

IMPLICAZIONI ECONOMICHE E AMBIENTALI DELL'USO DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE NELLA GESTIONE DELLA DIFESA DALLA MOSCA DELLE OLIVE

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS IN THE USE OF A SIMULATION MODEL FOR THE MANAGEMENT OF OLIVE FRUIT FLY CONTROL

Cossu Antonio^{1*}, Gilioli Gianni², Fronteddu Franco³

¹: S.A.R. - Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna - Viale Porto Torres, 119 - 07100 Sassari

²: Dipartimento di Agrochimica e Agrobiologia Università Mediterranea di Reggio Calabria - P.zza S. Francesco da Sales, 4 - 89061 Gallina di Reggio Calabria

³: E.R.S.A.T. - Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura - Servizio Territoriale del Nuorese - Centro Zonale di Siniscola 08029 - Siniscola (NU)

*Corresponding author: Tel. +39-079-258607, fax -39-079-262681 e-mail: cossu@sar.sardegna.it

Ricevuto 3 aprile 2005, accettato 22 novembre 2005

Riassunto

Nel presente lavoro sono comparate in termini economici e di impatto ambientale diverse strategie di difesa fitosanitaria adottate nel controllo delle popolazioni della mosca delle olive *Bactrocera oleae* (Gmelin). Le strategie poste a confronto sono la difesa a calendario, la lotta guidata assistita da campionamento delle popolazioni e la lotta guidata condotta con l'ausilio di un modello di simulazione della dinamica di popolazione del Dittero. Sono stati valutati i costi relativi al monitoraggio e agli interventi fitosanitari relativi alle singole strategie in un'azienda olivicola calabrese. I risultati ottenuti hanno mostrato come, su base economica, l'adozione del modello dia risultati comparabili con quelli ottenuti con la lotta a calendario e migliori di quelli ottenuti con la lotta guidata. Inoltre, l'uso del modello di popolazione può consentire un consistente risparmio nel numero di trattamenti da effettuare con una conseguente possibile riduzione dell'impatto ambientale e della quantità di residui di fitofarmaci nell'olio prodotto.

Parole chiave: *Bactrocera oleae*, modello economico, impatto ambientale, strategie di difesa.

Abstract

In the paper different pest management strategies for the control of the olive fruit fly Bactrocera oleae (Gmelin) are compared in terms of economic and environmental impacts. The strategies considered are the preventive treatments on fixed date, the threshold-based control based on the weekly sampling of the parasite abundance, and the supervised pest control based on the use of a model able to simulate the fly population dynamics. The costs of monitoring operations and treatments have been evaluated starting from data on infestation collected in three olive orchards located in Calabria (Italy) supposed to be managed according to the defined pest management options. The results show how on economic base, the adoption of the model gives performances comparable with those obtained with the preventive strategy and better than those obtained with the integrated pest management. Furthermore, the use of the population model allows a remarkable saving in the number of treatments to carry out with a consequent reduction in the environmental impact and in the amount of insecticide residues in the oil.

Keywords: *Bactrocera oleae*, economic model, environmental impact, pest control

Introduzione

Il problema del livello di informazione necessaria nel controllo dei parassiti e della sua importanza relativa nei problemi di IPM (Integrated Pest Management) sono aspetti empirici in genere poco considerati nonostante la loro rilevanza (Mehrez *et al.*, 1984). In particolare, gli aspetti quantitativi di maggiore importanza, relativamente all'informazione necessaria per la presa di decisioni, riguardano l'allocazione delle risorse per la conoscenza dello stato del sistema "oliveto" (livello di infestazione, stadio fenologico della coltura, carica produttiva, ecc.) e

il livello di controllo ottenibile sulla base dell'informazione disponibile (derivante da campionamento e quindi affetta da errore). In entrambi i casi può giocare un ruolo fondamentale l'impiego dei modelli di simulazione o più in generale della modellistica applicata alla protezione delle colture che dovrebbero in primo luogo contribuire a (i) definire e ottimizzare le strategie di monitoraggio del fitofago o della patologia e a (ii) supportare la presa delle decisioni in ambito fitosanitario tramite l'utilizzo di simulazioni che possano prevedere l'andamento della fe-

nologia e dell'abbondanza delle popolazioni o l'evoluzione della epidemia (Gilioli e Zinni, 2004).

