta o al terreno, per applicazione diretta o immissione in atmosfera, per incorporamento nel suolo o per irrigazione.
- **Interazione**. Per copertura o contatto, con prodotti citotropici o locosistemici, translaminari, sistemici, o soggetti a traslocazione (apoplastica - ascendente per via xilematica; o simplastica – discendente per via floematica, dalle foglie verso le radici).
- **Tempi di somministrazione.** Prodotti dati in prevenzione (prima della comparsa di sintomi), cura (al momento della comparsa) o eradicazione (dopo un attacco grave).
- **Effetto sul patogeno**. Azione nei diversi stadi del suo sviluppo (interruzione del ciclo o di processi vitali o riproduttivi). Sugli insetti, ad esempio, possono agire nei diversi stadi (ovicidi, neanicidi, larvicidi o adulticidi) per ingestione, contatto o semplicemente ostacolandone la riproduzione (es. feromoni), così come per le erbe infestati possono essere impiegati prima della semina della coltura (pre-semina), o prima che questa si renda visibile (pre-emergenza) oppure quando l'infestazione è già in atto (post-emergenza).
- **Modalità d'impiego.** In questo caso debbono essere prese in esame alcune importanti proprietà, che hanno una loro rilevanza anche dal punto di vista ambientale. Si dovranno prendere in esame elementi quali: l'azione verso l'agente patogeno (attività); il comportamento fisico (potere bagnante, ricoprente, adesività, tenacità, persistenza, resistenza al dilavamento, fitotossicità, selettività, ecc.). Nel caso in cui vengano impiegate miscele di

prodotti, si deve tener conto della solubilità dei prodotti nei diversi solventi, evitando fenomeni di antagonismo o pericolose interazioni.

- **Tossicità.** Prende in esame l'impatto che i prodotti fitosanitari possono avere sull'uomo, sulle piante e/o sull'ambiente. Generalmente si usano le dosi letali (DL50; mg/kg) o le concentrazioni letali (CL50; ml/L), che esprimono la tossicità in base alla quantità di principio attivo necessaria per provocare la morte del 50% degli animali da laboratorio, ai quali il principio attivo viene somministrato una sola volta per via orale (DL50 orale) o dermale (DL 50 dermale) o inalatoria (CL50). I valori sono rapportati all'uomo tramite idonei fattori di correlazione (milligrammi di principio attivo per chilogrammo di peso corporeo; mg/kg). I valori di CL50 sono applicati anche ai prodotti fitosanitari in polvere il cui diametro delle particelle sia inferiore a 50 micron (micron (μ) = millesimo di millimetro).

L'uso tradizionale dei fitofarmaci può comportare un'immissione nell'ambiente di quantitativi significativi di principi attivi, che possono diffondersi e accumularsi, con effetti nocivi, anche gravi, su organismi diversi dal patogeno bersaglio, sugli ecosistemi e anche sull'uomo. L'impiego indiscriminato dei prodotti può inoltre determinare una pressione selettiva sugli stessi organismi nocivi, favorendo lo sviluppo di tolleranze e resistenze, con il rischio di mettere in pericolo intere aree produttive. Tale diffusione è quindi da evitare, cercando per quanto possibile di intervenire con precisione spaziale e temporale, in modo da massimizzare l'efficacia degli interventi e l'effetto di contrasto desiderato.

Un presupposto fondamentale per una riduzione dell'impatto ambientale è rappresentato dall'adozione delle buone pratiche agronomiche, volte a rendere le colture meno vulnerabili nei confronti delle avversità. Agendo sulle caratteristiche micrometeorologiche, chimico-fisiche e microbiologiche dei vari elementi dell'ambiente (acqua, suolo aria), si può quindi migliorare lo stato generale delle piante e la loro resistenza, limitando lo sviluppo dei patogeni.

Nel corso del tempo, inoltre, si è passati da strategie di lotta a calendario, in cui i trattamenti sono eseguiti a cadenze predeterminate senza tenere conto dei rischi reali o dell'effettiva presenza del parassita, ad una lotta guidata, basata sull'adozione di soglie di intervento, fino ad una lotta integrata, caratterizzata da un impiego razionale di differenti mezzi di difesa.

Oltre ai prodotti chimici (anche bio), quindi, i più comuni mezzi di protezione includono:

- Procedure agronomiche (rotazioni, avvidendamenti, consociazioni, lavorazioni, concimazioni e potature, sesti d'impianto, ecc.).
- Selezione e adozione di varietà resistenti o innesti.
- Adozione di strumenti di protezione da agenti abiotici (barriere, coperture, ecc.), uso di reti o trappole.

- Applicazione di calore (solarizzazione, vapore, riscaldamento, ecc. ) su terreno o acqua; uso di filtri o trattamenti sanificatori (es. UV), ecc..
- Immissione in ambiente di antagonisti naturali, trappole sessuali, o altri strumenti di lotta biologica.

Secondo il Piano d'Azione Nazionale (PAN) la "Difesa fitosanitaria a basso apporto di prodotti fitosanitari", consiste nell'impiego congiunto (integrato) di tutte le tecniche fin qui ricordate, con lo scopo di mantenere i patogeni al di sotto della soglia di tolleranza (http://indicatori-pan-fitosanitari.isprambiente.it/). Questo è il principio guida del progetto PIF 3S Eco-Nursery, che ha avuto lo scopo di portare all'attenzione degli utenti finali e dei produttori florovivaistici l'importanza di conoscere e, dove possibile, adottare tutti i fattori di lotta raccomandati.

Particolare enfasi è stata posta nel quadro della nostra azione nell'evidenziare il ruolo giocato dai fattori ambientali e nell'importanza di raccogliere dati agrometeorologici ad adeguate scale spaziali e temporali, in modo da consentire una stima preventiva dei livelli di rischio raggiunti in un determinato periodo in funzione dell'andamento meteoclimatico. Nel momento in cui s'instaurano condizioni di rischio, comunque, gli operatori devono tener conto delle soglie (economica e di tolleranza) e dei criteri operativi specifici del proprio settore o comparto produttivo (difesa volontaria).

**Il ruolo dei Biopesticidi**

Si tratta di agenti di lotta biologica che, nell'accezione più vasta, comprendono organismi viventi e prodotti naturali derivati da tali organismi, in grado di contrastare lo sviluppo dei patogeni vegetali (Thakore, 2006; Kiewnick, 2007). Alcuni autori ritengono che il termine biopesticida debba essere utilizzato per indicare soltanto l'impiego di organismi viventi (Villaverde et al., 2014), ma attualmente indica propriamente i prodotti che contengono molecole di origine biologica, in grado di esercitare un'azione di controllo su agenti patogeni.

L'Environmental Protection Agency (EPA) riconosce tre classi di biopesticidi: biochimici, plant-incorporated protectants (derivati da tecnologia transgenica) e microrganismi, mentre altri fanno una distinzione tra biochimici, intesi come metaboliti secondari prodotti dalle piante, e semiochimici, sostanze prodotte da organismi che determinano un cambiamento del comportamento negli individui (es. feromoni).

I vantaggi che sono risconosciuti a queste sostenze sono legati alla loro ridotta tossicità, ai minori rischi per l'uomo e per gli individui non-targhet e un minor rischio che si sviluppino resistenze. Il mercato dei biopesticidi è in continua crescita e si registrano centinaia di principi

attivi ogni anno, con migliaia di prodotti commerciali. In coincidenza con questa tendenza, si osserva un costante calo delle vendite dei prodotti agrochimici che pur rimangono dominanti, salvo qualche eccezione, come quelle di alcune produzioni in serra di paesi più avanzati (come Olanda e Spagna), nei quali l'uso dei sistemi di lotta biologica ha superato quello dei prodotti tradizionali.

Certamente, questo cambiamento è spinto dalle nuove correnti di pensiero relative alla difesa fitosanitaria, che tendono a promuovere un'agricoltura più sostenibile, con pratiche che mirino al semplice contenimento degli agenti patogeni e dei relativi danni (Cowen et al., 1996). I biopesticidi sono stati visti, d'altro canto, come strumenti fondamentali per l'attuazione della lotta integrata (Integrated Pest Management) all'interno dell'Unione Europea (Direttiva 2009/128/EC), recepita poi a livello nazionale (DL 14 agosto 2012, n. 150), nel quadro dell'azione comunitaria finalizzata all'utilizzo sostenibile dei pesticidi, e poi introdotto nei Programmi di Sviluppo Rurale di alcune Regioni italiane.

Inevitabilmente, l'adozione dei nuovi prodotti e delle relative tecniche di lotta comporta per il produttore un aumento dei costi variabili, sia per il prezzo di mercato più alto di questi prodotti sia per l'aggiornamento richiesto a livello operativo e tecnico (Uri, 1999; Chandler et al., 2011). In questo contesto, per il settore florovivaistico potrebbe essere decisivo un aumento della domanda di prodotti biologici, spinto dai produttori e dai professionisti più attenti alle problematiche ambientali.

La ricerca può essere uno strumento attraverso il quale è possibile superare alcune delle attuali limitazioni dei prodotti biologici (selettività, persistenza, ecc.), malgrado le limitate risorse economiche a diposizione e la ridotta capacità d'investimento del settore nel campo dell'innovazione. In letteratura viene evidenziato che la sola azione dei biopesticidi può non essere sufficiente a garantire produzioni ottimali per l'intero settore e che in alcuni casi si deve acettare un loro utilizzo sinergico con i pesticidi convenzionali (Chandler et al. 2011).

**Sistema di Supporto alle decisioni**

Il ricorso ai sistemi di supporto alle decisioni in ambito agricolo è andato aumentando negli ultimi anni, soprattutto per applicazione di "Agricoltura di precisione" legate alla gestione degli interventi agronomici e dei trattamenti fitosanitari (Bacci et al., 2008; Battista et al., 2013; Cacini et al., 2016; Pardossi et al., 2014; Teani et al., 2014) Il trasferimento delle competenze acquisite tramite l'esperienza diretta in campo è la via maestra per tutti i sistemi di supporto, che in questo modo possono progredire e rispondere sempre meglio alle esigenze informative degli operatori.

