UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL MOLISE

Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti

Dottorato di Ricerca in
Difesa e qualità delle produzioni agro-alimentari e forestali
(XXVII Ciclo)

Settore Scientifico Disciplinare: Entomologia generale e applicata

Studio dei Lepidotteri della sottofamiglia Geometrinae raccolti in Etiopia

Relazioni tra coleotterofauna saproxilica, struttura forestale e legno morto nei microhabitat di Abeti Soprani

Coordinatore e Tutor

Prof. Pasquale Trematerra

Dottorando

Dott. Francesco Parisi

Anno Accademico 2013-2014

Non c'è niente di serio
tranne la passione

INDICE

STUDIO DEI LEPIDOTTERI DELLA SOTTOFAMIGLIA GEOMETRINAE RACCOLTI IN ETIOPIA

1. INTRODUZIONE Pag. 7

1.2 I LEPIDOTTERI GEOMETRIDAE 7

1.3 LE CONOSCENZE SUI LEPIDOTTERI GEOMETRIDAE DELL'AFRICA TROPICALE 10

1.4 NUOVI STRUMENTI TASSONOMICI NELL'ANALISI DELLA BIODIVERSITÀ 11

1.5 AREA STUDIO: ETIOPIA 12

1.6 SCOPO DEL LAVORO DI TESI 13

2. MATERIALI E METODI 15

2.1 CAMPAGNE DI RACCOLTA 15

2.2 MATERIALE ESAMINATO 16

2.3 INDAGINI TASSONOMICHE 20

2.3.1 Analisi morfologica 20

2.3.2 Analisi genetica e protocollo di identificazione 22

3. RISULTATI E CONSIDERAZIONI 27

3.1 ELENCO DEI *TAXA* 27

3.2 COMMENTO TASSONOMICO 30

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 43

5. RIASSUNTO E SUMMARY 46

6. BIBLIOGRAFIA 47

RELAZIONI TRA COLEOTTEROFAUNA SAPROXILICA, STRUTTURA FORESTALE E LEGNO MORTO NEI MICROHABITAT DI ABETI SOPRANI

1. INTRODUZIONE Pag. 52

1.1 RUOLO DEGLI ORGANISMI SAPROXILICI NELLA DECOMPOSIZIONE DEL LEGNO 52

1.2 AREA STUDIO 56

1.2.1 Localizzazione e caratteristiche vegetazionali 56

1.3 SCOPO DEL LAVORO DI TESI 58

2. MATERIALI E METODI 60

2.1 RILIEVO DEI PARAMETRI FORESTALI 60

2.1.1 Massa viva, necromassa, microhabitat 60

2.2 CAMPAGNE DI RACCOLTA DEGLI INSETTI 62

2.3 METODI DI CATTURA 62

2.4 PREPARAZIONE E CONSERVAZIONE DEI REPERTI 63

2.5 RICONOSCIMENTO DELLE SPECIE 64

2.6 ANALISI STATISTICHE 65

3. RISULTATI E CONSIDERAZIONI 72

3.1 ELENCO DEI *TAXA* 72

3.2 ANALISI DEI DATI ENTOMOLOGICI E FORESTALI 78

3.2.1 Analisi entomologica 78

3.2.2 Analisi forestale: massa viva, necromassa, microhabitat 79

3.3 ANALISI DELLE RELAZIONI TRA COLEOTTEROFAUNA E VARIABILI FORESTALI 80

3.4 ANALISI GEOSTATISTICA DEI DATI 82
3.4.1 Variabili forestali 82
3.4.2 Entomofauna: elaborazione per l'anno 2012 84
3.4.3 Entomofauna: elaborazione per l'anno 2013 85

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 107

5. RIASSUNTO E SUMMARY 112

6. BIBLIOGRAFIA 113

RINGRAZIAMENTI

La attività di ricerca relative alla Tesi di Dottorato hanno interessato due filoni di indagini, che sono state raccolte come segue:

STUDIO DEI LEPIDOTTERI DELLA SOTTOFAMIGLIA GEOMETRINAE RACCOLTI IN ETIOPIA

RELAZIONI TRA COLEOTTEROFAUNA SAPROXILICA, STRUTTURA FORESTALE E LEGNO MORTO NEI MICROHABITAT DI ABETI SOPRANI

STUDIO DEI LEPIDOTTERI DELLA SOTTOFAMIGLIA GEOMETRINAE RACCOLTI IN ETIOPIA

1. INTRODUZIONE

1.2 I LEPIDOTTERI GEOMETRIDAE

La famiglia Geometridae conta circa 23000 specie (Scoble, 1999; Scoble e Hausmann, 2007) (Hausmann, comunicazione personale). La loro distribuzione è cosmopolita. Hanno dimensioni variabili da piccole a grandi, la maggior parte presenta un'apertura alare di 30-40 mm. Generalmente hanno corpo esile, ali larghe e piuttosto delicate. Alcune specie sono brillantemente colorate, la maggior parte ha colorazione criptica con ali attraversate da bande ondulate trasversali.

Adulti. Mancano quasi sempre gli ocelli, sono invece presenti i chetosema. Le antenne sono semplici, pettinate o bipettinate. La testa è fittamente ricoperta da scagliette. La spiritromba è ben sviluppata; i palpi mascellari sono monosegmentati, i labiali appaiono lunghi. Presentano ali ampie nella maggior parte delle specie, in alcuni *taxa* le femmine hanno organi di volo vestigiali, sono brachittere o attere. L'ala posteriore porta il frenulo e tutti gli adulti presentano organi timpanici addominali (Scoble, 1992).

Stadi immaturi. Le uova sono tipicamente appiattite con l'asse longitudinale parallelo, o meno frequentemente, perpendicolare al substrato. Le due tipologie possono comparire anche all'interno dello stesso genere (ad esempio in *Sterrha* e *Biston*). In alcune specie le uova vengono fissate al substrato e in altre sono deposte liberamente; osservandole lateralmente sono ovoidali o ellittiche, mentre viste da un'estremità risultano circolari o ovali. La scultura può essere presente o assente.

La larva è cilindrica con il corpo snello (la lunghezza è circa 10 volte la sua larghezza) o, meno frequentemente, tozza; raramente è appiattita. Si caratterizza per la riduzione o la perdita delle pseudozampe ventrali, procede con la tipica deambulazione a compasso. La cuticola si presenta liscia o granulare con strisce longitudinali che spesso seguono la lunghezza del corpo; gibbosità, filamenti o altri processi sono talvolta presenti.

Nella crisalide i palpi non sono esposti e il cremaster è bene sviluppato.

Note biologiche. Le uova vengono deposte singolarmente o posizionate intorno a ramoscelli. Possono essere incollate al substrato vegetale o lasciate cadere su di esso.

Le larve sono di solito defogliatrici, si nutrono su una vasta gamma di essenze vegetali anche se, di solito, consumano le foglie di alberi e arbusti. L'impupamento in genere avviene all'interno di un bozzolo fragile.

Gli adulti si accoppiano quasi subito dopo l'uscita dalla crisalide e, in media, hanno una vita di circa 20 giorni.

Classificazione

Nei Geometridae le sottofamiglie riconosciute sono 6 e si distinguono l'una dall'altra per le caratteristiche delle venature alari.

Archiearinae. Comprendono 12 specie di medie dimensioni (Fig. 1). Vivono in zone temperate o montane. Hanno una distribuzione disgiunta corrispondente a nord Paleartico, sud delle Ande e regioni subalpine della Tasmania. Gli adulti presentano colorazioni che ricordano i lepidotteri diurni, con la parte anteriore del capo che porta numerose setole lunghe. Gli occhi composti sono ovali. Nel Paleartico i maschi sono principalmente primaverili e le femmine tendono a frequentare le cime dei loro alberi alimentari come pioppo e betulla.

Ennominae. È di gran lunga la più ricca di specie con circa la metà dei *taxa* di Geometridae conosciuti (Fig. 2). Generalmente hanno corpo esile e dimensioni medie e grandi. Nel sud dell'Australia vivono specie dal corpo

tozzo. La sottofamiglia è divisa in numerose tribù. Nel maschio le antenne sono semplici o bipettinate, nella femmina sono generalmente semplici. Entrambi i sessi sono alati, le femmine di alcune specie sono attere.

Oenochrominae. Sono costituite da un gruppo insolito di Geometridae, in essa si riuniscono i generi che non possono essere collocati nelle altre sottofamiglie (Fig. 3). Le Oenochrominae comprendono falene dal corpo robusto. Si ritrovano quasi esclusivamente in Australia e Asia (Scoble, 1992). Le principali piante nutrici sembrano essere le Proteaceae e le Myrtaceae. Le larve del genere *Alsophila* sono defogliatrici di alberi da frutta. *A. aescularia* è un defogliatore europeo, *A. pometaria* danneggia alberi e cespugli in Nord America. Le uova sono leggermente allungate deposte singolarmente o in piccoli gruppi.

Geometrinae. Riunisce le cosiddette falene smeraldo con circa 1400 specie in tutto il mondo (Fig. 4). La maggior parte ha colorazioni delle ali verdi e corpo esile. Le uova sono tipicamente oblunghe e appiattite su entrambi i lati; vengono deposte liberamente e disposte in modo singolo o in coppia, in altre in cumuli o catene. La ninfosi avviene in un bozzolo fragile, di solito sulle piante alimentari o a terra tra i detriti, ma non nel terreno.

Sterrhinae. Caratterizzate dall'avere numerose fasce ondulate sulle ali (Fig. 5). Gli adulti sono prevalentemente piccoli e di solito poco appariscenti. Raramente sono verdi e presentano una macchia discale scura su ciascuna ala. La maggior parte delle specie ha abitudini notturne, il genere *Cyllopoda* presenta ali gialle e nere e vita diurna. Sebbene la gran parte dei *taxa* sia tropicale, le Sterrhinae sono ben rappresentate nelle regioni temperate. Le uova scolpite e appiattite vengono depositate liberamente. Le larve sono criptiche e con un lungo corpo snello. Generalmente si nutrono di piante erbacee, il genere *Anisodes* vive su piante arboree. La ninfosi avviene generalmente in un bozzolo delicato. Gli adulti di alcuni membri del sud-est asiatico si nutrono di sangue dalle ferite dei mammiferi. Le larve della maggior parte delle specie del gruppo *Anisodes* sono arboree, quelle di *Scopula* e *Idaea* si nutrono di erbacee.

Larentiinae. Si ritrovano in tutto il mondo, la maggior parte vive nelle regioni temperate e ai tropici (Fig. 6). Le ali anteriori di solito hanno gruppi di fasce trasversali; gli organi di volo sono ridotti nelle femmine di alcune specie. Le uova sono lisce, debolmente o fortemente scolpite, di solito oblunghe e appiattite. Le larve, generalmente tozze, costruiscono nidi con foglie e seta che somigliano a ramoscelli o gambi mentre altri si riparano in fessure. Alcuni *taxa* si nascondono nella lettiera durante le ore di luce e si alimentano di foglie degli alberi nella notte. In una delle specie di *Eupithecia* delle Isole Hawaii, la larva è carnivora, nutrendosi di piccoli insetti e ragni. I bruchi delle altre *Eupithecia* si alimentano principalmente su piante erbacee (Scoble, 1992).

1.3 LE CONOSCENZE SUI LEPIDOTTERI GEOMETRIDAE DELL'AFRICA TROPICALE

Per l'Africa continentale e il Madagascar risultano descritte 3168 specie appartenenti alla famiglia Geometridae, ad oggi non esiste un trattato scientifico completo sui lepidotteri africani né tantomeno sui Geometridae (Figg. 7-8-9-10-11-12). L'unico Paese con letteratura di valore è il Sud Africa grazie ai lavori di Pinhey (1979) e di Vari *et al.* (2002).

I Geometridae africani sono stati trattati da Prout (1930), ma in questa monografia rimasta incompleta non sono incluse le tribù Eupitheciini e la sottofamiglia Ennominae. Non esistono faune nazionali pubblicate, tranne quella di Janse (1933-1935) sui Geometridae del Sud Africa. Altre pubblicazioni importanti riguardano i Geometridae del Ruwenzori in Uganda occidentale e del Parco Albert nel Congo orientale (Fletcher, 1958 e 1963). Altre informazioni sono pubblicate in oltre 500 lavori scientifici singoli da diversi specialisti: Prout, Warren, Fletcher e Herbulot. Poche sono le revisioni complessive, come quelle riguardanti i generi *Cleora* (Fletcher, 1967), *Zamarada* (Fletcher, 1974) o la tribù Macariini (Krüger, 2001).

Per quanto riguarda i Geometridae dell'Etiopia, le prime descrizioni risalgono al 1858, ma la fauna di questo Paese è ancora poco studiata. Sono 90

i *taxa* conosciuti, di cui 79 accettati come specie valide (Scoble, 1999; Scoble e Hausmann, 2007). La maggior parte delle descrizioni si devono a Herbulot (22 *taxa*), Guenée (18 *taxa*), Prout (16 *taxa*), Fletcher (10 *taxa*) e Debauche (8 *taxa*), mentre 16 sono state fatte da altri autori. La maggior parte degli olotipi sono depositati nel Natural History Museum (London, United Kingdom) (51 *taxa*) e nella collezione dello Zoologische Staatssammlung München, (Munich, Germany) (23 *taxa*).

1.4 NUOVI STRUMENTI NELL'ANALISI DELLA BIODIVERSITÀ

Alle classiche determinazioni realizzate attraverso lo studio morfologico delle strutture genitali sono state associate le analisi genetiche, svolte nell'ambito del progetto BOLD - Barcode of Life Data System (iBOL Lepidotteri, BFB). Al riguardo, da ciascun individuo si è proceduto al distacco di una zampa, successivamente inserita in apposite provette contenenti alcool a 70°, il tutto è stato inviato al Canadian Centre for DNA Barcoding (Biodiversity Institute of Ontario, University of Guelph, Guelph, Canada).

Il sistema di identificazione BOLD per il Regno Animale accetta sequenze della regione 5 del gene mitocondriale COI e utilizza l'algoritmo BLAST per identificare le singole basi prima di allineare la traduzione proteica attraverso l'Hidden Markov Model della proteina COI (Ratnasingham e Hebert, 2013). Ottenuti i risultati relativi al DNA del gene mitocondriale COI sono stati realizzati gli alberi genetici dei generi di interesse. Con distanze genetiche maggiori o uguali al 2% le specie sono state considerate tali, la conferma tra l'indagine morfologica e quella genetica ha portato alla descrizione dei *taxa*.

Quindi, utilizzando in modo combinato i dati delle analisi del DNA, le differenze morfologiche degli esemplari adulti e l'osservazione delle strutture genitali, si è giunti all'identificazione certa delle singole specie esaminate.

1.5 AREA STUDIO: ETIOPIA

L'Etiopia, compresa fra 3° e 15°N di latitudine e 33° e 48°E di longitudine, ha la più alta estensione territoriale sopra i 1500 m/s.l.m. del Continente Africano, occupando gran parte degli altipiani ubicati fra il Mar Rosso e la depressione nilotica (Ethiopian Wildlife and Natural History Society, 1996).

Il Paese, che si estende su una superficie di 1.221.900 km², confina con il Sudan e il Sud Sudan a ovest, la Somalia e Gibuti a est, il Kenia a sud e l'Eritrea a nord. La sua sezione più caratteristica e importante è il vasto altopiano, chiamato Acrocoro, che rappresenta la parte settentrionale degli altipiani africani e corrisponde all'Etiopia storica, o Abissinia.

Nella conformazione attuale il territorio etiopico è il risultato dei grandi perturbamenti che hanno portato alla separazione dell'Africa dall'Asia sud-occidentale; ad essi si deve la formazione della depressione dancala e della Rift Valley che continua in direzione sud-occidentale nel Kenia.

Il territorio in Etiopia si sviluppa ad altitudini molto differenti tra loro, che ne determinano il clima e la vegetazione. In generale nel vasto altopiano centro-settentrionale ci sono due stagioni: la stagione delle piogge, compresa tra la metà di giugno e la metà di settembre, dove i monsoni portano piogge copiose e la minor insolazione rinfresca l'aria con temperature medie che, sopra i 1800 m/s.l.m., scendono a 10-15°C. Il periodo da ottobre a marzo corrisponde alla stagione secca, in tali mesi la maggior insolazione scalda l'aria e le temperature salgono di alcuni gradi mantenendosi comunque miti a causa dell'altitudine. Il periodo compreso tra aprile e maggio corrisponde a quello delle piccole piogge, che si manifesta attraverso brevi acquazzoni. Nel sud dell'Etiopia e nella valle dell'Omo la stagione delle piogge è compresa tra la metà di marzo e la fine di maggio, durante gli altri mesi le piogge sono saltuarie. La parte sud-occidentale e in particolare la regione montuosa di Illubabor è la più piovosa e la vegetazione tropicale è lussureggiante (Ethiopian Wildlife and Natural History Society, 1996).

1.6 SCOPO DEL LAVORO DI TESI

In questa parte della Tesi, lo scopo della ricerca è stato studiare la lepidotterofauna a Geometridae raccolta nel corso delle spedizioni effettuate negli anni 2009, 2010 e 2012 in Etiopia dagli entomologi dell'Università degli Studi del Molise, avvalendoci della collaborazione di specialisti della fauna Afrotropicale presso lo Zoologische Staatssammlung München. Le attività sono state svolte sotto la supervisione del dottor Axel Hausmann. Oltre al materiale dell'Università, sono stati studiati anche lepidotteri provenienti dall'Etiopia già presenti nelle collezioni entomologiche del museo tedesco, raccolti negli anni da vari ricercatori.

All'interno della famiglia Geometridae, in particolare, si è scelto di indagare la sottofamiglia Geometrinae. Inizialmente, i lepidotteri adulti sono stati determinati mediante comparazione con quelli della nutrita collezione di riferimento del Museo. Terminata tale fase, sono state effettuate le analisi genetiche nell'ambito del progetto BOLD che hanno interessato un campione molto numeroso di individui presenti nelle collezioni.

Successivamente, si è provveduto alla dissezione degli insetti e alla preparazione dei genitali su vetrino. Quindi, utilizzando in modo combinato i dati delle analisi del DNA, le differenze morfologiche degli esemplari adulti e l'osservazione delle strutture genitali, si è giunti all'identificazione certa delle specie esaminate.

Una piccola parte delle attività è stata svolta anche presso il Natural History Museum di Londra, dove ci si è occupati dello studio degli olotipi appartenenti al genere *Prasinocyma*.

I risultati delle ricerche hanno permesso di ampliare le conoscenze sulla Lepidotterofauna Afrotropicale e di individuare e descrivere nuovi *taxa*.

Figure 1-12 – Lepidotteri appartenenti alle sottofamiglie: Archiearinae, Ennominae, Oenochrominae, Geometrinae, Sterrhinae, Larentiinae. Alcuni Geometridae del Continente africano: *Zamarada* sp., *Alectis* sp., *Cleora* sp. e *Chiasmia* sp., *Archichlora* sp., *Antitrygodes* sp.

2. MATERIALI E METODI

2.1 CAMPAGNE DI RACCOLTA

Come accennato, le ricerche sulla lepidotterofauna presente nell'area studio sono iniziate durante varie spedizioni entomologiche effettuate a fine settembre 2009, nella seconda metà di febbraio 2010 e a fine gennaio del 2012.

Le indagini sono state realizzate in diverse località dell'Etiopia (Figg. 13-16):

- Oromia Region, Shewa Zone, Wenchi Crater Lake, 2900m, 19.IV.2009, legit A. Sciarretta, G. Spina.
- Bale Mountains, Dinsho, 3100m, 25.IX.2009, legit A. Palladino, F. Parisi, A. Sciarretta.
- Addis Abeba Biofarm, 2400m, 9.IX.2009, legit A. Palladino, F. Parisi, A. Sciarretta.
- Bale Mountains, Sanetti plateau, 4000m, 28.IX.2009, legit A. Palladino, F. Parisi, A. Sciarretta.
- Bale Mountains, Harenna Forest 1600m, 21.II.2010, legit F. Parisi, A. Sciarretta.
- Bale Mountains, Harenna Forest, 1800m, 22.II.2010, legit F. Parisi, A. Sciarretta.
- Bale Mountains, Harenna Forest, Karcha Camp, 2350m, 20.II.2010, legit F. Parisi, A. Sciarretta.
- Gambela, Illubabor zone, Bedelle, Mute Forest, 2060m, 27.I.2012, legit A. Sciarretta, F. Parisi.
- Bale Mountains, Harenna Forest, 1600m, 27.IX.2009, legit A. Palladino, F. Parisi, A. Sciarretta.

Gli esemplari raccolti sono stati trasportati in Italia, preparati e studiati presso i laboratori del Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti

dell'Università del Molise e vengono conservati nelle collezioni entomologiche tenute presso l'Ateneo.

2.2 MATERIALE ESAMINATO

Come anticipato, oltre al materiale del Dipartimento sono stati presi in considerazione anche i lepidotteri, proveniente dall'Etiopia, già presenti nelle collezioni entomologiche dello Zoologische Staatssammlung München, raccolti negli anni da vari ricercatori che hanno effettuato catture in oltre 80 siti distribuiti sul territorio nazionale ad un'altitudine compresa tra 1100 e 4000 m\s.l.m. Gli studiosi che hanno maggiormente contribuito alla raccolta di tali lepidotteri sono stati: Robert Beck (Monaco di Baviera), Vasiliy Kravchenko (Tel Aviv), Günter Müller (Haifa), Stefan Naumann (Berlino), Daniel Wiersbowsky (Addis Abeba), Günter Riedel (Monaco di Baviera), Harald Sulak (Monaco di Baviera), Hermann Staude (Magaliesburg, Sud Africa).

Le zone più intensamente esplorate sono state quelle centrali e centro occidentali dell'Etiopia, in particolare le regioni: Amara, Oromia, Southern Nations Nationalities and Peoples, Harar. Di seguito si riporta la lista completa delle località di cattura:

- Arussi, Lago Langano, 6.III.1981, legit P.C. Rougeot.
- Choa, Debre-Zeit, 1800m, 21.III.1986, legit F. Thiaucourt.
- Arba Minch, Omo, Gemu Gofa, 1350-1450m, 27.V.2004, legit R. Beck, M. Hiermeier.
- Hirna, Karac Jara, 2180m, 20.IV.2006, legit R. Beck, Tamrat.
- Bale, Goba, 3140m, 26.IV.2006, legit R. Beck, Tamrat.
- Bale, Goba, Hangaso, 3100-3300m, 7-12.X.2007, legit R. Beck, M. Dietl, G. Riedel.
- Kaffa, Jimma, 1800m, 28.IV.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.

- Kaffa, Bonga, 1550m, 29.IV.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Kaffa, Jimma, 9.V.2008, 1650m, legit R. Beck, G. Riedel.
- Kaffa, Jimma, 10-15.V.2008, 2060m, legit R. Beck, G. Riedel.
- Sidano, Kibre, Mengist, 1700m, 25-26.III.2009, legit R. Beck, M. Dietl.
- Sidamo, Yabello, Motel, 1960m, 28-30.III.2009, legit R. Beck, M. Dietl.
- Oromia, Wendo, Abosto, 15-19.V.2010, 1800m, legit H. Sulak.
- Sidamo, Oromia, Yabello, 1580m, 16.V.2012, legit M. Dietl, R. Beck.
- Gamu Goffa, Arba Minch, 23.V.2012, legit M. Dietl, R. Beck.
- South Nation, Bonga, 04.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- South Nation, Bonga-Hotel, 1700m, 06.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- South Nation, Wushwush, 1910m, 07.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Sidamo, Oromia, Yabello, 1955m, 14.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Gamu Goffa, Arba Minch, Nachisar National Park, 1180-1380m, 17-19.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Arba Minch, Omo, Gemu Gofa, 1350-1450m, 24. VI.1999, legit R. Beck, M. Hiermeier.
- Bale, Dinsho, 3050-3100m, 23.V.1999, legit R. Beck, M. Hiermeier.
- Arba Minch,16-26.IX.2000, legit R. Beck.
- Arba Minch, Omo, Gemu Gofa, 1350-1450m, 14.IV.2001, legit G. Riedel.
- Shewa, Ambo, 2200m, 16.V.2007, legit V. Kravchenko, G. Müller.

- Shewa, Wenchi Crater, 3300m, 16.V.2007, legit V. Kravchenko, G. Müller.
- Sidamo, Yabello, 16.V.2008, 1520m, legit R. Beck, G. Riedel.
- Kaffa, Bonga, 1900m, 1.V.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Kaffa, Jimma, 10-15.V.2008, 2060m, legit R. Beck, G. Riedel.
- Bale, Goba, 19-23.V.2008, 3100-3300m, legit R. Beck, M. Dietl, G. Riedel.
- Sidamo, Kibre Mengist, 1700m, 25-26.III.2009, legit R. Beck, M. Dietl.
- Oromia, Deritu, 20.IV.2010, 1590m, legit H. Sulak.
- Gamu Gofa, Arba Minch, 17.V.2008, 1350m, legit R. Beck, G. Riedel.
- Arba Minch, Omo, Gemu Gofa, 1350-1450m, 27.V.1999, legit R. Beck, M. Hiermeier.
- Gemu Gofa, Omo, Arba Minch, 1335m, 24.XII.2013, legit D. Wiersbowsky.
- Sidamo, Mega, 1700m, 7.V.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Gamu Gofa, Arba Minch, 1100-1400m, 14-18.X.2007, legit R. Beck, G. Riedel.
- Oromia, Sidamo, Kibremengist, 1500m, 21.IV.2009, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Oromia, Agere Maryam, 1960m, 7.XI.2010, legit de Freina, Hacker, Peks, Schreier.
- Oromia, Sidamo, Yabelo, 1950 m, 9.XI.2010, legit de Freina, Hacker, Peks, Schreier.
- Oromia, Aluweya, 1300 m, 10.XI.2010, leg. de Freina, Hacker, Peks, Schreier.
- Sidamo, Oromia, Yabello, 1500m, 18.V.2012, legit M. Dietl, S. Beck, R. Beck.

- Sidamo, Oromia, Bale, Sof Omar, 1220m, 10.V.2012, legit M. Dietl, S. Beck, R. Beck.
- Sidamo, Oromia, Yabello, 16.V.2012, legit M. Dietl, S. Beck, R. Beck.
- Sidamo, Oromia, Bale, Goba, Sof Omar, 1570m, 27.V.2012, legit M. Dietl, S. Beck, R. Beck.
- Sidamo, Oromia, Kibremengist, 1730m, 15-16.V.2012, legit M. Dietl, S. Beck, R. Beck.
- Oromia, Bale, Harenna Forest, 2385m, 28.XII.2013-10.I.14, legit D. Wiersbowsky.
- Sidamo, Oromia, Yabello, 1550m, 15.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Oromia Debre Sina 06.IV.2010, 2730 m, legit H. Sulak.
- Oromia, Finchawa, 1760 m, 8.IX.2010, legit de Freina, Hacker, Peks, Schreier.
- Kaffa Bonga, 1700m, 2.V.2008, S. Naumann, H. Schnitzler.
- Gamu Gofa, Arba Minch, 1350m, V.2008, legit R. Beck, G. Riedel.
- Oromia, Bale, Harenna Forest, 1810m, 7.III.2014, legit D. Wiersbowsky.
- Bale, Goba, 3100m, 21.III.2009, legit R. Beck, M. Dietl.
- Bale, Rira, 2450m, 25.III.2009, legit R. Beck, M. Dietl.
- Bale, Goba, 23.III.2009, legit R. Beck, M. Dietl.
- Arba Minch, Omo, Gemu Gofa, 1350-1450m, 24.VI.1999, legit R. Beck, M. Hiermeier.
- Arba Minch, Omo, Gemu Gofa, 1350-1450m, 4.VI.1999, legit R. Beck, M. Hiermeier.
- Gamu Gofa, Konso, 1300m, 5.V.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Gamu Gofa, Arba Minch, 1400m, 4.V.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.

- Oromia, Bale, Dinsho, 3000m, 30.IV.2009, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Oromia, Leku, Abosto, 1790m, 15-19.VI.2010, legit H. Sulak.
- Sidamo, Zereabruk, 1700m, 8.V.2008, legit S. Naumann, H. Schnitzler.
- Gamu Goffa, Arba Minch, 1330m, 21-25.V.2012, legit M. Dietl, S. Beck, R. Beck.
- Gamu Goffa, Kay Afer, 1510m, 10.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- South Nation, 1910m, 7.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Mago, Jinka, 980m, 11.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Turmi, 960m, 12-13.V.2013, legit R. Beck, R. Wanninger.
- Oromia, Bale, Harenna Forest, 2385m, 28.XII.2013, legit D. Wiersbowsky.
- Oromia, Menegecha Suba Forest, 2630m, 2-3.XI.2013, legit D. Wiersbowsky.

2.3 INDAGINI TASSONOMICHE

2.3.1 Analisi morfologica

La determinazione su base morfologica della specie di appartenenza dei vari esemplari è stata effettuata tramite l'osservazione di disegni e colorazione delle ali e degli apparati genitali maschili e femminili, attraverso la comparazione con illustrazioni pubblicate in testi e manuali specialistici, oppure tramite il confronto con esemplari tenuti in collezioni entomologiche scientifiche.

Per lo studio morfologico degli apparati genitali è stato necessario predisporre un preparato microscopico su vetrino. In tal caso, la dissezione e l'esame genitale si sono eseguiti con l'ausilio di un microscopio stereoscopio a basso ingrandimento (fino a 40x); si è invece reso necessario l'uso di un

microscopio biologico, a maggiore risoluzione, per lo studio dei dettagli delle strutture anatomiche.

Le varie operazioni si sono svolte con le seguenti modalità: è stato staccato l'addome dal corpo dell'esemplare in questione, utilizzando un paio di pinzette a punta sottile agendo dal basso verso l'alto e da sinistra verso destra, e lo si è immerso in una soluzione di idrato di potassio (KOH) al 10%. Tale fase è servita per ammorbidire i tessuti e per macerare le parti anatomiche interne, lasciando intatte quelle sclerificate, utili per la successiva analisi identificativa. Il trattamento con idrato di potassio è stato eseguito alternativamente a temperatura ambiente, per una durata variabile da poche ore a un giorno (a seconda delle dimensioni dell'addome oggetto dello studio), oppure riscaldando la soluzione a bagnomaria fino a 100°C, in tal caso il tempo dell'operazione si riduce a pochi minuti. Raggiunto il sufficiente grado di macerazione, l'addome da studiare è stato posto in un vetrino d'orologio con acqua distillata e, tramite il microscopio binoculare, si è provveduto al distacco delle strutture molli, utilizzando un paio di spilli entomologici con manico. In seguito si è proceduto alla pulizia dell'apparato genitale dalle parti membranose, usufruendo di un vetrino d'orologio riempito con acqua distillata. Il genitale femminile, inoltre, è stato passato in una soluzione acquosa di mercurocromo all'1-2%, per mettere in evidenza le porzioni poco sclerificate. Dopo l'immersione in due soluzioni di alcool etilico, la prima al 70% e seconda al 95%, necessaria per la disidratazione del preparato, questo è stato sistemato in posizione ventrale e con le valve aperte, nel caso dei maschi, su un vetrino porta-oggetto immerso in una goccia di Euparal e coperto con un vetrino copri-oggetto. Infine, il preparato microscopico completo è stato tenuto orizzontalmente e lasciato asciugare per qualche settimana (Figg.17-19). Per le informazioni del caso, su ciascun vetrino è stata applicata un'etichetta di riferimento recante lo stesso numero del cartellino spillato sotto l'adulto tenuto in collezione. La morfologia dei vari apparati genitali è stata studiata e comparata con altri vetrini e/o con disegni e fotografie presenti in varie pubblicazioni scientifiche. I principali testi specialistici consultati per la

determinazione dei vari lepidotteri catturati nelle spedizioni entomologiche effettuate in Etiopia sono stati: Hausmann, 1996, 1999, 2001 e 2006; Lödl, 1994 e 1995; Gooder e Watson, 1995; Scoble, 1999; Krüger, 2002; Cross, 2003; Scoble e Hausmann 2007; Durante, 2009; Przybylowicz, 2009.

