

Reti di monitoraggio e gestione territoriale con applicazione di sistemi GPS e GIS per il controllo di un fitofago defogliatore

Francesco Manti(*), Carmelo Bonsignore(**), Vincenzo Vacante(**)

(*) Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Forestali ed Ambientali (DISTAFA) Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria e-mail: francesco.manti@unirc.it

(**) Dipartimento di Progettazione per la Città, il Paesaggio ed il Territorio - OASI
Laboratorio di Entomologia ed Ecologia applicata

Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria e-mail: cbonsignore@unirc.it, vvacante@unirc.it

Riassunto

L'applicazione di sistemi GIS finalizzati allo studio delle dinamiche di popolazione di insetti dannosi, sono già noti in letteratura. Essi rappresentano un ausilio fondamentale nel caso dei popolamenti di insetti dannosi alle essenze forestali vista l'importanza di gestire informazioni spazializzate in ambienti di notevole estensione, caratterizzati da un'esposizione al rischio d'attacco fortemente eterogeneo. Scopo del lavoro è stato quello di mettere a punto un sistema di raccolta, elaborazione e gestione dei dati di infestazione georeferenziati gestito da una piattaforma GIS, studiare la dinamica di popolazione del fitofago e, mediante l'applicazione di tecniche di analisi spaziale, elaborare mappe di rischio fito-sanitario e igienico-sanitario che consentono la valutazione a livello comprensoriale dell'impatto del parassita. L'applicazione di modelli matematici e statistici finalizzati all'elaborazione di scenari futuri di infestazione, il cui output è gestito dal GIS, sono il presupposto per la creazione di Sistemi di Supporto Decisionale (DSS). Questi ultimi possono fornire strategie utili per la gestione razionale e il controllo del fitofago.

Abstract

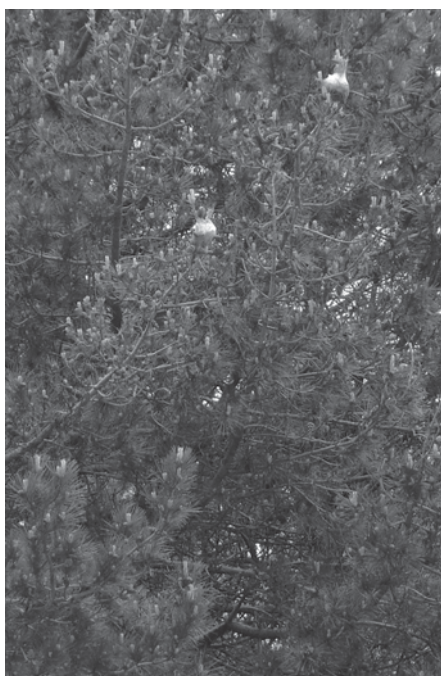
The application of the GIS systems for the study of the harmful insects population dynamics is well known in the scientific publications. The GIS systems result particularly useful in case of insect population harmful to the forest beings since we have to manage information spatialized in very wide forest areas characterized by an exposition to risk attacks by strongly heterogeneous insect population. The present work has aimed at organizing a system of collection, elaboration and management of georeferenced infestation data, managed by a GIS platform. In order to study the phytophagous population dynamics; at elaborating maps of phyto-sanitary and hygienic –sanitary risks, by the application of spatial analysis techniques, in order to provide an evaluation of the insect impact at a district level. The application of statistics and mathematics models aiming at elaborating future infestation scenarios, whose output is managed by the GIS, is the base for the creation of Decisional Support Systems (DSS) able to provide strategies for a rational management and the control of the phytophagous.

