

## ALCUNE APPLICAZIONI DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE NELLA DIFESA INTEGRATA DI FRUTTETI E VIGNETI

A. SCIARRETTA<sup>1</sup>, P. TREMATERRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti - Università degli Studi del Molise  
Via De Sanctis, 86100 Campobasso  
sciarretta@unimol.it

### RIASSUNTO

Lo sviluppo dell'Information and Communication Technology (ICT) ha fornito le basi per un cambiamento radicale nelle strategie di gestione delle produzioni agricole attraverso l'implementazione dell'agricoltura di precisione, in essa un ruolo centrale è assunto dalla capacità di rilevare e gestire la variabilità spaziale che si presenta in campo. L'adozione di questi principi, in un programma di difesa integrata delle piante (IPM) dagli artropodi, si basa sull'utilizzo di mappe che mostrano la distribuzione dei fitofagi o dei loro danni sul territorio, con l'obiettivo di ridurre al minimo gli interventi di lotta. L'implementazione e l'applicazione pratica di tale approccio in programmi di IPM è però ancora limitato. Nel presente lavoro, l'utilità degli strumenti della lotta di precisione è illustrata con esempi tratti da studi realizzati negli ultimi anni in frutteti e vigneti italiani, ponendo attenzione ai sistemi di monitoraggio, all'uso delle trappole, ai problemi di scala, all'analisi dei pattern spaziali e alla costruzione delle mappe di rischio. Sono inoltre approfonditi alcuni aspetti riguardanti la difficoltà di integrazione dell'agricoltura di precisione in logica di IPM, dovuti alla distribuzione e alla dispersione dei fitofagi all'interno e all'esterno del campo coltivato, come pure agli alti costi richiesti dai sistemi di monitoraggio e dagli interventi di lotta mirata.

**Parole chiave:** distribuzione spaziale, lotta mirata, monitoraggio, geostatistica

### SUMMARY

#### PRACTICAL APPLICATIONS OF PRECISION AGRICULTURE IN THE INTEGRATED MANAGEMENT OF ORCHARD AND VINEYARD PESTS

The development of Information and Communication Technology (ICT) has provided the basis for a radical change in management strategies of agricultural production through the implementation of precision agriculture, in which a central role is played by the ability to detect and manage spatial variability that occurs in open field. In this regard, the incorporation of these principles in a program of Integrated Pest Management (IPM) is based on the use of maps showing the distribution of pests or of their damages, with the aim of minimizing direct interventions. The development and practical application of this approach, in integrated pest management programs, however, is still limited. In the present paper, the utility of precision agricultural tools is illustrated with examples taken from field studies, with attention to the monitoring schemes, use of traps, scale issues, analysis of spatial patterns and risk assessment maps. Some aspects regarding the difficulty of integration of precision agriculture in the logic of IPM, due to the distribution and dispersion of pests inside and outside cultivated field, as well as the high costs required by the monitoring systems and by targeted treatments were also reported.

**Keywords:** spatial distribution, precision IPM, monitoring, geostatistic

## INTRODUZIONE

Lo sviluppo dell'Information and Communication Technology (ICT) ha fornito le basi per un cambiamento radicale nelle strategie di gestione delle produzioni agricole attraverso l'implementazione dell'agricoltura di precisione (precision farming o precision agriculture). In particolare, un ruolo centrale è assunto dall'utilizzo delle ICT per rilevare e gestire la variabilità spaziale e temporale che si presenta in campo, con l'intento di ridurre al minimo l'impiego di *input* idrici, concimi, fertilizzanti, fitofarmaci, lavorazioni del terreno e combustibili, con conseguenti vantaggi per la riduzione dei costi di produzione. A tale riguardo la diffusione di tecnologie quali GPS, GIS, telerilevamento e sistemi informatici di supporto alle decisioni stanno contribuendo in modo decisivo all'affermarsi dell'agricoltura di precisione (Basso *et al.*, 2005; Sciarretta e Trematerra, 2014).