E' in rapporto a questi due precisi obiettivi che sempre di più dovrebbe misurarsi la produzione di modellistica applicata alla difesa delle colture. In primo luogo è necessaria un'evoluzione dei criteri di valutazione dei modelli che è generalmente limitata alla sola considerazione del grado di precisione delle simulazioni ottenuto in sede di applicazione delle procedure di validazione (condotte spesso al di là di ogni considerazione circa l'indipendenza dei dati utilizzati per lo sviluppo e calibrazione del modello e quelli usati per la sua validazione, ignorando ogni riferimento alla metodologia statistica necessaria nel disegno dei confronti tra simulazioni e osservazioni). In secondo luogo la valutazione dei modelli dovrebbe essere inserita proprio nel contesto delle problematiche della valutazione dei costi della gestione della raccolta della informazione e degli interventi messi in atto a partire da tale informazione. In altri termini i modelli devono divenire appieno strumenti di management a supporto delle decisioni nel contesto integrato della produzione, in cui gli aspetti tecnici devono sempre di più dialogare con le dimensioni economiche, ambientali e sociali del contesto in cui questa è inserita.

In accordo con questa visione, l'obiettivo del presente lavoro è quello di proporre un modello semplificato di valutazione economica, basato sull'analisi costi-benefici, che consideri gli eventuali vantaggi dell'utilizzo di modelli di dinamica di popolazioni a supporto delle strategie di controllo di fitofagi in rapporto ad altre tipologie di strategie fitoiatriche. In particolare sono state confrontate 3 opzioni che si basano, rispettivamente, su un input di informazione nullo (lotta tradizionale o trattamento a calendario - *Caso A*), su un elevato impegno di risorse per la raccolta di informazioni (lotta guidata con trattamenti basati su informazioni relative alla soglia di intervento e allo stato dell'infestazione derivanti da campionamenti ripetuti dell'abbondanza di popolazione del fitofago - *Caso B*) e la lotta guidata supportata dall'uso di un modello di simulazione della dinamica di popolazioni della mosca delle olive - *Caso C*). Il modello di analisi economica considera esclusivamente le ripercussioni sulla PLV (Produzione Lorda Vendibile) delle differenti strategie di difesa. Per semplicità si considerano equivalenti, quindi non vengono computati, gli altri fattori e costi della produzione che, per il calcolo del reddito netto, dovranno essere comunque detratti dalla PLV e che possono essere considerati, in prima approssimazione, indipendenti dalla strategia di difesa adottata.

Come caso di studio il modello di valutazione economica è stato applicato alla gestione razionale delle problematiche fitosanitarie derivanti dalla mosca delle olive *Bactrocera oleae* (Gmelin). I costi e benefici della difesa basata sulla lotta tradizionale e sulla lotta guidata sono stati comparati con un sistema di gestione integrata della difesa fitosanitaria della mosca delle olive basato sull'utilizzo di un modello di dinamica di popolazione del fitofago. Il modello, già calibrato e validato in Sarde-

gna e in Abruzzo (Cossu *et al.*, 1999; Gilioli e Cossu 2002; Gilioli e Zinni, 2004), richiede come input la temperatura dell'aria, una stima dell'abbondanza di individui degli stadi preimmaginali e delle quantità di olive presenti in luglio (nella fase di post-allegagione) e simula la dinamica di popolazione dei diversi stadi del Dittero. Gli obiettivi specifici dell'analisi condotta sono quelli di valutare se la strategia basata sull'impiego del modello di simulazione:

- (i) possa produrre una diminuzione dei costi di estrazione dell'informazione sullo stato del sistema. In particolare si vuole indagare se l'uso del modello è in grado di diminuire i costi di campionamento rispetto alla lotta guidata riducendo il numero di campionamenti al minimo necessario per stabilire le condizioni iniziali da cui far partire la simulazione dell'andamento dell'infestazione;
- (ii) sia in grado di ridurre in modo rilevante il numero di trattamenti rispetto alle due altre strategie considerate senza alterare l'efficacia del controllo. Lo strumento elaborato deve produrre simulazioni che consentano di prevedere, in modo probabilistico, l'evoluzione nel tempo dell'abbondanza delle popolazioni e quindi definire il momento più opportuno per effettuare i trattamenti evitando, in questo modo, quelli non necessari;
- (iii) permetta di realizzare globalmente migliori performance in termini economici, di impatto ambientale e di qualità del prodotto (quantità di residui) in rapporto alle altre opzioni considerate.