2.3.2 Analisi genetica e protocollo di identificazione

Da quando Linneo propose il metodo di classificazione gerarchica delle specie, una percentuale molto bassa degli animali e delle piante è stata identificata. Paul Herbert, genetista dell'Università canadese di Guelph, ha proposto un nuovo metodo per accelerare il processo d'identificazione delle specie: utilizzare brevi sequenze di DNA creando un codice a barre. Seguendo tale suggerimento ogni specie dovrà essere "etichettata" con una sequenza nucleotidica di DNA univocamente associata a quella determinata specie, da utilizzare come riferimento univoco (tramite un codice a barre) per comparare tale sequenza con quella di una potenziale nuova specie (deWaard *et al*., 2008). Il codice a barre è una configurazione di linee parallele di vario spessore e distanza che possono essere interpretate automaticamente mediante appropriati sensori.

Esistono geni che sono più appropriati di altri per essere utilizzati a tale scopo, quello ideale deve soddisfare alcune importanti condizioni:

- essere sufficientemente conservato per poterlo amplificare via PCR (reazione a catena della polimerasi: è un metodo per ottenere molte copie di un gene, essenziali per poter procedere con il sequenziamento) con primer (brevi sequenze di DNA note indispensabili per avviare il processo di amplificazione dei geni) uguali, che devono quindi funzionare su un vasto range di specie;
- abbastanza divergente da consentire di identificare e distinguere anche specie strettamente imparentate tra loro;
- non essere molto più lungo di 650 basi nucleotidiche, in quanto questa è la lunghezza ottimale affinché un gene sia sequenziato rapidamente, senza errori e con bassi costi.

Per quanto riguarda gli animali, i geni mitocondriali soddisfano tale requisito, poiché sono condivisi da gruppi sistematici diversi e non contengono sequenze addizionali interne (definite introni) che possano complicare il processo di amplificazione tramite PCR. La possibilità di rintracciare primer in grado di amplificare il gene mitocondriale COI (citocromo c ossidasi subunità 1) in diversi *phyla*, ha eletto tale gene a "target ufficiale" per l'identificazione delle specie. Nelle piante, che possiedono una variabilità dei geni mitocondriali più ridotta, i geni più indicati per questo scopo sembrano essere invece il gene matK (maturasi K) o il gene nucleare ITS (internal transcribed spacer). Sebbene l'idea di utilizzare particolari sequenze standard come la COI sia nuova, il "codice a barre" si serve dei metodi biomolecolari già comunemente usati nei laboratori di biologia molecolare, quali l'amplificazione tramite PCR e il sequenziamento (deWaard *et al*., 2008).

Si presume che il metodo del codice a barre sia in grado di distinguere tra specie, comprese quelle strettamente imparentate, con un'accuratezza molto alta, ma alcuni biologi evoluzionistici ritengono che in molti casi non sia possibile individuare confini definiti tra le diverse specie. Secondo quanto sostenuto da Moritz e Cicero (2004), in una specie separatasi da un'altra da soli 10000 anni il codice a barre, basato su un solo gene, potrebbe non essere in grado di evidenziare mutazioni (cioè differenze nella sequenza) e dunque di separare le specie. Inoltre, un approccio incentrato sull'analisi di un singolo gene può non essere in grado di discriminare gli ibridi, cioè i prodotti di incrocio tra membri di *taxa* diversi, dalle loro specie parentali pure.

Una delle più importanti componenti di questa iniziativa è la costruzione di un database pubblico contenente le sequenze delle specie già identificate. Esiste già un importante raccolta di tutte le sequenze note di DNA e di aminoacidi chiamato GenBank, più recentemente è stato creato il Barcode of Life Database (BOLD) (deWaard *et al*., 2008). BOLD, fondato nel 2005, è una piattaforma web che fornisce un approccio integrato per l'inserimento e l'uso dei dati del DNA sotto forma di codice a barre. Fornisce un database

online per la raccolta, gestione e distribuzione dei campioni, dei dati molecolari, nonché degli strumenti analitici per sostenere la loro validazione.

All'interno di BOLD ci sono quattro database, per l'identificazione delle sequenze COI:

1. Database di tutti i codici a barre, che comprende ogni dato di barcode COI su BOLD con una sequenza minima di 500bp (questo è un database non-validato e comprende record non sufficienti per l'identificazione della specie). Il sistema include molte entità rappresentate solo da uno o due campioni nonché tutte le specie con tassonomia nota. Questa ricerca restituisce solo un elenco delle corrispondenze più vicine e non fornisce una probabilità di posizionamento ad un *taxon*.
2. Database barcode a livello di specie, che include ogni dato con codice a barre COI, con un'identificazione a livello di specie e una sequenza con lunghezza minima di 500bp. Include molte specie rappresentate solo da uno o due campioni e tutte le specie con tassonomia nota.
3. Public record barcode database, che include tutti i dati COI pubblicati da BOLD e GenBank con una lunghezza minima in sequenze di 500bp. Questa libreria è una raccolta di record dalla sezione progetti pubblicata da BOLD (Herbert *et al*. 2003).
4. Database barcode, che include un sottoinsieme della libreria di specie con una lunghezza minima in sequenze di 640bp contenenti registrazioni sia pubbliche sia private (Ivanova *et al.*, 2006).

La creazione del programma Codice a Barre della Vita (Barcode of Life) coinvolge la cooperazione di diversi gruppi di scienziati e di varie istituzioni: i musei, gli orti botanici, gli zoo e gli acquari, quali depositari di uno straordinario potenziale di informazione biologica.

Figure 13-15 – Dall'alto in basso: foresta di Karcha camp, vegetazione dell'altopiano Sanetti e piante di *Erica arborea.*

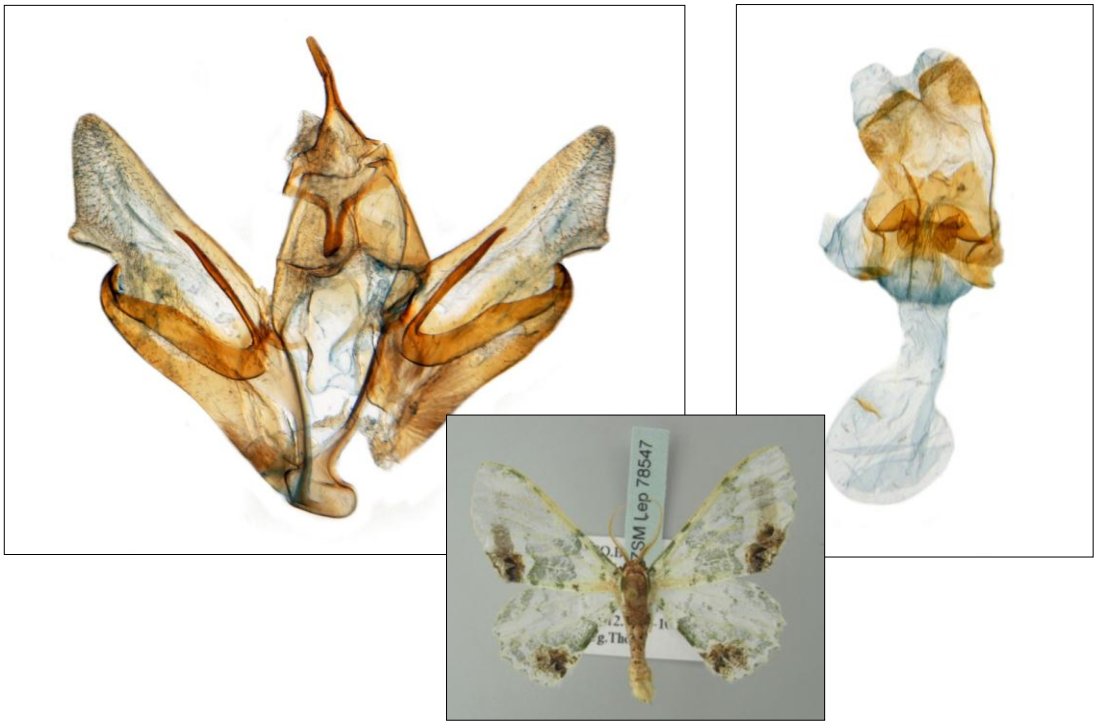


Figure 16-19 – Dall'alto in basso, caccia col telo, apparato genitale maschile e femminile, esemplare adulto di Geometridae.

3. RISULTATI E CONSIDERAZIONI

3.1 ELENCO DEI *TAXA*

Di seguito è riportata la lista dei lepidotteri Geometridae appartenenti alla sottofamiglia Geometrinae, esaminati nel corso della presente Tesi. L'ordine sistematico e l'attribuzione alle varie tribù sono stati presi da Hausmann (1996, 1999 e 2006), la nomenclatura segue Scoble (1999) e Scoble e Hausmann (2007).

Tribù Pseudoterpnini

Pingasa rhadamaria signifrontaria (Mabille, 1893)

Pingasa lahayei (Oberthür, 1887)

Pingasa distensaria (Walker, 1860)

Pingasa abyssinaria (Guenée, 1858)

Pingasa pallidata de Joannis, 1912

Pingasa ruginaria interrupta Warren, 1901

Tribù Comibaenini

Microbaena pulchra minor Hausmann, 1996

Comibaena theodori Hausmann & Parisi, 2014

Tribù Hemistolini

Genere *Prasinocyma* Warren, 1897

gruppo *immaculata.*

Prasinocyma immaculata thiaucourti Herbulot, 1993

Prasinocyma pedicata aethiopica subsp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma angolica pseudopedicata subp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma pumilata Fletcher, 1956

Prasinocyma stefani sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma omoensis sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma getachewi sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma baumgaertneri sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma tranquilla Prout, 1917

gruppo *nereis*

Prasinocyma nereis Townsend, 1952

Prasinocyma shoa Herbulot, 1993

Prasinocyma shoa yabellensis subsp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma amharensis sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma jefferyi Prout, 1930

Prasinocyma batesi distans subsp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma monikae sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma corrugata Fletcher, 1958

Prasinocyma fusca sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma leveneorum sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma germinaria (Guenée, 1858)

Prasinocyma sp. n. (non meglio identificata)

Prasinocyma aquamarina sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma beryllaria sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma lutulenta sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma septentrionalis sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma neglecta Prout, 1921

Prasinocyma gajdacsi Prout, 1930

gruppo *aetheraea*

Prasinocyma aetheraea (Debauche, 1937)

Prasinocyma fallax sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma tricolorifrons (Prout, 1913)

Prasinocyma trematerrai sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma trematerrai simienensis subsp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma albivenata Herbulot, 1983

gruppo *bifimbriata*

Prasinocyma androzeugmoides sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma hailei Debauche, 1937

Prasinocyma acutipennis Wiltshire, 1994

Prasinocyma bifimbriata Prout, 1930

Prasinocyma angulifera sp. n. (non pubblicato)

Prasinocyma sp. n. (non meglio identificata)

Prasinocyma albisticta (Warren, 1901)

Prasinocyma maryamensis sp. n. (non pubblicato)

specie non assegnate ai gruppi

Prasinocyma perpulverata Prout, 1916

Prasinocyma oblita Prout, 1930

altri generi

Celidomphax prolongata Prout, 1915

Celidomphax analiplaga (Warren, 1905)

Victoria fuscithorax Warren, 1905 ?

Victoria sematoperas Prout, 1916

Victoria heberti sp. n. (non pubblicato)

Thalassodes quadraria Guenée, 1858

Thalassodes sp. n. (non meglio identificata)

Thalassodes dentatilinea Prout, 1912

Androzeugma tenuis (Warren, 1898)

Androzeugma sp.n. (non meglio identificata)

Lophostola sp. n. (non meglio identificata)

Lophorrhachia rubricorpus (Warren, 1898)

Omphax plantaria Guenée, 1858

3.2 COMMENTO TASSONOMICO

All'interno della famiglia Geometridae si è proceduto allo studio della sottofamiglia Geometrinae, approfondendo la conoscenza delle tribù Pseudoterpnini, Comibaenini ed Hemistolini.

Per la tribù Pseudoterpnini sono stati rinvenuti esemplari appartenenti al genere *Pingasa*, recentemente rivisto a livello globale da Pitkin *et al*. (2007), comprendente 45 specie, di cui 12 distribuite in Africa. Un *taxon* africano raggiunge l'Europa meridionale. Il genere è assente nel Nuovo Mondo. Tra il materiale studiato sono state rinvenute sei specie: *Pingasa rhadamaria signifrontaria* (Mabille, 1893) (Fig. 20), *P. lahayei* (Oberthür, 1887) (Fig. 21), *P. distensaria* (Walker, 1860) (Fig. 22), *P. abyssinaria* (Guenée, 1858) (Fig. 23), *P. pallidata* de Joannis, 1912 (Fig. 24) e *P. ruginaria interrupta* Warren, 1901 (Fig. 25).

Particolare attenzione merita *P. pallidata*, considerata da Prout (1930) un'aberrazione individuale di *P. abyssinaria* ma più piccola, chiara e con la linea postmediale leggermente meno dentata. Nella collezione Herbulot conservata nello Zoologische Staatssammlung München è stato ritrovato un esemplare sotto questo nome attribuito come sinonimo a *P. distensaria*. La dissezione di un individuo maschio ha rivelato che il soggetto in questione era chiaramente diverso da entrambe le specie (*P. distensaria* e *P. abyssinaria*), per importanti caratteri presenti nei genitali maschili, come ad esempio: la valva sinistra asimmetrica con una spina al centro e un processo spinoso nella costa, l'assenza di cornuti nell'aedeagus (Fig. 26). Quindi, si è confermato lo status di specie a se stante, come proposto anche da Scoble (1999).

Per la tribù Comibaenini sono stati studiati esemplari dei generi *Microbaena* e *Comibaena.* Gli individui appartenenti a tali generi mostrano spesso caratteristiche interspecifiche nella colorazione delle ali, anche se le differenze nei genitali maschili sono spesso piccole, come ad esempio per le specie *Comibaena rufitornus* Prout, 1916, *C. leucospilata* (Walker, 1863) e *C. esmeralda* (Warren, 1898) (Hausmann *et al*. 2014). In particolare sono state

ritrovate due specie: *Microbaena pulchra minor* Hausmann, 1996 (Fig. 27) ed un *taxa* descritto come nuovo per la scienza, *Comibaena theodori* Hausmann & Parisi, 2014 (Figg. 28-29). La nuova specie etiope, che è ben differenziata da tutte le altre specie africane nei genitali maschili e nel DNA barcoding, differisce da *C. rufitornus* (materiale esaminato da Kenya e Capo Verde), *C. leucospilata* (da Sud Africa) e *C. esmeralda* (da Nigeria e Guinea) per una proiezione ventrale più corta dell'VIII sternite (0,3 mm anziché 0,5-0,9 mm), dalle lunghe sporgenze laterali dell'uncus (0,55 mm anziché 0,35-0,50 mm) e dalla sporgenza del saccus relativamente breve. *C. leucospilata* del Sud Africa (Natal) è molto simile nell'habitus. Geneticamente il vicino più prossimo (6,2%) è una specie non ancora descritta proveniente da Kenya e Tanzania, che differisce fortemente nell'habitus (ali anteriori con linee trasversali assenti, punti discali deboli e senza frange) e nei genitali (aedeagus più lungo, saccus con proiezioni posteriori sull'VIII sternite molto più allungate). *C. rufitornus* (con DNA barcoding proveniente da esemplari di Uganda, Yemen e Capo Verde), *C. leucospilata* (da Sud Africa, Zimbabwe, Zambia e Tanzania) e *C. esmeralda* (Ghana, Camerun, Sierra Leone) divergono da *C. theodori* rispettivamente di 6,8%, 7,5% e 6,5% (Figg. 30-31).

Per la tribù Hemistolini, il maggior numero di esemplari è risultato del genere *Prasinocyma*. Ad esso appartengono 98 entità finora conosciute, la maggior parte descritte prima del 1930. In Africa sono conosciute 8 specie per l'Etiopia, 3 per l'Arabia Saudita, una per Sudan e Somalia, 11 dal Kenya e 15 dall'Uganda. Il genere non ha ancora una revisione completa e le descrizioni più recenti sono tutte tratte da singole descrizioni; in molti casi la descrizione si basa su individui di un solo sesso (Hausmann *et al*., 2015). La curva di accumulazione delle *Prasinocyma* per l'Africa suggerisce una ricchezza specifica di oltre 300 *taxa*, si tratta quindi di un genere ancora poco noto, il cui studio è reso molto difficile per l'habitus quasi costante degli adulti, che mostrano ali con varie tonalità di verde, senza particolare caratteri diagnostici.

Con il presente lavoro, si è inteso effettuare anche una revisione complessiva delle specie di *Prasinocyma* per l'Etiopia, con 3 nuove

segnalazioni per il Paese e 17 specie e 5 sottospecie nuove per la scienza. Il numero di specie complessive per la fauna dell'Etiopia aumenta, quindi, da 8 a 41 (Figg. 32-33-34-35-36-37-38-39-40-41). Per lo studio di questo genere, è stato necessario esaminare i tipi conservati sia nella collezione dello Zoologische Staatssammlung München che quelli presenti nel Natural History Museum.

Generalmente gli apparati riproduttori maschili di *Prasinocyma* portano caratteristiche discriminanti importanti che ne permettono la differenziazione specifica. La caratteristica comune del genere è la mancanza del socius che può risultare anche molto corto (unica eccezione nei due *taxa* non assegnati ai gruppi di specie). La maggior parte delle specie mostra una valva membranosa, subterminale e con lobo ventrale, il sacculus è spesso sclerificato e l'VIII sternite bilobato o con coppie di proiezioni.

Nel descrivere le nuove specie di *Prasinocyma* si sono utilizzate quattro categorie cromatiche: verde bluastro, verde foglia, verde pallido, verde intenso. Di seguito, si riporta la descrizione dei gruppi di specie accertati dall'analisi combinata degli apparati genitali e delle distanze genetiche, che ha consentito di accorpare le 41 specie come segue:

gruppo *immacolata*.

Nove specie per l'Etiopia, tra cui tre coppie di specie sorelle: *P. pedicata* - *P. pseudopedicata* sp. n.; *P. pupilata* - *P. stefani* sp. n.; *P. getachewi* sp. n. - *P. baumgaertneri* sp. n. Geneticamente questo gruppo è solido nei diversi allineamenti e algoritmi, anche escludendo il terzo codone. La maggior parte delle specie sono di piccole dimensioni. Nei genitali maschili mostra caratteri abbastanza uniformi: uncus dilatato, valva allungata, senza o con brevi proiezioni, sacculus non sclerificato, aedeagus spesso con coecum, VIII sternite senza lobi posteriori, talvolta con proiezioni affusolate e molto strette. *P. omoensis* sp. n. mostra alcune combinazioni insolite di caratteri.

gruppo *nereis*.

Diciassette specie in Etiopia. Il gruppo comprende piccoli sottogruppi con sinapomorfie ben definite e due coppie di specie sorelle: *P. nereis* - *P. shoa*; *P. amharensis* sp. n. - *P. jefferyi*. Questo gruppo è geneticamente meno solido rispetto al primo nei diversi allineamenti e algoritmi. Anche nei genitali è piuttosto eterogeneo, con socii solitamente presenti ma rudimentali, sacculus sclerotizzato, curvo e spinoso, aedeagus con sclerotizzazioni laterali, VIII sternite con due proiezioni.

gruppo *aetheraea*.

Cinque specie in Etiopia. Questo gruppo sembra geneticamente solido nei diversi allineamenti, algoritmi, anche se si esclude il terzo codone dall'analisi. Nei genitali è piuttosto omogeneo, con socii assenti o ridotti, sacculus fortemente sclerificato, con lunga e stretta proiezione dorsale che forma una caratteristica struttura a forma di pinza, VIII sternite bilobato e sclerificato con proiezione centrale.

gruppo *bifimbriata.*

Otto specie in Etiopia. Dall'analisi delle sequenze COI, queste specie appaiono come un gruppo naturale affine al genere *Thalassodes*, soprattutto quando si esclude il codone nella terza posizione. Quando analiticamente vengono considerati tutti i nucleotidi del gene COI, *P. bifimbriata*, *P. angulifera* sp. n., e le altre specie non descritte risultano un sottogruppo omogeneo, mentre *P. androzeugmoides* e *P. sanguinicosta* risultano isolate. Nel caso di *P. androzeugmoides* le antenne sono lamellari, con due piccoli speroni tipici del genere *Prasinocyma*. Nei genitali maschili il gruppo è alquanto eterogeneo, tre specie (*P. androzeugmoides*, *P. hailei* e *P. acutipennis*) sono caratterizzate da una lunga proiezione alla base della valva che può essere omologa alle strutture presenti in *P. pedicata* e *P. pseudopedicata* (gruppo *immaculata*). Nelle altre specie queste proiezioni sono brevi o assenti. VIII sternite bilobato posteriormente. Nei genitali

maschili di alcune specie (*P. bifimbriata*, *P. angulifera* sp. n.) le iuxta sono sclerificate e ricordano quelle del genere *Thalassodes*. L'analisi morfologica e quella genetica giustificano la loro collocazione in *Prasinocyma* (Prout 1930, Scoble 1999).

due *taxa* non sono stati assegnati ai gruppi di specie:
P. perpulverata Prout, 1916 e *P. oblita* Prout, 1930.

Per i generi *Celidomphax* (Fig. 42), *Victoria* (Fig. 43), *Thalassodes* (Fig. 44), *Androzeugma* (Fig. 45), *Lophostola* (Fig. 46), *Lophorrhachia* (Fig. 47) e *Omphax* (Fig. 48) occorreranno ulteriori indagini tassonomiche e altri esemplari da esaminare in quanto che i vari gruppi sembrano avere caratteristiche non sempre congruenti con quelle della tribù Hemistolini.

Figure 20-25 – *Pingasa rhadamaria signifrontaria, P. lahayei, P. distensaria, P. abyssinaria, P. pallidata, P. ruginaria interrupta.*

Figura 26 – *Pingasa pallidata*, genitale maschile (a), aedeagus (b) (scala = 1 mm).

Figure 27-28 – *Microbaena pulchra minor* (a sinistra) e *Comibaena theodori* (a destra).

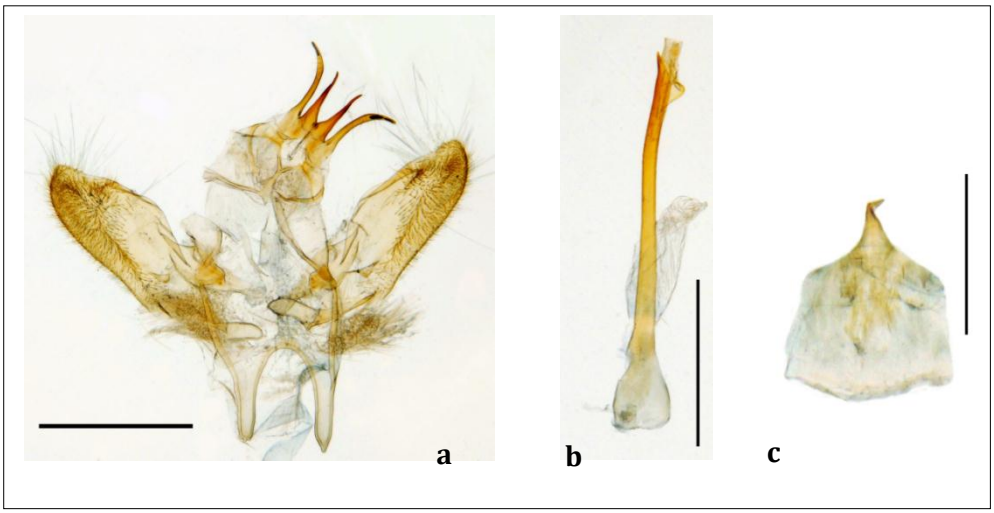


Figura 29 – *Comibaena theodori*, genitale maschile (a), aedeagus (b), VIII sternite (c) (scala = 1 mm).

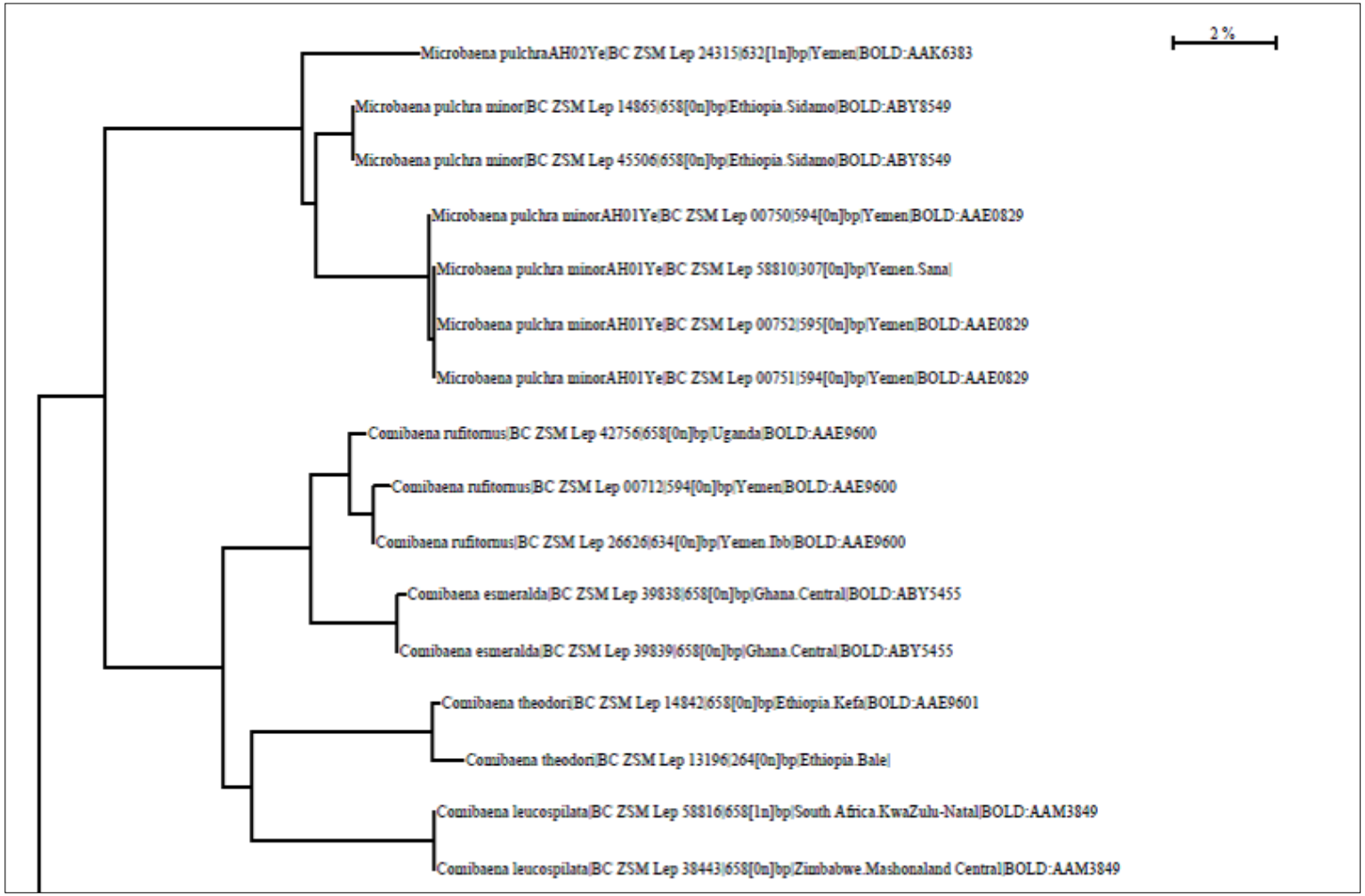


Figura 30 – Rappresentazione grafica dell'albero genetico della Tribù Comibaenini di Etiopia e Yemen: prima parte.

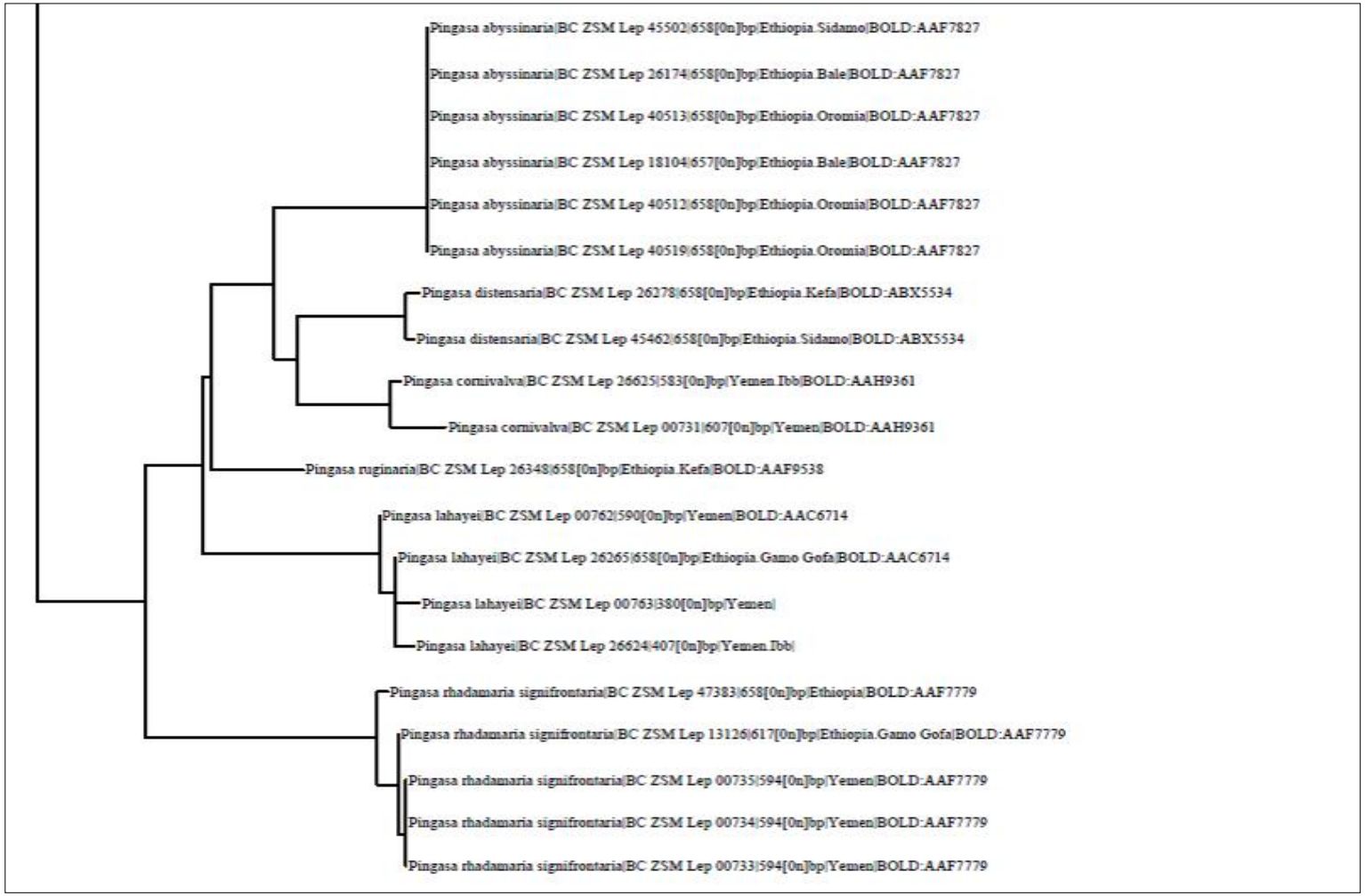


Figura 31 – Rappresentazione grafica dell’albero genetico della Tribù Pseudoterpnini di Etiopia e Yemen: seconda parte.

