



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA**

**Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali**

**Corso di Laurea Triennale**

**in Scienze dell'Ambiente e della Natura**

**Dinamiche consumatore-produttore nelle foreste  
a conifere montane: il ruolo del limonene  
sull'alimentazione dello scoiattolo comune  
europeo (*Sciurus vulgaris*)**

**Relatore: Prof. Adriano Martinoli**

**Correlatore: Dott. Damiano Preatoni**

**Tesi di Laurea di:  
Simonelli Debora  
Matr.715423**

**Anno accademico: 2013-2014**

---

# Sommario

RIASSUNTO .....	II
1 INTRODUZIONE.....	1
1.1 QUADRO GENERALE .....	1
1.1.1 La minaccia dello scoiattolo grigio ( <i>Sciurus carolinensis</i> ) per la conservazione dello scoiattolo comune europeo ( <i>Sciurus vulgaris</i> ).....	1
1.1.2 Interazione produttore-consumatore e metaboliti secondari delle piante .....	3
1.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	6
2 AREA DI STUDIO .....	7
2.1 LA RISERVA NATURALE “BOSCO W.W.F. DI VANZAGO” .....	7
2.2 LA FAUNA PRESENTE.....	8
3 BIOLOGIA DELLA SPECIE.....	10
3.1 INQUADRAMENTO SISTEMATICO DI <i>Sciurus vulgaris</i> .....	10
3.2 DISTRIBUZIONE .....	11
3.3 MORFOLOGIA .....	12
3.4 ECOLOGIA .....	14
3.5 STATO DI CONSERVAZIONE .....	16
4 MATERIALI E METODI.....	17
4.1 FASE DI CAMPO E PREPARAZIONE ESCHE .....	17
4.1.1 Preparazione esche .....	17
4.1.2 Mangiatoie .....	18
4.1.3 Fototrappole .....	19
4.2 ANALISI DATI .....	20
4.2.1 Analisi filmati .....	20
4.2.2 Analisi statistiche .....	21
5 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	22
5.1 ELABORAZIONE DEI DATI.....	22
5.2 “EATS NUT CONTROL” vs. “EATS NUT LIMONENE” .....	23
5.3 “TAKES NUT CONTROL” vs “TAKES NUT LIMONENE” .....	28
6 CONCLUSIONI.....	31
7 RINGRAZIAMENTI .....	32
8 BIBLIOGRAFIA .....	33

# RIASSUNTO

Numerose evidenze scientifiche dimostrano la minaccia rappresentata dall'introduzione in Europa dello scoiattolo grigio orientale (*Sciurus carolinensis*), sciuride arboricolo originario del Nord America, sulla conservazione delle popolazioni autoctone di scoiattolo comune europeo (*Sciurus vulgaris*). La recente espansione delle popolazioni introdotte in Italia (Piemonte, Liguria, Lombardia e più recentemente Veneto e Umbria) rappresenta un imminente rischio per la sopravvivenza della specie autoctona in tutto il continente europeo. Anche con la finalità di approfondire le conoscenze sull'ecologia dello scoiattolo comune europeo nei boschi di conifere alpine, che potrebbero rappresentare un habitat di rifugio residuale della specie in caso di espansione dell'area di presenza della specie alloctona, in virtù di un migliore adattamento all'utilizzo degli strobili come risorsa trofica da parte dello scoiattolo autoctono, dal 1999 è nato il progetto ASPER (*Alpine Squirrel Population Ecology Research*), con lo scopo di approfondire le caratteristiche ecologiche dello scoiattolo comune nei boschi di conifere alpini. Nell'ambito di queste attività di ricerca, e contrariamente a quanto postula il modello dell'*optimal foraging theory* (OFT), si è osservato come lo scoiattolo comune sfrutti in modo estremamente limitato i semi di abete bianco (*Abies alba*), come fonte di cibo nei 3 mesi (agosto-ottobre) in cui sono ampiamente disponibili, nonostante abbiano maggiori contenuti energetici e nutrizionali rispetto a quelli dell'abete rosso (*Picea abies*), che viene invece consumato più frequentemente dallo scoiattolo comune.

Il lavoro che è stato svolto nell'ambito del presente tirocinio, permette di valutare il ruolo del limonene, composto organico presente nelle pigne dell'abete bianco, come possibile causa della ridotta consumazione dei semi da parte dello scoiattolo.

Sono state pertanto allestite delle stazioni di osservazione comportamentale, presso il Bosco WWF di Vanzago, seguendo il modello del "*cafeteria experiment*". In ogni postazione sono state messe a disposizione degli scoiattoli uguali quantità di nocciole, che rappresentano una tipologia di cibo altamente selezionato dalla specie, alcune trattate con limonene e altre non trattate, usate come test di controllo. Per il trattamento, le nocciole sgusciate e tagliate a metà venivano messe a contatto con (R)-(+)-Limonene in contenitori isolati dall'ambiente esterno per 24 ore, utilizzando 4 dosaggi crescenti di limonene: 20 µl, 60 µl, 200 µl e 600 µl. Ogni postazione è stata monitorata mediante l'utilizzo di fototrappole Scout Guard 550V per poter osservare in modo non invasivo le scelte alimentari dello scoiattolo comune.