Materiali e metodi

Il modello proposto analizza un sistema costituito da un ettaro di oliveto e considera esclusivamente la gestione dei problemi fitosanitari derivanti dalla mosca delle olive. In riferimento a quanto proposto da Regev *et al.* (1983) e da Mehrez *et al.* (1984) lo stato del sistema è descritto in modo completo da un vettore bidimensionale $y_t = (y_{1t}, y_{2t})$ dove y_{1t} rappresenta l'abbondanza media del parassita al tempo t , espressa come percentuale di attacco delle olive presenti e y_{2t} rappresenta la produzione in biomassa vegetale per unità di superficie al tempo t . Chi si occupa della gestione del processo produttivo interviene nel sistema tramite operazioni di controllo $\xi_i (i=1, \dots, l)$, con $l \leq n$, e operazioni di raccolta delle informazioni $\sigma_i (i=1, \dots, m)$, con $m \leq n$, entrambi concepiti come impulsi che sono implementati in corrispondenza di punti temporali discreti $\theta_i (i=1, \dots, n)$. In tali condizioni si definisce la seguente funzione di reddito lordo g_{jk} relativa al k -esimo ettaro, con $k=1, \dots, K$, gestito seguendo la j -esima strategia fitosanitaria definita qui come una combinazione data di ξ_i e σ_i

$$g_{jk} = f_{jk}(y_T) - \sum_i c_{jk}(\xi_i) - \sum_i s_{jk}(\sigma_i) \quad (1)$$

dove $f_{jk}(y_T)$ rappresenta la funzione dei ricavi (definiti come PLV), $c_{jk}(\xi_i)$ rappresenta la funzione dei costi dei trattamenti, $s_{jk}(\sigma_i)$ rappresenta la funzione dei costi di monitoraggio.

Il modello (1) nel caso di studio considerato relativo è stato applicato all'analisi di tre situazioni, $j = A, B, C$, rappresentanti le tre strategie di gestione fitosanitaria della mosca delle olive.

Caso A: lotta tradizionale. Qui considerata come l'esecuzione di una serie di trattamenti "a calendario" utilizzando in genere prodotti di elevata persistenza temporale (in specifico trattamenti larvicidi con Dimetoato). Tale tecnica di conduzione fornisce maggiore sicurezza in termini di efficacia, ma presenta sempre costi fissi molto elevati, specie in considerazione del fatto che, non conoscendo lo stato del sistema, si possono effettuare trattamenti senza che ve ne sia un effettivo bisogno.

Caso B: lotta guidata. Qui considerata come il processo secondo cui il momento in cui intervenire è deciso, definita una opportuna soglia, solo dopo aver valutato l'infestazione attiva tramite monitoraggi compiuti settimanalmente. Si ottiene, in questo modo, una notevole precisione nell'individuazione del momento d'intervento, effettuato anche in questo caso con trattamenti larvicidi a base di Dimetoato. Il monitoraggio dell'infestazione è però una pratica molto onerosa perché costringe gli operatori alla raccolta di numerosi campioni di drupe e alla loro analisi.

Caso C: lotta guidata supportata dal modello di simulazione. In tale caso il modello è utilizzato per simulare l'andamento temporale dell'abbondanza di popolazione a partire da informazioni relative: (i) a un ristretto numero di campionamenti consecutivi dello stato dell'infestazione effettuati all'inizio della stagione produttiva, (ii) all'andamento temporale delle variabili meteorologiche e (iii) alla stima della carica produttiva nella fase di post-allegazione. L'output del modello possiede una risoluzione spaziale di un ettaro, la stessa che caratterizza le variabili di input prima definite. Nel momento in cui il modello prevede il superamento della soglia d'intervento del 15% di infestazione attiva ha luogo immediatamente un trattamento larvicida. Obiettivo dell'impiego del modello è quindi quello di limitare sia il numero di campionamenti, sostituendo all'estrazione diretta dell'informazione del sistema l'esito delle simulazioni, sia il numero di interventi assegnando alla precisione delle simulazioni il buon esito degli stessi.