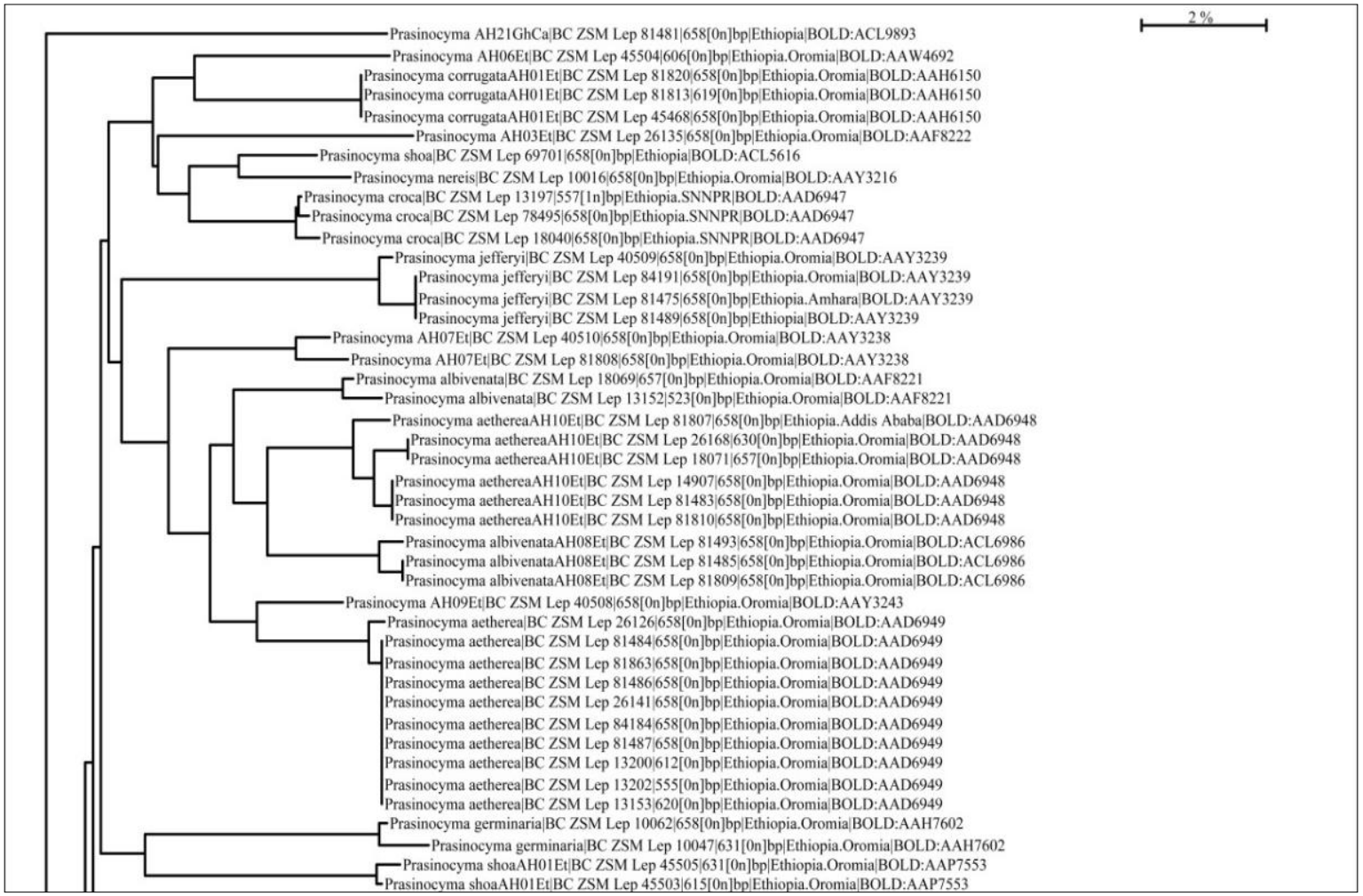


Figura 32 – Rappresentazione grafica dell'albero genetico per il genere *Prasinocyma* in Etiopia: prima parte.

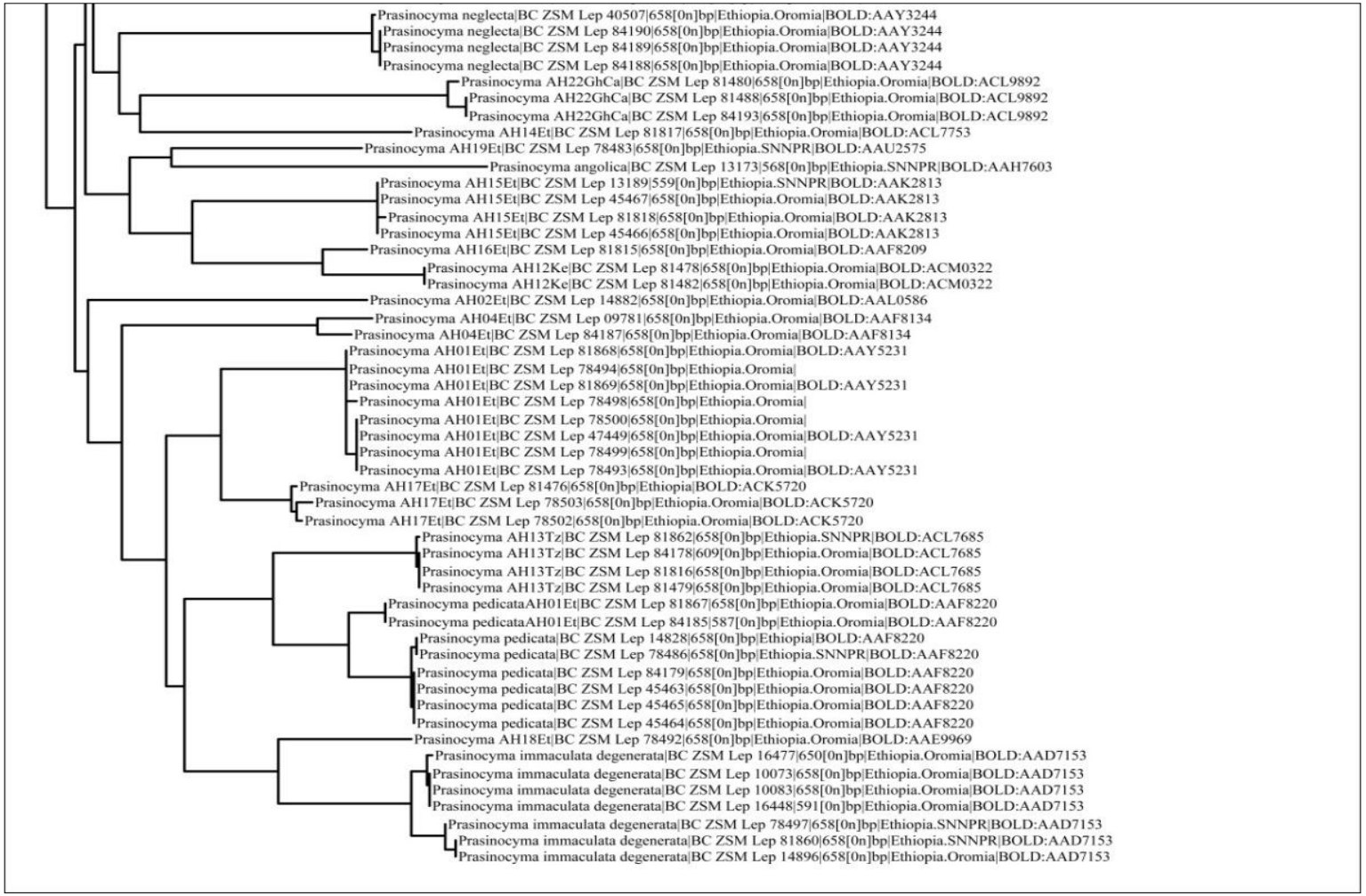


Figura 33 – Rappresentazione grafica dell'albero genetico per il genere *Prasinocyma* in Etiopia: seconda parte.

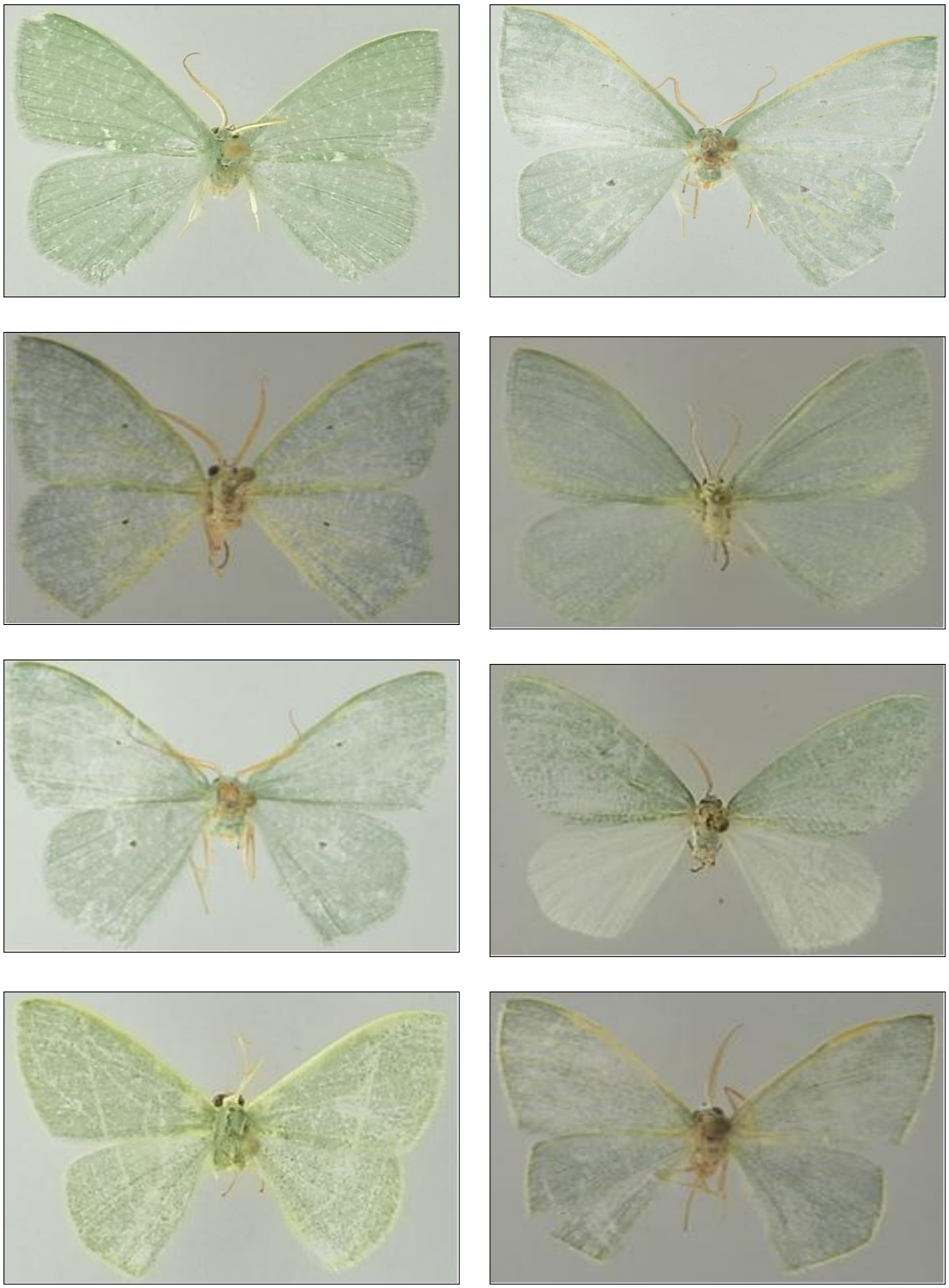


Figure 34-41 – *Prasinocyma getachewi* sp. n., *P. baumgaertneri* sp. n., *P. amharensis* sp. n, *P. monikae* sp. n., *P. fusca* sp. n., *P. trematerrai* sp. n., *P. androzeugmoides* sp. n, *P. angulifera* sp. n.

Figure 42-48 – *Celidomphax* sp., *Victoria* sp., *Thalassodes* sp., *Androzeugma* sp., *Lophostola* sp., *Lophorrhachia* sp., *Omphax* sp.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In Africa non vi è un altro Paese come l'Etiopia, caratterizzato da una morfologia accidentata e dai rilievi montuosi imponenti, da una parte all'altra del Rift. Sebbene a una prima analisi l'entomofauna del luogo sembri abbastanza uniforme, come per la maggior parte delle regioni occidentali, in realtà essa risulta costituita da parecchi gruppi faunistici vicini, di tipo insulare, la cui localizzazione è determinata in primo luogo dall'andamento altitudinale del territorio (Rougeot *et al*., 1991). L'Etiopia è considerata un hot spot per la biodiversità, che ospita decine di specie endemiche diversificandosi agli ambienti più vari, da quello afro-alpino delle montagne fino a quelli desertici delle aree nord-orientali del Paese. Ad esempio, tra le piante vascolari, che contano più di 7000 specie, il 12% risultano endemiche. L'area è anche molto ricca di endemismi animali, infatti delle 260 specie di mammiferi, 22 sono endemiche; delle 816 specie di uccelli, 16 sono endemiche; tra gli anfibi, su 54 specie figurano 17 endemiti (Ethiopian Wildlife and Natural History Society, 1996).

Riferendoci in particolare all'entomofauna, la carenza di studi nella regione, rispetto alle maggiori conoscenze dei rilievi meridionali (Kenya e Tanzania), non permette di fare comparazioni attendibili con la fauna dei Paesi vicini.

La complessa storia biogeografica dell'Etiopia può essere utile a spiegare la variegata composizione e l'origine delle diverse componenti faunistiche di quest'area. Particolare importanza hanno avuto: i contatti con la Penisola arabica o con il Nord Africa, che hanno consentito l'arrivo di elementi paleartici o orientali; le vicende paleoclimatiche, in particolar modo legate ai periodi glaciali del Plio-Pleistocene e ai fenomeni di espansione e contrazione delle aree a savana nell'Africa subsahariana, che hanno determinato a più riprese fenomeni di estinzione e ricolonizzazione degli elementi provenienti dal Nord Africa e dall'Europa (La Greca, 1990).

Gli esempi che seguono consentono di chiarire meglio la composizione e l'origine delle specie di tale territorio.

Il Cossidae *Azygophles mediopallens* Fletcher, la cui serie originale proviene dalla catena del Ruwenzori (3400 m/s.l.m.), è probabilmente un relitto della fauna del terziario delle montagne più antiche, con popolazioni che durante le glaciazioni si sono dirette verso il recente massiccio vulcanico (Rougeot, 1977). Al genere *Rougeotia* (famiglia Noctuidae) appartengono cinque specie conosciute fino ad oggi, tutte endemiche dei massicci etiopici, la cui distribuzione a livello altitudinale è in rapporto con le diverse esigenze ecologiche di ciascuna entità. Esso costituisce un esempio di diversificazione di un ceppo probabilmente antico, e fa supporre che la fauna primitiva dell'altopiano abissino sia rimasta in rigoroso isolamento per lungo tempo (Rougeot, 1977). La specie *Cucullia* (sic!) *magdalenae* Laporte (famiglia Noctuidae), provvista di una colorazione mimetica che ricorda l'Arctiidae *Spilosoma nigrisignata* Gaede con la quale è simpatrica, è un endemismo dei Monti di Bale.

Per quanto riguarda i Geometridae, molti generi rinvenuti sugli altipiani etiopi provengono da linee paleartiche, come nei generi *Eupithecia* e *Xanthoroe*.

Nel caso delle specie etiopiche del genere *Pingasa*, da noi studiate, si possono evidenziare differenti areali di distribuzione, probabilmente legati a distinte storie biogeografiche: *P. rhadamaria signifrontaria* ha una distribuzione afrotropicale, nel caso di *P. lahayei* invece l'areale include anche il Nord Africa, *P. distensaria* è una specie a distribuzione est-africana, presente dall'Etiopia fino al Sud Africa; *P. abyssinaria* e *P. pallidata* sono endemismi etiopi; *P. ruginaria* è invece ampiamente distribuita nella regione afrotropicale e orientale.

Poiché molte specie animali risultano ancora non descritte e l'identificazione delle stesse è spesso difficile, la nomenclatura tassonomica non è stata utilizzata nelle analisi della biodiversità. Oggi con le indagini genetiche si assegnano gli individui a specie presunte chiamate "unità

operative tassonomiche" utili per accelerare gli studi sulla biodiversità, altrimenti improbabili (Ratnasingham e Hebert, 2013).

Hausmann (2011) riporta la descrizione di sei specie e una sottospecie nuova per la scienza di Geometridae Larentinae del Mediterraneo rese possibili dalla combinazione tra l'approccio genetico e il metodo morfologico.

L'utilizzo dell'analisi molecolare ha permesso di indagare in maniera approfondita il genere *Prasinocyma* all'interno del quale in precedenza pochi entomologi esperti tassonomi erano riusciti a distinguere le numerose specie africane, con la descrizione di pochi *taxa*. Vari problemi hanno impedito in passato una corretta discriminazione specifica all'interno di tale genere: gli esemplari adulti generalmente hanno ali verdi con poche variazioni di tonalità e quasi mai presentano macchie o bande alari; gli apparati genitali talvolta sono molto variabili anche in specie vicine, senza fornire chiari caratteri diagnostici per discriminare i vari *taxa*; mancanza, in molti casi, di serie di esemplari e presenza di singoli individui femmine non riconducibili ai maschi della stessa specie.

L'approccio tassonomico integrato impiegato nella presente Tesi, che combina le informazioni del DNA barcoding con i metodi morfologici classici, ha consentito nella maggior parte dei casi di superare tali difficoltà, portando così da 8 a 41 le specie conosciute e, in base all'analisi dell'accumulazione basata su dati genetici, di stimare a oltre 300 il numero complessivo di *taxa* africani appartenenti al genere *Prasinocyma*, molti ancora da descrivere. La maggior parte dei nuovi *taxa* descritti, inoltre, sono risultati endemismi etiopi, a conferma del ruolo di importante serbatoio di biodiversità svolto da questo Paese.

5. RIASSUNTO. Studio dei Lepidotteri della sottofamiglia Geometrinae raccolti in Etiopia.
Lo scopo della ricerca è stato studiare i lepidotteri Geometridae raccolti in varie spedizioni effettuate in Etiopia, tra il 2009 e il 2012; le attività si sono svolte anche con la collaborazione di entomologi specialisti della fauna Afrotropicale presenti nello Zoologische Staatssammlung München (Germania). Oltre al materiale tenuto presso il Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti dell'Università degli Studi del Molise, sono stati osservati anche i lepidotteri presenti nelle collezioni del museo tedesco. In particolare, si è scelto di prendere in considerazione, nell'ambito della sottofamiglia Geometrinae, le tribù Pseudoterpnini, Comibaenini e Hemistolini. Sei specie sono risultate appartenere alla tribù Pseudoterpnini e due alla tribù Comibaenini, di cui una è stata descritta come nuova: *Comibaena theodori* sp.n. Per la tribù Hemistolini si è indagato il genere *Prasinocyma*. In tale ambito diciassette specie e cinque sottospecie sono state descritte come nuova per la scienza: *Prasinocyma pedicata aethiopica* subsp. n., *Prasinocyma angolica pseudopedicata* subsp. n., *Prasinocyma stefani* sp. n., *Prasinocyma omoensis* sp. n., *Prasinocyma getachewi* sp. n., *Prasinocyma baumgaertneri* sp. n., *Prasinocyma shoa yabellensis* subsp. n., *Prasinocyma amharensis* sp. n., *Prasinocyma batesi distans* subsp. n., *Prasinocyma monikae* sp. n., *Prasinocyma fusca* sp. n., *Prasinocyma leveneorum* sp. n., *Prasinocyma aquamarina* sp. n., *Prasinocyma beryllaria* sp. n., *Prasinocyma lutulenta* sp. n., *Prasinocyma septentrionalis* sp. n., *Prasinocyma fallax* sp. n., *Prasinocyma trematerrai* sp. n., *Prasinocyma trematerrai simienensis* subsp. n., *Prasinocyma androzeugmoides* sp. n., *Prasinocyma angulifera* sp. n. e *Prasinocyma maryamensis* sp. n. I risultati scaturiti delle presenti ricerche hanno permesso di ampliare le conoscenze faunistiche sulla lepidotterofauna afrotropicale e di individuare e descrivere nuovi *taxa*.

5. SUMMARY. Studies on the Lepidoptera of the subfamily Geometrinae collected in Ethiopia.
The purpose of the research was to study the geometrid moths collected in several scientific expeditions carried out between 2009 and 2012 in Ethiopia, with the collaboration of Afrotropical fauna entomologists based at the Zoologische Staatssammlung München (Germany). In addition to the material collected by the University of Molise, specimens in the Zoologische Staatssammlung München collections were included in the research. Among the Geometridae, in particular, investigations focused within the subfamily Geometrinae, tribes Pseudoterpnini, Comibaenini and Hemistolini. Six species belonging to the tribe Pseudoterpnini and two species belonging to the tribe Comibaenini, one described as new: *Comibaena theodori* sp.n., were found. In the tribe Hemistolini, the genus *Prasinocyma* was investigated. Seventeen species and five subspecies were described as new to science: *Prasinocyma pedicata aethiopica* subsp. n., *Prasinocyma angolica pseudopedicata* subsp. n., *Prasinocyma stefani* sp. n., *Prasinocyma omoensis* sp. n., *Prasinocyma getachewi* sp. n., *Prasinocyma baumgaertneri* sp. n., *Prasinocyma shoah yabellensis* subsp. n., *Prasinocyma amharensis* sp. n., *Prasinocyma batesi distans* subsp. n., *Prasinocyma monikae* sp. n., *Prasinocyma fusca* sp. n., *Prasinocyma leveneorum* sp. n., *Prasinocyma aquamarina* sp. n., *Prasinocyma beryllaria* sp. n., *Prasinocyma lutulenta* sp. n., *Prasinocyma septentrionalis* sp. n., *Prasinocyma fallax* sp. n., *Prasinocyma trematerrai* sp. n., *Prasinocyma trematerrai simienensis* subsp. n., *Prasinocyma androzeugmoides* sp. n., *Prasinocyma angulifera* sp. n., and *Prasinocyma maryamensis* sp. n. The results of the research allowed expanding knowledge on Afrotropical lepidopterofauna and to identify and describe new *taxa*, many of them Ethiopian endemism.

6. BIBLIOGRAFIA

Cross P., 2003 – The Butterflies of Wondo Genet. Mega Printing Enterprise, Addis Abeba: 1-131.

DeWaard J. R., Ivanova N. V., Hajibabaei M., Hebert P. D. N., 2008 – Assembling DNA barcodes: analytical protocols. In: Martin C. (ed). Methods in molecular biology: environmental Genetic data. – Totowa, NJ: Humana Press: 275-293.

Durante A., 2009 – Revision of the Afrotropical species of *Asura* Walker, 1854 (Lepidoptera: Arctiidae, Lithosiinae), with the description of a new genus. Zootaxa, 2280: 27-52.

Ethiopian Wildlife and Natural History Society, 1996 – Important bird areas of Ethiopia, a first inventory. EWNHS, Addis Ababa: 1-300.

Fletcher D.S., 1958 – Ruwenzori Expedition 1952. Volume I. Number 6. Geometridae. London: British Museum (Natural History): 1-100.

Fletcher D.S., 1963 – Geometridae, in: Exploration du Parc National Albert (Inst. des Parcs nat. du Congo et du Rwanda, Brüssel), deuxième série, fasc. 15 (1): 1-70.

Fletcher D.S., 1967 – A revision of the Ethiopian species and a check list of the world species of Cleora (Lepidoptera: Geometridae). Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology series, Supplement 8: 1-119.

Fletcher D.S., 1974 – A revision of the old world Zamarada Moore. Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology series, Supplement 22: 1-498.

Gooder D.T., Watson A., 1995 – The Afrotropical Tiger-Moths. Apollo Books, Stenstrup: 1-65.

Hausmann A., 1996 – The Morphology of the Geometrid Moths of the Levant and its Neighbouring Countries (Part I: Orthostixinae-Geometrinae). Nota lepidopterologica, 19 (1/2): 3-90.

Hausmann A., 1999 – Geometrid Moth Species from Yemen (Lepidoptera: Geometridae) (plts. I-V). Esperiana, Buchreihe zur Entomologie Bd 7: 283-305.

Hausmann A., 2001 – Introduction. Archiearinae, Orthostixinae, Desmobathrinae, Alsophilinae, Geometrinae. In: A. Hausmann. The Geometrid Moths of Europe 1. Apollo Books, Stenstrup: 1-282.

Hausmann A., 2006 – The geometrid Moth Species from Yemen – With 50 new records for the country and description of 20 new taxa (Lepidoptera: Geometridae) (plates 12-21). Esperiana, Buchreihe zur Entomologie Bd 12: 9-62.

Hausmann A., 2011 – An integrative taxonomic approach to resolving some difficult questions in the Larentiinae of the Mediterranean region (Lepidoptera, Geometridae). Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft, 101: 73-97.

Hausmann A., Parisi F., Sciarretta A., 2014 – The geometrid moths of Ethiopia I: tribes Pseudoterpnini and Comibaenini (Lepidoptera: Geometridae, Geometrinae). Zootaxa 3768 (4): 460-468.

Hausmann A., Sciarretta A., Parisi F., 2015 – The Geometrinae of Ethiopia II: Tribus Hemistolini, genus *Prasinocyma* (Lepidoptera: Geometridae, Geometrinae) (in corso di pubblicazione).

Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., deWaard J.R., 2003 – Biological identifications through DNA barcodes. Proceeding of the Royal Society of London. Series B-Biological Science, 270: 313–321.

Ivanova N.V., deWaard J.R., Hebert P.D.N., 2006 – An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA. Molecular Ecology, 6: 998-1002.

Janse A.J.T., 1933-1935 – The Moths of the South Africa. Volume II. Geometridae. E.P. & Commercial Printing Co., Durban: 1-448.

Krüger M., 2001 – A revision of the tribe Macariini (Lepidoptera: Geometridae: Ennominae) of Africa, Madagascar and Arabia. Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology series, 70 (1): 1-502.

Krüger M., 2002 – Revision of Afrotropical Ennominae of the Drepanogynis. Group IV: the Genus *Drepanogynis* Guenée, (Lepidoptera: Geometridae). Transvaal Museum Monograph, 13: 1-220.

La Greca M., 1990 – Considerazioni sul popolamento animale dell'Africa orientale. Biogeografia. Lavori della Società Italiana di Biogeografia. Volume XIV. Bologna: 541-576.

Lödl M., 1994 – Revision der Gattung *Hypena* Schank, 1802, s.l., der äthiopischen und madagassichen Region, Teil 1 (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae: Hypeninae). Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, 96B: 373-590.

Lödl M., 1995 – Revision der Gattung *Hypena* Schank, 1802, s.l., der äthiopischen und madagassichen Region, Teil 2 (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae: Hypeninae). Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, 97B: 255-393.

Moritz C., Cicero C., 2004 – DNA barcoding: promise and pitfalls. PLoS Biology 2: e354.

Pinhey E.C.G., 1979 – Moths of Southern Africa. Description and Colour Illustrations of 1183 Species. Rotterdam: A.A. Balkema: 1-273.

Pitkin L., Hongxiang H., Shayleen J., 2007 – Moths of the tribe Pseudoterpnini (Geometridae: Geometrinae): a review of the genera. Zoological Journal of the Linnean Society, 150: 343-412.

Prout L.B., 1930 – Die spannerartigen Nachtfalter (Fauna Africana). In: Seitz, A. (1930-1938): Die Groß-Schmetterlinge der Erde, vol. 16. – Verlag A. Kernen, Stuttgart: 1-479.

Przyblowicz L., 2009 – Thyretini of Africa. An Illustrated Catalogue of the Thyretini (Lepidoptera: Arctiidae: Syntominae) of the Afrotropical Region. Apollo Books, Stenstrup: 1-170.

Ratnasingham S., Hebert P.D.N., 2013 – A DNA-based registry for all animal species: The Barcode Index Number (BIN) System. PLOS ONE 8(8): e66213.

Scoble M.J., 1992 – The Lepidoptera. Form, Function, and Diversity. The

Natural History Museum Publications, Oxford University Press: 1-404.

Scoble M.J., 1999 – Geometrid Moths of the World, a Catalogue. CSIRO Publishing, Apollo Books Collingwood, Australia/Denmark, Stenstrup: 1-400.

Scoble M.J., Hausmann A., 2007 – Online list of valid and nomenclaturally available names of the Geometridae of the World. http://www.lepbarcoding.org/cl_geometridae.php.

Vari L., Kron D.M., Krüger M., 2002 – Classification and Checklist of the Species of Lepidoptera Recorded in Southern Africa. Chastwood: Simple Solutions Australia (Pty.) Ltd: 1-385.

RELAZIONI TRA COLEOTTEROFAUNA SAPROXILICA, STRUTTURA FORESTALE E LEGNO MORTO NEI MICROHABITAT DI ABETI SOPRANI

1. INTRODUZIONE

1.1 RUOLO DEGLI ORGANISMI SAPROXILICI NELLA DECOMPOSIZIONE DEL LEGNO

II processo di degradazione del legno inizia sulle piante vive ad opera di insetti cortico-lignicoli e funghi parassiti che utilizzano tessuti ancora ricchi di sostanze azotate e di carboidrati di sintesi recente. Questa fase iniziale di attacco coinvolge organismi che possono a volte rientrare nella categoria degli agenti dannosi alla produzione forestale. Tutte le fasi successive vedono invece impegnati insetti e altri invertebrati, funghi e microrganismi che non solo non arrecano danni di alcun genere, ma la cui funzione è di importanza fondamentale per la dinamica degli ecosistemi forestali e il riciclo della componente organica.

Gli insetti costituiscono la più importante componente faunistica legata al legno morto e sono tra i principali responsabili dei processi di decomposizione del legno. L'entomocenosi saproxilica si rivela molto complessa poiché estremamente diversificate sono le tipologie di legno morto e rappresenta quindi un fondamentale fattore di regolazione dei nutrienti, concorrendo alla loro ridistribuzione all'interno dell'ecosistema.

Adulti e larve di insetti xilofagi scavano una fitta rete di gallerie sotto le cortecce e nel legno; in questo modo essi determinano un forte aumento di superfici esposte all'insediamento di funghi e batteri saprofiti. A loro volta, tali organismi rendono il materiale idoneo all'attacco da parte di altri insetti xilofagi, funghi e batteri che vivono a spese del legno nelle successive fasi di decomposizione (Battisti *et al.*, 2013).

La degradazione del legno ha una durata variabile da pochi anni a diversi decenni, a seconda delle specie arboree, del clima locale e degli organismi coinvolti nel processo. Nelle fasi iniziali si riscontra di norma la presenza di agenti legati al legno di determinate specie arboree, ma in seguito tendono sempre più a prevalere le entità che utilizzano il legno morto senza particolari preferenze.