In anni recenti, le problematiche connesse alla sostenibilità ambientale, nell'utilizzo delle risorse naturali e alla razionalizzazione degli input chimici in agricoltura, hanno dato all'agricoltura di precisione un ulteriore valore aggiunto, favorendone la diffusione in contesti a elevata tecnologia. In particolare, l'attenzione maggiore si è concentrata nella gestione mirata delle risorse dei comparti acqua e suolo, con qualche interessante sviluppo anche nel campo della gestione delle malerbe e dei nematodi (Oliver, 2010). L'applicazione pratica di tale filosofia di approccio in programmi di Integrated Pest Management (IPM) risulta tuttavia ancora limitata (Park *et al.*, 2007; Sciarretta e Trematerra, 2014).

Nel presente lavoro, l'utilità degli strumenti dell'agricoltura di precisione per la difesa integrata delle colture è illustrata con esempi tratti da studi realizzati in frutteti e vigneti italiani, ponendo particolare attenzione ai sistemi di monitoraggio, all'uso delle trappole, ai problemi di scala, all'analisi dei pattern spaziali e alla costruzione delle mappe di rischio. Sono inoltre approfonditi alcuni aspetti riguardanti la difficoltà di integrazione dell'agricoltura di precisione in logica di IPM.

## I SISTEMI DI MONITORAGGIO

Le attività di monitoraggio assumono un ruolo chiave nei programmi di lotta integrata. Gli obiettivi sono di rilevare la presenza di specie infestanti e di quantificare la loro abbondanza (ed eventualmente i loro nemici naturali) nel tempo e nello spazio.

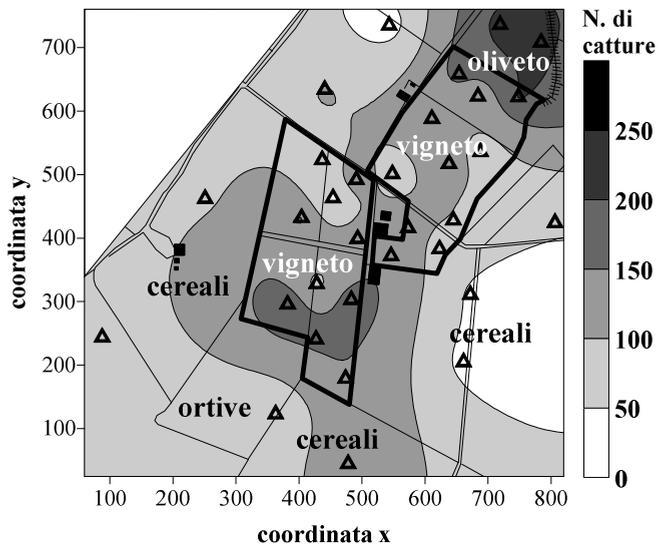
Seguire la dinamica spazio-temporale di un fitofago attraverso un campionamento periodico permette di decidere se, quando e dove è richiesta un'azione di lotta.

In questo contesto, il monitoraggio effettuato con una griglia di stazioni consente di ottenere una mappa che fornisce informazioni utili circa la distribuzione spaziale di un fitofago, ad esempio per:

- identificare l'origine delle infestazioni all'interno della coltura presa in esame;
- localizzare la posizione delle aree di aggregazione (hot spot) e seguirne l'andamento temporale;
- mettere in evidenza il ruolo che le piante ospiti coltivate o spontanee svolgono come potenziali focolai di infestazione;
- valutare l'effetto che la struttura del paesaggio esercita sulla dispersione delle sue popolazioni, attraverso la presenza di corridoi o di barriere ecologiche.

Nella figura 1 è riportato un esempio di mappa di distribuzione ottenuta da una rete di trappole a feromoni impiegate nella cattura dei maschi di *Lobesia botrana*, durante il secondo volo stagionale dell'insetto, all'interno di un agro-ecosistema complesso dell'Italia centrale (Sciarretta *et al.*, 2006). In essa si nota che le aree di aggregazione degli adulti del lepidottero non sono limitate ai vigneti, ma interessano anche l'interno dei campi coltivati a oliveto.

