

**UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA
DIPARTIMENTO DI PIANIFICAZIONE**

MASTER UNIVERSITARIO DI SECONDO LIVELLO IN
"SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI & TELERILEVAMENTO"

FORMATO A DISTANZA A.A. 2005/06

Metodi di interpolazione spaziale e GIS applicati allo studio
della dinamica di popolazione della processionaria del pino
(*Traumatocampa pityocampa* Den. & Schiff.)
nel Parco Nazionale d'Aspromonte.

Francesco Manti

RELATORE INTERNO: Prof. Leonardo Filesi

RELATORE ESTERNO: Dr. Carmelo Peter Bonsignore

UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA

DIPARTIMENTO DI PIANIFICAZIONE

Master Universitario di Secondo Livello In "Sistemi Informativi Territoriali & Telerilevamento"
Formato a Distanza

- Francesco Manti -

Metodi di interpolazione spaziale e GIS applicati allo studio della dinamica di popolazione della processionaria del pino (*Traumatocampa pityocampa* Den. & Schiff.) nel Parco Nazionale d'Aspromonte.

Introduzione	6
1. Ecologia e dinamica di popolazione	
1.1. Premessa	10
1.2. Aspetti della dinamica di popolazione.....	11
1.3. Fattori influenzanti la dinamica di popolazione.....	14
1.4. Struttura spaziale della popolazione.....	16
1.5. Definizione di Patch	18
2. La raccolta e l'utilizzo dei dati di popolazione	
2.1. La dinamica di popolazione di specie singole	20
2.2. Definizioni di abbondanza di popolazione	21
2.3. Il campionamento	22
2.4. L'utilizzo dei dati di popolazione e la geostatistica	23
3. La processionaria del pino	
3.1. Posizione sistematica e distribuzione geografica	28
3.2. Morfologia	31
3.3. Ciclo biologico ed ecologia della specie	35
3.4. Danni, antagonisti e controllo.....	45
3.5. Aspetti della dinamica di popolazione.....	55

4. Area di studio: Il Parco Nazionale d'Aspromonte

- 4.1. Stato delle conoscenze sulla vegetazione 61
- 4.2. Patrimonio forestale e caratterizzazione della gestione forestale a *Pinus* 62

5. Individuazione delle forme e delle strutture ambientali

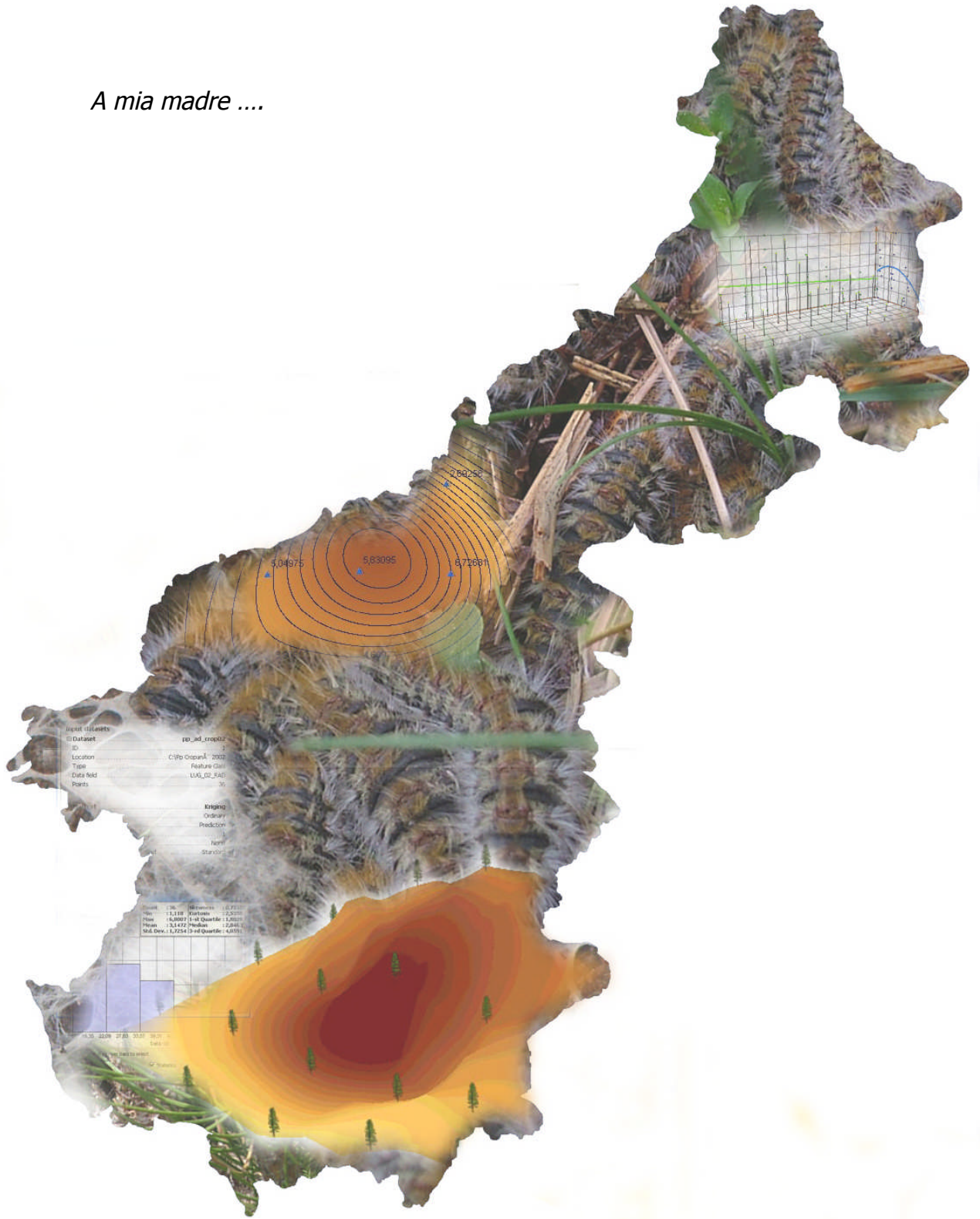
- 5.1. La rappresentazione del territorio 72
- 5.2. Rilievo fitosociologico e classificazione 74
- 5.3. Tipologie dei boschi presi in esame 81
 - 5.3.1. Boschi di pini montani e oro-mediterranei 81
 - 5.3.2. Rimboschimenti di conifere 82
- 5.4. Delimitazione comprensorio (insieme di Patch)..... 83
 - 5.4.1. Sopralluoghi per l'individuazione delle aree di intervento..... 83
 - 5.4.2. Area (singolo Patch) 87
 - 5.4.3. Grado di infestazione da parte di *T. pityocampa* 88
 - 5.4.4. Caratteristiche generali dei Patch 89

6. Disegno sperimentale, campionamento e analisi dei dati

- 6.1. Introduzione 92
- 6.2. Tipologie di campionamento 92
 - 6.2.1. Campionamento su piccola scala (anno 2002) 92
 - 6.2.2. Campionamento su larga scala (anni 2003, 2004 e 2005) 94
- 6.3. Tecnica e strumenti per il campionamento 97
 - 6.3.1. Tecnica di campionamento..... 97
 - 6.3.2. Tipologie di trappole utilizzate 99
 - 6.3.3. Attrezzature e materiali 99
 - 6.3.4. Tecniche di acquisizione del dato (Sist. mob. integr. GPS/GIS)..... 101

6.4.	Progettazione del Sistema Informativo Territoriale.....	102
6.5.	Metodi e modelli di interpolazione spaziale	108
6.6.	Analisi dei dati.....	115
6.6.1.	Definizione delle variabili campionarie.....	115
6.6.2.	Tecniche di interpolazione utilizzate	115
7.	Risultati	
7.1.	Campionamento su piccola scala (intensivo)	127
7.2.	Campionamento su larga scala (di tipo estensivo)	135
	Conclusioni	146
	Bibliografia consultata	150

A mia madre



Introduzione

La tutela degli ecosistemi forestali ha assunto nel corso degli anni un rilievo sempre maggiore grazie alla progressiva presa di coscienza della loro importanza economica, paesaggistica ed ambientale. Nel settore agricolo-forestale la velocità di adozione dell'*Information e Communication Technology* (ICT) è inferiore rispetto ad altri settori e i grandi temi riguardano l'analisi territoriale, l'automazione, i modelli di simulazione, la gestione aziendale e la comunicazione. In Entomologia forestale, relativamente all'ICT, riveste una discreta importanza soprattutto l'impiego dei database, di Internet, del *World Wide Web* e degli strumenti di analisi geografica. In tale contesto, i dati provenienti da reti di monitoraggio distribuite sul territorio, a scala più o meno grande, rappresentano sempre più anche fonti di conoscenza nelle ricerche di base e applicate sulla difesa delle colture dai fitofagi. In entomologia la scala con la quale affrontare le problematiche è necessariamente diversa e, ad esempio, lo stesso concetto di IPM (Integrated Pest Management) contempla l'utilizzo di una diversa scala che va dai livelli: popolazione, comunità, ecosistema al livello di comprensorio. Molto spesso, gli schemi di gestione degli agro-ecosistemi sono progettati per gestire una popolazione di fitofagi in un singolo comprensorio forestale e recenti studi ecologici identificano i limiti di questo approccio suggerendo una revisione della teoria gerarchica da applicare alla ricerche ecologiche e quindi alla gestione dei sistemi ecologici incluso l'IPM. In particolare alcuni autori mettono in evidenza come molte proprietà ecologiche cambino quantitativamente con il cambiamento della scala e la dipendenza della scala di queste proprietà devono essere considerate in ecologia applicata e in IPM.

L'impiego di tecniche e di strumenti di ICT in Entomologia applicata è strettamente legato ad un approccio territoriale che si caratterizza, per lo studio dei fenomeni su grande scala, variabile in dimensione, in funzione della problematica trattata o del tipo di strategia di difesa adottata. Tale approccio territoriale inizia a partire dall'individuazione della fonte dei dati, fino al loro impiego per l'analisi, la visione e la

rappresentazione del fenomeno osservato. Esso inoltre adotta un approccio olistico, e utilizza indici generali riguardanti le interazioni ecologiche, valutandone le variazioni nel tempo e nello spazio in situazione di coltivazione ordinaria. Tale approccio territoriale si distingue, anche, per le tecniche che adotta che si basano innanzitutto sull'analisi di sistema e si caratterizza per un basso controllo dei fattori da parte dello sperimentatore. Esso infine adotta metodologie di standardizzazione delle tecniche di monitoraggio e di analisi avanzata dei dati, compresa la loro qualità.

Generalmente gli insetti hanno ruoli benefici negli ecosistemi forestali. Ricerche a livello di ecosistema hanno identificato un numero di ruoli significativi degli insetti forestali, nell'influenzare, per esempio, la struttura e la funzione dell'ecosistema forestale in quanto essi regolano certi aspetti di produzione primaria, il ciclo di importanti sostanze nutrienti, la via per lo sviluppo ordinato delle foreste attraverso la successione ecologica e la grandezza, la distribuzione e l'abbondanza di alberi ospiti.

Alcune specie di insetti diventano, però, periodicamente, così abbondanti da minacciare i valori ecologici, economici o estetici delle foreste. Questi insetti sono denominati specie epidemiche (*outbreak*) o infestanti (*pest*) (Maron *et al.*, 2001). Queste esplosioni sono legate alla modificazione degli ecosistemi forestali con presenza di essenze non spontanee oppure legate alla raccolta delle biomasse o anche da attività di antropizzazione. Possono essere altresì legate anche ai cambiamenti climatici.

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 alla economia e alla salute umana (Liebhold *et al.*, 1993). L'utilizzo dei GIS rappresenta pertanto un ausilio fondamentale specialmente nel caso di popolamenti di insetti dannosi alle essenze forestali vista l'importanza di gestire informazioni spazializzate in

ambientanti di notevole estensione caratterizzati da un'esposizione al rischio d'attacco fortemente eterogeneo (Barry Lyons *et al.*, 2002). Esperienze compiute in tal senso su principalmente su lepidotteri sono comuni in alcune Nazioni tra cui gli USA e il Canada (Allen *et al.*, 1986, Barry Lyons *et al.*, 2002), mentre molto poco risulta realizzato nel nostro Paese.

L'insetto che in Calabria rappresenta il principale fitofago defogliatore delle foreste è senz'altro la processionaria del pino (*Traumatocampa pityocampa* (Denis & Schiffermüller)). Essa è una farfalla che vive e si riproduce a spese di alcune specie appartenenti al genere *Pinus* e, in misura minore, a spese di altre conifere in generale. Le sue infestazioni costituiscono un annoso problema non solo per la pineta e per l'economia forestale in genere, 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, provocando patologie allergiche a carico dell'uomo e di vari animali.

Gli aspetti della biologia, in relazione alle variabili forzanti ambientali, condizionano la dinamica di popolazione della processionaria del pino e in particolare la distribuzione nel tempo degli eventi fenologici. La specie è biologicamente poco nota e l'approccio scientifico si è solo sporadicamente rivolto all'acquisizione di quelle nozioni necessarie alla comprensione delle strategie vitali del fitofago. La facilità con cui questo patogeno aggredisce i boschi dipende principalmente da situazioni di stress ambientale cui sono sottoposte numerose aree forestali, e, più in generale, dall'assenza di corrette tecniche di gestione selvicolturale. Conseguenza di ciò, è l'alterazione degli equilibri ecologici dell'ecosistema – bosco, che determina ripercussioni negative sui servizi che esso fornisce in termini di produzione legnosa, di protezione idrogeologica, di stabilità dei versanti, di funzione paesaggistica e turistico – ricreativa.

La presente ricerca si basa su una innovativa metodologia di studio della processionaria del pino e dei suoi stadi biologici nello spazio e nel tempo, attuata a micro ed a macro-

scala, finalizzata alla possibilità di migliorare la conoscenza della distribuzione reale e potenziale di *T. pityocampa* sul territorio del Parco e delle caratteristiche dei soprassuoli più soggetti all'azione del parassita, nonché di sviluppare, attraverso l'utilizzo di tecniche e modelli di interpolazione spaziale in un Sistema Informativo Territoriale, mappe di distribuzione spaziale dell'entoma che tengano conto sia delle peculiarità ecologiche del fitofago, sia di quelle selvicolturali dei popolamenti interessati dalla sua presenza, al fine di razionalizzare un protocollo per il controllo e il monitoraggio di questo fitofago defogliatore delle pinete.

1. Ecologia e dinamica di popolazione

1.1. Premessa

Gli insetti fitofagi sono elementi onnipresenti, molto comuni, dei boschi e delle foreste. La popolazione entomologica di una foresta naturale è completamente impegnata, seppure in maniera diversa, a collaborare in modo preminente al mantenimento dell'equilibrio dinamico del sistema boschivo. In particolare gli insetti riescono a dare una risposta adattativa al sistema forestale che muta in grandezza e forma. Essi, con l'andamento delle loro popolazioni in rapporto ai mutamenti quali-quantitativi delle piante ospiti, sottolineano l'intensità di impatto della o delle cause perturbatrici di ordine abiotico o biotico. La foresta naturale è un ecosistema dotato di una sua costituzionale complessità, con piante in attiva coevoluzione con gli insetti, capaci, quindi, di raggiungere spesso con questi esapodi dei compromessi ecologici di reciproca coesistenza. La foresta afferma, e insieme nega, il rapporto sottolineato da tempo dagli ecologi tra stabilità e complessità. Lo afferma, nel senso che se si verificano periodicamente rotture dei quasi-equilibri biologici, di solito l'eccesso di densità dell'insetto dannoso tende a regredire e a rientrare in pochi anni nell'ordine. Lo nega, perché non sembra che le cose vadano sempre così.

Quando infatti gli interessi economici legati ad una determinata stabilità floristica della foresta, orientano la predominanza verso una sola specie arborea, viene messo a disposizione di determinati insetti fitofagi un substrato alimentare molto abbondante che ne fa un'eccellente fonte di nutrimento, per cui le popolazioni tendono ad aumentare oltre il limite di tollerabilità, impedendo, così, il mantenimento del consorzio vegetale.

Le popolazioni di molte specie di insetti forestali sono state studiate in maniera estensiva; ciò è dovuto a tre ragioni essenziali:

1. gli insetti hanno molti ruoli importanti negli ecosistemi forestali;

2. gli insetti causano significativi sconvolgimenti nell'uso pianificato delle foreste;
3. gli insetti delle foreste spesso sono eccellenti soggetti sperimentali nello studio di principi e teorie ecologiche di base.

Nello studio dell'entomologia forestale si è spesso interessati a capire le cause dei cambiamenti nella distribuzione e nell'abbondanza delle popolazioni di insetti lungo l'arco temporale e spaziale: si è interessati cioè a studiare le dinamiche della popolazione.

Di fatto, gli insetti delle foreste sono interessante materiale per lo studio delle dinamiche di popolazione a causa dell'esteso panorama di informazioni valide per molte specie. L'applicazione di teorie già note, sotto complesse condizioni esistenti nelle foreste, permette l'esame dei principi teoretici di base, la modificazione di concetti e lo sviluppo di nuove teorie.

1.2. Aspetti della dinamica di popolazione

L'ecologia è lo studio scientifico della distribuzione e dell'abbondanza degli organismi e delle interazioni che determinano tale distribuzione e abbondanza. Essa è caratterizzata dall'unicità di ciò che studia: milioni di differenti specie, miliardi e miliardi di individui geneticamente distinti, che vivono e interagiscono tutti in un mondo vario e continuamente mutevole. Essa ci sfida a sviluppare una comprensione di problemi fondamentali e manifesti, cosicché si possano riconoscere l'unicità e la complessità di tutti gli aspetti della natura e si possano trovare pattern¹ e previsioni entro la complessità (Begon *et al*, 1989).

L'ecologia opera su differenti scale: scale temporali, scale spaziali e scale ecologiche. È importante rendersi conto dell'ampiezza di queste scale e delle loro interrelazioni.

¹ Nel linguaggio scientifico, il termine designa una *disposizione o un andamento regolare, ripetuto o ricorrente*, nello spazio o nel tempo, di oggetti, eventi, fenomeni, proprietà, processi, comportamenti o caratteristiche o un modello. In ecologia, in particolare, designa una serie di distinzioni ordinate e ripetute.

Il mondo vivente comprende una gerarchia biologica che comincia con le particelle sub-cellulari e continua attraverso le cellule, i tessuti e gli organi. L'ecologia, quindi, tratta i tre livelli successivi:

- Organismi individuali.
- Popolazioni [costituite da individui della stessa specie (conspecifici)].
- Comunità (costituite da un numero più o meno grande di popolazioni).

Per quel che concerne l'*organismo*, l'ecologia studia come gli individui sono influenzati dal loro ambiente e come l'ambiente viene influenzato dagli individui. A livello della *popolazione*, l'ecologia studia la presenza o l'assenza di particolari specie, la loro abbondanza o rarità, e le tendenze e le fluttuazioni del loro ammontare (numeri di individui). L'ecologia di *comunità*, quindi, studia la composizione o struttura delle comunità ecologiche (Begon *et al*, 1989).

Gli ecologi cercano generalmente di trarre conclusioni riguardo a gruppi complessivi di organismi. In questa attività soltanto assai raramente essi possono esaminare ogni individuo di un gruppo, o l'intera area di campionamento, e perciò operano su quelli che sperano siano campioni rappresentativi del gruppo o dell'intero habitat. In effetti, anche se si esamina un intero gruppo, si tende a volere trarre da esso conclusioni generali. L'ecologia, dunque, fa affidamento su stime ottenute da campioni rappresentativi.

Gli ecologi tentano di descrivere e di comprendere la distribuzione e l'abbondanza degli organismi. Lo fanno poiché desiderano combattere un organismo nocivo o conservare una specie in pericolo di estinzione; una parte importante di questo compito implica, pertanto, lo studio delle variazioni dell'ammontare delle popolazioni.

Il termine popolazione viene usato di solito per designare un gruppo di individui di una specie oggetto d'indagine. Ciò che costituisce realmente una popolazione, però, varia da specie a specie e da studio a studio. Si può studiare la popolazione di insetti afididi che abitano una foglia, un albero, un popolamento di alberi o un intero bosco. Ciò che è comune a tutti gli impieghi del termine popolazione è il fatto che essa è definita dal

numero di individui che la compongono; essa quindi aumenta e diminuisce con l'aumentare e il diminuire di quel numero (Begon *et al*, 1989).

Gli animali si spostano alla ricerca di alimento e di rifugi sicuri, muovendosi, soltanto di 1 cm, dal luogo ove è stato depositato l'uovo lungo una foglia, come è evidente nel caso del bruco, oppure fino al punto opposto sulla superficie terrestre, come possono fare alcuni uccelli migratori. Gli effetti di questi movimenti sono vari. Essi, in alcuni casi, riuniscono i membri di una popolazione in aggregati; in altri ridistribuiscono e mescolano continuamente gli individui; e in altri ancora disperdono gli individui e "diluiscono" la loro densità. Da questo movimento possono derivare tre pattern spaziali generalizzati: pattern aggregato, pattern casuale e pattern regolare (uniformemente spaziato) (Begon *et al*, 1989).

Chiaramente, il movimento e la distribuzione spaziale [quest'ultima è detta anche dispersione (dispersion)] sono intimamente correlati. Tecnicamente, il termine dispersione (dispersal) designa il modo in cui gli individui si allontanano l'uno dall'altro. Il termine migrazione designa il movimento direzionale di massa di grandi numeri di individui di una specie da un luogo all'altro. La concezione della dispersione (dispersal) e della migrazione, e delle conseguenti distribuzioni, è determinata dalla scala su cui si opera.

Tutte le fluttuazioni dell'abbondanza di una popolazione, o le differenze tra le abbondanze di popolazioni, devono poter essere spiegate in termini di nati, morti, immigranti ed emigranti. Valutando i contributi di ciascuno di questi parametri alle differenze o alle variazioni che hanno luogo, si può "focalizzare" la ricerca con maggiore precisione sugli stadi del ciclo biologico che hanno la massima importanza. In particolare, quanto maggiore è la frequenza con cui si stimano i numeri di individui, tanto più i particolari dei cicli biologici vengono svelati in modo completo, tanto maggiore è la possibilità di scoprire le fasi cruciali che determinano o regolano l'ammontare delle popolazioni (Begon *et al*, 1989).

1.3. Fattori influenzanti la dinamica di popolazione

L'areale distributivo di molte specie di insetti viene influenzato da numerosi e complessi fattori naturali (climatici, orografici, biologici, ecc.); anche le attività umane, con la distruzione e il degrado degli ambienti naturali, la loro frammentazione ed il conseguente isolamento, sono diventate un ulteriore, a volte determinante, fattore che ne influenza la distribuzione e l'abbondanza.

La frammentazione può essere definita come il processo che porta ad una progressiva riduzione della superficie degli ambienti naturali e ad un aumento del loro isolamento. Attraverso questo processo estese superfici vengono a costituire frammenti spazialmente segregati e progressivamente isolati inseriti in una "matrice" territoriale di origine antropica. Quest'ultima, a sua volta, può influenzare le condizioni ecologiche degli ambienti ora isolati.

Con il procedere della frammentazione, cominciano a diminuire e poi a scomparire le specie tipiche degli ambienti preesistenti, mentre aumentano quelle opportuniste, caratterizzate da una alta capacità dispersiva, di colonizzazione e di competizione.

Frammentazione e isolamento degli ambienti naturali e/o artificiali possono essere studiati qualitativamente con metodologie appropriate a vari livelli di scala ecologica e territoriale.

In Entomologia forestale c'è un particolare interesse rivolto alle attività associate alle popolazioni di insetti fitofagi quali elementi onnipresenti nei nostri boschi, nel tentativo di comprendere le cause dei cambiamenti nell'abbondanza e nella distribuzione degli stessi nello spazio e nel tempo.

Perciò, una parte importante di questo compito implica lo studio delle variazioni dell'ammontare delle popolazioni, intendendo per *popolazione* un gruppo di *individui* di una specie oggetto d'indagine.

Ciò che accomuna il termine *popolazione* è il fatto che essa è definita dal numero di individui che la compongono e quindi aumenta e diminuisce con l'aumentare e il diminuire di quel numero. Per capire come e perché la distribuzione e l'abbondanza di insetti cambi nello spazio e nel tempo, è necessario considerare una popolazione come un sistema di componenti che interagiscono.

Una struttura sistematica, per organizzare principi e concetti relativi alle componenti, è quella che raggruppa le componenti del sistema di popolazione nelle tipologie relative alle proprietà associate all'individuo e all'ambiente, ai processi di popolazione e agli stati o condizioni della popolazione. Questo metodo di organizzazione rappresenta un insieme degli approcci (Clark *et al.*, 1967, Berryman, 1981) per strutturare l'informazione sulle dinamiche della popolazione.

La comprensione della distribuzione e dell'abbondanza di una specie comporta pertanto la conoscenza di:

- a) la storia della specie;
- b) le risorse che richiede;
- c) i tassi di natalità, mortalità e migrazione degli individui;
- d) le loro interazioni con la propria specie e altre specie e gli effetti delle condizioni ambientali (Begon, *et al.*, 1989).

Ci sono molti diversi stati o condizioni per caratterizzare le popolazioni. Lo stato più comunemente usato è la densità o il numero degli individui di una popolazione; ma una popolazione può essere descritta anche dal suo modello di distribuzione (dispersione), forma di crescita, distribuzione dell'età, frequenza del gene. Poiché queste condizioni o stati cambiano nello spazio e nel tempo, essi possono essere chiamati variabili di stato. I valori delle variabili di stato cambiano nel tempo e nello spazio a causa dell'operazione dei tre processi di popolazione. Questi processi sono: la natalità (tasso di nascita), la mortalità (tasso di morte) e la dispersione (movimento degli individui dentro e fuori l'area di concentrazione).

La natalità, definita come il tasso di nascita o la produzione di nuovi individui di una popolazione in relazione al tempo, ha importanza sulla crescita della popolazione degli insetti; essa è influenzata dalle proprietà dell'ambiente come la temperatura, qualità e quantità di cibo, altri organismi ecc. e dalle proprietà individuali degli organismi (fecondità).

La mortalità o tasso di mortalità per una popolazione è il numero di individui che muoiono in un dato tempo e in una data popolazione. La mortalità ha un effetto negativo sulla crescita della popolazione.

1.4. Struttura spaziale della popolazione

Per comprendere quale possa essere l'impatto della frammentazione della risorsa sulle popolazioni di *T. pityocampa*, è opportuno considerare la struttura di queste e le loro dinamiche, sulla base di teorie recenti.

Le rappresentazioni del processo di sviluppo delle infestazioni e l'areale di distribuzione di questo insetto fanno sì che i problemi connessi alle sue pullulazioni debbano essere gestiti a livello comprensoriale; inoltre essendo il territorio preso in esame molto frammentato non ha pertanto più senso parlare di dinamica di popolazione ma, nella visione della *landscape ecology*, occorre introdurre il concetto di metapopolazione.

Nello studio dei fenomeni di dispersione e di sopravvivenza delle popolazioni, hanno conosciuto un forte sviluppo negli ultimi anni i cosiddetti modelli di metapopolazione.

La maggior parte di essi si limita a considerare, come unica variabile, la probabilità di non estinzione in un patch; modelli più sofisticati utilizzano descrizioni tramite sistemi di equazioni che risultano però di difficile analisi e applicazione.

Uno dei punti deboli della modellistica è l'impossibilità di effettuare previsioni in presenza di caos deterministico. Tuttavia in alcuni ecosistemi a funzionamento caotico caratterizzati da ricorrenti esplosioni demografiche (picchi), sembra possibile (anche se

non ancora completamente spiegato) prevedere istante e intensità di un picco a partire da istante e intensità del precedente. Ciò è di evidente interesse applicativo perché molto frequentemente le esplosioni demografiche sono accompagnate da gravi danni ambientali e/o economici.

Un cambiamento radicale nel modo nel quale gli ecologi considerano le popolazioni ha implicato la combinazione di eterogeneità, dispersione e dinamica entro le chiazze, nel concetto di metapopolazione, introdotto per designare una popolazione suddivisa ed eterogenea in cui la dinamica della popolazione opera a due livelli:

1. la dinamica degli individui entro le chiazze (determinate dalle solite "forze" demografiche della natalità, della mortalità e del movimento);
2. la dinamica delle chiazze occupate, o sottopopolazioni entro la metapopolazione complessiva (determinata dai tassi di colonizzazione delle chiazze vuote e di estinzione entro le chiazze occupate).

Molte specie, pertanto, possono essere organizzate in metapopolazioni consistenti in una serie di sottopopolazioni, spazialmente strutturate, interconnesse fra loro da flussi di individui ed interessate da fenomeni naturali di estinzione e ricolonizzazione (Levins, 1969, Hanski, 1998). Ogni Patch può variare per dimensioni, grado di isolamento (distanza rispetto ad altri Patch) e "qualità" (quest'ultimo aspetto, peraltro importante, non appare particolarmente indagato in letteratura) ed è circondato da aree inadatte al mantenimento. Ovviamente, per mantenere il flusso genico tra le varie popolazioni di una specie che abitano Patch differenti, deve esistere la possibilità che alcuni individui possano muoversi da Patch a Patch (Hanski, 1999). Opdam *et al.* (cit. in Scozzianti, 2001) hanno chiamato "*lampeggio*" (*winking*) questo dinamismo nel tempo e nello spazio fra frammenti occupati e non occupati dalle singole sottopopolazioni (la presenza o assenza di popolazioni nei frammenti è conseguente ad episodi di colonizzazione ed estinzione locale).

In base a quanto riportato, la vitalità di una metapopolazione è quindi determinata dalla quantità di habitat idoneo residuo ancora disponibile alla scala di paesaggio. Sotto una determinata soglia, una metapopolazione tenderà al collasso proprio perché il basso numero di sottopopolazioni presenti nei frammenti può non essere più in grado di sostenere l'intero sistema: per questo motivo una metapopolazione potrà scomparire prima ancora che tutto l'habitat disponibile sia scomparso (Kareiva e Wennergren, 1995; Terzi, 2000).

Si è visto come la "qualità" ambientale eserciti un ruolo determinante sui parametri demografici delle (sotto)popolazioni e, conseguentemente, come essa possa influenzare la loro persistenza nel tempo e la loro distribuzione su scale differenti (Celada, 1995). La frammentazione influenza in diversa misura, oltre che la superficie e il grado di isolamento degli habitat residui, anche la loro "qualità" in termini di idoneità di habitat per determinate specie. Inoltre la presenza di una matrice ambientale trasformata dall'uomo interposta tra i frammenti può condizionare l'entità dell'interscambio di individui fra le sotto popolazioni. Tutto ciò può, quindi, ripercuotersi sui parametri demografici delle singole sotto popolazioni, influenzandone la vitalità, con ripercussioni sul complesso e dinamico equilibrio a livello di metapopolazione (Battisti, 2004).

1.5. Definizione di Patch

La struttura di un sistema ambientale è la relazione spaziale tra ecosistemi distinti, la distribuzione dell'energia, dei materiali e delle specie in relazione alle dimensioni, alla forma, al numero, ai tipi e alle configurazioni degli ecosistemi (Risser, 1987).

Il concetto di sistema ambientale che emerge dalla *Landscape Ecology* è quello di "Sistema ambientale eterogeneo, frammentato, in equilibrio dinamico, dove il disturbo gioca un ruolo importante e dove il sistema stesso può essere scisso attraverso diverse scale spazio-temporali in componenti gerarchicamente aggregate" (Allen e Hoekstra,

1992). Considerando la definizione più sintetica di paesaggio come mosaico di sottosistemi è possibile separare le parti componenti in elementi gerarchicamente organizzati. La scuola americana di Forman, utilizzando un approccio più naturalistico nello studio del paesaggio, tende a non considerare tale classificazione e si basa su una visione del paesaggio inteso come un insieme di Patch con caratteristiche tra loro differenti o comunque distinguibili utilizzando opportuni indicatori, interdispersi in una matrice. Secondo tale interpretazione la struttura di un sistema ambientale viene paragonata a quella di un mosaico, il mosaico ambientale di cui il Patch rappresenta una singola tessera ed i suoi attributi sono la distribuzione spaziale, la forma, le dimensioni. La matrice viene quindi definita come la più estesa e connessa componente del paesaggio. I criteri per la sua individuazione sono differenti, uno potrebbe essere quello di assegnare ad un elemento la funzione di matrice quando la sua importanza relativa è superiore alla sommatoria di tutti gli altri componenti del mosaico.

Il modo in cui i Patch e la matrice sono organizzati spazialmente (distribuiti) in un determinato mosaico ambientale è definito dai patterns i quali rappresentano dei modelli distributivi (Begon, *et al*, 1989).

Nella ecologia di metapopolazione, un Patch è definito come "l'area di spazio continua con tutte le risorse necessarie per la persistenza di una popolazione locale" ("*a continuous area of space with all necessary resources for the persistence of a local population*" — Hanski e Simberloff, 1997).

Ogni Patch può variare per dimensioni, grado di isolamento (distanza rispetto ad altri Patch) e "qualità" ed è circondato da aree inadatte al mantenimento.

Questo approccio all'ecologia spaziale è ben applicabile a popolazioni di specie, tra cui la processionaria del pino, la cui distribuzione è limitata ad habitats discreti, come le aree boschive, a *Pinus* presenti in Calabria, all'interno del Parco Nazionale d'Aspromonte.

2. La raccolta e l'utilizzo dei dati di popolazione

2.1. La dinamica di popolazione di specie singole

Nel linguaggio dei modellisti la parola "dinamica" è sinonimo di "variazione nel tempo t " e perciò con l'espressione "dinamica di popolazione" si intende generalmente l'andamento temporale di una o più caratteristiche di una popolazione. Un modello di (simulazione della) dinamica di popolazione è dato da un'equazione matematica (o un sistema d'equazioni) in cui il tempo compare come variabile indipendente.

Innanzitutto è necessario circoscrivere l'ambito di analisi specificando quali popolazioni saranno considerate, le funzioni biodemografiche che compaiono nelle equazioni e la loro origine e, infine, i modelli che si utilizzano per simulare la dinamica.

La stima dei parametri, l'inizializzazione e la validazione dei modelli di simulazione a supporto delle tecniche di protezione integrata delle colture (come, del resto per tutte le altre applicazioni della modellistica) richiedono dati (Gilioli e Severini, 2001).

- a) **Popolazioni strutturate di organismi pecilotermi.** Viene qui considerato un concetto artificiale di popolazione dato dall'insieme di individui della stessa specie che si considerano confinati in una precisa porzione di spazio come, ad esempio, un bosco. Questo isolamento è sia spaziale sia funzionale ed è tale sia rispetto ai conspecifici sia rispetto a popolazioni di altre specie. Infine, si fa l'ipotesi che nella dinamica possano essere trascurati aspetti relativi ai fattori limitanti dipendenti dalla densità. Queste semplificazioni possono comunque essere accettabili in molte delle applicazioni dei modelli demografici nella protezione integrata delle colture (o Integrated Pest Management o IPM) a piccola o media scala spaziale.
- b) **Funzioni biodemografiche che controllano la dinamica di popolazione.** La dinamica di popolazione dipende in modo diretto e completo dal repertorio di base delle strategie dei cicli di vita degli individui della specie considerata, dalla variazione entro popolazione di queste strategie e dalla "lettura" che l'organismo con il suo repertorio strategico fa della dinamica dei fattori e delle risorse ambientali. Le

caratteristiche salienti delle strategie dei cicli di vita (dimensioni del soma, velocità di sviluppo, riproduzione, usi del soma, riparazione, mortalità ecc.) possono essere riassunte, nel loro contributo alla dinamica di popolazione, da quattro funzioni biologiche o biodemografiche: sviluppo, longevità, mortalità e fecondità (Hughes *et al.*, 1984; Begon *et al.*, 1989). L'andamento temporale di queste funzioni è legato da un lato a variabili biologiche individuali, in primo luogo l'età, e dall'altro a parametri forzanti esterni che sono le variabili ambientali, in primo luogo la temperatura.

c) **Modelli demografici o di popolazione.** Il campo di analisi è ristretto a modelli di tipo demografico di una singola specie, modelli cioè in grado di descrivere la variazione nel tempo, rispetto ad una data unità di spazio o di habitat, del numero di individui $N(t)$ (numerosità o abbondanza di popolazione) di una popolazione monospecifica, a partire dai meccanismi demografici responsabili di tale variazione (nascite, morti e variazione nella struttura in età della popolazione). Infine, l'analisi qui sviluppata si pone l'obiettivo di essere il più generale possibile, svincolata cioè dal tipo specifico di algoritmo che è usato per simulare la dinamica di popolazioni nella maggior parte dei modelli demografici, sia macroscopici (basati su equazioni integrali, su equazioni differenziali o su matrici in tempo discreto) sia microscopici (Manly, 1989; Di Cola *et al.*, 1999).

2.2. Definizioni di abbondanza di popolazione

Il concetto di abbondanza di popolazione ha una lunga tradizione in Ecologia e individua un attributo o caratteristica della popolazione dato dalla numerosità di individui che la compongono (Krebs, 1994). La variabile di stato di un sistema-popolazione, $N_i(t)$, deve però essere espressa in modo preciso, si hanno perciò diverse definizioni a seconda del metodo e delle tecniche impiegate per il conteggio degli individui. Pertanto la possibilità di confrontare risultati di diversi campionamenti, esperimenti o simulazioni, è subordinata alla omogeneità della definizione operativa data alla variabile di stato. Le

diverse definizioni di $N_i(t)$, sono quindi dipendenti dai metodi di stima dell'abbondanza, pertanto si deve fare riferimento a cosa viene osservato (es. numero di individui) e alle caratteristiche dell'unità campionaria dove l'osservazione è compiuta (es. numero di individui per unità di superficie, per unità di habitat o di sforzo di una data popolazione, ecc.).

2.3. Il campionamento

Il campionamento è un'attività pratica, con un fondamento teorico, al servizio di chi deve prendere decisioni basate sulla conoscenza dello stato di un sistema. (Pedigo, 1994). Esso implica un costo e problemi di ottimizzazione. I costi di un campionamento sono dati dall'impegno di operatori e mezzi e devono essere conteggiati nella stima dei costi globali.

I vantaggi che si contrappongono ai costi derivano dalla possibilità di ovviare a problemi prodotti da decisioni basate su una insufficiente conoscenza dello stato del sistema (es. perdite di prodotto per mancato intervento o costi aggiuntivi per interventi non necessari). L'ottimizzazione riguarda la possibilità di scegliere il numero di unità campionarie da prelevare che realizzino il miglior compromesso tra costi e precisione delle stime desiderate tramite l'analisi di opportune funzioni (Cochran, 1977).

L'insieme delle operazioni di campionamento è guidato da un protocollo in cui devono essere specificati le tecniche e il disegno (o modello o programma) di campionamento.

La tecnica di campionamento è il metodo che viene usato per reperire le informazioni da una singola unità di campionamento, riguarda quindi l'apparato tecnico e le procedure che consentono il conteggio degli artropodi.

Il modello di campionamento è la procedura che, impiegando le tecniche di campionamento, viene utilizzata per ottenere il campione specificando: a) dimensione dell'unità campionaria; b) numero di unità campionarie; c) pattern spaziale per il

prelievo delle unità campionarie (dove prelevare od osservare le unità); d) timing del campionamento (cioè quando prelevare od osservare le unità).