L'evoluzione tecnologica e l'innovazione delle pratiche produttive non sono più da considerasi un'opzione, ma piuttosto una necessità, per il mantenimento della competitività e la prevenzione delle crisi (biologiche, ambientali o di altra natura).

Lo scopo degli strumenti di supporto alle decisioni è sostanzialmente quello di dare

un'indicazione (sintetica) della situazione esistente nel campo d'interesse dell'operatore, senza tuttavia imporre una scelta, che sicuramente comporta anche considerazioni di elementi di natura diversa. Una delle funzioni primarie del sistema di supporto è quindi quella di rendere più facilmente accessibile l'informazione richiesta perché il decisore possa "farsi un'idea" realistica della situazione esistente.

La seconda cosa è permettere all'utente il controllo o la visualizzazione di elementi che sfuggono alla sua ordinaria visione o che non sarebbe in grado di seguire nel suo complesso. Questo è possibile grazie a strumenti di monitoraggio (sensoristica agrometeorologica) e sistemi di osservazione da remoto (es. satelliti, droni, ecc.) (Battista etal., 2013; D'Urso et al., 2008).

Vi è poi una ulteriore funzione, che consiste nel potenziare le capacità di analisi e di sintesi, così da poter valutare l'opportunità di determinate azioni in modo obiettivo e trasparente. Questo compito viene assegnato normalmente a indici e modelli, più o meno complessi, che rappresentano una sorta di interlocutore, con il quale l'utente dovrebbe confrontarsi, dando il proprio contributo ad un progressivo miglioramento della capacità di stima del sistema.

In senso lato, volendo schematizzare, si può dire dire che le normali componenti di un DSS comprendono (Battista et al., 2016):

- DATI (provenienti da sorgenti diverse, d'archivio e di monitoraggio)
- INDICI e MODELLI (in grado di produrre informazioni di sintesi)
- CONOSCENZA (data dall'apporto conoscitivo di esperti e consulenti e formalizzata in algoritmi e criteri di analisi)
- DOCUMENTAZIONE (sia informativa sia tecnica)
- COMUNICAZIONE (capacità di raggiungere l'utente nei modi e nei tempi richiesti, rappresentata da strumenti Hw/Sw e metodologie d'informazione - ICT)

Facendo riferimento alle esperienze pregresse, così come previsto da molti autori, un sistema di supporto deve prevedere il coinvolgimento diretto anche di personale tecnico-operativo e degli utenti finali, chiamati in primo luogo a condividere dati d'interesse meteo-ambientale, sanitario ed epidemiologico

La validità generale delle informazioni prodotte, infatti, trae vantaggio dalla disponibilità di dati raccolti in maniera diffusa sul territorio, rappresentativi delle diverse condizioni microclimatiche esistenti. Un tale sistema, inoltre, potrebbe essere rafforzato dalla presenza di un impianto sperimentale (vivaio pilota), da utilizzare principalmente per la valutazione degli apparati e delle soluzioni da diffondere all'interno del distretto. La creazione di una rete di monitoraggio capillare, inoltre, creerebbe i presupposti per giungere ad una certificazione di qualità e sostenibilità ambientale delle produzioni, con sicuri vantaggi in termini d'immagine e di possibilità di

penetrazione nel mercato. Si deve infine ricordare che la produzione florovivaistica è un'attività sociale con forti implicazioni ambientali, che necessita di una visione ampia e coerente di tutti i fattori della produzione e del mercato.

### 5.1.1 Sviluppo e realizzazione del sistema di supporto fitosanitario

Nel corso della prima fase di questa azione, tenendo conto delle indicazioni scaturite nell'ambito degli incontri con i partners di progetto, è stata definita la struttura del sistema di supporto, individuando gli elementi e le funzioni che dovranno farne parte. In particolare, sono state svolte le attività relative a:

- Definizione esigenze utente

  Dal confronto con i partner è emersa la necessità di disporre di sistemi di stima del rischio fitopatologico indotto da varie tipologie di agenti fungini. Relativamente alla diffusione di patologie virali, sono stati richiesti strumenti per l'adozione/diffusione di corrette pratiche gestionali (schede) e informazioni sugli strumenti di lotta sostenibile (DB). A tal fine nelle pagine Web sono stati inseriti anche i link alla "Banca Dati dei prodotti fitosanitari" del Ministero della Salute e al sito cartografico del "Servizio Fitosanitario della Regione Toscana".

- Raccolta delle informazioni di base, fitosanitarie e modellistiche (popolamento Database)

  Uno degli obiettivi principali di questa attività è stato l'organizzazione dell'enorme quantità di dati e informazioni prodotte negli ultimi anni nei settori d'interesse del progetto e in particolare, nel campo dei nuovi sistemi di lotta sostenibile. Da questo punto di vista, il progetto si è avvantaggiato molto del lavoro condotto nel quadro di diversi progetti europei, nazionali e regionali, che forniscono un quadro completo dello stato dell'arte del settore (www.regione.toscana.it/speciali/servizio-fitosanitario-regionale).

- Progettazione e implementazione delle componenti e dei moduli operativi (Hw/Sw) del sistema di supporto

  Sulla base di quanto concordato con i partners, si è provveduto nel corso del primo anno di attività ad acquisire ed installare nei siti pilota delle aziende partner (Società Agricola Romiti Vivai, Vivaio GIEFFE) reti di monitoraggio, costituita da una stazione agrometeorologica completa e da specifici moduli wireless per la misura di temperatura e umidità dell'aria (principali fattori guida dei modelli fitopatologici), per le analisi micrometeorologiche di dettaglio (Figg. 1; 2).

  Il posizionamento e le funzioni attivate sono state definite in base alle esigenze operative e alle informazioni che dovranno essere derivate a livello locale dall'analisi e dalle simulazioni modellistiche. I dati raccolti vengono analizzati in remoto e utilizzati dal sistema centrale,

installato presso la sede del CNR-IBIMET, per l'integrazione con le altre informazioni disponibili (dati meteorologici, satellitari, fitosanitari, ecc.) sull'intera area di produzione e la diffusione (via WEB) di mappe di rischio epidemiologico e consigli operativi a livello di filiera.

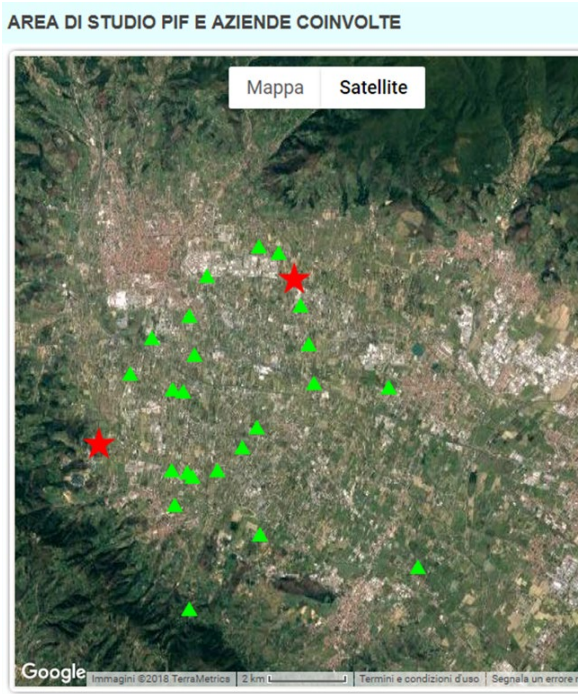



Fig. 1 – Area di studio del PIF, con la localizzazione dei siti pilota (★) e delle aziende partner (▲).

Fig. 2 – Azienda Società Agricola Romiti Vivai: in primo piano la Stazione di riferimento della rete di monitoraggio e un modulo wireless per la misura di temperatura e umidità dell'aria.

Le funzioni previste nel sistema integrano gli elementi informativi provenienti dalle reti di monitoraggio locale con quelli prodotti da avanzati moduli di analisi (Remote Sensing, Geostatistici, ecc.), per ampliare il grado di controllo e conoscenza delle principali fitopatie presenti nell'area d'interesse. Tale integrazione avviene a livello del server centrale e del Database di sistema, dove si trovano i vari elementi: piani informativi, informazioni derivate dalle analisi degli esperti, uscite dei modelli di simulazione, ecc..

Il Database, realizzato utilizzando il motore PostgreSQL- PostGIS, è suddiviso in quattro sezioni, collegate tra loro tramite relazioni logiche (Fig. 3):

- Sezione Agrometeorologica
- Sezione Geografica
- Sezione Botanica
- Sezione Modelli: fitopatie e fattori di rischio

Fig. 3 – Struttura logica del database.

I test funzionali del sistema hanno richiesto il completamento di alcuni passaggi essenziali, tra i quali si ricordano:

- Creazione dei piani informativi geografici (Sezione Geografica);
- Analisi e adattamento dei dati agrometeorologici (Sezione Agrometeorologica);
- Aggiornamento del database, con l'introduzione delle specie vegetali e avversità (sezione Botanica);
- Aggiornamento dei parametri guida per le componenti di analisi e simulazione (Sezione Modelli: fitopatie e fattori di rischio).

A partire da quanto sviluppato nell'ambito di progetti precedenti, il database, attualmente, comprende più di 100 specie vegetali, con oltre 200 agenti patogeni di cui 86 funghi, 146 insetti e 12 acari, per un totale di oltre 1200 combinazioni tra piante e agenti patogeni (Rapi et al., 2016; Romani et al., 2013).

Per la divulgazione delle attività e la promozione del sistema di supporto, nel corso del progetto sono state attivate una serie di funzioni WEB based, aperte ai partner di progetto, per la visualizzazione dei dati e delle uscite di alcuni modelli, disponibili al seguente indirizzo: http://www.biofuturo.net/it/eco-nursery-3s/51-econursery-3s-ibimet-cnr.html. Oltre a poter accedere alle informazioni generali sulle principali fitopatie, sulle corrette metodologie di lotta e sui rischi

dei vari prodotti chimici, sono state organizzate informazioni di dettaglio specifiche per diverse tipologie produttive.