Figura 1. Distribuzione spaziale dei maschi di *Lobesia botrana* durante il secondo volo stagionale in un agro-ecosistema eterogeneo del Molise



### LA SCALA DI CAMPIONAMENTO

Secondo quanto suggerito dal National Research Council (1997), i pilastri principali su cui poggia l'agricoltura di precisione sono: la raccolta dei dati alla scala appropriata, l'analisi e l'interpretazione di tali dati, l'implementazione della risposta gestionale alla giusta scala spaziale e temporale.

Al riguardo la componente spaziale, in particolare, è di solito fortemente scala-dipendente (Schneider, 1994) e questo è vero anche quando l'oggetto delle indagini sono gli artropodi.

Modificando la scala alla quale si effettua un campionamento, i processi prevalenti che definiscono un particolare pattern di distribuzione saranno diversi e di conseguenza porteranno a risultati differenti (Sciarretta *et al.*, 2003). Ad esempio, se si prende in considerazione la struttura spaziale di un fitofago a livello del singolo campo, forze come la dinamica locale delle sue popolazioni domineranno nell'analisi. A un livello superiore, prevarranno la struttura del paesaggio e i processi di metapopolazione. A scala regionale, le variabili che agiranno sono ancora altre, tra queste le caratteristiche climatiche, i trend altitudinali, la deriva genetica.

La scelta della scala di campionamento più appropriata dipende dall'obiettivo dello studio intrapreso. Se si vuole comprendere la distribuzione di un insetto fitofago all'interno di un frutteto per ottimizzare le azioni di monitoraggio o di lotta, sarà necessario individuare una griglia di punti di campionamento in modo da coprire ogni parte del campo, inclusi i suoi settori periferici in modo da verificare la presenza di fenomeni spaziali peculiari, quale l'effetto bordo (Van Helden, 2010).

In questo caso, le specie e le cultivar delle piante presenti, in relazione alla loro posizione spaziale e fase fenologica, possono avere un ruolo importante nel determinare le dinamiche spazio-temporali del parassita, in particolare se si tratta di entità polifaga.

Studi riferiti a *Ceratitis capitata*, realizzati per valutare l'effetto esercitato dalle piante ospiti sulla distribuzione spaziale del fitofago, in un paesaggio agricolo di 500 ettari situato in Italia centrale, hanno mostrato che le aree di aggregazione della mosca mediterranea si spostano in sequenza interessando frutteti con piante ospiti differenti (pesco, melo, pero, cachi e fico d'India), seguendo man mano la maturazione dei diversi frutti (Sciarretta e Trematerra, 2011). In proposito, le mappe di distribuzione hanno permesso di identificare gli ospiti in cui la mosca si è sviluppata a inizio stagione (in pescheti misti) e successivamente durante i vari voli stagionali.

Il disegno sperimentale da adottare sarà differente se si vogliono identificare le aree sink/source in un paesaggio agricolo frammentato. In questo caso, in cui la distribuzione spaziale può essere facilmente influenzata dalla composizione a mosaico dei singoli elementi ambientali, le strategie di campionamento devono essere estese a tutta l'area e progettate in modo da differenziare adeguatamente le proprietà di ciascuna unità di paesaggio, comprese quelle in cui si suppone che l'infestante non sia presente. Elementi quali siepi, campi incolti, ruscelli, macchie e boschi, che agiscono come barriere o come corridoi ecologici, possono, infatti, avere un forte effetto sulla dispersione della popolazione del fitofago nel territorio (Sciarretta *et al.*, 2001; Basoalto *et al.*, 2010).

A livello regionale i punti di campionamento sono necessariamente situati a grandi distanze (nell'ordine di chilometri), questo fatto nasconde le dinamiche di popolazione che avvengono a scale inferiori. In tal caso le indagini possono avere l'obiettivo di ottenere un quadro generale della presenza dei parassiti in una vasta area (ad esempio in funzione di limiti altitudinali), ma possono anche essere indirizzate a verificare le relazioni spaziali dei fitofagi con specifiche variabili ambientali, spesso di tipo climatico. Ad esempio, uno studio effettuato in Catalogna (Spagna) su un'area 160.000 ettari ha analizzato la distribuzione spaziale dei maschi di *Cydia pomonella* e ha verificato la presenza di anisotropie nei dati causate dalla direzione dei venti dominanti (Comas *et al.*, 2012).

