

# APPLICAZIONI GEOSTATISTICHE E TECNOLOGIE GIS PER L'ANALISI DELLE FLUTTUAZIONI SPAZIALI DI *LYMANTRIA DISPAR* L. (LEPIDOPTERA LYMANTRIIDAE)

Cocco A.<sup>1</sup>, Cossu Q. A.<sup>2</sup>, Erre P.<sup>3</sup>, Luciano P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Protezione delle Piante, Università di Sassari; [acocco@uniss.it](mailto:acocco@uniss.it)

<sup>2</sup> S.A.R. – Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna, Sassari; [cossu@sar.sardegna.it](mailto:cossu@sar.sardegna.it)

<sup>3</sup> Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei, Università di Sassari; [errep@uniss.it](mailto:errep@uniss.it)

## Abstract

La tutela degli ecosistemi forestali ha assunto nel corso degli anni sempre maggiore rilievo grazie alla progressiva presa di coscienza della loro importanza economica, paesaggistica ed ambientale. *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera Lymantriidae) è uno dei principali insetti defogliatori delle formazioni boschive a quercia nel bacino del Mediterraneo per l'ampiezza delle infestazioni e la frequenza dagli attacchi. Il monitoraggio degli ambienti forestali ha ricevuto un notevole impulso grazie allo sviluppo e alla diffusione dei Geographic Information Systems (GIS) che rendono possibile la gestione e l'analisi di elevate quantità di dati sulla variazione spazio-temporale dell'abbondanza di popolazione. Nel presente lavoro è stata indagata, con l'impiego della geostatistica e di tecnologie GIS, la relazione tra i fattori climatici e geomorfologici e la distribuzione spaziale e la frequenza temporale delle infestazioni dell'insetto nelle principali aree a quercia della Sardegna.

## Introduzione

Le formazioni forestali a quercia rappresentano le principali formazioni boschive mediterranee e rivestono un ruolo di indiscussa importanza economica ed ambientale negli ecosistemi forestali. Negli ultimi anni si è manifestato un graduale peggioramento del loro stato fitosanitario, dovuto al concorso di numerose cause. Il Lepidottero defogliatore *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera Lymantriidae) rappresenta uno dei principali fattori biotici responsabili del deperimento delle querce nell'ambiente mediterraneo. Per monitorare la diffusione delle infestazioni dell'insetto in Sardegna, è stata realizzata nel 1980 una rete permanente composta da 282 stazioni, localizzate nelle principali aree a quercia. I dati sulle variazioni spaziali dell'abbondanza di popolazione di *L. dispar* sono stati integrati con le caratteristiche climatiche e geomorfologiche dei siti di monitoraggio impiegando tecnologie GIS, con l'obiettivo di individuare eventuali relazioni tra le variabili in grado di aiutare nella comprensione di certe distribuzioni spaziali osservate nel corso degli anni (Liebhold *et al.*, 1991 e 1993). L'adattabilità dell'insetto alle specifiche condizioni climatiche di diversi comprensori a quercia è stata analizzata impiegando il software FloraMap (Jones e Gladkov, 2001).

## Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto su 4 aree-test distribuite nel territorio regionale. Tali aree sono caratterizzate da una differente frequenza di infestazione di *L. dispar*, da una certa omogeneità delle caratteristiche geomorfologiche e dalla prevalenza della sughera come essenza forestale. L'analisi spaziale è stata condotta anche sull'intero dataset, riferendola all'intero territorio regionale. Le spazializzazioni sono state svolte utilizzando il software