L'analisi dei dati raccolti è stata condotta con il *software CowLog 2.0* creando uno specifico etogramma. Attraverso il *software R*, si è poi effettuata l'analisi statistica mediante un'analisi log-lineare basata su tabelle di contingenza.

Dalle analisi è risultato che la frequenza di eventi di consumo di nocciole trattate con limonene è sempre minore rispetto al consumo di nocciole non trattate). Una situazione analoga è anche stata riscontrata considerando la sola manipolazione, non necessariamente seguita da ingestione: gli eventi relativi alla manipolazione di nocciole trattate si presentano con una frequenza significativamente minore rispetto alla manipolazione di nocciole non trattate.

Quindi, i risultati ottenuti confermano le ipotesi sperimentali formulate, ossia che la presenza di limonene possa limitare la scelta degli scoiattoli di manipolare o consumare nocciole trattate con questa sostanza, presente naturalmente nei coni e nei semi di abete bianco.

# **1 INTRODUZIONE**

## **1.1 QUADRO GENERALE**

### **1.1.1 La minaccia dello scoiattolo grigio (*Sciurus carolinensis*) per la conservazione dello scoiattolo comune europeo (*Sciurus vulgaris*)**

Lo scoiattolo grigio (*Sciurus carolinensis*) è una specie nord-americana alloctona in Europa, introdotta in Gran Bretagna, Irlanda e Italia. In Italia la specie è presente in Lombardia, Piemonte, Liguria e Umbria (Martinoli *et al.*, 2010). In particolare è stata introdotta nel 1948 a Stupinigi, alle porte di Torino, in Piemonte (dove oggi si trova la popolazione più consistente nelle provincie di Torino e Cuneo), nel 1966 alla periferia di Genova (nel Parco di Nervi) e nel 1994 a Trecate (Novara), oltre che in alcune zone della Lombardia occidentale nelle provincie di Lecco, Pavia e Milano (Genovesi e Bertolino, 2001). In anni più recenti poi vi sono stati rilasci di esemplari nella zona di Perugia. I dati raccolti in Gran Bretagna, dove la specie è stata introdotta a partire dal secolo scorso (Kenward, 1983; Gurnell e Pepper, 1993; Skelcher, 1997), ed in Italia (Wauters *et al.*, 1997; Genovesi e Amori, 1999) confermano che, nelle aree colonizzate dallo scoiattolo grigio, l'autoctono scoiattolo comune europeo si estingue in breve tempo. In questo quadro, l'Italia gioca un ruolo chiave per la conservazione dello scoiattolo comune, dato che nel nostro Paese sono presenti le sole popolazioni naturalizzate di scoiattolo grigio dell'intera Europa continentale. Se l'espansione di quest'ultimo non verrà arrestata, buona parte dell'Europa sarà a rischio di invasione, con la possibile estinzione dello scoiattolo comune in un'area vastissima (Gurnell e Lurz, 1997).

Nel Regno Unito, dove lo scoiattolo grigio è stato introdotto in più occasioni dal 1876 al 1937 (Gurnell, 1987), la competizione tra le due specie (Figura 1.1) ha negli ultimi decenni determinato il crollo della popolazione di scoiattolo comune, la quale è passata da diversi milioni di individui a soli 160000 (Kenward, 1983; Harris *et al.*, 1995; Steward, 1997). In Gran Bretagna, lo scoiattolo comune sopravvive nelle foreste della Scozia e in poche altre aree, dove è comunque considerato a fortissimo rischio di estinzione (Reynolds, 1985; Gurnell e Pepper, 1993).

Nei boschi di latifoglie, che rappresentano gli habitat più favorevoli per l'alloctono, le popolazioni di scoiattolo grigio possono raggiungere densità di 3-10 animali per ettaro (Gurnell, 1983), mentre negli habitat meno favorevoli (monocolture di conifere) le densità sono in genere inferiori all'individuo per ettaro (Smith e Gurnell, 1987).



**Figura 1.1** – Scoiattolo grigio americano, *Sciurus carolinensis*, a sinistra; scoiattolo comune europeo *Sciurus vulgaris*, a destra.