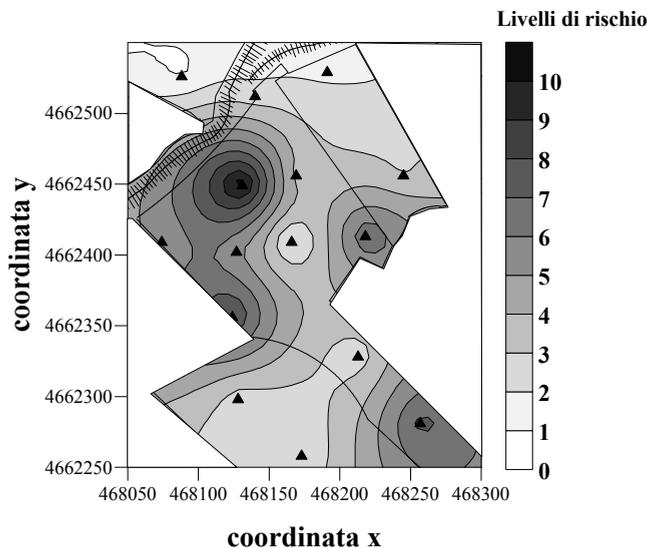
### **PATTERN SPAZIALI E MAPPE DI RISCHIO**

Poiché la variazione spaziale può essere dovuta all'intervento di numerosi fattori, non sempre è possibile comprendere quali sono le principali cause che determinano una distribuzione di un certo fitofago in uno specifico contesto (Van Helden, 2010). Inoltre, nel caso degli insetti, essa può cambiare in funzione dello stadio di sviluppo, della stagione, dello stato fenologico della coltura e delle condizioni climatiche. Ad esempio, un'alternanza di pattern spaziali aggregati e casuali sono ricorrenti all'interno di frutteti e di vigneti per quanto riguarda le cicaline, i tripidi e la mosca della frutta, nei diversi momenti della stagione produttiva (Nestel e Klein, 1995; Papadopoulos *et al.*, 2003; Decante e Van Helden, 2008).

Di conseguenza, sotto tale aspetto ogni frutteto è unico e i pattern spaziali cambiano anche in appezzamenti vicini tra di loro. Le osservazioni realizzate *in situ* sono quindi necessarie per descrivere le dinamiche spazio-temporali di un fitofago ed eventualmente disegnare delle mappe utili per avere una rappresentazione visiva della sua presenza nell'agro-ecosistema.

Spesso, pur alla presenza di distribuzioni variabili, le attività di monitoraggio ripetute per più anni possono evidenziare delle aree a differente rischio di infestazione. Uno dei possibili esiti di un monitoraggio spazio-temporale è proprio la realizzazione di mappe di valutazione del rischio per la gestione delle specie nocive, ottenute anche unendo dati provenienti da fonti diverse. Tale strumento ha visto un forte sviluppo soprattutto in studi a carattere epidemiologico (Eisen e Eisen, 2011).

Figura 2. Mappa di rischio del danno larvale di *Lobesia botrana* rilevata in un vigneto di 4,5 ha. Un indice, ottenuto moltiplicando il numero medio di acini attaccati/grappolo e la percentuale di grappoli infestati campionati per tre anni, è stato trasformato secondo una scala con livelli da 0 (nessun rischio) a 10 (rischio massimo) e interpolato usando il kriging.



Nel nostro caso, ad esempio, una mappa del rischio per le infestazioni dovute a *L. botrana* è stata ottenuta utilizzando i dati rilevati nell'arco di tre anni, riferiti al danno provocato dalle larve, calcolato sia come numero di acini per grappolo attaccato sia come percentuale di grappoli infestati (Fig. 2).