Risultati e Discussione

Procedura

La procedura di valutazione qui sviluppata fa riferimento a dati reali di infestazione provenienti da 3 campi, della dimensione di circa un ettaro ciascuno, monitorati nella stagione produttiva 2002, siti nel comune di Delianuova in provincia di Reggio Calabria. In tali oliveti non è stato eseguito alcun intervento di controllo della mosca delle

olive. Tramite i campionamenti effettuati settimanalmente si sono potute definire 3 dinamiche di popolazione della mosca, una per ettaro monitorato. La variabile campionaria è definita dalla infestazione attiva (numero di olive attaccate da uova e larve su 100 prelevate in un ettaro). A partire dall'indagine di campo si è proceduto secondo i seguenti passaggi:

a) per il *Caso B* e il *Caso C* si sono stimate, sulla base dei dati rilevati nel corso dell'intera stagione, le funzioni di costo di monitoraggio misurando il tempo medio utilizzato per prelevare e analizzare le 100 olive per ettaro. Il processo di analisi comporta l'osservazione di ciascuna drupa con l'ausilio di uno stereomicroscopio per rilevare e quantificare la presenza degli stadi preimmaginali del fitofago. Per generalizzare i risultati si è ipotizzato che il costo derivi solo da tali operazioni, si è quindi trascurato il contributo dei costi di spostamento e di altre voci;

b) si sono stimate le funzioni di costo di trattamento, ipotizzando di intervenire, come già detto, con trattamenti larvicidi in tutte le tipologie di lotta (*A, B e C*). I costi ipotizzati sono relativi alla situazione tipica della olivicoltura della Piana di Gioia Tauro caratterizzata da condizioni agronomiche e colturali tipiche, spesso non direttamente riconducibili a quelli di altri contesti produttivi;

c) nei 3 ettari effettivamente monitorati, che nel disegno sperimentale seguito costituiscono il testimone non trattato (Test), a partire da stime effettuate in post-allegazione si è definita la PLV massima teorica e si è infine misurata quella effettivamente ottenuta al raccolto stimando in questo modo la cascola dovuta, tra l'altro, agli attacchi della mosca;

d) a partire dai dati sull'infestazione osservata e dietro opportune ipotesi sul livello di efficacia degli interventi ipotizzati nei 3 casi considerati (dipendenti dalla % di mortalità indotta in un singolo trattamento, dal numero di trattamenti e dalle modalità di ripresa dell'infestazione dopo ogni trattamento), si è ottenuta una stima teorica della PLV ottenibile nei tre diversi ettari in funzione delle 3 strategie di intervento (funzione di ricavo);

e) definite le funzioni di costo e le funzioni di ricavo si sono calcolati i redditi lordi nell'ipotesi di non considerare tutti i costi implicati nella produzione, costi che del resto, in prima approssimazione, si possono considerare come indipendenti dal tipo di opzione fitosanitaria seguita.

Funzione dei costi di monitoraggio

I costi unitari di tutte le operazioni di monitoraggio sono riportati in Tab. 1. Nel *Caso A* non si hanno ovviamente costi di monitoraggio per cui $s(\sigma) = 0$ ore/uomo x ettaro.

Nel *Caso B* e *Caso C* per ogni unità di superficie campionata, pari a un ettaro e per ogni monitoraggio si avrà che $s(\sigma_i) = 1$ ora/uomo x ettaro, al costo orario di 20 €.