La sostituzione dello scoiattolo comune da parte del grigio, con conseguente estinzione della specie autoctona, è uno degli esempi più chiari, tra i Vertebrati, di esclusione competitiva (Bertolino *et al.*, 2014). È infatti un insieme di fattori, che agiscono in maniera sinergica, a conferire un vantaggio ecologico alla specie alloctona nei confronti dello scoiattolo comune. Tali fattori possono essere di seguito riassunti come segue:

- maggior efficienza dello scoiattolo grigio nell'occupare lo spazio e sfruttare le risorse disponibili, fatto che porta ad esempio ad una forte competizione alimentare indiretta. Infatti, lo scoiattolo grigio è avvantaggiato nella competizione per le risorse alimentari, in particolar modo in boschi a dominanza di querce, dove la specie riesce a raggiungere densità più elevate dello scoiattolo comune. Uno dei fattori favorevoli alla specie alloctona è la sua capacità di cibarsi di ghiande, essendo in grado, a differenza dello scoiattolo comune, di digerire i tannini in esse contenuti (Kenward e Holm, 1993; Wauters *et al.*, 2001). Inoltre questi scoiattoli riescono a trovare e consumare parte delle riserve di semi accumulate dagli scoiattoli rossi per superare l'inverno.
- Le maggiori dimensioni (450-650 g contro i 280-350 g dello scoiattolo comune) e l'abitudine di muoversi prevalentemente al suolo, consentono allo scoiattolo grigio un maggior accumulo di grasso e quindi di riserve energetiche per l'inverno (Kenward e Tonkin, 1986; Gurnell, 1991a; Gurnell, 1991b) a differenza dello scoiattolo comune che è prevalentemente arboricolo, caratteristica che fa sì che un aumento di peso si traduca in una perdita di agilità tra i rami. Ciò rende lo scoiattolo comune più vulnerabile negli anni caratterizzati da scarsità di cibo durante l'inverno. Inoltre una riduzione di peso diminuisce la possibilità di riproduzione degli individui.

- Probabilmente un ruolo importante è rivestito dalla mortalità dovuta allo *Squirrel-poxvirus*. Si sospetta infatti che l'alloctono possa sopravvivere all'infezione, funzionando anche da serbatoio del virus, mentre gli scoiattoli comuni colpiti sarebbero destinati a morire (Duff *et al.*, 1996; Sainsbury *et al.*, 1997).

In definitiva, si può pensare che, a seguito della penetrazione dello scoiattolo grigio nelle aree occupate dalla specie autoctona, si possa instaurare un primo periodo di convivenza tra le due specie, dove però la specie alloctona, grazie alla sua maggior competitività nello sfruttamento delle risorse, accrescerebbe notevolmente la propria densità. Al sopraggiungere di annate sfavorevoli lo scoiattolo comune mostrerebbe una diminuzione del tasso riproduttivo e un decremento numerico fino alla totale scomparsa. Una ipotesi che viene avanzata è che lo scoiattolo comune possa sopravvivere nei boschi puri di conifere montane che potrebbero rappresentare l'unico habitat in Italia e negli stati adiacenti in cui lo scoiattolo comune abbia probabilità di sopravvivenza a medio termine, nel caso lo scoiattolo grigio dovesse diffondersi ulteriormente. La specie autoctona potrebbe infatti essere favorita dalla presenza di vaste estensioni di boschi di conifere, essendo meglio adattata a nutrirsi dei semi piccoli e difficili da estrarre di queste piante (Lurz *et al.*, 1995; Armitage *et al.*, 1997; Kenward *et al.*, 1998). Bisogna ricordare però che le foreste alpine sono da considerarsi sistemi “*pulsed resource*”, ovvero ambienti con una forte fluttuazione della disponibilità alimentare e, conseguentemente, della densità di animali ad esse strettamente legati come lo scoiattolo comune (Rodrigues *et al.*, 2010). In questo contesto, dal 1999 il Progetto ASPER (*Alpine Squirrel Population Ecology Research*), promosso dalle Università dell'Insubria e dall'Università di Torino, si occupa di investigare l'ecologia dello scoiattolo comune in ambiente forestale alpino.

### **1.1.2 Interazione produttore-consumatore e metaboliti secondari delle piante**

Nell'interazione tra i livelli trofici, sia la preda (risorsa) che il predatore (consumatore) esercitano reciproche influenze evolutive, in ultima analisi promuovendo una coevoluzione. I predatori, infatti, esercitano una pressione selettiva sulle specie preda, quindi qualsiasi strategia adattativa che consenta ad un individuo preda di evitare di essere catturato, permette un incremento della *fitness* ossia della capacità di massimizzare il suo potenziale riproduttivo. La selezione naturale dovrebbe produrre prede più “abili”, ma d'altra parte dovrebbe anche produrre predatori più “furbi” (Krebs e Davies, 1983). In questa, che viene definita normalmente nel contesto evolutivo “corsa alle armi” anche le piante, in quanto “prede sessili”, hanno messo a punto adattamenti in grado di ridurre la consumazione di semi. Le strategie che le piante adottano allo scopo di dissuadere eventuali “predatori di semi”, includono difese sia strutturali sia chimiche, tra le quali la produzione di sostanze non direttamente coinvolte nel metabolismo basale delle cellule vegetali: i cosiddetti composti o metaboliti secondari.