**Rete di monitoraggio micrometeorologico**

Il crescente interesse verso la disponibilità di dati puntuali provenienti da reti di monitoraggio dedicate, ad opportune scale spazio-temporali e con costi contenuti, ha reso disponibili sul mercato diverse soluzioni che possono essere utilizzate dal sistema di monitoraggio micrometeorologico dei vivai, da utilizzare per l'ottenimento di informazioni utili alla protezione dei vegetali. Sulla base degli interessi operativi dell'utente finale, del numero di aree da osservare e delle caratteristiche del sito, per ciascun vivaio è possibile immaginare diverse configurazioni della rete di monitoraggio locale, da definire di volta in volta con l'aiuto di esperti.

In linea di principio, tuttavia, si possono indicare alcuni criteri, che consentono di orientare l'utente nella scelta della tipologia di hardware e nella sua installazione all'interno dell'azienda. Dando per scontata la disponibilità di dati meteorologici affidabili, provenienti dai servizi regionali e nazionali o reti locali, all'utente è offerta la possibilità di disporre di importanti informazioni epidemiologiche o di valutazione del rischio, senza investire in strumentazione o aggiornamento. Qualora, tuttavia, vi fosse una reale esigenza di operare in maniera autonoma e disporre di informazioni dedicate, all'utente si prospetta un ampio ventaglio di soluzioni, con costi estremamente diversificati, da utilizzare in autonomia o a integrazione di quanto già reperibile a livello locale.

La messa in compartecipazione dei dati raccolti e la condivisione delle informazioni prodotte, in ogni caso, rimane un elemento di forza all'interno della filiera produttiva, poiché permette una verifica rapida e affidabile delle informazioni prodotte, con una conseguente velocizzazione dei processi di apprendimento e autoapprendimento del sistema.

Le reti di monitoraggio locale installate nell'ambito del progetto 3S Eco-Nursery sono state progettate tenendo conto del rapporto costo/prestazioni, e ricercando soluzioni economicamente compatibili con gli obiettivi del progetto. Considerando le principali grandezze fisiche coinvolte nella determinazione del rischio fitosanitario, la precisione richiesta e la manutenzione prevista per il periodo d'esame, la scelta è ricaduta sulla strumentazione commerciale DAVIS.

- **Rete Monitoraggio Azienda "ROMITI Vivai"**: costituta da una stazione agrometeorologica (PIF3S2) per la misura delle seguenti grandezze: temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare globale, bagnatura fogliare, pioggia, velocità e direzione del vento e da due moduli wireless per la misura di temperatura e umidità dell'aria, installati rispettivamente a circa 40 m (TRH08) e 80 m (TRH07) dalla stazione di riferimento per un'analisi della variabilità micrometeorologica.

- **Rete Monitoraggio Azienda "Vivai GIEFFE":** costituita da una stazione agrometeorologica (PIF3S1) per la misura delle seguenti grandezze: temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare globale, pioggia, velocità e direzione del vento (Fig. 4) e da due moduli wireless per la misura di temperatura e umidità dell'aria, installati a circa 60 m (TRH10) e 80 m (TRH09) dalla stazione di riferimento per un'analisi della variabilità micrometeorologica.

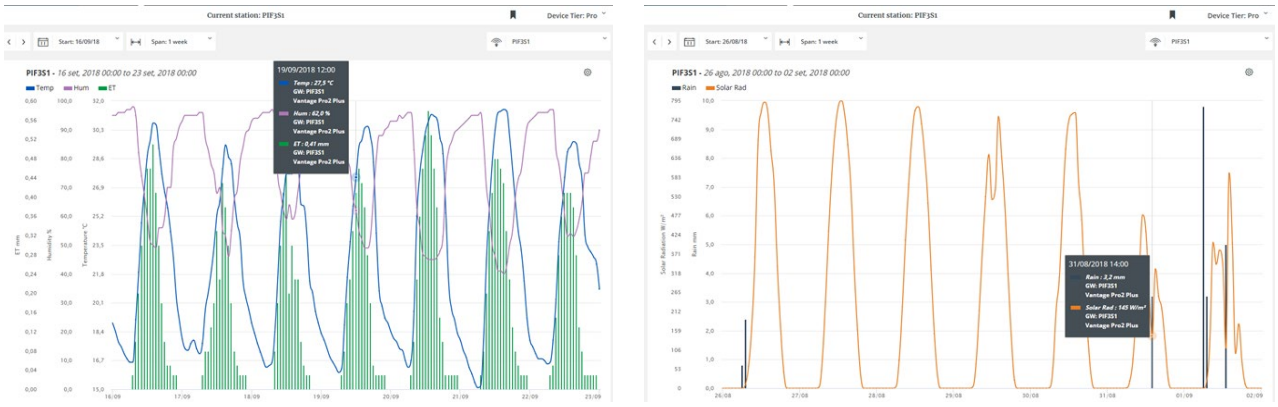


Fig. 4 – Andamento di alcune grandezze micrometeorologiche misurate nel sito pilota "Vivai Gieffe".

I dati dei moduli sono trasmessi via wireless alla stazione agrometeo, dove sono elaborati su base oraria. Il sistema adottato esegue un controllo sui dati acquisiti dai sensori, prima di trasmetterli via GPRS al Server Centrale, andando a popolare la sezione "Agrometeorologica" del Database. A livello centrale, i dati raccolti localmente sono integrati con le informazioni disponibili e utilizzati per le simulazioni modellistiche locali e per le analisi spaziali ed epidemiologiche da sottoporre alla valutazione degli esperti e dei responsabili locali (Fig. 5).

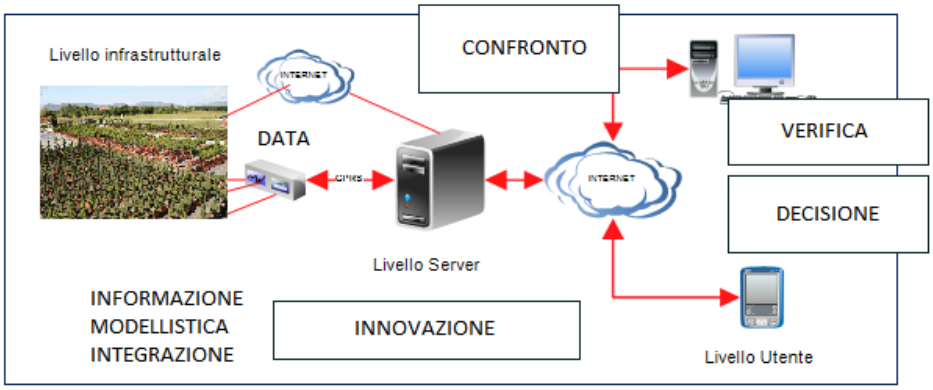



Fig. 5 – Flusso di dati e infrastruttura del sistema, con i tre livelli d'intervento.

**Modelli**

I modelli di simulazione usati per la stima del rischio fitosanitario sono strumenti costituiti da equazioni matematiche che consentono di tradurre in linguaggio numerico le diverse fasi di

sviluppo di un organismo patogeno o di un insetto, in alcuni casi tenendo conto anche dei rapporti che intercorrono tra la coltura, le avversità e l'ambiente circostante. Le indicazioni fornite possono quindi essere di tipo diagnostico, se forniscono informazioni riferite al momento in cui ci si trova o "a posteriori", o previsionale, se fatte sulla base di estrapolazioni sulle evoluzioni future.

Molti modelli di simulazione utilizzati a livello operativo consentono di ottenere le informazioni desiderate in forma dinamica, chiedendo in input solamente i dati meteorologici orari o giornalieri, rilevati da normali stazioni meteorologiche (Battista et al., 2016). Le variabili di maggiore interesse sono la temperatura dell'aria (impiegata da sola in molti modelli entomologici e fenologici), le precipitazioni, l'umidità relativa dell'aria e la durata della bagnatura fogliare (per modelli di tipo fungino).

Questi modelli sono in grado di fornire indicazioni sulla possibile comparsa ed evoluzione di una data malattia o sull'andamento dello sviluppo di un determinato fitofago. Vi sono, tuttavia, anche modelli che danno indicazioni di tipo probabilistico, utilizzati per stimare il rischio di attacco da parte di un insetto o di manifestazione di una determinata malattia.

Generalmente, viene fatta una distinzione tra modelli empirici e modelli meccanicistici, ma per applicazioni d'interesse operativo si ricorre prevalentemente a modelli empirici, che richiedono una più attenta calibrazione e un periodo di adattamento alla realtà oggetto della simulazione. L'obiettivo del modello operativo è quindi quello di sfruttare le relazioni esistenti tra alcuni parametri ambientali misurati e la risposta degli organismi, ipotizzando che gli altri fattori siano mantenuti invariati o il loro effetto sia scarsamente rilevante, se non del tutto trascurabile. Se, quindi, il comportamento o lo sviluppo di un determinato soggetto biologico è spiegato in gran parte da fattori ambientali, gli altri fattori determinano prevalentemente la variabilità interna alla popolazione, che viene presa in esame attraverso valutazioni indipenenti di tipo statistico.

Nell'ambito del progetto sono stati valutati diversi modelli, relativi a insetti o patogeni d'interesse del comprensorio vivaistivo pistoiese. Molti di questi si basano sulla modellistica dei Gradi Giorno (°D), che può utilizzare diverse procedure di calcolo in funzione dell'agente patogeno (come soglia, singolo seno e singolo triangolo; per approfondimenti e applicazioni in IPM vedere ad esempio http://ipm.ucanr.edu/WEATHER/ddphenology.html). Il fattore ambientale che guida la simulazione è la temperatura dell'aria, che in assenza di altri elementi limitanti, guida i processi biologici e determina i tempi di sviluppo degli organismi. L'ammontare di calore richiesto da un dato organismo per completare ciascuna fase del proprio ciclo non varia e la combinazione di temperatura e tempo, entro un range di temperature favorevoli alla crescita (minimo e massimo), si mantiene invariata.

Dato che vi possono essere differenze significative all'interno di una stessa specie, a livello locale si devono effettuare attente verifiche, per controllare la risposta dell'agente patogeno alle

diverse condizioni termiche nei vari stadi di sviluppo, prima di assumere come valide le indicazioni provenienti dalle simulazioni.