Nell'ipotesi che nel *Caso B* vengano effettuati da metà luglio a metà ottobre 13 campionamenti, si avrà che

$\sum_{i=1}^{13} s(\sigma_i) = 260$ €/ettaro. Nel *Caso C* il protocollo com-

Tab. 1 - Costi di monitoraggio (per unità di tempo e superficie) e trattamento (per unità di superficie) e ricavi (Produzione Lorda Vendibile per unità di superficie) ipotizzati nel modello di analisi economica**Tab. 1** - *Monitoring costs (per time- and area- unit), treatment costs (per area-unit), and gain (Gross Production per area-unit) considered in the economic analysis model.*

Voce	Unità	Valore unitario
Trattamenti larvicidi (Dimetoato)	Trattamenti/ettaro	41 €/trattamento
Monitoraggio (Prelievo + osservazione)	Ore/uomo x ettaro	20 €/ora
PLV (Resa in olio del 15%)	Q.li olio/ettaro	250 €/q.le

Tab. 2 - Risultati economici della gestione fitosanitaria di un ettaro di oliveto ottenuti seguendo le 3 diverse strategie definite (A, B e C) nei 3 diversi campi monitorati (1, 2 e 3).**Tab. 2** - *Economic results of the phytosanitary management of an hectare of olive grove following 3 different strategies (A, B e C) in 3 different fields (1, 2 e 3).*

Campo <i>i</i>	Strategia <i>j</i>	Numero Monitoraggi	Costi Monitoraggio (€)	Numero Trattamenti	Costi Trattamenti (€)	PLV Teorica (€)	PLV Reale (€)	Reddito lordo (€)
1	Test*	0	0	0	0	6750	5400	5400
	A	0	0	3	123	6750	6750	6627
	B	13	260	3	123	6750	6750	6367
	C	6	120	1	41	6750	6750	6589
2	Test*	0	0	0	0	6750	4725	4725
	A	0	0	3	123	6750	6750	6627
	B	13	260	2	82	6750	6750	6408
	C	3	60	1	41	6750	6750	6649
3	Test*	0	0	0	0	6750	3038	3038
	A	0	0	3	123	6750	6750	6627
	B	13	260	2	82	6750	6750	6408
	C	6	120	1	41	6750	6750	6589

* nessun trattamento/no treatments

porta 3 campionamenti consecutivi effettuati all'inizio della stagione produttiva, in corrispondenza della comparsa della ricettività della drupa e altri 3 effettuati, in via cautelare, dopo eventuali trattamenti per determinare di nuovo le condizioni iniziali del modello (per un totale di 120 €/ettaro). Nel caso in cui l'ultimo trattamento si trovi a ridosso della raccolta non sono previsti dal protocollo di applicazione del modello nuovi campionamenti. Tutti i risultati relativi ai costi di monitoraggio sono riassunti in Tab. 2. Per semplificare l'applicazione del modello di analisi economica non sono stati considerati i costi del monitoraggio meteorologico, né quelli dello sviluppo e implementazione del modello di simulazione, costi la cui stima non può prescindere da considerazioni relative alla scala spaziale e temporale di applicazione di tali tecnologie, queste trovano infatti la loro naturale collocazione nell'ambito di un intero comprensorio olivicolo e nell'ottica di un investimento pluriennale.

Funzione dei costi dei trattamenti

Nel *Caso A* si ipotizza un numero di trattamenti larvicidi fisso e pari a 3, poiché questi hanno un costo unitario pari a 41 € per ettaro, si avrà $\sum_{i=1}^3 c(\xi_i) = 123$ €/ettaro. Nel

Caso B invece i trattamenti non sono stabiliti a priori ma derivano dal rilevamento del superamento della soglia di intervento (15% di olive infestate da uova e larve vive) e quindi il numero di trattamenti deve essere determinato per ciascuna delle 3 dinamiche osservate. La procedura utilizzata per definire la dinamica delle popolazioni dopo un trattamento è comune al *Caso A* e *B* ed è qui di seguito descritta. Alla prima data stabilita per trattare (*Caso A*) o al superamento per la prima volta della soglia (*Caso B*) si interviene riducendo la popolazione di una percentuale fissa e ritenuta appropriata per il tipo di trattamento scelto. Quindi si ipotizza che la popolazione riprenda la sua dinamica di crescita con una legge nota e uguale per tutte

le dinamiche (singoli campi entro strategia). A seconda delle strategie gli interventi successivi sono legati alle date stabilite o sono subordinati al rilevamento di abbondanze superiori alla soglia. Per il *Caso B* il ciclo di monitoraggio, l'eventuale intervento con conseguente abbattimento della popolazione e il successivo riavvio della dinamica di crescita si ripete fino al momento della raccolta. Per quanto riguarda il *Caso C* i trattamenti sono effettuati quando l'abbondanza simulata supera la soglia di intervento (anche in questo caso pari al 15%). Dopo il trattamento, il protocollo di utilizzo del modello di simulazione prevedrebbe di campionare per 3 settimane consecutivamente per definire le condizioni iniziali del modello. Per le caratteristiche dell'indagine eseguita, che consente solo di ipotizzare la dinamica di popolazione dopo un trattamento, le condizioni iniziali sono state definite applicando alla abbondanza post-trattamento la stessa legge di crescita utilizzata nel *Caso A* e nel *Caso B*.