Il fattore limitante per gli erbivori è la qualità più che la quantità dell'alimento. La maggior parte dei tessuti di una pianta è di bassa qualità per quanto riguarda l'apporto di nutrienti e di energia, perciò gli animali che si nutrono di vegetali sono indirizzati verso cibi di maggior qualità quali tessuti giovani, teneri e verdi, o verso organi di accumulo quali radici, tuberi e semi.

I semi di conifera sono una importante componente della dieta di molti roditori e la principale risorsa di cibo per specie arboricole, come gli scoiattoli, nelle foreste boreali e alpine di conifere (Abbott e Quink, 1970; Wauters e Dhondt, 1987; Lurz *et al.*, 2000; Boutin *et al.*, 2006; Wauters *et al.*, 2008; Lobo e Millar, 2011). Spesso questi roditori non sono solo predatori di semi che riducono il successo riproduttivo delle piante, ma agiscono anche da dispersori di semi che possono aumentare la diffusione delle specie arboree (Theimer, 2005; Steele *et al.*, 2005). Le conifere hanno evoluto diversi meccanismi per ridurre la predazione dei semi. È comunemente

accettato che la variazione temporale nella produzione di semi, che porta a una produzione più abbondante a intervalli irregolari, il cosiddetto *masting* (Zong *et al.*, 2010), sia un meccanismo per saziare i predatori nelle dinamiche consumatori-produttori (Kelly, 1994; Boutin *et al.*, 2006). Altri meccanismi sono: l'aumento del tessuto protettivo della pigna, la variazione dell'energia e del contenuto nutritivo dei semi, la presenza e concentrazione di composti secondari nei semi e nelle pigne o la riduzione del tasso potenziale di assunzione dell'energia (Farentinos *et al.*, 1981; Benkman, 1995; Lewis *et al.*, 2001; Forget *et al.*, 2005; Molinari *et al.*, 2006; Lobo *et al.*, 2009). Gli scoiattoli sono i più importanti predatori di semi nelle foreste di conifere boreali e temperate.

I metaboliti secondari sono composti organici a basso peso molecolare con un'ampia varietà di strutture e comprendono oltre 100000 sostanze bioattive (Wink, 1999a). I composti secondari possono essere accumulati in grandi quantità (fino al 60% del peso secco di una foglia) e svolgere la funzione di inibitori quantitativi (Sinclair *et al.*, 1988), come ad esempio i tannini, oppure possono essere presenti in quantità minime e svolgere la funzione di inibitori qualitativi. Alcune delle funzioni riconosciute di queste molecole sono: di proteggere le piante contro agenti nocivi esterni come gli erbivori (insetti, vertebrati), i funghi, i batteri e i virus; di agire come biocidi contro altre piante che competono per i nutrienti (acqua, luce); di proteggere i tessuti dai raggi UV o da altri stress fisici; di attrarre insetti impollinatori e dispersori di semi; di agire da mezzi di comunicazione con gli organismi simbiotici, quali micorize e organismi azoto fissatori (Wink, 1999b). In molte piante, i metaboliti secondari si accumulano negli organi più vulnerabili ai predatori o ai parassiti, costituendo così una difesa importante per la sopravvivenza e la riproduzione.

Il più grande gruppo di composti secondari è costituito dai terpeni (Breitmaier, 2006), con più di 30000 composti documentati e oltre 1000 nuovi composti descritti ogni anno (Gershenzon e Kreis, 1999). I terpenoidi sono accomunati dalla stessa modalità di biosintesi: la fusione di unità C5 con una struttura isopentenoide. Tale caratteristica prende il nome di “regola dell'isoprene” (Ruzicka, 1959), che enuncia che tutti i terpenoidi derivano dall'unione ordinata “testa-coda” di unità di isoprene (IUPAC 2-metil-1,3-butadiene). I terpenoidi vengono classificati secondo il numero di unità isoprenoidi presenti nella struttura:

- 1 unità (C5) → emiterpeni
- 2 unità (C10) → monoterpeni, i più numerosi (es. limonene)
- 3 unità (C15) → sesquiterpeni
- 4 unità (C20) → diterpeni
- 6 unità (C30) → triterpeni
- 8 unità (C40) → tetraterpeni
- > 9 unità (C>40) → politerpeni

I terpenoidi sono implicati in un gran numero di processi fisiologici delle piante quali crescita, sviluppo e riproduzione (Gershenzon e Kreis, 1999), e i monoterpeni (composti che derivano dalla trasformazione metabolica di un precursore C10 formato da due unità di isoprene) sono i più comuni. Molti di essi, per esempio i monoterpeni  $\alpha$ -pinene e limonene, agiscono da deterrenti o da composti tossici sugli invertebrati o sui mammiferi granivori o erbivori (Kimball *et al.*, 1998; Ibrahim *et al.*, 2001; Petrakis *et al.*, 2005; Bakkali *et al.*, 2008).