Per la maggior parte delle foreste delle zone temperate, indipendentemente dalle specie legnose e dalle condizioni geografiche, durante i processi di degradazione del legno si possono individuare quattro principali fasi temporali (da Battisti *et al.*, 2013):

- fase scolitoidale (pianta ancora viva o morente): caratterizzata prevalentemente dalla presenza di coleotteri scolitidi e da larve di coleotteri cerambicidi, oltre che dall'inizio dell'attività di decomposizione operata da funghi e batteri (fungal-bacterial decomposition stage). Tale fase si manifesta a carico di alberi indeboliti o morenti, oppure recentemente abbattuti ma con tessuti sottocorticali ancora freschi;
- fase cerambicoidale-pirocroidale (II e III anno dopo la morte della pianta): principalmente caratterizzata dalla presenza di coleotteri cerambicidi e, nei querceti e nelle faggete, di coleotteri lucanidi. A queste entità si associa talvolta il caratteristico coleottero pirocroide *Pyrochroa coccinea* L., 1761, le cui vistose larve predatrici si rinvengono sotto le cortecce; gli adulti di colore rosso intenso vivono sui fiori, ma si osservano facilmente anche sul legno morto;
- fase formicoidale (IV-VI anno dopo la morte della pianta): questo stadio vede la prevalenza dell'attività delle formiche dei generi *Formica* e *Lasius*;
- fase mirmicoidale (dal VII anno dopo la morte della pianta): ultimo stadio, che vede 1'abbondante presenza di imenotteri formicidi del genere *Myrmica* e la culminazione dell'attività decompositiva con

la partecipazione di lombrichi, miriapodi e altri invertebrati della pedofauna (lumbricoidal stage).

La decomposizione del legno riveste spesso un ruolo considerevole nella formazione di microambienti, quali ad esempio le ceppaie marcescenti, utili all'affermazione della rinnovazione naturale. Inoltre, la necromassa legnosa costituisce una sede di accumulo di carbonio a vantaggio di una ridotta emissione di anidride carbonica, e quindi di un minore contributo ai processi di riscaldamento del clima. Ma il legno morto nelle foreste rappresenta soprattutto un importante aggregato di nicchie ecologiche in grado di ospitare faune particolari, spesso caratterizzate da soluzioni adattative comuni a organismi filogeneticamente fra loro lontani. Si tratta di animali appartenenti a gruppi molto diversi ma capaci di utilizzare il legno morto con risorse e modalità simili, quali apparati boccali masticatori, piccole dimensioni, enzimi specifici e complesse simbiosi con microrganismi.

II legno nei vari stadi di decomposizione offre un habitat unico e particolare per molti organismi saproxilici che svolgono un importante ruolo nel ciclo degli elementi e costituisce una sede di conservazione di una considerevole quantità di energia e di nutrienti.

Secondo i tipi di legno morto, delle dimensioni dei singoli elementi (ceppaie, tronco, rami, cavità) e dello stadio di decomposizione, si costituiscono differenti comunità animali e vegetali in dipendenza delle esigenze ecologiche delle singole specie. Fra gli invertebrati legati alla necromassa vi sono ad esempio alcuni coleotteri quali *Cerambyx cerdo* L., 1758 e *Lucanus cervus* L., 1758, presenti soprattutto nel legno di grandi castagni e querce, *Rosalia alpina* L., 1758, che si sviluppa nel legno morto di faggio, e *Osmoderma eremita* (Scopoli, 1763), coleottero Cetoniidae tipico di cavità di grandi latifoglie con legno marcescente.

Dalla presenza della fauna legata al legno in decomposizione dipendono anche uccelli come i picchi e con essi tutte le specie animali che ricercano le cavità come siti di nidificazione e di rifugio, quali: civetta nana,

civetta capogrosso, diverse specie di chirotteri, roditori arboricoli e altri vertebrati.

Alcuni microhabitat particolari, come le piccole raccolte d'acqua che si formano nelle cavità dei tronchi, le ferite dalle quali sgorga la linfa e i corpi fruttiferi dei funghi del legno, in particolare le poliporacee, sono sede di vita di particolari comunità di invertebrati di grande importanza per la biodiversità.

In genere si distingue il legno morto presente su parti di alberi vivi e nelle loro cavità da quello su alberi morti, a terra o in piedi; nel caso degli alberi in piedi aumentano le possibilità di insediamento per diverse specie di vertebrati, in particolare uccelli. Gli animali possono utilizzare gli alberi morti per scopi diversi, quali ad esempio nidificazione, ricovero diurno o notturno, svernamento, alimentazione. In molti casi è difficile separare le forme di utilizzazione del legno morto da parte delle singole specie, poichè esse si sovrappongono e si integrano; i chirotteri, ad esempio utilizzano gli alberi morti sia per il ricovero diurno sia per la riproduzione e lo svernamento.

II volume di necromasssa presente in un bosco dipende dalla produttività dell'ecosistema, dalla dinamica delle decomposizioni che sono a loro volta influenzate dal regime delle perturbazioni naturali e dal tipo, frequenza e intensità delle utilizzazioni forestali. I processi di deterioramento del legno morto dipendono inoltre dal tasso di mortalità naturale, che può essere molto variabile da un anno all'altro, dalla caduta al suolo degli alberi morti in piedi e dalla velocità di decomposizione del legno al suolo, che è influenzata dalla specie arborea e dal microclima.

Nelle foreste naturali e seminaturali delle regioni temperate d'Europa il legno morto oscilla fra 14 e 200 m^3/ha eccezionalmente fino a più di 400 m^3/ha, con percentuali variabili tra il 5 e il 30% della massa in piedi. In alcune riserve dell'Europa centrale e orientale, nelle quali il faggio è la specie forestale dominante o codominante, la media del volume totale di legno morto è di circa 130 m^3/ha (Battisti *et al.*, 2013). Nella gran parte delle foreste coltivate la situazione è ben diversa. I dati in proposito sono ancora piuttosto

scarsi, ma il limite minimo di 15-20 m³/ha ritenuto auspicabile sembra ancora lontano in gran parte d'Europa.

Nel caso dell'Italia, in base ai recenti risultati dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio, la massa totale del legno morto presente nei boschi sotto forma di alberi morti in piedi, necromassa a terra e ceppaie residue assomma a 8,8 m³/ha.

1.2 AREA STUDIO

1.2.1 Localizzazione e caratteristiche vegetazionali

Il bosco "Abeti Soprani" è situato al limite nord della provincia di Isernia, nell'alto bacino idrografico del fiume Sangro, tra gli abitati di Pescopennataro e Capracotta; ha un'estensione di circa 388 ettari e comprende quote che vanno dai 1000 ai 1746 m/s.l.m. della vetta Monte Campo (Figg. 1-2). Il suo limite meridionale corre pressoché parallelamente alla linea di cresta del complesso montuoso che ha come cime più elevate Monte Campo e Monte San Nicola (1517 m/s.l.m.); quello settentrionale si presenta discontinuo, ma è tuttavia facilmente individuabile, identificandosi spesso con linee naturali e con il margine del bosco a contatto di pascoli e seminativi. I limiti orientale ed occidentale sono irregolari e solo per brevi tratti seguono linee naturali.

Il bosco Abeti Soprani presenta tre tipologie di vegetazione che vicariano lungo il gradiente altitudinale, in rapporto alle variazioni del substrato, della morfologia e delle condizioni bioclimatiche. In particolare vengono individuate tre associazioni: cerreta, abetina e faggeta (Allegrezza e Biondi, 2008). Dalle quote più basse e fino a 1100-1150 m/s.l.m. vi è la cerreta mesofila mista con carpino bianco (*Carpinus betulus* L.), dell'associazione *Aremonio agrimonioidis-Quercetum cerridis*. Specie caratteristiche di tale associazione sono: l'agrimonia delle faggete (*Aremonia agrimonioides* L.), il geranio striato (*Geranium versicolor* L.), la primula comune (*Primula vulgaris* Huds.) e il ligustro (*Ligustrum vulgare* L.). Nel range altitudinale compreso tra 1150 e 1300 m/s.l.m. circa di quota, si sviluppa

il bosco di abete bianco (*Abies alba* Mill.), inquadrato nell'associazione *Pulmonario apenninae-Abietetum albae*. Nello strato arboreo (altezza media 25 m) all'abete bianco, assolutamente dominante, si associano: faggio (*Fagus sylvatica* L.), acero montano (*Acer pseudoplatanus* L.), sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia* L.), agrifoglio (*Ilex aquifolium* L.), acero campestre (*Acer campestre* L.) e talvolta l'acero di Lobel (*Acer lobelii* Ten.), il frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.), il sorbo ciavardello (*Sorbus torminalis* L.) e il pero selvatico (*Pyrus pyraster* Burgsd.). Nello strato arbustivo le specie più frequenti sono: biancospino (*Crataegus oxycantha* L.), rovo (*Rubus hirtus* W. & K.), rosa cavallina (*Rosa arvensis* Huds.), dafne laureola (*Daphne laureola* L.), caprifoglio comune (*Lonicera caprifolium* L.) e fusaggine maggiore (*Euonymus latifolium* L.).

Lo strato erbaceo è particolarmente ricco di specie nemorali, tra cui alcuni importanti indicatori edafici come: polmonaria degli Appennini (*Pulmonaria appennina* Puppi e Cristofolini), legata a suoli profondi e umidi e le luzole (*Luzula sylvatica* Hudson e *L. sicula* Parl.), indicatori entrambi di suoli acidi o subacidi.

Al di sopra dei 1300 m/s.l.m. si afferma la faggeta microterma dell'associazione *Luzolo siculae-Fagetum sylvaticae* (Allegrezza e Biondi, 2008). Si tratta di una faggeta in cui l'unica specie dello strato arboreo dominante è *F. sylvatica*; nello strato dominato si rinvengono l'acero di Lobel (*A. lobelii*), il tasso (*Taxus baccata* L.) e l'abete bianco (*A. alba*). Lo strato arbustivo è composto da dafne laureola (*D. laureola*), dafne mezereo (*Daphne mezereum* L.) e rovo (*R. hirtus*). Tra le specie erbacee si rinvengono: dentaria di Kitaibel (*Cardamine kitaibelii* Becherer), felce maschio (*Dryopteris filix-mas* L.), felce setifera (*Polystichum setiferum* Forsskal) e barba di capra (*Actea spicata* L.).

1.3 SCOPO DEL LAVORO DI TESI

La fauna legata ad un albero cambia nel tempo a seconda della fase di decomposizione del legno. Stokland *et al*. (2012) indicano come saproxiliche le specie che dipendono in qualche fase del loro ciclo di vita dal materiale legnoso in decomposizione. La conservazione della biodiversità di tali organismi dipende anche dalla quantità e qualità di necromassa. Generalmente un'elevata presenza di legno morto è associata a una notevole diversificazione delle sue caratteristiche (dimensioni, stadi di decadimento, specie arboree, posizione), che aumenta la valenza ecologica delle specie saproxiliche (Müller e Bütler, 2010).

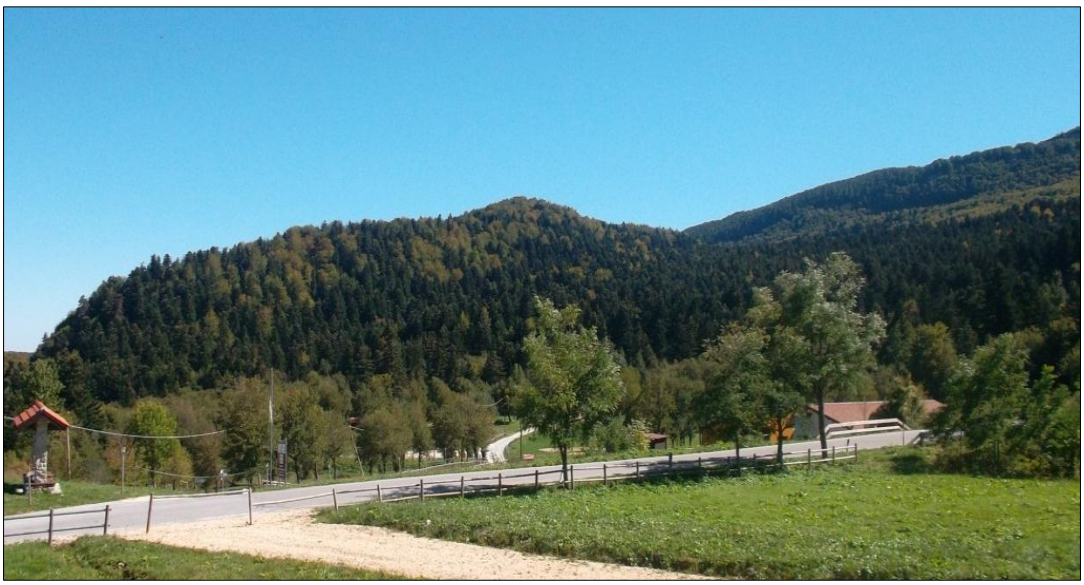
L'obiettivo della presente Tesi è stato valutare l'influenza che la struttura del bosco, le caratteristiche del legno morto e la presenza di microhabitat esercitano su abbondanza, distribuzione e diversità della fauna a coleotteri saproxilici in un ecosistema forestale.

Come accennato, le attività sono state realizzate presso l'abetina di "Abeti Soprani", localizzata nel territorio dell'Alto Molise, in provincia di Isernia. Il monitoraggio è stato condotto in un'area boschiva di circa 230 ettari, per 50 punti di campionamento, utilizzando due metodi per la cattura dei coleotteri saproxilici: trappole a finestra per gli insetti in volo ed eclettori per gli insetti presenti all'interno della necromassa.

Per gli stessi punti di campionamento è stata quantificata descritta la struttura forestale, le componenti di necromassa e la presenza di 23 tipologie di microhabitat. Nello specifico, si è inteso analizzare l'eterogeneità dei microhabitat, la loro frequenza e le relazioni tra i parametri strutturali forestali e la coleotterofauna rinvenuta. Alcune analisi geostatistiche sono state condotte per evidenziare la variabilità spaziale dei parametri esaminati e la distribuzione dell'entomofauna monitorata.

Con il presente studio si è voluto verificare l'importanza dei parametri forestali quali fattori che influenzano in maniera determinante la tutela della biodiversità, considerando che gli indicatori ecologici utilizzati, e in

particolare i microhabitat, potrebbero essere implementati nei tradizionali approcci inventariali forestali come supporto alle politiche di conservazione.



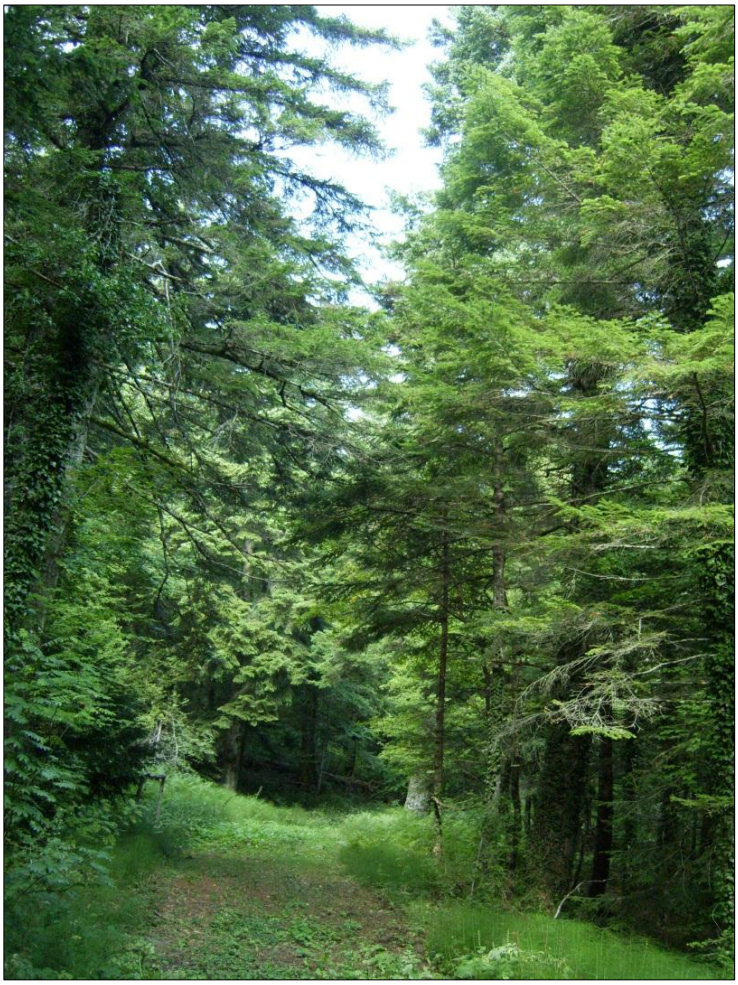


Figure 1-2 – Aspetti vegetazionali del bosco Abeti Soprani, Molise.

2. MATERIALI E METODI

2.1 RILIEVO DEI PARAMETRI FORESTALI

2.1.1 Massa viva, necromassa e microhabitat

Da quanto anticipato, il rilievo delle caratteristiche del popolamento oggetto di studio è stato realizzato su un'area di circa 230 ettari, pianificando un monitoraggio sistematico allineato, con 50 punti di campionamento ciascuno con una superficie di 530 m² (13 m di raggio), individuati tramite coordinate UTM (WGS 84 33N), dove si sono quantificate e descritte la struttura forestale, le componenti di necromassa e la presenza delle 23 tipologie di microhabitat secondo Winter e Möller, (2008) (Fig. 3).

I parametri forestali relativi alla massa viva sono stati: diametro del tronco (a 1,30 m di altezza); altezze medie (ogni 10 piante); specie arboree (tutte); copertura della volta arborea (in %). Per quanto riguarda i pezzi di legno sul bordo delle aree di saggio, sono stati misurati quelli la cui parte più spessa giaceva all'interno delle stesse ed è stata misurata solo la parte all'interno dell'area. Per distinguere le ceppaie dagli alberi troncati in piedi si è decisa la soglia di un 1,30 m di altezza. Le misurazioni del legno morto sono avvenute tramite l'uso del cavalletto forestale e della rotella metrica.

La classificazione del livello di deperimento per ogni frammento di legno morto è stata decisa visivamente dall'operatore utilizzando il sistema proposto da Hünter (1990), che suddivide il livello di decomposizione in 5 classi in base ad alcuni caratteri diagnostici, come le caratteristiche morfologiche della necromassa, la presenza di corteccia, l'integrità della struttura ed il colore del legno.

Anche per le ceppaie il sistema di classificazione del livello di deperimento è stato suddiviso in 5 classi:

classe 1: ceppaie tagliate di recente, tronchi con legno duro e rotondo in sezione trasversale, corteccia intatta;

classe 2: il legno può essere decomposto superficialmente (al di sopra di 1 cm), corteccia staccata ed in parte caduta, fusto rotondo in sezione trasversale;

classe 3: la maggior parte del fusto può essere decomposto per parecchi centimetri, fusto rotondo in sezione trasversale;

classe 4:legno soffice completamente decomposto, fusto ovale in sezione trasversale, con grandi aperture; il legno perde la sua consistenza e si disintegra quando viene toccato;

classe 5: i residui della ceppaia possono essere riconosciuti allo stato di lettiera o sono evidenziati dalla diversa vegetazione.

Nel caso in cui venivano individuate più classi di decomposizioni sullo stesso pezzo di legno, era considerata unicamente la classe più diffusa. Sia per le caratteristiche del legno morto, sia per la sua classe di decomposizione i dati sono stati debitamente annotati su un apposito piedilista.

Il rilievo dei microhabitat è avvenuto nella stessa area di saggio utilizzata per i rilievi della massa viva e del legno morto; i vari tipi sono stati identificati visivamente e annotati sull'apposito piedilista.

In figura 4 si trovano l'elenco dei 23 microhabitat presi in esame e la loro raffigurazione grafica.

Tutti i microhabitat (Figg. 5-6-7-8) sono correlati con la biocenosi della foresta e tengono conto delle tracce di numerose forme di vita: insetti (M21, M22), funghi (M1, M2, M3), uccelli (M9, M10, M11 ecc), batteri (M18, M23, M24), mammiferi (M20) ecc. (Winter *et al.*, 2008).

L'analisi delle caratteristiche del legno morto per tutte e tre le tipologie (ceppaie, legno morto a terra e alberi morti a terra), si è svolta come descritto nelle seguenti fasi:

calcolo del volume in m^3 della singola ceppaia/legno morto a terra/alberi morti a terra presi in esame;

come da protocollo, il legno morto a terra e le ceppaie vengono assimilati a tronchi di cono, il volume è calcolato come segue:

$$V = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + rR + r^2)$$

Per gli alberi abbattuti a terra si utilizzano le tavole di cubatura a doppia entrata dell'IFNI (Inventario Forestale Nazionale Italiano, 1984, oggi INFC, Inventario Nazionale delle Foresta e dei Serbatoi di carbonio).

Il calcolo del volume per ettaro è avvenuto attraverso:

calcolo dei valori medi di diametri e di altezze;

somma dei volumi, espressi sempre in m^3;

estensione da volume per area di saggio a volume per ettaro.

L'analisi dei dati dei microhabitat si è svolta nelle seguenti fasi:

conteggio del numero totale e in base al tipo;

estensione del valore dall'area di saggio all'ettaro.

2.2 CAMPAGNE DI RACCOLTA DEGLI INSETTI

Come accennato le ricerche sulla coleotterofauna saproxilica presente nell'area studio sono state realizzate negli stessi punti in cui si sono rilevati i parametri forestali, posizionando due dispositivi di cattura: trappole a finestra (windows fly trap) ed eclettori, già impiegati per il campionamento della fauna saproxilica in altri contesti forestali (Cavalli e Mason, 2003).

Il monitoraggio è stato svolto da luglio ad ottobre del 2012 e da maggio a settembre nel 2013.

Gli esemplari raccolti nel bosco Abeti Soprani sono stati trasportati, preparati, smistati e studiati presso i laboratori del Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti dell'Università degli Studi del Molise e conservati nelle collezioni entomologiche dell'Ateneo.

2.3 METODI DI CATTURA

Al centro di ogni area di monitoraggio è stata installata una trappola a finestra, costituita da due pannelli di plexiglas incrociati, di 60x40 cm, sotto i

quali si è posizionato un imbuto con un diametro di 42 cm che convoglia gli artropodi in un flacone di polietilene, avente una capacità di 500 ml e riempito per un terzo di una soluzione di acqua e sale per la conservazione del materiale entomologico. Questo tipo di trappola è stata sospesa in prossimità di un albero a un'altezza di circa 2 m da terra. Si è proceduto, ogni venti giorni, al controllo e raccolta/sostituzione dei flaconi contenenti gli insetti (Fig. 9).

Nella stessa area di campionamento inoltre sono stati posizionati gli eclettori realizzati con sacchi al cui interno venivano inseriti porzioni di legno nei diversi stadi di decomposizione collegati ad un barattolo per la raccolta degli insetti emergenti dalla necromassa (Fig. 10).

2.4 PREPARAZIONE E CONSERVAZIONE DEI REPERTI

Dopo il controllo delle trappole i flaconi, contenenti gli insetti catturati, sono stati portati in laboratorio e conservati a basse temperature per evitarne il deterioramento. Successivamente gli insetti sono stati lavati in acqua e inseriti in apposite provette contenti alcool al 70%, dove venivano mantenuti in attesa della loro preparazione a secco (Figg. 11-12).

I coleotteri che superavano i 15 mm di lunghezza sono stati spillati con spillo entomologico, disposto perpendicolarmente al corpo, direttamente sull'elitra destra. Le zampe sono state posizionate simmetricamente, femori anteriori in avanti, intermedi e posteriori indietro e tibie e tarsi volti verso lo spillo; le antenne, se lunghe sono state rivolte indietro lungo il corpo, se corte sono state dirette in avanti o ai lati. Gli esemplari al di sotto dei 15 mm di lunghezza sono stati incollati su appositi cartoncini entomologici sempre sostenuti da uno spillo. Quindi con un pennellino sono state distese le zampe e le antenne, rovesciando l'insetto sul dorso e mantenendolo fermo con l'aiuto di apposite pinzette. Terminata tale operazione si è posizionata sul cartoncino una goccia di colla entomologica su cui è stato fissato, con il ventre in basso, ogni singolo esemplare. Per ciascun individuo è stato preparato un cartellino, fissato alla base dello spillo, su cui venivano annotati il luogo di rilevamento

(nazione, regione, città, provincia e località), l'altitudine, la data di cattura e il nome del raccoglitore. Trascorso il periodo di essiccazione, di circa 30 giorni, i campioni sono stati posti e tenuti in apposite scatole entomologiche, dotate di un coperchio di vetro.

2.5 RICONOSCIMENTO DELLE SPECIE

La determinazione delle specie di appartenenza dei vari esemplari catturati è stata effettuata tramite l'osservazione della morfologia esterna, facendo la comparazione con materiali tenuti in collezione e con illustrazioni pubblicate in testi entomologici specialistici. Per i casi di difficile risoluzione, è stato necessario fare ricorso allo studio morfologico degli apparati genitali, tramite appositi preparati microscopici.

Per alcune famiglie, la determinazione degli esemplari di difficile identificazione è stata svolta in collaborazione con entomologi specialisti dei vari gruppi.

La dissezione e l'esame morfologico dell'apparato genitale sono stati eseguiti con l'ausilio di un microscopio stereoscopico a basso ingrandimento (fino a 40x); si è utilizzato invece un microscopio biologico, a maggiore risoluzione, per lo studio dei dettagli delle strutture anatomiche.

Per la preparazione degli apparati genitali le operazioni si sono svolte nel modo seguente: prima di effettuare l'estrazione è stato ammorbidito l'esemplare in camera umida. Successivamente si è trattenuto tra pollice e indice l'individuo, con l'addome rivolto verso l'alto e si è proceduto al distacco dell'armatura genitale utilizzando uno spillo entomologico.

Per i coleotteri di piccole dimensioni (<5 mm) invece si è proceduto, fissandoli sul dorso mediante una piccola goccia di colla e con l'ausilio di uno spillo, al distacco del genitale. Una volta isolato, l'apparato riproduttore è stato ripulito e preparato. Le parti di grandi dimensioni sono state posizionate su appositi cartellini ed immerse in una goccia di Euparal. Trascorse 2-3 ore, è stato aggiunto altro Euparal (questa volta più denso) anche a più riprese fino a

quando nessuna parte dell'armatura genitale fuoriuscisse dal liquido. Terminato il processo di inclusione e indurimento della resina, che di solito dura un paio di giorni, il cartellino è stato posizionato sotto l'esemplare ad una distanza di 4-5 mm da esso. Tale procedura si attua anche per i coleotteri ancora più piccoli, a cui si aggiunge il distacco dell'aedeagus (Figg. 13-14).

2.6 ANALISI STATISTICHE

Al termine delle campagne di raccolta dei parametri forestali e degli insetti, i dati sono stati sottoposti a due distinte analisi statistiche:

- analisi di regressione;
- analisi geostatistica.

L'analisi di regressione lineare è una tecnica che permette di analizzare la relazione lineare tra una variabile dipendente (o variabile di risposta) e una o più variabili indipendenti (o predittori). È una metodologia asimmetrica che si basa sull'ipotesi dell'esistenza di una relazione di tipo causa-effetto tra una o più variabili indipendenti (o esplicative) e la variabile dipendente (o di criterio). Nell'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software SAM v4.0 Spatial Analysis in Macroecology (Thiago *et al.*, 2010). Per le relative analisi è stato selezionato il modello di inferenza utilizzando il criterio di informazione di Akaike (AIC), che fornisce un equilibrio tra potenza e complessità del modello predittivo. SAM valuta i modelli che emergono da ogni possibile combinazione di variabili individuali, e le classifica in base ai valori statistici derivati. Inoltre, quando l'obiettivo è di stimare i parametri o generare un unico modello predittivo viene calcolato un modello multiplo tra la media ponderata e i parametri del modello stesso stimati in funzione del peso di Akaike. Benché questo modulo sia basato sull'approccio dell'analisi di regressione, può essere facilmente incorporata la struttura spaziale aggiungendo le covariate spaziali alla procedura di selezione del modello (Thiago *et al.*, 2010). Le variabili dipendenti sono state: numero di famiglie, numero di specie, numero di individui totali, numero di individui saproxilici.

Sono state inoltre considerate le famiglie più rappresentative (Staphylinidae, Elateridae, Cerambycidae, Curculionidae), solo quando il dato numerico era superiore a 100. L'analisi di regressione è stata condotta per il dato complessivo annuale e per i singoli campionamenti. Nei risultati sono stati riportati tutti i parametri forestali che nell'analisi risultavano significativi per $p<0,05$.

La geostatistica racchiude un insieme di tecniche statistiche, tradizionalmente utilizzate in discipline geologiche applicate, quali la ricerca e delimitazione di giacimenti petroliferi, recentemente impiegate anche in ricerche di ecologia del paesaggio e consente di analizzare i fenomeni naturali su base spaziale, a partire dalle informazioni derivanti dal campionamento. L'analisi geostatistica si sviluppa in due fasi fondamentali: valutazione dell'autocorrelazione spaziale tra insieme di dati, servendosi di correlogrammi, funzioni di covarianza o semivariogrammi; utilizzo dei risultati di tale analisi per la costruzione di modelli spaziali di interpolazione.
La più diffusa rappresentazione spaziale di questa tecnica operativa è il *kriging* (da Daniel Krige che, negli anni cinquanta, sviluppò il corrispondente algoritmo). Il *kriging* viene costruito a partire da un semivariogramma, che descrive la relazione della varianza tra campioni con la distanza che separa le coppie di osservazioni.

La funzione è definita da tre parametri fondamentali: *nugger* (intercetta dell'ordinata), che rappresenta sia la varianza associata all'errore di campionamento, sia la microvarianza, cioè la variabilità che si ha nello spazio compreso tra due campioni; *sill* (plateu della curva), che riflette la varianza totale delle osservazioni; *range*, che è la distanza alla quale viene raggiunto il *sill*. La funzione ottenuta dal semivariogramma viene quindi utilizzata come modello matematico per la stima dei valori nei punti non campionati dell'area studio (Brenner *et. al*., 1998).

La geostatistica ha introdotto numerosi elementi di novità rivoluzionando completamente la metodologia del campionamento: infatti, mentre i metodi tradizionali richiedono, come requisito preliminare, che i dati

non siano tra loro autocorrelati, la geostatistica, invece, non solo non adotta tale restrizione, ma, attraverso le autocorrelazioni spaziali, consente una rappresentazione visiva dei dati di campo (Sharov, 1998). Lo studio dei variogrammi, sia dei rilievi forestali che di quelli entomologici, è stato condotto utilizzando il software GS+ Versione 7.0.