I modelli ritenuti più affidabili sono stati implementati in MATLAB, per un loro impiego all'interno del sistema di supporto. Disponendo di dati orari di temperatura dall'inizio dell'anno, con l'ausilio delle soglie specifiche, si possono stimare i relativi rischi connessi a ciascun patogeno. Su questo principio operano, ad esempio, i servizi agrometeorologici di alcuni paesi, che offrono aggiornamenti periodici dello stato di rischio delle colture nelle aree territoriali di competenza basati sulla semplice visualizzazione dei gradi giorno, rispetto ai quali si applicano le soglie per la stima della fase fenologica dei patogeni (http://uspest.org/wea/weaexp.html).

Per gli insetti, ad esempio, è possibile indicare una sommatoria termica minima per la comparsa dei primi individui e da questa partire nuovamente per seguire lo sviluppo delle varie generazioni. I trattamenti, di conseguenza, possono essere programmati in funzione della fase di sviluppo e secondo i principi propri dell'approccio richiesto per l'Integrated Pest Management (IPM).

Mediante l'applicazione della modellistica dei Gradi Giorno, nell'ambito del progetto, sono state condotte alcune prove per valutare la coincidenza tra fase vegetativa delle piante e rischio di alcuni insetti, come AFIDI (data comparsa dei primi esemplari), TRIPIDI (indice di rischio e data di comparsa), COCCINIGLIE (data di comparsa) e ACARI (data di comparsa).

Per alcuni agenti patogeni, tuttavia, il ruolo giocato da altre componenti ambientali, come l'umidità dell'aria, la bagnatura fogliare o la pioggia, non può essere ignorato ed è richiesto l'impiego di modelli in grado di pesare anche l'azione di questi fattori. Questi modelli però possono essere utilizzati soltanto nei siti per i quali è disponibile una sufficiente serie di dati orari di temperatura, umidità, pioggia e bagnatura fogliare.

Le indicazioni modellistiche, inoltre, possono essere utilizzate per programmare compagne di rilevamento o scambiare informazioni all'interno della filiera, tra gli operatori del settore. L'azione congiunta e coordinata può assumere una particolare importanza per il comprensorio produttivo, consentendo di agire su scala adeguata e in modo più efficace.

Anche da parte dei consorzi e delle associazioni di settore potrebbe essere auspicabile un'azione di controllo e supporto, tesa a valutare obiettivamente i livelli di rischio presenti nelle diverse aree produttive e la tipologia di trattamenti da effettuare o effettuati, in modo da migliorare progressivamente il livello di precisione delle stime.

### 5.1.2 Sperimentazione e collaudo del sistema di supporto

Nel quadro delle attività di progetto, il CNR- IBIMET di Firenze, in collaborazione con il CNR-IPSP e CNR-IBBR, ha condotto attività specifiche per lo sviluppo di un sistema di

monitoraggio e allerta basato su dati meteorologici e informazioni geostatistiche in grado di indicare il livello di rischio esistente nelle diverse aree produttive, almeno per i principali patogeni e per le tipologie vegetali di maggiore interesse economico.

Oltre a disporre l'installazione di reti di monitoraggio agrometeorologiche, sono state messe a punto metodologie di analisi specifiche, basate sui principi della modellistica agrometeorologica e fitopatologica, al fine di valutare i livelli di rischio nei diversi comparti produttivi.

Uno degli aspetti di maggiore interesse, che si è iniziato ad indagare nell'ambito del progetto, è rappresentato dalle possibilità di utilizzare l'informazione micrometeorologica fornita per una gestione più attenta e sostenibile degli agenti di rischio, sperimentando alcune pratiche migliorative delle condizioni sanitarie, legate al controllo di parametri ambientali.

La sperimentazione e il collaudo del sistema di supporto" sono stati condotti su tre fronti diversi:

a) Sulle aree pilota, differenziandole per tipologia produttiva e condizioni di rischio micrometeorologico presenti nelle varie sub-unità produttive (sezioni);
b) negli orti sperimentali del CNR di Sesto Fiorentino a Firenze;
c) a livello di scenari di rischio.

In tutti questi casi si è provveduto alla raccolta e all'analisi dei dati relativi alle principali informazioni ambientali (meteo-climatiche; geografiche, ecc.), biologiche (per vegetali e patogeni) e gestionali (densità, tecniche di lotta, ecc.). Tali informazioni sono utilizzate unicamente per effettuare simulazioni modellistiche e approssimare le uscite dei modelli e le valutazioni teoriche alle reali condizioni di campo.

Per i due siti pilota, in particolare, oltre a utilizzare dati meteorologici e micrometeorologici provenienti dalle reti di monitoraggio di progetto, sono stati individuati i fattori correttivi in grado di "guidare" e adattare i modelli di simulazione alle realtà operative d'interesse. La valutazione della correttezza e della validità delle metodologie e dei criteri scelti, è stata condotta sotto la supervisione degli esperti fitopatologici del CNR–IPSP e CNR–IBBR di Firenze, coinvolti anche nella definizione delle metodologie da adottare per la sperimentazione e il collaudo del sistema negli orti sperimentali.

L'analisi di alcuni indici sintetici basati sui gradi giorno (singolo seno), mette in evidenza i diversi livelli di rischio legati alle condizioni climatiche, sostanzialmente riconducibili al diverso regime termico indotto dall'uso suolo. In particolare, prendendo come riferimento il rischio annuale rilevato all'interno del Centro Sperimentale per il Vivaismo di Pistoia (Ce.Spe.Vi.), si rileva una notevole variabilità del rischio relativo (Fig. 6), che suggerisce la necessità di: i) intensificare la rete

di rilevamento; ii) condurre analisi e studi specifici per la caratterizzazione territoriale; iii) individuare procedure automatiche di attribuzione dei livelli di similarità.

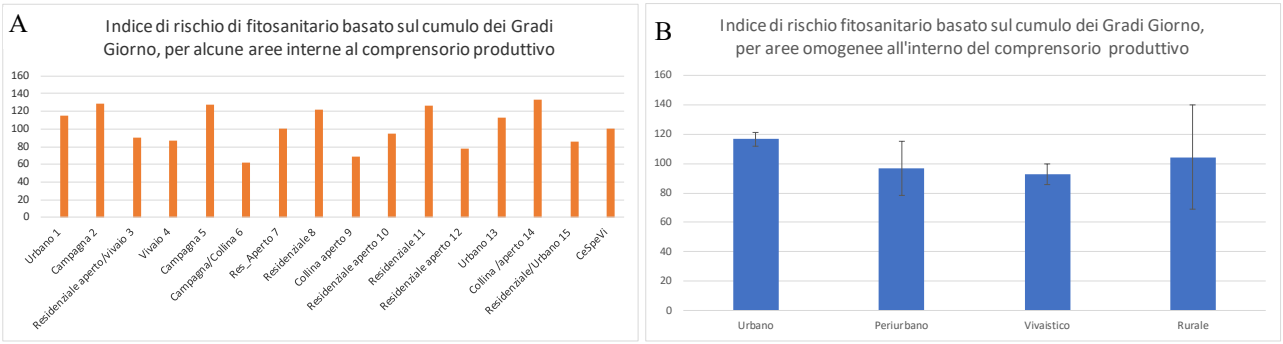



Fig. 6 – Analisi dell'Indice relativo di rischio (variazione % di D° rispetto alle condizione di riferimento della stazione meteo del Ce.Spe.Vi.): A) aree interne rilevate; B) aggregazione per aree omogenee.

La validità di queste osservazioni è confermata dagli andamenti degli indici di rischio specifici, la cui validità deve essere vista in funzione dell'andamento stagionale, alle fasi vegetative delle piante e al rischio specifico, legato alle tecniche gestionali utilizzate (Figg. 7, 8).

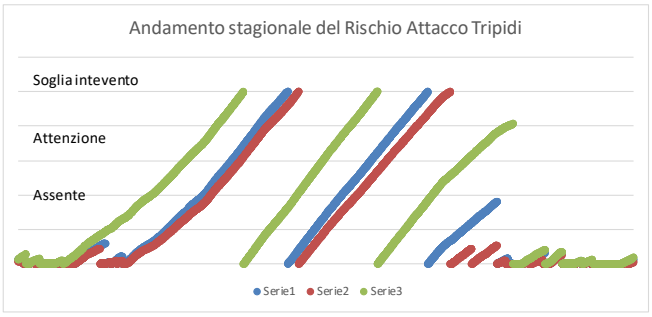
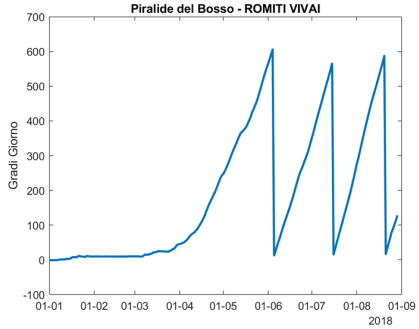



Fig. 7 – Esempio dell'andamento dell'Indice di rischio di Ticchiolatura (A-SCRAB), per l'anno 2017-2018, per tre zone del comprensorio produttivo.




| Evento | Data | Gradi Giorno |
|---|---|---|
| Sfarfallamento adulti | 29/03/2018 | 47 |
| Uova 1 generazione | 13/04/2018 | 88 |
| Larve 1 generazione | 20/05/2018 | 413 |
| Pupe 1 generazione | 31/05/2018 | 554 |
| Adulti 2 generazione | 04/06/2018 | 606 |
| Uova 2 generazione | 08/06/2018 | 52 |
| Larve 2 generazione | 03/07/2018 | 381 |
| Pupe 2 generazione | 12/07/2018 | 518 |
| Adulti 3 generazione | 15/07/2018 | 565 |
| Uova 3 generazione | 19/07/2018 | 62 |
| Larve 3 generazione | 08/08/2018 | 400 |
| Pupe 3 generazione | 17/08/2018 | 540 |
| Adulti 4 generazione | 20/08/2018 | 587 |
| Uova 4 generazione | 24/08/2018 | 64 |
| ----- | | |

Fig. 8 – Modello gradi giorno applicato alla Piralide del Bosso: fasi di sviluppo delle varie generazioni a partire dal 1gennaio 2018.