L'utilità di tali strumenti in programmi di IPM è stata evidenziata da Brenner *et al.* (1998), questi fornisce in dettaglio l'uso dell'indicatore kriging per definire e quantificare le aree che superano delle soglie di intervento predeterminate. In breve, un indicatore è una variabile con valori di 1 o 0, ottenuta dividendo la scala di conteggi in una o più soglie. L'interpolazione della variabile-indicatore darà la distribuzione della probabilità stimata che un punto di campionamento, collocato in una posizione specifica, supererà la soglia prestabilita.

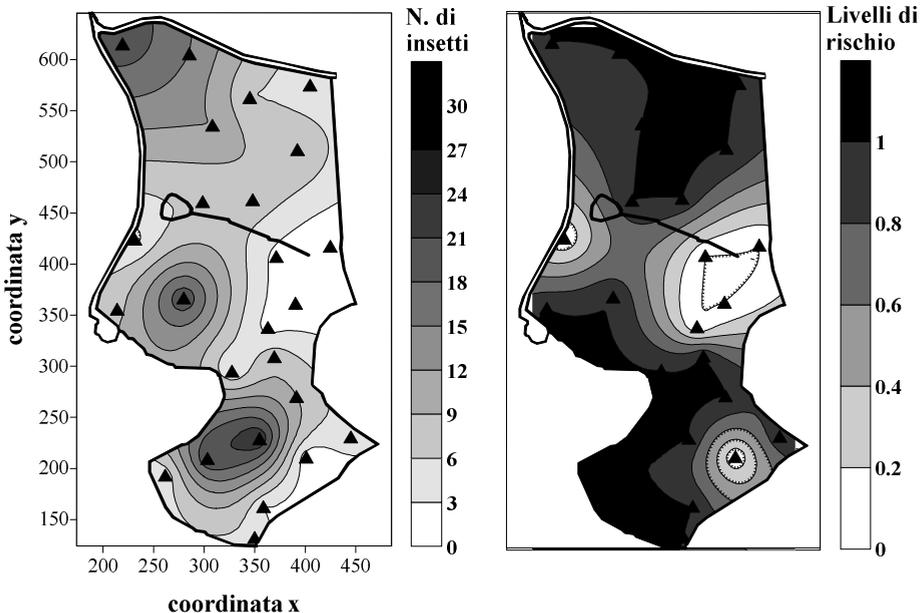
La figura 3 illustra il caso della distribuzione dei maschi di *C. pomonella* in un meleto, dove l'indicatore kriging è stato elaborato considerando una soglia di azione di 2 maschi per trappola a feromone per settimana. In questo caso, la mappa fornisce le indicazioni per scegliere i settori del frutteto dove il posizionamento di una trappola darà un'indicazione affidabile utile a individuare il raggiungimento della soglia prestabilita.

### LA LOTTA DI PRECISIONE

L'incorporazione della variabilità spaziale in un programma di gestione integrata è chiamata lotta di precisione (precision targeting for IPM) e si basa sull'uso di mappe che mostrano la distribuzione di un fitofago, da utilizzare per ridurre al minimo gli interventi di lotta (Brenner *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2007).

A dispetto della grande potenzialità di tale approccio, che si richiama ai principi dell'agricoltura di precisione, vi sono difficoltà significative che devono essere ancora risolte.

Figura 3. Mappa di distribuzione delle catture settimanali di *Cydia pomonella* ottenute da trappole a feromoni (a sinistra) e corrispondente mappa del rischio ricavato calcolando l'indicatore kriging per una soglia di intervento di 2 maschi/trappola/settimana (a destra). I livelli di rischio corrispondono alla probabilità stimata che una stazione di campionamento posizionata in un determinato punto superi la soglia. Le aree nere sono le zone migliori in cui mettere una trappola per il monitoraggio.



La necessità di usare strumenti a elevata tecnologia, complessi da manipolare, può scoraggiare il loro impiego da parte degli operatori del settore.