Introduzione

Il monitoraggio degli ambienti forestali ha ricevuto un notevole impulso grazie allo sviluppo e alla diffusione dei *Geographical Information Systems* (GIS) che rendono possibile la gestione e l'analisi di elevate quantità di dati sulla variazione spazio-temporale dell'abbondanza di popolazione, assumendo un ruolo sempre più importante come strumenti a supporto della gestione delle popolazioni di insetti nocivi all'economia e alla salute umana (LIEBHOLD *et al.*, 1993). L'utilizzo dei GIS rappresenta un fondamentale ausilio specialmente nel caso di popolamenti di insetti dannosi alle essenze forestali, vista anche l'importanza della gestione delle informazioni spazializzate in ambienti di notevole estensione caratterizzati da un'esposizione al rischio d'attacco fortemente

eterogeneo (BARRY LYONS *et al.*, 2002). Contrariamente a quanto avviene in Italia, dove poco o nulla è stato fatto in tal senso, simili esperienze, principalmente sui Lepidotteri, sono comuni in Paesi come gli USA e il Canada (ALLEN *et al.*, 1986, BARRY LYONS *et al.*, 2002).

La Processionaria del pino (*Traumatocampa pityocampa* (Denis & Schiffermüller)) è un Lepidottero defogliatore della famiglia *Thaumetopoeidae*, tipicamente infestato a specie del genere *Pinus* e, in misura minore, ad altre Conifere. Le sue pullulazioni costituiscono un serio problema non solo per la pineta (Figura 1) e per l'economia forestale, ma anche per i fruitori di questo particolare ambiente o per chi contrae rapporto con singole piante infestate dell'arredo urbano, a causa delle setole urticanti che alcuni stadi giovanili dell'insetto liberano nell'ambiente in alcuni momenti dell'anno e in alcuni età larvali (Werno and Lamy 1994), provocando patologie allergiche a carico dell'uomo e di vari animali.



(a)



(b)

Foto 4. a e b. - Alberi con evidente defogliazione dovuto all'azione trofica delle larve di *T. pityocampa*.
Le piante più colpite sono di solito quelle situate esternamente al bosco, quelle più soleggiate o situate in radure o isolate (Badiali, 1979).

Gli aspetti della biologia del Lepidottero condizionano, in relazione alle variabili ambientali, la dinamica delle sue popolazioni e in particolare la distribuzione nel tempo degli eventi fenologici che lo caratterizzano. La facilità con cui il fitofago aggredisce la pineta dipende principalmente dall'essenza biotica e dalle situazioni di stress ambientale che insistono su numerose aree forestali, dal suo potenziale biotico, e, più in generale, dall'assenza di corrette tecniche di gestione selvicolturale.

La presente ricerca, realizzata a macro e micro-scala, ha avuto lo scopo di migliorare la conoscenza della distribuzione reale e potenziale di *T. pityocampa* nel territorio del Parco in relazione alle caratteristiche dei soprassuoli più soggetti alla sua azione, nonché di contribuire allo sviluppo, attraverso l'utilizzo di tecniche e di modelli di interpolazione spaziale in un Sistema Informativo

Territoriale, di mappe di distribuzione spaziale dell'insetto in grado di tenere conto sia delle sue peculiarità ecologiche, sia di quelle selvicolturali.

Disegno sperimentale

Sono state predisposte due tipologie di raccolta dei dati, rispettivamente su scala ridotta (di tipo intensivo) e su larga scala (di tipo estensivo). I due modelli di indagine sono stati differenziati dall'intensità dello sforzo di campionamento, ossia dal numero di unità di campionamento per area di studio, poche nel caso dell'analisi su piccola scala, molte per l'analisi su larga scala. Inoltre, i due modelli sono stati contraddistinti da differenti modalità di distribuzione spaziale delle unità di campionamento, rispettivamente di tipo reticolare in area uniforme e ad organizzazione gerarchica.

Nel campionamento reticolare le unità campionarie sono state disposte secondo con uno schema in quadro regolare che rendeva possibile una più omogenea variazione a scale spaziali ridotte (con una risoluzione di circa 1 ha) della dinamica spazio-temporale delle popolazioni del Lepidottero minimizzando gli errori di campionamento (OLEA, 1984).