GS+ 7 e il modulo Geostatistical Analyst del software ArcGis 9. Le analisi sono state effettuate sulla base dei dati di abbondanza della popolazione di *L. dispar* rilevata nelle stazioni di monitoraggio delle aree campione dal 1984 al 2003. L'interpolazione spaziale è stata effettuata applicando i metodi IDW, Kriging e Cokriging. Per quest'ultima tecnica sono state analizzate come covariabili la *quota*, la *pendenza* e la *frequenza delle infestazioni*. Le prime due sono state selezionate perché, sulla base dei risultati della statistica descrittiva effettuata, sono apparse quelle maggiormente legate alle infestazioni, mentre la *frequenza delle infestazioni* è stata scelta per valutare la relazione spaziale dei dati anche in rapporto alla frequenza degli attacchi nel singolo sito durante l'intero periodo di studio. La scelta del modello di semivariogramma da adottare per le spazializzazioni con il metodo Kriging è stata effettuata sulla base dei coefficienti di determinazione ottenuti. Ogni spazializzazione è stata sottoposta a validazione statistica. Per ogni metodo utilizzato è stato calcolato e confrontato l'errore quadratico medio (RMSE, *root mean square error*) per determinare quale procedimento commettesse l'errore minore e fosse quindi maggiormente affidabile.

Il software FloraMap è stato utilizzato per mappare la distribuzione probabilistica dell'insetto sulla base delle principali variabili climatiche (precipitazioni e temperature) rilevate nelle stazioni di monitoraggio in cui sono state osservate delle infestazioni (Morales e Jones, 2004). Il modello previsionale implementato con FloraMap, basato sulla PCA (analisi delle componenti principali), è stato applicato alla distribuzione di *L. dispar* nel territorio regionale, classificando i siti di rilevamento dell'insetto sulla base della frequenza degli attacchi (saltuari, periodici, frequenti).

## Risultati

I risultati delle spazializzazioni effettuate su scala locale (nelle 4 aree-test) e regionale (con l'intero dataset) hanno evidenziato le problematiche connesse all'applicazione delle metodologie geostatistiche ai fenomeni biologici.

Infatti, la fluttuazione nello spazio di un insetto è, per sua natura, scorrelata alla distanza spaziale tra i diversi siti campionati, andando di fatto contro il principio delle variabili regionalizzate, indispensabile per l'applicazione delle tecniche geostatistiche.

Il fitofago studiato è inoltre caratterizzato da ampie fluttuazioni spaziali della densità di popolazione che si traducono in una grande variabilità dei dati da sottoporre all'analisi statistica. L'elevata variabilità locale della grandezza studiata (densità di popolazione di *L. dispar*) ha una notevole influenza sulla significatività statistica del metodo di interpolazione, in particolare su superfici limitate. I modelli di semivariogramma elaborati dai dati delle 4 aree-test hanno mostrato valori di  $r^2$  molto variabili negli anni. L'analisi dei coefficienti di determinazione delle interpolazioni spaziali nei vari anni non ha inoltre mostrato la prevalenza di un metodo di interpolazione nelle differenti condizioni di infestazione. Neppure il confronto dei valori di RMSE delle spazializzazioni ha messo in evidenza un modello di rappresentazione spaziale che potesse interpretare meglio il fenomeno nelle diverse condizioni. Su scala regionale, invece, i semivariogrammi ottenuti nello studio della distribuzione spaziale sono sempre stati statisticamente significativi, con alti valori di  $r^2$ , in particolar modo quelli basati sul Cokriging calcolato con la *frequenza delle infestazioni*. Anche le interpolazioni finali relative all'intero dataset sono state quasi sempre significative. I metodi Kriging e Cokriging con variabile secondaria *frequenza delle infestazioni* hanno mostrato i maggiori valori del coefficiente di determinazione; quest'ultimo ha evidenziato inoltre nella quasi totalità degli anni di studio un minore RMSE. In generale, negli anni in cui si sono verificate infestazioni maggiormente estese le spazializzazioni sono state più significative. Le mappe create dalle analisi geostatistiche riferite all'intero territorio regionale rappresentano in modo chiaro la distribuzione dell'insetto nelle principali aree forestali ed evidenziano i focolai da cui si diffondono le infestazioni. Le spazializzazioni sono però valide solo nelle zone boschive a quercia dove sono localizzate le stazioni di monitoraggio; questo rappresenta un limite nell'applicazione pratica di questo metodo statistico allo studio della distribuzione dell'insetto, soprattutto a causa del notevole frazionamento delle aree a quercia in Sardegna.