2.4. L'utilizzo dei dati di popolazione e la geostatistica

L'analisi statistica classica è ormai una tecnica ben acquisita e ampiamente applicata anche nelle scienze ambientali per descrivere proprietà di campioni e per verificare ipotesi sulla popolazione. Convenzionalmente, essa non tiene conto della localizzazione geografica delle singole osservazioni; tuttavia, nel caso di attributi spaziali, può risultare utile verificare se oggetti separati geograficamente, ma ugualmente nominati condividano effettivamente le stesse proprietà.

La geostatistica studia i fenomeni naturali che si sviluppano su base spaziale a partire dalle informazioni derivanti da un loro campionamento. In particolare studia la variabilità spaziale dei parametri che descrivono i suddetti fenomeni estraendone le regole in un quadro modellistico di riferimento e usandole per effettuare le operazioni volte a dare soluzione a specifiche problematiche riguardanti la caratterizzazione e la stima dei fenomeni stessi. Oltre a valutare la variabilità spaziale la geostatistica offre delle tecniche di interpolazione spaziale che possono fornire delle stime sul valore assunto da una variabile in una posizione in cui la misurazione non è stata effettuata in base ai dati rilevati su punti vicini.

In relazione alle applicazioni registrate negli ultimi tre decenni, tra i settori applicativi si possono citare: le scienze geologiche e minerarie, l'idrologia, l'idrogeologia, la scienza dei suoli. l'agronomia, la geotecnica, la geofisica, il telerilevamento, la climatologia, la meteorologia, l'oceanografia, le scienze forestali, la zoologia, l'entomologia, l'igiene ambientale.

La geostatistica, che è alla base delle tecniche di analisi spaziale dei dati (Liebhold *et al.*, 1993), recentemente sta ricevendo sempre maggior interesse in entomologia applicata nell'analisi di dati riferiti alla meso e macroscale. Mediante tale tecnica, in

Italia, sono state studiate problematiche riguardo alcuni insetti di d'importanza economica (Sciarretta *et al.*, 2001; Guidotti *et al.*, 2002; Sciarretta *et al.*, 2002; Guidotti *et al.* 2003; Trematerra *et al.*, 2004; Burgio *et al.*, 2005).

Le applicazioni di tecniche di analisi spaziale dei dati, interfacciabili a sistemi basati su GIS, hanno introdotto nuove prospettive per l'ottimizzazione del monitoraggio di insetti, nonché per la verifica degli interventi di lotta (Liebhold *et al.*, 1993; Sharov, 2005). Questi sistemi, che si basano su campioni discreti identificati nello spazio (georeferenziati), permettono la gestione dei dati ad essi riferiti e la parallela elaborazione cartografica. Tali tecniche hanno avuto, fino al momento attuale, maggiore applicazione nelle scienze della terra e nell'agro-meteorologia (Perry, 1997), anche se recentemente sono aumentati i tentativi di utilizzo in biologia, zoologia e relative discipline applicate (Dalla Marta e Orlandini, 2004). Questi modelli in sintesi si prestano soprattutto per rappresentare l'aggregazione spaziale di artropodi su meso-scala (es parcelle ampie, aziende) o macro scala (territorio); uno dei vantaggi è che il prodotto finale dell'analisi, cioè la mappa di superficie, risulta molto intuitiva e semplice da interpretare. Infatti, una efficace rappresentazione grafica dei risultati è, indipendentemente dal contesto, un utile strumento di sintesi. In campo ecologico ciò è ancor più vero, in considerazione dell'eterogeneità delle variabili in gioco e della complessità delle relazioni che le legano.

La natura stessa della ricerca ecologica propone spesso situazioni in cui i dati quantitativi, semiquantitativi o addirittura qualitativi devono essere rappresentati in funzione della posizione delle stazioni di rilevamento. Assai spesso può essere utile, ad esempio, mappare la densità degli individui di una specie in una determinata area geografica, e magari confrontare il risultato con quello relativo ad una seconda specie o ad una variabile di altra natura.

L'esame ed il confronto di rappresentazioni di questo tipo possono consentire di evidenziare rapporti funzionali o di formulare nuove ipotesi di lavoro, ma in sostanza il risultato ultimo è una rielaborazione sintetica di dati disponibili sotto altra forma.

L'elaborazione dell'informazione disponibile in funzione della sua trasposizione cartografica è dunque il nocciolo del problema. Nel caso più semplice ciò si riduce alla determinazione delle coordinate di riferimento ed al semplice trasferimento sulla carta dei valori numerici in oggetto: il risultato è simile a quello che si ottiene riportando le quote dei rilievi principali su una carta geografica. Il problema si complica quando si desidera rappresentare una grandezza su tutta un'area, tracciando sulla mappa delle curve che congiungono i punti in cui essa assume lo stesso valore (isoplete).

La realizzazione di una mappa ad isoplete, infatti, presenta dei problemi di interpolazione, poiché è evidente che, per quanto numerose possano essere le osservazioni effettuate, il rilevamento dei dati non può comunque assumere il carattere di continuità che, invece, dovrà essere restituito dalla rappresentazione grafica. Si rende perciò necessario formulare un'ipotesi sul comportamento della grandezza in esame fra due o più punti noti ed assumere la stessa come la migliore approssimazione possibile dei valori reali.

L'interpolazione può essere effettuata empiricamente, cioè sulla base del buon senso e dello spirito di osservazione, o mediante l'impiego di strumenti matematici. La prima soluzione è indubbiamente la più diffusa, a tutt'oggi, in un contesto di tipo ecologico. La soggettività delle scelte che la guidano ne è insieme il maggior pregio ed il peggior difetto, poiché, se è vero che si possono ottenere rappresentazioni sintetiche ed efficaci come nessun algoritmo potrebbe produrre, è vero anche che è molto difficile non lasciarsi sfuggire qualcosa (magari certi dettagli che non sembrano proprio al loro posto...).

Le tecniche non soggettive di interpolazione sono senza dubbio quelle che possono consentire di estrarre il massimo dell'informazione dai propri dati, ma, al tempo stesso,

impongono l'uso di metodi rigorosi già a partire dal rilevamento degli stessi, poiché è del tutto evidente che l'elaborazione dei dati affetti da fonti di errore non controllabili resta un semplice esercizio formale. E' importante, tuttavia, rimarcare come non sia l'errore di misura in sé, quanto piuttosto la mancanza di informazioni sulla natura dello stesso, ad inficiare i risultati.

L'ipotesi che ogni misura effettuata, ogni dato rilevato, sia soltanto una delle possibili manifestazioni di una variabile aleatoria ed il completo trattamento dell'errore sono alla base della tecnica di interpolazione nota come *kriging*.

La mappatura di qualsiasi tipo di variabile, dunque, richiede due cose: un certo numero di misure, effettuate in punti identificati da un sistema di coordinate, e una tecnica di interpolazione, la quale consenta di "ricostruire", cioè di stimare in maniera non soggettiva, i valori assunti dalla grandezza in oggetto negli intervalli compresi fra i punti noti.

Le tecniche di interpolazione possono essere di due tipi: deterministiche o stocastiche. Quest'ultimo è il caso del *kriging* (Matheron, 1969 e 1970).

Si può affermare che le tecniche deterministiche stimano, sulla base delle osservazioni effettuate, una funzione o una combinazione lineare di funzioni che descrive l'andamento medio di una grandezza, senza però riprodurre i valori nei punti noti (es.: metodo dei minimi quadrati), o che assume i valori esatti nei punti noti, fornendo stime poco attendibili nelle regioni comprese fra questi (es.: interpolazione polinomiale). Fra le tecniche deterministiche impiegate per la mappatura di grandezze di interesse ecologico si può ricordare la *trend surface analysis*: anch'essa, come il *kriging*, è stata inizialmente sviluppata in campo geologico.

Il campo ottimale di applicazione delle tecniche di interpolazione deterministiche, oltre alla descrizione di fenomeni mediante funzioni dal preciso significato fisico o biologico, è probabilmente quello della definizione di trends mono-, bi- o pluridimensionali sulla

base di osservazioni regolarmente distribuite nello spazio, possibilmente con errore nullo.

La disponibilità di dati di questo tipo, tuttavia, rappresenta l'eccezione, piuttosto che la regola, in campo ecologico. Di solito, infatti, è molto difficile poter effettuare tutte le misure di cui si vorrebbe poter disporre ed ancor più difficile, nel caso di grandezze biologiche, è che esse non siano affette da errore nè distribuite irregolarmente. Una tecnica di interpolazione stocastica quale il *kriging*, però, può essere efficace anche in queste condizioni. Ogni osservazione, infatti, viene considerata come una singola realizzazione di una variabile aleatoria di cui sia noto (o ipotizzato) il valore medio in ogni punto, cioè il trend, e le cui proprietà statistiche siano definite da una funzione detta variogramma. Sulla base delle osservazioni disponibili vengono poi stimati tutti i valori desiderati, mentre quelli noti sono ricostruiti esattamente, a meno che non si sia introdotta nel modello di interpolazione una stima dell'errore strumentale o di campionamento.

La caratteristica più interessante del *kriging*, tuttavia, sta nella possibilità di disporre, per ogni valore ricostruito, di una stima dell'affidabilità della ricostruzione. Ciò consente, ad esempio, di definire per quest'ultima un intervallo fiduciale od ancora di individuare le aree in cui è necessario aumentare la densità dei rilevamenti.

3. La processionaria del pino

3.1. Posizione sistematica e distribuzione geografica

La processionaria del pino [*Traumatocampa* (= *Thaumetopoea*) *pityocampa* (Dennis. & Schiffermüller.)] è la principale responsabile di gravi defogliazioni nelle conifere. A causa della sua ampia diffusione è in grado di determinare danni molto rilevanti causando a volte la completa defogliazione degli alberi attaccati.

Essa appartiene all'ordine dei Lepidotteri (Farfalle), alla superfamiglia Noctuoidea e alla famiglia Thaumetopoeidae. Questa famiglia comprende un limitato numero di specie, con i maschi provvisti di antenne pettinate, e le femmine invece di antenne filiformi.



Foto 1 - *Traumatocampa pityocampa* – Adulto, femmina. (da: EPPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization - Diagnostic protocols for regulated pests Protocoles de diagnostic pour les organismes réglementés. 2004 *OEPP/EPPO Bulletin*, **34** - 155 –157)²

L'ordine dei Lepidotteri, insetti olometaboli di varie dimensioni, comprende oltre 110.000 specie distribuite in tutti i continenti. Essi sono caratterizzati da ampie ali

²Le foto, ove non specificate, sono dell'autore.

membranose ricoperte di squame con colori estremamente variabili da una specie all'altra.

Sono insetti terrestri, tipicamente alati, di piccole, medie e grandi dimensioni, con esoscheletro, nel maggior numero di casi, di consistenza mediocre.

La suddivisione dei Lepidotteri (*lepis*, *lepidos*, squama; *pteron*, ala) è basata sui caratteri alari e genitali delle femmine, che hanno aperture genitali di tipo monotriscico o ditriscico.

La processionaria del pino fu descritta da Denis & Schiffermüller nel 1775 ed attribuita al genere *Bombyx*. Nel 1822 fu trasferita da Hubner nel genere *Thaumetopoea* dove rimase fino ad una recente revisione (Wallengren, 1871) che ne ha determinato il trasferimento al genere *Traumatocampa*.



Fig. 1 - Areale distributivo di *Traumatocampa pityocampa* (da: EPPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization - Diagnostic protocols for regulated pests Protocoles de diagnostic pour les organismes réglementés. 2004 OEPP/EPPO Bulletin, 34).

La *T. pityocampa* ha un areale di distribuzione di tipo circummediterraneo, esteso alla Penisola iberica, alla Francia meridionale e all'Europa centro orientale (Ungheria, Bulgaria, ecc.), che coincide con quello del pino nero e del pino d'aleppo. È presente in tutte le grandi isole con esclusione della Sardegna (Bertucci, 1983). Si rinviene sia in alta montagna fino a 2.000 metri s.l.m. sia a livello del mare. In particolare, al nord si

osserva fino a 1.000 metri, al centro fino a 1.300 e a sud fino a 2.000 metri (Masutti e Battisti, 1990; Battisti *et al.*, 1990).

La notevole diffusione della specie in Calabria e i risvolti fitopatologici e igienico-sanitari connessi con le sue pullulazioni allarmano sia fruitori occasionali della pineta sia le popolazioni umane a vario titolo coinvolte in un più stretto e duraturo rapporto con l'ambiente forestale. I suoi attacchi costituiscono infatti un diffuso problema fitosanitario per la pineta sia dei popolamenti forestali sia dell'arredo urbano (parchi e giardini pubblici e privati).

La larva della processionaria si alimenta a spese di alcune Conifere del genere *Pinus* dei cui aghi si nutrono. È di estrema importanza la conoscenza dettagliata delle caratteristiche delle varie specie di pino poiché l'intensità dell'attacco di processionaria dipende dalle caratteristiche intrinseche delle diverse specie di pini; in modo particolare, come riportato in precedenza, oltre all'altezza dell'albero, sono la consistenza, la lunghezza e l'aspetto liscio o rugoso dell'epidermide degli aghi a condizionare le femmine di *T. pityocampa* nella formazione del manicotto di uova.

L'insetto può danneggiare tutte le specie di pini ma quelle preferite in ordine decrescente sono: il pino nero (*Pinus nigra* A.), il pino marittimo (*P. pinaster*), il pino silvestre (*P. sylvestris*) il pino d'Aleppo (*P. halepensis*), il pino domestico (*P. pinea*) e la conifera esotica pino radiata (*P. insignis*). Il pino strobo (*P. strobus*) è raramente attaccato ed in via eccezionale questo lepidottero può vivere su larici e su cedri (Androic, 1956).

Questa differente preferenza, nell'ambito delle diverse specie, deriva dalle modalità di diffusione dell'insetto e dalle possibilità di scelta delle femmine la cui ovideposizione è influenzata dal diametro degli aghi o dei rametti (Bertucci, 1983).

Sembra inoltre che il meccanismo di scelta di un'ospite rispetto ad un altro sia dovuto oltre a vari fattori di natura ambientale anche alle caratteristiche morfologiche e chimiche degli aghi.

3.2. Morfologia

La *T. pityocampa* presenta adulti di colore grigio scuro con le ali anteriori più chiare, ali posteriori bianche con una macchietta nera al margine interno. La fronte presenta una cresta quadridentata usata per uscire dal bozzolo.

I maschi (foto 2 a e b) sono provvisti di antenne pettinate; le femmine invece presentano appendici filiformi; l'addome inoltre presenta un ciuffo compatto posteriore di peli squamosi grigio-argenteo che durante l'ovideposizione utilizzano per ricoprire le ovature incollandole con un secreto della ghiandola colleterica a scopo protettivo e mimetico.



(a)

(b)

Foto 2 a e b. - *Traumatocampa pityocampa*, maschio, adulto.

Il maschio è più piccolo della femmina (foto 1); l'apertura alare è, rispettivamente di 30 e 40 mm. Entrambi sono di colore grigio con punti e sfumature più chiari e più scuri e con tre fascette trasversali sinuose sulle ali anteriori.

Le uova sono rotonde un pò schiacciate, larghe circa 1 mm, di colore grigio argenteo, fortemente cementate in ooteche (foto 3) di 100-150 uova (a volte fino a 300) con una disposizione a guisa di manicotto cilindrico lungo 3-5 cm che circonda due aghi di pino

(Bertucci, 1983); talvolta uno o anche tre aghi e, più raramente, un rametto. Il colore dell'ovatura tende a confondersi con quello delle gemme dei pini contribuendo così alla mimetizzazione delle uova (Bertucci, 1983).

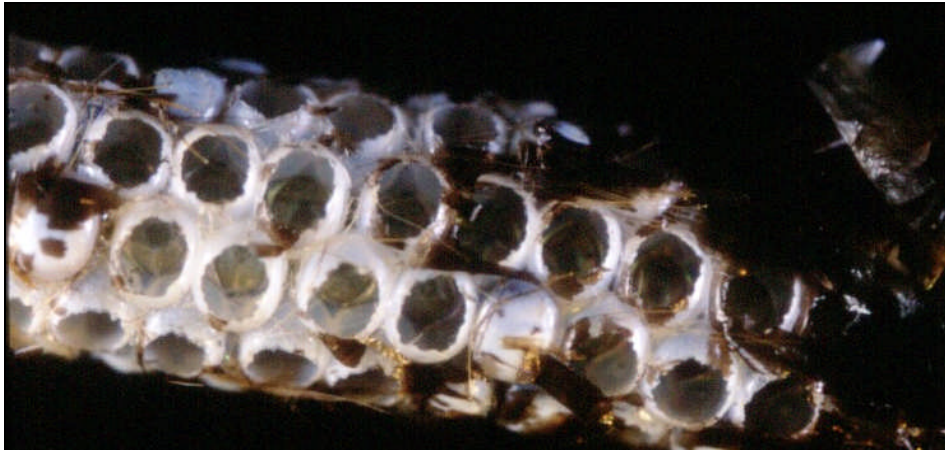


Foto 3. - Particolare di ovatura di *Traumatocampa pityocampa*

Le larve (foto 4), che nascono dalle uova circa 4-6 settimane dopo la comparsa degli adulti (Badiali, 1979), presentano un colore giallastro o verdastro con capo nero lucido.



Foto 4. - Larve di I età di *Traumatocampa pityocampa* in procinto di uscire dall'uovo.

Fino al secondo stadio le larve si nutrono di giorno e non possiedono peli urticanti. Dal terzo stadio escono di notte e diventano pericolose per l'uomo per la presenza dei caratteristici peli urticanti.

La larva matura, lunga circa 4 cm, presenta la superficie dorsale del corpo di colore grigio ardesia; i lati e il ventre sono giallastri. Porta sul dorso ciuffi di peli impiantati su



Foto 5. - Larva di IV età di *Traumatocampa pityocampa*.

tubercoli e di colore fulvo; ai lati presenta ciuffi di peli più lunghi e di colore grigio-biancastro.

Sull'addome a partire dalla III età è possibile osservare, al centro degli uriti, delle cavità eversibili chiamate *specchi*, ognuna delle quali è in grado di allocare oltre 100.000 peli urticanti, che vengono staccati e liberati nell'aria con il movimento della stessa cavità. I peli contengono sostanze proteiche che, a contatto con le mucose o con la pelle dell'uomo e degli animali a sangue caldo,

inducono la liberazione di istamina con conseguente reazione allergica (Vega *et al*, 1999).

I peli (foto 6) sono generalmente lunghi 0,10-0,15 mm. Nella processionaria del pino è stato osservato che gli specchi sono provvisti di cerniere e funzionano come libri, rimangono chiusi in assenza di pericoli e vengono aperte in caso di necessità (Tremblay, 1986).

Dopo 4 mute la larva supera l'inverno negli ultimi stadi larvali sospendendo la nutrizione solo nei periodi più freddi di dicembre-gennaio e febbraio. Con l'aumentare della temperatura riprende, voracissima, l'azione trofica per completare la maturazione larvale prima di incrisalidarsi. È in questo periodo che gli alberi vengono danneggiati maggiormente.

Le crisalidi, lunghe 15-17 mm si formano nel terreno, dopo che le larve ormai mature (foto 7) abbandonano le piante di pino e raggiungono il suolo (Badiali, 1979). Esse

costruiscono un bozzolo color marrone chiaro muovendosi dapprima entro una trama filamentosa, lassa, che diventa sempre più consistente mano a mano che il bozzolo bruno rossastro, con cremaster bi-uncinato, le racchiude.



Foto 6. – Particolare di Larva di V età di *Traumatocampa pityocampa*. Si possono notare le cavità eversibili chiamate specchi.



Foto 7. – Particolare di Larve di V età di *Traumatocampa pityocampa* nel terreno in fase di incrisalidamento.

Dopo due settimane la crisalide arresta lo sviluppo che riprenderà un mese prima dello sfarfallamento.

L'incrisalidamento dura all'incirca 8 – 10 settimane e parte degli adulti compaiono dalla fine di giugno a metà agosto. Una parte considerevole della colonia completa quindi la metamorfosi ancora nell'anno, mentre la rimanente generalmente l'anno dopo. Il ciclo di tutta la colonia può però divenire poliennale se l'andamento climatico è sfavorevolmente freddo e piovoso. In quest'ultimo caso la diapausa complica molto lo studio per il calcolo dell'intensità della pullulazione e dunque per la programmazione della lotta (Nicolini, 1987).

3.3. Ciclo biologico ed ecologia della specie

La *Traumatocampa pityocampa* è un lepidottero termofilo la cui distribuzione non supera a Nord e sulle montagne

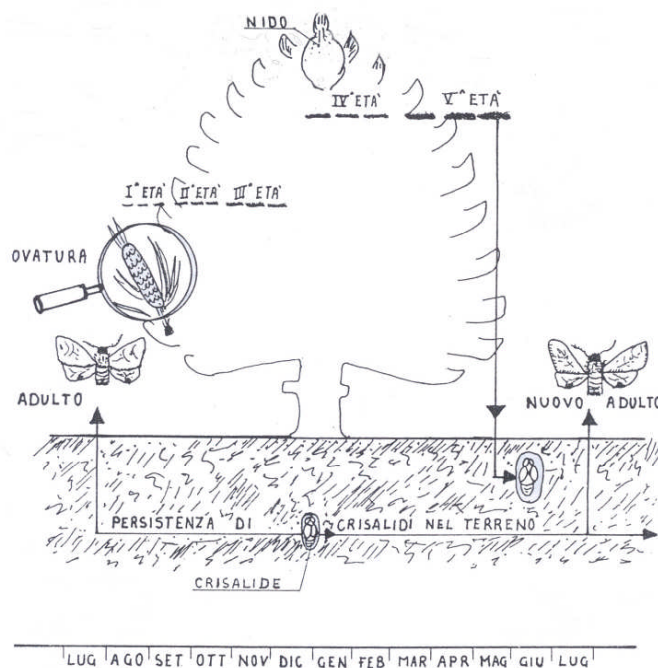


Fig. 2. – Ciclo biologico della *T. pityocampa* (da: Badiali, 1979)

(al massimo 1.000 - 1.200 m) l'isoterma di 22° C di luglio (Androic, 1956; Masutti, 1964; Dèmolin, 1969a; Huchon e Dèmolin, 1970). Altra limitazione è costituita dalla temperatura media di 12°C nel periodo di sviluppo embrionale e inoltre la specie non sopravvive in località in cui le ore annue di insolazione non raggiungono le 1800 e dove le medie delle minime nel mese più freddo scendono sotto i - 4°

C (Demolin, 1969b). Svolge una generazione all'anno (fig. 2) con una fase epigea nella quale si compie lo sviluppo larvale e il volo degli adulti con l'ovodeposizione e una fase ipogea che si delinea con la processione di larve mature e quindi con la fase di crisalide.

Gli adulti compaiono, in funzione degli ambienti, a partire dagli inizi di giugno fino a metà settembre. Le femmine possono spostarsi in volo notturno anche per diversi chilometri. Nelle pinete della Calabria ubicate sopra i 1.000 metri s.l.m. gli adulti si osservano in genere nel periodo compreso tra fine giugno e fine agosto-primi di settembre; lungo le coste tra la fine di luglio e la fine di settembre. L'adulto appena sfarfallato incomincia immediatamente la ricerca del luogo ideale per compiere gli ultimi processi postmetamorfici (fig. 3).

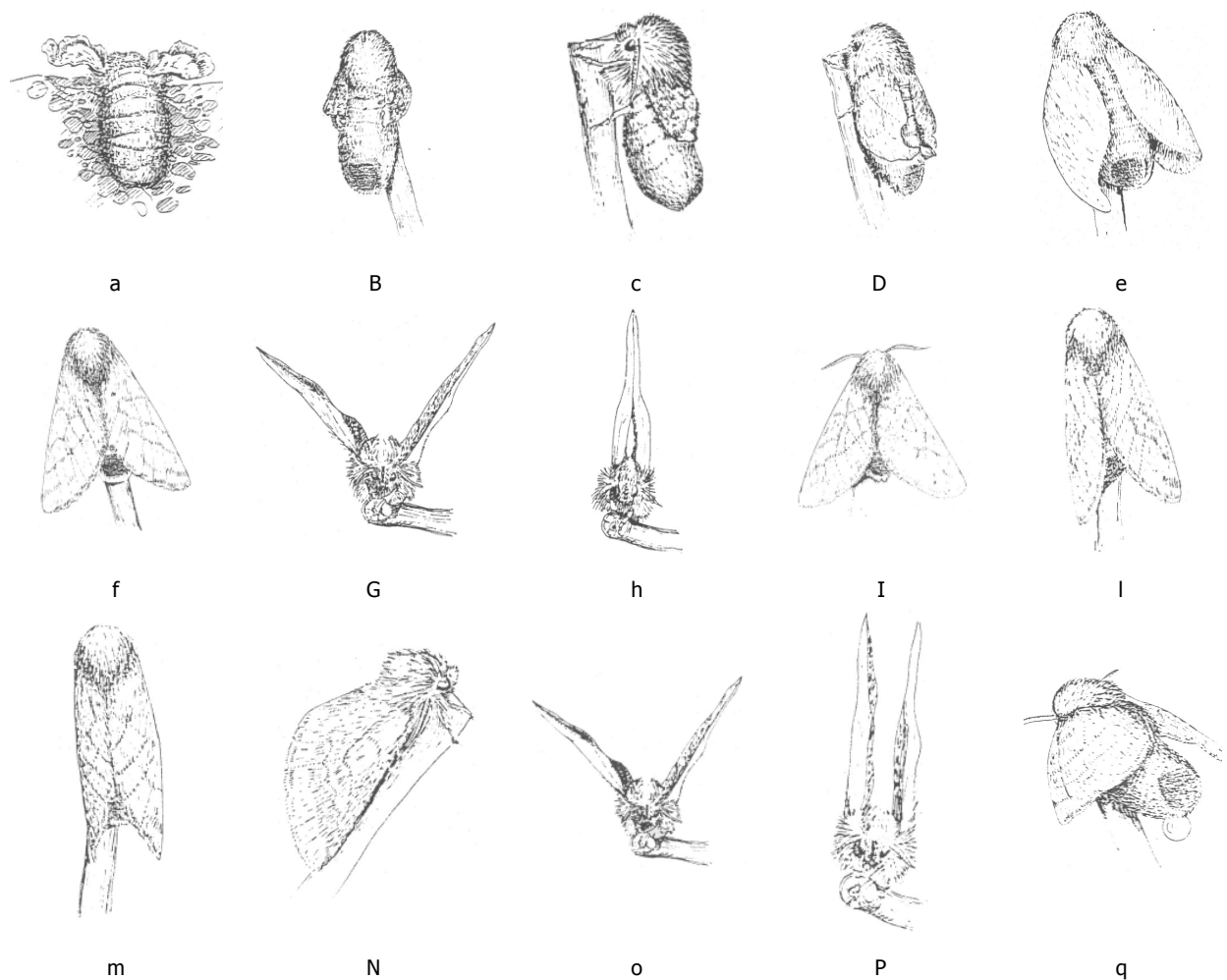


Fig. 3. – Fasi comportamentali degli adulti di *Traumatocampa pityocampa* appena usciti dal terreno (da Nicolini, 1987).

Per questo motivo può percorrere diversi metri in forma pseudoattera e solo quando trova un sostegno stabile (fig. 3 c) avvia il processo di distensione delle ali, molto più rapido nei maschi che nelle femmine, e di indurimento del tegumento (Nicolini, 1987).

I maschi possono vivere, a seconda della loro attività, da ventiquattro a sessantacinque ore (eccezionalmente settantadue ore); questi seguendo il richiamo dei feromoni emessi dalla femmina raggiungono, con volo pesante, dapprima radente, rettilineo, le chiome dei pini (Nicolini, 1987).

Le femmine sono sessualmente mature dopo due - quattro ore di inattività. Con ali disposte a tetto e l'addome curvo verso l'alto esse si pongono nella caratteristica posizione del richiamo dei maschi ed estroflettono la ghiandola odorifera (Demolin, 1969a). I feromoni emanati dalla ghiandola esocrina sono captati dai sensilli chemiorecettori del maschio che così guidato raggiunge la femmina (Nicolini, 1987).

Nel giro di una notte le femmine si accoppiano, depongono e muoiono. Se non arrivano i maschi esse possono vivere più a lungo, però, più il tempo passa, minore è la loro fecondità, di conseguenza molte uova non vengono deposte (Masutti, 1964).

La copula dura circa un'ora. Trenta minuti circa dopo la copula segue l'ovideposizione che dura tre-quattro ore (Nicolini, 1987).

L'ovideposizione è condizionata dallo sfarfallamento degli adulti per cui in Calabria questa ha luogo nel periodo compreso tra i primi di luglio nelle aree montane e la metà di agosto nelle aree costiere (Vacante, 2003).

Le uova di processionaria vengono deposte sempre in ooteche particolari. Esse sono costituite da manicotti di materiale mucillaginoso che è secreto dalle femmine e si rapprende all'aria indurendo fortemente. Questi manicotti (foto 8 e 9) avvolgono solitamente due aghi di pino e su di essi le uova sono disposte a spirale e ricoperte da squame argentate che si staccano dal corpo della madre. Le ovature si confondono abbastanza bene con le gemme dei pini ed il fogliame più secco, anche se non è difficile

scorgerle specie con occhio allenato (Badiali, 1979). In genere ogni femmina depone una sola ovatura, nel periodo estivo (Longo et al, 1989).

In presenza di più specie di *Pinus* *T. pityocampa* non distribuisce in maniera casuale le ovature sulle piante presenti, ma presenta una spiccata preferenza per alcune di esse (Calas, 1897 in Tiberi, 1983).



Foto 8. - Ovatura di *Traumatocampa pityocampa*.

È stato osservato che l'ovideposizione inizia quasi sempre dalla base degli aghi e procede in direzione della cima, sebbene sia stata trovata una considerevole variazione nella distanza tra la base degli aghi ed il punto in cui inizia l'ovideposizione (Schmidt G.H., et al., 1999).

Su *Pinus insignis*, ad esempio, è stato riscontrato un numero medio di ovature per pianta circa tre volte superiore a quello rilevato su *Pinus pinaster*. Nel condizionare le femmine di *T. pityocampa* nella formazione del "manicotto" di uova, particolare importanza riveste la consistenza, la lunghezza e l'aspetto liscio o rugoso dell'epidermide degli aghi. Le farfalle prediligono quei pini con aghi non molto coriacei e

poco spessi, di modo che riunendo le foglie di un brachiblasto ne derivi un fascetto di diametro compreso tra 1,5 e 2 mm (Tiberi, 1983).

Anche la disposizione degli aghi sul macroblasto deve essere tale da non ostacolare quei movimenti che sono tipici delle femmine prima e durante la deposizione delle uova (Demolin, 1969 in Tiberi,1983).

Inoltre il numero di ovature, per entrambe le specie, è presente maggiormente sulla parte apicale della chioma, nelle piante più piccole, e sulla posizione medio superiore negli esemplari più alti. Considerando il numero di ovature per pianta, il Lepidottero predilige le piante dominanti con una concentrazione maggiore sui palchi orientati a Nord-Ovest e a Ovest. Tuttavia, sebbene gli aghi dei palchi compresi tra 3,01 e 6,00 m siano quelli più frequentati, con l'aumentare del numero di ovature per pianta si osserva una distribuzione uniforme delle stesse su tutta la chioma (Tiberi, 1983).



Foto 9. - Ovature di *Traumatocampa pityocampa* su *Pinus halepensis*.

Il periodo di incubazione dura da quattro a sei settimane (30-45 giorni), lo sviluppo larvale si svolge attraverso 5 stadi e diviene ottimale con temperature comprese tra i 20 e 25° C.

In funzione dei periodi di ovideposizione e di incubazione le prime larve si osservano nelle aree montane interne della Calabria tra la fine di luglio e gli inizi di agosto mentre nelle aree costiere a metà settembre. I primi stadi vivono gregari (foto 10) e si nutrono di aghi che avvolgono con una tenue trama sericea; in particolare, gli stadi I e II hanno attività diurna e a partire dalla III età assumono un habitus notturno. Le larve si nutrono degli aghi e sono attive finché la temperatura media non si abbassa sotto i 10°C.

Le esigenze termiche della processionaria, infatti, pur non essendo molto strette per quanto riguarda i limiti inferiori di temperatura (se isolate resistono a temperature fino a -6°C, in gruppo anche fino a -10°C), potrebbero tuttavia essere causa di morte di numerose popolazioni quando, caso non infrequente al crescere dell'abitudine, la temperatura scende sotto questi limiti termici.



Foto 10. - Larve di II età di *Traumatocampa pityocampa* su un giovane pino.

Il calore accumulato dal nido durante il giorno e la sua elevata coibenza che impedisce la dispersione di quello prodotto dalle larve, al suo interno raggruppate, aumentano invece di molto la capacità di sopravvivenza delle colonie (Bertucci, 1983).

Nel nido invernale le larve trascorrono i mesi più freddi che corrispondono ad un periodo di stasi alimentare pur nella progressiva evoluzione degli stadi larvali (indicati con le sigle L₁, L₂, L₃, L₄, L₅). Anche in pieno inverno, tuttavia, in serate con temperature non molto rigide e a volte anche durante il giorno, le colonie possono uscire dai nidi per nutrirsi degli aghi (Bertucci, 1983).

La piena e costante ripresa della nutrizione si ha, comunque, verso il finire dell'inverno, in genere nel mese di marzo quando la temperatura comincia a salire e si mantiene per un certo periodo sopra i 6-7°C (Bertucci, 1983).



Foto 11. - Processioni di larve di II età di *Traumatocampa Pityocampa* su *P. halepensis*

Gli spostamenti alla ricerca di cibo avvengono con una tipica "processione" (foto 11), da cui il nome processionaria dato alla specie, contraddistinta dall'emissione di bava sericea, che costituisce una sorta di guida per le larve, intervenendo sia nel loro

orientamento sia costituendo un segnale territoriale che favorisce la loro dispersione sulla chioma.

Si evidenzia così la natura gregaria che porta le larve nei luoghi di alimentazione, dove si spargono e si ricongiungono seguendo i fili sericei. Lo spostamento avviene per stimoli tattili (ogni larva tocca con il capo i peli dell'estremità dell'addome nell'individuo che lo precede), sia con l'emissione di un filo sericeo che serve da guida per le altre.



Foto 12 . a e b. - Nidi apicali di processionaria del pino su *Pinus nigra*.

Le larve si ricoverano durante i periodi di inattività dentro nidi sericei, di cui quelli autunnali, detti pre-nidi, sono meno consistenti, contrariamente a quelli d'inverno (foto 12 a e b) che sono più compatti ed esposti al sole a varia altezza del suolo. Questi ultimi, generalmente costruiti nel periodo che va da ottobre a dicembre, sono piriformi, di colore bianco - grigio argenteo, con la parte più piccola rivolta verso il basso e di dimensioni variabili fino a raggiungere un diametro massimo di circa 30-40 cm.

Internamente ospitano un numero variabile di larve da 150-200 fino ad un migliaio per la fusione di più popolazioni.

I nidi contengono spesso, oltre alle larve, ammassi di granuli prima verdi e poi bruni che si accumulano nelle parti più basse di essi. Questi granuli sono gli escrementi delle larve che residuano dal loro intestino e vengono espulsi in misura più cospicua, nei periodi di massima attività trofica, sostenuta a spese degli aghi di pino (Badiali, 1979).



Foto 13. - Larva di V età di *Traumatocampa pityocampa* in processione di incrisalidamento

Lo svernamento è dovuto alle larve di IV età. L'ultimo stadio (V età) si osserva comunemente entro i mesi di gennaio-febbraio ed è responsabile dei maggiori danni alle essenze forestali. Prima che le larve di ultima età escano in processione formano un gomitolo, indi una spirale e poi si dispongono in fila indiana. Se, però, si arresta l'ultima larva della fila perdendo il contatto con la precedente, anche questa si arresta e così via, finché lo stimolo del mancato contatto raggiunge il capofila e tutta la colonna si ferma (Dajoz, 1980). Si ritiene che essi attivino in tal modo l'istinto del contatto, che mantiene viva l'integrità della popolazione, e soltanto dopo si muovono in processione (foto 13) alla ricerca del luogo in cui infossarsi e incrisalidarsi ad una profondità

compresa tra i 5 e 15 cm con la temperatura del suolo che deve essere superiore ai 20°C.

La larva guida, in genere una futura femmina, dirige la processione verso la zona più illuminata e calda delle vicinanze. Quando la temperatura del terreno non è idonea (generalmente inferiore a 10°C), le larve si raggruppano in superficie attendendo le condizioni adatte per l'approfondimento nel terreno (Bertucci, 1983).



(a)



(b)

Foto 14 a e b. - Crisalidi di processionaria del pino.

Dopo 15 giorni dall'interramento ha luogo l'incrisalidamento (14 a e b) e poi una diapausa la cui durata è inversamente proporzionale a quella dello sviluppo larvale (la diapausa è più lunga se le larve hanno avuto uno sviluppo rapido per un inverno caldo e viceversa), per mantenere il ritmo annuale degli farfallamenti. Se la temperatura non è troppo fredda, penetrano a 5-20 cm nel terreno e si trasformano in crisalidi entro bozzoli di seta (Badiali, 1979).

Le colonie possono passare nel terreno un periodo di tempo variabile della stagione, in relazione alla latitudine e all'altitudine, tuttavia una parte può raggiungere la maturità nell'annata successiva, dopo 2-3 anni o anche dopo 6-7 anni (Masutti, 2001).

L'incrisolidamento può avvenire alla base della pianta o altrove, specie se le larve non hanno trovato sotto di esse la temperatura ideale (Badiali, 1979).

3.4. Danni, antagonisti e controllo

In Italia la gravità degli attacchi del defogliatore ha reso indispensabile la lotta, divenuta obbligatoria già dal 1926 con due successivi Decreti Ministeriali (D.M. del 20-05-1926 e D.M. del 12-02-1938) a cui ha fatto seguito il D.M. del 17/04/1998 recante "disposizioni sulla lotta obbligatoria alla Processionaria del pino". A questo proposito è importante sottolineare che in nessun caso gli interventi di lotta evitano la comparsa nel tempo di nuove infestazioni di Processionaria. A motivo di ciò gli interventi di lotta mirano a contenerne per quanto possibile la diffusione delle pullulazioni e il danno che ne consegue. Un elemento irrinunciabile nelle strategie di lotta finalizzate al controllo del Lepidottero è dato da una profonda conoscenza della sua bio-etologia e delle sue interrelazioni con l'ecosistema di cui è parte integrante, allo scopo di definirne le sue capacità di adattamento agli habitat urbani e periurbani nonché di individuare le possibilità e i tempi d'intervento. In Calabria la presenza endemica del defogliatore è stata evidenziata nell'ultimo decennio da imponenti pullulazioni che hanno reso difficoltoso l'accesso ad aree in molti casi prossime a parchi suburbani e urbani o a centri abitati. Inoltre, la possibilità di rimanere in diapausa nel terreno per anni complica lo studio delle popolazioni, indispensabile per formulare attendibili previsioni sull'andamento delle infestazioni.

Nei popolamenti artificiali lo sviluppo delle popolazioni del fitofago è marcato, con 2-3 pullulazioni consecutive seguite da un triennio-quadriennio di tregua, mentre in quelle naturali il fenomeno è meno incisivo. In tale contesto l'azione del clima e lo stato di salute delle pinete (effetti delle defogliazioni) sembrano costituire i fattori più decisivi (Masutti e Zangheri, 2001).