In considerazione dei tempi imposti al progetto, agli esperti è stata data la possibilità di visualizzare e valutare le uscite e le indicazioni modellistiche relative ai diversi livelli di rischio ottenuti per ciascuna zona o realtà produttiva, in funzione dell'andamento climatico osservato nel periodo di progetto e, quando possibile, negli anni precedenti. Le osservazioni e i suggerimenti raccolti sono quindi stati utilizzati per migliorare le stime di valutazione ed essere sottoposti alla valutazione da parte di tecnici e responsabili operativi.

Le analisi e le indicazioni prodotte sono rese disponibili sulle pagine web dedicate al PIF http://www.biofuturo.net/it/eco-nursery-3s/51-econursery-3s-ibimet-cnr.html, dove sono stati indicati esempi procedurali e metodologici da utilizzare come base di confronto per la progressiva estensione delle pratiche richieste dai protocolli IPM; inoltre è possibile accedere a informazioni d'interesse più generale, utili per una corretta programmazione degli interventi come grafici riassuntivi dell'andamneto generale, bollettini agrometeo, previsioni meteorologiche, ecc. (Fig. 9). Nel sito sono disponibili anche le previsioni meteo, prodotte dal LaMMA – Regione Toscana, per le quattro località ritenute rappresentative del comprensorio pistoiese: Agliana, Pistoia, Quarrata e Serravalle Pistoiese.

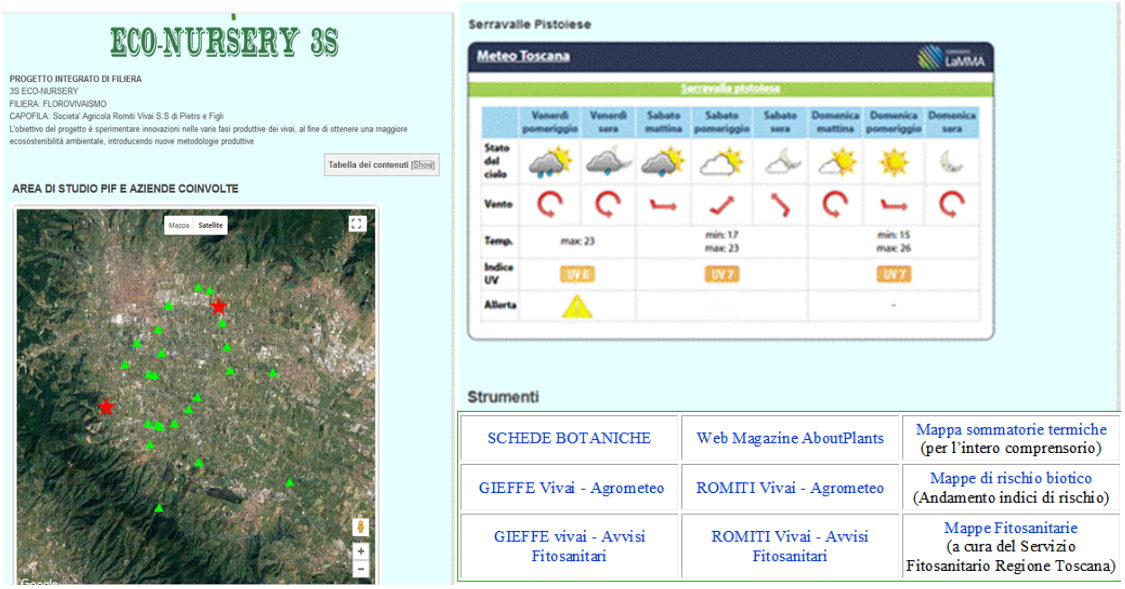



Fig. 9 - Pagina di accesso agli strumenti dimostrativi.

La sezione "Strumenti" permette di accedere a varie sezioni, dalle quali si possono scaricare documenti, mappe o ricevere informazioni d'interesse operativo. Vista la complessità e la dinamicità dei temi trattati, molte di queste voci sono soggette a frequenti modifiche e aggiornamenti. Tra le più importanti, ricordiamo:

- **Schede Botaniche** delle principali piante presenti nei vivai (in aggiornamento)
- **Web Magazine AboutPlants:** portale contenente informazioni per il settore del florovivaismo relative a fitopatologia, ricerca, normative, biologia e coltivazione.

- **Mappe Fitosanitarie:** link al sito del Servizio fitosanitario della RegioneToscana.
- **Gieffe Vivai – Agrometeo:** in questa sezione sono disponibili informazioni sulla rete di monitoraggio installata nell'azienda "Vivai GIEFFE" e i relativi dati meteo elaborati su base giornaliera, suddivisi per mese, a partire dalla data del 10 maggio 2017 (Fig. 10). I dati sono scaricabili in formato XLS. Si può accedere direttamente a questa sezione, al seguente indirizzo: http://www.biofuturo.net/it/eco-nursery-3s/31-allegati/84-gieffe-vivai.html
- **Romiti Vivai – Agrometeo**: in questa sezione sono disponibili informazioni sulla rete di monitoraggio installata nell'azienda "ROMITI Vivai" e i relativi dati meteo elaborati su base giornaliera, suddivisi per mese, a partire dalla data del 1 maggio 2017 (Fig. 11). I dati sono scaricabili in formato XLS. Si può accedere direttamente a questa sezione, al seguente indirizzo: http://www.biofuturo.net/it/eco-nursery-3s/31-allegati/89-romiti-vivai.html
- **Gieffe Vivai - Avvisi Fitosanitari**: in questa sezione sono disponibili gli avvisi fitosanitari, elaborati sulla base dei dati micrometeorologici della rete di monitoraggio installata nell'ambito del progetto PIF 3S Eco-Nursery.
- **Romiti Vivai – Avvisi Fitosanitari**: in questa sezione sono disponibili gli avvisi fitosanitari, elaborati sulla base dei dati micrometeorologici della rete di monitoraggio installata nell'ambito del progetto PIF 3S Eco-Nursery.

**Gieffe Vivai – Agrometeo**

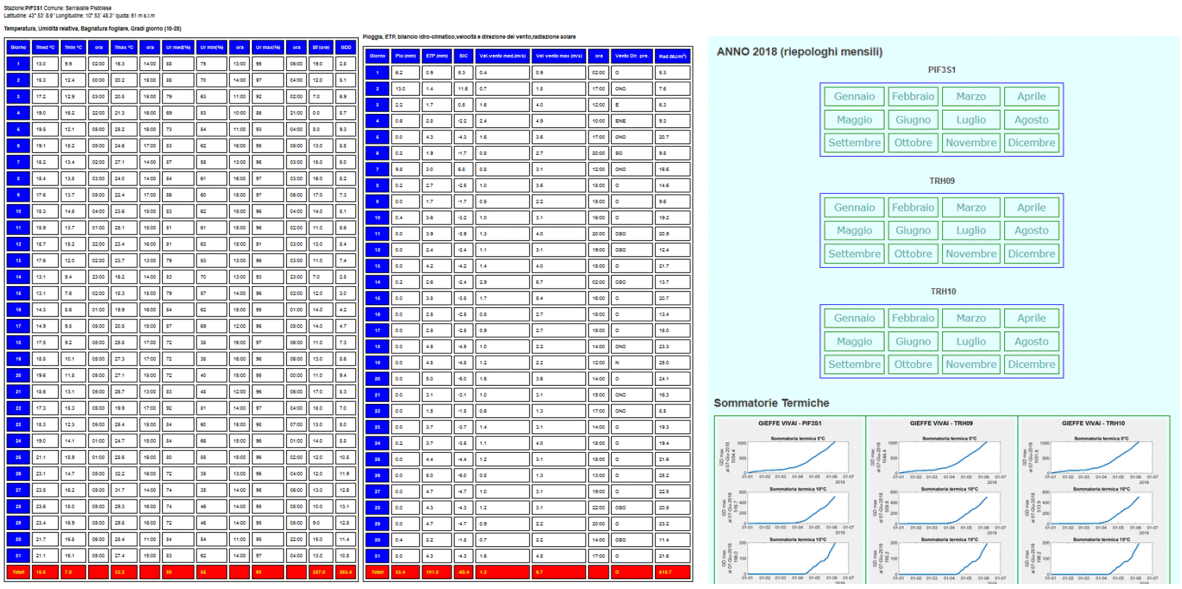



Fig. 10 - Gieffe Vivai: esempio Bollettino del mese di Aprile 2018.

**ROMITI Vivai – Agrometeo**

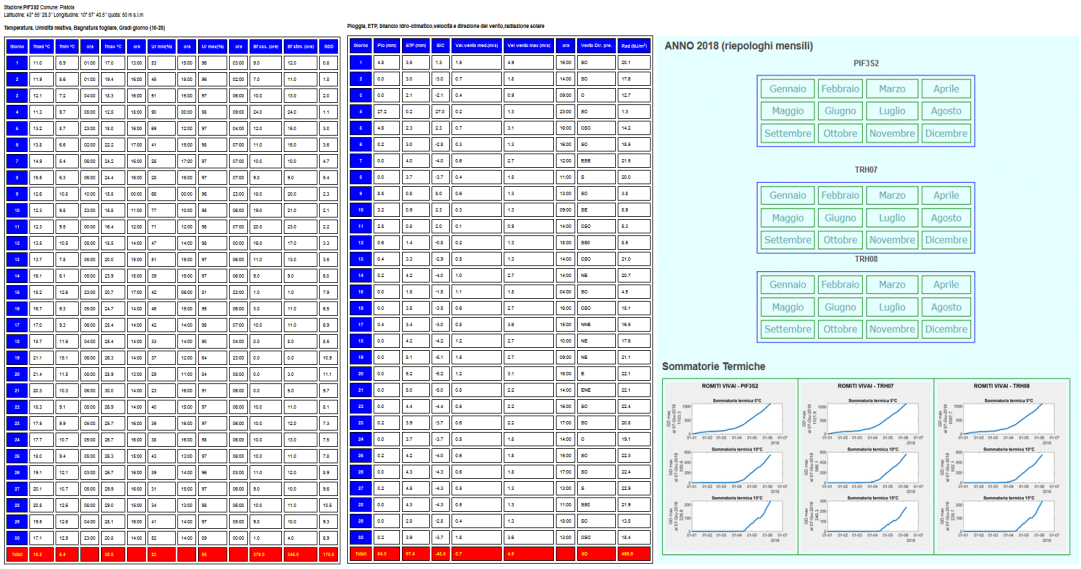



Fig. 11 - ROMITI Vivai: esempio Bollettino del mese di Aprile 2018.