Un'altra classe importante di composti deterrenti sono i tannini (complessi e eterogenei composti polifenolici che si legano alle proteine e causano la loro precipitazione). Alti livelli di alcuni tannini portano a numerosi disordini digestivi poiché interferiscono con l'assorbimento delle proteine, riducono l'azione degli enzimi digestivi, danneggiano la membrana della mucosa

gastrointestinale o causano la perdita di azoto endogeno (Robbins *et al.*, 1987; Blytt *et al.*, 1988; Shimada e Saitoh, 2003). Questi effetti possono essere altamente specie-specifici per alcuni animali. Per esempio gli scoiattoli grigi tenuti in cattività crescono bene se alimentati con una dieta di ghiande (semi di quercia contenenti un alto livello di tannini), mentre gli scoiattoli rossi in cattività, alimentati solamente con queste ghiande, muoiono in poche settimane per enterite (Kenward e Holm, 1993).

Lo scoiattolo rosso è un predatore opportunista di semi di alberi e si ritrova in tutte le foreste di conifere alpine e subalpine che si estendono in Europa (Lurz *et al.*, 2005; Mari *et al.*, 2008). Seleziona semi di differenti specie di conifere e, all'interno della stessa specie, seleziona le singole piante, scegliendole in base a caratteristiche che permettono di massimizzare l'energia acquisita (*energy intake*) e minimizzare i costi di alimentazione legati a fattori come l'accessibilità, il corretto grado di maturazione o una struttura della pigna che permette una più o meno facile estrazione dei semi (Moller, 1983; Lurz *et al.*, 2000; Molinari *et al.*, 2006). Dallo studio delle relazioni tra l'abbondanza dei semi e la dinamica di popolazione degli scoiattoli (Wauters *et al.*, 2008) e l'uso dell'habitat e dello spazio (Di Pierro *et al.*, 2011) nelle foreste miste di abete rosso (*Picea abies*) e abete bianco (*Abies alba*), emerge che gli scoiattoli si alimentano raramente dei semi di abete bianco. Tra tutte le conifere alpine, l'abete bianco ha il più alto contenuto energetico per pigna e il più alto rapporto tra massa del seme e massa della pigna, oltre ad avere anche il più basso contenuto di tessuto protettivo (Salmaso *et al.*, 2009). Quindi se il foraggiamento fosse determinato principalmente dal tasso di energia acquisita, dalla morfologia della pigna, dalla quantità di tessuto protettivo (Molinari *et al.*, 2006), o dalla disponibilità temporale della fonte di cibo, gli scoiattoli rossi dovrebbero selezionare i semi di abete bianco da metà agosto a metà ottobre, quando essi sono disponibili sulla chioma degli alberi, seguendo così il modello dell'*optimal foraging theory* (OFT) (MacArthur e Pianka, 1966; Emlen, 1966; Pyke, 1984) che assume che nelle scelte trofiche gli animali tendano a massimizzare l'apporto netto energetico di una preda in relazione al contenuto calorico ed al dispendio di energie coinvolto in ricerca, uccisione, manipolazione e digestione.

Tuttavia contrariamente a quanto postula il modello dell'*optimal foraging theory* (OFT), le popolazioni di scoiattolo rosso studiate sfruttano i semi di abete rosso (che rappresenta l'alimento preferito) in tutte le stagioni, nonostante i minori contenuti energetici per seme e per strobilo, rispetto all'abete bianco (Salmaso *et al.*, 2009), e il consumo di semi di abete bianco è limitato, aumentando solo in anni di riduzione nella produzione di semi di *Picea abies* (Di Pierro *et al.*, 2011). Questo particolare comportamento potrebbe essere dovuto alla presenza del limonene, monoterpene molto più abbondante nei semi di abete bianco (>75% del peso nei semi) che in quelli di abete rosso, nei quali il contenuto di limonene è 500 volte minore. Questa notevole differenza nel contenuto in limonene suggerisce che nell'abete bianco il deposito di limonene nei semi serva a ridurre la predazione agendo come deterrente (Rubino *et al.*, 2012).