Nel campionamento gerarchico sono state invece considerate vaste superfici forestali, non necessariamente continue, tenendo conto delle modalità con cui l'organizzazione gerarchica della distribuzione spaziale della risorsa poteva influenzare la dinamica di popolazione del defogliatore.

Per il monitoraggio dei voli dei maschi adulti del Lepidottero è stato individuato un comprensorio continuo (fig. 1) con superficie boscata omogenea a pino (*Pinus laricio* Poiret = *Pinus nigra* Poiret ssp. *calabrica* Delam.). Al suo interno sono state scelte le aree di campionamento alla base del monitoraggio e collocati il sistema reticolare e quello gerarchico.

Campionamento su piccola scala: per la definizione del sistema reticolare è stato preso in considerazione un reticolo della superficie complessiva di circa 24 ettari, costituito da 4 segmenti equidistanti della lunghezza unitaria di 800 m, orientati verso Nord, i cui estremi, giacenti su rette tra loro parallele, intersecavano perpendicolarmente 9 segmenti equidistanti, della lunghezza unitaria di 300 m orientati verso Est, i cui estremi erano giacenti su rette tra loro parallele. Il risultato era un reticolo rettangolare a maglia quadrata di circa 100 m x 100 m nel quale ad ogni intersezione, è stata collocata su un albero (fig. 2), ad una altezza di circa 3.50 m, una trappola a feromone a imbuto (Super Green). Queste sono state indicate con un numero progressivo da Est a Ovest e da Sud a Nord. Complessivamente sono state installate 36 trappole.

Campionamento su larga scala: è stato organizzato un sistema gerarchico a 3 livelli costituito da bosco, sito entro bosco e nodo entro sito. L'unità campionaria, cioè la minima unità spaziale su cui è stato rilevato lo stato delle variabili campionarie, era grande circa 1 ha. Il numero delle unità campionarie monitorate è stato pari a 69 siti distribuiti su 32 pinete. Lo sforzo di campionamento è stato dosato in riferimento all'estensione dei boschi ed era uguale ad un minimo di 1 sito per un'estensione del bosco compresa tra 1 e 10 ha e di 10 siti per una estensione del bosco compresa tra 80 e 200 ha. In particolare, in ciascuno dei 32 boschi scelti per il campionamento sono stati individuati 69 siti di 1 ha ciascuno, all'interno dei quali sono state selezionate 3 piante posizionate ai vertici di un triangolo equilatero e distanti tra loro di 100 m circa. Ogni pianta ospitante una trappola a feromone ha costituito un nodo di campionamento. In totale sono state installate 207 trappole.

La posizione delle trappole è stata rilevata con una strumentazione GPS (Trimble Geo XH) e i dati di posizione sono stati immagazzinati all'interno di un database.

Analisi dei dati

La dinamica dei voli della Processionaria del pino, è stata analizzata indagando sull'andamento temporale della curva di volo desunta dalla media delle catture nell'unità di tempo. Il numero delle catture degli adulti è stato definito come la quantità numerica dei maschi di *T. pityocampa* catturati nell'unità di tempo in ogni singola trappola/Nodo. Il periodo di volo è stato indicato dal numero di

giorni compreso tra la prima e l'ultima cattura di maschio adulto di *T. pityocampa* registrata durante il periodo di monitoraggio.

I dati sono stati rilevati settimanalmente; l'analisi di interpolazione spaziale è stata condotta nelle due dimensioni spazio-tempo utilizzando le medie riferite a ciascun mese.

Allo scopo di rappresentare e gestire le informazioni spaziali mediante un GIS, si è posta la necessità di utilizzare una rappresentazione dei dati non slegata dalla realtà fisica, con la conseguenza che è stato molto più utile tracciare, in maniera oggettiva, l'uso delle carte derivate, che rappresentano la probabilità che il limite del componente studiato venga superato. La possibilità di ottenere questo tipo di informazione riveste una particolare importanza in situazioni decisionali.