Prima di effettuare le elaborazioni geostatistiche, i dati numerici per il campionamento annuale dei rilievi entomologici sono stati normalizzati come segue:

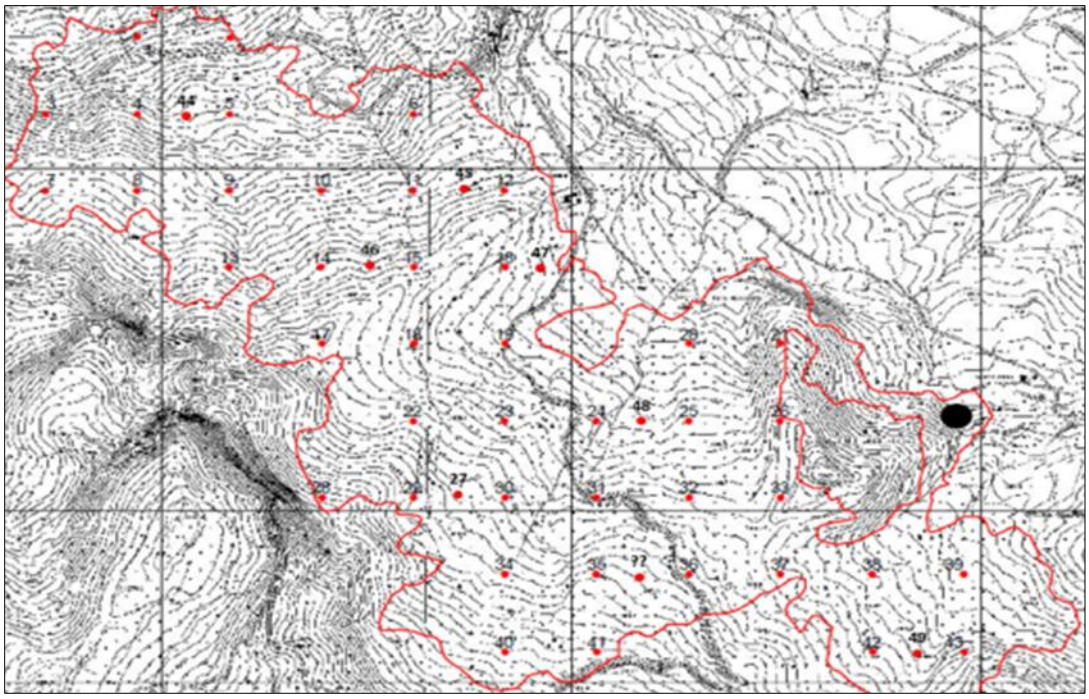
$$x_{i_norm} = \frac{x_i}{x_{max}}$$

dove *xi* è il valore i-esimo nella serie dei dati considerata e *xmax* è il valore massimo osservato nella stessa serie. In tal modo, si ottiene una scala di valori compresa tra 0 e 1 e le distribuzioni ottenute sono direttamente confrontabili. Non sono stati elaborati i rilievi per i quali il numero complessivo di esemplari era inferiore a 100.

La dipendenza spaziale tra le osservazioni è stata esaminata con il calcolo dei semivariogrammi omnidirezionali; in essi le distanze tra i punti di campionamento sono state suddivise in 4-6 intervalli (lag). Per ogni intervallo, il programma ha calcolato i valori medi della varianza riferiti alle coppie di osservazioni la cui distanza ricade nell'intervallo stesso. La distanza massima dei variogrammi è stata stabilita pari a circa 800 m, cioè il 60% della distanza massima tra due trappole (1500 m). Per determinare se la struttura spaziale dei dati è random o aggregata, la forma dei profili dei variogrammi è stata caratterizzata scegliendo, tra i modelli calcolati dal software (equazione lineare, esponenziale, gaussiana, sferica, quadratica), quello con il più basso valore dei residui, calcolati come somma degli errori al quadrato (Residual Sum of Square). In particolare, una curva asintotica (ad esempio esponenziale o gaussiana), in cui la varianza cresce da valori più bassi alle brevi distanze fino a un valore massimo, è considerata un buon modello di dipendenza spaziale e la rappresentazione tramite mappe di distribuzione è ritenuta affidabile (Nansen *et al.*, 2003).

La rappresentazione spaziale dei dati entomologici è stata riportata su mappa, mediante il software SURFER Versione 9.2 (Golden Software Inc., Golden, Colorado, USA). Il programma è in grado di costruire, attraverso un algoritmo di interpolazione, una griglia dei valori *z*, che rappresenta graficamente la variabile campionata. Nella presente Tesi l'algoritmo di interpolazione utilizzato è il *kriging* che utilizza il modello ottenuto dal relativo variogramma.

La rappresentazione è avvenuta attraverso una *contour map*, che mostra la distribuzione dei dati interpolati per mezzo di isolinee disegnate a intervalli regolari di z: tutti i punti lungo un contorno hanno lo stesso valore di densità di popolazione z. La contour map ottenuta è stata sovrapposta alla mappa dei punti di campionamento, entrambe con lo stesso sistema di coordinate UTM.



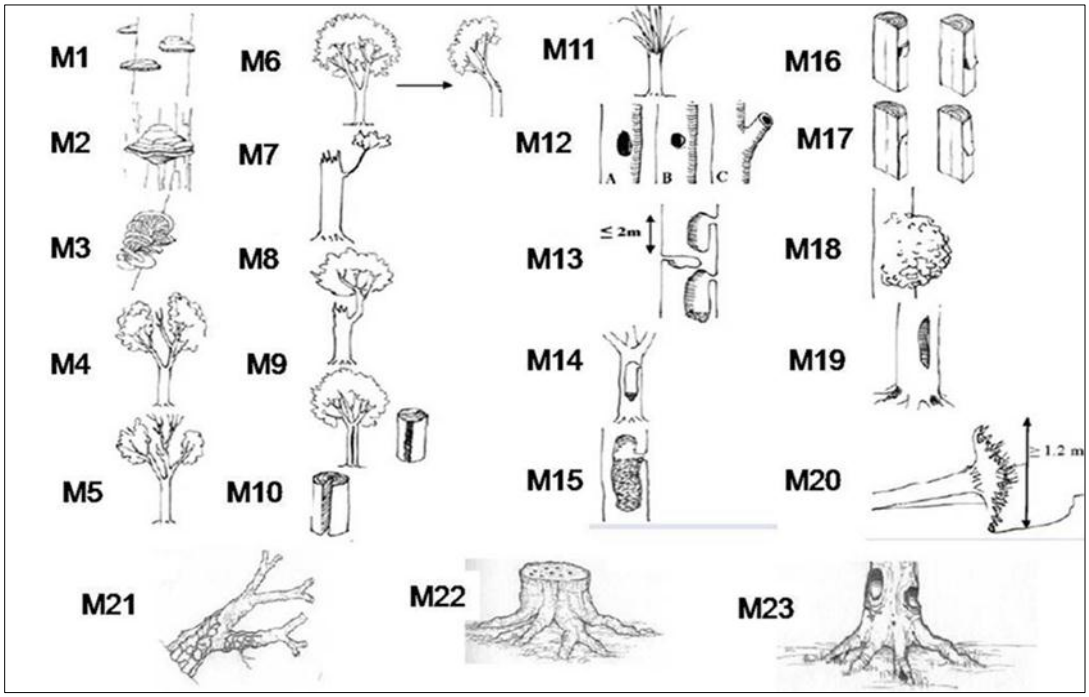


Figure 3-4 – Mappa topografica del bosco Abeti Soprani. In rosso le aree sottoposte a monitoraggio e i microhabitat censiti nel sito oggetto di studio.

Figure 5-8 – Alcuni microhabitat trovati nel corso dei rilievi forestali, nel sito molisano oggetto di indagine: M1, M15, M20 e M22.

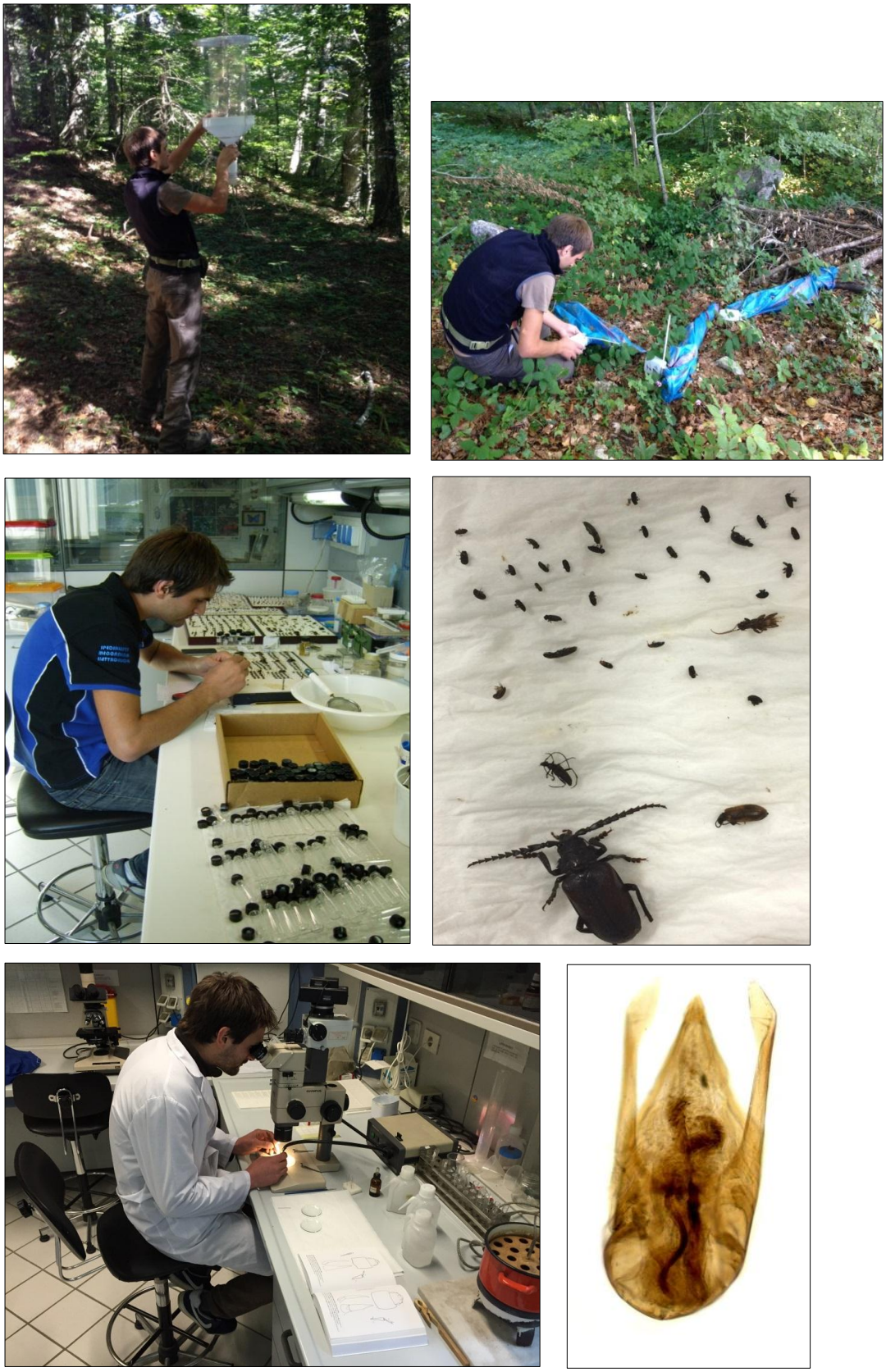


Figure 9-14 – Fasi di installazione dei sistemi di monitoraggio della fauna saproxilica, preparazione del materiale entomologico, esame dei vetrini al microscopio, apparato genitale maschile di *Eusphalerum matinae* Zanetti, 2004.

3. RISULTATI E CONSIDERAZIONI

3.1 ELENCO DEI *TAXA*

Di seguito si riporta l'elenco delle specie rinvenute nel corso dei campionamenti, annotando la famiglia di appartenenza e la relativa categoria trofica. Nei casi in cui non si è riusciti ad arrivare alla determinazione specifica, si riporta il solo genere (Tab. 1).

Famiglia	**Specie**	**Categoria trofica**
Dytiscidae	*Agabus (Gaurodytes) dilatatus* Brullé, 1832	**Non conosciuta**
Carabidae	*Cychrus attenuatus latialis* Luigioni, 1922	**Predatore**
	Dromius agilis (Fabricius, 1792)	**Predatore**
	Dromius quadrimaculatus (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
	Nebria kratteri Dejean & Boisduval, 1830	**Predatore**
	Nebria tibialis doderoi Banninger, 1924	**Predatore**
	Ocydromus gudenzii (Neri, 1981)	**Predatore**
	Pterostichus bicolor bicolor Aragona 1830	**Predatore**
	Pterostichus micans Heer, 1838	**Predatore**
Leiodidae	*Anistoma humeralis* (Fabricius, 1792)	**Micetofago**
Scydmaenidae	*Mastigus* sp.	**Predatore**
Silphidae	*Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1783)	**Necrofago**
	Phosphuga atra atra (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
Staphylinidae	*Anthophagus fauveli caprai* Koch, 1933	**Predatore**
	Anthophagus torretassoi Koch, 1933	**Predatore**
	Atrecus affinis (Paykull, 1789)	**Predatore**
	Bisnius fimentarius (Gravenhorst, 1802)	**Predatore**
	Bisnius sp.	**Predatore**
	Bryoporus multipunctus Hampe, 1867	**Micetofago**

	Coprophilus striatulus (Fabricius, 1793)	**Saprofita**
	Eusphalerum baudii (Fiori, 1984)	**Pollinivoro**
	Gyrohypnus fracticornis (Müller, 1776)	**Predatore**
	Lesteva monticola Kiesenwetter, 1847	**Predatore**
	Lordithon lunulatus (Linnaeus, 1760)	**Micetofago**
	Ocalea sp.	**Non conosciuta**
	Ocypus italicus (Aragona, 1830)	**Predatore**
	Othius laeviusculus (Stephens, 1832)	**Predatore**
	Philonthus cognatus (Stephens, 1832)	**Predatore**
	Philonthus concinnus (Gravenhorst, 1802)	**Predatore**
	Philonthus decorus (Gravenhorst, 1802)	**Predatore**
	Phyllodrepa floralis (Paykull, 1789)	**Pollinivoro**
	Quedius cinctus (Paykull, 1790)	**Predatore**
	Quedius humeralis (Stephens, 1832)	**Predatore**
	Quedius invreae Gridelli, 1924	**Predatore**
	Quedius latinus Gridelli, 1938	**Predatore**
	Quedius levicollis (Brullè, 1832)	**Predatore**
	Quedius lucidulus Erichson, 1839	**Predatore**
	Quedius nigrocaeruleus (Fauvel,1876)	**Predatore**
	Quedius ochripennis (Ménétriés, 1832)	**Predatore**
	Quedius truncicola Fairmaire & Laboulbène, 1856	**Predatore**
	Tachinus humeralis (Gravenhorst, 1802)	**Micetofago**
Lucanidae	*Platycerus caraboides* (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
Scarabeidae	*Aphodius consputus* (Linnaeus, 1758)	**Coprofago**
	Aphodius contaminatus (Herbst, 1973)	**Coprofago**
	Aphodius laticollis Baudi, 1870	**Coprofago**
	Aphodius sticticus (Panzer, 1798)	**Coprofago**
	Gnorimus nobilis nobilis (Linnaeus, 1758)	**Saproxilico**
Buprestidae	*Eurythyrea austriaca* (Linnaeus, 1767)	**Xilofago**

Scirtidae	*Prionocyphon* sp.	**Detricolo**
Eucnemidae	*Melasis buprestoides* (Linnaeus, 1761)	**Xilofago**
Trixagidae	*Trixagus* sp.	**Micetofago**
Elateridae	*Agriotes acuminatus* (Stephens, 1830)	**Fitofago**
	Agriotes litigiosus (Rossi, 1792)	**Fitofago**
	Ampedus glycereus (Herbst, 1784)	**Predatore**
	Athous haemorrhoidalis (Fabricius, 1801)	**Rizofago**
	Athous subfuscus (Müller, 1767)	**Rizofago**
	Athous vittatus (Gmelin, 1790)	**Rizofago**
	Dalopius marginatus (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
	Denticollis linearis (Linnaeus, 1758)	**Rizofago**
	Hemicremidius hirtus (Herbst, 1784)	**Rizofago**
	Melanotus villosus Gmelin, 1789	**Zoofago**
	Nothodes parvulus (Panzer, 1799)	**Rizofago**
Drilidae	*Drilus flavescens* Olivier, 1790	**Predatore**
Lycidae	*Dictyoptera aurora* (Herbst, 1874)	**Micetofago**
Lampyridae	*Lampyris* sp.	**Predatore**
	Luciola lusitanica (Charpentier, 1825)	**Predatore**
Cantharidae	*Cantharis decipiens* Baudi, 1871	**Predatore**
	Malthinus deceptor Baudi, 1893	**Predatore**
	Malthacus procerulus Kiesenwetter, 1860	**Predatore**
	Rhagonycha lignosa (Müller, O.F., 1764)	**Predatore**
	Rhagonycha nigriceps (Waltl, 1838)	**Predatore**
Dermestidae	*Globicornis fasciata* (Fairmaire, 1859)	**Predatore**
	Globicornis marginata (Paykull, 1798)	**Predatore**
Anobiidae	*Ochina ptinoides* (Marsham, 1802)	**Xilofago**
	Ptinomorphus imperialis (Linnaeus, 1767)	**Xilofago**
Lymexylidae	*Hylecoetus dermestoides* (Linnaeus, 1761)	**Micetofago**
Trogossitidae	*Nemosoma elongatum* (Linnaeus, 1761)	**Predatore**
Cleridae	*Opilo mollis* (Linnaeus, 1758)	**Predatore**

	Thanasimus formicarius (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
Melyridae	*Aplocnemus nigricornis* (Fabricius, 1792)	**Floricolo**
	Dasytes plumbeus (Müller, 1776)	**Predatore**
	Trichoceble floralis floralis (Olivier 1790*)*	**Floricolo**
Dasytidae	*Dasytes caeruleus* (De Geer, 1774)	**Predatore**
Cucujidae	*Pediacus dermestoides* (Fabricius, 1792)	**Predatore**
Erotylidae	*Triplax lacordairei* Crotch, 1870	**Micetofago**
Endomychidae	*Endomychus coccineus* (Linnaeus, 1758)	**Micetofago**
Coccinellidae	*Aphidecta obliterata* (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
	Calvia quatuordecimguttata (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
	Coccinella septempunctata (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
	Halyzia sedecimguttata (Linnaeus, 1758)	**Predatore**
Mycetophagidae	*Mycetophagus quadripustulatus* (Linnaeus, 1751)	**Micetofago**
Melandryidae	*Osphya bipunctata* (Fabricius, 1775)	**Floricolo**
	Serropalpus barbatus (Schaller, 1783)	**Xilofago**
Mordellidae	*Mordella aculeata* (Linnaeus, 1758)	**Rizofago**
	Variimorda briantea (Comolli, 1837)	**Rizofago**
Zopheridae	*Coxelus pictus* (Sturm, 1807)	**Xilofago**
Tenebrionidae	*Enoplopus dentipes* (Rossi, 1790)	**Xilosaprofaga**
	Stenomax aeneus (Scopoli, 1763)	**Xilosaprofaga**
	Gonodera luperus (Herbst, 1783)	**Fitofago**
	Isomira prope *marcida* (Kiesenwetter, 1863)	**Fitofago**
	Mycetochara linearis (Illiger, 1794)	**Micetofago**
Oedemeridae	*Oedemera femoralis* Olivier, 1803	**Rizofago**
Pyrochoridae	*Pyrochroa serraticornis* (Scopoli, 1763)	**Predatore**
Salpingidae	*Salpingus planirostris* (Fabricius, 1787)	**Predatore**
	Vincenzellus ruficollis (Panzer, 1794)	**Predatore**
Scraptiidae	*Anaspis* (N.) *rufilabris* (Gyllenhal, 1827)	**Rizofago**
	Anasips thoracica (Linnaeus,1758)	**Predatore**

Cerambycidae	*Alosterna tabacicolor* (De Geer, 1775)	**Xilofago**
	Anaglyptus mysticus (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
	Anastrangalia dubia dubia (Scopoli, 1763)	**Xilofago**
	Callidium aeneum (De Geer, 1775)	**Xilofago**
	Grammoptera ruficornis (Fabricius, 1781)	**Xilofago**
	Leiopus nebulosus (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
	Molorchus minor (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
	Pogonocherus hispidulus (Piller & Mitterpacher, 1783)	**Xilofago**
	Pseudovadonia livida (Fabricius, 1776)	**Micetofago**
	Rutpela maculata (Poda, 1761)	**Xilofago**
	Saphanus piceus (Laicharting, 1784)	**Xilofago**
	Stenurella melanura (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
	Stenurella sennii Sama, 2002	**Xilofago**
	Tetrops praestus (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
Chrysomelidae	*Crepidodera aurata* Marsham, 1802	**Rizofago**
	Cryptocephalus pusillus Fabricius, 1777	**Polifago**
	Galeruca tanaceti (Linnaeus, 1758)	**Fitofago**
Anthiribidae	*Phaenotherion fasciculatus* Reitter, 1891	**Xilofago**
Apionidae	*Protapion trifolii* (Linnaeus, 1768)	**Fitofago**
Curculionidae	*Acalles parvulus* (Boheman, 1837)	**Saproxilico**
	Anthonomus rubi (Herbst, 1795)	**Fitofago**
	Anthribus fasciatus (Forster, 1771)	**Predatore**
	Dodecastichus consentaneus (Boheman, 1843)	**Polifago**
	Echinodera capiomonti (H. Brisout, 1864)	**Saproxilico**
	Echinodera hypocrita (Boheman, 1837)	**Saproxilico**
	Holotrichapion pisi (Fabricius, 1801)	**Polifago**
	Kyklioacalles fausti (Meyer, 1896)	**Polifago**
	Lixus iridis (Olivier, 1807)	**Fitofago**

	Metacinops rhinomacer (Kraatz, 1862)	**Xilofago**
	Otiorhynchus armadillo (Rossi, 1792)	**Polifago**
	Phyllobius argentatus (Linnaeus, 1758)	**Polifago**
	Phyllobius emeryi (Desbrochers des Loges, 1873)	**Polifago**
	Phyllobius longipilis (Boheman, 1843)	**Polifago**
	Phyllobius oblongus (Linnaeus, 1758)	**Polifago**
	Phyllobius romanus (Faust, 1890)	**Polifago**
	Polydrusus cervinus (Linnaeus, 1758)	**Polifago**
	Polydrusus formosus (Mayer, 1779)	**Fitofago**
	Polydrusus transalpinus (K. Daniel & J. Daniel, 1906)	**Polifago**
	Pissodes piceae (Illiger, 1807)	**Xilofago**
	Rhynchaenus fagi (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
	Rhyncolus ater (Linnaeus, 1758)	**Xilofago**
	Rhyncholus elongatus (Gyllenhal. 1827)	**Xilofago**
	Smicronyx jungermanniae (Reich, 1797)	**Fitofago**
	Zacladus geranii (Paykull, 1800)	**Fitofago**
Scolytidae	*Cryphalus piceae* (Ratzeburg, 1837)	**Corticicolo**
	Ernoporus fagi (Fabricius, 1798)	**Corticicolo**
	Hylastes attenuatus (Erichson, 1836)	**Corticicolo**
	Hylastinus obscurus (Marsham, 1803)	**Polifago**
	Scolytus rugulosus (Mueller, 1818)	**Corticicolo**

3.2 ANALISI DEI DATI ENTOMOLOGICI E FORESTALI

3.2.1 Analisi entomologica

Nel corso dei due anni di indagine sono stati raccolti 468 esemplari nel 2012, suddivisi in 66 specie e 26 famiglie, e 4080 individui, comprendenti 122 *taxa* e 36 famiglie, nell'anno successivo 2013. Gli esemplari sono stati identificati a livello specifico per oltre il 90%, per pochi casi di difficile determinazione si è arrivati al genere. Il numero di entità totali rinvenute nel corso delle due stagioni di campionamento risulta di 5138 esemplari, appartenenti a 122 specie e 36 famiglie.

Gli Elateridae contano il maggior numero di individui (60%), seguiti da Tenebrionidae (7,1%), Curculionidae (5,4%), Scolytidae (2,6%), Melyridae (2%) e Cerambycidae (1,8%) a cui seguono le restanti 30 famiglie (21,1%) (Fig. 15). Tra queste ultime, vi sono gruppi saproxilici presenti con varie specie, risultate numericamente scarse come ad esempio Buprestidae, Anobiidae, Mycetophagidae, Trixagidae, ecc.

Dall'analisi della curva di accumulazione riferita all'anno 2013, si nota che lo sforzo campionario raggiunge il "plateau" nella posizione 39. Ciò indica che nel contesto forestale oggetto di studio sarebbero state sufficienti, per la misurazione della ricchezza entomologica individuale e specifica, meno di 40 trappole (Fig. 16).

La figura 17 mostra il numero di individui e specie rinvenute nel corso dei campionamenti effettuati dal 6-7 luglio al 3-4 ottobre 2012. Dal grafico si nota che gli insetti (esemplari e *taxa*) nel primo campionamento risultano numericamente predominanti rispetto alle successive raccolte. L'aumento del numero di coleotteri nell'ultimo monitoraggio è riconducibile allo svuotamento degli eclettori.

Il numero di esemplari e specie finiti nei sistemi di monitoraggio nel corso del secondo anno di campionamento (dal 23-24 maggio al 24-25 settembre 2013), indicato in figura 18, segue un andamento simile ma non uguale a quello osservato nel precedente grafico. Si riscontra un aumento

progressivo del numero di esemplari fino al primo monitoraggio di agosto che diminuisce nelle due raccolte successive. Per quanto riguarda le specie la maggiore presenza si riscontra nel primo campionamento, il numero minimo di *taxa* si osserva nel quarto monitoraggio con 20 individui. Anche in questo caso il successivo aumento del numero di coleotteri, nell'ultimo controllo, è riconducibile allo svuotamento degli eclettori.

Nel corso dei due anni di monitoraggio sono stati installati, nelle relative aree di campionamento, 167 eclettori così suddivisi: 24 per la classe 1; 68 per la classe 2 e 75 per la classe 3 (Fig. 19). Gli esemplari di coleotteri adulti rinvenuti negli eclettori, per le tre classi di decomposizione considerate (C1, C2, C3), rappresentano solo una piccola frazione rispetto a quelli catturati dalle trappole a finestra, per un totale di 165 esemplari nei due anni, distribuiti come segue: 6 individui per la prima classe; 83 per la seconda classe e 76 per la terza classe (Fig. 20).

3.2.2 Analisi forestale: massa viva, necromassa, microhabitat

Dalle analisi è emerso che il volume della biomassa viva e del legno morto di Abeti Soprani presentano un'elevata variabilità tra i siti di campionamento, con valori medi rispettivamente di 451.5 ± 154.8 e 40.6 ± 55.6 m^3/ha. Tale aspetto evidenzia come l'assenza di gestione forestale da alcuni decenni abbia favorito una netta diversificazione strutturale, con creazione di gap e incrementi considerevoli di legno morto indotti da disturbi naturali e competizione intraspecifica, di solito non osservabili in popolamenti ordinariamente gestiti (Fig. 21).

In particolare, la ripartizione delle diverse componenti del legno morto e dei relativi stadi di decadimento (Fig. 22) evidenzia una prevalenza di alberi troncati in piedi connessa sia ad elevata mortalità nello strato dominato (alberi troncati in piedi di piccole dimensioni) sia alla frequenza di eventi di collasso delle chiome indotti da vento e neve (alberi troncati in piedi di grandi dimensioni). Inoltre, si riscontrano discreti quantitativi di frammenti legnosi grossolani al suolo e ceppaie, principalmente di origine naturale. Emerge

anche un'elevata variabilità degli stadi decompositivi, con prevalenza della classe 2 ed esiguità delle categorie più decomposte, probabilmente perché gli interventi selvicolturali e i relativi prelievi sono cessati solo da pochi decenni (Lombardi *et al.*, 2008).

L'eterogeneità osservata è confermata anche da una notevole abbondanza di microhabitat, distribuiti in maniera disomogenea tra i differenti plot, con una media di circa 160±57 ad ettaro. Inoltre, è stata anche riscontrata una buona diversificazione tra essi, probabilmente indotta dall'eterogeneità strutturale del popolamento e dalla presenza di diverse tipologie di legno morto in piedi e a terra (Figg. 23-24-25).

3.3 ANALISI DELLE RELAZIONI TRA COLEOTTEROFAUNA E VARIABILI FORESTALI

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'analisi di regressione delle variabili dipendenti relative ai dati entomologici, riferiti sia all'intero anno di campionamento sia ai singoli controlli: famiglie, specie, individui totali, individui saproxilici, Staphylinidae, Elateridae, Cerambycidae e Curculionidae. Per altri gruppi saproxilici, pur presenti nel materiale rinvenuto (come Buprestidae, Anobiidae, Mycetophagidae, Trixagidae, ecc.), non è stato possibile effettuare le analisi a causa del ridotto numero di campioni.

Le variabili indipendenti, per ciascuna analisi, sono state: massa viva (volumi e numero di alberi\ettaro), alberi troncati in piedi (volumi e numero di alberi\ettaro), alberi morti a terra (volumi e numero di alberi\ettaro), ceppaie (volumi e numero\ettaro), microhabitat totali\ettaro, microhabitat su legno vivo\ettaro, microhabitat su legno morto\ettaro, copertura arborea (espressa in %). Per un quadro riassuntivo delle variabili indipendenti risultate significative in ciascuna delle analisi di regressioni, si osservino le tabelle 2-3-4-5-6-7-8.

Famiglie. Nel 2012 sono risultati significativi gli alberi troncati in piedi (volume\ettaro) nel secondo controllo, gli alberi morti a terra (numero di

alberi/ettaro) nel terzo campionamento. Nel 2013 sono stati selezionati i microhabitat su legno morto/ettaro per il primo controllo, la massa viva (volume\ettaro), le ceppaie (numero\ettaro), gli alberi troncati in piedi (volume\ettaro) e i microhabitat su legno morto/ettaro per il secondo campionamento, nel terzo e quarto è risultata significativa la massa viva (volume\ettaro), i microhabitat su legno morto/ettaro nel quinto.

Specie. Nel 2012 sono risultati significativi solo gli alberi morti a terra (numero di alberi/ettaro) durante il terzo controllo. Nel 2013 sono risultati significativi i microhabitat su legno morto/ettaro per il primo controllo, la massa viva (volume\ettaro) nel secondo campionamento, gli alberi morti a terra (volume\ettaro) nel terzo, la massa viva (volume\ettaro) nel quarto, i microhabitat totali/ettaro e i microhabitat su legno morto/ettaro nel quinto.

Individui totali. Nel 2012 sono stati significativi gli alberi troncati in piedi (volume\ettaro) nel secondo controllo, gli alberi morti a terra (numero di alberi/ettaro) nel terzo. Nel 2013 è significativa la coordinata y per il dato annuale, entrambe le coordinate per il secondo controllo, la sola coordinata y nella terza cattura, i microhabitat su legno morto/ettaro nella quinta.

Individui saproxilici. Nel 2012 non risulta significativo nessun parametro forestale rilevato. Nel 2013 sono risultati significativi la coordinata y per il dato annuale, le coordinate x e y nel secondo controllo, la coordinata y nel terzo, gli alberi troncati in piedi (volume\ettaro), gli alberi morti a terra (numero di alberi/ettaro) e i microhabitat su legno morto/ettaro nel quinto campionamento.

Staphylinidae. Nel 2012 sono risultati significativi solo per il secondo controllo gli alberi troncati in piedi (volume\ettaro), gli alberi morti a terra (volume e numero alberi/ettaro) e tutte le tipologie di microhabitat. Nel quarto campionamento era significativa la copertura arborea (espressa in %). Nel 2013 sono state selezionate la coordinata x e la massa viva (volume\ettaro) nel primo controllo e i microhabitat su legno vivo/ettaro nel secondo.

Elateridae. Nel 2012 le uniche variabili significative erano la coordinata y e gli alberi morti a terra (volume\ettaro) per il dato annuale. Nel

2013 sono risultate significative le coordinate x, y per il dato complessivo e per il secondo controllo, la coordinata y, alberi troncati in piedi (volume e numero/ettaro) e gli alberi morti a terra (numero di alberi/ettaro) per il terzo e quinto campionamento.