I composti secondari come i terpenoidi possono agire da deterrenti senza essere tossici, grazie al cattivo odore o sapore che conferiscono ai semi (Ruxton e Kennedy, 2006). Sia i roditori (Weiler *et al.*, 2006) che alcuni uccelli (McKeegan, 2002) sembrano usare l'olfatto per rilevare la presenza di limonene, che sembra avere una forte tossicità orale e induce un comportamento repulsivo in alcuni insetti (Ozaki *et al.*, 2003). L'enantiomero naturale D-(+)-R-limonene ha il tipico odore e sapore acido del limone (EPA, 1994) e produce un cattivo sapore nei semi di *Abies alba*. Per quanto riguarda tossicità e carcinogenicità, si è osservato che solo a dosi molto alte (300mg/kg di massa corporea al giorno) il limonene è tossico nei ratti di laboratorio (Jameson, 1990). È quindi ritenuto non pericoloso per la salute umana e per l'uso alimentare (FDA, 2003). L'EPA classifica il limonene come "*practically nontoxic to mammals*", poiché risulta improbabile l'ingestione di quantità sufficienti per raggiungere la soglia di rischio. Riportando questi dati a uno scoiattolo rosso adulto di 330 g di peso (Wauters *et al.*, 2007), un'assunzione di 99 mg al giorno di limonene potrebbe avere effetti tossici. Si stima che i semi in una pigna di *Abies alba* contengano 44-124 mg di limonene. Quindi il consumo di tutti i semi

contenuti in media in una o due pigne di abete bianco al giorno potrebbe effettivamente portare ad un'assunzione di limonene che potrebbe potenzialmente essere tossica a lungo termine.

## 1.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO

Lo scopo di questo studio è di valutare il ruolo del limonene come possibile causa della ridotta consumazione dei semi di abete bianco da parte di *Sciurus vulgaris* e quindi di indagare le cause di tale apparente contrasto rispetto ad un modello di *foraging behaviour* basato sull'OFT.

Per verificare tale ipotesi sono state posizionate delle mangiatoie, secondo il metodo del “*cafeteria feeding experiment*” (Rozin, 1976), su cui sono stati disposti 2 piattini: uno contenente nocchie di controllo non trattate e uno con nocchie trattate con limonene. È stata poi valutata la scelta alimentare dello scoiattolo tra questi due alimenti con l'utilizzo di fototrappole.

Le ipotesi sperimentali da verificare con questa ricerca sono le seguenti:

- la prima scelta dello scoiattolo dovrebbe ricadere sulle nocchie di controllo (non trattate con limonene).
- Lo scoiattolo dovrebbe consumare prima tutte le nocchie non trattate.
- Le nocchie trattate con limonene dovrebbero essere consumate solo dopo che tutte quelle di controllo siano state mangiate.

## 2 AREA DI STUDIO

### 2.1 LA RISERVA NATURALE “BOSCO W.W.F. DI VANZAGO”

L'area di studio (Figura 2.1, Tabella 2.1) si trova sui territori dei comuni di Vanzago, Arluno, e Pogliano Milanese in provincia di Milano, nella località “Tre Campane”, in un contesto ambientale caratterizzato da comuni densamente popolati con alto grado di antropizzazione. I comuni limitrofi di Rho, Nerviano, Pogliano, Pregnana Milanese, Cornaredo e Pero sono una delle aree maggiormente industrializzate dell'intero *hinterland* milanese. L'oasi mette in comunicazione Milano con il Parco Regionale della Valle del Ticino. L'area, caratterizzata come “Riserva naturale regionale parziale forestale e zoologica” si estende per 143.67 ha per una superficie totale di territorio protetto (la riserva naturale) di 200 ha, in un'area in cui l'altitudine varia dai 159 ai 163 m s.l.m.



**Figura 2.1** – Area di studio con in evidenza le 3 postazioni di osservazione comportamentale (VAN01, VAN02, VAN03). La linea verde delimita l'area dell'oasi WWF; quella arancione delimita l'area della riserva naturale.

**Tabella 2.1** – Coordinate delle 3 postazioni sperimentali nel sistema di riferimento Gauss-Boaga.

<b>Postazione</b>	<b>Coordinata X</b>	<b>Coordinata Y</b>
VAN01	498485	5040795
VAN02	498013	5040994
VAN03	498233	5040873

Il Commendator Ulisse Cantoni nel 1977 nominò come ente gestore e proprietario dell'area protetta, da lascito testamentario, il WWF Italia, il quale ne chiese il riconoscimento come riserva naturale, ponendola sotto la legislazione regionale. Nel 2003, la Regione Lombardia poneva il Bosco WWF di Vanzago tra i 176 siti di importanza comunitaria individuati nell'ambito della Commissione Europea. Nell'oasi è stato poi istituito nel 1995 dalla Regione Lombardia un CRAS (Centro Recupero Animali Selvatici) che ospita oltre 2000 esemplari ricoverati l'anno.

Importanti, all'interno della riserva, sono anche alcuni laghi eutrofici naturali che ospitano numerose specie di pesci.

Il clima è di tipo continentale moderato, tipico della Pianura Padana, con forti escursioni termiche annue e regime pluviometrico di tipo prealpino.