In tale contesto le tecniche di analisi spaziale, importante strumento per la conoscenza della dinamica spazio-temporale degli insetti dannosi (LIEBHOLD *et al.* 1993; BRENNER, 1998) Ciò ha suggerito di predisporre uno studio sulla dinamica spazio-temporale di *T. pityocampa* al fine di approfondire le conoscenze sulla sua bio-ecologia e di contribuire a migliorare, in accordo con quanto riportato da SHAROV & LIEBHOLD (1998) per altri insetti, il controllo delle sue pullulazioni. Non disponendo di precise informazioni sull'argomento sono state prese in considerazione 3 diverse tecniche di interpolazione spaziale (*Spline*, *IDW* e *Kriging*) verificandone la validità per rappresentare, attraverso mappe di superficie, la dinamica di popolazione dell'insetto anche al fine di una comparazione per ottenere una migliore predizione del dato non campionato. Le 3 tecniche, sperimentate per la sola tipologia di campionamento su piccola scala, hanno poi permesso l'applicazione del migliore interpolatore allo studio su larga scala.

Le informazioni relative alla distribuzione spaziale degli adulti di *T. pityocampa* sono state analizzate con metodi di interpolazione spaziale utilizzando il software *ESRI*[®] *ArcGIS* - *ArcMap*TM 9.2 e l'estensione *Geostatistical Analyst*.

Risultati

Campionamento su piccola scala (di tipo intensivo): Per valutare la distribuzione spaziale di *T. pityocampa* sono state analizzate le informazioni con la componente geografica utilizzando i metodi di analisi spaziale. L'importanza di questo tipo di indagini risiede nella capacità di fornire un quadro dettagliato, anche sotto il profilo grafico e a risoluzione piuttosto fine, della variabilità spaziale nella dinamica dei voli degli adulti, allo scopo di avanzare ipotesi sulle proprietà di scala di tale variabilità e di interpretarne anche l'origine (BONSIGNORE *et al.*, 2007).

Gli adulti di *T. pityocampa* hanno presentato all'interno del campo una distribuzione dinamica nel tempo (fig. 3). Sebbene l'infestazione abbia interessato l'intera parcella monitorata, la presenza degli adulti è risultata maggiore nell'area esposta a Nord-Est e, in piccola misura, nell'area a Sud-Ovest, complessivamente quantificabile con tutti i metodi di interpolazione utilizzati. I primi adulti sono stati osservati già dal mese di Giugno, con un incremento della densità di individui nei mesi di Luglio e Agosto. La comparsa degli adulti è stata graduale e la loro distribuzione si è sviluppata maggiormente nel mese di Luglio (fig. 4), come mostrano chiaramente le interpolazioni realizzate. Il modesto numero dei campioni esaminati (36 trappole) potrebbe limitare la valenza dell'analisi. Tuttavia, l'utilizzo dei dati raggruppati, nel nostro caso mensilmente, fornisce generalmente, in accordo con CRESSIE (1993) e ETTEMA *et al.* (2000), inferenze più precise sulla distribuzione spaziale. Relativamente ai tipi di analisi, le medie degli errori nella stima risultano sensibilmente basse sia per il metodo *IDW* sia per il metodo *Kriging*, sono molto simili al "root mean square standardized", parametro stimato nel metodo *Kriging*, i cui valori sono risultati vicini a 1 nei diversi mesi di indagine, evidenziando che entrambe le interpolazioni forniscono stime dei punti non campionati discretamente precise (tab. 1).

Pur non rilasciando la *cross-validation* il metodo *Spline* si presta anch'esso ad una buona interpretazione visiva. Infatti, le mappe interpolate con questo modello presentano forti similarità con le rappresentazioni grafiche sviluppate con il metodo *Kriging*.

In nessun caso comunque l'*IDW* è meno preciso del *Kriging* quando quest'ultimo non è in grado di rilasciare un variogramma a causa di un numero insufficiente di punti di campionamento oppure per

una eccessiva distanza tra i punti di campionamento (KRAVCHENKO, 2003; BONSIGNORE *et al.*, 2007;).