Pur disponendo di numerosi modelli e indici, attivabili su richiesta, a titolo esemplificativo sulle pagine del sito si possono visualizzare le uscite di alcuni comuni modelli fitopatologici, per i quali è stato associato un colore in base al livello di rischio raggiunto:

| Molto basso | Basso | Moderato | Alto | Molto Alto |
|---|---|---|---|---|

La visualizzazione grafica è stata scelta per rendere immediatamente comprensibile agli operatori il grado di rischio d'infezione legato alle condizioni microclimatiche che si sono registrate in azienda (Fig. 12).

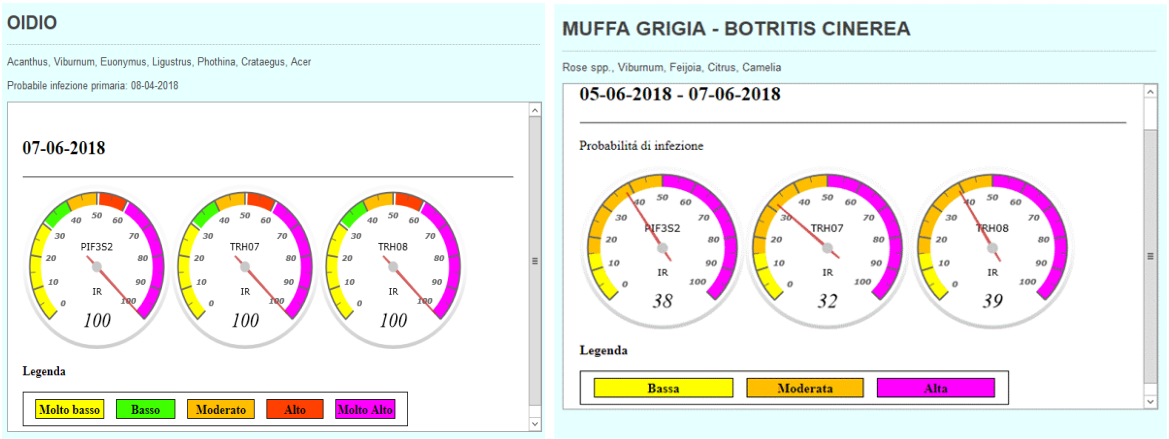



Fig. 12 - Esempio Bollettino fitopatologico: OIDIO e Muffa grigia

Nell'ambito del progetto sono stati realizzati anche alcuni esempi di mappe relative ad analisi del rischio fitopatologico per l'intero comprensorio pistoiese, relative a sommatorie termiche e ad analisi spaziale dell'indice di rischio biotico. Trattandosi, tuttavia, di indagini condotte utilizzando set di dati indipendenti dal progetto, il cui accesso è limitato, la loro elaborazione non può essere automatizzata e richiede l'intervento di personale specializzato.

**Procedure di analisi e valutazione del rischio a scala di comprensorio**

Come si è visto, le indicazioni prodotte dai modelli possono essere anche di tipo previsionale e riportare una valutazione di tipo statistico sulle date e sui rischi per area o per coltura. Per questo tipo di analisi occorre, però, disporre di un numero sufficiente di anni di rilevamento agrometeorologico (da 10 a 30), in modo da poter determinare la variabilità esistente nell'area d'interesse in relazione alle grandezze utilizzate. Sulla base delle serie storiche, infatti, si possono determinare le condizioni attese per ciascun percentile di probabilità e stimare i valori massimi, medi e minimi attesi.

Il valore indicato dal modello come "probabile" dipenderà dall'impostazione dei parametri guida, che determinano il livello di efficienza della struttura produttiva (basso, medio, alto) e i vari livelli di rischio intrinseco. La validità della previsione, pertanto, potrà variare in maniera significativa a seconda che siano presi in considerazione i valori medi o i valori tendenziali, ma anche in funzione del peso assegnato alla capacità gestionale degli operatori e/o all'efficacia delle misure di contrasto alla diffusione dei patogeni.

Anche in assenza di indicazioni complementari, tramite l'analisi statistica degli andamenti registrati fino ad un dato momento, è possibile produrre delle stime, il cui interesse dipende dall'uso che ne può fare l'utente finale. Per valutazioni di tipo operativo si deve necesseriamente partire da una conoscenza approfondita dell'ambito produtivo, anche se soltanto con il tempo l'errore potrà essere ridotto in maniera significativa, rientrando nell'ambito ritenuto fisiologico per quella determinata tipologia d'informazione ( aseconda dei casi <10% o <5 %).

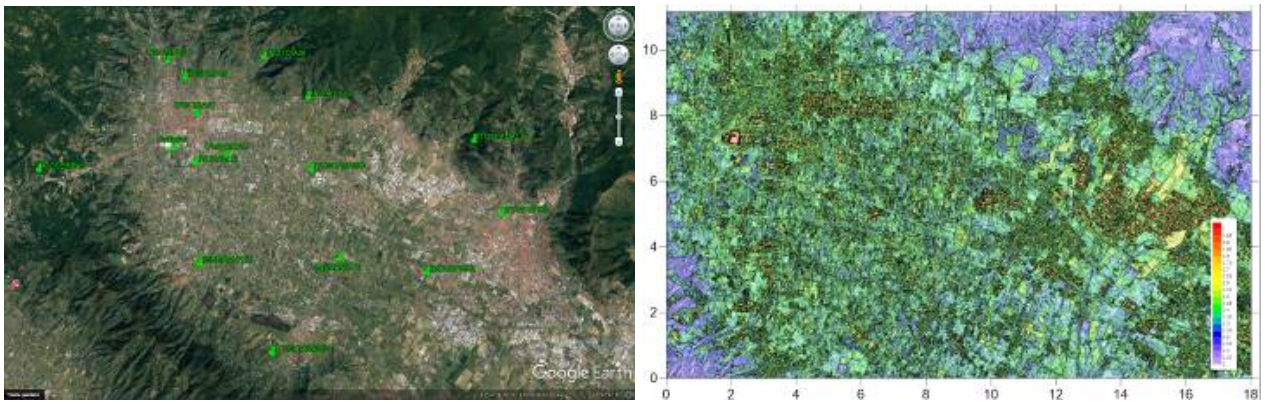
In base ai dati e alle indicazioni raccolte, si può dire che i valori previsionali tendono ad essere affidabili quando si mantiene un rapporto di ¾ tra dati disponibili e periodo stimato; cioè nel caso delle fasi di sviluppo di un patogeno, si può stimarne il momento di passaggio quando si è giunti a tre quarti dell'intero periodo. Se, ad esempio, la fase ha la durata di un mese, indicazioni previsionali attendibili per i trattamenti possono essere date con quasi una settimana di anticipo.

Nell'ambito del progetto 3S Eco-Nursery si sono affrontate alcune problematiche connesse all'integrazione di dati locali e satellitari per la produzione di informazioni d'interesse operativo per il comprensorio florovivaistico pistoiese. Grazie ai progressi registrati dai sistemi di monitoraggio

che operano a varie scale spaziali e temporali, alcune soluzioni sembrano prospettarsi per l'analisi di questi complessi sistemi produttivi, per molti aspetti sensibili ai fattori ambientali.

In particolare, l'uso integrato di dati raccolti da sensori agrometeorologici, posizionati in ambiti rappresentativi rispetto ai parametri d'interesse modellistico, e telerilevati (da drone, aereo o satellite), sembrano poter permettere una caratterizzazione piuttosto precisa delle parcelle (Figg. 13) e la produzione di informazioni d'interesse organizzativo e gestionale. In questi casi, la risoluzione spaziale dovrà essere resa compatibile con le uscite previste dal sistema, aggregando le informazioni per area omogenea o disaggregandole, tramite le consuete tecniche di downscaling o upscaling.

Gli indici adottati (GVI e NDVI) forniscono indicazioni che possono essere considerate operative a livello forestale e in condizioni di relativa stabilità della vegetazione. In ambito vivaistico, le continue variazioni di uso del suolo e dello stato delle colture, unite alla disomogeneità esistente tra i vari ambiti prodottivi, fanno sì che, in mancanza di studi specifici, gli indici GVI e NDVI, siano da considerarsi validi soltanto a livello indicativo e quindi, da sottoporre alla valutazione da parte di esperti del settore.




a) b)

Fig. 13 - a) stazioni di misura utilizzate per l'analisi spaziale della variabilità di temperatura e umidità dell'aria nell'ambito del comprensorio; b) aggregazione di aree con caratteristiche omogenee.

Le analisi condotte sul comportamento dei parametri ambientali, ed in particolare della temperatura e dell'umidità, hanno permesso di individuare alcuni peculiarità microclimatiche del comprensorio produttivo (Figg. 14, 15). Oltre a registrare differenze giornaliere significative (fino a 10 °C nella temperatura dell'aria), si riscontrano variazioni importanti dei livelli di rischio fitopatologico, indipendentemente dai criteri gestionali adottati.