La vegetazione è prevalentemente costituita da bosco planiziale a latifolia, con associazione di farnia-rovere-carpino, intervallato da aree prative, campi coltivati, boscaglie, incolti, laghi e lanche. Le specie più diffuse nel bosco sono (Longo e Rutigliano, 2007): farnia (*Quercus robur*), rovere (*Quercus petraea*), castagno (*Castanea sativa*), pino silvestre (*Pinus silvestris*), abete rosso (*Picea excelsa*), quercia rossa (*Quercus rubra*), betulla (*Betula alba*), acero campestre (*Acer campestre*), acero montano (*Acer pseudoplatanus*), noce (*Juglans nigra*) e robinia (*Robinia pseudoacacia*), sottoposta a un programma di sostituzione con alberi autoctoni. Da ricordare il carpino bianco (*Carpinus betulus*), disposto a formare 3 anelli intorno al roccolo, una costruzione a forma di torre, nei pressi del quale è stata posta una delle 3 mangiatoie utilizzate per questo studio.

Il sottobosco è altrettanto ricco con prugnoli tardivi, noccioli, sambuchi, ciliegi selvatici, agrifogli, biancospini, felci, mughetti e altre specie erbacee.

## 2.2 LA FAUNA PRESENTE

La riserva è un luogo indisturbato di rifugio per moltissime specie animali (Longo e Rutigliano, 2007. Figura 2.2). Il capriolo (*Capreolus capreolus*) ne è l'animale simbolo, ma si possono incontrare anche la lepre (*Lepus europaeus*), il coniglio selvatico (*Oryctolagus cuniculus*), il riccio (*Erinaceus europaeus*), il ghiro (*Glis glis*), il topo quercino (*Eliomys quercinus*), il moscardino (*Muscardinus avellanarius*), l'arvicola di Savi (*Microtus savii*), il toporagno comune (*Sorex araneus*), le due specie di ratto (*Rattus norvegicus* e *Rattus rattus*), il topolino domestico (*Mus musculus*) e selvatico (*Apodemus sylvaticus*) e tra i predatori spiccano la faina (*Martes foina*), il tasso (*Meles meles*) e la volpe (*Vulpes vulpes*).

La riserva era originariamente priva di sciuridi fino al 2004 quando un esemplare di scoiattolo rosso (*Sciurus vulgaris*) è accidentalmente sfuggito dal CRAS, per vivere stabilmente all'interno della riserva. Da allora tutti gli esemplari curati al CRAS sono stati liberati nell'oasi e si è così formata una popolazione stabile e abbondante, anche se la reale densità e le dinamiche di popolazione sono al momento sconosciute.





**Figura 2.2** – I mammiferi della riserva. In alto da sinistra a destra: riccio, moscardino. In basso da sinistra a destra topo quercino, volpe, tasso.

Sono presenti inoltre 4 specie di pipistrelli: nottola comune (*Nyctalus noctula*), pipistrello nano (*Pipistrellus pipistrellus*), pipistrello di Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) e pipistrello albolimbato (*Pipistrellus kuhlii*).

L'oasi è inoltre luogo di svernamento, sosta, pastura e nidificazione per numerosissime specie di uccelli (Figura 2.3). Nel bosco si possono incontrare il picchio verde (*Picus viridis*) e il picchio rosso maggiore (*Dendrocopos major*). Nei pressi delle zone umide vi è il martin pescatore (*Alcedo atthis*), la folaga (*Fulica atra*), la gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*), lo svasso maggiore (*Podiceps cristatus*), il germano reale (*Anas platyrhynchos*) e l'airone cenerino (*Ardea cinerea*). , la cornacchia grigia (*Corvus cornix*), la taccola (*Corvus monedula*), il corvo (*Corvus corax*) e la gazza (*Pica pica*). Presente anche la specie alloctona colino della Virginia (*Colinus virginianus*) e, con una popolazione numerosa, il fagiano (*Phasianus colchicus*). La varietà di specie di passeriformi è molto elevata. I rapaci diurni che nidificano sono sparviere (*Accipiter nisus*), poiana (*Buteo buteo*) e gheppio (*Falco tinnunculus*). I notturni nidificanti sono allocco (*Strix aluco*) e civetta (*Athene noctua*). Vi sono anche esemplari di gufo comune (*Asio otus*) e in passato vi erano anche coppie di barbogianni (*Tyto alba*). Durante l'inverno giunge l'astore (*Accipiter gentilis*). La riserva è anche rifugio per molti rettili e anfibi, e per pesci e insetti.