Per quanto riguarda gli aspetti di scala della variabilità spaziale è stato riscontrato che anche su scala ridotta si manifestano elevate differenze dell'abbondanza delle catture. Distanze di 100-200 m (nella proiezione sul piano orizzontale) possono dare luogo a variazioni di abbondanza anche di un fattore 10. Ciò non sembra essere dovuto soltanto a fluttuazioni casuali a carico delle catture delle trappole perché il quadro che emerge è coerente; nel grafico tridimensionale si evidenziano infatti due aree ad elevata abbondanza che si differenziano dalle aree circostanti ad abbondanza ridotta. Le zone ad elevata abbondanza sono separate da quelle a ridotta abbondanza da gradienti. Questo fa quindi pensare che la dinamica locale dei voli si realizzi su una scala spaziale di decine o al massimo poche centinaia di metri. In altri termini, una distribuzione eterogenea dell'abbondanza caratterizzata però da precisi modelli (picchi locali circondati da aree a bassa abbondanza) è congrua con un modello di diffusione degli adulti che prevede limitati movimenti rispetto al luogo di incrisalidamento delle larve in processione e quindi del successivo sfarfallamento.

Campionamento su larga scala (di tipo estensivo): L'andamento della media delle catture nell'intera area di studio negli anni 2003, 2004 e 2005 evidenzia alcune differenze che permettono di approfondire l'analisi sulla variabile osservata. In quasi tutti i boschi in cui è stata condotta il confronto tra le medie di cattura appare evidente per gli anni investigati un valore particolarmente basso delle catture, soprattutto nei primi due anni; tuttavia, è possibile apprezzare una dinamica dei voli notevolmente diversa che caratterizza la specie nell'area presa in esame.

Le osservazioni condotte hanno fornito importanti informazioni sugli aspetti spaziali della dinamica locale. Il campionamento dell'abbondanza degli adulti, condotto settimanalmente secondo un disegno sistematico, ha consentito di ricostruire, tramite l'interpolazione dei dati rilevati con il metodo *kriging*, la diffusione degli adulti del Lepidottero nelle dimensioni dello spazio e del tempo. Al fine di rilevare la reale pericolosità del defogliatore sono state realizzate carte di spazializzazione delle aree sensibili all'infestazione (fig. 5), nelle quali viene espressa la probabile distribuzione attuale dell'insetto, intesa come percentuale di boschi attaccati rispetto al totale dei boschi presenti nel territorio. Tali carte, oltre a stimare per ogni parcella forestale il rischio di espansione dell'infestazione, sono in grado di fornire importanti informazioni circa l'evoluzione del Lepidottero, in particolare in riferimento a modificazioni delle sue caratteristiche bio-ecologiche (variazioni altitudinali e/o latitudinali dell'areale di diffusione, ecc). I risultati della ricerca hanno evidenziato che gli adulti di *T. pityocampa* si distribuiscono in maniera progressiva e preferiscono aree di permanenza ben definite nell'ambito dell'area investigata.

Conclusioni

Le spazializzazioni ottenute con l'utilizzo delle tecniche di interpolazione spaziale si sono rivelate interessanti. I metodi deterministici (*IDW*, *Spline*) utilizzati per la stima nei punti non campionati hanno evidenziato la loro adattabilità nelle stime di previsione e hanno fornito nel complesso risultati analoghi a quelli del metodo *Kriging*. Tutti i modelli utilizzati sono stati utili nel fornire informazioni sulla distribuzione spaziale della specie, comunemente contraddistinta da elevate densità di attacco e responsabile di rilevanti danni per le pinete della Calabria. La dinamica delle catture degli adulti è stata caratterizzata da livelli di abbondanza non elevati in rapporto a quanto osservato nello stesso periodo in altre zone del Parco non ricadenti nell'area studiata nel presente lavoro (MANTI, 2006). A fronte delle limitate catture è stato comunque possibile mettere in evidenza l'andamento tipico della dinamica dei voli della specie.