Funzione dei ricavi

Per quanto concerne la funzione dei ricavi, o PLV reale, si deve tener conto dei seguenti parametri e funzioni:

a) *produzione massima ottenibile*: la produzione massima \hat{y}_{2T} ottenibile senza danni quantitativi (cascola) da mosca è definita sulla base di stime della carica produttiva a partire da osservazioni dello stato del sistema in post-allegazione; la stima è effettuata empiricamente dagli olivicoltori proprietari dell'azienda;

b) *funzione delle perdite produttive*: una completa definizione delle perdite produttive dovrebbe considerare la cascola naturale e la relazione esistente tra infestazione attiva e perdita produttiva sia in termini quantitativi (cascola) e in termini qualitativi (deprezzamento dell'olio) entrambi come conseguenza dell'attacco della mosca. Poiché in questa sede è centrale il confronto tra le 3 strategie, mentre il rapporto tra queste e il controllo non è oggetto di considerazione, si è considerato in prima approssimazione che gli interventi fitosanitari riescano a ridurre la cascola indotta dalla mosca fino ad un livello minimo trascurabile;

c) *modificazione della dinamica per effetto dei trattamenti* (funzione di mortalità e di ripresa della dinamica di crescita delle popolazioni): poiché, come detto, non si hanno dati sperimentali sufficientemente generalizzabili sulle conseguenze dei trattamenti, si sono introdotte delle ipotesi opportune su come si sarebbe potuto modificare il vettore $y_t = (y_{1t}, y_{2t})$, osservato in ciascun campo entro strategia, in funzione dell'intervento. La mortalità per effetto dei trattamenti è stata modellata facendo intervenire un abbattimento della infestazione attiva in percentuale fissa e in corrispondenza di ogni trattamento. Il modellamento della ripresa della dinamica dell'infestazione avviene secondo una legge comune a tutti e tre i casi e tiene conto anche dei feedback positivi sulla dinamica di crescita della popolazione indotti da

una calo della densità (minore competizione) e dalla immigrazione.

Funzione di reddito lordo

La funzione di reddito lordo è qui definita come la PLV reale a cui vanno sottratti la funzione dei costi di monitoraggio e dei costi di trattamento. I valori stimati per queste 3 voci del computo economico relativo alle 3 strategie poste a confronto sono riportati in Tab. 2. Per quanto riguarda il costo di monitoraggio la strategia *C* è risultata in tutti e tre i campi la strategia più conveniente, infatti a fronte di un costo fisso pari a 260 €/ettaro per la strategia *B*, la *C* presenta in due dei casi (parcella 1 e 3) un costo di 120 € e nella parcella 2 un costo di soli 60 €. Per quanto concerne i costi dei trattamenti la strategia più conveniente è quella che fa uso del modello che registra un costo medio di 54,5 € per ettaro contro i 95,7 €/ettaro della strategia *B* e i 123 €/ettaro della *A*.

Considerate nella loro globalità le voci di costo indicano innanzitutto che le performance ottenute dalle 3 strategie di gestione sono risultati migliori di quelle ottenute nei testimoni non trattati. Circa il confronto tra le 3 strategie si rileva che l'opzione *A* risulta, seppur di poco, la più conveniente dal punto di vista strettamente economico, la *B* risulta in tutti i tre casi la meno conveniente, nella sua applicazione spicca infatti la notevole incidenza dei costi di monitoraggio, superiori in tutti i casi a quelli di trattamento. La strategia *C*, quella basata sull'impiego del modello di simulazione, si dimostra comparabile al trattamento a calendario e più conveniente della lotta guidata. Come detto, dal punto di vista economico le differenze tra le 3 opzioni fitoiatriche considerate sono piuttosto limitate, il confronto effettuato assume però un significato più compiuto se si considera l'impatto ambientale associato ai diversi *Casi*, valutato in termini del numero di trattamenti effettuati. In questo modo si registrano nel *Caso A* 3 trattamenti/stagione, nel *Caso B* sono risultati necessari in media 2,33 trattamenti/stagione e nel *Caso C* in media 1,33 trattamenti/stagione. Le differenze sono quindi importanti e in ogni caso testimoniano a favore della strategia che prevede l'impiego del modello di simulazione. Il risultato può assumere un valore di rilievo ancora maggiore considerando anche il rischio di presenza di residui nell'olio derivanti dai trattamenti.