Il sempre più esteso utilizzo di programmi GIS suggerisce che la loro diffusione è destinata ad ampliarsi in vari contesti applicativi, rendendo più semplice lo sviluppo di piani di lotta integrata di precisione, a livello aziendale o a livello di comprensorio. Negli ultimi tempi, molti software GIS incorporano strumenti di analisi spaziale, compresa la geostatistica, per la produzione automatica di mappe di distribuzione.

L'identificazione di focolai di infestazione esterni alle colture prese in considerazione e da proteggere è essenziale soprattutto in agro-ecosistemi eterogenei e frammentati. Tale problematica assume particolare importanza nei programmi di gestione integrata effettuati su larga scala (area-wide IPM). Il ricorso alla tecnologia GIS appare molto promettente quando si svolgono attività su aree geografiche estese, che coinvolgono l'uso di sistemi di supporto alle decisioni, tenendo conto delle capacità di colonizzazione e di dispersione dei fitofagi e delle specie antagoniste e valutando la presenza di fattori ambientali che potrebbero influenzare il successo del programma di IPM (Faust, 2008).

Anche se vi sono alcuni esempi di applicazioni di GIS e geostatistica in programmi area-wide di lotta integrata, il loro utilizzo per la protezione di frutteti e vigneti è purtroppo ancora limitata (Tobin *et al.*, 2004; De Luigi *et al.*, 2011).

Gli elevati costi di un monitoraggio in un contesto spaziale, a causa dei numerosi punti di campionamento, sono il più grande ostacolo alla diffusione della lotta di precisione nella pratica operativa agricola. Però tale limitazione può essere in parte superata se gli sforzi si dirigono allo sviluppo di sistemi geolocalizzati intelligenti che consentono l'automazione dei dispositivi di cattura e delle operazioni di intervento (Wen *et al.*, 2009; Pontikakos *et al.*, 2012).

Per mettere a punto efficaci programmi di lotta di precisione, le popolazioni dei fitofagi devono risultare aggregate e con capacità di dispersione limitata. Nel valutare tale aspetto è necessario indagare in via preliminare il tipo di distribuzione che si presenta in campo (aggregata, random o uniforme), impiegando appositi indici statistici oppure facendo ricorso a metodi geostatistici. In presenza di aree di aggregazione, è possibile impostare dei piani di lotta mirata in cui gli interventi biocidi vengono limitati in modo specifico solo a tali zone.

Un'analisi condotta in Abruzzo, riferita ai costi relativi alla protezione dei vigneti, ha evidenziato che l'approccio mirato è vantaggioso rispetto ai trattamenti generalizzati effettuati su tutto il campo - anche alla presenza di un maggior danno stimato fino all'1% di acini infestati per grappolo - perché compensato dal minor costo per la realizzazione degli interventi (Sciarretta *et al.*, 2011).

Un importante cambiamento potrà essere realizzato man mano che i principi riguardanti l'agricoltura sostenibile, l'agricoltura biologica, la produzione a residuo zero e così via acquisiranno maggiore importanza nella gestione delle colture ad alto reddito, e che i vantaggi ambientali derivanti dall'utilizzo di un input ridotto, o nullo, di prodotti chimici saranno incorporati come valore aggiunto nella determinazione del prezzo finale delle produzioni.

#### LAVORI CITATI

- Basoalto E., Miranda M., Knight A.L., Fuentes-Contreras E., 2010. Landscape analysis of adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) distribution and dispersal within typical agroecosystems dominated by apple production in central Chile. *Environmental Entomology*, 39 (5), 1399-1408.
- Basso B., Sartori L., Bertocco M., 2005. Agricoltura di precisione. Edizioni L'Informatore Agrario, Verona, 156 pp.
- Brenner R.J., Focks D.A., Arbogast R.T., Weaver D.K., Shuman D., 1998. Practical use of spatial analysis in precision targeting for integrated pest management. *American Entomologist*, 44, 79-101.
- Comas C., Avilla J., Sarasua M.J., Ribes-Dasi M., 2012. Lack of anisotropic effects in the spatial distribution of *Cydia pomonella* trap catches in Catalonia, NE Spain. *Crop Protection*, 34, 88-95.
- Decante D., Van Helden M., 2008. Spatial and temporal distribution of *Empoasca vitis* within a vineyard. *Agricultural and Forest Entomology*, 10, 111-118.
- De Luigi V., Furlan L., Palmieri S., Vettorazzo M., Zanini G., Edwards C.R., Burgio G., 2011. Results of WCR monitoring plans and evaluation of an eradication programme using GIS and Indicator Kriging. *Journal of Applied Entomology*, 135, 38-46.
- Eisen L., Eisen R.J., 2011. Using geographic information systems and decision support systems for the prediction, prevention, and control of vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 56, 41-61.
- Faust R.M., 2008. General introduction to areawide pest management. In: Koul O., Cuperus G., Elliott N. (eds), *Areawide pest management. Theory and implementation*. CAB International, Wallingford, United Kingdom, 1-14.