La presentazione dei principali aspetti connessi con i mezzi e le strategie di lotta oggi noti pone l'esigenza di richiamare alcuni fondamentali aspetti dell'ecologia della specie quali la tipologia del danno e il ruolo esercitato dai fattori biotici e abiotici sulla dinamica di popolazione della specie.



(a)

(b)

Foto 15 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).

I danni provocati dalla processionaria sono essenzialmente da ascrivere all'azione defogliante delle larve le quali (15 a), dalla fine dell'estate alla primavera successiva, con esclusione dei periodi particolarmente freddi, si nutrono voracemente degli aghi di pino giungendo anche a defogliare interamente alberi isolati e pinete negli anni di grande invasione (Bertucci, 1983). La defogliazione pur non portando a morte immediata la pianta, ne arresta l'incremento legnoso annuo e la predispone all'attacco

di vari fitofagi secondari quali gli scolitidi, parassiti lignicoli il cui insediamento si traduce quasi sempre in esiti letali.

Oltre alla defogliazione, che costituisce la più evidente manifestazione dell'attacco, occorre considerare che gli alberi che presentano un nido all'apice del fusto (foto 15 b) subiscono un danno ancora maggiore in quanto l'apice secca e la pianta non cresce più in altezza, aspetto particolarmente grave nei giovani popolamenti destinati a rimboschimento (Badiali, 1979).

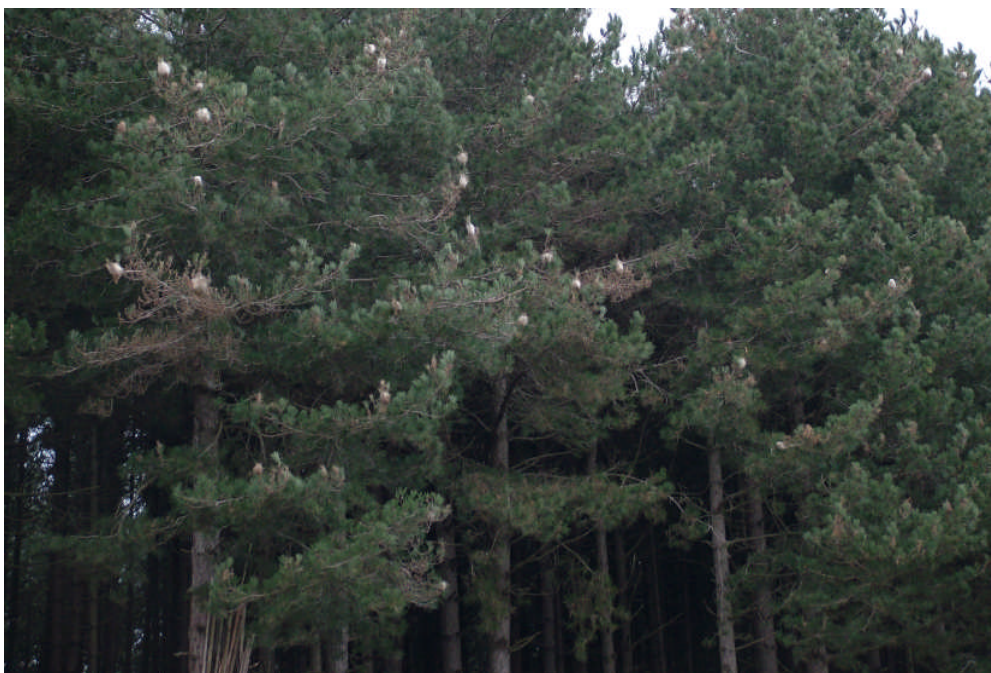


Foto 16. – Popolamento forestale fortemente attaccato dalla *T. pityocampa*.

Inoltre le larve di III-V età rilasciano nell'ambiente peli urticanti responsabili di gravi infiammazioni allergiche (foto 17), motivo per cui il Lepidottero è temuto sia per i danni all'economia forestale sia perché nociva alla salute umana. Quest'ultimo aspetto può influenzare negativamente l'economia turistica di vasti comprensori. Particolarmente gravi possono anche essere le conseguenze qualora i peli urticanti colpiscano gli occhi e le prime vie dell'apparato respiratorio per la notevole produzione di istamina.

All'interno dei peli, infatti, si trova una proteina (thaumetopoeina) che provoca prurito, edemi, alterazioni delle congiuntive e delle mucose, con possibili complicanze a livello respiratorio (Ducombs et al., 1981, Lamy, 1990), indebolimento generale, vertigini e, specialmente in soggetti particolarmente predisposti, lo shock anafilattico cui può seguire la morte (Bertucci, 1983).



Foto 17. – Collage di danni sull'uomo provocati da esposizione alla *T. pityocampa*.

La diversa durata della diapausa delle crisalidi condiziona ogni previsione sul comportamento delle popolazioni dell'insetto. Utili informazioni, anche se non esaustive, sono date dal monitoraggio dei voli dei maschi con trappole al feromone sessuale esposte nel periodo estivo, da osservazioni sulla fecondità delle ovature e dalle attività invernali dell'insetto.

La biocenosi antagonista de Lepidottero annovera microrganismi, insetti parassitoidi e predatori, sia invertebrati sia vertebrati.

Tra i microrganismi intervengono alcuni Virus della poliedrosi (NPV, CPV), Batteri (*Bacillus thuringiensis* Berliner) e funghi (Sidor et al, 1982).

Nell'ambito della biocenosi antagonista gli entomofagi esercitano la maggiore pressione selettiva. La biologia e il comportamento dei parassiti delle uova della *T. pityocampa* sono stati già studiati da Biliotti (1958) in Francia, Masutti (1964) in Italia e Fluentes (1965) in Spagna. Si tratta, come è noto, dei seguenti Imenotteri Calcidoidei: *Anastatus bifasciatus* Fonscolombe, *Ooencyrtus pityocampae* Mercet, *Tetrastichus servadeii* Domenicheni, e *Trichogramma embryophagum* Hartig. *A. bifasciatum* manifesta un'ampia polifagia nella scelta degli ospiti, appartenenti in prevalenza all'ordine degli Emitteri e dei Lepidotteri. I suoi rapporti con la *T. pityocampa* sembrerebbero del tutto occasionali. Ricerche in Toscana e in Abruzzo avvalorano questa ipotesi, in quanto la presenza dell'eupelmide non solo si è limitata a poche località, ma è stata caratterizzata dall'emergenza esclusiva di individui di sesso maschile. Ciò presuppone, come è già stato rilevato da Biliotti (1958) e Masutti (1964), l'esistenza di ospiti paralleli su cui trovano le condizioni idonee al loro sviluppo gli individui di sesso femminile, indispensabili alla conservazione della specie (Tiberi, 1978). L'*Ooencyrtus pityocampae* compie due generazioni sulle ovature della processionaria; la prima ha inizio in estate sulle uova appena deposte e si completa in un arco di tempo breve (22-25 giorni), la seconda invece ha inizio nella seconda metà di agosto e si completa all'inizio dell'estate dell'anno successivo, con la comparsa di adulti originati dalle larve mature che hanno svernato all'interno delle uova dell'anno precedente (Tiberi *et al*, 1988). Il *Tetrastichus servadeii* è strettamente legato alla processionaria del pino, si riproduce per partenogenesi telitoca e presenta due generazioni una estiva e l'altra svernante a carico delle uova di *Traumatocampa pityocampa*. Gli adulti emergono più tardi rispetto a quelli dell'*Ooencyrtus* in coincidenza con il periodo di ovideposizione delle femmine ospiti. Analogamente a quanto riferito per *O. pityocampa*, verso la tarda estate si può osservare una seconda presenza di adulti di *T. servadeii* della generazione svernante, come riscontrato in due lotti di ovature raccolte nel 1972 sull'isola d'Elba (Tiberi, 1978). Il quarto oofago è costantemente presente ed ha un'importanza al limite superiore delle

zone invase dal Lepidottero. Ciò si spiega con la sua polifagia che gli permette di vivere a spese di un numero disparato di ospiti. Il *Trichogramma* attacca le uova di *T. pityocampa* appena deposte e vi svolge una prima generazione (quella estiva) contemporaneamente agli altri ooprasstiti; la seconda, invece, sverna e si conclude nella primavera successiva.

A carico delle larve si sviluppano il Braconide *Meteorus versicolor* Wesm., gli Icnemonidi *Erigorgus femorator* Aub. e *Anomalon latro* Schr. e i Ditteri Tachinidi *Exorista segregata* Rond., *Phryxe caudata* Rond. e *Compsilura concinnata* Mg..

A spese delle crisalidi vivono l'Imenottero Calcidoideo *Conomorium eremita* For, il Cneumoide *Coellchneumon rudis* Fonsc. e il Dittero Bombilide *Villa brunnea* Beck. Tra i predatori sono noti il Dittero Sirfide *Xanthandrus comtus* Harr e il Coleottero Carabide *Calosoma Sycophanta* L, attivi consumatori di larve.



Fig. 4. – *Upupa epops*, da: BATTISTI, 1986

Si ritiene che tra i Mammiferi il Muride *Apodemus sylvaticus* possa nutrirsi di stadi larvali.

Anche gli Uccelli (es. *Upupa epops*, *Parus* spp.) intervengono come predatori di crisalidi; si è notato che l'*Upupa epops*, uccello che normalmente caccia insetti, altri invertebrati e anche piccoli vertebrati nelle praterie e nelle zone aperte si comporta da specie invasiva in boschi di pino nero fortemente infestati da processionaria del pino (Battisti, 1986). L'upupa inizia a frequentare regolarmente le pinete dalla

seconda metà di maggio, all'epoca della cova. Da allora la sua presenza è continua fino alla fine di Luglio, al culmine degli sfarfallamenti del lepidottero. La ricerca delle crisalidi di processionaria del pino è facilitata da due motivi principali:

- i luoghi di incrisalidamento sono situati per la maggior parte in zone semi-aperte (strade forestali, fasce tagliafuoco, chiarie, margine del bosco) per la spiccata fototassia positiva delle larve in processione (Demolin, 1971); l'Upupa trova quindi un terreno adatto alle proprie abitudini di caccia;
- i bozzoli contenenti le crisalidi sono raggruppati in gran numero in piccole aree (Battisti, 1986), benché distribuiti su superfici ed a profondità di interrimento differenti secondo la natura del suolo.

Oltre a ciò anche alcune peculiari caratteristiche biologiche ed etologiche dell'uccello contribuiscono all'intenso sfruttamento delle crisalidi. In particolare:

- la ridottissima territorialità e la frequentazione comunitaria dei siti di alimentazione; si sono spesso osservate due o anche tre Upupe intente ad estrarre crisalidi su superfici non superiori a 4 m²;
- l'apparente indifferenza ai peli urticanti dell'ultima esuvia larvale contenuti nel bozzolo;
- un'alimentazione basata in gran parte su crisalidi e larve di lepidotteri, come testimoniano le indagini di Hirschfeld e Hirschfeld (1972).

La tecnica di estrazione dei bozzoli dal suolo è la seguente: l'Upupa a colpi di becco fruga il terreno fino a 6-8 cm e ne estrae i bozzoli, che di seguito vengono lacerati in modo da consentire il recupero della crisalide, lasciando come traccia parti del bozzolo e frammenti del tegumento pupale.

Gli antagonisti naturali sopra citati sono presenti in Calabria ma il loro apporto in nessun caso è risultato risolutivo.

I fattori biotici di contenimento naturale sopra elencati non risolvono in nessun caso il problema della processionaria nelle pinete. Più concreti e determinanti risultano l'azione del clima e lo stato di salute delle pinete (effetti delle defogliazioni) (Masutti e Zangheri, 2001). Essi costituiscono dei fattori determinanti per la dinamica di

popolazione dell'insetto in grado di intervenire sulla densità delle popolazioni sia come regolatori dell'entità della risorsa sia del processo riproduttivo.

I metodi di controllo possono essere distinti in preventivi, se consistenti in misure indirette o dirette poste in essere con fini «strategici» per prevenire il verificarsi di un'infestazione, e curativi, quando presuppongono interventi diretti mirati, disposti a seguito della segnalazione di infestazioni accertate.

Il controllo delle popolazioni di Processionaria del pino può essere affidato a 3 diversi metodi di intervento rispettivamente noti come lotta biologica, lotta chimica (tradizionale ed endoterapica) e raccolta meccanica. Negli anni '60 è stata anche proposta la tecnica del maschio sterile.

Il controllo delle sue popolazioni può essere affidato a tre diversi metodi di lotta, rispettivamente noti come: lotta meccanica, lotta biologica e lotta chimica. I primi due sono compatibili tra loro.



Foto 18 a e b. - Lotta biologica mediante asportazione dei nidi di *T. pityocampa* (Spanò, 2004).

Tra i mezzi meccanici, si ricorda la distruzione (per lacerazione) dei nidi con colpi di fucile da caccia sparati da 5-15 m. Questo metodo, detto balistico, è ritenuto conveniente se conduce alla distruzione di almeno 40 nidi/ha (Bartoloni, 1981).

La lotta biologica sfrutta l'azione degli antagonisti naturali, indigeni e/o introdotti, di *T. pityocampa*, e si espleta secondo 3 diverse modalità d'intervento rispettivamente indicate come inoculazione, protezione e inondazione.

L'inoculazione si basa sull'introduzione di modeste quantità di antagonisti naturali (anche da aree geografiche lontane) con lo scopo di tentarne l'acclimatazione e lo sviluppo e di arricchire la biocenosi antagonista del fitofago. Il caso meglio noto in Italia ha avuto per oggetto l'introduzione in aree alpine e appenniniche di *Formica rufa* L. (Bertucci, 1983).

L'inondazione è contraddistinta dall'impiego inondativo di mezzi biologici. Il caso più comune fa riferimento alla distribuzione di batteri o di virus della poliedrosi.

Il *Bacillus* è un batterio sporigeno, molto comune nel terreno. La specie è in realtà costituita da una moltitudine di sottospecie o varietà (quelle finora ufficialmente riconosciute sono circa 70) che si differenziano tra loro per alcuni caratteri e che frequentemente possiedono anche una diversa attività insetticida.

Il ciclo del *Bacillus thuringiensis* (Bt) prevede una fase vegetativa ed una di sporulazione; durante quest'ultima vengono prodotti all'interno dello sporangio una spora ed uno o più corpi parasporali a struttura cristallina. Il corpo parasporale, generalmente definito "cristallo", è costituito da molecole proteiche di peso molecolare variabile. Il cristallo può essere costituito da un unico tipo di proteina, ma più frequentemente accade che si tratti di più proteine cocristallizzate.

Il Bt è attivo essenzialmente sulle larve, nei confronti delle quali l'efficacia risulta inversamente proporzionale all'età e quindi al peso ponderale. Il corpo parasporale costituisce la componente insetticida del Bt. Le molecole proteiche che lo compongono hanno il significato funzionale di protossine, debbono cioè essere attivate nell'intestino

degli insetti per risultare biologicamente attive. L'attivazione consiste, in termini molto semplificati, nella eliminazione di alcune parti della molecola proteica di partenza, per arrivare alla formazione di proteine di minore peso molecolare che rappresentano le vere e proprie tossine. Il Bt è attivo solamente per ingestione. Nell'intestino delle specie suscettibili avvengono le trasformazioni sopra descritte, con la formazione delle tossine. Queste attraversano la membrana peritrofica e si legano a recettori specifici presenti sui microvilli delle cellule epiteliali dell'intestino medio. Entro pochi minuti da questo evento le cellule diventano vacuolate e perdono la propria funzionalità di barriera osmotica, sino alla rottura. Il danneggiamento dell'epitelio causa a sua volta una serie di alterazioni che porta alla paralisi dell'intestino e dei muscoli dell'apparato digerente, per cui l'insetto smette di alimentarsi. La morte sopravviene in un tempo variabile da qualche ora sino a 3 giorni, per una combinazione di fattori (setticemia, inedia e danno ai tessuti). L'utilizzo del *Bacillus thuringiensis* o di suoi derivati (tossine) è relativo alla sua distribuzione sulle giovani larve di processionaria nel periodo agosto-ottobre.

La protezione consiste in una serie di interventi atti a proteggere gli ausiliari già presenti nell'ambiente o sviluppatisi nelle ovature e/o nei nidi raccolti meccanicamente; in particolare, si tratta di evitare la loro bruciatura o distruzione, proteggendoli in appositi ambienti (ricoveri in muratura, gabbie metalliche, ecc.) da dove potranno gradualmente sfarfallare e riversarsi nell'ambiente.

Un altro mezzo di lotta, non rientrante tra quelli già esposti, però scarsamente utilizzato, è quello rappresentato dalla liberazione in mezzo a normali popolazioni di insetti nocivi di grandi contingenti di maschi della medesima specie preventivamente sterilizzati da radiazioni ionizzanti (particelle e onde elettromagnetiche dotate di potere altamente penetrante nella materia). Esperienze di laboratorio hanno potuto stabilire che maschi e femmine di *T. pityocampa* irradiate con una dose a concentrazione di 4000 r emanata da una sorgente (tubo a raggi X) basta per sterilizzarli e che per deprimere in maniera drastica la fecondità di una normale coppia è sufficiente

l'aggiunta di maschi sterili nel rapporto di 2:1 rispetto ai normali preesistenti. L'irraggiamento deve essere praticato sulle crisalidi di 15 giorni di età (Baccetti & Zocchi, 1963).

L'applicazione di questo metodo di lotta in bosco come unico mezzo di repressione dell'insetto appare in linea teorica impossibile, per la difficoltà di allevare in grandi masse la processionaria in laboratorio alimentandone le larve per molte generazioni successive con foglie di Pino. Tuttavia il metodo dei maschi irradiati può essere un valido mezzo di lotta integrativo alla raccolta dei nidi ed all'allevamento delle larve mature in gabbia per l'ottenimento dei parassiti utilizzando le crisalidi provenienti da questo materiale (Baccetti & Zocchi, 1963).

La lotta chimica si basa sull'impiego di fitofarmaci di sintesi di varia natura come il Diflubenzuron, Triflumuron, Deltametrina e il Carbaryl (Ferrari & Tiberi, 1979).

L'impiego delle suddette sostanze non trova spazio nella difesa della foresta e si adatta come ultima soluzione a situazioni bene definite come gli ambienti antropizzati dove la lotta meccanica e quella biologica inondativa (*B. thuringiensis*) lasciano intravedere un palese rischio o un insuccesso.

3.5. Aspetti della dinamica di popolazione

Come pochi altri insetti, la *T. pityocampa*, probabilmente per le singolari abitudini e per l'impressionante quadro offerto dalle sue comparse in massa nei boschi, gode di una straordinaria notorietà.

Da tempo è noto che le pullulazioni della processionaria sono da considerare autentiche "gradazioni" *sensu* Stellwaag; ma i fattori di tali gradazioni non sono stati ancora compiutamente individuati.

Androic (1956), acutamente interpretando dati meteorologici e risultati di indagini sulla densità delle popolazioni di *T. pityocampa*, ha rilevato come le cause di natura climatica non siano le sole responsabili delle gradazioni.

Il comportamento della processionaria del pino varia molto da una regione all'altra e, in una stessa località, da un anno all'altro, secondo un meccanismo in buona parte dominato da fattori ambientali.

Le variazioni di oltre un mese nella comparsa degli adulti, le oscillazioni annuali di chilometri nell'espansione dell'insetto ai limiti delle zone abitualmente colpite, piantagioni *ex novo* di migliaia di esemplari di pini su terreni spesso del tutto privi di vegetazione, attività diurna delle larve ecc., sono fenomeni che inevitabilmente esercitano un'influenza non trascurabile nel complesso sinecologico formato dalla processionaria, dalle piante ospiti e dai simbionti nel quadro di un ambiente tutt'altro che uniforme (Masutti, 1964).

Analogamente a qualche altro insetto "forestale", la *T. pityocampa* dispone di un campo di azione quanto mai vasto e vario da un punto di vista fitoclimatico; infatti l'ampia possibilità di reperire cibo adatto (dal mediterraneo pino d'Aleppo al continentale pino silvestre) le consente di spaziare dalla sottozona calda del *Lauretum* ai limiti superiori del *Castanetum*, in corrispondenza dei quali la diffusione della specie si arresta automaticamente solo per la soglia termica imposta allo sviluppo dell'insetto dalle temperature minime di agosto e di settembre (Androic, 1956).

Qualsiasi descrizione dei cambiamenti delle popolazioni di insetti si deve basare su stime attendibili della loro dimensione o densità. Talvolta sono facilmente disponibili stime delle dimensioni relative, come quelle che derivano da registrazioni di trappole o da metodi di raccolta standardizzati, in diverse occasioni, o per specie diverse o per stadi differenti del ciclo vitale. Sebbene tali metodi abbiano la loro importanza, essi in genere non forniscono stime accurate della dimensione assoluta delle popolazioni

poiché l'efficacia dei metodi di raccolta o di cattura varia, di solito, in base alle condizioni ambientali o all'attività e al comportamento degli insetti.

Stime sulla densità di popolazione assoluta, espresse in numeri per unità di area o di volume dell'habitat, sono generalmente più difficili da ottenere, ma sono necessarie per studiare la dinamica di popolazione o per determinare il numero di individui presenti in ciascun stadio del ciclo vitale per valutare gli effetti di mortalità, riproduzione o migrazione.

La dinamica di popolazione della processionaria del pino è stata da sempre indagata con riferimento ai vari aspetti del ciclo biologico dell'insetto e ai fattori ecologici che ne condizionano lo sviluppo.

Per la stima delle popolazioni adulte di *T. pityocampa* ci si è basati sul rilevamento delle epoche di volo dei maschi mediante trappole a feromone specifico collocate in campo.

Nel lavoro di Devkota *et al.*, 1992, "Osservazioni sull'attività di volo della processionaria mediante l'utilizzo di trappole a feromoni", viene sottolineato l'aspetto legato alle fasce altitudinali rispetto ai tempi di comparsa degli adulti; alle altitudini più elevate la comparsa (sfarfallamento) è anticipata rispetto a quelle di pianura in modo da utilizzare al meglio il periodo estivo per lo sviluppo embrionale e post-embrionale (es. a 1300 m slm comparsa adulti a partire da giugno).

Bertucci, 1983, in "La processionaria del pino" afferma che lo sfarfallamento è tanto più precoce quanto più alta è la latitudine e, per la stessa latitudine, quanto è più elevata l'altitudine, così come noto in letteratura (Demolin, 1969, Huchon & Demolin, 1971). Le farfalle che hanno costumi crepuscolari e notturni, di giorno stanno posate sulla parte alta dei tronchi e nei punti più riparati, mentre volano verso sera o anche di notte, se c'è la luna. Egli scrive anche sugli aspetti generali della biologia e del comportamento della processionaria e sui trattamenti di lotta, riportando un elenco basato sulla decrescente preferenza, e quindi attacco, delle conifere. Afferma inoltre che le femmine possono raggiungere piante distanti 3-4 Km dal luogo dello sfarfallamento, scegliendo

come luogo di incrisolidamento luoghi illuminati e caldi. La durata della diapausa invece, egli osserva, appare inversamente proporzionale alla durata della vita larvale e, quindi, più lunga in zone mediterranee e più breve in zone continentali e di montagna.

Roversi, 1985, in "Osservazioni sull'impiego di trappole a feromone sessuale di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) sul promontorio del Gargano (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) ha studiato l'affidabilità delle trappole a feromone per il controllo dei periodi di sfarfallamento degli adulti di *T. pityocampa*, e la capacità di queste di evidenziare sfasamenti del ciclo biologico in ambienti anche relativamente vicini dal punto di vista geografico ma con caratteristiche climatico-ambientali diverse.

Baronio *et al.*, 1992, in "Confronto tra le quantità di maschi di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) catturati da trappole ad attrattivo sessuale sintetico in una pineta mista", ha suddiviso il bosco in aree con struttura floristica evidentemente uniforme e successivamente, entro ciascuna di esse, ha identificato, mediante analisi parcellare, le quantità di alberi insistenti per unità di superficie. In ogni area omogenea poi, ha calcolato la densità per ettaro dei pini, delle altre conifere e delle latifoglie presenti e la loro somma. Le 96 trappole utilizzate per l'applicazione sperimentale delle catture di massa, hanno trovato collocazione nelle diverse aree fisionomicamente omogenee. Tali situazioni hanno dato luogo, al loro interno, a movimenti d'aria di differente intensità e direzione, come conseguenza della diversa penetrazione e canalizzazione del vento in mezzo ai tronchi e dell'inversione termica che il riscaldamento delle chiome ha causato nello spazio a loro sottostante.

In "Evoluzione quantitativa di una popolazione di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) trattata con il metodo della cattura in massa." Baronio *et al.*, (1992), scrivono di uno studio svolto in Italia in un bosco misto di pini e latifoglie, sulla dinamica di popolazione mediante catture massali. Effettuando delle ricerche per evidenziare se l'impianto di 20 trappole per ettaro, rispetto alle 10 indicate da Nicolini (1987), è sufficiente a evitare che la popolazione "esplosa"

indipendentemente dalla raccolta dei nidi invernali, essi hanno distribuito trappole in ugual misura su tutta la superficie, appendendole a rami di alberi ad un'altezza da terra compresa tra 1,5 e 2 m, utilizzando 96 trappole a feromone distribuite n 5.75 ha. La valutazione dell'efficacia del metodo di contenimento è stata eseguita tramite il rilievo del numero dei nidi nell'area trattata e nel testimone. Gli autori affermano che i valori relativi alle quantità di individui catturati in ciascun anno non sono correlabili al numero di nidi successivamente rilevati. I voli dei maschi adulti sono iniziati nella prima settimana di luglio per concludersi nell'arco di 15-16 settimane, spingendosi fino alla seconda metà di ottobre. Le presenze maggiori si sono concentrate tra l'ultima settimana di luglio e la fine di agosto.

Baronio *et al.*, 1993, in "Una stima delle popolazioni di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in alcune vallate dell'Appennino forlivese", sostengono che le diverse realtà ambientali in cui si affermano le popolazioni di *T. pityocampa*, ne determinano la consistenza. Il fenomeno, che può avere risvolti locali a opera di situazioni contingenti, come una ridotta efficienza alimentare dei pini anche in conseguenza della pregressa attività del fitofago (Geri, 1983a e b; Geri e Miller, 1985; Battisti, 1988), avviene sempre nell'ambito di una risposta più generale alle condizioni climatiche tipiche del luogo. Infatti la processionaria del pino, come insetto decisamente termofilo, è condizionato dall'andamento delle temperature che si manifestano durante la sua vita larvale (Demolin, 1969), tanto da indurre le crisalidi ad una diapausa prolungata da uno fino a tre o anche quattro anni. L'indagine è stata condotta attraverso il confronto delle densità relative degli adulti alle differenti altezze, conteggiate mediante campionamento con trappole ad attrattivo sessuale sintetico, a cui è stato collegato il numero dei nidi rilevati in aree di saggio poste ai medesimi livelli altitudinali.

Tiberi & Niccoli, 1984, in "Osservazioni pluriennali sull'impiego di trappole con il feromone sessuale di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) (Lepidoptera,

Thaumetopoeidae)“ hanno valutato la possibilità di impiego di trappole come mezzo di rilevamento delle epoche di volo degli adulti del taumetopeide in siti prescelti, ad altitudini diverse e ripetute per più anni, considerando il fatto che come risulta dalla letteratura, il periodo di comparsa degli adulti varia con il variare dell'altitudine delle località considerate e, in queste, con il variare delle condizioni climatiche nei diversi anni (Masutti, 1964).

Da quanto fin qui esposto emerge la straordinaria importanza dell'ambiente in cui la processionaria compie abitualmente il suo ciclo.

4. Area di studio: Il Parco Nazionale d'Aspromonte

4.1. Stato delle conoscenze sulla vegetazione

La superficie forestale della Regione Calabria copre circa il 38.3% del territorio regionale per un totale di 576.900 ha (Inventario Nazionale Forestale, 1985), suddivisi tra boschi di montagna, di collina e di pianura. Il massiccio dell'Aspromonte (fig. 5) è esteso all'incirca 78.000 ha ed è l'ultimo episodio orografico della penisola italiana, occupando quasi per intero il tratto più meridionale della Calabria e coinvolgendo in tutto o in parte 36 comuni della provincia di Reggio Calabria.

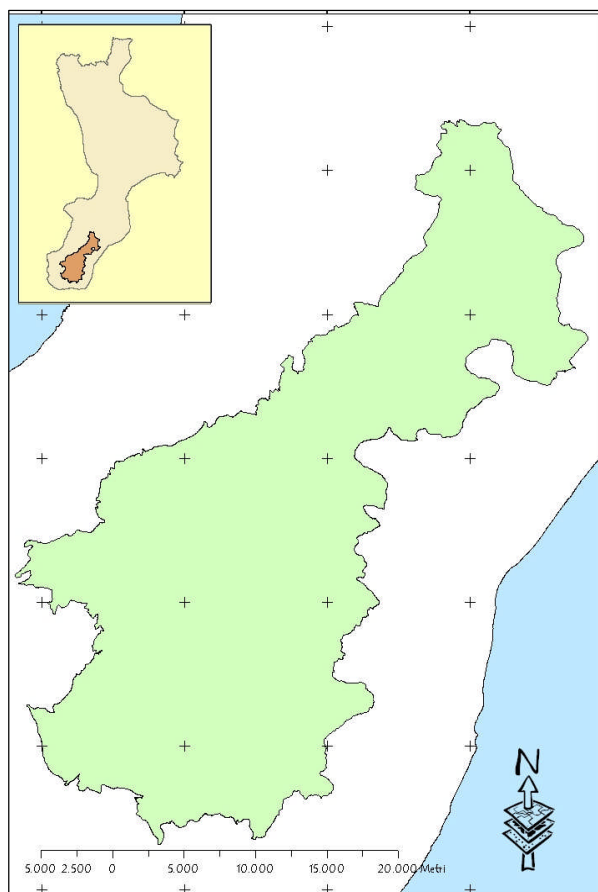


Fig. 5. – Estensione del Parco Nazionale d'Aspromonte.

Esso presenta un ambiente naturale fortemente caratterizzato, con la presenza di specie vegetali e di associazioni forestali particolarmente significative.

Geomorfologicamente risulta formato da un gruppo di rocce metamorfiche con piccole parti granitiche ed è circondato da roccia di tipo sedimentario. Il versante tirrenico è costituito in prevalenza da substrati di tipo cristallino ed è caratterizzato da un susseguirsi dei "petti", scarpate alquanto ripide, e dei "piani", aree pianeggianti formate da terrazzi divisi in quattro livelli sovrapposti che degradano sul mare in suggestive falesie, a strapiombo sul Tirreno, dando origine alla Costa Viola. Il versante ionico si distingue per il paesaggio

eterogeneo, prodotto dall'erosione dei substrati sedimentari e finisce a mare formando

coste per lo più sabbiose. Un'altra peculiarità del massiccio, tradizionalmente configurato come una piramide, è data dalla presenza delle fiumare, corsi d'acqua senza sorgente che, a causa della brevità del loro percorso e dalla considerevole pendenza, assumono carattere torrentizio ed hanno una notevole capacità di erosione. Alla foce il terreno è costituito in prevalenza da sabbia, ghiaia e ciottoli; il letto è alquanto largo ed è ricoperto d'estate da vegetazione spontanea mentre a monte esistono valloni scavati dal violento fluire dell'acqua.

4.2. Patrimonio forestale e caratterizzazione della gestione forestale a *Pinus*

In Aspromonte non esistono "aree naturali", intese come aree libere dall'influenza umana (Anderson, 1991). In questo ambiente i boschi sono stati utilizzati fin dall'epoca romana ed è stata inaugurata una grande distruzione a partire dal '700 e '800 (Placanica, 1985). Ancora oggi il contributo da pagare in termini ecologici per le grandi utilizzazioni degli anni 1940-1950 è assai pesante; gli ambienti boschivi sono stati utilizzati senza alcun criterio selvicolturale in ossequio ad un vero e proprio sfruttamento delle risorse legnose. Le proprietà forestali comunali interessano molti dei migliori boschi e anche in presenza di un piano di assestamento sono state gestite in modo occasionale con interventi più di natura economica che colturale, volti solo a ricavare in primo luogo fondi per l'Ente (Novaco, 1984). I piani economici dei Comuni sono attualmente scaduti da 30 anni e non stati revisionati. Per cui la forma di trattamento più diffusa per le fustaie consiste nel taglio a scelta, senza alcun riferimento con i parametri che contraddistinguono il taglio saltuario (periodo di curazione, diametro di recidibilità, ecc.). Oltre ai trattamenti irrazionali, le azioni di disturbo delle formazioni forestali che hanno inciso sulla conservazione della struttura, composizione e funzionalità sono il pascolo incontrollato, l'estensione delle colture agrarie, l'incendio, in tempi più recenti la concentrazione del flusso turistico in aree sensibili. Allo stato

attuale, il fuoco e il pascolo restano i principali fattori di degrado del bosco. Le misure di salvaguardia dell'area sono state limitate e poco efficaci. Tra queste vanno citate:

- a) la creazione della foresta dell'Aspromonte a cura dell'ASFD, a partire dal 1911, con la presa in consegna del fondo Nardello I già dei Padri Basiliani e con i successivi ampliamenti: Basilicò nel 1913, Gambarie nel 1915, Nardello II nel 1924, Marrapà nel 1926, Menta-Cavaliere nel 1936, Cavaliere nel 1951, Ferraghena o Ferraina nel 1951, Carrà nel 1953, Juncari-Montalto nel 1954, Castagneto nel 1954 per un totale di 3.925 ettari;
- b) l'istituzione nel 1968 della sezione Aspromonte del Parco Nazionale della Calabria, che comprendeva 3.241 ettari, di cui 2.907 già appartenenti al demanio forestale.

Le conoscenze sulla distribuzione, caratterizzazione e gestione dei boschi sono carenti. I piani di assestamento (piani economici) dei Comuni del comprensorio hanno un'impostazione mirata allo sfruttamento delle risorse legnose e contengono solo informazioni sulla distribuzione e sulla produzione legnosa. Pochi sono gli articoli di carattere generale che danno notizie sulla passata gestione delle risorse forestali. Più numerosi sono invece i lavori riguardanti la gestione selvicolturale delle singole specie e delle formazioni arboree; di rilevante importanza sono gli "studi sulla vegetazione dell'Aspromonte" (Brullo *et al.*, 2001) e gli "studi preliminari sulle tipologie forestali riguardanti l'area aspromontana" (Caminiti *et al.*, 2002; Spampinato, 2002).

Le foreste a *Pinus* spp. si estendono in natura in un'ampia varietà di ambienti, da quelli pre-artici (taiga), con inverni notevolmente freddi e corte stagioni di crescita, a quelli tropicali dove non si registrano geli invernali e la stagione di crescita è continua tutto l'anno. L'areale è limitato all'emisfero nord (con l'eccezione di *Pinus merkusii* a Sumatra) e il genere presenta circa cento specie (MIROV, 1967). Le specie di pino presenti all'interno del Parco Nazionale d'Aspromonte sono il Pino nero (*Pinus nigra* Arnold), il

Pino marittimo (*Pinus pinaster* Aiton), il Pino insigne (*Pinus radiata* D. Don = *Pinus insignis* Dougl.) e il Pino strobo (*Pinus strobus* L.).

PINO NERO

Sotto il nome di *Pinus nigra*, usato in senso generale, sono comprese unità biologiche - sistematiche, con scarsa differenziazione morfologica ma forte frammentazione geografica, che possono considerarsi sottospecie, qualche volta elevate al rango di specie, varietà, razze geografiche, biotipi ed ecotipi che nell'insieme si distribuiscono in un'area molto vasta nel bacino del Mediterraneo. L'areale di questa specie è disperso irregolarmente in isole d'estensione più o meno ridotta; s'estende dalla Spagna ad ovest (5° longitudine) alla Crimea ed all'Asia Minore ad est (40° longitudine), dall'Austria a nord (48° latitudine) all'Algeria ed al Marocco a sud (35° latitudine). La presenza di numerose entità isolate ha certamente esaltato, per ognuna, determinati caratteri ecologici dando vita a numerosi ecotipi, costituendo una varietà sistemica utilissima per la realizzazione d'impianti visto che per ogni ambiente si può scegliere, tra i vari ecotipi, quello meglio adattabile. Si riduce in tal modo la variabilità genetica del materiale impiantato ma ci si assicura una migliore corrispondenza del genotipo alle caratteristiche ambientali del sito d'impianto e quindi si aumenta la probabilità di una buona riuscita di questo.

Albero non più alto di 30 m con chioma densa di un verde molto cupo, regolare, piramidale, presenta tronco diritto, ricoperto di scorza bruno-grigiastra, rugosa e fessurata, con placche rettangolari. Gli aghi sono appaiati, verde scuro, più o meno rigidi, lunghi 4-19 cm e spessi 1-2 mm, acuti e pungenti. I coni maschili sono gialli di forma cilindrico oblunga; quelli femminili, sessili, solitari, appaiati o a tre attorno ai rami, ovoidali, opachi poi bruno ocra.

La distribuzione naturale delle stazioni di pino nero è presentata da Debazac (1971) come legata alle caratteristiche del suolo e particolarmente al contenuto di carbonato di calcio e a quello doppio di calcio e magnesio, rispettivamente per le rocce calcaree e per quelle dolomitiche, oppure per il contenuto di solo magnesio per le rocce ofiolitiche. Questo legame fra la presenza del Pino nero ed il forte contenuto di magnesio oppure di magnesio e calcio sotto forma di carbonati dimostra che la specie possiede una particolare attitudine a vivere in tipi di terreni dove invece la maggior parte delle altre specie forestali male s'adatta; tale capacità d'adattamento è dovuta, tra l'altro, alle micorrizze del suo apparato radicale, il quale in giovane età è fittonante per poi divenire fascicolato e superficiale. Oltre alle caratteristiche chimiche sono di fondamentale importanza anche quelle fisiche, in particolare l'abbondanza della parte scheletrica o comunque l'esposizione allo scoperto ed in pendio del substrato roccioso.

Infine, le formazioni naturali si trovano spesso su superfici in forte pendio sulle quali più difficilmente riesce ad evolversi un suolo forestale e dove quindi la concorrenza tra le specie forestali non segue la stessa dinamica che si verifica su suoli ben evoluti.

Il Pino nero è una specie montana ed in particolare della fascia del *Fagetum* sottozona calda e del *Castanetum* sottozona fredda dove tende ad occupare quelle stazioni situate sui rilievi montani in cui per deficienza d'umidità, soprattutto a livello del suolo, il faggio e le altre specie non riescono ad insediarsi. Infatti, possiede un potenziale di base critico decisamente meno negativo di quello di altre specie forestali (Aussenac e Granier, 1978), ciò significa che limita il suo consumo d'acqua, e dunque il suo prelievo sulle riserve del suolo, quando il deficit d'umidità del suolo è ancora relativamente moderato. Questa facoltà d'evitare la siccità gioca a sfavore della sua crescita estiva ma gli evita un disseccamento estremo dei tessuti, ciò gli permette di risultare più resistente al fuoco (più è alto il contenuto idrico dei tessuti

meno essi risultano combustibili), ma soprattutto la sua gran resistenza al forte disseccamento limita il rischio di deperimento del popolamento e garantisce dunque il mantenimento del soprassuolo boscato.

Si tratta di una specie molto plastica nei confronti delle variabili climatiche tant'è vero che le sue stazioni possono andare dal livello del mare (250-300 m) fino ai 1.600 m di quota, anche grazie alla buona resistenza alla neve delle sue ramificazioni.