Cerambycidae. Nel 2012 risultano significativi gli alberi troncati in piedi (numero di alberi/ettaro), i microhabitat totali/ettaro e i microhabitat su legno morto/ettaro per il dato annuale, gli alberi troncati in piedi (numero di alberi/ettaro) e tutte le tipologie di microhabitat nel primo controllo. Nel 2013 erano significativi gli alberi morti a terra (volume\ettaro) durante il primo controllo.

Curculionidae. Nel 2012 la variabile significativa è stata la copertura arborea (espressa in %). Nel 2013 la massa viva (volume\ettaro) nel quarto controllo e le ceppaie (numero/ettaro) nel quinto.

3.4 ANALISI GEOSTATISTICA DEI DATI

3.4.1 Variabili forestali

In tabella 9 e nelle figure da 26 a 49 si riportano i risultati dell'analisi geostatistica effettuata per le seguenti variabili forestali: massa viva (volumi e numero alberi\ettaro), alberi troncati in piedi (volumi e numero alberi\ettaro), alberi morti a terra (volumi e numero alberi\ettaro), ceppaie (volumi e numero\ettaro), microhabitat totali/ettaro, microhabitat su legno vivo/ettaro, microhabitat su legno morto/ettaro, copertura arborea in %.

Considerando le singole variabili rilevate, i risultati sono stati i seguenti:

Massa viva (numero alberi\ettaro). Il variogramma indica una distribuzione random. Osservando la mappa si nota un hot spot principale collocato nel settore centrale dell'area studio.

Massa viva (volume\ettaro). La distribuzione si presenta di tipo aggregato. Nella mappa si notano due principali hot spot posizionati nel settore sud e nord-ovest.

Alberi troncati in piedi (numero alberi\ettaro). Dal variogramma si evince una distribuzione random e nella relativa mappa si notano vari hot spot distribuiti in modo piuttosto omogeneo su tutta l'area, ma totalmente assenti al centro.

Alberi troncati in piedi (volume\ettaro). Il variogramma indica una distribuzione aggregata. Osservando la mappa si notano vari hot spot distribuiti nei settori di sud-est e nord.

Alberi morti a terra (numero alberi\ettaro). In questo caso la distribuzione è risultata aggregata e dall'osservazione della mappa si notano tre principali hot spot posizionati nel settore sud, centro e nord-ovest.

Alberi morti a terra (volume\ettaro). La distribuzione è di tipo casuale. Osservando la mappa si nota un solo hot spot posizionato nel settore di sud-est.

Ceppaie (numero\ettaro). Il variogramma indica una distribuzione random. Nella mappa si notano tre principali hot spot posizionati nel settore di sud-ovest e centro.

Ceppaie (volume\ettaro). Dall'analisi del variogramma si evidenzia una distribuzione di tipo aggregata. Si notano vari hot spot distribuiti in modo piuttosto omogeneo su tutta la mappa.

Microhabitat totali\ettaro. Il variogramma indica una distribuzione aggregata. Osservando la mappa si notano tre principali hot spot posizionati nel settore sud, sud-ovest e nord-ovest.

Microhabitat su legno vivo\ettaro. In questo caso la distribuzione è di tipo random. Sono visibili due hot spot principali posizionati nel settore di sud-ovest e nord-ovest.

Microhabitat su legno morto\ettaro. Dall'analisi del variogramma si evince una distribuzione aggregata. Osservando la mappa si notano vari hot spot distribuiti in modo piuttosto omogeneo sulla superficie.

Copertura arborea (espressa in %). Il variogramma indica una distribuzione aggregata. Osservando la mappa si notano vari hot spot distribuiti in modo piuttosto omogeneo su tutta la mappa.

È interessante notare come i risultati dell'analisi del variogramma risultano differenti quando si considerano, per la stessa variabile, due differenti tipologie di rappresentazione. In particolare, le variabili espresse come *numero/ettaro* più spesso evidenziano distribuzioni di tipo random rispetto alle stesse variabili espresse come *volume\ha*. Tale risultato si riflette anche nelle mappe che, benchè presentino delle analogie, risultano in parte differenti per la stessa variabile.

Per quanto riguarda i microhabitat, la distribuzione del numero totale/ettaro riflette maggiormente la componente del legno morto, mentre si evidenziano analogie tra i microhabitat su legno vivo e la copertura forestale.

3.4.2 Entomofauna: elaborazione per l'anno 2012

In tabella 10 e nelle figure da 50 a 67 si riportano i risultati dell'analisi geostatistica effettuata per i dati relativi al numero di famiglie, di specie, specie saproxiliche, individui totali relativi a tutto il campionamento del 2012. In base all'analisi dei variogrammi, la distribuzione spaziale nell'area studio è risultata sempre aggregata, tranne che nel caso degli individui saproxilici. Le mappe presentano varie aree di aggregazione distribuite lungo una direttrice sud-est e nord-ovest. Nel caso del numero di individui, si osserva come gli hot spot ad altitudini inferiori (settore sud) siano poco evidenti.

Considerando le principali famiglie campionate, i risultati ottenuti sono stati i seguenti:

Staphylinidae. Il variogramma indica una distribuzione aggregata e la mappa evidenzia un hot spot posizionato nel settore di nord-ovest.

Elateridae. Dal variogramma la distribuzione è risultata random e dall'analisi della mappa si notano vari hot spot distribuiti principalmente nel settore sud-ovest.

Cerambycidae. Per tale famiglia la distribuzione è aggregata. Vari hot spot sono posizionati nel settore di nord-ovest e sud-est della mappa.

Curculionidae. Dall'analisi del variogramma si evince una distribuzione aggregata. Osservando la mappa, si notano due hot spot principali posizionati nel settore di sud-est.

3.4.4 Entomofauna: elaborazione per l'anno 2013

In tabella 10 e nelle figure da 68 a 85 si riportano i risultati dell'analisi geostatistica effettuata per i dati relativi al numero di famiglie, di specie, specie saproxiliche, individui totali e individui saproxilici, relativi al campionamento del 2013.

In base all'analisi dei variogrammi, la distribuzione spaziale nell'area studio è risultata sempre aggregata, tranne che nel caso degli individui totali. Le mappe di famiglie e delle specie risultano simili tra loro, con vari hot spot distribuiti soprattutto nel settore ovest dell'area studio. La mappa delle specie saproxiliche mostra similitudini con le precedenti, gli hot spot sono distribuiti in modo più uniforme su tutta l'area studio. Nel caso degli individui totali e degli individui saproxilici, è particolarmente evidente un hot spot localizzato al centro dell'area studio.

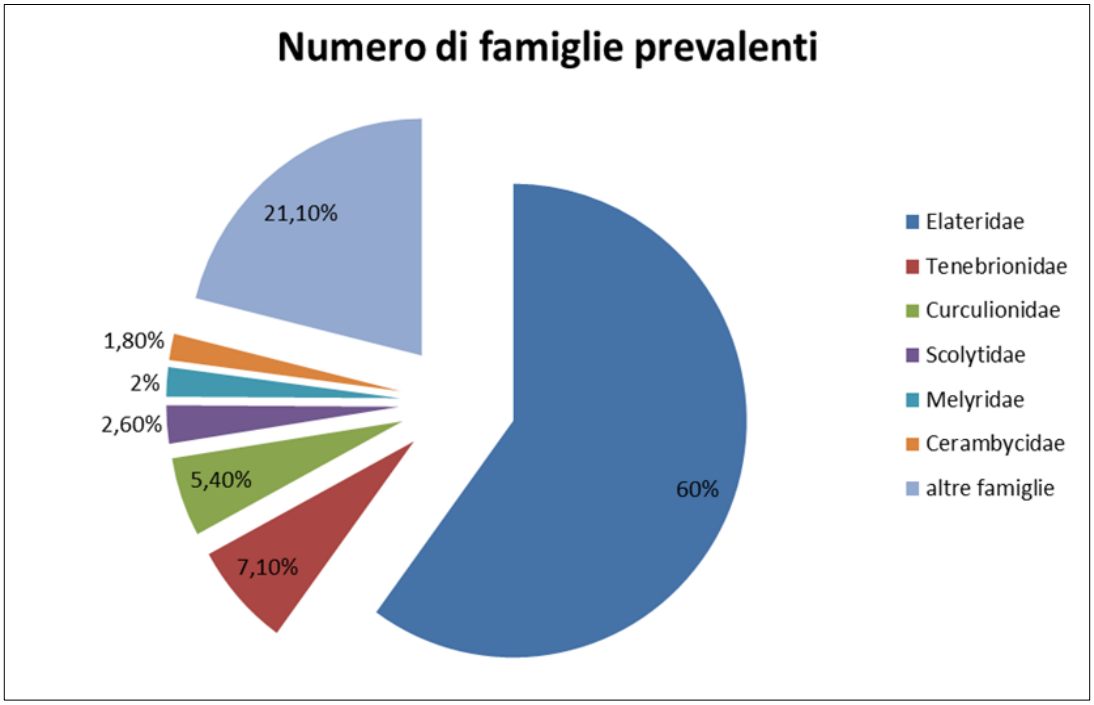
Considerando le principali famiglie campionate, i risultati sono i seguenti:

Elateridae. Il variogramma indica una distribuzione aggregata. Osservando la mappa, si nota una forte similarità con la distribuzione di individui totali e individui saproxilici, ciò a causa del fatto che dal punto di vista numerico si tratta della famiglia più abbondante.

Cerambycidae. Per questa famiglia la distribuzione è risultata di tipo random. Un hot spot si osserva nel settore centrale, nell'area studio le catture sono state contenute.

Curculionidae. La distribuzione di tale gruppo si presenta aggregata. Quattro hot spot sono situati in differenti settori dell'area studio.

Staphylinidae. Il variogramma indica una distribuzione aggregata. Due principali hot spot posizionati nel settore di sud-est e nord-ovest dell'area studio.



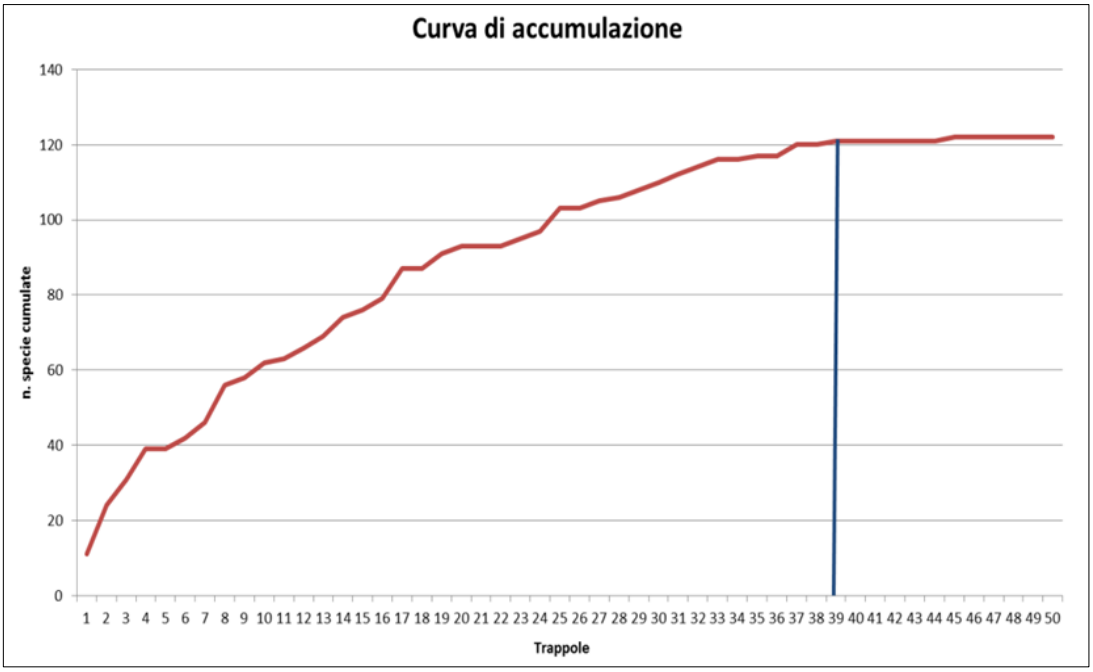
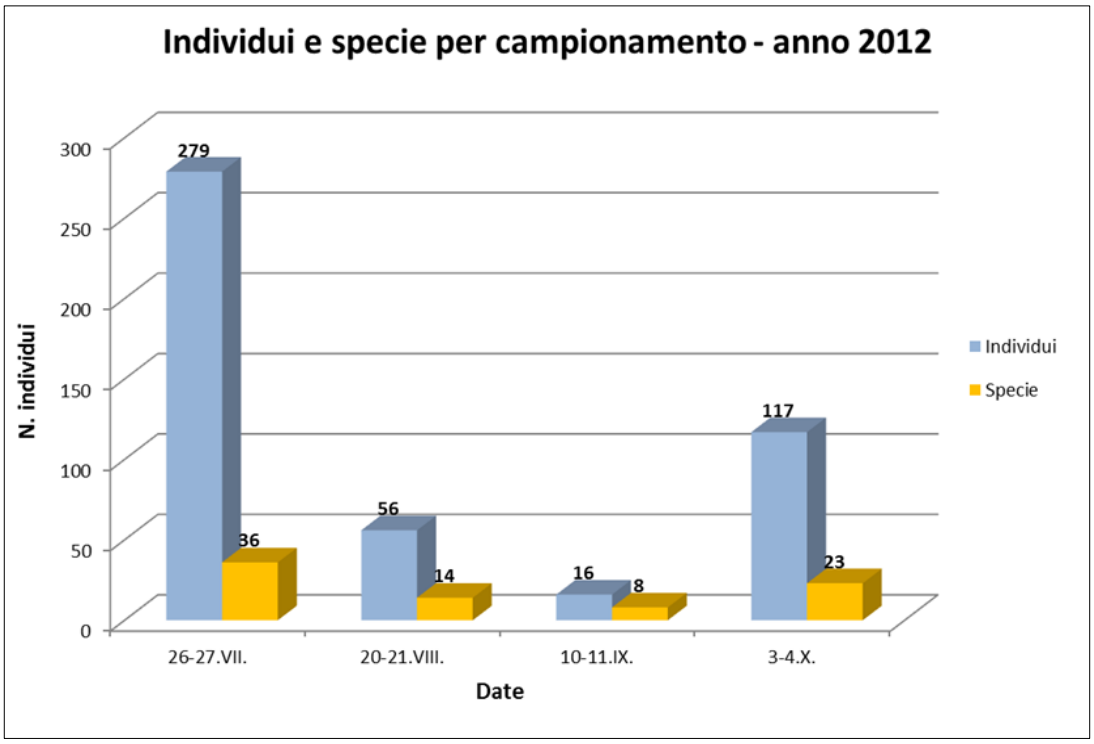


Figure 15-16 – Numero di famiglie prevalenti rinvenute nel corso dei due anni di monitoraggio (2012-2013), curva di accumulazione riferita al campionamento 2013.



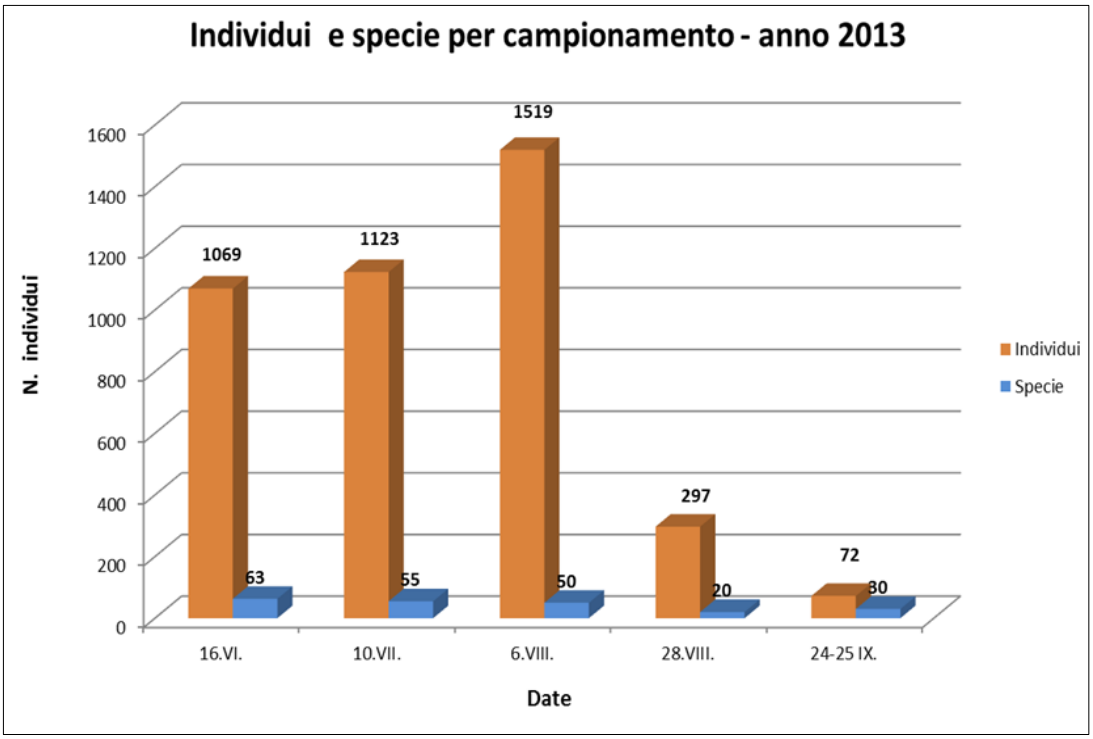
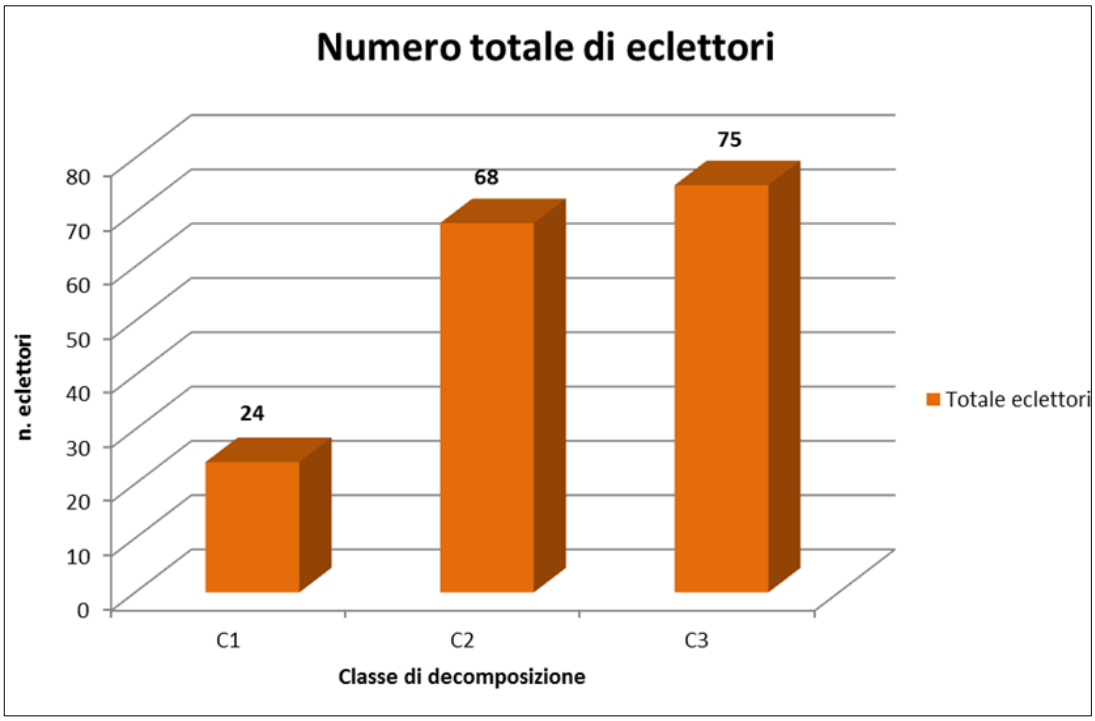


Figure 17-18 – Numero di individui e specie campionate nel 2012 e nel 2013.



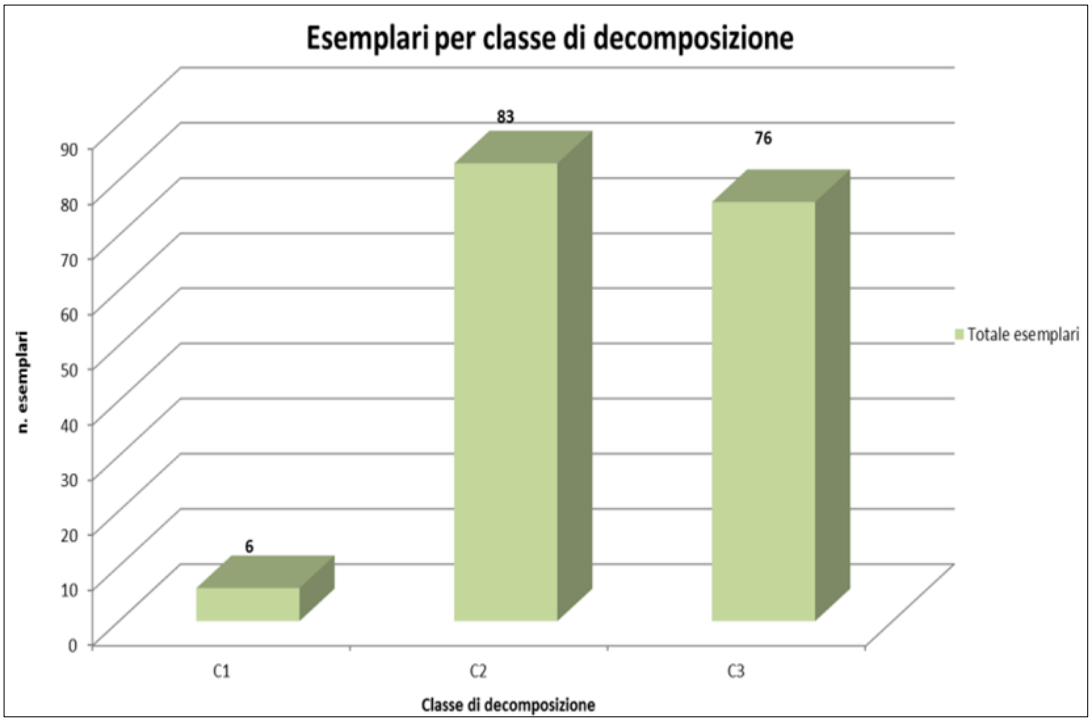
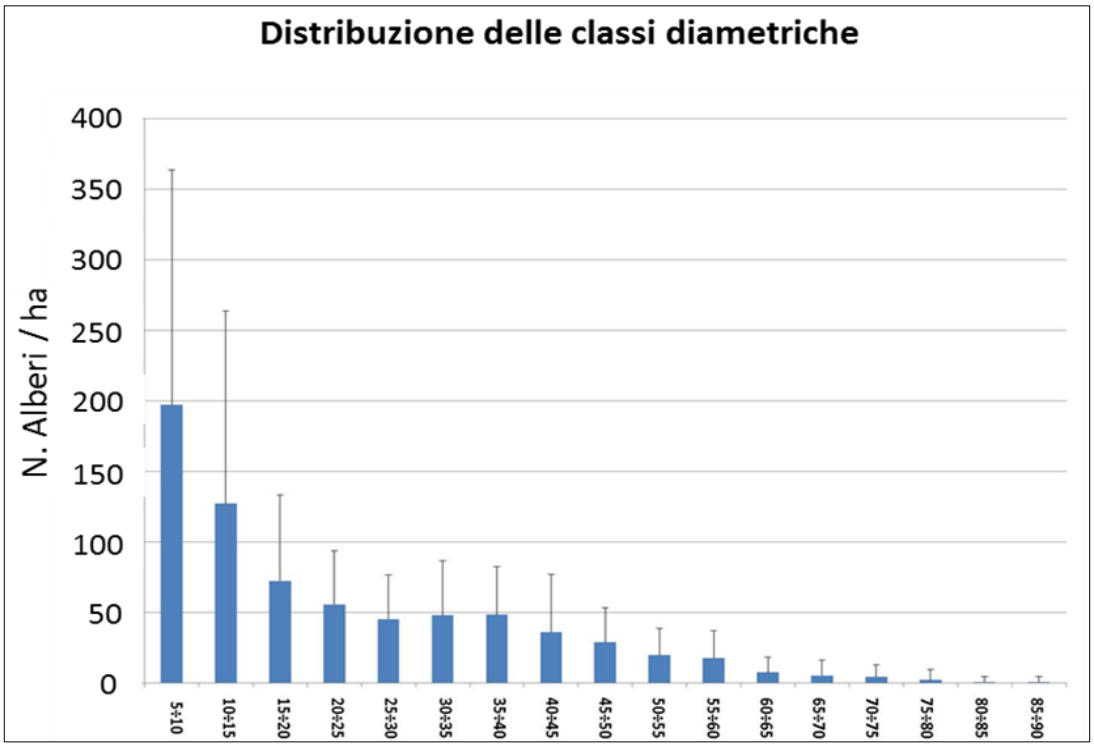


Figure 19-20 – Numero totale di eclettori posizionati nei due anni di studio, numero di esemplari rinvenuti negli eclettori suddivisi per tre classi di decomposizione.



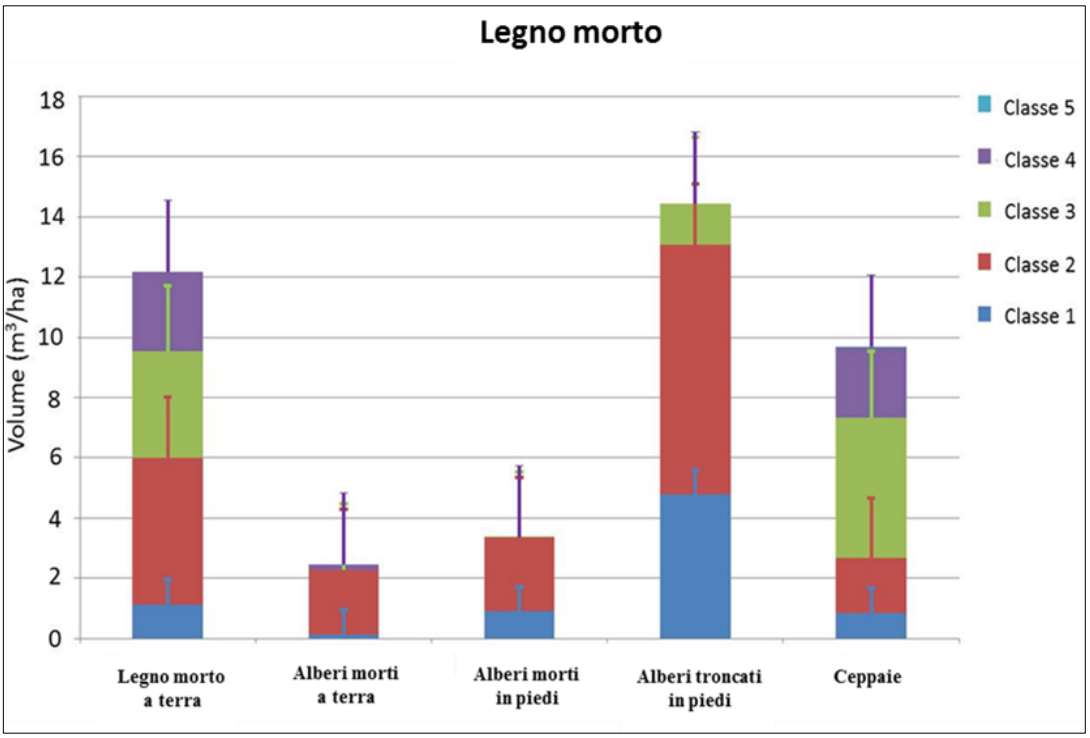
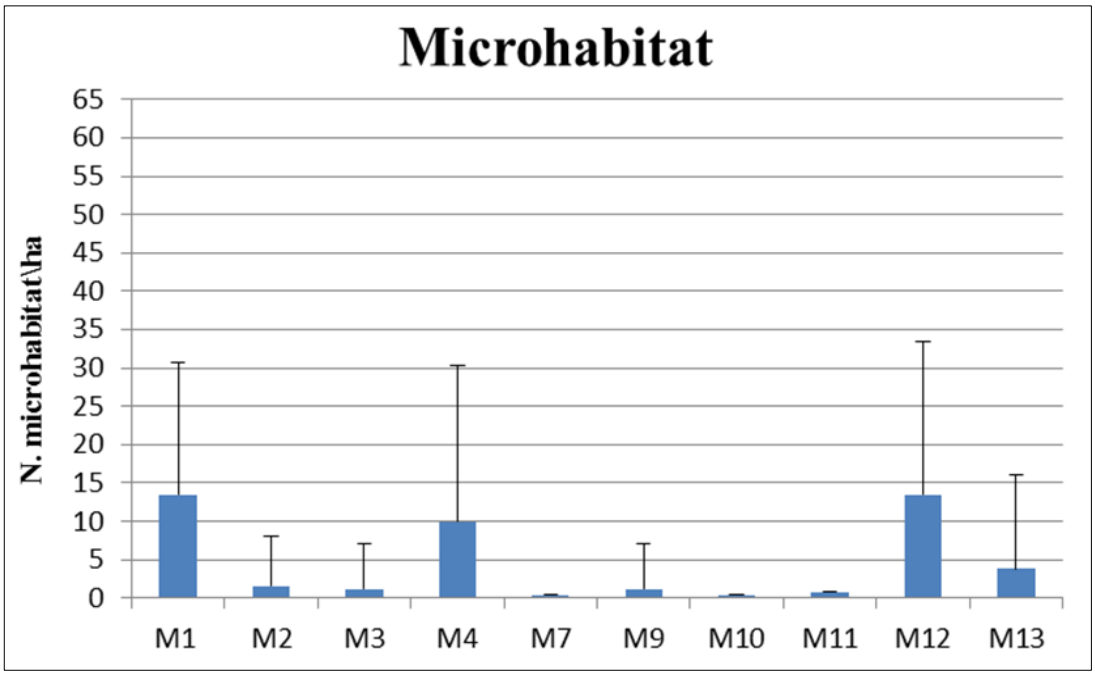


Figure 21-22 – Distribuzione delle classi diametriche nel contesto forestale indagato, volumi di legno morto suddiviso per classi di decomposizione e per tipologia.

	Microhabitat/ha																			
PLOT N.	M1	M2	M3	M4	M7	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
1				19														57		
2		19	19	19					19					38				75	38	
3				19		19							19					57	38	38
4				75			19												38	19
5													75					38		
6	38			75		38			38				57					75		
7													19					57	75	
8									38							57			38	38
9	38								57						19			38		
10	19			19					38				38					38	57	
11				19					38						19			57	57	
12													57						38	19
13	38															19			38	57
14	38								57							38			38	38
15									38							19			19	19
16									57											
17															19			75	57	
18	38														19			57		
19															19			75		
20	19										38						19		38	38
21	38		38					38									38	19	19	
22													38		19			57		
23													38	38				75	38	
24													19					57	38	
25	19																38		38	19
26									38							19	38	19	38	
27										38							19		57	38
28				38									57				38	57	38	38
29											19								19	57
30		38																38	19	57
31				38									57	57				75		
32				38					38				75					38	19	
33									19								38	19		
34	38								38								38		38	57
35											19								57	38
36				75									57	38				75	38	
37	38								38								38	19	38	
38	19	19								38							38	38	19	38
39	38									19									57	
40				38										38	19		19	38	75	
41	38												57					75		
42	38									38							19	38	19	
43	38								19								19			
44	38								57				75					75		
45	19			19	19										19			19	19	57
46									38			19							19	19
47																			38	57
48	38															38	19	38	38	
49	38									57								19	19	

Figura 23 – Numero di microhabitat nei plot, per ettaro e tipologia considerata.