Il software FloraMap ha elaborato 3 mappe di distribuzione di *L. dispar*, tenendo conto di una soglia di probabilità di presenza dell'insetto pari al 20%, per le diverse classi di frequenza delle infestazioni (saltuarie, periodiche, frequenti). In ogni elaborazione il 94% delle stazioni di monitoraggio sono comprese nelle rispettive mappe previsionali. Se viene considerata la posizione geografica sia delle stazioni colpite dalle infestazioni (172) che di quelle dove non si sono mai manifestati attacchi (110), emerge che il 95% ricadono nelle superfici

di probabilità. La sovrapposizione delle superfici di presenza potenziale dell'insetto con la mappa delle aree a quercia della regione (ricavata dalla Carta CORINE) ha evidenziato una buona sovrapposizione, tranne che in un'ampia area a leccio della Sardegna sud-orientale e nelle zone più elevate del complesso montuoso del Gennargentu, dove, però, prevale la roverella.

## Conclusioni

Il presente lavoro conferma gli enormi problemi che si riscontrano nell'analisi della distribuzione spaziale delle popolazioni di artropodi.

Tuttavia, le tecniche geostatistiche applicate alla distribuzione di *L. dispar* nelle formazioni a quercia della Sardegna sono state attendibili quando estese all'intera regione. Su ampia scala, grazie all'uso di un elevato numero di punti distribuiti nel territorio, sono stati limitati i problemi legati all'elevata variabilità locale della densità di popolazione dell'insetto. In questo modo l'affidabilità delle spazializzazioni è stata migliorata e sono stati raggiunti i migliori risultati. Le analisi geostatistiche realizzate con l'intero dataset hanno evidenziato la maggiore affidabilità del metodo Cokriging nella stima dell'abbondanza di popolazione nelle aree non campionate e un minor errore nella spazializzazione dei dati. Le restituzioni grafiche delle spazializzazioni riferite all'intera Sardegna descrivono in modo rappresentativo la distribuzione dell'insetto nei diversi comprensori forestali a quercia e forniscono numerosi strumenti per lo studio dell'evoluzione spazio-temporale delle infestazioni. Permettono, infatti, di individuare i focolai da cui prendono origine le pullulazioni e di apprezzare i diversi livelli di infestazione dell'insetto nelle foreste della Sardegna. L'osservazione di mappe di più anni successivi consente di associare l'aspetto temporale del fenomeno a quello spaziale.

Le mappe di distribuzione potenziale di *L. dispar* nelle formazioni boschive della Sardegna, elaborate da FloraMap, mostrano ampie aree a quercia caratterizzate da condizioni climatiche favorevoli allo sviluppo e alla successiva infestazione dell'insetto. Il 95% delle stazioni di monitoraggio sono comprese in queste superfici di probabilità. Nonostante questo in numerosi siti (39%) non sono mai state rilevate densità dannose, questo sembra evidenziare l'intervento di fattori non climatici a limitare la diffusione del fitofago. I risultati ottenuti con il modello climatico sono comunque di carattere preliminare e meritano ulteriori approfondimenti.

## Bibliografia

- Jones P.G., Gladkov A., 2001. FloraMap Version 1.01. A computer tool for predicting the distribution of plants and other organisms in the wild. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Liebhold A.M., Zhang X., Hohn M.E., Elkinton J.S., Ticehurst M., Benzon G.L., Campbell R.W., 1991. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. *Environ. Entomol.*, 20(5): 1407-1417.
- Liebhold A.M., Rossi R.E., Kemp W.P., 1993. Geostatistics and Geographic Information Systems in applied insect ecology. *Ann. Rev. Entomol.*, 38: 303-327.
- Morales F.J., Jones P.G., 2004. The ecology and epidemiology of whitefly-transmitted viruses in Latin America. *Virus Res.*, 100: 57-65.