L'azione di degrado degli ecosistemi forestali provocata da attività antropiche irrazionali ha modificato in molte aree montane la dinamica della competizione tra le specie favorendo in molti casi il Pino nero, con la conseguente formazione di pinete d'origine secondaria.

La capacità di svilupparsi e rinnovarsi su suoli scarsamente potenti od addirittura su litosuoli l'ha resa specie fondamentale di tutti i rimboschimenti in quanto questa sua caratteristica permette agli operatori di raggiungere l'obiettivo di assicurarsi la copertura verde del suolo e, grazie alle modifiche microclimatiche e pedologiche da essa prodotte, permettere la ricolonizzazione dell'area da parte della vegetazione forestale spontanea. A tal proposito nel 1937 De Philippis affermava che: *"il pino austriaco, e le razze affini, rappresentano piante adattissime per essere i pionieri del ripopolamento forestale di terreni poveri e su cui sarebbe difficile far attecchire altre specie. Solo in seguito, sfruttando il lavoro compiuto da questi modesti e frugali colonizzatori, quando il terreno è formato od arricchito e migliorato, specie più pregiate possono gradualmente sostituire le pinete e darci un bosco che sarebbe stato impossibile impiantare direttamente"*.

Il pino nero, eliofilo, plastico e frugale, con un seme leggero (0,02g senza ala) ed alato, un rapido raggiungimento della maturità sessuale (10-20 anni) ed un breve periodo d'interpasciona (2-5 anni), è, quindi, una specie colonizzatrice (Hermanin,

1980) ovvero è in grado di costituire una copertura forestale laddove essa non esiste, in assenza di un substrato pedologico evoluto ed in condizioni climatiche difficili sia per quel che riguarda la siccità estiva sia per le basse temperature invernali.

Caratteristica è la sua architettura della chioma, formata da rami verticillati ascendenti su cui s'inseriscono gli aghi formando angoli acuti con l'asse del ramo, che gli permette di intercettare una maggiore frazione di precipitazioni rispetto ad una latifoglia, convogliandole al suolo lungo il fusto; ciò fa sì che la zona intorno al piede dell'albero sia considerevolmente più umida, grazie anche all'assenza del tappeto erboso che non vi trova le necessarie condizioni radiometriche per svilupparsi, e quindi offra le condizioni migliori per la rinnovazione delle latifoglie ombrotolleranti ed in particolar modo del faggio.

L'architettura della sua chioma gli permette di variare, durante l'anno e durante la processione giornaliera del sole, la silhouette dell'area fogliare (ovverossia quella porzione d'area fogliare direttamente, perpendicolarmente, colpita dai raggi solari definita SLA) ottimizzando così, l'intercettazione della radiazione solare; infatti la disposizione dei rami, e quindi degli aghi, formanti angoli acuti con lo zenit, gli permette di avere valori di SLA alti quando il sole ha bassi valori d'azimut (al mattino, alla sera e durante i mesi invernali) sfruttando così al massimo la luce solare quando si trova nelle migliori condizioni idriche, e sfuggendo l'intensa radiazione e le conseguenti alte temperature, delle ore centrali del giorno e dei mesi estivi. Naturalmente tale disposizione della superficie fotosintetizzante risulta vantaggiosa, nella competizione con le altre specie, nel caso in cui l'ambiente sottoponga le piante a stress idrici considerevoli.

L'habitus sempreverde gli consente d'averne, rispetto alle caducifoglie, un maggior guadagno di carbonio per unità di nutrienti investita, soprattutto grazie al minor

tasso di perdita dei nutrienti, dovuto alla ridotta produzione di lettiera (maggiore vita media dei tessuti, gli aghi hanno un tempo di vita media di 4 (8) anni) alla sintesi di tessuti a bassa concentrazione di nutrienti, al riassorbimento dei nutrienti dai tessuti senescenti.

Alle nostre latitudini le conifere sempreverdi pur presentando, rispetto alle latifoglie caducifoglie, una minore pendenza della retta di relazione A_{max} / N (capacità di fotosintesi netta per unità di peso fogliare su unità d'azoto fogliare) assimilano, rispetto a queste, una maggior quantità di carbonio per unità di azoto impiegata. In altre parole se una latifoglia riesce ad avere un vantaggio competitivo per la sua maggiore capacità fotosintetica, in un ambiente dove tale capacità è naturalmente ridotta (carenza di nutrienti, d'acqua, di luce, forti oscillazioni climatiche) le conifere grazie alla maggior lunghezza di vita media fogliare, alla minor concentrazione di nutrienti per unità di peso fogliare e più in generale per la fisiologia dell'acqua (migliore capacità d'uso delle risorse idriche) e degli assimilati del carbonio riescono ad ottenere un vantaggio fotosintetico. Inoltre si consideri che lo xilema delle conifere, rispetto a quello delle latifoglie, ha una conduttività idraulica veramente inferiore risultando così più resistente ai danni da cavitazione (embolie) e da freddo.

Questa specie è molto variabile e se ne riconoscono almeno cinque razze geografiche che sono le sottospecie: *nigra* (in Austria, Italia centro settentrionale, Grecia); *salzmanii* (Dunal) Franco (nei Pirenei); *Pinus nigra* (*Pinus nigra* Poiret ssp. *calabrica* Delam. = *Pinus laricio* Poiret), (in Corsica, Calabria e Sicilia); *dalmatica* (Vis) Franco, (in ex Jugoslavia occidentale); *pallanziana* (Lamb.) Holmboe, (Penisola Balcanica).

PINO MARITTIMO

È un albero che può raggiungere i 35 metri di altezza, con chioma inizialmente conica e regolare, quindi espansa fino a raggiungere una forma irregolarmente a

cupola o quasi ombrelliforme. Il tronco prima diritto, tende poi a crescere obliquamente o ad assumere una linea leggermente incurvata.

La corteccia grigia e finemente rugosa da giovane, presenta in maturità una scorza con profonde scanalature e placche all'incirca rettangolari.

Le foglie sono persistenti, aghiformi, appuntiti, della lunghezza di 15-20 cm e spessi fino a 2 mm, di un verde scuro più o meno brillante, sono appaiati e avvolti alla base da una lunga guaina traslucida sottile e persistente; di consistenza rigida terminano con una punta acuta e spinescente. Dalle infiorescenze femminili si generano tipiche pigne coniche e affusolate di 15-20 cm di color nocciola che maturano nel 2° anno; sono di consistenza molto legnosa e rimangono sui rami per alcuni anni.

Nel nostro paese è diffuso e coltivato nella zona del *Lauretum* freddo e nella sottozona calda del *Castanetum*, la specie è alquanto xerofila ma esige climi a temperatura mite senza eccessivi sbalzi termici e con estati non troppo asciutte.

La specie è costiera e diffusa fino a 800 m di quota ed eccezionalmente fino a 2000 m; predilige i suoli sciolti, ben areati, in particolare le sabbie litoranee e necessita di ambiente acido o subacido. Il Pino marittimo ha un areale costiero dal Mediterraneo occidentale all'Atlantico. È un'essenza forestale di primaria importanza usata nei rimboschimenti data la sua preziosa facoltà colonizzatrice e la prerogativa di fissare rapidamente le sabbie degli arenili litoranei dove resiste alla salsedine e ai venti marini meglio del pino domestico cosicché le pinete di pino marittimo vengono utilizzate anche per costituire fasce di protezione per le retrostanti pinete di pino domestico (Gellini, 1996).

PINO INSIGNE

Conifera esotica introdotta in Italia a partire dagli anni 1965-70, in Sardegna, Calabria e Toscana. Raggiunge i 40 m di altezza con chioma densa e irregolare, il

fusto è diritto con corteccia molto spessa, profondamente fessurata e sfaldatesi in placche di color rosso bruno cupo.

Le gemme brune, ovoidi, con perule libere e riflesses all' indietro, poco resinose. Aghi in gruppi di 3, raramente di 2, verde vivo, lunghi fino a 15 cm, piuttosto rigidi e pungenti con margini finemente e strettamente dentati; la guaina è persistente; gli aghi sono portati rivolti in avanti e sono molto fitti e numerosi.

Gli strobili, di color bruno cupo lucente, sono subsessili o brevemente pedunculati, di forma ovato-conica.

Specie termofila che può essere impiantata fino alla sottozona calda del Castanetum, l'optimum climatico si trova nella regione collinare litoranea dell'Italia centrale ed in quella montana del mezzogiorno e delle isole che coincide con i limiti della sottozona fredda del Lauretum (Annali-Arezzo, 1981-82). Poco xerofila, necessita di almeno 800 mm di pioggia, è sensibile alle gelate ed è esigente in suoli profondi non cartonatici. Ha un comportamento pioniero.

Ha un areale frammentato molto piccolo e limitato a tre piccole zone lungo le coste della California, una ulteriore stazione si trova nell' isola di Guadalupe al largo della Baja California dove è presente con una varietà a 2 aghi; la località dove questa specie è più abbondante e dove raggiunge le sue dimensioni maggiori è nella baia di Monterey (GELLINI, 1996).

PINO STROBO

Originario del Nord America fra Canada ed Usa. Fu introdotto in Europa nel '700 e poi naturalizzato, soprattutto nel centro Europa. Il pino strobo è una pianta frugale che si adatta a terreni poveri, morenici, torbosi e di brughiera (teme la siccità). Il *P. strobus*, come essenza forestale, popola le regioni prealpine centro-occidentali, nella fascia del Castagno. Il suo legno leggero e indeformabile viene usato per infissi, pavimenti, fiammiferi e nell'industria cartaria.

La chioma è globosa, allungata; il tronco è eretto e la corteccia si presenta con la scorza sottile. I rametti sono di un colore verdastro, sono glabri, leggermente pubescenti. La foglia è formata da aghi esili, lunghi cm. 10-12, riuniti in fascetti di 5, leggermente dentellati, di colore verde scuro sulla superficie rivolta verso l'esterno, più chiari su quella interna. I frutti, strobili cilindrici verdi nella crescita, poi penduli e ricurvi, sono lunghi 12-13 cm.. Le squame sono sottili e lisce, a punta inerme, molto resinose, si aprono a maturità per liberare i semi (Gellini, 1996).

5. Individuazione delle forme e delle strutture ambientali

5.1. La rappresentazione del territorio

La riconoscibilità dei luoghi è tema di non immediata interpretabilità, da inquadrare nell'ambito più esteso dei rapporti di conoscenza tra uomo e ambiente.

L'ampliamento del concetto e delle definizioni di ambiente per la nota complessità intrinseca degli ecosistemi, per il numero di variabili da indagare e le conseguenti interrelazioni a scala territoriale, aggiunge un elemento di problematicità. Inoltre la crescente rapidità dei mutamenti indotti dall'azione antropica, impone lo sviluppo di strumenti che garantiscono il tempestivo aggiornamento delle conoscenze.

Complessità e dinamismo dei fenomeni sono, dunque, i punti di partenza per affrontare la riconoscibilità dei luoghi in termini di parametri intrinseci, usi e valori.

A superamento degli approcci classici delle indagini a supporto della pianificazione e gestione ambientale, è possibile utilizzare i dati cartografici e inventariali al fine non solamente di rappresentare e quantificare le risorse, ma anche di valutarne qualitativamente e funzionalmente le interconnessioni con il territorio e con i molteplici interessi antropici. Analizzare i contorni di ciascuna tessera del mosaico territoriale e valutare la posizione spaziale delle diverse biocenosi e infrastrutture permette di leggere gli usi del territorio non solamente in funzione delle variabili ambientali, ma anche in relazione agli aspetti socioeconomici, urbanistici e infrastrutturali. In questa ottica, descrivere le unità di territorio è atto concettuale e operativo che supera lo specifico disciplinare e si concretizza in sistemi di rappresentazione che, a diverse scale, offrono un concreto contenuto di riconoscibilità a sistemi, sottosistemi ed elementi di paesaggio. Dalle modalità di riconoscimento e dal contenuto informativo prodotto conseguono le valutazioni a supporto e indirizzo della strutturazione e organizzazione dei processi gestionali (CORONA *et al.*, 2001). È per questo motivo che le tecnologie relative all'Earth Observation (EO) e all'uso dei Geographical Information System (GIS)

hanno acquisito con il passare del tempo un ruolo fondamentale per lo studio, il monitoraggio e la gestione dell'ambiente.

Le applicazioni in cui vengono impiegate queste tecnologie coprono settori culturali ampi e diversificati, per cui essi sono da considerarsi, per loro intrinseca natura, trasversali: esempi si ritrovano nelle scienze umanistiche e in quelle mediche, nell'ingegneria e nell'architettura, in geologia e nelle scienze ambientali e naturalistiche.

Ai molteplici tipi di applicazioni possono essere associate differenti modalità di configurazione e implementazione. Vi è però spesso una certa coincidenza tra le tecnologie, le metodologie di base e, soprattutto le fonti informative in generale adottate, che permette di delineare un quadro valido, entro certi limiti, per i diversi livelli di intervento; l'adattamento alle esigenze informative dei vari livelli viene infatti conseguito agendo su parametri che non alterano l'essenza degli strumenti e delle fonti informative stesse.

Negli ultimi anni, il campo della rappresentazione del mondo ha vissuto due rivoluzioni scientifiche: la prima è consistita nell'affermarsi di una cartografia non solo più rivolta a rappresentare – con sempre maggiore precisione – la posizione e la forma degli oggetti, naturali o artificiali, ma anche attenta a delineare le caratteristiche quantitative di "cose" e "fenomeni" e le loro correlazioni, per risalire ad una possibile spiegazione dei fenomeni e quindi formulare leggi di comportamento dei fenomeni stessi. La seconda "rivoluzione" ha ancora come protagonista l'informazione geografica alla quale però si associa la larga diffusione della tecnologia informatica, così da dare origine ai Sistemi Informativi Geografici (GIS). Si sommano così potenzialità che consentono di superare i limiti strutturali insiti nelle modalità di trasmissione dell'informazione geografica; l'informazione è fornita dagli apparati di telerilevamento, guidati a loro volta dai sistemi per il posizionamento globale (GPS). La memoria elettronica di quest'ultimi assicura un accumulo pressoché illimitato di dati e la disponibilità di sofisticati programmi, per

l'analisi degli stessi dati, consente la restituzione grafica, in tempo reale, dei più diversi tipi di "carte".

La disponibilità dei GIS prefigura dunque, un "mondo nuovo", non limitato all'ambito della ricerca geografica. I GIS, infatti, possono diventare "sistemi di supporto alla decisione". In altri termini, grazie alla elaborazione di enormi quantità di dati ed alla deduzione delle linee di tendenza nel comportamento dei fattori e componenti di un territorio, i GIS possono fornire ai *decision-makers* la soluzione ottimale.

5.2. Rilievo fitosociologico e classificazione

Habitat è un termine che deriva dal latino "abitare", e indica il complesso delle condizioni ambientali in cui un organismo vive. Per habitat si intende quindi una unità strutturale identificabile come elemento di un ecotessuto o paesaggio.

Le necessità legate all'analisi e alla gestione dei sistemi ambientali a diversi livelli di organizzazione hanno determinato lo sviluppo di classificazioni volte a suddividere il territorio in ambiti omogenei in relazione a una o più variabili.

Chiaramente per il termine habitat sono state coniate numerose definizioni e, nel contesto europeo, viene generalmente accettata la definizione: "*Estensione topografica omogenea e sue componenti fisiche e biotiche considerate alla scala del fenomeno studiato*" (Blondel, 1979, 1995).

L'habitat ha un'organizzazione tridimensionale nello spazio e considera l'interazione tra aria, acqua e suolo. In esso vengono incluse l'atmosfera fisica e le comunità di piante e animali che la occupano.

Tutte le classificazioni ecologiche, così come ogni metodo per generare mappe tematiche e di sintesi, necessitano di una procedura per identificare gli ambiti

omogenei. Esse si basano cioè su una sintassi (analisi formale) per permettere una semantica (analisi del significato).

Il procedimento deduttivo sta alla base degli impianti teorici di classificazione ecologica che ambiscono a coprire lo spettro delle tipologie di sistemi per un dato ambito territoriale (Odum, 1969).

La metodologia affermata in Europa nello studio della vegetazione è quella fitosociologica che ha come unità di base l'associazione vegetale (Braun-Blanquet, 1951). Poiché il sistema tipologico definito in fitosociologia risulta però complesso per i problemi della gestione corrente, è possibile realizzare un sistema di riferimento semplificato, basato sulla composizione floristica principalmente dello strato arboreo, e di poche altre specie erbacee particolarmente significative (integrazione tra gli aspetti fisionomici e fitosociologici), che sia correlato con gli aspetti applicativi e gestionali. Da questa impostazione deriva la definizione di tipologia forestale intesa come quel "sistema di classificazione delle formazioni forestali in unità floristico - ecologico - strutturali con finalità applicative quali quelle selvicolturali e gestionali" (Del Favero *et al.*, 1990).

La copertura vegetale di un territorio può essere considerata come il risultato dell'interazione delle componenti biotiche ed abiotiche dell'ecosistema. Le diverse popolazioni delle specie vegetali, che determinano fisionomia e struttura della vegetazione, si distribuiscono in un territorio in funzione delle caratteristiche climatiche, dei fattori del suolo e delle interazioni tra e dentro le diverse specie vegetali.

La vegetazione può essere distinta in unità discrete, le associazioni vegetali, a cui corrispondono definite condizioni ecologiche. Le associazioni vegetali sono individuate dall'analisi della composizione floristica considerata nella sua interezza, e non solo delle specie dominanti (Pignatti, 1998)

Questo metodo, permette di individuare nella vegetazione varie tipologie mettendone in evidenza la distribuzione nel territorio, il ruolo dinamico e le relazioni che questa ha con i fattori, climatici, topografici ed ecologici in generale.

Questo sistema di fattori che si modulano nel tempo e nello spazio, produce un numero elevato di stadi in cui alle azioni ambientali corrispondono reazioni della vegetazione, vale a dire risposte adatte che possono essere definite come combinazione di specie in equilibrio relativo.

Le informazioni ottenute dallo studio della vegetazione rappresentano l'indispensabile supporto conoscitivo per una corretta programmazione degli interventi di valorizzazione delle risorse forestali e ambientali.

L'uomo per natura ha necessità di disporre di sistemi di classificazione e di creare modelli per interpretare la complessa realtà ambientale. Questa esigenza è sentita in tutte le discipline scientifiche. Nel campo della scienza della vegetazione la metodologia fitosociologica (Ubaldi, 1997) prevede la descrizione di un campione di vegetazione, su una superficie scelta all'interno del popolamento elementare, con lo scopo di individuare tipologie di vegetazione, indicate come associazioni vegetali, che presentano una combinazione di specie caratteristica.

Obiettivo delle classificazioni ecologiche è contribuire, attraverso la descrizione del contesto ecologico - ambientale, alla conoscenza dei fenomeni che avvengono in quel contesto.

Le classificazioni ecologiche del territorio (*ecological land classification*) assumono che le unità ambientali siano sede di altrettanti sistemi ecologici, a loro volta omogenei nell'ambito dei confini di ogni singola unità ambientale (Forman e Godron, 1986).

Nel presente lavoro ogni tipologia forestale a *Pinus* è stata riferita ai seguenti sistemi di classificazione:

- Corine Land Cover, al V livello d'approfondimento, secondo il sistema di classificazione nazionale della copertura del suolo adottato nel progetto "Completamento delle conoscenze naturalistiche di base" (ConSCN250) e Corine Biotopes (CEC,1991);
- Sistema europeo di classificazione degli habitat Eunis Habitat Classification (III livello) (Davies e Moss,1997).

Classificazione CORINE

A questa tipologia appartiene il sistema di classificazione europeo Corine Biotopes (CEC,1991), che può essere considerato una sintassonomia degli ecosistemi *sensu* Tansley (1935). Sulla base di tale definizione l'unità dell'habitat viene individuata come insieme di unità spaziali in cui le organizzazioni sufficientemente simili in termini abiotici, fisionomici, fito e zoo-cenotici svolgono ruoli analoghi dal punto di vista della conservazione della natura. Per determinare il limite delle unità di habitat, questo primo sistema di classificazione tiene conto del criterio secondo cui due habitat vengono considerati distinti se le comunità delle piante o degli animali che essi supportano possiedono differenze tali da conferire, a loro volta, differente importanza nella conservazione delle specie sensibili. Esso è stato adottato ufficialmente da tutti i paesi dell'Unione Europea ed è alla base della prima realizzazione prototipale della carta della Natura per il nostro Paese (Rossi e Zurlini, 1993), strumento di base per la definizione delle linee generali di assetto del territorio, così come previsto dalla Legge Quadro sulle Aree Protette (394/91). Il sistema è di grande interesse e può essere considerato la base per la costruzione di un sistema di conoscenza e di rappresentazione della natura, in quanto costituisce un primo livello di individuazione/classificazione strutturale delle unità ambientali, sulla base del quale possono essere studiate e rappresentate le interazioni funzionali e le dinamiche temporali tra le unità stesse, tra le sotto-unità e tra

i livelli gerarchici superiori, costruendo un sistema di rappresentazione gerarchico e integrato.

CORINE LAND COVER - LIVELLO 5		CORINE BIOTOPES	
Cod.	Tipologia	Cod.	Tipologia
31.2	BOSCHI DI CONIFERE		
31.22	Boschi di pino nero, laricio, silvestre, coricato		
31.221	Rimboschimenti di pino nero Formazioni pure di pino nero (<i>Pinus nigra</i> Arn.), derivate da rimboschimenti su suoli degradati nella fascia dei boschi a latifoglie mesofite.	83.3112	European pine plantations
31.223	Rimboschimenti di pino nero e pino silvestre Rimboschimenti di piccole entità a prevalenza di pino nero (<i>Pinus nigra</i> Arn.) e pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i> L.), associati a varie specie di cedri (<i>Cedrus</i> sp. pl.)	83.3112	European pine plantations
31.224	Pinete di pino laricio Boschi pionieri degli entisuoli e inceptisuoli silicei costituiti da fustaie di pino laricio (<i>Pinus laricio</i> L.), che, generalmente, vegeta in purezza. Sono riconducibili all'associazione <i>Hypochoeridi-Pinetum laricionis</i> Bonin, 1978. Nullo o scarso il sottobosco, costituito per lo più da specie adatte a substrati acidi (<i>Astragalus calabricus</i> Fischer, <i>Anthemis triumphettii</i> All., <i>Genista sagittalis</i> L.)	42.651	Sila and Aspromonte Laricio forests

Tab. 1. – Classificazione Corine per i boschi di conifere presenti all'interno del Parco Nazionale d'Aspromonte.

Classificazione EUNIS

La classificazione EUNIS è un sistema gerarchico che prende in considerazione tutti i tipi di habitat, naturali ed artificiali, terrestri, d'acqua dolce e marini, ed è realizzato in modo da potersi collegare con gli altri importanti sistemi europei di classificazione. L'esigenza di una classificazione degli habitat nasce da molteplici fattori, che possono riguardare l'istituzione di normative di protezione, la realizzazione di un inventario degli habitat in una regione, paese o zona biogeografica o il monitoraggio della biodiversità. Tuttavia, mentre la tassonomia riferita alle specie è ampiamente studiata, la classificazione degli habitat (e ancor più una classificazione che tenga conto anche delle caratteristiche abiotiche dell'ambiente) ha uno sviluppo relativamente recente. Un sistema di

classificazione degli habitat dovrebbe essere completo, scientifico, inequivocabile e facilmente comprensibile. Peculiarità della classificazione EUNIS è da un lato la costruzione rigorosamente gerarchica e dall'altra la presenza della chiave dicotomica, analoga alle chiavi per l'identificazione delle specie, sviluppata per i primi tre livelli gerarchici. Nonostante il rigore usato per la realizzazione di tale classificazione, bisogna tenere conto che gli habitat sono difficili da definire analiticamente e le distinzioni non possono essere determinate geneticamente come si fa per le specie animali o vegetali: la classificazione rappresenta quindi un compromesso fra differenti opinioni.

EUNIS HABITAT CLASSIFICATION (III livello)	
Cod.	Tipologia
G3	Boschi e foreste di conifere
G3.5	Boschi e foreste di <i>Pinus nigra</i> e specie affini
G3.55	Foreste calabresi di <i>Pinus laricio</i>
G3.57	Rimboschimenti di <i>Pinus nigra</i>

Tab. 2. – Classificazione Eunis per i boschi di conifere presenti all'interno del Parco Nazionale d'Aspromonte.

Le formazioni forestali prese in esame nel presente studio appartengono quasi totalmente a due categorie di popolamenti forestali: i boschi di pini montani e oro-mediterranei e i rimboschimenti di conifere. Nel primo gruppo sono comprese foreste mediterraneo-montane caratterizzate dalla dominanza di specie endemiche del ciclo di *Pinus nigra* ssp. *calabrica* (= *Pinus laricio* var. *calabrica*) endemica dei rilievi silicei dell'Appennino Calabrese e dell'Etna. Questo habitat è principalmente diffuso sul versante ionico della fascia montana dell'Aspromonte tra 1.200 e 1.500 m di quota ed esplica una notevole importanza nella conservazione del particolare patrimonio genetico del pino calabro. Esso svolge un'azione insostituibile nel consolidamento dei versanti fortemente acclivi ed erosi e nell'avvio di processi pedogenetici che portano all'affermarsi dei boschi di latifoglie. Nel secondo gruppo sono invece inseriti tutti gli interventi di rimboschimento eseguiti negli anni '50 – '70 (Fig. 6).

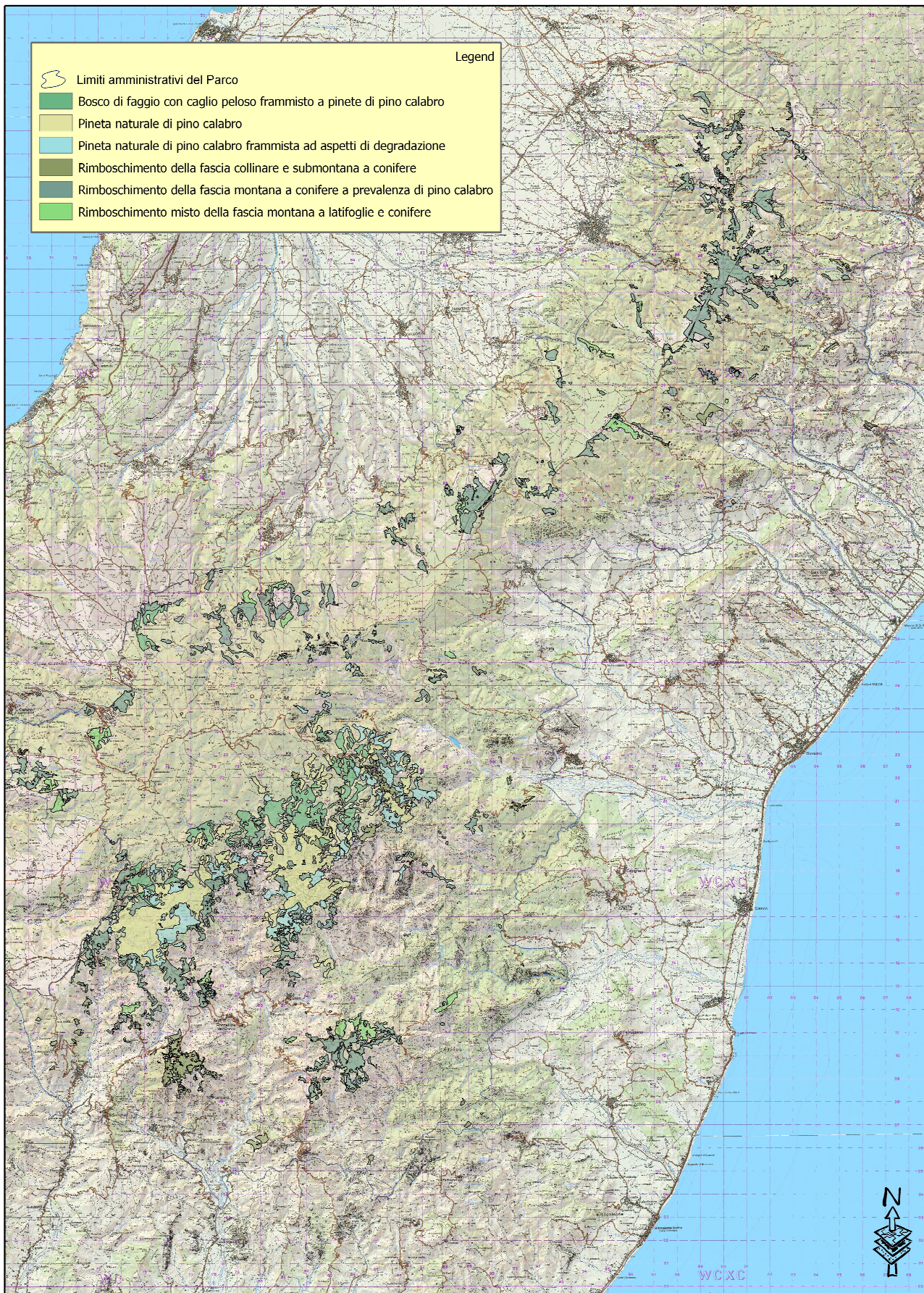


Fig. 6.- Formazioni forestali a *Pinus* presenti nel Parco Nazionale d'Aspromonte

Tale azione di rimboschimento ha avuto nel complesso una notevole rilevanza per la vastità, anche in quest'area, delle opere realizzate con conseguenze positive sul piano della conservazione del suolo e produttive e per i riflessi su quello paesaggistico e economico – sociale.

5.3. Tipologie dei boschi presi in esame

5.3.1. Boschi di pini montani e oro-mediterranei

In questa categoria sono inclusi i popolamenti naturali a dominanza di pino calabro. La specie era in passato inclusa nel pino laricio della Corsica (*Pinus laricio* Poiret) descritto per quest'ultimo territorio. La revisione di Murray (1983) ha posto in evidenza l'autonomia tassonomica dei popolamenti calabresi e siciliani collocandoli in una sottospecie di *Pinus nigra* (*Pinus nigra* Poiret ssp. *calabrica* Delam. = *Pinus laricio* Poiret). La presenza del pino calabro si ricollega alle pinete che esistevano sulle montagne mediterranee durante il Pliocene (Pignatti, 1998). La diffusione delle pinete di pino calabro sarebbe dovuta soprattutto ai frequenti incendi delle faggete ed al seguente ripopolamento del pino (Hofmann, 1991). L'evoluzione verso la faggeta può essere diversificata nel tempo o non avvenire affatto come nelle zone caldo-aride o su suoli mineralizzati e superficiali ad evoluzione bloccata (edafoclimax). I popolamenti di pino calabro si estendono soprattutto sul versante meridionale del massiccio fra 1.200 e 1.600 m, più limitatamente in quello occidentale fra 1.100 e 1.350 m per scendere localmente fino a 900 m. La temperatura media annua è compresa tra 10,9 e 7,0°C, la precipitazione media annua tra 1.100 e 1.800 mm e quella estiva tra 45 e 115 mm. Le pinete si localizzano soprattutto su scisti, gneiss biotitici, graniti, più raramente, su rocce sedimentarie. I suoli sono nettamente acidi, a tessitura franco sabbiosa, più o meno profondi nelle zone pianeggianti, mentre in quelle in forte pendenza sono superficiali o a roccia affiorante per fenomeni erosivi. Il sistema di trattamento è riconducibile ai tagli a schiumarola, tagli raso con riserve, taglio raso a quinte, taglio

raso a strisce, tagli successivi, taglio a scelta, con turni di utilizzazione variabili tra 70 e 100 anni. La rinnovazione naturale è generalmente abbondante. Le forti utilizzazioni del passato, il pascolo, e soprattutto il fuoco, hanno favorito l'espansione del pino, in alto verso la faggeta, in basso nelle aree di vegetazione di rovere, roverella (*Q. virgiliana*; *Q. congesta*) e localmente del leccio.

5.3.2. Rimboschimenti di conifere

In questa categoria sono compresi gli impianti artificiali eseguiti fra gli anni '50 e '70 che hanno coinvolto diverse specie (pino calabro, pino marittimo, pino domestico, abete bianco, pino radiata, cipresso comune, cipresso glabra, cipresso dell'Arizona, cedri, douglasia). Sono presi in esame i rimboschimenti di pino calabro, pino marittimo e pino radiata, data la minore frequenza delle altre specie e la specificità dell'insetto che colpisce le specie del genere *Pinus*. Il pino calabro è stato impiegato in purezza su vasta scala, mentre le altre specie interessano piccole aree sia in purezza che miste. Gli impianti sono diffusi in tutta l'area del Parco tra 600 e 1.500 m. Gli impianti sono stati eseguiti dapprima con finalità protettive e in seguito anche produttive sia su terreni dissestati, superficiali in forte pendio sia su suoli profondi, pianeggianti dove in precedenza erano state eliminate le cenosi originarie (faggio, querce) per far posto a colture agrarie. Il terreno è stato preparato a gradoni e a buche con densità medie di 2.500 piante·ha⁻¹ (Maiolo, 1993). Sul piano culturale gli esiti sono stati sostanzialmente positivi. Attualmente, questi rimboschimenti presentano differenziazioni strutturali più o meno marcate al variare dell'età. I popolamenti non sono stati gestiti adeguatamente: solo sporadiche spalcatore e diradamenti di bassa intensità. Nella maggior parte dei casi hanno raggiunto un'età di 40-50 anni con alte densità (a volte quella iniziale) e problemi di efficienza e stabilità bioecologica. Il pino marittimo è stato impiegato in purezza o misto ad altre conifere. Nella maggior parte dei casi il suolo è stato preparato a gradoni dove è stata eseguita la semina. In genere sono stati eseguiti sporadici sfollamenti per

cui si sono ottenuti popolamenti con fusti contorti e filati, spesso danneggiati dalla neve. Alle quote più basse e nelle esposizioni meridionali il pino marittimo ha dato risultati migliori del pino calabro (minore suscettività alla processionaria). Il pino radiata è stato impiegato in maniera limitata all'interno del Parco mentre è diffuso nelle aree limitrofe. L'impianto è stato eseguito in genere a buche alla distanza di 3 x 2 m. Anche in questo caso non hanno fatto seguito adeguati diradamenti.

5.4. Delimitazione comprensorio (insieme di Patch)

5.4.1. Sopralluoghi per l'individuazione delle aree di intervento

Lo studio delle formazioni forestali a *Pinus* è stato condotto attraverso l'analisi e la discriminazione tipologica. Questa è consistita sostanzialmente nell'elencazione, all'interno di un popolamento elementare, di tutte le specie presenti in una data superficie (Patch).

La distinzione tipologica ha consentito di costituire unità di riferimento, di apprezzarne la variabilità strutturale ed ecologica e di stabilire una base comune di descrizione e di confronto delle varie formazioni. Preliminarmente, è stata eseguita una ricognizione al fine di individuare le aree fisionomicamente omogenee a *Pinus* sulle quali condurre i rilievi sulla vegetazione.

I rilievi hanno interessato solo le formazioni di tipo forestale e sono stati effettuati quasi nella sua totalità nel periodo vegetativo invernale (ottobre - Dicembre). Successivamente, il rilevamento cartografico di dettaglio delle aree boschive è stato effettuato attraverso:

- una fase preliminare di raccolta di dati storici presso Enti (Corpo Forestale dello Stato, Ex ASFD, AFoR e Ente Parco Nazionale d'Aspromonte) delle informazioni sulle aree boscate a *Pinus* presenti all'interno del Parco Nazionale d'Aspromonte;

- l'estrapolazione dei dati di uso reale del suolo elaborati nell'ambito del progetto Corine Land Cover. Come è noto, la Comunità Europea ha realizzato una banca dati dell'uso del suolo, su 44 classi, per tutto il territorio comunitario, da utilizzarsi per l'analisi e il monitoraggio ambientale. Tale studio è stato eseguito utilizzando scene del satellite Landsat 5 D-TM Spot-HRV, in falso colore, per lo più con la combinazione, per il Thematic Mapper delle bande 4,5,3, che è quella che consente la miglior discriminazione degli oggetti, fotointerpretate su lucido, digitalizzate e mosaicate;
- la fotointerpretazione digitale di foto aeree a colori della CGRA (Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma) in scala nominale 1:10.000 (serie "Italia 2000"), disponibili direttamente in formato digitale **.ecw** (*Enhanced Compressed Wavelet della Earth Resource Mapping*[®]) e georiferite nel sistema WGS84, finalizzata all'identificazione delle aree boscate a *Pinus sp.* attraverso la sintesi degli aspetti vegetazionali e altri eventuali caratteri legati alla specificità delle aree;
- rilievi in campo per la compilazione delle schede per il rilievo di dettaglio dei *Patch* con ausilio di attrezzatura GPS (*Global Positioning System*). L'utilizzo della strumentazione satellitare ha permesso di raggiungere un maggiore dettaglio geometrico nell'individuazione delle aree di saggio;
- fotointerpretazione correttiva, effettuata sulla base dei dati rilevati e dell'esperienza acquisita in campo.

Il censimento delle aree interessate ha portato alla delimitazione topografica dei *Patch* (Figg. 7 e 8) su supporto informatico ed una loro successiva analisi quali-quantitativa. La digitalizzazione delle fitocenosi di conifere ha quindi permesso di individuare i complessi boschivi di maggiore rilevanza da sottoporre all'azione di monitoraggio.

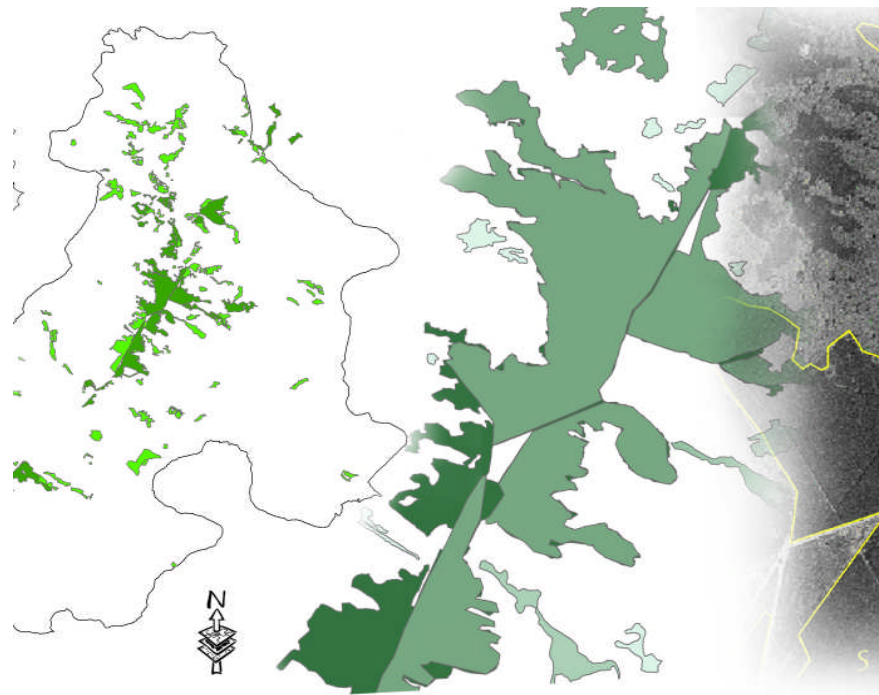


Fig. 7. Delimitazione delle aree a *Pinus*

La sequenza delle annotazioni che hanno composto il rilievo è stata la seguente:

- 1) data, numero del rilievo;
- 2) località;
- 3) localizzazione topografica;
- 4) caratteri orografici quali l'altitudine, l'esposizione e l'inclinazione del suolo in gradi;
- 5) tipo di suolo, substrati litologico (se noti);
- 6) elementi strutturali (stratificazione, altezza e copertura % dello strato di vegetazione arborea);
- 7) superficie su cui si è esteso il rilievo;
- 8) elenco delle singole specie;
- 9) altre osservazioni sulle condizioni della stazione (ecologia e azione antropica).