Quanto emerso denota che i problemi connessi alle pullulazioni del Lepidottero devono trovare soluzione all'interno di strategie di management che intervengano a livello comprensoriale e in grado di considerare l'eterogeneità distributiva dei patch, la loro qualità e importanza, il grado di infestazione e l'impatto che questa esercita localmente e globalmente sull'economia e sulla salute

umana. A tale scopo è stato sviluppato un approccio multidisciplinare, di cui si riportano gli elementi qualificanti, fundamentalmente finalizzato:

(i) a rappresentare in modo grafico la dinamica del Lepidottero a partire da dati di un campionamento condotto su un vasto territorio per un periodo di 4 anni consecutivi, prendendo in rassegna alcuni modelli matematici di tipo geostatistico adatti alla rappresentazione spaziale dei dati, analizzandone la validità e preferendone il modello più appropriato;

(ii) a procedere all'integrazione tra conoscenze e simulazioni della dinamica della specie monitorata e lo stato della risorsa vegetale su cui questa esplica la sua attività trofica, al fine di disporre di mappe di rischio di infestazione, presupposto, quest'ultimo, per l'elaborazione di strumenti a supporto delle decisioni per il management degli interventi di controllo.

Le tecniche di analisi spaziale dei dati, interfacciate a sistemi basati su GIS, introducono nuove prospettive per la gestione del monitoraggio degli insetti, nonché per la progettazione di sistemi di management delle loro popolazioni. Lo sviluppo di modelli matematici e statistici finalizzati alla valutazione comparativa di strategie di intervento e alla elaborazione di futuri scenari di infestazione sono il presupposto per la creazione di Sistemi di Supporto Decisionale (DSS).

La possibilità di elaborare una "carta fitosanitaria" può consentire l'individuazione delle tendenze e delle trasformazioni da favorire attraverso un'attenta programmazione degli interventi selvicolturali e di controllo, nonché fornire, ai tecnici degli enti territoriali e ai proprietari dei boschi, le conoscenze necessarie per prevenire il degrado delle formazioni forestali.

Le mappe di rischio possono costituire, pertanto, un valido supporto per la razionalizzazione degli interventi di controllo ai fini del miglioramento della gestione multifunzionale del bosco.

Bibliografia essenziale

Bonsignore C.P., Manti F., Vacante V., 2008. *Field and tree distribution of Capnodis Tenebrionis (Linnaeus, 1767) (Col., Buprestidae) adults in an apricot orchard in Italy*. J. Appl. Entomol. 132: 216-224

Cressie N. A. C., 1993. *Statistics for spatial data, revised edition*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Ettema CS, Rathbun S, Coleman DC, 2000. On Spatiotemporal patchiness and coexistence of five species of *Chronogaster* (Nematoda: Chronogasteridae) in a riparian wetland. *Oecologia (Berl)*, 125, 444-452.

Kravchenko A.M., 2003. *Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods*. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1564-1571.

Liebholt M.A., Rossi R.E., Kemp W.P., 1993. "Geostatistic and geographic information systems in applied ecology", *Annu. Rev. Entomol.*, 38: 303-327

Manti F., 2006. *Analisi e strategie di gestione della dinamica di metapopolazione della Processionaria del pino nel Parco Nazionale d'Aspromonte*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria, Italia

Olea R.A., 1984. *Sampling Design Optimization for Spatial Functions*, *Mathematical Geology*, Vol. 16: (4) 369-381.

Werno J., Lamy M., 1994. *Daily cycles for emission of urticating hairs from the pine processionary caterpillar (Thaumetopoea pityocampa S.) and the brown tail moth (Euproctis chrysorrhoea (L) (Lepidoptera) in laboratory conditions*. *Aerobiologia* 10: 147- 151