- National Research Council, 1997. Precision Agriculture in the 21st century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management. National Academy Press, Washington DC, USA, 162 pp.
- Nestel D., Klein M., 1995. Geostatistical analysis of leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) colonization and spread in deciduous orchards. *Environmental Entomology*, 24 (5), 1032-1039.
- Oliver M.A., 2010. Geostatistical applications for precision agriculture. Springer, New York, 331 pp.
- Papadopoulos N.T., Katsoyannos B. I., Nestel D., 2003. Spatial autocorrelation analysis of a *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) adult population in a mixed deciduous fruit orchard in Northern Greece. *Environmental Entomology*, 32 (2), 319-326.
- Park, Y.L., Krell, R.K., Carroll, M., 2007. Theory, technology, and practice of site-specific Insect Pest Management. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 10 (2), 89-101.
- Pontikakos C.M., Tsiligiridis T.A., Yialouris C.P., Kontodimas D.C., 2012. Pest management control of olive fruit fly (*Bactrocera oleae*) based on a location-aware agro-environmental system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 87, 39–50.
- Schneider D.C., 1994. Quantitative ecology. Spatial and temporal scaling. Academic Press, San Diego, CA, 395 pp.
- Sciarretta A., Trematerra P., 2011. Spatio-temporal distribution of *Ceratitis capitata* population in a heterogeneous landscape in Central Italy. *Journal of Applied Entomology*, 135, 241-251.
- Sciarretta A., Trematerra P., 2014. Geostatistical tools for the study of insect spatial distribution: practical implications in the integrated management of orchard and vineyard pests. *Plant Protection Science*, 50 (in corso di stampa).
- Sciarretta A., Trematerra P., Baumgärtner J., 2001. Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist*, 47, 174–184.
- Sciarretta A., Burgio G., Petacchi R., 2003. Spatial aspects in entomological experiments on landscape management. *IOBC Bulletin*, 26 (4), 139-144.
- Sciarretta A., Zinni A., Mazzocchetti A., Trematerra P., 2006. Indagini sulla distribuzione spazio-temporale di *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) in agro-ecosistemi complessi. *Atti Giornate Fitopatol.*, I, 99-104
- Sciarretta A., Zinni A., Mazzocchetti A., Trematerra P., 2008. Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Denis and Schiffermüller) male population in a Mediterranean agricultural landscape in central Italy. *Environmental Entomology*, 37 (2), 382-390.
- Sciarretta A., Zinni A., Trematerra P., 2011. Development of site-specific IPM against European grapevine moth *Lobesia botrana* (D. & S.) in vineyards. *Crop Protection*, 30, 1469-1477.
- Tobin P.C., Sharov A.A., Liebhold A.A., Leonard D.S., Roberts A.E., Learn M.R., 2004. Management of the Gypsy Moth through a decision algorithm under the STS project. *American Entomologist*, 50, 200-209.
- Van Helden M., 2010. Spatial and temporal dynamics of Arthropods in arable fields. In: Oerke E.-C., Gerhards R., Menz G., Sikora R.A. (eds), Precision crop protection – the challenge and use of heterogeneity, Springer, New York, 51-64.
- Wen C., Guyer D.E., Li W., 2009. Local feature-based identification and classification for orchard insects. *Biosystems Engineering*, 104, 299-307.