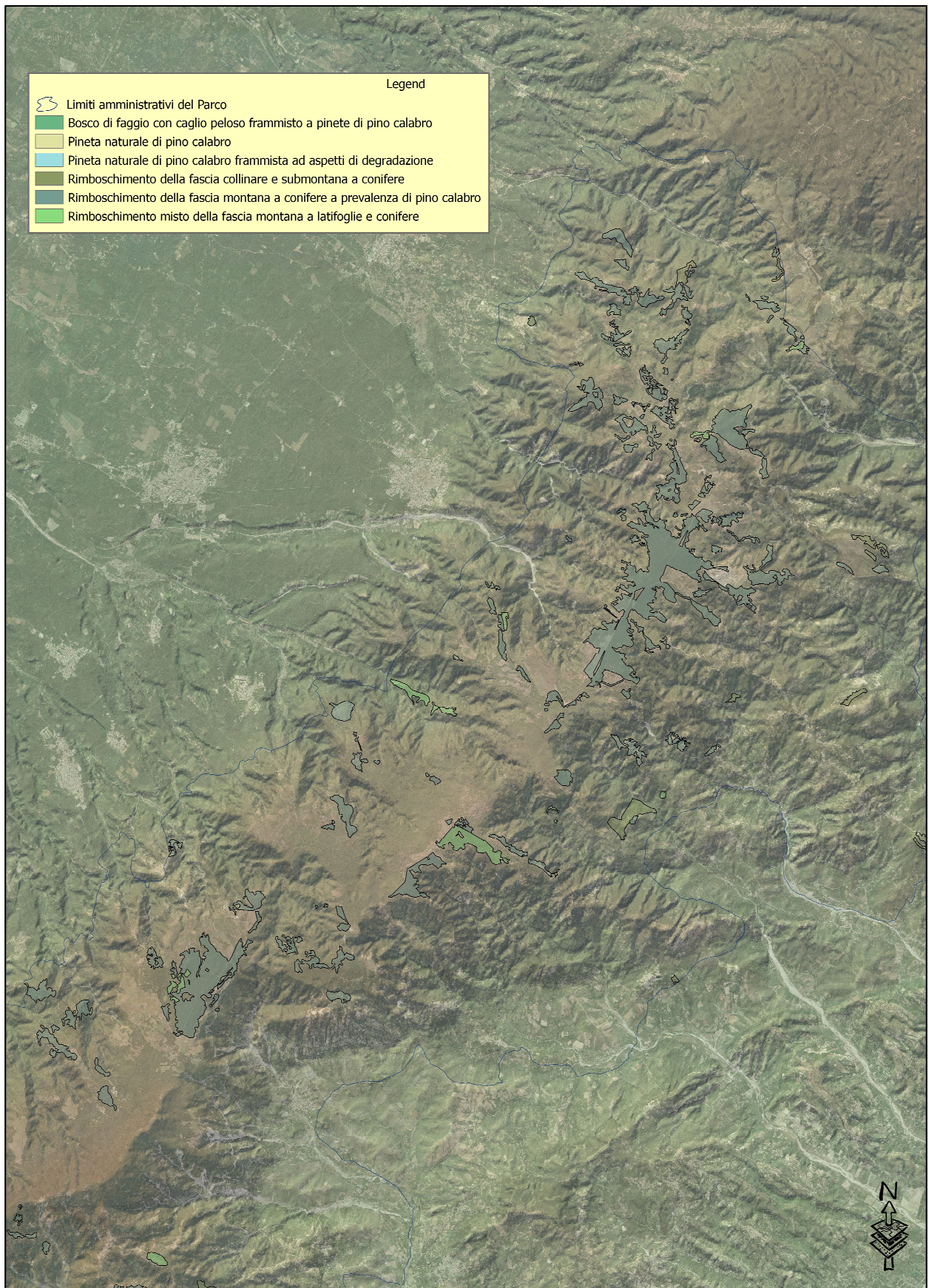


Fig. 8.- Aree a *Pinus*. Delimitazione cartografica su ortofoto e DTM

Successivamente, si è passati all'assegnazione per ciascuna specie presente sulla superficie rilevata di un indice convenzionale di abbondanza-dominanza. Il motivo deriva dalla prassi in uso attualmente nella scuola fitosociologica Zurigo-Montpellier e successivi sviluppi, che definisce un modello interpretativo del paesaggio vegetale fondato su unità di base corrispondenti a comunità di piante caratterizzate dal punto di vista della composizione floristica e della struttura (associazioni) che possono essere raggruppate sulla base delle loro affinità floristica ed ecologica (in ranghi e schemi sintassonomici), dei rapporti dinamico-evolutivi (serie), dei rapporti di contatto (geoserie).

Per il rilievo delle aree a *Pinus* sp. si è utilizzata la scala proposta da Braun-Blanquet (Braun Blanquet, 1951, Pignatti, 1959), che pone tra i valori 1 e 2 il 5% di ricoprimento come elemento di separazione. L'indice è ottenuto da una stima ad occhio di ricoprimento percentuale al suolo di ogni singola specie così ripartito (Ubaldi, 1997);

- **5**: specie che ricopre dal 75 al 100 % della superficie del rilievo
- **4**: specie che ricopre dal 50 al 75 %
- **3**: specie che ricopre dal 25 al 50 %
- **2**: specie che ricopre dal 5 al 25 %
- **1**: specie con copertura inferiore al 5 % ma rappresentata da numerosi individui.
- **+**: specie con copertura inferiore al 1% ma rappresentata da pochi individui.

5.4.2. Area (singolo Patch)

Le pinete caratterizzano in parte il paesaggio forestale dell'Aspromonte e rappresentano formazioni potenzialmente evolutive verso cenosi diverse, favorite nell'attuale densità dall'intervento dell'uomo che ne ha determinato l'attuale consistenza.

Per la definizione del comprensorio inteso come territorio geografico con copertura forestale a *Pinus* sp. discontinua ci si è basati sulla definizione dell'ecologia di metapopolazione di Patch (paragrafo 1.5.).

La scelta delle aree a *Pinus* all'interno del Parco Nazionale d'Aspromonte sulle quali effettuare lo studio è stata stabilita preliminarmente sulla base del grado di infestazione degli alberi da parte degli stadi larvali di *T. pityocampa* e in seguito delle caratteristiche generali dei singoli Patch di seguito codificate.

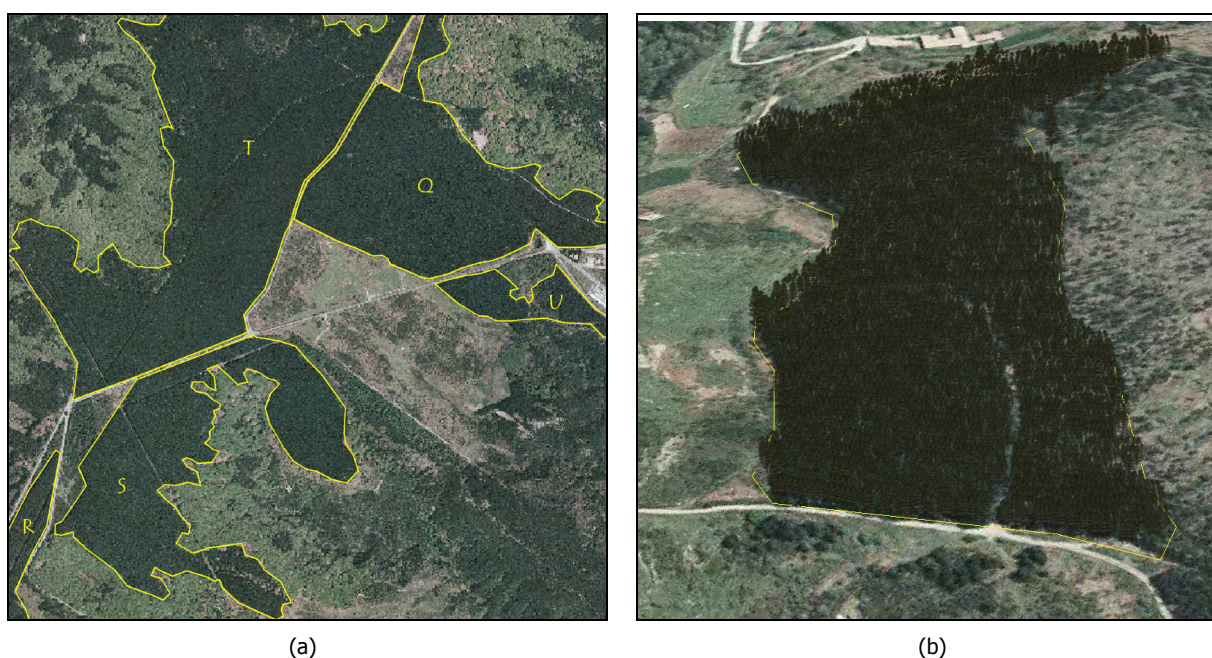


Fig. 9. – (a) Località Canolo Nuovo (RC) – Parco Nazionale d'Aspromonte, Ortofoto CGRA, 1999 in scala 1:25.000 dei Patch oggetto dei rilievi. (b) Rappresentazione in 3D del Patch C, località Limina (RC) – Parco Nazionale d'Aspromonte. Elaborazione su Ortofoto CGRA, 2000.

5.4.3. Grado di infestazione da parte di *T. pityocampa*

Sulla base delle informazioni relative all'identificazione delle aree a *Pinus* è stata realizzata, nel periodo gennaio-marzo dell'anno 2002 e 2003, un'accurata indagine per valutare lo stato fitosanitario delle pinete. Durante i sopralluoghi sono stati osservati i margini di ogni Patch precedentemente individuato e cartografato, e, su un campione di

alberi scelto in maniera proporzionale all'estensione del Patch, stimati il numero dei nidi di *T. pityocampa* presenti sugli alberi. In seguito, è stata realizzata una tabella sulla quale sono stati riportati i valori osservati e calcolata la presenza media di nidi per albero e per Patch. Sulla base delle valutazioni effettuate sono stati calcolati gli indici di infestazione codificati in tab. 3.

Livello di infestazione	n. nidi/albero	Indice
Molto Basso	1	MB
Basso	2 – 4	B
Medio	5 – 9	M
Alto	10 – 15	A
Molto Alto	> 15	MA

Tab. 3 - Codifica degli indici di infestazione da *T. pityocampa*

5.4.4. Caratteristiche generali dei Patch

Le caratteristiche generali osservate nelle aree di studio sono state: ubicazione, pendenza, esposizione, tipo di suolo; quelle rilevate, topografia, quota minima, massima e media, accessibilità e posizione fisiografica (Tab.4). È stata altresì effettuata un'attenta disamina sulle caratteristiche del soprassuolo, sulla sua origine, sulla forma di governo e di trattamento e sullo stadio evolutivo del bosco. Altre osservazioni hanno riguardato le condizioni stazionali (ecologia, impatto antropico, ecc.). I fattori presi in considerazione ai fini della scelta delle superfici oggetto di monitoraggio sono stati: l'accessibilità, intesa come capacità di accesso al Patch, calcolata in % sulla base della facilità di spostamento a piedi all'interno del bosco, la dimensione dei singoli Patch e il grado di infestazione come sopra riportato, ai quali si sono aggiunte considerazioni sulla raggiungibilità del posto, sulla densità del soprassuolo (quest'ultimo legato alla possibilità di effettuare studi sugli stadi successivi del ciclo biologico dell'insetto) e infine sulla vicinanza di strutture per un eventuale supporto logistico.

Patch	Località	Comune	Ettari	Alt med	Specie presenti	Accessibilità	Cod	Class_Fitos	Liv_Infest	Esposizione
A	Villaggio UNRRA	Mammola (RC)	7,70	824,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	80%	Pu1	5	A	O
B	Monte Limina	Cinquefrondi (RC)	11,80	825,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus pinaster</i>	50%	Mp12	4,2	M	O-NO
C	C.da Scrisa	Mammola (RC)	7,56	822,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	40%	Pu1	5	A	O-NO
D	C.da Gallinaro	Cinquefrondi (RC)	4,67	785,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	90%	Pu1	5	MA	S
E	Passo del Mercante	San Giorgio Morgeto (RC)	0,96	772,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus pinaster</i>	100%	Mp12	5	A	O-NO
F	Acqua Scrusciente	San Giorgio Morgeto (RC)	3,28	774,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus insignis</i> (<i>radiata</i>)	60%	Mp126	3,2,2	B	S
G	C.da Don Selmo	San Giorgio Morgeto (RC)	15,69	850,00	<i>Pinus insignis</i> (<i>radiata</i>), <i>Pinus pinaster</i>	50%	Mp26	4,2	MB	NO
H	Piano Fossati	Mammola (RC)	8,06	878,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus strobo</i>	60%	Mp15	3,3	MB	N
I	Ficaro	Mammola (RC)	48,97	875,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Abies alba</i>	70%	Ma12aa	4,2,1	A	S-SE
L	Zappino	San Giorgio Morgeto (RC)	2,28	836,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus insignis</i> (<i>radiata</i>)	100%	Mp16	5,+	MA	O-NO
M	P.gio Ciccirello	San Giorgio Morgeto (RC)	12,44	850,00	<i>Pinus pinaster</i>	80%	Pu2	5	A	E
N	I Faggi	San Giorgio Morgeto (RC)	4,16	877,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	90%	Pu1	5	A	O-SO
O	I Faggi	San Giorgio Morgeto (RC)	3,75	900,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus insignis</i> (<i>radiata</i>)	100%	Mp126	4,2,2	B	N
P	Barca	San Giorgio Morgeto (RC)	36,82	910,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i> , <i>Pinus pinaster</i>	80%	Mp12	4,2	M	E
Q	Lenza di Gerace	Canolo (RC)	42,62	938,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	70%	Pu1	5	A	SE
R	Piano Melia	Antonimina (RC)	65,28	930,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	90%	Pu1	5	A	SE
S	Piano Gulata	Canolo (RC)	40,74	931,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	80%	Pu1	5	M	SE
T	Fontana La Rotonda	San Giorgio Morgeto (RC)	117,59	951,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	80%	Pu1	5	M	N
U	Canolo Nuova	Canolo (RC)	10,08	899,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	100%	Pu1	5	MA	S
V	Canolo Nuova	Canolo (RC)	5,13	870,00	<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>calabrica</i>	100%	Pu1	5	MA	SE

Patch	Località	Comune	Ettari	Alt med	Specie presenti	Accessibilità	Cod	Class_Fitos	Liv_Infest	Esposizione
Z	Piano Ticchia	Canolo (RC)	27,35	843,00	<i>Pinus pinaster</i>	90%	Pu2	5	M	E
AA	Villaggio Zomaro	Cittanova (RC)	6,90	960,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica, Abies alba, Fagus sylvatica, Alnus sp, Pseudotsuga douglasia</i>	90%	Ma12aafspdal	3,2,2,++	B	NO
BB	Piano Stempato	Antonimina (RC)	6,33	979,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	100%	Pu1	5	MA	S
CC	Piani di Moleti	Ciminà (RC)	47,52	1.011,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	70%	Pu1	5	A	SE
DD	Bosco Palazzo	Ciminà (RC)	36,93	1.007,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	65%	Pu1	5	A	SE
EE	Piano Abbruschiato	Varapodio (RC)	8,22	1.026,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	100%	Pu1	5	B	NO
FF	Pantanelle	Varapodio (RC)	24,95	1.053,00	<i>Pinus pinaster</i>	90%	Pu2	5	MB	SE
GG	Piano Stoccatò	Oppido Mamertina (RC)	4,17	1.004,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	90%	Pu1	5	A	NO
HH	Piano Stoccatò	Oppido Mamertina (RC)	13,46	1.048,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	90%	Pu1	5	A	NO
II	Piminoro	Oppido Mamertina (RC)	19,03	989,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	80%	Pu1	5	M	N
LL	Piani di Zillastro	Oppido Mamertina (RC)	162,62	1.075,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	70%	Pu1	5	A	NO
MM	Ex Sanatorio di Zervò	Santa Cristina d'Aspromonte (RC)	9,84	1.156,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	100%	Pu1	5	MA	O
CROP	Cas. Forestale Cropanè	Roccaforte del Greco	24,00	1.340,00	<i>Pinus nigra ssp. calabrica</i>	60%	Pu1	5	MA	N

Tab. 4. Aree di studio sottoposte a monitoraggio. Caratteristiche generali dei patch

6. Disegno sperimentale, campionamento e analisi dei dati

6.1. Introduzione

In relazione agli obiettivi d'indagine sono stati predisposti due tipologie di raccolta dei dati: studio su scala ridotta (di tipo intensivo) e studi su larga scala (di tipo estensivo). Ciò che ha differenziato in primo luogo i due modelli di indagine ha riguardato l'intensità dello sforzo di campionamento definito in termini del numero di unità di campionamento considerate per area di studio, poche nel caso dell'analisi su piccola scala, molte nel caso dell'analisi su larga scala. Inoltre le indagini di tipo intensivo e estensivo sono state differenziate anche in funzione delle modalità di distribuzione spaziale delle unità di campionamento; si sono avuti infatti un campionamento di tipo reticolare ed uno a organizzazione gerarchica.

Nel caso del campionamento reticolare le unità campionarie sono state disposte secondo un reticolo regolare non tanto perché questo rifletteva immediatamente una qualche caratteristica della vegetazione ma perché ciò ha reso possibile un quadro più omogeneo della variazione a scale spaziali ridotte (con una risoluzione di circa 1 Ha) della dinamica spazio-temporale delle popolazioni di processionaria del pino come riportato in (Olea, 1984) minimizzando gli errori di campionamento.

Nel caso del campionamento gerarchico invece sono state considerate vaste superfici forestali, non necessariamente continue, in cui si è tenuto conto di come l'organizzazione gerarchica della distribuzione spaziale della risorsa potesse influenzare la dinamica di popolazione della processionaria del pino.

6.2. Tipologie di campionamento

6.2.1. Campionamento su piccola scala (anno 2002)

Per il monitoraggio dei voli dei maschi adulti di *T. pityocampa*, in primo luogo si è definito il comprensorio boschivo ove effettuare la ricerca, individuando, all'interno del

Parco Nazionale d'Aspromonte, un territorio continuo con superficie boscata omogenea a *Pinus* spp. della grandezza di alcune decine di ettari (fig. 10).

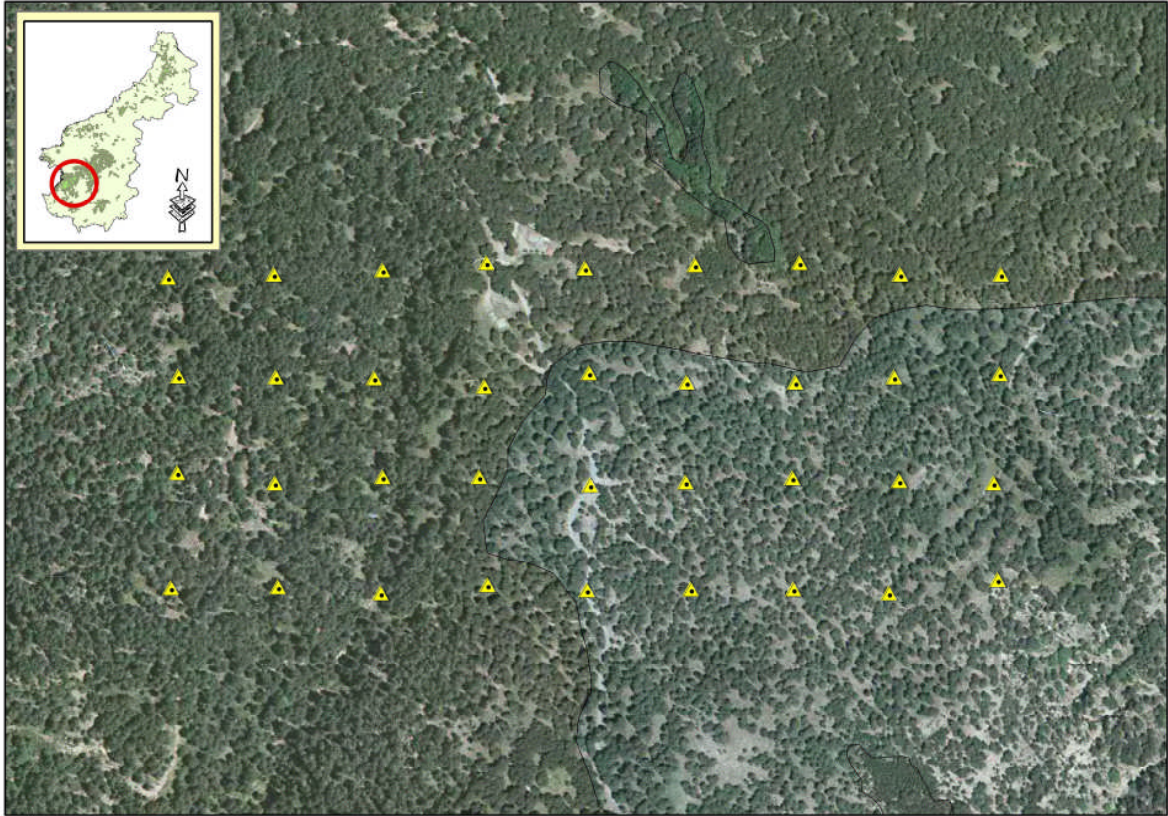


Fig. 10. – Localizzazione geografica dell'area su cui è stato effettuato lo studio a piccola scala

Al suo interno è stata individuata l'area di campionamento ove è stato collocato il sistema ed è stato effettuato il monitoraggio. Per la definizione del sistema reticolare si è considerato un reticolo della superficie complessiva di c.a. 24 ettari e costituito da 4 segmenti equidistanti della lunghezza unitaria di 800 m orientati verso nord, i cui estremi, giacenti su rette tra loro parallele sono intersecati perpendicolarmente da 9 segmenti equidistanti, della lunghezza unitaria di 300 m orientati verso est e i cui estremi sono giacenti su rette tra loro parallele. Il risultato è un reticolo rettangolare a maglia quadrata di circa 100 m x 100 m nel quale, ad ogni intersezione è stata collocata, su di un albero, una trappola a feromoni. Le stesse sono state indicate con un

numero progressivo da est a ovest e da sud a nord. La posizione delle trappole è stata poi rilevata con una strumentazione GPS e successivamente i dati di posizione sono stati immagazzinati all'interno di un database.

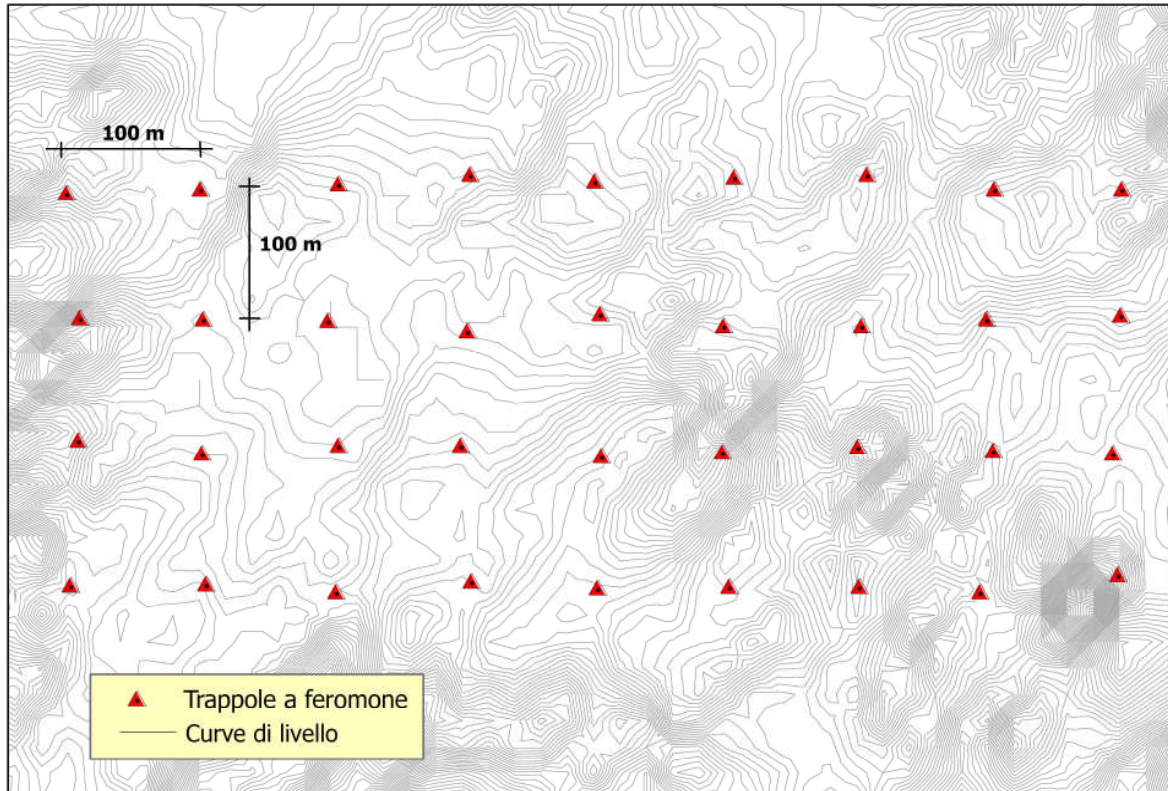


Fig. 11. – Particolare della collocazione delle trappole (sistema reticolare)

6.2.2. Campionamento su larga scala (anni 2003, 2004 e 2005)

Per il monitoraggio del volo degli adulti tramite catture con trappole imbuto a feromoni si è organizzato un sistema gerarchico a 3 livelli costituito da:



L'unità campionaria, cioè la minima unità spaziale su cui si è rilevato lo stato delle variabili campionarie è stato di un ettaro (1 Ha).

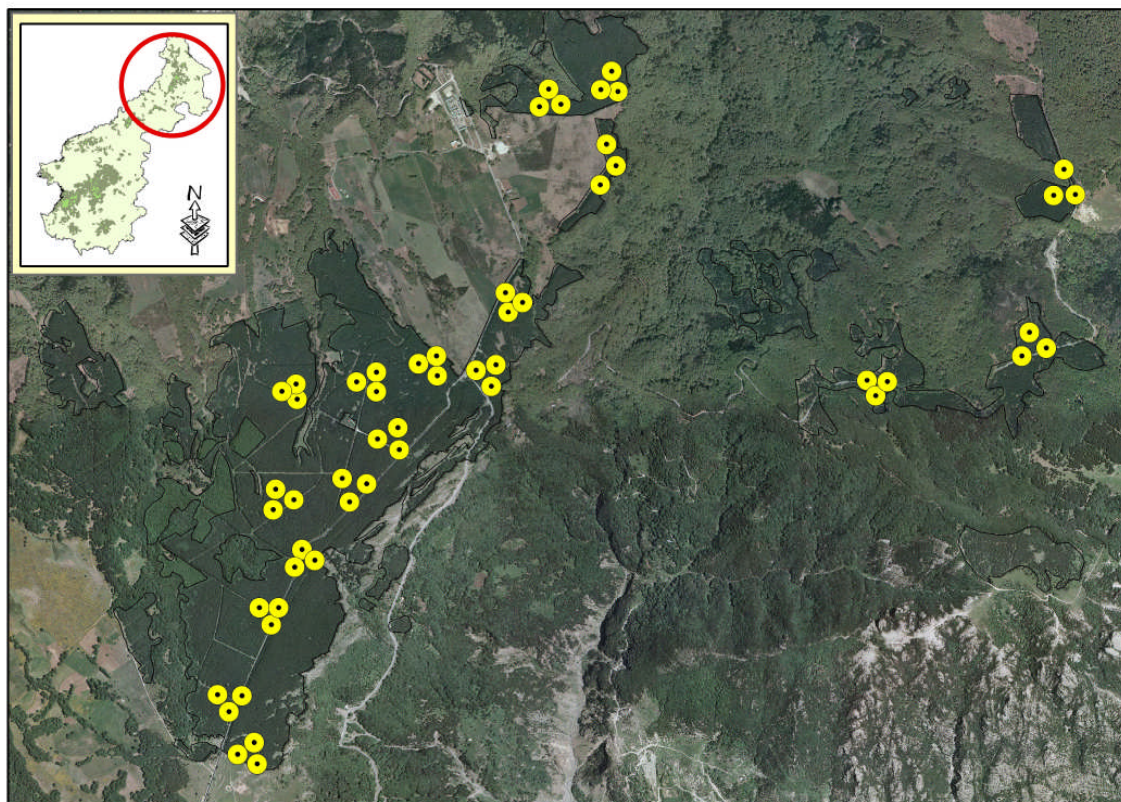


Fig. 12. – Localizzazione geografica dei patch su cui è stato effettuato lo studio a grande scala

Il numero delle unità campionarie monitorate è stato di **69 SITI** distribuiti su **32 PATCH**.

Lo sforzo di campionamento è stato dosato in riferimento all'estensione dei PATCH:

- da 1 a 10 Ha ⇨ 1 SITO
- da 10 a 20 Ha ⇨ 2 SITI
- da 20 a 40 Ha ⇨ 3 SITI
- da 40 a 80 Ha ⇨ 4 SITI
- da 80 a 200 Ha ⇨ 10 SITI

In particolare, in ciascuno dei **32 PATCH** scelti per il campionamento sono stati individuati **69 SITI** considerati di un ettaro ciascuno, all'interno dei quali sono state selezionate 3 piante posizionate ai vertici di un triangolo equilatero ad una distanza tra

di loro di 100 m circa, su cui si è proceduto alla installazione delle trappole a feromone (1 per pianta). Ogni pianta ove è stata posta la trappola, posizionata geograficamente con il GPS, ha costituito un NODO di campionamento. Il totale complessivo di trappole installate è stato pertanto di 207.



Fig. 13. – Particolare della collocazione delle trappole (sistema gerarchico)

È stato elaborato un opportuno sistema di codificazione dei singoli livelli gerarchici di campionamento costituito dal susseguirsi di tre simboli, in ordine una lettera e due numeri:

I PATCH sono state indicati con una lettera maiuscola (che è quella della zona di appartenenza) o con la ripetizione di due lettere maiuscole uguali;

I SITI entro il PATCH con un numero progressivo da 1 a N;

I NODI entro SITO sono stati indicati con le lettere a, b e c.

Si riportano a titolo esemplificativo due esempi di codificazione:

“PATCH A”, codice A1c: in tale zona, si sta facendo riferimento al PATCH A, al SITO n. 1 entro il PATCH A, al NODO c entro il SITO n. 1 (ove è stata collocata la trappola);

“PATCH LL”, LL10a: si sta indagando un altro PATCH, per il quale si sta valutando il NODO a (ove è stata collocata la trappola) appartenente al SITO n. 10.

6.3. Tecnica e strumenti per il campionamento

6.3.1. Tecnica di campionamento

Le trappole (foto 19), per entrambe le tipologie di campionamento, sono state posizionate sugli alberi di pino ad almeno 3.50 m di altezza (con una media di circa 3.40 m) dal suolo.

La tempificazione dei controlli è stata di 1 osservazione a settimana.

La tecnica di campionamento ha previsto le seguenti fasi:

1. identificazione sul campo con ausilio di strumentazione GPS del SITO di 1 Ha all'interno del PATCH prescelto;
2. selezione delle piante (al margine o all'interno del bosco) situate ai vertici del triangolo equilatero sulle quali collocare la trappola;
3. posizionamento geografico della trappola a feromone nel NODO;
4. preparazione della scheda di rilievo;
5. organizzazione delle uscite e osservazioni in campo.

L'attivazione delle trappole con opportuni dispenser è avvenuta: per il campionamento a piccola scala nell'anno 2002 il 6 di giugno; per il campionamento a grande scala nell'anno 2003 nei primi giorni del mese di Giugno; nell'anno 2004 il 23 Giugno, mentre nell'anno 2005 il 10 Giugno; le stesse sono state mantenute in campo, rispettivamente,

alla fine del mese di Settembre nell'anno 2002 e 2003, il 13 Ottobre nell'anno 2004 e il 6 Ottobre nell'anno 2005.



Foto 19 - Localizzazione nodo di campionamento costituito da una trappola a feromone

Nei quattro anni di monitoraggio, il ritiro delle trappole è stato eseguito nel momento in cui, esauriti i voli per due settimane consecutive nessuna cattura veniva più registrata. Durante tutto il periodo d'indagine, nei quattro anni considerati, il controllo delle catture è stato effettuato con cadenza settimanale.

Al fine di mantenere attivo il sistema di cattura per l'intero periodo dei voli, i dispenser dei feromoni sono stati sostituiti ogni trenta giorni.

Per ogni Nodo, si è rilevata la posizione geografica dell'albero che portava la trappola e si sono immagazzinati i dati di posizione all'interno di un database.

I dati raccolti sono stati registrati nel primo anno su schede cartacee appositamente predisposte, e in seguito pre-elaborati su tabelle elettroniche; nei tre anni successivi

immagazzinati all'interno di un database su una strumentazione palmare (Pocket PC – HP Ipaq 5500).

La raccolta dei dati è avvenuta in ciascun NODO monitorato; si è provveduto a riportare il numero di adulti maschi riscontrati nella singola trappola su schede appositamente predisposte. È stato altresì effettuato il riconoscimento e l'annotazione sulle schede di cui sopra di altre specie di insetti eventualmente presenti nelle trappole medesime.

6.3.2. Tipologie di trappole utilizzate

Le trappole utilizzate sono di tipo *SuperGreen*, innescate con uno specifico attrattivo chimico (feromone). Presentano una struttura fisica chiamata "a imbuto" costituita da una parte superiore (a forma di tetto) che serve da supporto all'erogatore del feromone e per riparare l'interno dagli agenti atmosferici, una parte centrale a tipica forma di imbuto, la cui circonferenza permette l'ingresso dell'adulto della specie target, ed una parte inferiore rigida agganciata, costituita da un contenitore cilindrico di materiale impermeabile (solitamente plastica). Sulla parte superiore, oltre la cordella che serve per attaccare il supporto all'albero è situato l'alloggiamento del dispenser con il principio attivo.



Foto 20. - Trappola a feromone di tipo *SuperGreen*.

6.3.3. Attrezzature e materiali

Gli strumenti per il rilievo delle superfici campionate sono costituiti da dispositivi informatici per la navigazione e il posizionamento delle trappole (definite Nodi), per la registrazione dei dati rilevati in campo (in schede), per le misure topografiche di delimitazione delle unità campionarie (definite Transetti), nonché attrezzi e materiali per svolgere le suddette operazioni e per le marcature.

Per il posizionamento cartografico è stata utilizzata una strumentazione GPS, il "Trimble GeoExplorer XH", un ricevitore palmare particolarmente robusto e progettato per operare in ogni condizione ambientale, permettendo una rapida acquisizione dei satelliti anche sotto la copertura degli alberi.



Foto 21 .- Strumenti e attrezzature per i rilievi in campo.

La registrazione dei dati in campo è avvenuta su computer palmare con sistema operativo Windows CE e applicativo ArcPad™ di ESRI integrato nel ricevitore GPS.

Gli strumenti e materiali per le misure topografiche sono stati: un distanziometro laser (Leica Disto A5) e una cordella metrica autoavvolgente in metallo da 25 m.

È stata utilizzata anche una fotocamera digitale (Fuji FinePix S7000) per la raccolta della documentazione fotografica di ogni nodo campionato.

Altro materiale in dotazione è stato quello relativo:

- alle marcature degli alberi con vernice spray colorata;
- agli attrezzi di uso comune nelle operazioni di campagna (bussola, binocolo, roncola, guanti da lavoro, zaino, cordella metrica ecc.);

- al materiale di cancelleria (matite, gomma, temperino, ecc.);
- alla dotazione di sicurezza (cassetta pronto soccorso, radio ricetrasmittente e telefono cellulare).

Il fondo topografico, oltre al supporto informatico, è stato rappresentato da diverse carte IGMI del territorio, stampate in base su fogli A4 alla scala 1:10.000, sulle quali erano evidenziati: le vie di accesso, i confini delle superfici forestali suddivise per categorie fisionomiche e per Patch e successivamente la posizione delle trappole.

6.3.4. Tecniche di acquisizione del dato (Sistema mobile integrato GPS/GIS)

La necessità di mantenere aggiornate consistenti basi di dati relativi ad oggetti aventi una "componente spaziale", localizzabili cioè sul territorio attraverso la loro posizione, trova oggi un valido supporto nell'uso di alcune tecnologie ormai consolidate.

In particolare, l'uso di tecnologia GPS (Global Positioning System) combinato con l'uso di software GIS e computer palmari consente, direttamente sul campo, di collezionare i dati richiesti verificandone immediatamente la validità per quanto riguarda il loro posizionamento. I dati raccolti, inoltre, vengono salvati direttamente in formato numerico, e questo consente di evitare, o ridurre significativamente, costose fasi di inserimento dati.

Pertanto, l'integrazione di tecnologie GPS/GIS applicate in un contesto mobile, consente l'acquisizione e la gestione in forma georeferenziata di diverse tipologie di informazioni territoriali - ambientali.

Il sistema mobile utilizzato in questo lavoro inizialmente è stato composto da un Pocket PC (HP-Ipaq H5500), con piattaforma Windows CE sul quale è stato installato il software ESRI ArcPad™ 6.0.2 e dal ricevitore palmare GPS (Trimble GeoXH) con tecnologia bluetooth.

Prima di iniziare la fase operativa, sono stati creati in ArcGIS gli shapefiles utili all'acquisizione delle diverse tipologie di dati e, mediante Microsoft ActiveSync 7.0, trasferiti sul Pocket PC. Infatti, risulta più efficace utilizzare il sistema mobile GPS/GIS solamente per la fase di acquisizione dei dati sul terreno ed eseguire tutte le altre elaborazioni, sia pre che post-rilevamento, utilizzando un desktop-GIS adeguato per tali scopi, come ad esempio ArcGIS. Agendo in tal modo è stato possibile unire le informazioni acquisite sul terreno con quelle inerenti il monitoraggio delle catture degli adulti, ottenendo così un quadro più completo del fenomeno studiato. Il lavoro è stato eseguito mantenendo le coordinate geografiche del sistema GPS, mentre in ArcGIS si è lavorato in coordinate UTM per poter utilizzare come base cartografica gli altri tematismi già presenti.