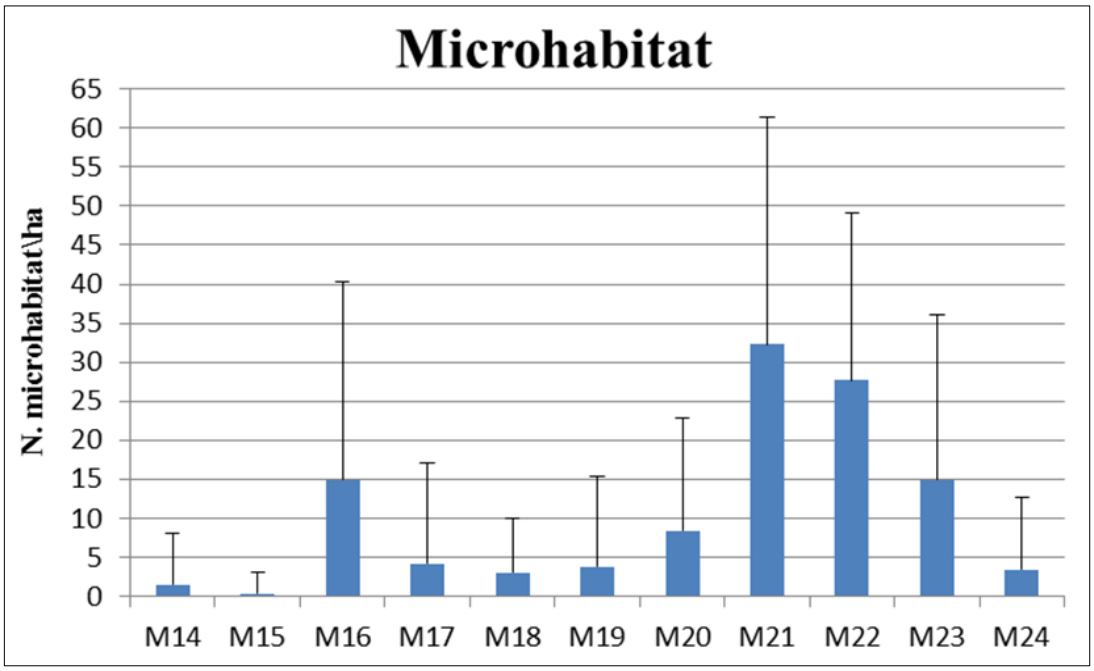


Figure 24-25 – Numero di microhabitat ad ettaro.

Tabella 2 - Analisi delle relazioni tra variabili forestali ed entomofauna (anno 2012), dato complessivo e singoli campionamenti.

Anno 2012	Famiglie	Specie	Individui totali	Individui saproxilici	Staphylinidae	Elateridae	Cerambycidae	Curculionidae
Totale	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Coordinata Y* *Alberi morti a terra (volume\ha)*	*Alberi troncati in piedi/ha* *Microhabitat totali/ha* *Microhabitat su legno morto/ha*	*Nessuna variabile*
I controllo	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Alberi troncati in piedi/ha* *Microhabitat totali/ha* *Microhabitat su legno vivo/ha* *Microhabitat su legno morto/ha*	*Massa viva (volume\ha)*
II controllo	*Alberi troncati in piedi (volume\ha)*	*Nessuna variabile*	*Alberi troncati in piedi (volume\ha)*	*Nessuna variabile*	*Alberi troncati in piedi (volume\ha)* *Alberi morti a terra/ha* *Alberi morti a terra (volume\ha)* *Microhabitat totali/ha* *Microhabitat su legno vivo/ha* *Microhabitat su legno morto/ha*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	------
III controllo	*Alberi morti a terra /ha*	*Alberi morti a terra/ha*	*Alberi morti a terra/ha*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	-----	------	------
IV controllo	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Copertura arborea (%)*	------	--------	*Nessuna variabile*

Tabella 3 - Analisi delle relazioni tra variabili forestali ed entomofauna (anno 2013), dato complessivo e singoli campionamenti.

Anno 2013	Famiglie	Specie	Individui totali	Individui saproxilici	Staphylinidae	Elateridae	Cerambycidae	Curculionidae
Totale	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Coordinata Y*	*Coordinata Y*	*Nessuna variabile*	*Coordinata X* *Coordinata Y*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*
I controllo	*Microhabitat su legno morto/ha*	*Microhabitat su legno morto/ha*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Coordinata X* *Massa viva (volume\ha)*	*Nessuna variabile*	*Alberi morti a terra (volume\ha)*	*Nessuna variabile*
II controllo	*Massa viva (volume\ha)* *Ceppaie/ha* *Alberi troncati in piedi (volume\ha)* *Microhabitat su legno morto/ha*	*Massa viva (volume\ha)*	*Coordinata X* *Coordinata Y*	*Coordinata X* *Coordinata Y*	*Microhabitat su legno vivo/ha*	*Coordinata X* *Coordinata Y*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*
III controllo	*Massa viva (volume\ha)*	*Alberi morti a terra (volume\ha)*	*Coordinata Y*	*Coordinata Y*	*Nessuna variabile*	*Coordinata Y*	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*
IV controllo	*Massa viva (volume\ha)*	*Massa viva (volume\ha)*	*Massa viva (volume\ha)*	*Nessuna variabile*	----	*Nessuna variabile*	*Nessuna variabile*	*Massa viva (volume\ha)*
V controllo	*Microhabitat su legno morto/ha*	*Microhabitat totali/ha* *Microhabitat su legno morto/ha*	*Microhabitat su legno morto/ha*	*Alberi troncati in piedi (volume\ha)* *Alberi morti a terra/ha* *Microhabitat su legno morto/ha*	*Nessuna variabile*	*Alberi troncati in piedi/ha* *Alberi troncati in piedi (volume\ha)* *Alberi morti a terra/ha*	*Nessuna variabile*	*Ceppaie (volume\ha)*

Tabella 4 – Risultati delle analisi di regressione riferite all'intero anno e ai singoli controlli, realizzati nel 2012. Si riportano le analisi che hanno selezionato almeno una variabile forestale significativa.

Totale	**AICcc**	**n**	**r²**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Individui totali	166.268	50	0.313	0.316	*Coordinata Y*	0.015	0.007	2.208	0.034
Individui saproxilici	600.307	50	0.316	0.268	*Coordinata Y*	0.14	0.033	3.181	0.003
Elateridae	602.725	50	0.309	0.296	*Coordinata X*	0.066	0.032	0.052	0.048
					Coordinata Y	0.106	0.033	3.18	0.003
I controllo	**AICcc**	**n**	**r²**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	240.645	50	0.252	0.532	*Microhabitat su legno morto/ha*	0.033	0.016	2.036	0.049
Specie	297.386	50	0.248	0.551	*Microhabitat su legno morto/ha*	0.059	0.029	2.073	0.046
Staphylinidae	503.61	50	0.29	0.368	*Coordinata X*	0.025	0.012	2.097	0.043
					Massa viva (volume\ha)	0.036	0.015	2.861	0.007
Cerambycidae	122.307	50	0.373	0.049	*Alberi morti a terra (volume\ha)*	0.031	0.009	3.544	0.001
II controllo	**AICcc**	**n**	**r²**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	220.1	50	0.464	0.006	*Massa viva (volume\ha)*	0.257	0.069	3.738	<0.001
					Ceppaie/ha	-0.01	0.006	0.006	0.031
					Alberi troncati in piedi (volume\ha)	0.027	0.012	0.012	0.032
					Microhabitat su legno morto/ha	-0.02	0.01	0.013	0.041
Specie	266.358	50	0.339	0.095	*Massa viva (volume\ha)*	0.235	0.109	2.153	0.038
Individui totali	502.879	50	0.291	0.364	*Coordinata X*	0.024	0.012	2.04	0.049
					Coordinata Y	0.035	0.012	2.845	0.007
Individui saproxilici	503.61	50	0.29	0.368	*Coordinata X*	0.025	0.012	2.097	0.043
					Coordinata Y	0.036	0.012	2.861	0.007
Staphylinidae	66.263	50	0.376	0.046	*Microhabitat su legno vivo/ha*	0.007	0.002	3.212	0.002
Elateridae	501.513	50	0.298	0.336	*Coordinata X*	0.024	0.012	2.094	0.044
					Coordinata Y	0.035	0.012	2.885	0.007

Tabella 5 – Risultati delle analisi di regressione riferite all'intero anno e ai singoli controlli, realizzati nel 2012. Si riportano le analisi che hanno selezionato almeno una variabile forestale significativa.

III controllo	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	225.872	50	0.222	0.476	*Massa viva (volume\ha)*	0.146	0.073	2.008	0.052
Specie	270.977	50	0.302	0.319	*Alberi morti a terra (volume\ha)*	0.09	0.04	2.258	0.03
Individui totali	542.601	50	0.296	0.345	*Coordinata Y*	0.053	0.018	2.883	0.007
Individui saproxilici	540.249	50	0.291	0.361	*Coordinata Y*	0.051	0.018	2.823	0.008
Elateridae	540.359	50	0.291	0.364	*Coordinata Y*	0.051	0.018	2.844	0.007
IV controllo	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	173.492	50	0.35	0.077	*Massa viva (volume\ha)*	0.162	0.043	3.751	<0.001
Specie	187.821	50	0.35	0.077	*Massa viva (volume\ha)*	0.163	0.05	3.285	0.002
Individui totali	404.371	50	0.34	0.093	*Massa viva (volume\ha)*	0.869	0.434	2.004	0.0016
Curculionidae	7.745	50	0.263	0.48	*Massa viva (volume\ha)*	0.02	0.009	2.171	0.037

Tabella 6 – Risultati delle analisi di regressione riferite all'intero anno e ai singoli controlli, realizzati nel 2013. Si riportano le analisi che hanno selezionato almeno una variabile forestale significativa.

Totale	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Individui totali	166.268	50	0.313	0.316	*Coordinata Y*	0.015	0.007	2.208	0.034
Individui saproxilici	600.307	50	0.316	0.268	*Coordinata Y*	0.14	0.033	3.181	0.003
Elateridae	602.725	50	0.309	0.296	*Coordinata X*	0.066	0.032	0.052	0.048
					Coordinata Y	0.106	0.033	3.18	0.003
I controllo	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	240.645	50	0.252	0.532	*Microhabitat su legno morto/ha*	0.033	0.016	2.036	0.049
Specie	297.386	50	0.248	0.551	*Microhabitat su legno morto/ha*	0.059	0.029	2.073	0.046
Staphylinidae	503.61	50	0.29	0.368	*Coordinata X*	0.025	0.012	2.097	0.043
					Massa viva (volume\ha)	0.036	0.015	2.861	0.007
Cerambycidae	122.307	50	0.373	0.049	*Alberi morti a terra (volume\ha)*	0.031	0.009	3.544	0.001
II controllo	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	220.1	50	0.464	0.006	*Massa viva (volume\ha)*	0.257	0.069	3.738	<0.001
					Ceppaie/ha	-0.01	0.006	0.006	0.031
					Alberi troncati in piedi (volume\ha)	0.027	0.012	0.012	0.032
					Microhabitat su legno morto/ha	-0.02	0.01	0.013	0.041
Specie	266.358	50	0.339	0.095	*Massa viva (volume\ha)*	0.235	0.109	2.153	0.038
Individui totali	502.879	50	0.291	0.364	*Coordinata X*	0.024	0.012	2.04	0.049
					Coordinata Y	0.035	0.012	2.845	0.007
Individui saproxilici	503.61	50	0.29	0.368	*Coordinata X*	0.025	0.012	2.097	0.043
					Coordinata Y	0.036	0.012	2.861	0.007
Staphylinidae	66.263	50	0.376	0.046	*Microhabitat su legno vivo/ha*	0.007	0.002	3.212	0.002
Elateridae	501.513	50	0.298	0.336	*Coordinata X*	0.024	0.012	2.094	0.044
					Coordinata Y	0.035	0.012	2.885	0.007

Tabella 7 – Risultati delle analisi di regressione riferite all'intero anno e ai singoli controlli, realizzati nel 2013. Si riportano le analisi che hanno selezionato almeno una variabile forestale significativa.

III controllo	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	225.872	50	0.222	0.476	*Massa viva (volume\ha)*	0.146	0.073	2.008	0.052
Specie	270.977	50	0.302	0.319	*Alberi morti a terra (volume\ha)*	0.09	0.04	2.258	0.03
Individui totali	542.601	50	0.296	0.345	*Coordinata Y*	0.053	0.018	2.883	0.007
Individui saproxilici	540.249	50	0.291	0.361	*Coordinata Y*	0.051	0.018	2.823	0.008
Elateridae	540.359	50	0.291	0.364	*Coordinata Y*	0.051	0.018	2.844	0.007
IV controllo	**AICcc**	**n**	**r^2**	**P**	**Variabile**	**Coefficiente**	**Errore standard**	**t**	**p**
Famiglie	173.492	50	0.35	0.077	*Massa viva (volume\ha)*	0.162	0.043	3.751	<0.001
Specie	187.821	50	0.35	0.077	*Massa viva (volume\ha)*	0.163	0.05	3.285	0.002
Individui totali	404.371	50	0.34	0.093	*Massa viva (volume\ha)*	0.869	0.434	2.004	0.0016
Curculionidae	7.745	50	0.263	0.48	*Massa viva (volume\ha)*	0.02	0.009	2.171	0.037

Tabella 8 – Risultati delle analisi di regressione riferite all'intero anno e ai singoli controlli, realizzati nel 2013. Si riportano le analisi che hanno selezionato almeno una variabile forestale significativa.

V controllo	AICcc	n	r^2	P	Variabile	Coefficiente	Errore standard	t	p
Famiglie	152.614	50	0.297	0.187	*Microhabitat su legno morto/ha*	0.02	0.007	3.012	0.004
Specie	172.549	50	0.293	0.355	*Microhabitat totali/ha*	-0.018	0.009	-2.083	0.045
					Microhabitat su legno morto/ha	0.025	0.008	3.035	0.005
Individui totali	201.456	50	0.334	0.2013	*Microhabitat su legno morto/ha*	0.032	0.011	2.92	0.006
Individui saproxilici	175.524	50	0.426	0.044	*Alberi troncati in piedi (volume\ha)*	-0.021	0.007	-2.826	0.008
					Alberi morti a terra/ha	0.037	0.013	2.786	0.009
					Microhabitat su legno morto/ha	0.019	0.008	2.27	0.029
Elateridae	169.212	50	0.409	0.061	*Alberi troncati in piedi/ha*	0.022	0.007	3.123	0.004
					Alberi troncati in piedi (volume\ha)	-0.02	0.007	-2.883	0.007
					Alberi morti a terra/ha	0.031	0.013	2.483	0.018
Curculionidae	70.971	50	0.192	0.618	*Ceppaie (volume\ha)*	0.023	0.011	-2.101	0.042

AICcc= Criterio di informazione di Akaike; n= numero di campioni; P=livello di significatività della regressione; p= livello di significatività della singola variabile.

Tabella 9 - Modello e parametri ottenuti dai variogrammi dei rilievi forestali effettuati nel bosco di Abeti Soprani.

Parametro	Modello	Variance	Sill	Range	Residual SS	r^2	Proportion
Massa viva (n. alberi)\ha	Lineare	442,0357	442,036	1532,766	161817	0,244	0
Massa viva m³\ha	Esponenziale	4,17	28,33	5001	59,3	0,726	0,853
Alberi troncati in piedi (n. alberi)\ha	Esponenziale	366	2001	12330	101348	0,689	0,817
Alberi troncati in piedi m³\ha	Lineare	571,7626	1361,4	1532,766	318623	0,557	0,58
Alberi morti a terra (n. alberi)\ha	Lineare	164,8391	164,839	1557,433	13803	0,07	0
Alberi morti a terra m³\ha	Sferico	6,9	217,3	1168	27300	0,576	0,968
Ceppaie\ha	Sferico	10	4754	433	4592197	0,698	0,998
Ceppaie m³\ha	Esponenziale	5,9	57,59	102	500	0,012	0,898
Microhabitat totali/ha	Esponenziale	1135	3263	450	1276026	0,432	0,652
Microhabitat su legno vivo/ha	Esponenziale	348	2338	189	428451	0,199	0,851
Microhabitat su legno morto/ha	Esponenziale	181	1806	264	312224	0,599	0,9
Copertura arborea (%)	Esponenziale	14,3	151	342	1708	0,625	0,905

Tabella 10 - Modello e parametri ottenuti dai variogrammi dei rilievi entomologici riferiti agli anni 2012 e 2013.

Coleotterofauna anno 2012							
Parametro	**Modello**	**Variance**	**Sill**	**Range**	**Residual SS**	**r^2**	**Proportion**
Famiglie	Sferico	0,01	4,059	311	2,86	0,654	0,998
Specie	Sferico	0,48	8,39	145	8,18	0,448	0,943
Specie saproxiliche	Sferico	0,043	2,476	339	0,431	0,863	0,983
Individui totali	Sferico	0,1	56,43	318	357	0,83	0,998
Individui saproxilici	Lineare	7,3584	7,3584	1456,8	11,9	0,499	0
Staphylinidae	Sferico	0,192	1,577	166	0,943	0,243	0,878
Elateridae	Lineare	5,9425	5,9425	1456,89	15,07	0,441	0
Cerambycidae	Sferico	0,001	0,721	314	0,0452	0,835	0,999
Curculionidae	Sferico	0,013	0,344	144	0,0299	0,037	0,962
Coleotterofauna anno 2013							
Parametro	**Modello**	**Variance**	**Sill**	**Range**	**Residual SS**	**r^2**	**Proportion**
Famiglie	Esponenziale	0,99	5,543	123	3,93	0,031	0,821
Specie	Sferico	1,65	20,49	142	29,5	0,018	0,919
Specie saproxiliche	Sferico	0,31	5,133	198	1,14	0,593	0,94
Individui totali	Lineare	6717,2973	6717,2973	1483,267	6044555	0,084	0
Individui saproxilici	Sferico	530	6138	150	7579096	0,005	0,914
Staphylinidae	Sferico	0,089	1,495	166	0,428	0,342	0,94
Elateridae	Sferico	570	6402	147	6592757	0,004	0,911
Cerambycidae	Lineare	8,9499	8,9499	1440,908	31,4	0,085	0
Curculionidae	Sferico	1,49	15,46	108	17,7	0	0,904

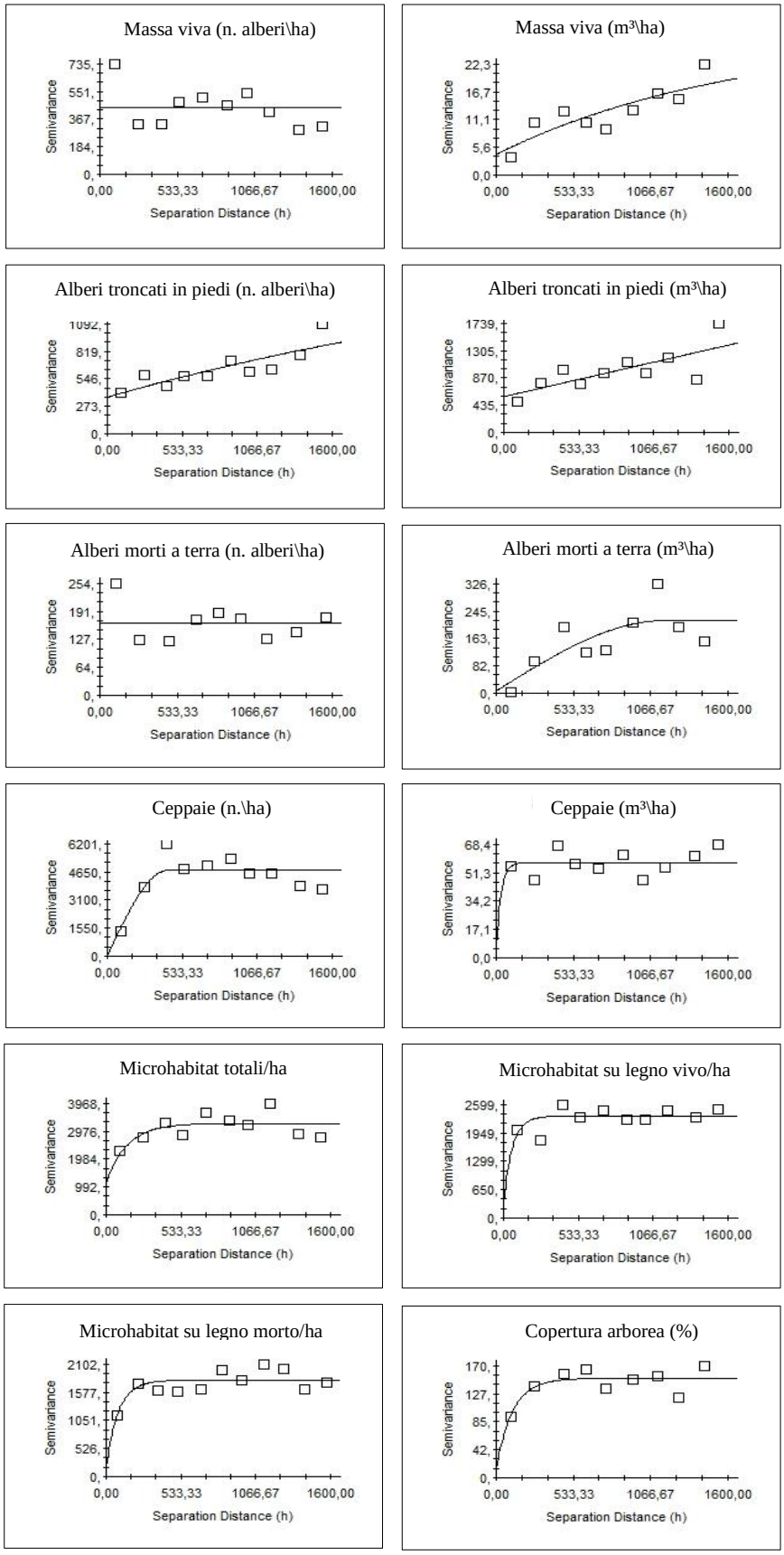


Figure 26-37 - Variogrammi dei rilievi forestali realizzati nel bosco Abeti Soprani.

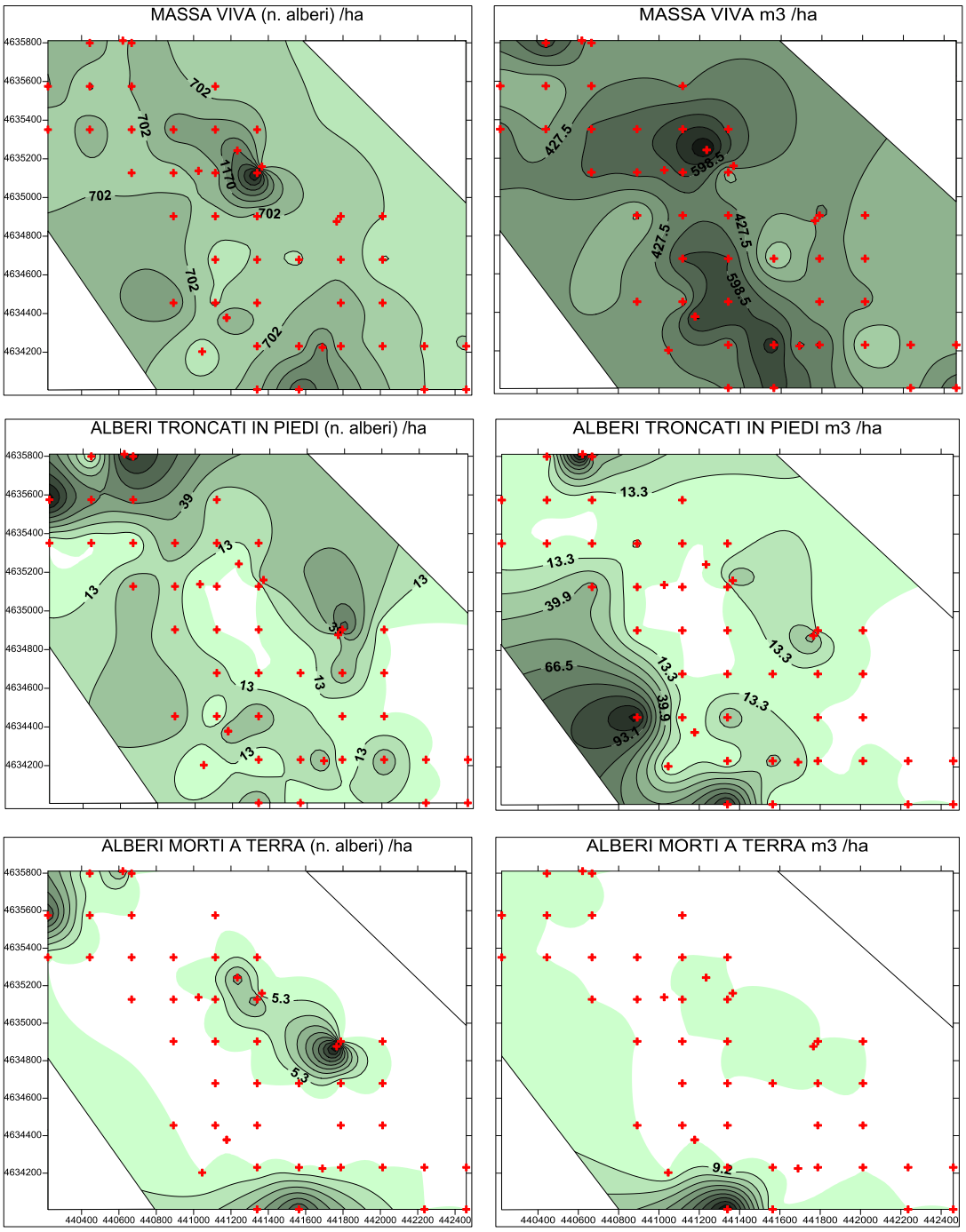


Figure 38-43 - Mappe dei rilievi forestali realizzati nel bosco Abeti Soprani.

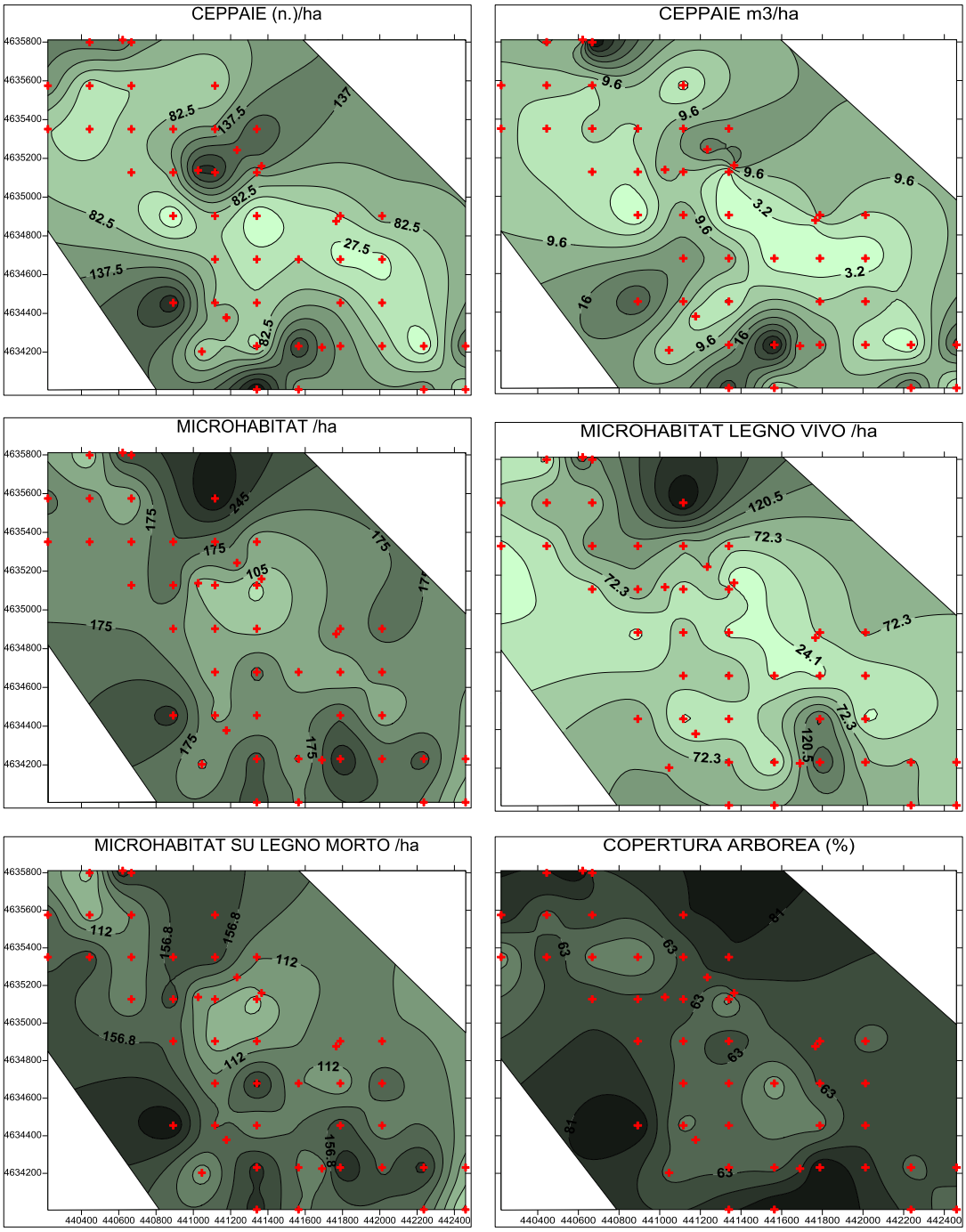


Figure 44-49 – Mappe dei rilievi forestali realizzati nel bosco Abeti Soprani.