Conclusioni

Lo sviluppo di un modello economico di analisi costi/benefici si è dimostrato estremamente efficace nella valutazione del significato della applicazione di un modello di simulazione nella gestione fitosanitaria della mosca delle olive in rapporto alle strategie più comuni della lotta guidata e della lotta a calendario. Il modello di simulazione è in grado sia di ridurre il quantitativo di risorse da allocare alla raccolta di informazioni sullo stato del sistema (stato dell'infestazione), sia di supportare la presa di decisioni circa gli istanti di tempo in cui effettuare trattamenti di controllo. Grazie a queste due caratteristiche la strategia fitosanitaria basata sull'uso del mo-

dello di simulazione ha consentito di realizzare performance economiche comparabili a quelle del trattamento a calendario e superiori a quelle della lotta guidata. Inoltre, l'utilizzo del modello consente una cospicua riduzione del numero di interventi fitosanitari con conseguenze importanti in termini di riduzione dell'impatto ambientale dei trattamenti e della possibile presenza di residui nel prodotto. Per quanto concerne la lotta guidata si evidenzia come essa comunque costituisca sempre una valida alternativa alla lotta tradizionale a calendario per il minor numero di trattamenti che riesce a garantire.

I risultati ottenuti, insieme a importanti considerazioni relative alla scala spaziale e temporale nell'ambito dei problemi di gestione, suggeriscono la possibilità di sviluppare schemi organizzativi delle operazioni di management che possano ottimizzare l'inserimento del modello nelle gestione delle operazioni di raccolta delle informazioni e di controllo degli attacchi della mosca a livello di interi comprensori olivicoli. Tale opzione consentirebbe anche il realizzarsi di economie di scala per quanto concerne l'incidenza dei costi di monitoraggio meteorologico ma soprattutto di sviluppo e implementazione del modello. La valutazione della portata dei risul-

tati ottenuti, limitata dal numero di dinamiche disponibili, dovrà essere affidata a un'indagine che consideri un maggior numero di aziende e quindi un repertorio di dinamiche più vasto. Studi finalizzati a questo scopo sono già stati intrapresi e la loro analisi sarà oggetto, a breve, di un'ulteriore pubblicazione.

BIBLIOGRAFIA

- Cossu, A., Delrio, G., Di Cola, G., Gilioli, G., 1999. *Modelli matematici nella protezione integrata delle colture in Sardegna. Collana di Agrometeorologia per la Sardegna, Nota Tecnica SAR 3 - 1999.*
- Gilioli, G., Cossu, A., 2002. *Prime validazioni di un Individual-based Model per la simulazione della dinamica di popolazioni di Bactrocera oleae (Gmelin). Atti del "XIX Congresso Nazionale Italiano di Entomologia". Catania, 10-15 giugno 2002, 685-691.*
- Gilioli, G., Zinni, A., 2004. *Strategie di razionalizzazione del monitoraggio e delle previsioni delle infestazioni di Bactrocera oleae (Gmel.) in Abruzzo: il contributo della modellistica applicata. Atti delle "Giornate Fitopatologiche 2004". Montesilvano (Pescara) 4-6 maggio 2004, 65-70.*
- Mehrez, A., Regev, U., Spivak, A., 1984. *Financial management of uncertain cost. Managerial and Decision Economics, 5:19-24.*
- Regev, U., Shalit, H., Gutierrez, A.P., 1983. *On the optimal allocation of pesticides: the case of pesticide resistance. Journal of Environmental Economics and Management, 10:86-100.*