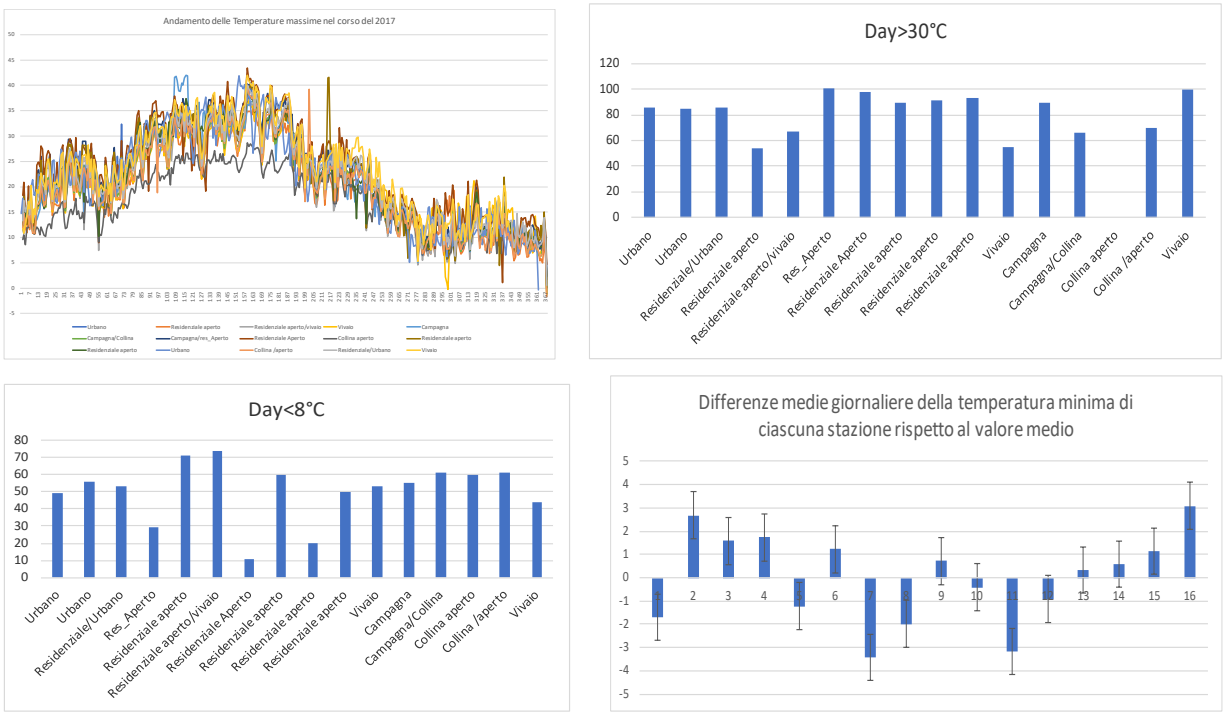



Fig. 14 – Rappresentazione grafica di alcuni indici termici per le stazioni utilizzate nell'indagine a livello di comprensorio produttivo, nel periodo marzo 2017 – febbraio 2018: a) andamento delle temperature massime; b) numero di giorni con temperature superiori a 30 °C; c) numero di giorni con temperature inferiori a 8 °C; d) differenze termiche giornaliere osservate nelle temperature minime rispetto al valor medio, per le stazioni poste all'interno dell'area di studio.

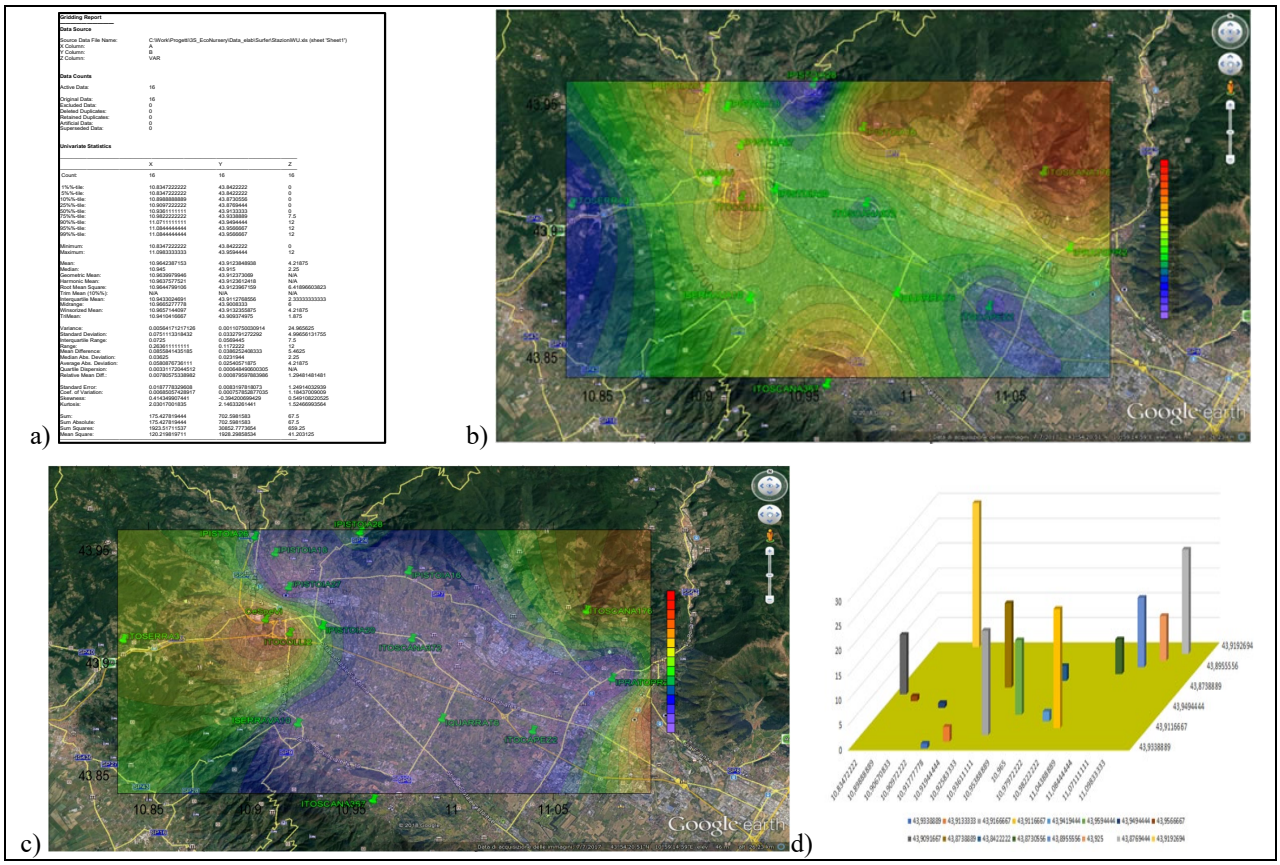



Fig. 15 - Rappresentazione grafica di alcuni indici climatici: a) report statistico; b) andamento spaziale delle sommatorie termiche; c) Indice di rischio della ticchiolatura; d) numero di giorni con valori critici.

Risentendo comunque di serie incertezze metodologiche, l'analisi dell'andamento spaziale del rischio fitopatologico può essere fatta soltanto in modo manuale, andando a definire la rappresentatività e il peso da assegnare a ciascun dato in ingresso. Trattandosi di procedure standard, l'informazione prodotta si presenta piuttosto stabile nel tempo e raramente in grado di dare un supporto in real-time alle operazioni di campo.

Tra le attività che sembrano poter trarre vantaggio dalla disponibilità di informazioni microclimatiche ad elevato dettaglio spaziale e temporale, la lotta fitosanitaria appare una di quelle con i più ampi margini di miglioramento. Vantaggi operativi rilevanti possono derivare, infatti, sia da una gestione coordinata e coerente di comprensori produttivi progressivamente più ampi sia dalla realizzazione di specifici servizi a carattere consortile per la diffusione di avvisi fitopatologici. Con l'abbattimento dei costi di raccolta e diffusione dell'informazione agrometeorologica, inoltre, le aziende potrebbero ricevere un nuovo impulso verso l'aggiornamento dei propri sistemi e l'introduzione di pratiche integrate sempre più affidabili, con sicuri vantaggi ambientali e un miglioramento della qualità e della omogeneità delle proprie produzioni.

**Analisi dell'andamento spaziale dell'indice di rischio biologico sui siti pilota**

Nell'ambito del progetto è stata effettuata anche un'analisi spaziale del rischio a livello dei due siti pilota (Fig. 16), utilizzando i dati micrometeorologici raccolti dalle stazioni di monitoraggio micrometeorologico installate nell'ambito del progetto e da "sensori virtuali", ovvero dati generati tramite relazioni predeterminate tra le grandezze d'interesse (temperatura e umidità dell'aria) e la condizione locale di copertura vegetale (densità e biomassa). A ciascuna punto della griglia è stato quindi assegnato un coefficiente correttivo (Fig. 16 b), espressione del peso delle condizioni interne all'area sul parametro o sulla grandezza d'interesse, rispetto al punto di rilevamento del dato misurato dalla stazione fisica. Rispetto a ciascun valore d'interesse, sono stati esplicitati i criteri di analisi spaziale e logica utilizzata per la loro determinazione, con l'analisi statistica della loro validità.

La disponibilità di immagini satellitari gratuite ad alta risoluzione spaziale, come quelle del Sentinel II (10 m; DT=5 giorni) o raccolte tramite voli dedicati (es. drone), ha offerto la possibilità di valutare alcuni aspetti chiave per l'analisi del rischio fitopatologico, come quelli relativi alla densità spaziale e alla biomassa, che hanno effetti diretti sulle grandezze micrometeo richieste per le simulazioni (es. temperatura e umidità dell'aria).

In condizioni di variabilità elevate, la virtualizzazione sensoriale promette di essere una soluzione decisiva per i sistemi di supporto agricolo e ambientale, mettendo a disposizione dati affidabili a basso costo. Questo approccio sembra essere in grado di capitalizzare le conoscenze acquisite sui fattori ambientali e micrometeorologici, sul loro comportamento a livello spazio-

temporale e sui relativi effetti sulle condizioni di salute e sviluppo degli organismi viventi. Tali sistemi non fanno altro che utilizzare le relazioni esistenti tra due grandezze a livello spazio-temporale per stimare dati da utilizzare nelle procedure di analisi o nei modelli. Lo scopo è quello di completare il set di dati, integrando i valori misurati, al fine di infittire la griglia di analisi e migliorare le stime sui punti d'interesse secondario.