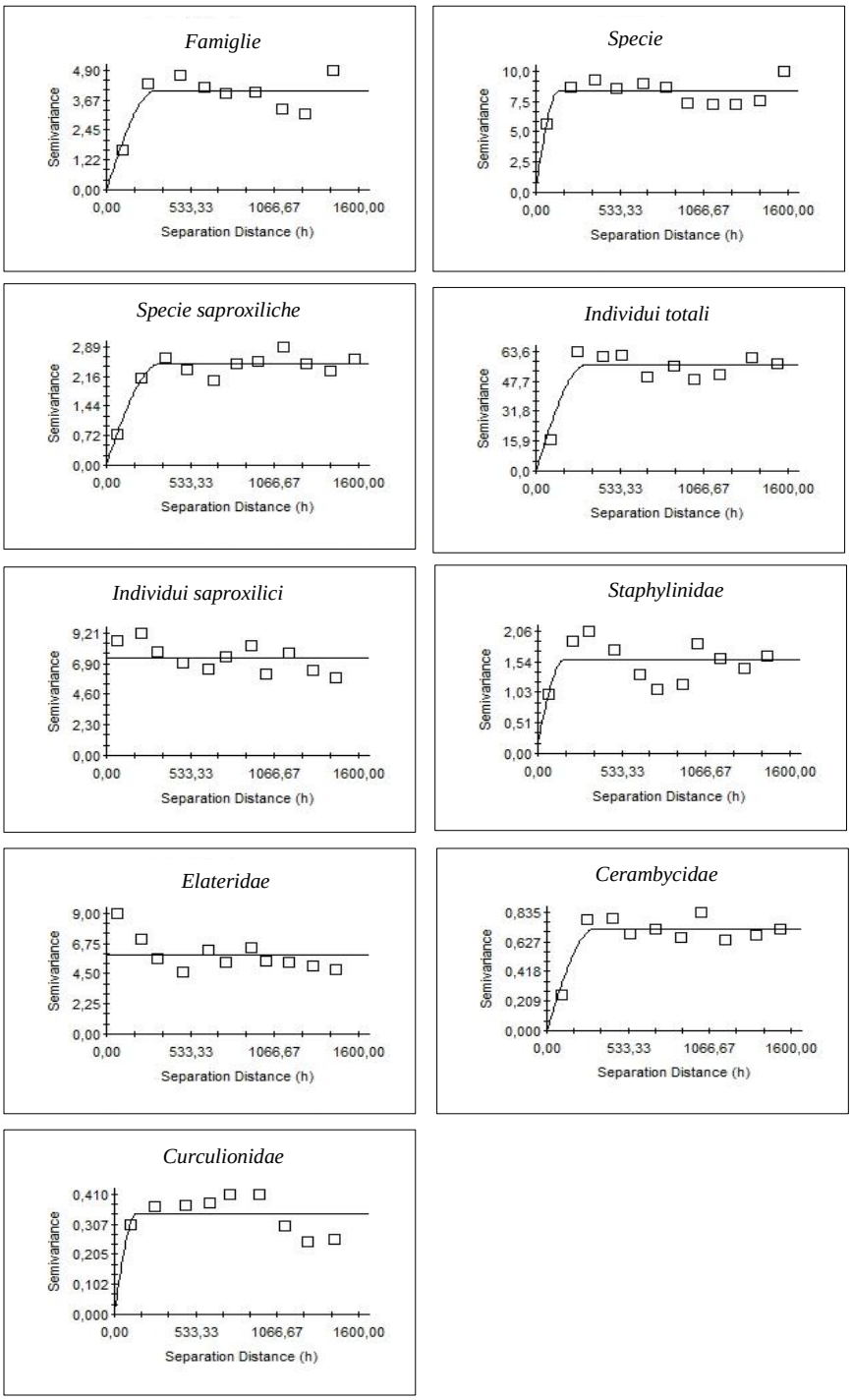


Figure 50-58 – Variogrammi dei rilievi entomologici riferiti all'intero anno di campionamento 2012.

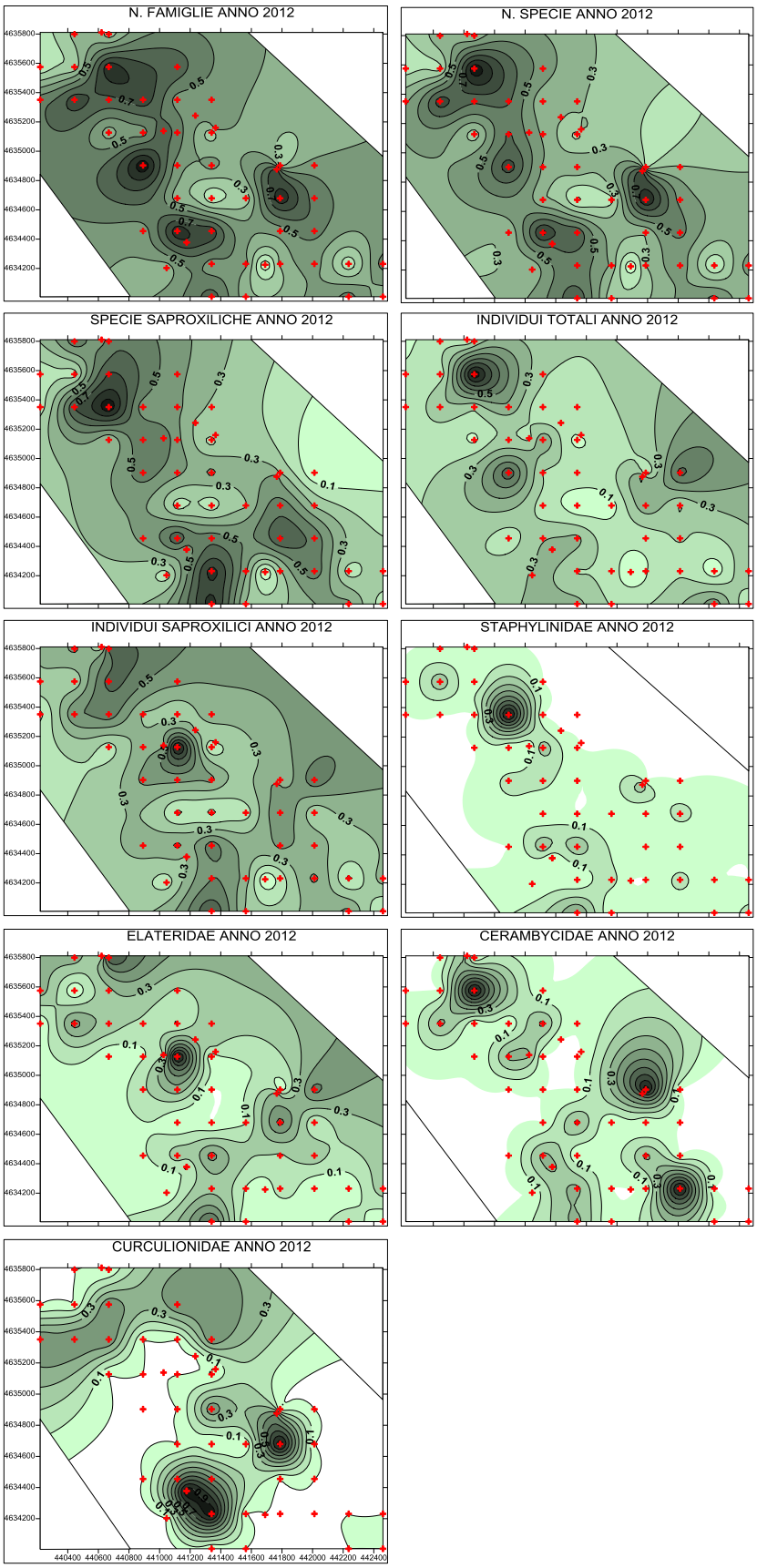


Figure 59-67 – Mappe dei rilievi entomologici riferite all'intero anno di campionamento 2012.

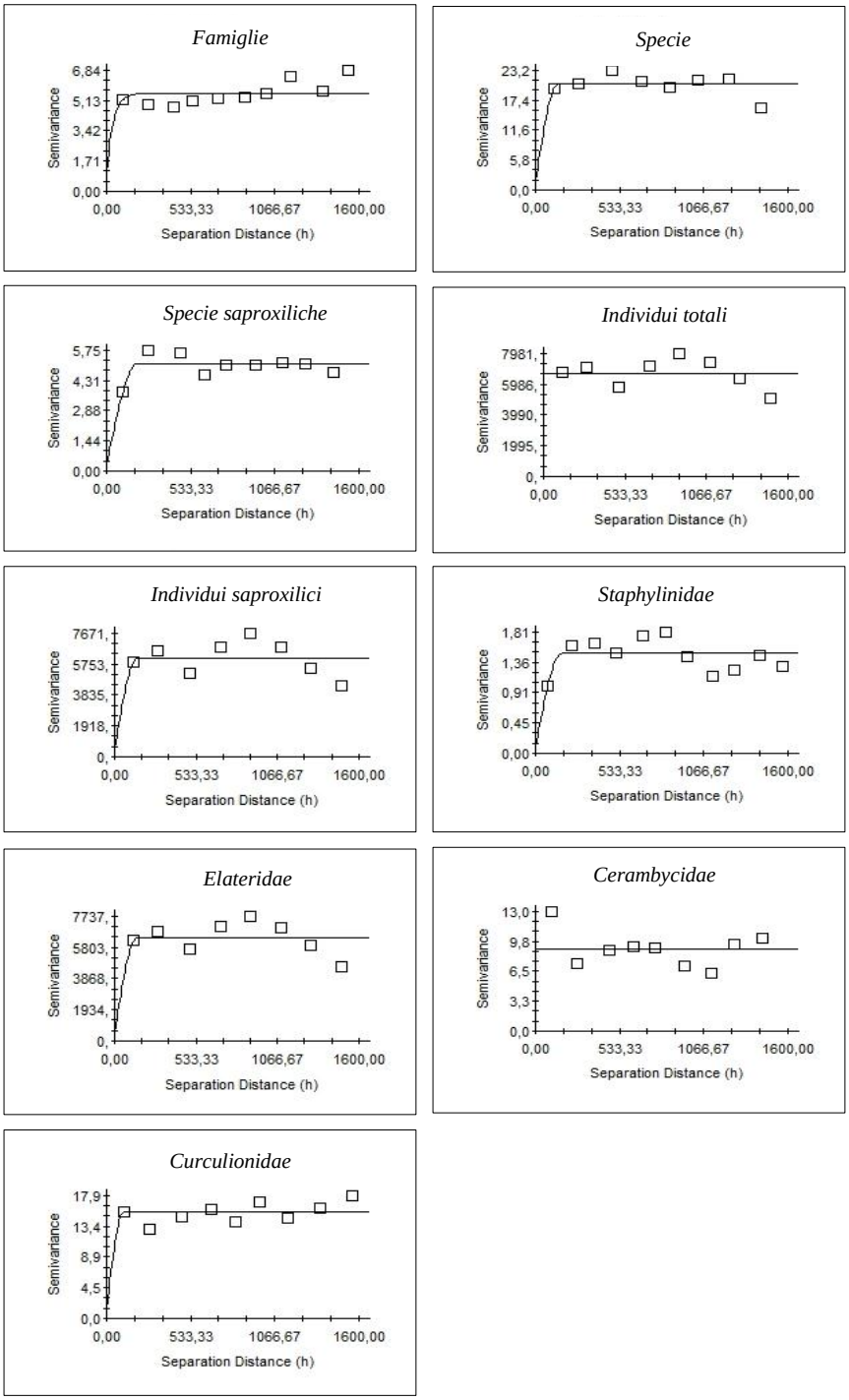


Figure 68-76 – Variogrammi dei rilievi entomologici riferiti all'anno 2013.

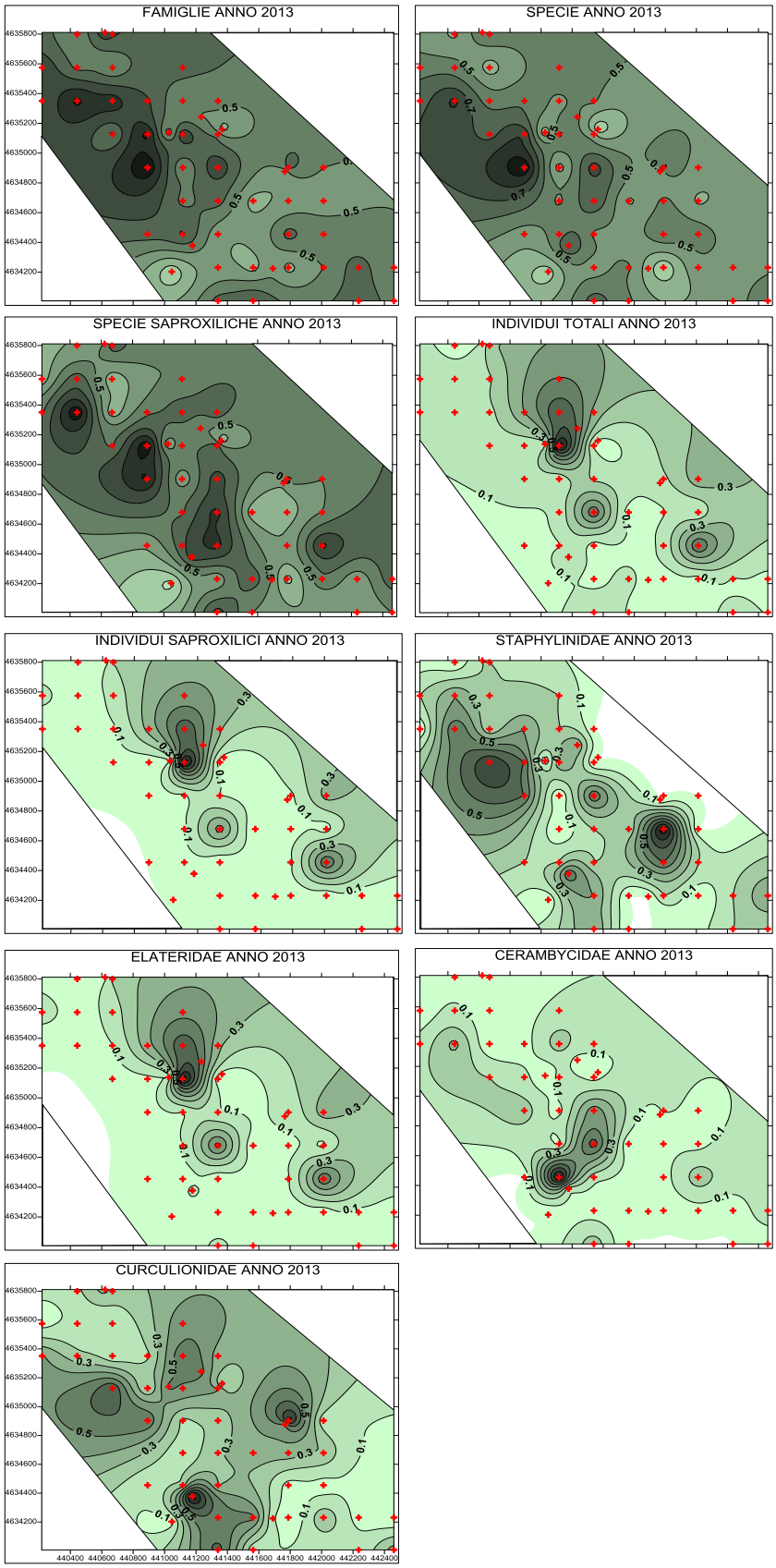


Figure 77-85 – Mappe dei rilievi entomologici riferite all'anno di campionamento 2013.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La protezione di specie emblematiche, quali grandi mammiferi terrestri, cetacei o uccelli, raccoglie l'immediata adesione del pubblico e dei finanziamenti pubblici (Machlis, 1992). Al contrario, interi comparti della biodiversità sono largamente ignorati dal grande pubblico, che si tratti di insetti, batteri, virus, funghi unicellulari, flora o microflora del suolo (Kellert, 1993). Tra i comparti negletti, il legno morto è uno di questi, nonostante rappresenti un fattore chiave per la biodiversità forestale e sia elencato tra gli indicatori della gestione durevole delle foreste (Cavalli e Mason, 2003; Mason *et al*., 2003; Bouget, 2009).

II prelievo sistematico e capillare del legno secco dal bosco ha rappresentato per molti secoli una pratica molto diffusa. Negli ultimi due secoli, caratterizzati in molte regioni da forte crisi di disponibilità della risorsa legnosa, la situazione è stata inoltre aggravata dal diffondersi di pratiche di "igiene forestale", spesso prescritte da regolamenti, rivolte a rimuovere dal bosco tutte le presunte fonti di malattie e parassiti. Anche nei boschi non più soggetti all'asportazione degli alberi morti ormai da decenni, la situazione risulta ancora oggi alterata, perché la ricostituzione dello stock di legno morto è in genere un processo lento e le conseguenze del prelievo intenso e continuato avvenuto in passato si avvertono per tempi lunghi. Con l'eccezione di casi molto particolari (ad esempio zone a elevato rischio di incendio) la conservazione di alberi morti e secchi nelle foreste dovrebbe essere considerata non solo del tutto normale, ma anzi altamente auspicabile, in quanto espressione di una selvicoltura evoluta, capace di coniugare 1'erogazione di beni e servizi delle foreste con la tutela e 1'incremento della biodiversità (Battisti *et al.*, 2013).

Numerosi studi hanno posto in evidenza che il legno morto e le vecchie piante cave non rappresentano una minaccia per la salute della foresta, al contrario, sono elementi essenziali per l'equilibrio dell'ecosistema. Ciononostante, tali ambienti vengono sistematicamente ancora puliti e privati

dei tronchi di maggiori dimensioni, con conseguenti estinzioni locali di specie animali, in particolar modo tra gli invertebrati, premesse alla loro definitiva scomparsa. Il legno morto rappresenta un'importante e insostituibile fonte di biodiversità che contribuisce ad aumentare la complessità, e con essa la stabilità, degli ecosistemi forestali. La più importante componente faunistica legata al legno morto è costituita dagli insetti, i quali sono tra i principali responsabili dei processi di decomposizione del legno. Tale componente si rivela estremamente complessa poiché molto diversificate sono le tipologie di legno morto e le nicchie ecologiche che ivi si creano.

Nonostante la loro importanza a livello ecologico e funzionale le foreste con volumi di legno morto tali da ospitare cenosi saproxiliche ben strutturate sono solo una minima parte della totalità di quelle europee e rappresentano spesso un ambiente frammentato (Campanaro *et al*. 2011).

Nel presente caso, la coleotterofauna rinvenuta nel corso dei due anni di monitoraggio (2012-2013) nel bosco Abeti Soprani risulta ben rappresentata, con specie xilofaghe, saproxilofaghe, micetofaghe e predatrici. Sono presenti tutti gli elementi di un sistema eterogeneo, che ne valorizzano e accrescono la complessità rendendolo potenzialmente stabile e funzionale.

Il ritrovamento di alcune particolari entità saproxiliche permette di formulare valutazioni riguardanti la maturità strutturale della foresta. Molti *taxa* campionati, infatti, si sviluppano sia a carico di *Abies alba*, fra essi si ricordano: *Eurythyrea austriaca* (Linnaeus, 1767), *Serropalpus barbatus* (Schaller, 1783), *Anastrangalia dubia* (Scopoli, 1763), *Molorchus minor* (Linnaeus, 1758), *Pissodes piceae* (Illiger, 1807), *Cryphalus piceae* (Ratzeburg, 1837); che di *Fagus sylvatica* come: *Coxelus pictus* (Sturm, 1807), *Leiopus nebulosus* (Linnaeus, 1758), *Stenurella sennii* Sama, 2002, *Acalles parvulus* (Boheman, 1837), *Echinodera hypocrita* (Boheman, 1837), *Echinodera capiomonti* (H. Brisout, 1864), *Ernoporus fagi* (Fabricius, 1798) e *Melasis buprestoides* (Linnaeus, 1761).

Sono presenti famiglie e specie legate sia alle diverse fasi di decomposizione della necromassa legnosa che alle differenti parti del legno

morto. Ad esempio, tra le entità legate alla zona subcorticale e floematica sono attivi esemplari appartenenti ad Anobiidae e Scolytidae; mentre tra i *taxa* legati alla zona più interna, xilematica, sono ben rappresentati i Cerambycidae. Si sono rilevate sia specie comuni, che risultano essere anche abbondanti, sia specie rare o elusive, comunque rinvenute in vari controlli.

Nel sito di Abeti Soprani, è stato trovato un numero limitato di esemplari appartenenti a entità potenzialmente dannose alle essenze forestali; ciò indica che l'area è in un buono stato di salute e conserva un alto grado di naturalità. L'elevata presenza di insetti fitofagi è infatti tipica dei popolamenti boschivi il cui equilibrio risulta alterato a causa di fattori ambientali o come conseguenza dell'azione antropica.

L'analisi di regressione non ha evidenziato relazioni strette tra la componente entomologica e le variabili forestali considerate. Tale risultato emerge soprattutto dai valori piuttosto bassi di r^2 sia nei dati complessivi riferiti all'intero periodo di campionamento 2012 e 2013, sia ai singoli controlli (tranne che per un caso riguardante la famiglia Staphylinidae). Questo dato suggerisce che le relazioni all'interno del bosco presentano una notevole complessità e probabilmente vi sono altri fattori non considerati che possono esercitare una forte influenza sulla coleotterofauna saproxilica. In molti casi, comunque, alcune singole variabili forestali sono risultate significative. In particolare, le più ricorrenti hanno riguardato la componente morta del legno (alberi troncati in piedi, alberi morti a terra e microhabitat su legno morto) in entrambi gli anni di studio. Esempi di variabili entomologiche associate alle componenti morte del legno sono numero di famiglie, specie e Cerambycidae in diversi controlli del 2012, Curculionidae, Staphylinidae, Cerambycidae ed Elateridae in varie catture del 2013.

Nel 2013, tra le variabili forestali significative si ritrovano anche la massa viva, in particolare in relazione ai Curculionidae, famiglia in cui molte specie hanno abitudini fitofaghe, e le coordinate x, y, che suggeriscono l'esistenza di correlazioni spaziali tra le variabili considerate. In particolare, la

coordinata y, associata in diversi rilievi a individui totali, individui saproxilici ed Elateridae, segue il gradiente altitudinale dell'area studio.

In alcuni casi si sono osservate piccole differenze tra il dato annuale e i singoli controlli, come ad esempio per Cerambycidae e Curculionidae. Ciò è messo in evidenza anche dall'osservazione della distribuzione spaziale che è cambiata nel corso dei campionamenti e suggerisce che la dinamica spazio-temporale della coleotterofauna è piuttosto articolata, con la successione, in momenti vari della stagione, di specie diverse, ciascuna con differenti esigenze ecologiche, che determinano le diversità osservate nell'analisi spaziale. Dal punto di vista numerico, la predominanza degli Elateridae, soprattutto nel 2013, con il 90% degli esemplari campionati, ha influenzato anche i risultati delle elaborazioni statistiche. Infatti sia l'analisi di regressione che l'analisi geostatistica per numero di individui totali, individui saproxilici ed Elateridae hanno fornito risultati pressochè uguali.

Dall'analisi spaziale dei dati riferiti alle variabili forestali, le distribuzioni si presentano prevalentemente aggregate, con hot spot localizzati nella parte centrale dell'area studio per la componente viva, nei settori di nord ovest e sud est per le componenti morte; al contrario ceppaie, microhabitat e copertura arborea si sono distribuiti abbastanza uniformemente su tutta l'area studio.

La distribuzione spaziale delle famiglie e delle specie è risultata fortemente correlata, così come la distribuzione di individui totali e individui saproxilici, determinata dagli Elateridae.

Mettendo a confronto la distribuzione spaziale delle componenti entomologiche con le componenti forestali, si possono osservare varie analogie. Ad esempio, le famiglie presentano hot spot sovrapponibili con quelli osservabili per massa viva, ceppaie, alberi troncati in piedi, alberi morti a terra e microhabitat su legno morto; le specie con massa viva, alberi morti a terra, microhabitat totali e su legno morto; gli individui totali con massa viva, alberi troncati in piedi, alberi morti a terra e microhabitat su legno morto; gli

individui saproxilici con alberi troncati in piedi, alberi morti a terra e microhabitat su legno morto.

Le correlazioni riscontrate nel presente studio confermano tali ipotesi e sottolineano l'importanza di alcuni parametri forestali, sia per le componenti vive che morte, quali fattori che influenzano in maniera determinante la tutela della biodiversità. Un maggiore approfondimento è invece necessario per valutare la solidità di possibili indicatori ecologici, quali i microhabitat, che potrebbero essere implementati nei tradizionali approcci inventariali forestali come supporto alle politiche di conservazione.

5. RIASSUNTO. Relazioni tra coleotterofauna saproxilica, struttura forestale e legno morto nei microhabitat di Abeti Soprani.
L'obiettivo del presente studio è stato valutare l'influenza che la struttura del bosco, le caratteristiche del legno morto e i microhabitat esercitano su abbondanza, distribuzione e diversità della coleotterofauna saproxilica in un ecosistema forestale.
Le attività sono state realizzate presso l'abetina di "Abeti Soprani", localizzata nel territorio dell'Alto Molise. Il monitoraggio è stato condotto su un'area boschiva di 230 ettari, in 50 punti di campionamento, utilizzando due metodi di cattura: trappole a finestra per gli insetti in volo ed eclettori per gli insetti presenti all'interno del legno. Per le stesse aree di campionamento è stata quantificata e descritta la struttura forestale, le componenti di necromassa e la presenza di microhabitat.
Si sono analizzate le relazioni tra i parametri strutturali forestali e la coleotterofauna del luogo. Inoltre, specifiche analisi geostatistiche sono state condotte per evidenziare la variabilità spaziale dei parametri esaminati e la distribuzione dell'entomofauna monitorata.
I risultati ottenuti hanno confermato l'esistenza di correlazioni significative tra insetti, componente forestale e tipologia di microhabitat. In particolare, le seguenti associazioni sono risultate più ricorrenti: massa viva (m^3\ettaro) con il numero di specie, le specie saproxiliche, Elateridae, Cerambycidae e Curculionidae; alberi troncati in piedi (alberi\ettaro) con il numero di individui, di famiglie e Staphylinidae; microhabitat su legno morto con il numero di famiglie, gli Staphylinidae e i Cerambycidae.

5. SUMMARY. Relationships of saproxylic beetles with forest structure, deadwood and microhabitats in the Abeti Soprani wood.
The aim of the study was to evaluate the influence that the structure of the forest, the features of the deadwood and the microhabitats have on abundance, distribution and diversity of the saproxylic beetles in a forest ecosystem. The activities were carried out in the fir forest "Abeti Soprani", located in the territory of the Molise region, Italy.
Fifty areas were selected in a wooded area of 230 hectares, using two sampling methods: windows fly trap for insects in flight and eclectors for insects inside the deadwood. In each sampling area, the forest structure, the components of deadwood and the presence of microhabitats were quantified and described.
The relationship between the structural forest parameters and the beetles was analyzed. Moreover, geostatistical analysis was conducted to highlight the spatial pattern of the examined parameters and the distribution of the monitored fauna.
The results confirmed various relationships of insects with forest structure, deadwood and microhabitats. In particular, the following associations were more frequently observed: living plant mass (m^3\ha) with the number of species, saproxylic species, Elateridae, Cerambycidae and Curculionidae; snags (trees\ha) with the number of specimens, families and Staphylinidae; microhabitats on deadwood with the number of families, Staphylinidae and Cerambycidae.

6. BIBLIOGRAFIA

Allegrezza M., Biondi E., 2008 – Studio fitosociologico dell'area forestale degli "Abeti soprani" (Alto Molise – Appennino meridionale). Fitosociologia, 45 (1): 161-176.

Battisti A., De Battisti R., Faccoli M., Masutti L., Paolucci P., Stergulc F., 2013 – Lineamenti di zoologia forestale. Padova University Press, Padova: 1-442.

Blasi C., Marchetti M., Chiavetta U., Aleffi M., Audisio P., Azzella M.M., Brunialti G., Capotorti G., Del Vico E., Lattanzi E., Persiani A.M., Ravera S., Tilia A., Burrascano S., 2010 – Multi-taxon and forest structure sampling for identification of indicators and monitoring of old-growth forest. Plant Biosystems, 144 (1): 160-170.

Bouget C., 2009 – Pourquoi des recherches sur le bois mort ? Le project RESINE. Rendez-vuos techniques, 25-26: 1-19.

Brenner R.J., Focks D.A., Arbogast R.T., Weaver D.K., Shuman D., 1998 – Practical use of spatial analysis in precision targeting for integrated pest management. American Entomologist, 44: 79-101.

Cavalli R., Mason F., 2003 – Tecniche di ripristino del legno morto per la conservazione delle faune saproxiliche. Il progetto LIFE Natura NAT/IT/99/6245 di «Bosco della Fontana» (Mantova, Italia). Rapporti scientifici: Centro Nazionale per lo Studio e la conservazione della Biodiversità Forestale di Verona-Bosco della Fontana. Gianluigi Arcari Editore, Mantova: 23-29.

Campanaro A., Bardiani M., Spada L., Carnevali L., Montalto F., Antonini G., Mason F., Audisio P., 2011 – Linee guida per il monitoraggio e la conservazione dell'entomofauna saproxilica. Quaderni Conservazione Habitat, 6. Cierre Grafica: 1-8.

Hünter M.L., 1990 - Wildlife, forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity. Prentice Hall, Englewood Cliffs: 1-370.

Kellert S.R., 1993 – Values and Perception of Invertebrates. Conservation Biology, 7 (4): 845-855.

Lombardi F., Cherubini P., Lasserre B., Tognetti R., Marchetti M. (2008) – Tree rings used to assess time since death of deadwood of different decay classes in beech and silver fir forests in central Apennines (Molise, Italy). Canadian Journal of Forest Research, 38: 821-833.

Machlis G.E., 1992 – The contribution of sociology to biodiversity, research and management. Biological Conservation, 62 (3): 161-170.

Mason F., 2003 – Guidelines and aims of the Project Life NAT/IT/99/006245 «Bosco della Fontana: urgent conservation actions on relict habitat»: 41-43. In: Mason F., Nardi G., Tisato M. (eds.). Procedings of the International Symposium «Deadwood: a key to biodiversity», Mantova, May 29th-31th 2003. Sherwood 95, Suppl. 2.

Mason F., Nardi G., Tisato M., 2003 – Procedings of the International Symposium «Deadwood: a key to biodiversity», Mantova, May 29th-31th 2003. Sherwood 95, Suppl. 2: 1-100.

Müller J., Bütler R., 2010 – A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. European Journal of Forest Research, 129: 981-992.

Nansen C., Campbell J.F., Philips T.W., Mullen M.A., 2003 – The impact of spatial structure on the accuracy of contour maps of small data sets. Journal of Economic Entomology, 96 (6): 1617-1625.

Sharov A.A., 1998 – Quantitative population ecology. Online-lecture. Department of Entomology, Virginia Tech, Blacksburg: 83–94.

Thiago F., Rangel J., Alexandre F., Diniz-Filho, Bini L., M. 2010 – SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. Ecography, 33: 46-50.

Stokland J.N., Siitonen J., Jonsson B.G., 2012 – Biodiversity in Dead Wood. Cambridge University Press. Cambridge: 1-509.

Winter S., Möller G.C., 2008 - Microhabitats in lowland beech forests as monitoring tool for nature conservation. Forest Ecology and Management, 255: 1251-1261.

Winter S., Chirici G., McRoberts R.E., Hauk E., Tomppo E. 2008 - Possibilities for harmonising national forest inventory data for use in forest biodiversity assessments. Forestry, 81: 33-44.

RINGRAZIAMENTI

La mia gratitudine va al prof. Andrea Sciarretta per il supporto ricevuto in tutte le attività svolte nel periodo di Dottorato. Per la cordiale disponibilità e collaborazione, presso lo Zoologische Staatssammlung München, un riconoscimento particolare devo al dr. Axel Hausmann.

Ringrazio gli amici Marco Colacci, Alenuccio Palladino e Giuseppe Spina per le magnifiche esperienze africane trascorse.

Per l'aiuto avuto nella determinazione dei vari esemplari, sono grato agli entomologi specialisti: Paolo Audisio, Enzo Colonnelli, Emanuele Piattella e Augusto Vigna Taglianti (Università di Roma La Sapienza); Maurizio Biondi (Università degli Studi dell'Aquila); Alessandro Biscaccianti (Museo Civico di Zoologia di Roma); Alessandro Campanaro e Gianluca Nardi (Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale "Bosco Fontana", Verona); Massimo Faccoli (Università degli Studi di Padova); Fabrizio Fanti, Leonardo Latella e Adriano Zanetti (Museo Civico di Storia Naturale, Verona); Gianfranco Liberti, Andrea Liberto, Giuseppe Platia, Pierpaolo Rapuzzi ed Enrico Ruzzier (Natural History Museum, Londra); Bruno Sabelli (Università di Bologna).

…..e a tutti coloro che hanno percorso il bosco con me…..