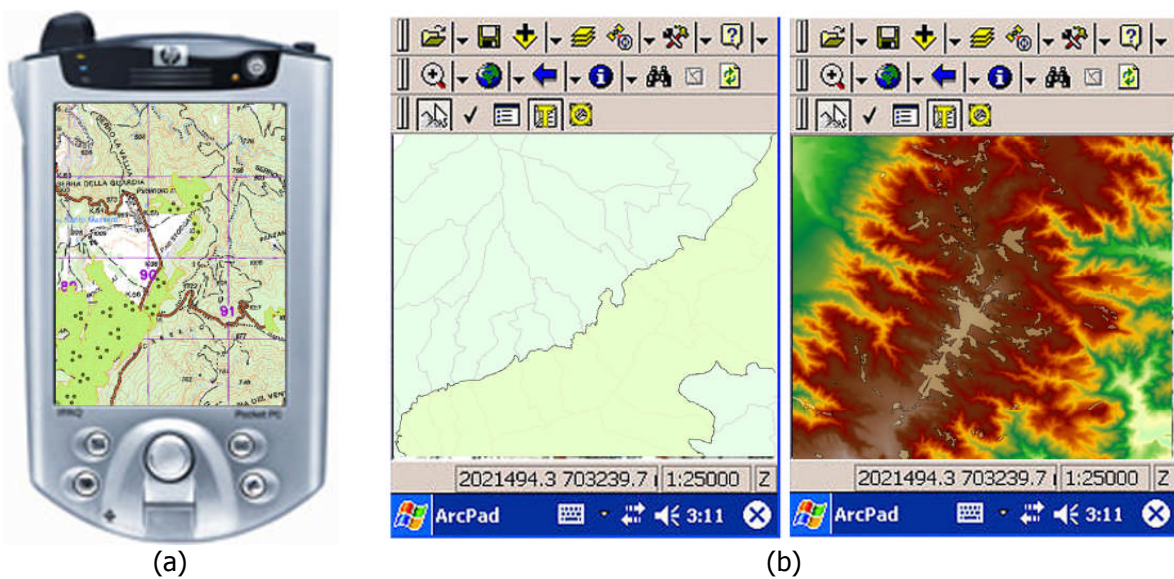


Fig. 14.- Palmare Ipaq Hp 5500 (a) e schermate del software ArcPadTM (b) .

6.4. Progettazione del Sistema Informativo Territoriale

Sono stati omogeneizzati i riferimenti geografici di tutti gli studi e le indagini effettuati da Enti pubblici (Regione, Parco, Provincia, ecc.), convertendo i dati dal sistema di coordinate piane Gauss-Boaga, nella rappresentazione UTM con inquadramento WGS84.

Questa scelta è stata operata in considerazione della complessa tipologia di dati già disponibili e da implementare, con particolare riferimento alle ortofoto a colori (CGR, 1998-99), alla cartografia ISTAT (base dati Census), ecc, tutti georiferiti in tale sistema.

Per "*Georeferenziazione delle informazioni territoriali*" (Surace, 1997) si è inteso indicare quel complesso di azioni che hanno consentito di stabilire corrispondenze biunivoche tra:

- un'informazione territoriale da inserire in un sistema informativo di definita risoluzione e rilevata quindi con opportuna accuratezza;
- il fenomeno territoriale attraverso cui si manifesta e/o si materializza l'informazione, ossia la classe di oggetti che si intende descrivere;
- l'epoca del rilevamento del fenomeno;
- la stima della posizione spaziale che compete al fenomeno, definita da una sequenza di coordinate di affidabilità nota, in un assegnato sistema di riferimento.

In base alle relazioni topologiche che legano i punti necessari alla rappresentazione simbolica dei fenomeni stessi, sono state considerate tre diverse tipologie, anche se risulta evidente come l'appartenenza ad una o all'altra categoria dipenda essenzialmente dalla scala di rappresentazione che diventa a questo punto essenzialmente un parametro per definire il grado di accuratezza e la risoluzione delle informazioni grafiche utilizzabile.

Tali tipologie sono costituite da:

- "elementi puntuali", nel caso in cui la posizione può essere stabilita da una sola coppia di coordinate, come, ad es., la posizione della trappola per la cattura degli adulti, ecc.

- “elementi lineari”, quando la descrizione geometrica dell’elemento può essere ricondotta alla semplice successione di punti, come ad esempio una strada, un fiume, o un sentiero, ecc;
- “aree o superfici” nel caso in cui il fenomeno “occupi” una porzione di territorio sufficientemente ampia da risultare rappresentabile in modo significativo alla scala della carta, come le aree comunali, il territorio del Parco, i Patch, ecc..

L’ambiente operativo utilizzato è costituito dal software ArcGIS 9.2 di ESRI[®] (*Environmental System Research Institute*), integrato dai moduli di analisi di immagine e di analisi tridimensionale.

Il sistema è risultato strutturato in modo gerarchico su strati complementari:

1. strato I - cartografia di base;
2. strato II - studi settoriali prodotti da vari Enti;
3. strato III - tematismi prodotti nella realizzazione della presente ricerca;
4. strato IV – Personal Geodatabase.

Una sintesi degli elaborati cartografici è rappresentata dalle fig. 15, 16 e 17.

1. Strato I - Cartografia di base

Sono state raccolte ed elaborate le seguenti basi cartografiche:

- a) elementi in scala 1:50.000, dell’IGMI della Provincia di Reggio Calabria. Le mappe, disponibili direttamente in formato numerico (serie 1:50.000 raster, *color coded*), sono memorizzate nel formato TIFF. La georeferenziazione è definita mediante la produzione di un apposito file secondo le specifiche ArcInfo (TFW, BPW) che definisce la posizione (coordinate Est e Nord) del primo pixel in alto a sinistra e i parametri di scalatura nei due assi del pixel in unità mondo (metri).

Questo formato garantisce l'immediata utilizzabilità dei file anche negli altri ambienti operativi.

- b) elementi dell'Ortofoto a colori CGR in scala nominale 1:10.000 (serie "Italia 2000"), fornite dal Parco Nazionale d'Aspromonte. Tali carte sono disponibili direttamente in formato ECW, georiferite nel sistema UTM-WGS84. Il taglio delle singole foto, salvo alcune particolarità di margine trattate come "fuori formato" è definito come sottomultiplo (1/16) delle carte IGMI in scala 1:50.000. La numerazione corrispondente risulta quindi formata da 6 cifre, le prime tre fanno riferimento al Foglio 1:50.000, le altre, da 010 a 160, numerano i sottomultipli in una matrice di 4 x 4 a partire dalla prima foto in alto a sinistra. La disponibilità delle ortofoto ha garantito la copertura dell'intero territorio provinciale.
- c) modello digitale del terreno con passo 40 metri. Precisione nominale scala 1:25.000. Il DTM è strutturato con il medesimo taglio cartografico e con la numerazione delle corrispondenti ortofoto. Risulta quindi immediatamente sovrapponibile alle stesse in ambiente GIS.
- d) basi amministrative di fonte ISTAT (banca dati CENSUS) sino al dettaglio della sezione censuaria. Sono disponibili i confini comunali, e la perimetrazione delle località abitate.

2. Strato II – studi settoriali prodotti da vari Enti

Gli Uffici del Parco Nazionale d'Aspromonte, del Servizio di Protezione Civile della Regione Calabria e del Settore Ambiente della Provincia, nonché gli Enti sub-regionali ARSSA e ARPACAL hanno prodotto una serie di studi di settore intesi a configurare un quadro di conoscenza per quanto possibile ampio ed articolato della realtà territoriale provinciale, secondo un approccio disciplinare e metodologico disomogeneo.

Questi tematismi, opportunamente rielaborati ed integrati da elaborazioni originali volte a favorire l'immediatezza della reperibilità delle informazioni, sono andate a costituire il

secondo strato informativo nel quale la disponibilità del dato in forma numerica e la sua georeferenziazione in un unico sistema di riferimento hanno reso immediatamente sovrapponibili e confrontabili tutte le conoscenze.

L'articolazione degli strati tematici, in sintesi, è stata la seguente:

- **Ambienti insediativi:** carta dei confini amministrativi, carta dei centri urbani e delle aree perturbane, carta della rete infrastrutturale di collegamento e penetrazione, carta dei sentieri e dei percorsi naturalistici;
- **Risorse forestali:** carta della vegetazione reale, carta della vegetazione potenziale, carta delle categorie forestali, carta della naturalità della vegetazione, carta dei siti di interesse naturalistico (SIC), carta dell'uso del suolo secondo la classificazione Corine Land Cover;
- **Sintesi del Modello Digitale del Terreno (DTM):** carta delle pendenze, carta delle fasce altimetriche, carta delle esposizioni, carta delle curve di livello (interpolazioni a passo variabile per esigenze diverse, con precisione derivata dal DTM);

3. Strato III – Elaborazioni originali prodotte durante la ricerca.

Gli strati informativi prodotti nella ricerca hanno riguardato:

- la mappatura mediante fotointerpretazione e rilievi in situ delle aree a *Pinus* sottoposte a monitoraggio;
- la realizzazione di apposite schede di monitoraggio fitosanitario dei diversi stadi biologici considerati;
- il rilevamento con strumentazione GPS della posizione geografica (in coordinate numeriche) delle trappole per la cattura degli adulti e la successiva acquisizione all'interno del SIT;

- la creazione delle tabelle dei dati provenienti dal monitoraggio.

4. Strato IV – Personal Geodatabase.

La fase di progettazione e pianificazione dettagliata del Geodatabase ha incluso le seguenti attività:

- sviluppo di uno schema logico della base di dati basato sullo schema concettuale costruito nella fase di omogeneizzazione dei dati;
- preparazione del piano di acquisizione dei dati.

La costruzione è consistita quindi nel processo di acquisizione del database digitale a partire dai dati disponibili (mappe e tabulati). Questo processo, pianificato durante fasi precedenti, ha coinvolto una grande quantità di documenti e mappe.

Le informazioni contenute nel Geodatabase possono essere accedute direttamente da altre applicazioni e sistemi (ad esempio per la pubblicazione di informazione cartografica on-line), oppure per il processamento, validazione ed elaborazione dati con gli strumenti tipici del GIS, tra i quali i modelli per il *contouring*.

6.5. Metodi e modelli di interpolazione spaziale

L'interpolazione è la procedura di predizione dei valori di attributi di punti non campionati, a partire dalle misure eseguite in determinati punti all'interno della stessa area o regione.

L'utilità dell'interpolazione in un GIS e più in generale nel trattamento di dati geografici è di convertire i dati, acquisiti sotto forma di osservazioni in punti sparsi, in campi continui (cioè in funzioni matematiche continue), in modo tale che i modelli dello spazio definiti dalle osservazioni stesse possano essere confrontati con altri modelli dello spazio derivati da altre entità spazialmente distribuite.

L'approccio comune dei sistemi GIS al trattamento degli oggetti spaziali assume che questi ultimi siano omogeneamente definiti, ovvero che ogni possibile variazione avvenga solo ai loro bordi. In molte applicazioni in idrologia, oceanografia, scienze della terra e del suolo, solo per citarne alcune, tuttavia, questo tipo di rappresentazione può risultare poco realistico, per cui si preferisce considerare la variazione di un attributo sotto forma di una superficie continua, ma "rumorosa" (Lopez *et al.*, 2000). Un modo per costruirla è quello di operare un'interpolazione dei dati puntuali, utilizzando una delle tecniche di spazializzazione del dato (interpolazione + *mapping*), basate su approcci diversi e con diverso grado di complessità. Alcune sono empiriche e possono essere definite intuitivamente ammissibili, pur mancando di rigore scientifico; altre si basano sull'impiego di relazioni matematiche, di tipo meccanicistico o statico, in cui la variabile di interesse è espressa sotto forma di una funzione continua delle coordinate nello spazio 1D, 2D o 3D.

Come è stato ampiamente dimostrato da numerosi risultati sperimentali, raccolti praticamente in tutte le parti del mondo, il carattere specifico della maggior parte delle proprietà spaziali poco si adatta ad una semplice descrizione matematica.

La natura mostra effettivamente un comportamento talmente complesso, determinato da diversi fattori, la cui specificità e intensità variano spesso a scala locale, che è, a dir poco, utopistico presumere di poterlo prevedere con un'unica funzione di tipo deterministico. Al contrario, la maggior parte delle proprietà ambientali si comporta come variabili di tipo casuale, intendendo con ciò un qualsiasi attributo che si suppone vari secondo una determinata legge di distribuzione, rappresentata da un istogramma dei valori. Una tale variabile risulterà pertanto caratterizzata dai parametri caratteristici della suddetta distribuzione, quali, ad esempio, la media e la varianza nel caso di distribuzione normale. Assumendo che un tale approccio di tipo stocastico rappresenti un modello più realistico per descrivere le relazioni spaziali implicitamente sottese ad una mappa, si richiederanno di conseguenza degli strumenti di analisi specifici.

Allo scopo di rappresentare e gestire le informazioni spaziali mediante un GIS, è necessario, pertanto, utilizzare una rappresentazione dei dati che non sia sganciata dalla realtà fisica. In campo ambientale risulta essere molto più utile tracciare, in maniera oggettiva, l'uso delle carte derivate; le quali rappresentano la probabilità che il limite del componente studiato venga superato. Risulta evidente che la possibilità di ottenere questo tipo di informazione riveste particolare importanza in situazioni decisionali. Ciò anche perché la mole delle informazioni da gestire per affrontare le problematiche territoriali ed ambientali è sempre più imponente e complessa da risultare impraticabile senza l'ausilio di strumenti informatici.

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) e di comune impiego in zoologia, medicina e biologia (Dalla Marta and Orlandini, 2004; Chen *et al.*, 2005), non hanno fino ad oggi trovato applicazione.

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 *et al.* (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 (*IDW*, *Spline* e *Kriging*) in grado di creare le mappe di distribuzione degli adulti anche al fine di una comparazione per ottenere una migliore predizione del dato non campionato. Le tre tecniche, sperimentate per la sola tipologia di campionamento su piccola scala, hanno poi permesso l'applicazione del migliore interpolatore allo studio su larga scala.

Metodo Spline

L'interpolatore Spline stima i valori utilizzando una funzione radiale di base matematica che minimizza la curvatura della superficie che si adatta sui campioni, fornendo come risultato una superficie addolcita che passa esattamente per i punti di input. Concettualmente, questo interpolatore assomiglia ad un foglio di gomma che passa attraverso i punti mentre minimizza la curvatura totale della superficie. Esso adatta una funzione matematica ad uno specificato numero di punti più vicini, mentre passa attraverso i punti di campionamento. Maggiore sarà il numero dei campioni utilizzati, maggiore sarà l'influenza dei punti lontani in ogni cella, e, di conseguenza, maggiormente addolcita sarà la superficie interpolata. Esistono vari metodi di splines, basati su differenti funzioni e con la produzione di differenti risultati; questo interpolatore si avvicina concettualmente all'interpolatore *Kriging*, ipotizzando che i fenomeni presi in esame siano continui e regolari e che il loro andamento possa essere descritto accuratamente da opportune combinazioni lineari di funzioni analitiche, i cui coefficienti sono selezionati utilizzando un criterio di ottimizzazione. Pertanto, il metodo non consente di quantificare l'errore di stima che si presenta tutte le volte che si interpola un'osservazione in quanto prescinde dall'analisi effettiva della struttura di correlazione del fenomeno naturale. Caratteristica delle funzioni splines è il limitare gli effetti delle oscillazioni incontrollate in corrispondenza delle zone a più rapida variabilità. Il risultato è una superficie, più "liscia possibile", che passa esattamente attraverso i

punti campionati. Questo metodo è abbastanza buono quando si devono interpolare campioni che variano dolcemente l'un l'altro. Anche per questo interpolatore non si quantifica l'errore e non vengono ben rappresentati bruschi aumenti di valori (tipici nell'interpolazione di variabili ambientali).

Metodo IDW (Inverse Distance Weighted)

L'interpolazione tramite funzioni inverse della distanza pesata (Inverse Distance Weighted, IDW) sono più elaborate della triangolazione. Questi metodi sono basati su funzioni in cui pesi sono definiti dalla Equazione giù riportata:

$$\lambda = \frac{1}{|X_1 - X_0|^\beta}$$

in cui la somma di tutti i pesi è uguale a 1. In questo modo i campioni più vicini hanno un peso maggiore di quelli più lontani. Se X_1 ed X_0 coincidono, allora il peso diventa infinito e la stima in X_1 è uguale a X_0 . È chiaro che aumentando la distanza dal target point, il valore del peso diminuirà, e sarà tanto minore quanto maggiore sarà la potenza. Questo metodo è un interpolatore molto appetibile per la sua semplicità e rapidità d'uso benché la scelta dei pesi sia arbitraria e non esista una misura dell'errore compiuto durante l'interpolazione.

Metodo Kriging

Molto spesso vuoi per la distribuzione irregolare dei siti campionati, vuoi per gli errori nelle analisi o per il comportamento intrinseco della variabile in esame stessa, l'utilizzo dei metodi stocastici risultano avere un risultato molto più vicino a quello reale. Fu G. Matheron negli anni 60 ad introdurre il concetto di geostatistica, la quale cerca di ricostruire il comportamento spaziale della variabile in esame attraverso la stima delle misure dei fenomeni naturali applicando la casualità della variabile. Tra i diversi metodi geostatistici che presentano applicazioni molto interessanti troviamo il *Kriging* ordinario e le sue

varianti; il *Kriging* è un metodo di interpolazione di variabili che sono misurate in campagna; esso ci permette di studiare il valore assunto dalla variabile e di verificare la sua precisione in quei siti dove non sono state effettuate misure sperimentali.

In geostatistica si introduce il concetto di "fenomeni regionalizzati" per indicare quei fenomeni naturali che si concretizzano nello spazio e nel tempo manifestando un determinato comportamento. Le variabili che determinano questi fenomeni vengono individuate come delle variabili su scala regionale. Tali variabili non sono altro che una funzione spaziale, il cui valore varia da un sito all'altro con un certo andamento continuo nello spazio, senza che sia possibile rappresentarne completamente i cambiamenti mediante una relazione analitica.

Questo metodo si prefigge l'obiettivo di ottimizzare la predizione. La previsione può essere fatta in modo più accurato che con la semplice media del processo, considerando anche la stima dell'errore nel punto in cui deve essere fatta la predizione. Il problema si riduce a cercare una stima dei residui per i punti dove non è stato osservato il processo mediante una combinazione lineare pesata dei residui per i punti osservati. I pesi della combinazione lineare sono ottenuti imponendo che sia minimo l'MSE (mean square error) usando la covarianza tra i siti osservati e il sito dove si vuole ottenere la predizione. La covarianza viene stimata mediante un modello per il covariogramma (funzione della distanza tra i punti), tenendo conto che punti vicini avranno un comportamento simile e quindi una covarianza maggiore.

Una variabile regionale $z(X_i)$ può essere immaginata come una realizzazione tra i punti di misura X_i di una determinata funzione aleatoria $Z(x)$ (Graeme *et. al.*, 1994).

Il *kriging* tiene conto della somma pesata dei punti dentro una determinata zona di influenza secondo la seguente equazione:

$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i z_i$$

In questo metodo i pesi sono costretti alla somma pari a 1, evitando di dover normalizzare il peso dividendo per la loro somma. I pesi sono calcolati da un insieme di $(n + 1)$ equazioni lineari simultanee, dove n è il numero di punti usati per la determinazione del punto stimato in ogni specifico sito al centro della griglia (Matheron, 1967; 1971).

In forma matriciale le equazioni dei pesi sono:

$$C * w = d$$

Ovvero:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdot & C_{1n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdot & C_{nm} & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Oppure riscrivendo il rapporto matriciale in modo espanso:

$$C^{-1} * C * w = C^{-1} * d$$

Dove i termini **C** sono i valori delle covarianze spaziali fra coppie di punti campione e i termini **d** sono anche essi delle covarianze spaziali, ma questa volta tra i punti campioni e i punti stimati. La covarianza spaziale non è altro che una misura di correlazione spaziale. Punti che sono geometricamente vicini tendono ad essere fortemente correlati, mentre una debole correlazione è imputabile ad una eccessiva distanza tra punti campione (Graeme *et. al.*, 1994). La correlazione spaziale di una variabile con se stessa, è comunemente conosciuta come autocorrelazione e può essere caratterizzata usando funzioni di autocorrelazione stimata dai dati, mentre il termine μ è un parametro conosciuto come moltiplicatore di Lagrange, e viene utilizzato per forzare i pesi ad una somma che sia uguale ad uno (Matheron, 1973).

Oltre a questi termini abbiamo anche l'effetto C^{-1} , il quale ingloba la distanza statisticamente inversa, e le distanze sono calcolate solo fra coppie di punti campioni, laddove il punto stimato non viene considerato. L'effetto di questo termine è quello di

essere un pre-moltiplicatore che aggiusta i pesi per raggruppare i punti (Matheron, 1973).

In breve, il *Kriging* considera tre fattori importanti nel modellare le superfici planari: la distanza, il raggruppamento e la correlazione spaziale espressa come covarianza spaziale.

La covarianza C fra x e y è calcolata prendendo la media del prodotto delle deviazioni di ciascuna variabile dalla loro rispettiva media.

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$$

La covarianza misura il grado con il quale \mathbf{x} co-varia con \mathbf{y} . Se C viene normalizzato, dividendolo per il prodotto della deviazione standard di \mathbf{x} e \mathbf{y} , chiamate σ_x e σ_y , la covarianza è convertita nel coefficiente di correlazione r . Il coefficiente di correlazione ha un intervallo fra un massimo di +1, il quale indica una correlazione perfetta delle due variabili, a -1 che invece indica una perfetta correlazione inversa. Un valore pari a 0 indica che non c'è correlazione alcuna, e che le due variabili sono indipendenti.

Ora se immaginiamo che la variabile \mathbf{x} sia sostituita con z_t e che la \mathbf{y} sia sostituita da z_{t+h} , dove z è una variabile regionalizzata osservata sia al sito t che in un altro sito $t+h$, e h sia una distanza di separazione chiamata "lag", cambiando la distanza di separazione "lag", si possono generare una serie di diagrammi variabili, i quali mostrano come la variabile z è correlata con se stessa in funzione della distanza "lag". La funzione "lag" viene definita come diagramma di autocovarianza e il momento di inerzia della funzione "lag" è definito Variogramma (Matheron, 1967).

La sua espressione completa è data dalla relazione:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \}$$

che è quella di una funzione aleatoria intrinseca.

Le due funzioni stimate dai valori dei campioni, mostrano l'autocorrelazione presente nei dati stessi. La distribuzione casuale dei punti su un diagramma viene definita variogramma sperimentale; essa deve essere distinta dal variogramma modello.

I più comuni variogramma modello sono quelli lineari, sferici, esponenziali e gaussiani.

Il variogramma sperimentale calcolato sui dati a disposizione sintetizza la struttura spaziale della variabile regionalizzata e quindi, in base alle precedenti ipotesi, del processo stocastico.

La metodologia del *Kriging* è estremamente interessante poiché non solo ci consente di stimare il valore assunto dal parametro studiato, ma anche di verificare la precisione (varianza di stima) in siti dove non si sono effettuate misure sperimentali (Graeme, 1994).

6.6. Analisi dei dati

6.6.1. Definizione delle variabili campionarie

La dinamica dei voli della processionaria del pino, definita come la variazione al tempo t dell'abbondanza di popolazione, è stata analizzata su due scale spaziali indagando sull'andamento temporale della curva di volo desunta dalla media delle catture nell'unità di tempo.

Il **numero delle catture** degli adulti è 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 definito dal numero di giorni compreso tra la prima e l'ultima cattura di maschio adulto di *T. pityocampa* registrata durante il periodo di monitoraggio.

6.6.2. Tecniche di interpolazione utilizzate

Le informazioni geografiche relative alla distribuzione spaziale degli adulti di *T. pityocampa* nei campionamenti su piccola e larga scala sono state analizzate con

metodi di interpolazione spaziale utilizzando il software ESRI® ArcGIS - ArcMap™ 9.2 e l'estensione *Geostatistical Analyst*. Il pacchetto delle funzionalità presenti nel software comprende strumenti finalizzati al calcolo di parametri statistici elementari, all'analisi geostatistica vera e propria, al contouring (interpolazione) e al post-processing dei dati.

I dati nei due tipi di campionamento sono stati rilevati settimanalmente; l'analisi statistica è stata condotta nelle due dimensioni spazio-tempo utilizzando le medie riferite a ciascun mese in accordo a quanto riportato da Cressie (1993) e Ettema *et al.* (2000), allo scopo di migliorare l'inferenza statistica.

Per sviluppare la distribuzione spaziale del lepidottero sono stati presi in rassegna alcuni dei modelli matematici di tipo geostatistico (*Spline, IDW e Kriging*), e se ne è verificata la validità per rappresentare, attraverso mappe di superficie la dinamica di popolazione dell'insetto target.

È stata effettuata una valutazione statistica sul campionamento a piccola scala e successivamente, i parametri ritenuti migliori per l'interpolazione, sono stati applicati per lo sviluppo delle mappe nel campionamento su grande scala. Il primo passo per la creazione delle superfici, è stato quello di esplorare i dati, individuando gli errori nei campioni di input che potessero influenzare drasticamente la superficie di predizione, esaminandone la distribuzione e individuandone le tendenze globali.

L'estensione *Geostatistical Analyst* del software ArcGIS™ contiene funzionalità di tipo statistico che permettono, attraverso lo studio della variabilità spaziale dei dati, di generare un modello di distribuzione di una determinata variabile nello spazio a partire dai dati sperimentali (dati osservati); dal confronto di questo con un modello ipotetico è possibile stimare il valore che assume la variabile anche in zone non campionate e di calcolare nel contempo anche l'errore commesso nella stima.

Si riportano, di seguito, le funzioni statistiche del software che sono state utilizzate nella presente ricerca allo scopo di minimizzare gli errori:

1. *Histogram*: questa funzionalità (fig. 18) ha permesso di esaminare la distribuzione della variabile indagata per ogni attributo in un dataset. La distribuzione dell'attributo è raffigurata da un istogramma con l'intervallo di valori separato in più classi. La proporzione della densità dei dati in ogni classe è rappresentata dall'altezza di ogni barra. Le caratteristiche della distribuzione più importanti rilevate nello studio sono state il valore centrale, la deviazione standard e la simmetria.

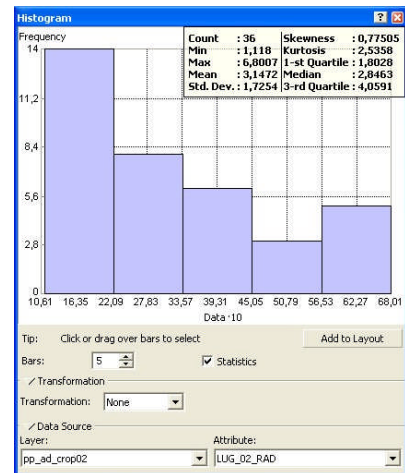


Fig. 18.- Istogramma che mostra la distribuzione di frequenza degli attributi del dataset

2. *Normal QQPlot*: lo strumento *QQPlot* serve a paragonare la distribuzione dei dati ad una distribuzione normale standard, ottenendo così un'altra misura della normalità dei dati. Più i punti creano una linea retta, più la distribuzione è prossima ad una normale. Un *General QQPlot* (fig. 19) è un grafico sul quale i quantili di due distribuzioni sono diagrammati uno verso l'altro.

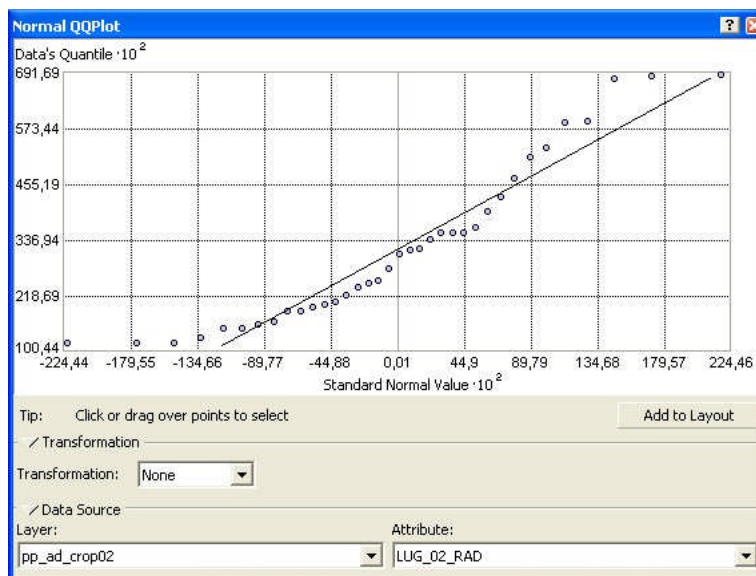


Fig. 19.- *Normal QQPlot* mostra la distribuzione dei dati rispetto ad una normale standard

3. *Trend Analysis*: questo strumento permette di identificare la presenza/assenza di tendenze nel dataset di input. Ogni barra verticale nel diagramma di analisi della tendenza (fig. 20) rappresenta la posizione ed il valore (altezza) di ogni punto.

I punti sono proiettati su piani perpendicolari, come i piani Est-Ovest e Nord-Sud. Una linea di regressione (polinomiale) viene disegnata attraverso i punti, in modo da modellare la tendenza in direzioni specifiche. Una linea piatta, significa che non c'è tendenza nei dati

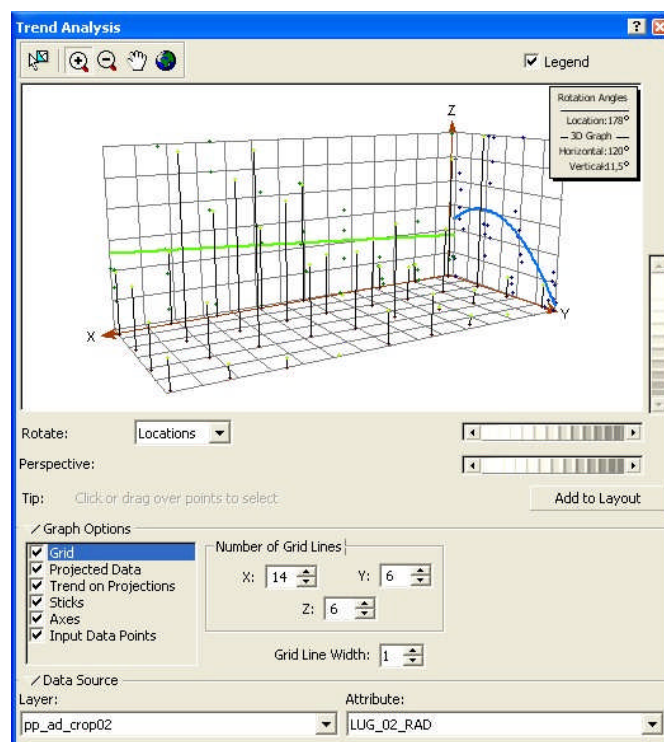


Fig. 20.- *Trend Analysis*: Questa funzionalità permette di identificare la presenza/assenza di tendenze nel dataset di input

4. *Semivariogram/Covariance Cloud*: la funzionalità permette di esaminare l'auto-correlazione spaziale tra i punti campione misurati. Nell'auto-correlazione spaziale, si assume che le cose che sono più vicine sono anche più simili. Il *Semivariogram/Covariance Cloud* (fig. 21) permette di esaminare questa relazione mostrando sull'asse y un valore di semivariogramma, che è il quadrato della

differenza tra i valori per ogni coppia di posizioni, rispetto alla distanza relativa tra ogni coppia, diagrammata sull'asse x. Ogni punto rosso nel *Semivariogram/Covariance Cloud* rappresenta una coppia di posizioni. Quando la distanza aumenta (muovendosi verso destra sull'asse x), i valori del semi-variogramma dovrebbero aumentare (crescere sull'asse delle y) (fig. 21). Comunque, quando si raggiunge una certa distanza, i punti si appiattiscono, indicando che la relazione tra coppie così distanti non è più correlata. Le coppie di punti selezionate nel semivariogramma vengono evidenziate sulla mappa e delle linee collegano le posizioni, indicando l'appaiamento.

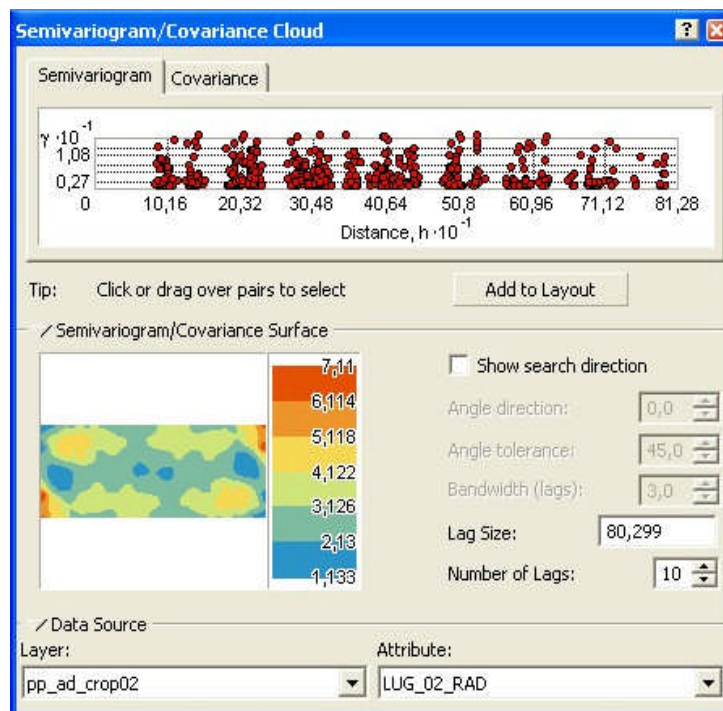


Fig. 21. -*Semivariogram/Covariance Cloud*. Questa funzionalità permette di esaminare l'autocorrelazione spaziale tra i punti campione misurati

Esaminata la distribuzione, l'eventuale tendenza e l'autocorrelazione spaziale tra i punti campionati, il passaggio successivo è l'applicazione del modello di interpolazione spaziale attraverso diverse fasi.

Per minimizzare l'errore nel *kriging* dei valori interpolati e per determinare la procedura di interpolazione più appropriata deve essere stimato il modello di autocorrelazione spaziale.

Sono state utilizzate procedure per la validazione del miglior modello predittivo per i tre metodi interpolativi. In particolare viene qui riportata la procedura metodologica per l'interpolazione con il *Kriging*.

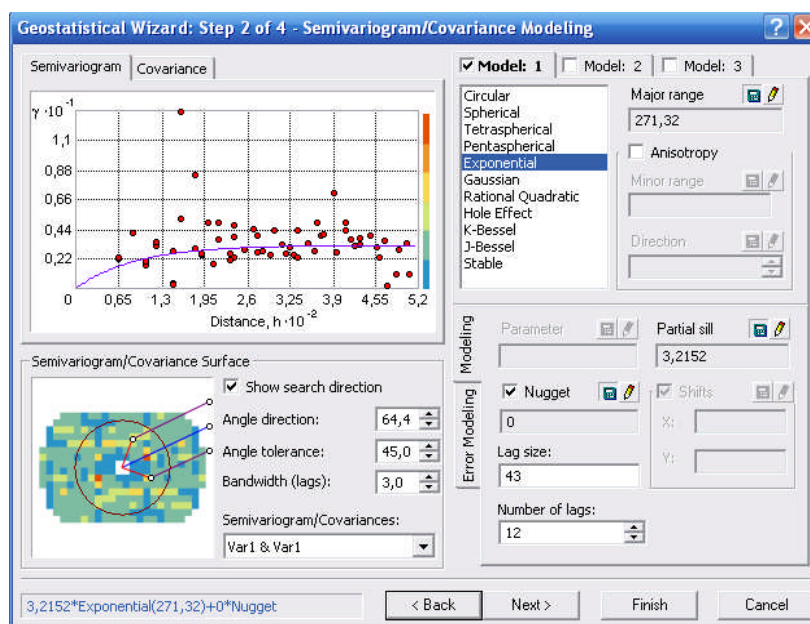


Fig. 22.- Finestra di dialogo *Semivariogram/Covariance Modeling*. Essa permette di modellare le relazioni spaziali nel datate

La finestra di dialogo *Semivariogram/Covariance Modeling* permette di modellare le relazioni spaziali nel datate. Di default, vengono calcolati i parametri ottimali per un modello di semivariogramma sferico. Nella presente ricerca è stato utilizzato il modello di semivariogramma esponenziale (fig. 22) che è sembrato interpolare meglio i valori.

Il *Geostatistical Analyst* determina all'inizio una buona discretizzazione per raggruppare i valori del semivariogramma. Il *lag size* è la dimensione della classe di distanze entro la quale una coppia di posizioni viene raggruppata, in modo da ridurre il numero di

combinazioni possibili. Questa procedura è chiamata *binning*. Nella presente ricerca il *Lag* utilizzato è stato di 43 m. Una buona distribuzione può anche aiutare a rivelare correlazioni spaziali. La finestra di dialogo di fig. 23 visualizza i valori del semivariogramma come una superficie e come un diagramma a punti in funzione della distanza. In seguito, essa interpola un modello (migliore per tutte le direzioni) e determina i valori dei parametri associati, chiamati tipicamente *nugget*, *range* e *partial sill*.

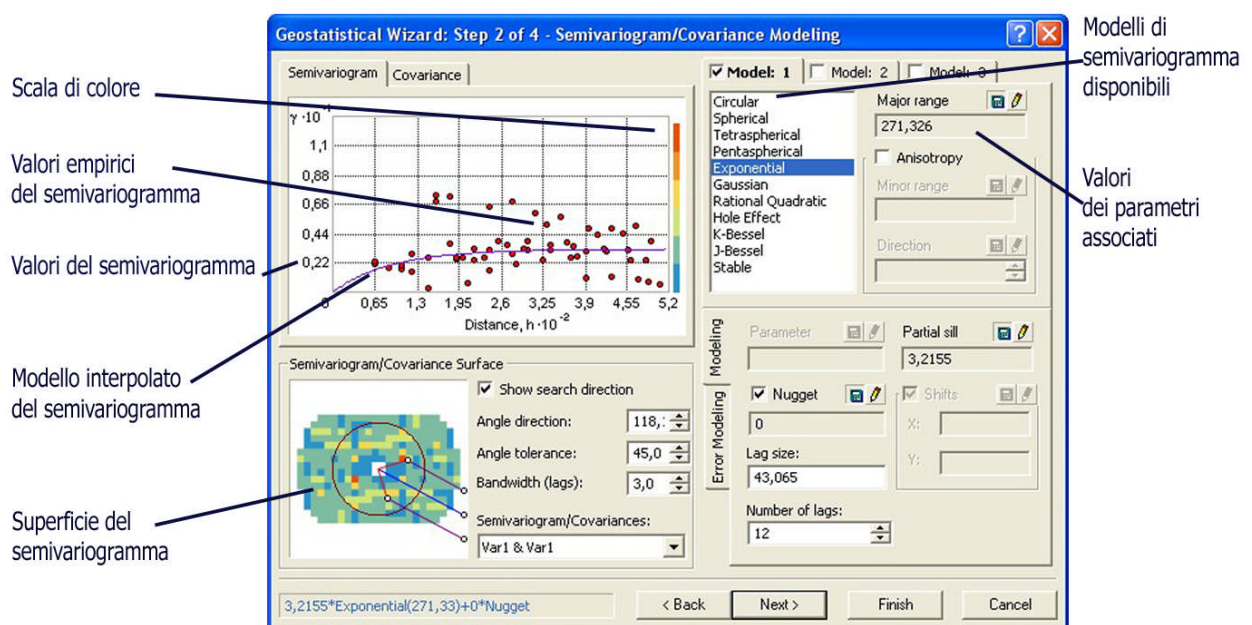


Fig. 23.- Finestra di dialogo del modello di semivariogramma – Modelli disponibili

Ridurre il *lag* significa ingrandire per modellare i dettagli della variazione locale tra punti campione attigui. Con un *lag* minore, il semivariogramma interpolato (linea blu) sale più rapidamente e poi si assesta. Il *range* è la distanza dove si appiana.