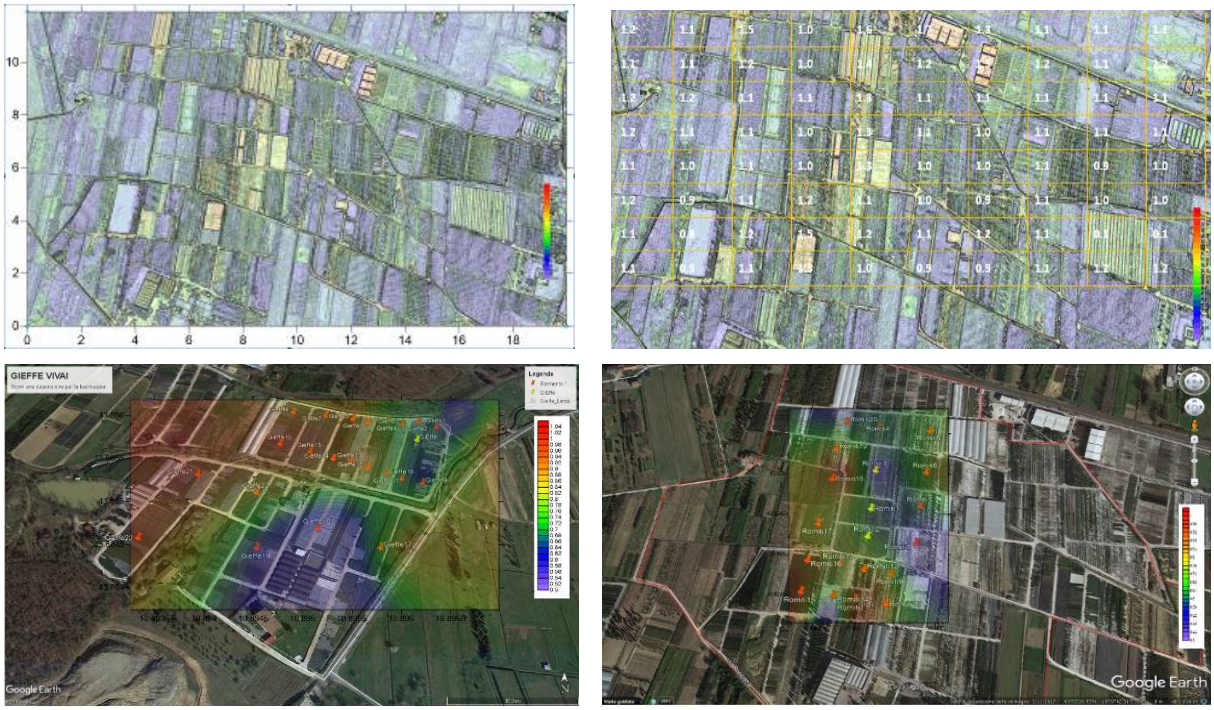



Fig. 16 – Esempio di analisi di sottozone all'interno dei siti pilota ROMITI Vivai e Vivai GIEFFE: a) Individuazione aree omogenee; b) assegnazione coefficienti correttivi; c-d) spazializzazione dei livelli di rischio fitopatologico legato alle sommatorie termiche del periodo a livello dei due siti pilota.

E' sempre possibile verificarne la logica e la validità, ricorrendo a periodiche campagne di rilevamento diretto delle grandezze d'interesse. L'uso combinato di immagini satellitari, funzioni di analisi geostatistica e procedure di stima basate su sensori virtuali, promette di incrementare notevolmente l'affidabilità e la precisione delle simulazioni. Queste tecniche possono semplificare le procedure richieste per il completamento delle serie, aumentando la precisione delle analisi.

**Azione 5.2 Gestione delle fitopatie e delle piante infestanti**

Il CNR-IBIMET partecipa alle attività di questa azione, con la collaborazione dell'Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (CNR - IPSP) e dell'Istituto di Bioscienze e Biorisorse (CNR - IBBR). Per la descrizione delle attività svolte si rimanda al Report del soggetto attuatore DISPAA.

## Considerazioni conclusive

Il settore florovivaistico nel suo insieme potrebbe trarre notevoli vantaggi dall'impiego di sistemi di monitoraggio ambientale e supporto alle decisioni, basati su solidi criteri scientifici e sperimentali, abbandonando progressivamente procedure e tecniche tradizionali, spesso legate a principi non più applicabili a realtà dinamiche e moderne, che intendono confrontarsi con le nuove esigenze ambientali e di mercato.

Di per sé, la disponibilità di indicazioni oggettive e trasparenti, come quelle derivate dai sistemi di analisi automatica e dai sistemi di supporto, rappresentano un notevole passo in avanti e aprono la porta a nuovi positivi scenari. Grazie all'aumento delle conoscenze, infatti, si possono organizzare e programmare, in modo professionale, gli interventi e i miglioramenti richiesti, verificandone rapidamente e precisamente la validità tecnico-economica.

A partire da queste considerazioni, è sicuramente auspicabile una progressiva estensione dei principi propri dell'IPM. Sulla base di quanto riportato dall'USDA e da altri prestigiosi enti internazionali, l'impatto positivo sui vari "elementi sensibili" (uomo, ambiente antropizzato, suolo, acqua, aria, ecosistema) potrebbe essere molto significativo. Oltre ad utilizzare prodotti naturali e a basso impatto, quindi, bisognerà diffondere l'uso di sistemi in grado di guidare la lotta, sulla base di rischi reali e verificati (trappole) e mettere a punto strumenti di valutazione obiettiva.

Tra gli elementi di rischio e le azioni di contrasto individuate nell'ambito del progetto, alcune potrebbero senz'altro rientrare nell'ambito di attività di settore o iniziative regionali, integrando quanto già proposto nei servizi di settore. Prima di avviare questo processo, tuttavia, le varie componenti modellistiche e procedurali dovrebbero esere oggetto di attenta valutazione da parte degli utenti finali, in modo da renderle pienamente affidabili e mettere a punto strategie condivise per il loro impiego operativo all'interno delle diverse realtà produttive del comprensorio vivaistico.

## Bibliografia


Bacci L., Battista P., Rapi B. (2008). An integrated method for irrigation scheduling of potted plants. Sci. Hort. 116 (1): 89–97. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.005.

Battista P., Rapi B., Romani M., Sabatini F., Zipoli G. (2013). Sviluppo di metodologie e componenti agrometeorologiche per il supporto alla gestione della risorsa idrica nel florovivaismo: risultati operativi e potenzialità applicative. Review n. 21, Italus Hortus 20 (3), 2013: 33-48.

Battista P., Rapi B., Romani M., Conese C. (2016). Sistemi Integrati per il monitoraggio ambientale e la gestione delle risorse in Antonio Raschi, Claudio Conese e Piero Battista (Eds.) - Sistemi Integrati per il monitoraggio ambientale e il supporto alla gestione delle risorse. Componenti, procedure e prospettive. CNR-IBIMET, dicembre 2016, Firenze, p. 1-60. http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/17098

Cacini S., Battista P., Massa D., Rapi B., Romani M., Sabatini F. (2016). GARANTES: un sistema di supporto per una gestione sostenibile degli interventi irrigui e del controllo dei fitoparassiti in aree

verdi urbane. Conferenza “Tecnologie e innovazione per una gestione sostenibile dell’agricoltura dell’ambiente e della biodiversità (Ti4AAB), 7-8 luglio 2016, Certosa di Calci (PI), Università di Pisa. DOI: 10.13140/RG.2.1.1916.1847

Chandler D., Bailey A. S., Tatchell G. M., Davidson G., Greaves J., Grant W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, n. 366(1573), 1987-1998.

Cowen R., Gunby P. (1996). Sprayed to death: path dependence, lock-in and pest-control strategies. Econ. J., n. 106, 521–542

D’Urso, G., Vuolo, F., De Michele C. (2008). Remote Sensing Techniques to Improve On-Farm Irrigation Efficiency. Proceedings of the Irrigation Australia Conference, Melbourne, Australia, May 2008, pag. 8.

Jones H. G. (2015). Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Cambridge University Press - Third Edition. Printed in the United Kingdom by TJ International Ltd. Padstow Cornwall, pag. 423. 978-0-521-27959-8.

Kiewnick S. (2007). Practicalities of developing and registering microbial biological control agents. Cab Rev, n. 2 1-11.

Marzialetti P. (2015). Conseguenze nei vivai e possibili insegnamenti della tempesta di vento. Giornata di studio “Verde pubblico e privato: quali strategie dopo la tempesta di vento”, Pistoia, 30 aprile 2015

Pardossi A., Incrocci L., Resta E. (2014). Il progetto IRRIGO. Manuale del Progetto IRRIGO: irrigazione sostenibile nel vivaismo ornamentale in contenitore, Pistoia, febbraio 2014, p. 11-18.

Rapi B., Cacini S., Chiesi M., Maselli F., Massa D., Marzialetti P., Romani M., Sabatini F., Battista P. (2016). Informazioni microclimatiche in ambito vivaistico in Antonio Raschi, Claudio Conese e Piero Battista (Eds.) - Sistemi Integrati per il monitoraggio ambientale e il supporto alla gestione delle risorse. Componenti, procedure e prospettive. CNR-IBIMET, dicembre 2016, Firenze, p. 167-176. http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/17098.

Romani M., Rapi B., Battista P., Bacci L., Fiorillo E., Rocchi L., Zantonetti S., Sabatini F., Mati F., Cacini S., Pacifici S. (2013). Monitoraggio e gestione del giardino mediante l'integrazione di nuove tecnologie. X Giornate Scientifiche SOI, 25-27 Giugno 2013, Padova. Acta Italus Hortus 12 (2013): 134.

Thakore Y. (2006). The biopesticide market for global agricultural use. Industrial Biotechnology, 2(3), 194-208.

Teani A., Pacifici S., Cacini S., Mori J., Minuto G., Burchi G. (2014). Sviluppo e messa a punto di un sistema di allarme per le principali fitopatie della rosa. In Progetto FLORIS, studi e risultati, Flortecnica e Vivaismo, 38 (3): VII-X.

Uri N. D. (1999). A Note on the Development and Use of Biopesticides in the United States. Journal of Sustainable Agriculture, n.13 (2), 35-57

Villaverde J. J., Sevilla-Morán B., Sandín-España P., López-Goti C., Alonso-Prados J. L. (2014). Biopesticides in the framework of the European Pesticide Regulation (EC) No. 1107/2009. Pest management science, n. 70(1), 2-5.