Rimuovendo la tendenza, il semivariogramma modellerà l'autocorrelazione spaziale tra i punti campione senza considerare la tendenza nei dati. La tendenza sarà aggiunta automaticamente ai calcoli prima che venga prodotta la superficie finale.

La scala di colore (fig. 24), che rappresenta i valori calcolati del semivariogramma, fornisce un collegamento diretto tra i valori empirici del semivariogramma sul grafico e quelli della superficie del semivariogramma. Il valore di ogni cella della superficie del semivariogramma ha un colore, con i valori più bassi in blue e verde e quelli più alti in arancione e rosso. Il valore medio per ogni cella della superficie del semivariogramma viene diagrammato sul grafico del semivariogramma. L'asse x è la distanza della cella dal centro della superficie del semivariogramma. I valori del semivariogramma rappresentano la dissimilarità.

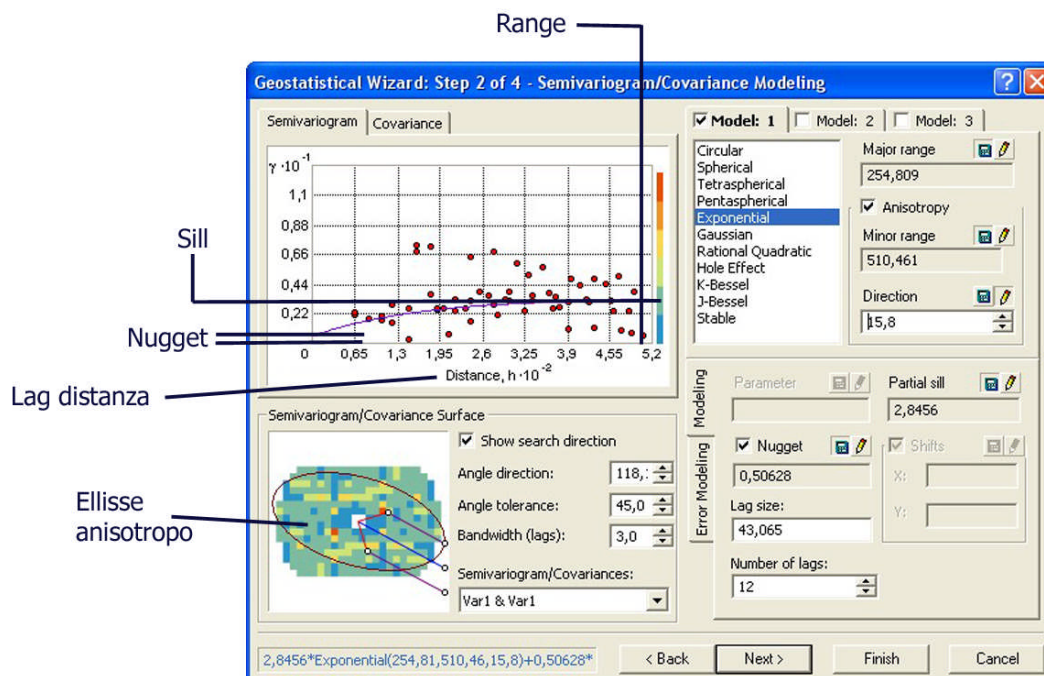


Fig. 24.- Finestra di dialogo del modello di semivariogramma – visualizzazione dei parametri

Un'influenza direzionale può insistere sui punti del semivariogramma ed il modello che li interpolerà. In certe direzioni, cose vicine possono essere più dissimili che in altre direzioni. Le influenze direzionali sono chiamate anisotropie, ed il *Geostatistical Analyst* può prenderle in considerazione. Un'anisotropia può essere causata da una particolare distribuzione di piante, dal vento e da una particolare struttura geomorfologia dell'ambiente.

Il *range* è la distanza alla quale il modello del semivariogramma raggiunge il valore limite (il *sill*). Al di fuori di questo range, la dissimilarità tra punti diviene costante con l'aumento della distanza. Il *lag* è definito dalla distanza tra coppie di punti (fig. 24). I punti sono separati da una distanza del *lag* più grande del range e sono spazialmente incorrelati. Il *nugget* rappresenta l'errore di misura e/o le variazioni di microscala (variazioni a scale spaziali troppo piccole per essere individuate). È possibile stimare l'errore di misura se si possiedono osservazioni multiple per le posizioni, oppure si può scomporre il *nugget* in errore di misura e variazione a microscala, spuntando *Nugget Error Modeling*.

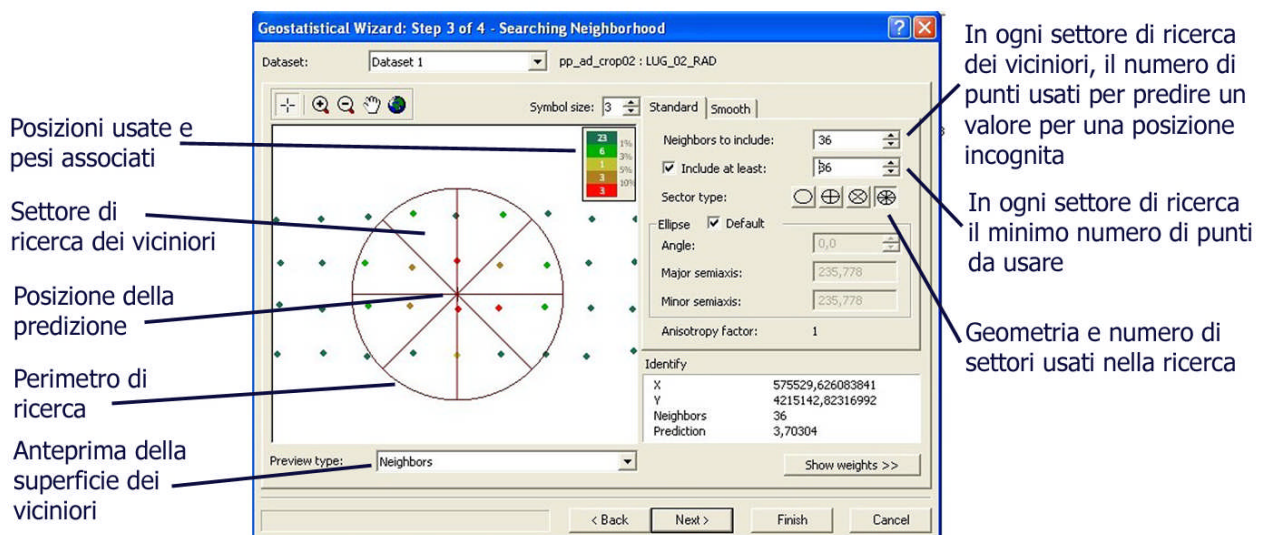


Fig.25.- Finestre di dialogo *Searching Neighborhood* - Visualizzazione punti

È pratica comune circoscrivere i dati usati definendo un cerchio (o un ellisse) che racchiuda i punti usati per predire i valori per posizioni incognite. Inoltre, per evitare scostamenti in direzioni particolari, il cerchio (o l'ellisse) può essere diviso in settori dai quali viene selezionato un eguale numero di punti.

Usando la finestra di dialogo *Searching Neighborhood* (fig. 25), può essere specificato il numero di punti (massimo 200), il raggio (o gli assi maggiore e minore) ed il numero di settori del cerchio (o dell'ellisse) da usare per la predizione.

I punti evidenziati nella finestra della vista dei dati (fig. 25) danno un'indicazione dei pesi che saranno associati ad ogni posizione nella predizione dei valori incogniti. Maggiore è il peso, maggiore è l'influenza della posizione sulla predizione dei valori incogniti.

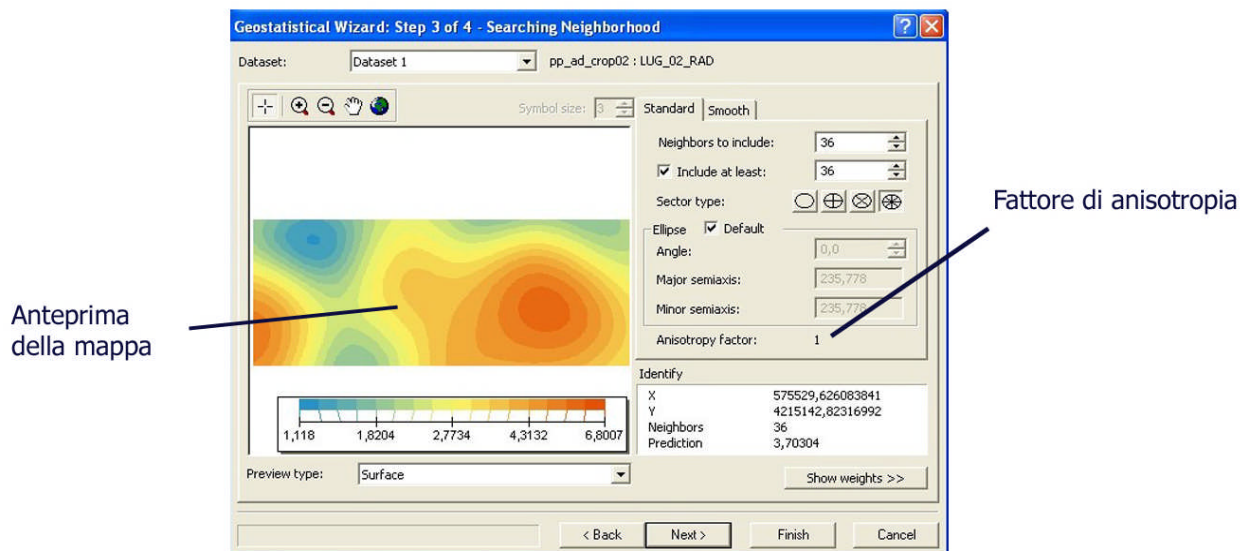


Fig. 26.- Finestre di dialogo *Searching Neighborhood* - Anteprima mappa

La fig. 26 mostra una anteprima della mappa che verrà poi visualizzata e dei principali parametri scelti nell'interpolazione.

La cross-validation (fig. 27) da un'idea di quanto bene il modello predica i valori incogniti. Per tutti i punti, la cross-validation omette sequenzialmente un punto, predicendo il suo valore usando il resto dei dati e confrontando i valori predetti e misurati. La cross-validation viene rilasciata anche nel modello di interpolazione *IDW*. Le statistiche calcolate servono come diagnostica per indicare se il modello è adatto alla produzione di una mappa.

Oltre a visualizzare i punti attorno alla linea 1:1, può essere usato un certo numero di misure statistiche per controllare le performances del modello. L'obiettivo della cross-validation è di aiutare a prendere una decisione su qual'è il modello che fornisce la

predizione più accurata. Per un modello che fornisce delle predizioni accurate, l'errore medio dovrebbe essere vicino a 0, l'errore quadratico medio e l'errore medio standard dovrebbero essere i più piccoli possibili (utile nel confrontare i modelli) e l'errore standard quadratico medio dovrebbe essere vicino ad 1.

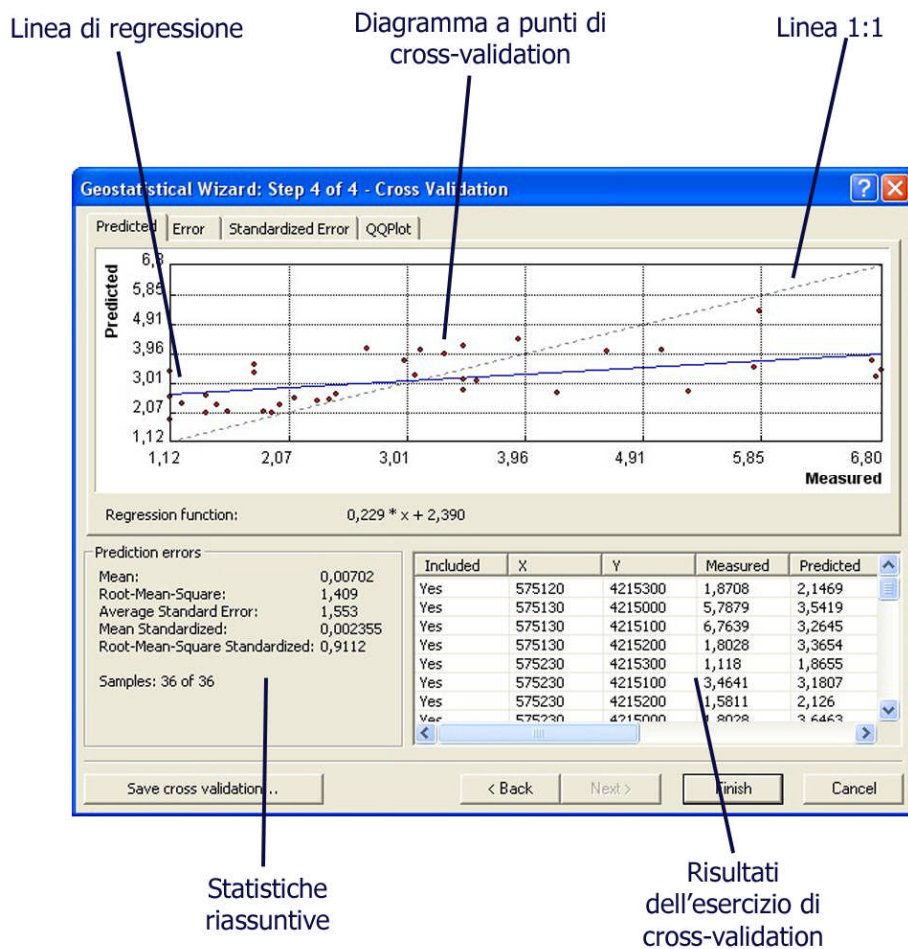


Fig. 27.- Finestra di *cross-validation*.

Il termine errore di predizione indica la differenza tra la predizione ed il valore effettivamente misurato. Per un modello che fornisce predizioni accurate, l'errore medio di predizione dovrebbe essere prossimo a 0 se le predizioni sono senza scostamenti, l'errore di predizione standard quadratico medio dovrebbe essere prossimo ad 1 se gli errori standard sono accurati, e l'errore di predizione quadratico medio dovrebbe essere

piccolo se le predizioni sono prossime ai valori misurati. La finestra di dialogo *Cross Validation* permette inoltre di visualizzare dei diagrammi a punti che mostrano *Error*, *Standardized Error* e *QQPlot* per ogni punto.

Infine la finestra di dialogo *Output Layer Information* (fig. 28) fornisce un riassunto dei parametri scelti nel modello che sarà usato per creare la superficie.

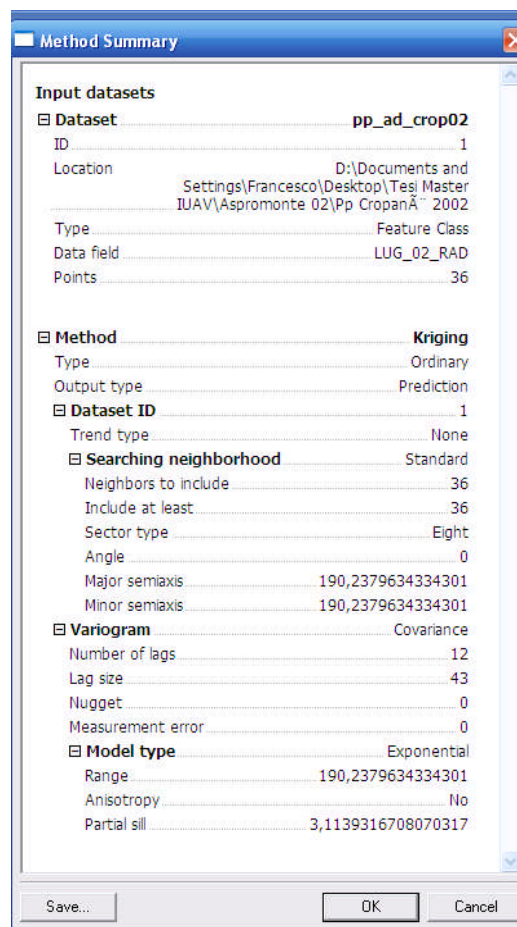


Fig. 28.- Finestra di dialogo *Output Layer Information*. Essa fornisce un quadro riassuntivo dei parametri utilizzati nel modello di interpolazione scelto.

Il layout finale è una mappa. Una tale presentazione grafica risulta particolarmente utile in quanto induce anche all'interpretazione visiva, alla rivalutazione dei risultati, alla scoperta di relazioni che potevano essere rimaste nascoste all'analisi geostatistica e costituisce pertanto una parte essenziale del processo di analisi spaziale.

7. Risultati

7.1. Campionamento su piccola scala (di tipo intensivo)

L'andamento della curva della media delle catture per trappola nelle varie date di campionamento è riportato in fig. 29. La forma è asimmetrica; la fase di incremento delle catture copre globalmente il primo terzo della durata dei voli e ha un pendenza media maggiore della fase discendente della curva delle catture. Quest'ultima presenta un primo tratto a forte pendenza cui segue una fase segnata da un tasso di decremento minore. Globalmente la fase discendente, che copre i due terzi dell'intera curva dei voli può essere in gran parte considerata come approssimabile con un'esponenziale negativa.

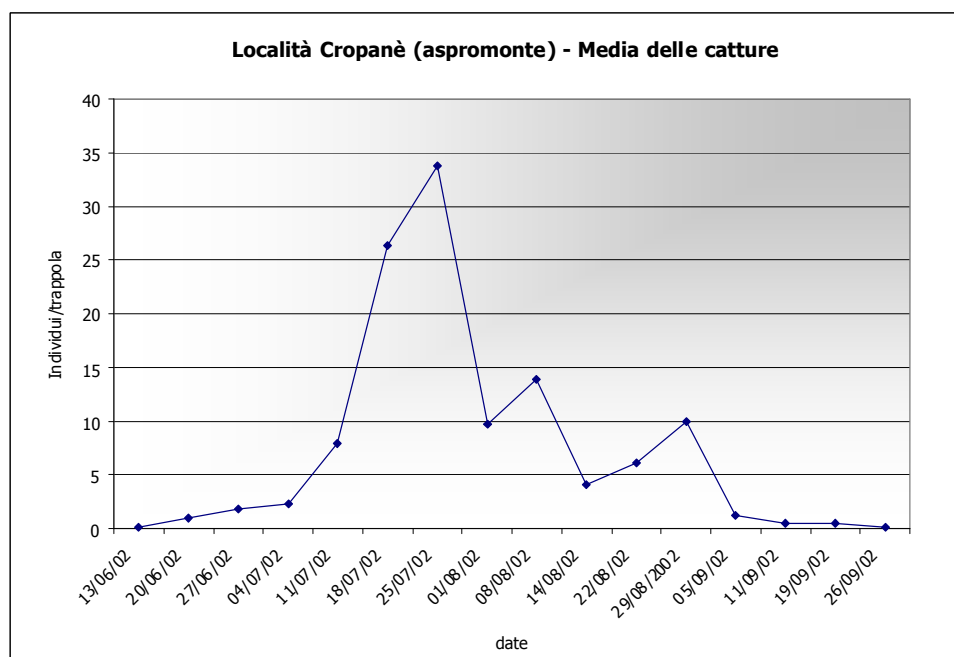


Fig. 29.- Località Cropanè, Parco Nazionale d'Aspromonte, media catture degli adulti di processionaria per trappola.

La forma della curva è quindi in linea con le attese teoriche di una curva di uscita da uno stadio (in questo caso lo stadio di crisalide) o di entrata nel successivo (in questo caso lo stadio adulto).

Il disegno di campionamento utilizzato, con disposizione delle trappole secondo un reticolo regolare costituito da una maglia rettangolare di 4 x 9 nodi, ha consentito di creare una mappa bidimensionale della distribuzione dell'abbondanza nel sito campionato. I risultati sono rappresentati in modo tridimensionale nella fig. 30 e con curve in un grafico bidimensionale in Fig. 31.

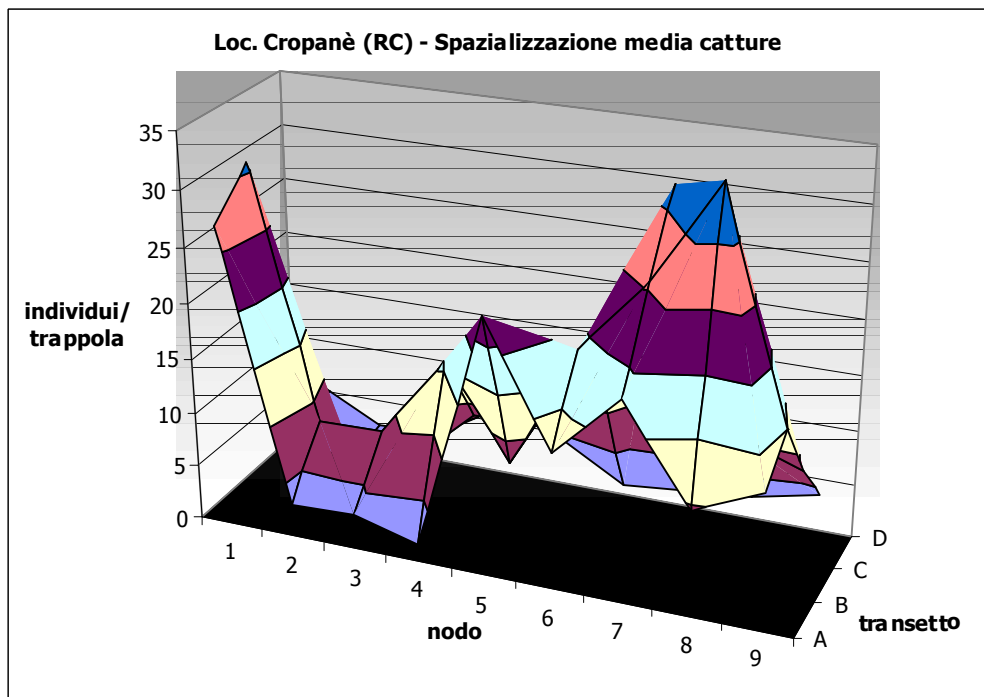


Fig. 30. - Località Cropanè, Parco Nazionale d'Aspromonte, spazializzazione della media delle catture degli adulti di processionaria tridimensionale, nell'area oggetto di studio.

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 dar 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 dei 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 incrisolidamento delle larve in processione e quindi del successivo sfarfallamento.

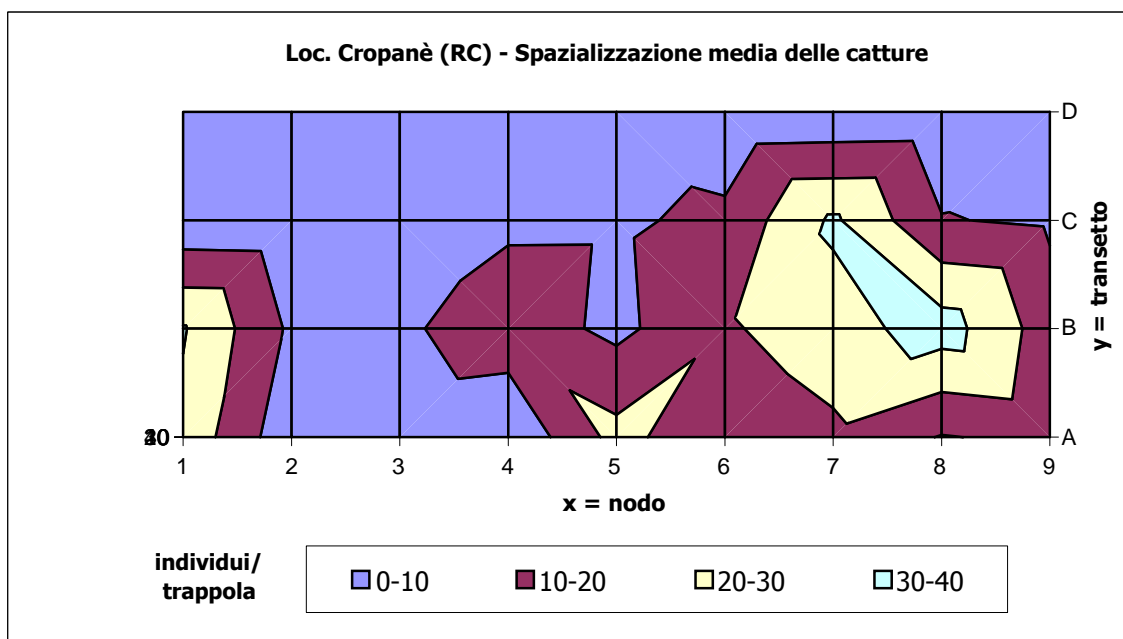


Fig. 31.- Località Cropanè, Parco Nazionale d'Aspromonte, spazializzazione media delle catture in 2 dimensioni.

Per valutare la distribuzione spaziale di *T. pityocampa* nel Parco Nazionale d'Aspromonte, sono state analizzate le informazioni con la componente geografica utilizzando i metodi di analisi spaziale. L'importanza di questo tipo di indagini è stata quella di fornire un quadro dettagliato, anche sotto il profilo grafico (fig. 31) 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).

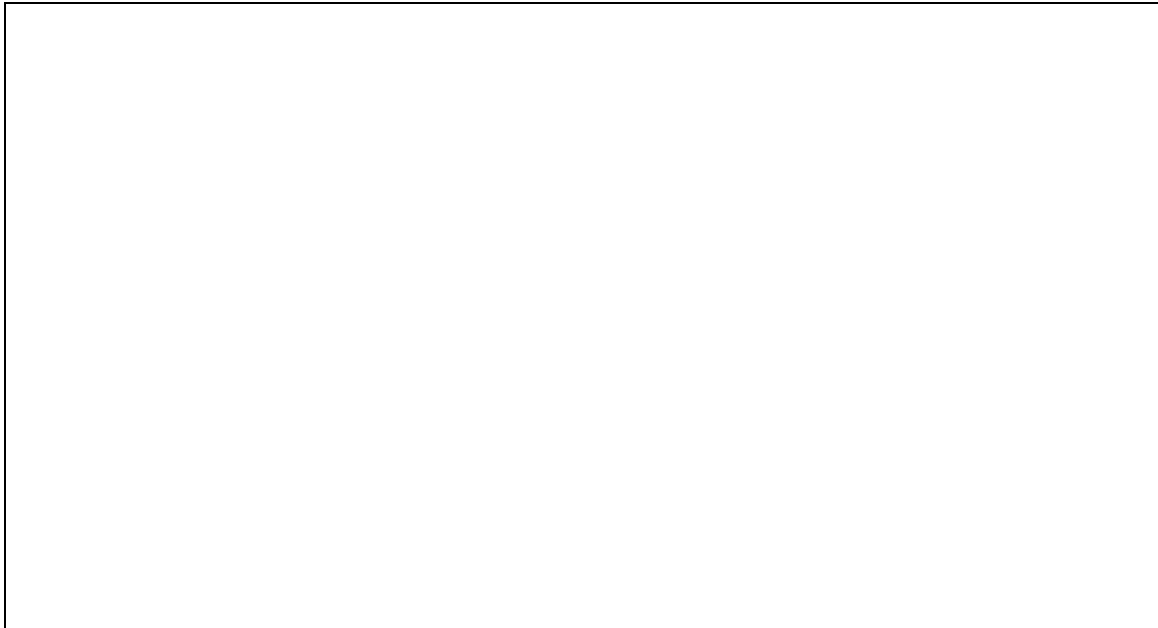


Fig. 31.- Visualizzazione in 3D dell'interpolazione effettuata con il metodo *Kriging*.

Per sviluppare la distribuzione spaziale del lepidottero sulle piante sono stati utilizzati (Fig. 32, 33 e 34) e messi a raffronto (fig. 35) i metodi *Spline*, *IDW* (*Inverse squared Distance Weighted*) e *Kriging*.

Gli adulti di *T. pityocampa* hanno presentato all'interno del campo una distribuzione dinamica nel tempo. 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 Sud-Ovest, complessivamente quantificabile con tutti i metodi di interpolazione utilizzati. I primi adulti delle popolazioni svernanti sono stati osservati già dal mese di Giugno, con un incremento della densità di individui nei mesi di Luglio ed Agosto. La comparsa degli individui è stata graduale e la loro distribuzione si è sviluppata maggiormente nel mese di Luglio, come mostrano chiaramente le interpolazioni realizzate. Nella distribuzione spaziale del mese di giugno sono visibili delle aggregazioni puntiformi probabilmente connesse con il passaggio di stadio da crisalide ad adulto (sfarfallamento).

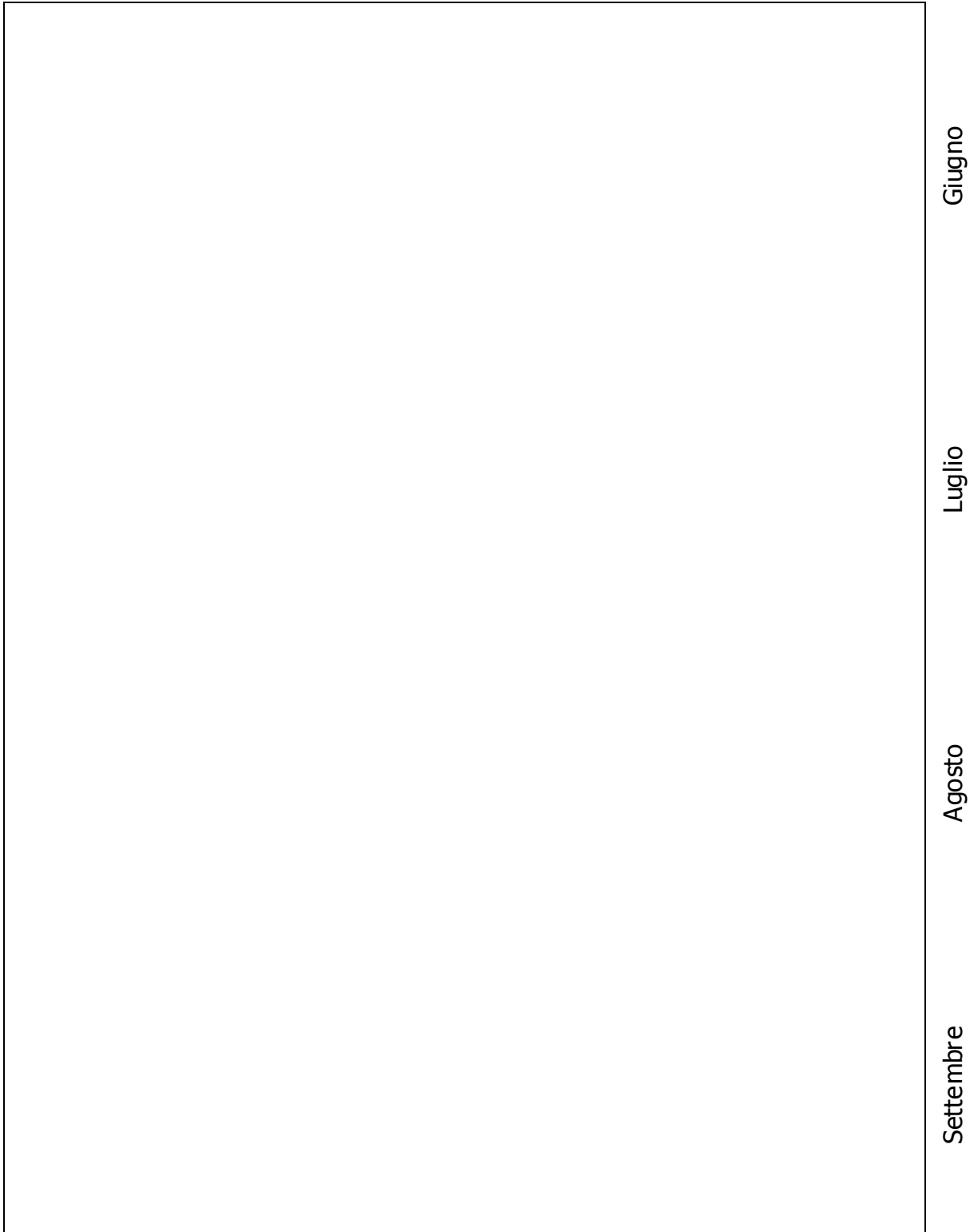
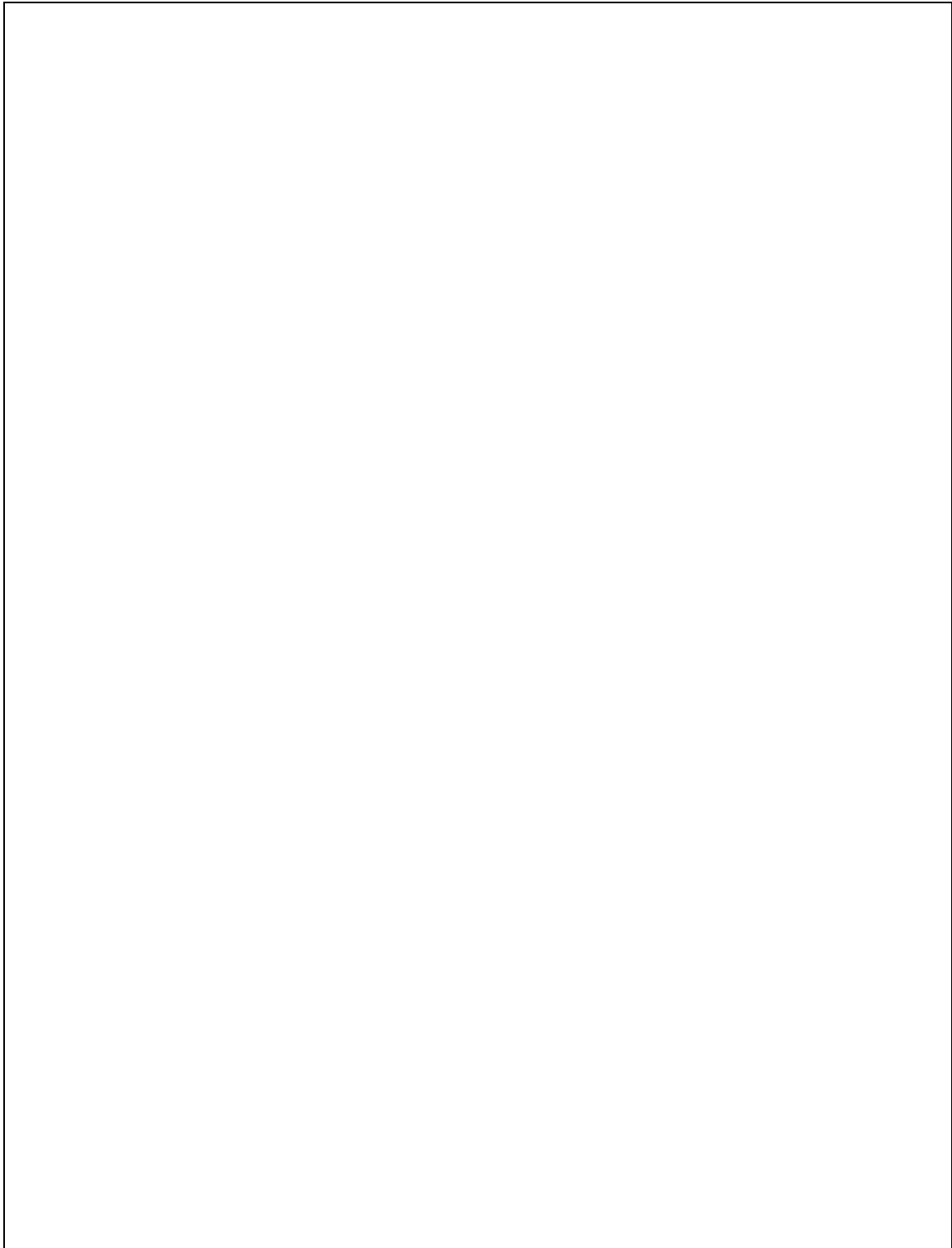


Fig. 32. - Distribuzione spaziale di *T. pityocampa* mediante applicazione dell'interpolatore *Spline*



Giugno

Luglio

Agosto

Settembre

Fig. 33. - Distribuzione spaziale di *T. pityocampa* mediante applicazione dell'interpolatore *IDW*

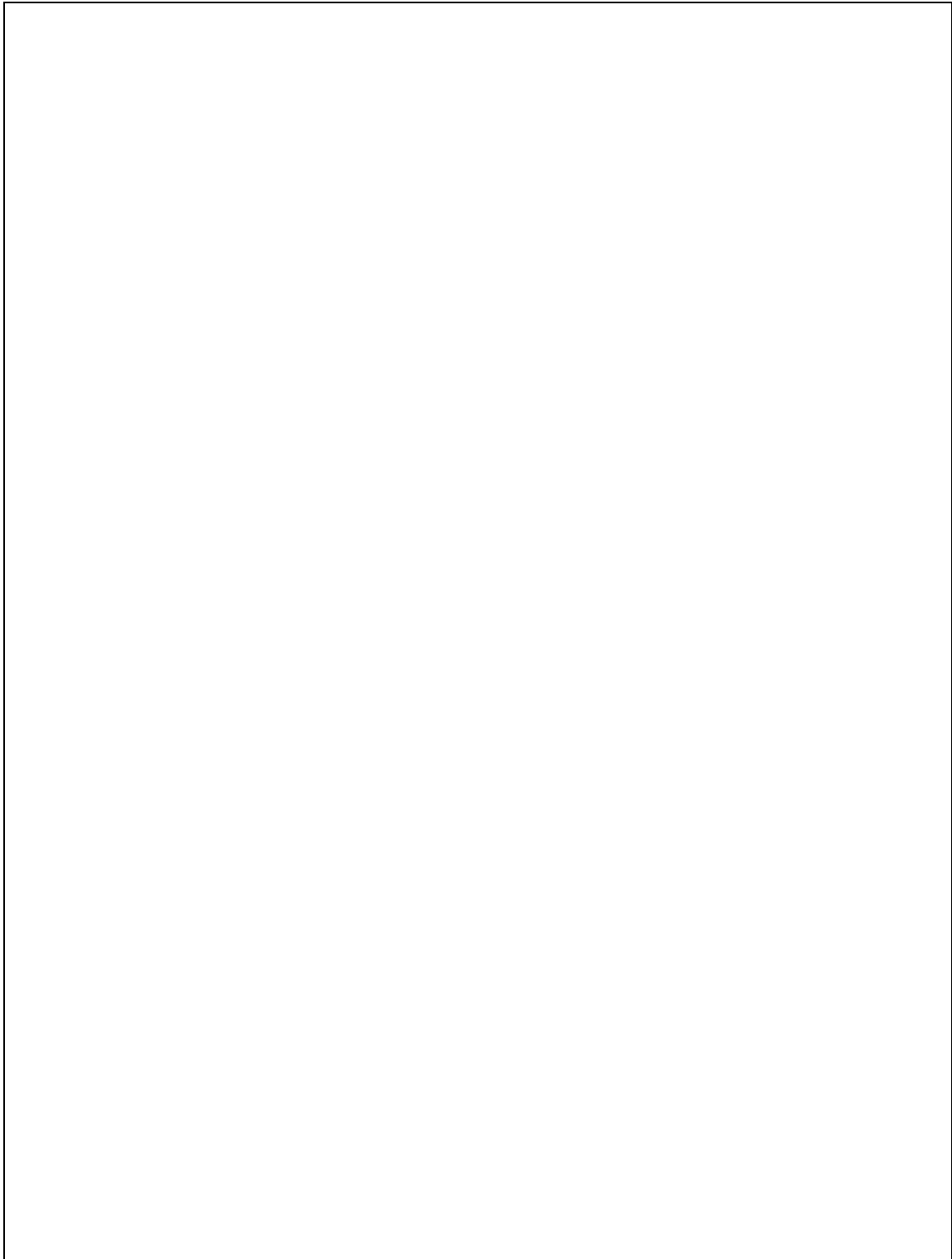


Fig. 34. - Distribuzione spaziale di *T. pityocampa* mediante applicazione dell'interpolatore *Kriging*

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 (mean error) nella stima risultano sensibilmente basse sia per il metodo IDW sia per il metodo *Kriging* (tab. 5), sono molto simili al "*root mean square standardized*", parametro stimato nel metodo *Kriging*, i cui valori sono risultati vicino a 1 nei diversi mesi di indagine, evidenziando che entrambe le interpolazioni forniscono stime dei punti non campionati discretamente precise. Infatti, se il valore del *root mean square standardized* è inferiore a 1 il modello effettua una sovrastima mentre se è superiore a 1 effettua una sottostima.

Statistic dataset	giu-02	lug-02	Ago-02	set-02
Kriging ordinary				
Mean:	2,87e ⁻¹⁶	0,00702	0,002529	-7,77e ⁻¹⁶
Root-Mean-Square:	0,34	1,409	0,9809	0,3268
Average Standard Error:	0,3397	1,553	1,101	0,3273
Mean Standardized:	8,40e ⁻¹⁶	0,002355	0,001266	-2,32e ⁻¹⁵
Root-Mean-Square Standardized:	1,001	0,9112	0,898	0,9987
IDW				
Mean:	0,00712	0,0613	0,03224	0,008746
Root-Mean-Square:	0,3447	1,544	1,065	0,339

Tab. 5.- Risultati della *cross-validation* ottenute dall'analisi delle interpolazioni

Pur non rilasciando la *cross-validation* il metodo Spline si presta anch'esso ad una buona interpretazione visiva. Infatti come si può osservare in fig. 35 le mappe interpolate con questo modello presentano forti similarità con le rappresentazioni grafiche sviluppate con il metodo *Kriging*.

Le spazializzazioni ottenute con l'utilizzo delle tecniche di interpolazione spaziale si sono rivelati 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 si sono rivelati utili nel fornire informazioni sulla distribuzione spaziale di una specie come *T. pityocampa* comunemente contraddistinta da elevate densità di attacco e responsabile di rilevanti danni per le pinete della Calabria. Il modello *Kriging* che ha mostrato una buona *cross-validation* e un calcolo dell'errore più accurato, è stato utilizzato poi come stimatore per il campionamento estensivo.

7.2. Campionamento su larga scala (di tipo estensivo)

Dall'analisi dell'andamento della media delle catture nell'intera area di studio, negli anni 2003, 2004 e 2005, scaturiscono alcune differenze che permettono di approfondire l'analisi sulla variabile osservata.

Ciò che appare evidente, come peraltro apprezzabile in quasi tutti i Patch in cui è stata condotto il confronto tra le medie di cattura per gli anni oggetto di studio, è il valore particolarmente basso delle catture, soprattutto nei primi due anni: pur tuttavia è possibile apprezzare una dinamica dei voli notevolmente diversa che caratterizza la specie nell'area in cui è stato effettuato lo studio e cioè: una distribuzione bimodale nell'anno 2003, con 2 picchi di cattura collocati alle date 22 luglio e 12 agosto; una distribuzione unimodale nell'anno 2004, con il picco di cattura collocato alla data 11 agosto che ricalca la distribuzione tipica delle catture degli adulti di processionaria, come ampiamente reperibile in letteratura; una distribuzione bimodale nell'anno 2005 con i due picchi di cattura rispettivamente collocati a metà luglio e il 5 di agosto.

La presenza nel 2003 e nel 2005 di una curva bimodale farebbe pensare alla presenza di popolazioni differenti, costituite l'una da individui sfarfallati da pupe formatesi rispettivamente nella primavera del 2003 e del 2005, l'altra derivante da larve che, impupatesi nelle primavere precedenti, hanno trascorso circa un anno in diapausa prolungata.

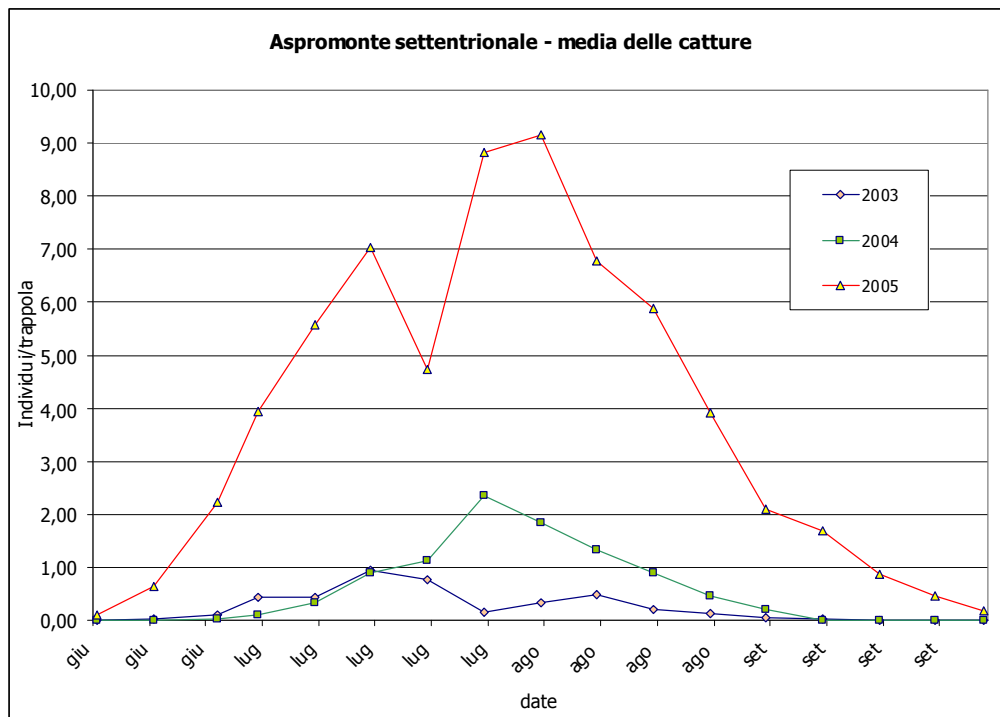


Fig. 36.- Dinamica delle curve di volo nell'intera area di studio anni 2003, 2004 e 2005.

Da non trascurare anche gli effetti dell'andamento climatico che potrebbe avere determinato, negli anni in questione, condizioni sfavorevoli. Infatti, nell'anno 2003 tra il 30 luglio e il 3 agosto sono state registrate abbondanti precipitazioni in tutte le stazioni meteo prese a riferimento e temperature in calo di oltre 5°C sulla media. Nell'anno 2005 soprattutto i valori di temperatura hanno mostrato un evidente calo proprio nello stesso periodo (Manti, 2006).

Dall'analisi del periodo di volo emerge una lunghezza simile in due degli anni di studio, uno spostamento della data di inizio e fine voli nell'anno 2004 rispetto al 2003 ed un prolungamento della curva nell'anno 2005. Si assiste inoltre ad un aumento della media delle catture per trappola di adulti passando dal 2003 al 2005, anno in cui il maggior numero di catture appare più concentrato nel periodo estivo centro-terminale, a fronte di un raggruppamento delle stesse che caratterizza il periodo estivo iniziale dell'anno 2003 e dell'anno 2004.

Lo sfarfallamento degli adulti di *T. pityocampa* è iniziato nella seconda decade di giugno negli anni 2003 e 2005; nella seconda decade del mese di luglio nell'anno 2004.

L'anno 2003 è stato contraddistinto per un numero molto basso di catture. In tutto il periodo di volo gli adulti catturati sono stati di poco superiori alle 800 unità con un picco di 2 individui medi per trappola registrato il 22 luglio. La curva ha una forma bimodale. Il 2004 si è distinto per un aumento delle catture medie per trappola quasi raddoppiato rispetto al 2003 con una media registrata nella seconda decade di agosto di 3 individui/trappola. Le catture sono iniziate in ritardo (6 Luglio) e sono finite il 21 Settembre. La metà esatta delle catture con 982 adulti si è registrata il 27 luglio; la curva cumulata presenta un andamento logistico regolare con una parte intermedia di uscita molto ripida con rapida accelerazione ed una parte finale a saturazione molto più lenta. Nell'anno 2005 la curva dei voli si è ancora di più diversificata con un considerevole aumento sia in termini di catture (oltre 13.000 gli adulti catturati in tutto il periodo di volo) che di durata. Le catture sono iniziate il 10 giugno; l'ultima cattura è stata registrata il 23 settembre. La curva di volo si presenta asimmetrica e bimodale con due picchi uno registrato il 10 luglio con 23 catture medie per trappola e una il 29 luglio con 18 individui/trappola. Il 50% delle catture totali (6.616) si è registrato il 18 luglio, mentre la curva delle catture cumulate presenta una forma logistica regolare.

La possibilità di realizzare una dinamica spazio-temporale è stata resa possibile dalla rilevante infestazione del fitofago in campo nell'anno 2005. Densità di adulti più basse rendono infatti meno evidente la sua presenza in campo anche se i danni nel volgere di qualche anno possono risultare elevati.

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 (fig.37, 38, 39, 40, 41 e 42).

Fig. 37.- Mappe della distribuzione della processionaria del pino nelle zone monitorate con applicazione del metodo di interpolazione *Kriging*. Anno 2003

Fig. 38.- Mappe della distribuzione della processionaria del pino nelle zone monitorate con applicazione del metodo di interpolazione *Kriging*. Anno 2004

Fig. 39.- Mappe della distribuzione della processionaria del pino nelle zone monitorate con applicazione del metodo di interpolazione *Kriging*. Anno 2005

Fig. 40.- Mappe della distribuzione della processionaria del pino nelle zone monitorate e in aree non sottoposte a controllo con applicazione del metodo di interpolazione *Kriging*. Anno 2003

Fig. 41.- Mappe della distribuzione della processionaria del pino nelle zone monitorate e in aree non sottoposte a controllo con applicazione del metodo di interpolazione *Kriging*. Anno 2004

Fig. 42.- Mappe della distribuzione della processionaria del pino nelle zone monitorate e in aree non sottoposte a controllo con applicazione del metodo di interpolazione *Kriging*. Anno 2005

La possibilità di intercettare l'adulto di *T. pityovampa* rappresenta quindi un'opportunità di rilievo ai fini del controllo e monitoraggio della specie come è bene evidenziato in fig. 43 nel confronto tra i tre anni di indagine nei patch monitorati.

Al fine di rilevare la reale pericolosità della processionaria del pino è proceduto alla realizzazione di carte di spazializzazione delle aree sensibili all'insetto (pinete) che hanno espresso la probabile distribuzione attuale dell'insetto intesa come percentuale di boschi attaccati rispetto al totale dei boschi presenti territorio, come si evince dalla fig. 44 dove è evidenziata, in una area particolare, la presenza della processionaria nei boschi soggetti al controllo e in quelli non sottoposti all'azione di monitoraggio, e dalla fig. 45 ove si osserva la distribuzione, nei tre anni di monitoraggio, della *T. pityocampa* in tutti i boschi a *Pinus* del Parco Nazionale d'Aspromonte.

Fig. 44. – Particolare della distribuzione della processionaria del pino in aree monitorate e in aree non sottoposte all'azione di controllo.

Altresì si può procedere all'elaborazione di carte previsionali delle aree sensibili che indichino la probabilità, nelle varie zone territoriali, dell'incidenza del danno prodotto dalla *T. pityocampa*. Tali carte, oltre a stimare per ogni parcella forestale il rischio di espansione dell'infezione, potranno fornire importanti informazioni circa l'evolversi del patogeno, in particolare in riferimento a modificazioni delle sue caratteristiche bioecologiche (variazioni altitudinali e/o latitudinali dell'areale di diffusione, ecc).

I risultati della ricerca consentono pertanto di conoscere meglio l'ecologia della specie ed evidenziano come gli adulti di *T. pityovampa* provenienti dalla fase di svernamento si distribuiscano in maniera progressiva preferendo aree di permanenza ben definite nel comprensorio di studio.

Conclusioni

Sono stati presentati i contenuti metodologici e i risultati preliminari di una esperienza di sviluppo di un Sistema Informativo Territoriale e di utilizzo di tecniche di interpolazione spaziale per la gestione di un insetto defogliatore forestale, la processionaria del pino (*Traumatocampa pityocampa* (Den. & Schiff.)) nel Parco Nazionale d'Aspromonte.

La specie è biologicamente poco nota e l'approccio scientifico si è solo sporadicamente rivolto all'acquisizione di quelle nozioni necessarie alla comprensione e al modellamento delle strategie vitali del fitofago e della dinamica delle sue popolazioni.

Per quanto concerne in particolare quest'ultimo aspetto, la frammentazione della risorsa forestale e le possibilità diffusive legate solo allo stadio adulto fanno sì che, nell'area indagata come nella maggior parte dell'areale distributivo della specie, la specie sia caratterizzata da una dinamica di metapopolazione. L'ecologia di popolazioni della processionaria del pino deve quindi essere indagata alla luce dei modelli che si riferiscono alla teoria delle metapopolazione.

La dinamica delle catture degli adulti è caratterizzata da livelli di abbondanza non elevati in rapporto a quanto osservato in zone del Parco Nazionale d'Aspromonte, nello stesso periodo d'indagine che non ricadono 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. Un'analisi approfondita delle proprietà di tali curve di volo è riportata in Manti (2006); nello stesso lavoro si analizzano anche i possibili effetti di fattori biotici e abiotici sulla variazione dell'abbondanza di adulti.

I problemi connessi alle pullulazioni di questo insetto nocivo devono cercare soluzione all'interno di strategie di management che intervengano a livello comprensoriale e che considerino l'eterogeneità distributiva dei patch, la loro qualità e importanza, il grado di

infestazione e l'impatto che questa ha localmente e globalmente sulla economia e sulla salute umana.

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

- (i) a rappresentare in modo grafico la dinamica della specie parassita 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, verificandone la validità e selezionandone il modello più appropriato;
- (ii) a procedere alla 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 queste per l'elaborazione di strumenti a supporto delle decisioni per il management degli interventi di controllo.

Il Sistema Informativo Territoriale è stato strutturato in modo gerarchico su strati complementari comprendenti: la cartografia di base, gli studi settoriali prodotti da vari Enti, dai tematismi prodotti nella realizzazione della presente ricerca e dal personal geodatabase.

Le entità territoriali e le loro relazioni, strutturate in file organizzati ed archiviati in un sistema che ne garantisce la gestione, hanno costituito il database geografico o geodatabase. Il modello che è stato applicato in questo studio è quello relazionale.

Dall'insieme degli elaborati prodotti sono stati sintetizzati alcuni temi informativi che, per la loro centralità rispetto alle problematiche oggetto di ricerca, sono stati ritenuti di importanza maggiore ai fini del DSS (Decision Support System). Al fine di rilevare la reale pericolosità della processionaria del pino si può procedere all'elaborazione di carte previsionali delle aree sensibili che indichino la probabilità, nelle varie zone territoriali,

dell'incidenza del danno prodotto dalla *T. pityocampa* e di carte di spazializzazione delle aree sensibili all'insetto che esprimano la probabile distribuzione attuale della percentuale di boschi non attaccati rispetto al totale delle piante infette nel territorio.

Possono, tuttavia, essere potenzialmente visualizzati di volta in volta tutti i livelli informativi implementati nel Sistema Informativo Territoriale, con particolare riferimento, ad esempio, alle elaborazioni del DTM (curve di livello) e alla sovrapposizione delle cartografie esistenti selezionate (1:50.000 IGMI). Tali carte, oltre a stimare per ogni parcella forestale il rischio di espansione dell'infezione, potranno fornire importanti informazioni circa l'evolversi del patogeno, in particolare in riferimento a modificazioni delle sue caratteristiche bioecologiche (variazioni altitudinali e/o latitudinali dell'areale di diffusione, ecc).

La metodologia seguita ha previsto l'uso di parametri, quali tipo di popolamento, la specie vegetazionale, l'esposizione, l'altimetria e la pendenza. Il risultato di una serie di combinazioni dei valori pesati assegnati ai diversi parametri, la sovrapposizione ed intersezione dei vari strati (o livelli tematici), può determinare le aree territoriali minime (micro aree omogenee) che localizzano la presenza di rischio basso, medio ed elevato.

Il riconoscimento e l'organizzazione delle basi cartografiche esistenti, la raccolta e la standardizzazione degli studi realizzati, la produzione delle cartografie tematiche e, più in generale, l'implementazione finale del Sistema Informativo Territoriale possono rappresentare un passaggio fondamentale per garantire la possibilità di realizzare una struttura in grado di governare al meglio la futura gestione a regime delle attività collegate alla gestione fitosanitaria del bosco e alla valorizzazione del territorio.

Le tecniche di analisi spaziale dei dati, interfacciati a sistemi basati su GIS, introducono nuove prospettive per la gestione del monitoraggio di insetti, nonché per la progettazione di sistemi di management delle loro popolazioni. Le analisi elaborate per la processionaria del pino in un comprensorio forestale della Calabria si sono dimostrate

un utile ausilio per la gestione dei dati e la parallela elaborazione di mappe di rischio fito-sanitario e igienico-sanitario legate all'abbondanza e alla attività dell'insetto. Lo sviluppo di modelli matematici e statistici finalizzati alla valutazione comparativa di strategie di intervento e alla elaborazione di scenari futuri di infestazione sono il presupposto per la creazione di Sistemi di Supporto Decisionale (DSS). Infatti, i protocolli e le procedure di raccolta e trattamento dei dati, i modelli matematici e statistici e il SIT sviluppato rappresentano un insieme di strumenti e conoscenze necessarie per la gestione razionale delle strategie di controllo del fitofago al servizio di una struttura in grado di governare al meglio le attività collegate alla gestione fito-sanitaria del bosco e alla valorizzazione del territorio.

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 consultata

- AA.VV., 1991. CORINE Biotopes manual, Habitats of the European Community. EUR 12587/3, Office for Official Publications of the European Communities.
- Allen T. F. H., and Hoekstra T. W., 1992. Towards a unified ecology. Columbia University Press, New York. 384pp.
- Allen D.C., Abrahamson L.P., Eggen D.A., Lanier G.N., Swier S.R., Kelley R.S., Auger M. (1986), "Monitoring spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) populations with pheromone-baited traps", *Environ. Entomol.*, 15: 152-165
- Anderson, R. J. 1991. "Clasificación de la flora y la fauna según los ashéninca." *Revista Latinoamericana de Estudios Etnolingüísticos* 6: 95-112.
- Androic, M., 1956. Contribution à l'étude de *Cnethocampa pityocampa* Schiff. *Revue de Pathologie Végétale et d'Entomologie Agricole de France*, 35, 251-262.
- Androic M., 1980. Le nombre critique et le seuil de tolerance de la densite de population des defoliateurs d'arbres forestiers. *Proceedings International symposium of IOBC/WPRS on integrated control in agriculture (ed.); forestry Vienna 8th-12th October 1979: Russ K (ed.); Berger H. Workshop sessions. 1980, 534-536.*
- Aussenac G, Granier A. 1978. Quelques resultats de cinetique journaliere du potentiel de seve chez les arbres forestiers. *Annales des Sciences Forestieres* 35, 19-32.
- Barry Lyons D., Sanders C., Gene J. (2002), "The use of geostatistics and GIS as tools for analyzing pheromone trap data at a landscape level: an update", *IOBC wprs Bulletin*, Vol. 25: 1-14
- Baccetti, B. & Zocchi, R. (1962) Prove di lotta contro la processionaria del pino mediante uso di radiazioni ionizzanti. *Redia*, 47, 161-167.
- Bartoloni, P. (1981) L'uso delle cartucce nella lotta contro la processionaria del pino. *L'informatore agrario*, 37, 15257-15259.
- Badiali G., 1979. La processionaria del pino. *Informatore Fitopatologico*. 1979, 29: 10, 21-27.
- Baronio P., Baldassari N., Scaravelli D., 1992. Evoluzione quantitativa di una popolazione di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) trattata con il metodo della cattura in massa. *Frustula Entomologica*. 1992, No. 15: 1-9.
- Baronio P., Baldassari N., Rocchetta G., Scaravelli D., 1992. Confronto tra le quantita di maschi di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) catturati da trappole ad attrattivo sessuale sintetico in una pineta mista. *Frustula Entomologica*. 1992, No. 15: 173-179.

- Baronio P., Rocchetta G. & Baldassari N., 1993. Una stima delle popolazioni di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in alcune vallate dell'Appennino forlivese. Bollettino dell'Istituto di Entomologia "Guido-Grandi" dell'Università degli Studi di Bologna. 1994, 48: 11-17; 18.
- Battisti A., 1986. Osservazioni sull'attività predatoria dell'upupa *Upupa epops* a carico della processionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa*. *Avocetta*, 10, 119-121.
- Battisti A., 1988. Host plant relationships and population dynamics of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermuller). *Journal of Applied Entomology*, 105: 4, 393-402.
- Battisti C., 2004. Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica. Provincia di Roma, Assessorato alle politiche ambientali, Agricoltura e Protezione civile pp. 249
- Begon M., Harper J., Townsend C.R., 1989. *Ecologia. Individui, Popolazioni, Comunità*, Ed. Zanichelli, (capitolo 2, paragrafo 14).
- Berryman, A.A., 1978: The theory and classification of outbreaks. In: P. Barbosa and J.C. Schultz (eds.). *Insect Outbreaks*. Academic Press, London, pp. 3-30.
- Bertucci B.M., 1983. La processionaria del pino. *Informatore Fitopatologico*. 33: 7-8, 21-29;
- Biliotti E., 1958. Le parasites et prédateurs de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera). *Entomophaga*, 3, 23-34.
- Blondel J., 1976. L'influence des reboisements sur les communautés d'oiseaux, l'exemple du Mont Ventoux. *Ann. Scie. Forest.*, 33 : 221-245.
- Blondel J., Lebreton J.-D., 1996. The biology of spatially structured populations: concluding remarks. *Acta Oecologica*, 17: 687-693.
- Bonsignore C.P., Manti F., Vacante V., 2007, Field and tree distribution of *apnoidis Tenebrionis* (Linnaeus, 1767)(Col., Buprestidae) adults in an apricot orchard in Italy, *Journal of Applied Entomology*, in press
- Braun Blanquet J., 1951, *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationskunde*. Springer-Verlag, Wien.
- Brenner R. J., Focks D. A., Arbogast R.T., Weaver D. K. and D. Shuman, 1998. Practical use of spatial analysis in precision targeting for integrated pest management. *American Entomologist*, 44, 79-101.
- Brullo S., Scelsi F., Spampinato G., 2001 – *La Vegetazione dell'Aspromonte*. Studio fitosociologico. Laruffa editore.

- Burgio G., Ferrari R., Ragolini G., Petacchi R., Pozzati M., Reggiani A, Furlan L. Galassi T., 2005. Analisi spaziale delle popolazioni di *Agriotes sordidus* Illiger e *Agriotes litigiosus* Rossi (Coleoptera Elateridae) mediante geostatistica e GIS: primi risultati di un'indagine eseguita in Emilia-Romagna. *Informatore Fitopatologico*, 54 (4): 45-50.
- Caminiti F., Gullotta O., Mercurio R., Modica G., Spampinato G., 2002, Primo Contributo per lo studio dei tipi forestali nel Parco Nazionale d'Aspromonte. *L'Italia Forestale e Montana*, 51: 159-218.
- Chen H., White D.J., Caraco T.B. and H. H. Stratton, 2005. Epidemic and Spatial Dynamics of Lyme Disease in New York State, 1999-2000. *Journal of Medical Entomology*, 42 (5), 899-908.
- Clark, L.R., Geier, P.W., Hughes, R.D. and Morris, R.F., 1967: *The Ecology of Insect Populations*, Methuen, London, 232 pp.
- Celada C., 1995. Frammentazione degli ambienti e conservazione: approcci empirici e modelli. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina*, 22: 293-297.
- Cochran W.G., 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, New York, XVI + 428 pp.
- Corona P., Garfi G., Maetzke F., Marchetti M., 2001. Riconoscibilità dei luoghi forestali e organizzazione dei processi gestionali, Quadreni IAED, Roma (in stampa).
- Cressie N. A. C., 1993. *Statistics for spatial data*, revised edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Dalla Marta A., Orlandini S., 2004 - III Giornate di Studio Metodi Numerici, Statistici e Informatici nella Difesa delle Colture Agrarie e delle Foreste: ricerca e applicazioni. Firenze, 27-26 novembre: 220 pp.
- Dajoz R., 1980 - *Fondamenti di Ecologia applicata*, Villers editore, Parigi.
- Davies C.E., Moss D., 1997, *EUNIS Habitat Classification*, Final Draft Museum Nationale d'Histoire Naturelle, ETC/NC e EEA, Paris.
- Debazac, E.F. 1971. "Contribution a la connaissance de la repartition et de l'ecologie de *Pinus nigra* Arn. dans le Sud- est de l'Europe". *Annales des Sciences Forestières*, 28, n°2, pp :91-139.
- Del Favero R., Andrich O., De Mas G., Lasen C., Poldini L., 1990 - *La vegetazione forestale del Veneto. Prodrumi di tipologia forestale.* - Regione Veneto, Dipartimento Foreste, Mestre-Venezia, 177 pp.
- Demolin, G. (1969a) Bioecologia de la Procesionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidencia de los factores climaticos. *Boletin del Servicio de Plagas Forestales*, 12, 9-24.

- Demolin,G., 1969b. Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.: dispersion spatiale, importance ecologique. Annales des Sciences Forestieres, 26, 81-102.
- Demolin G., 1971. Incidences de quelques facteurs agissant sur le comportement social des chenilles de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera) pendant la periode des processions de nymphose. Repercussion sur l'efficacite des parasites. Delegation Generale a la Recherches Scientifique et Technique: Biological control in the forest. Scientific papers presented at a Colloquium organised by the Scientific Committee for biological control of the D.G.R.S.T. on concerted action, 'Biological Control in the Forest', at Pont a Mousson, from 12th to 14th November 1969.: La lutte biologique en foret. Exposes scientifiques presentes, lors du Colloque organise par le Comite scientifique de lutte biologique de la D.G.R.S.T. sur l'action concertee 'Lutte biologique en Foret', a Pont a Mousson, du 12 au 14 novembre 1969. Annales de Zoologie, Ecologie Animale. 3: 33-56.
- Devkota,B., Breuer,M. & Schmidt,G.H. (1992) Observations on the flight activity of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) in Greece using synthetic sex-pheromone and light traps (Insecta: Lepidoptera: Thaumetopoeidae). Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura, 24, 147-157.
- Di Cola G, Gilioli G. and Baumgartner J., 1999, Mathematical models for age-structured population dynamics. In Huffaker C.B. and R.L. Rabb (Eds), Ecological Entomology. John Wiley & Son, New York, 503-534 pp.
- Ducombs,G., Lamy,M., Mollard,S., Guillard,J.M. & Maleville,J. , 1981. Contact dermatitis from processional pine caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Lepidoptera). Contact Dermatitis, 7, 287-288.
- Eppo/Cabi quarantine pests for europe. 2nd edition, 1997. Edited by Smith IM, McNamara DG, Scott PR, Holderness M. CABI International, Wallingford, UK, 1425 pp.
- Eppo Standards, European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2004. Bull. 34/2004
- Eppo Standard, European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2005. A2 list, ver. 2005-09.
- ESRI®, 2001, ArcGIS - ArcMap™ 9.2 Copyright © 1995-2007 Environmental Systems Research Institute, Inc.ESRI.
- Ettema C. S., Rathbun S. and D. C. Coleman, 2000. On Spatiotemporal patchiness and coexistence of five species of *Chronogaster* (Nematoda: Chronogasteridae) in a riparian wetland. Oecologia (Berl), 125, 444-452.

- Ferrari, R. & Tiberi, R. (1979) Effectiveness of a control test with diflubenzuron against *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) and first observations on the effect of the insecticide with regard to the hymenopterous chalcidoid egg parasites of the moth in Tuscany. *Redia*, 62, 315-323.
- Forman R.T.T., Godron M., 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons.
- Gellini R., 1996. *Botanica Forestale*, Vol. 1, CEDAM, pag. 153-202.
- Geri, C. & Miller, C. (1985) Evaluation of the populations of the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) in Mont Ventoux, France. *Annales des Sciences Forestieres*, 42, 143-183.
- Geri, C. (1983a) Distribution and evolution of populations of the pine processionary, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, (Lep., Thaumetopoeidae) in the Corsican mountains. I. Emergence rhythms of the insect and population dynamics. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, 4, 247-268.
- Geri, C., 1983b, Population dynamics of the pine processionary caterpillar in the Niolo Valley, Corsica during the 1965-66, 1967-68 and 1969-70 cycles. Role of some features of the forest environment. *Annales des Sciences Forestieres*, 40, 123-155.
- Graeme F., 1994 - *Geographic Information System for Geoscientists: modelling with GIS*. Pergamon (Elsevier Science Ltd.), New York (USA).
- Guidotti D., Barichello R., Rizzi I., Petacchi R., 2002 - Progettazione, sviluppo e applicazione di un sistema di supporto alle decisioni (Dacolig) per la gestione del monitoraggio della mosca delle olive (*Bactrocera oleae* Gmelin). II Giornate di Studio Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazione, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, 20-23 maggio 2002. *Notiziario sulla protezione delle piante*, 15 (Nuova Serie): 97-104.
- Guidotti D., Ragolini G., Petacchi R., 2003 - Analysis of spatio-temporal *Bactrocera oleae* (Diptera, Tephritidae) infestation distributions obtained from a large-scale monitoring network and its importance to IPM. *IOBC Bulletin IOBC/wprs Study Group Integrated Control in Olives*, in corso di stampa.
- Hanski I., and Simberloff D., 1997, The metapopulation approach, its history, conceptual domain and application to conservation. In *Metapopulation biology* (ed. Hansky I and Gilpin M.) pp. 5-26. Academic Press, San Diego.
- Hanski I., 1998. *Metapopulation dynamics*. *Nature*, 396: 41-49.
- Hofmann A., 1991, *Il faggio e le faggete in Italia*, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Collana Verde, 81, p. 133.
- Huchon H., Demolin G., 1971. The bioecology of the Pine processionary [*Thaumetopoea pityocampa*]. *Potential and current distribution*. *Phytoma*. 23: 225, 11-20.

- Hughes R.D., Jones R.E., and Gutierrez, 1984. Short-term patterns of population change: the life system approach to their study. In Huffaker C.B. and R.L. Rabb (Eds), Ecological Entomology. John Wiley & Son, New York, 309-357 pp.
- Kareiva P., Wennergren U., 1995. Connecting landscape patterns to ecosystem and population processes. *Nature*, 373: 299-302.
- Krebs C.I., 1994. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance. Harper Collins College Publishers, New York, XIX + 801 pp.
- Lamy, M. (1990a) Contact dermatitis (erucism) produced by processionary caterpillars (genus *Thaumetopoea*). *Journal of Applied Entomology*, 110, 425-437.
- Lamy, M. (1990b) Urticating caterpillars and moths: an unrecognised form of "pollution". *Recherche Paris*, 21, 896-900.
- Levins R., 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bull. Entomol. Soc. Am.*, 15: 236-240.
- Liebhold M.A., Rossi R.E., Kemp W.P. (1993), "Geostatistic and geographic information systems in applied ecology", *Annu. Rev. Entomo.*, 38: 303-327
- Lopez, et al. (2000). "A comparison of soil maps, kriging and a combined method for spatially predicting bulk density and field capacity of ferralsols in the Havana-Matanzas Plain." *Geoderma* 96: 199-213.
- Longo, S., Palmeri, V. & Rapisarda, C. (1989) Bio-ecological studies on the pine processionary caterpillar - *Thaumetopoea pityocampa* - in Sicily. *Tecnica Agricola*, 41, 233-249.
- Maiolo G.G., 1993, Il patrimonio forestale della Calabria ed il contributo dell'ESAC nel processo di conservazione del suolo ed impiego dei lavoratori forestali. Calabria verde. Edizione speciale forestazione. Cosenza.
- MAF - ISAF, 1988. Inventario Forestale Nazionale 1985. Sintesi metodologica e risultati, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste - Istituto Sperimentale per l'Assessmento Forestale e l'Alpicoltura, Trento.
- Manly B.F.J., 1989. A review of methods for the analysis of stage-frequency data. *Lec. Notes Stat.*, 55: 3-69.
- 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
- Maron J., Harrison S., Greaves M., 2001, Origin of an insect outbreak: escape in space or time from natural enemies. *Oecologia*, vol. 126, no4, pp. 595-602 (42 ref.)
- Masutti L., Zangheri S., 2001. Entomologia generale ed applicata. CEDAM. pp.605-698.

- Masutti, L. 1964. Ricerche sui parassiti oofagi della *Thaumetopoea pityocampa* (Schiff.). Ann. Centro Econ. Mont. Vent., 4: 143-178.
- Matheron G., 1965. La Theorie des Variables Regionaliste et ses Applications. Mason, Paris.
- Matheron, G., 1967. Elements pour une théorie des milieux poreux. Masson, Parigi, Francia
- Matheron G., 1971. The teory of regionalized variables an dits applications. Les Cahiers du Centre de Morphologier Mathematique de Fointanebleau, No.5, Paris
- Matheron G., 1973. The intrinsic random functions and their applications. Advances in applied probability, 5: 239-465.
- Mirov N.T., 1967, The genus *Pinus*, Ronald edit., p. 602.
- Murray, A. E., 1983, *Pinus: Unum minutum monographium generis Pinorum (Pinus L.)*. Kalmia Ridgecrest, Ca, USA, 13 : 11-24.
- Nicolini,G., 1987. Biology of the pine processionary caterpillar in Trentino, Italy. Control with traditional methods and with synthetic sexual attractants. Dendronatura, 8, 8-49.
- Novaco I., 1984, Incontro sui problemi forestali della Calabria. Relazione introduttiva. Seduta speciale dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali a Reggio Calabria. L'Italia Forestale e Montana, 2-3. Firenze.
- Odum E.P., 1969, The strategy of ecosystem development. Science 164: 262-270.
- Olea R.A., 1984, Sampling Design Optimization for Spatial Functions, Mathematical Geology, Vol. 16 N. 4: 369-381.
- Pedigo L.P., 1994. Introduction to sampling arthropod population. In: Pedigo L.P. and G.D. Buntin (Eds). Handbook of sampling methods for arthropod in agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1-11 pp.
- Perry J.N., 1997. Statistical aspects of field experiment. In: Dent D.R, Walton M.P. (Eds), Methods in Ecological & Agricultural Entomology: 171-201.
- Pignatti S, 1959 - Fitogeografia in Cappelletti C: Trattato di Botanica. pp. 681-811 UTET Nuova ed. Geobotanica, 1976.
- Pignatti S., 1998, I boschi d'Italia – Sinecologia e biodiversità. UTET, Bologna.
- Placanica A., 1985, I caratteri originali, in Storia d'Italia. Le regioni dall'Unità ad oggi. La Calabria, a cura di Piero Bevilacqua e Augusto Placanica, Torino, Einaudi, pp. 5-114.
- Rossi O., Zurlino G., 1993, Primi elementi conoscitivi essenziali per la realizzazione della Carta della Natura (Legge n. 394 del 6/12/1991). S.It.F., Notizie, Bollettino della Società Italiana di Ecologia, Vol. XIV, numero unico 1993: 46-56.

- Roversi P. F., 1985. Osservazioni sull'impiego di trappole a feromone sessuale di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) sul promontorio del Gargano (Lepidoptera, Thaumetopoeidae). *Redia*, 68, 1-17.
- Risser, P. 1987. Landscape ecology: state-of-the-art. In M. Turner, ed. *Landscape heterogeneity and disturbance*, p. 3-14. New York, Springer-Verlag.
- Sciarretta A., Trematerra P., Baumgärtner J., 2001 - Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) of pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist*, 47 (3): 174-184.
- Sciarretta A., Baumgartner J., Trematerra P., 2002 -L'analisi geostatistica nella pianificazione di un sistema di protezione integrata: sua utilità nella gestione a livello locale delle popolazioni di *Cydia funebrana* (Treitschke). II Giornate di Studio "Metodi numerici, statistici e informatici nella difesa delle colture agrarie e delle foreste: ricerca e applicazioni", Scuola Superiore Sant Anna, Pisa, 20-23 maggio 2002. *Notiziario sulla protezione delle piante*, 15 (Nuova Serie): 177-183.
- Severini M. e Gilioli G., 2002, Raccolta e organizzazione dei dati per modelli di dinamica di popolazioni in entomologia agraria e forestale, Atti delle II Giornate di Studio su "Metodi Numerici, Statistici e Informatici nella Difesa delle Colture Agrarie e delle Foreste: Ricerca e Applicazioni" - Pisa, Scuola Superiore Sant'Anna.
- Scoccianti C., 2001. *Amphibia: aspetti di ecologia della conservazione*. WWF Italia, Sezione Toscana. Editore Guido Persichino Grafica, Firenze, XIII+430 pp.
- Sharov A, 2005 - Quantitative population ecology On line lectures. <http://www.gypsomoth.ento.vt.edu/~sharov/PopEcol/>.
- Schmidt,G.H., Tanzen,E. & Bellin,S. (1999) Structure of egg-batches of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. and Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae), egg parasitoids and rate of egg parasitism on the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Entomology*, 123, 449-458.
- Spampinato G., 2001. *Patrimonio floristico del Parco Nazionale dell'Aspromonte*, Redazione del Piano del Parco Nazionale d'Aspromonte.
- Spampinato G., 2002, *Guida alla flora dell'Aspromonte*, Laruffa Editore, Reggio Calabria.
- Surace L., 1997, *La Georeferenziazione delle informazioni territoriali*, Ia Conferenza Nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali, Parma.
- Tansley, A. G., 1935, The use and abuse of vegetational terms and concepts. *Ecology* 16:284-307.

- Tiberi R., 1978. Notizie preliminari sull'incidenza dei parassiti oofagi nelle popolazioni di processionaria del pino in giovani pinete dell'Italia centrale. *Redia*, 41: 487-501.
- Tiberi R., 1983. Sulla distribuzione della ovature di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) in un giovane impianto di *Pinus pinaster* e *P. insignis*. *Redia*, 66, 603-614.
- Tiberi R., Niccoli A., 1984. Osservazioni pluriennali sull'impiego di trappole con il feromone sessuale di *Thaumetopoea pityocampa* (Den. et Schiff.) (Lepidoptera, Thaumetopoeidae). *Redia*, 47, 129-144.
- Trematerra P., Gentile P., Sciarretta A., 2004. Spatial analysis of pheromone trap catches of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in two eterogeneous agroecosystems, using geostatistical techniques. *Phytoparasisca*, 32 (4): 325-341.
- Tremblay R., 1986. *Entomologia applicata*, vol. II, parte seconda, Liguori Editore.
- Vacante V., 2003, La Processionaria del pino in Calabria. Natura e dimensione del problema e suggerimenti per la lotta. In press.
- Ubaldi D., 1997, *Geobotanica e Fitosociologia*. CLUEB, Bologna.