**Figura 2.3** – Gli uccelli della riserva. Da sinistra a destra: picchio verde, sparviere, allocco.

# 3 BIOLOGIA DELLA SPECIE

## 3.1 INQUADRAMENTO SISTEMATICO DI *Sciurus vulgaris*

**Phylum** *Chordata*

**Subphylum** *Vertebrata*

**Classe** *Mammalia*

**Ordine** *Rodentia*

**Sottordine** *Sciuromorpha*

**Famiglia** *Sciuridae*

**Sottofamiglia** *Sciurinae*

**Genere** *Sciurus* (Linnaeus, 1758)

**Specie** *Sciurus vulgaris* (Linnaeus, 1758)



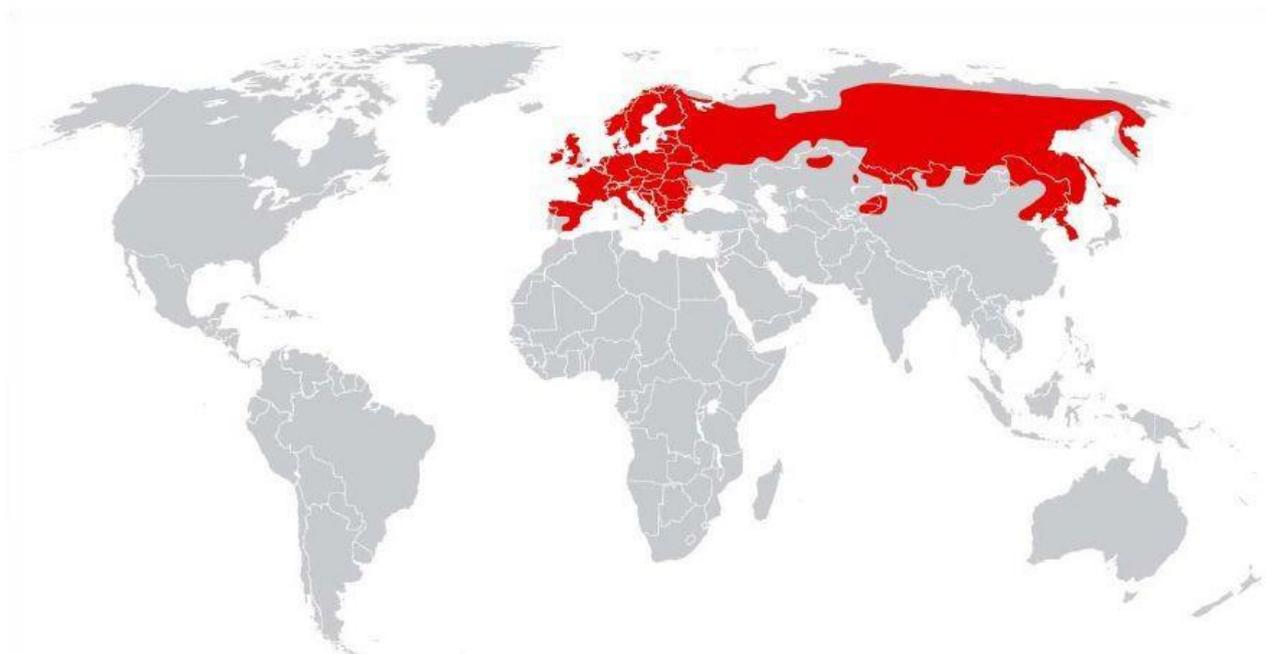
**Figura 3.1** – Lo scoiattolo comune europeo, *Sciurus vulgaris* (foto di *Ciro Scafa*).

L'ordine Rodentia rappresenta il gruppo di mammiferi più numeroso, suddiviso in 5 sottordini: Castorimorpha, Anomalurimorpha, Myomorpha, Hystricomorpha e Sciuromorpha (Toschi, 1965; Carleton e Mussel, 2005). Quest'ultimo sottordine, a cui appartiene lo scoiattolo comune

europeo (Figura 3.1), è costituito da 307 specie divise in 3 famiglie: Sciuridae (scoiattoli di terra, scoiattoli arboricoli, marmotte), Gliridae (ghiri) e Aplodontiidae (castoro di montagna). Nel continente europeo, *Sciurus vulgaris*, con le sue 17 sottospecie (Lurz *et al.*, 2005), è l'unico scoiattolo arboricolo autoctono ed è presente sul territorio italiano con 3 sottospecie: *Sciurus vulgaris fuscoater* (Altum, 1876) presente sulla catena alpina, *S. V. italicus* (Bonaparte, 1838) dell'Appennino centro-settentrionale, *S. V. meridionalis* (Lucifero, 1907) nell'Italia meridionale.

### 3.2 DISTRIBUZIONE

Lo scoiattolo comune europeo occupa un areale (Figura 3.2) esteso in gran parte della regione paleartica (Europa ed Asia settentrionale), dalle isole Britanniche fino alle coste del Giappone (nell'isola di Hokkaido) e alla Cina nordorientale (in Manciuria). Occupa foreste di conifere (formate principalmente da pino, abete rosso e abete bianco) in Europa settentrionale, mentre in Europa centro-meridionale si trova in foreste miste di conifere e latifoglie e in foreste di latifoglie decidue. Sul territorio italiano lo si ritrova su tutto l'arco alpino dal limite della vegetazione arborea fino alle zone collinari della Pianura Padana e il suo areale si stende a sud fino all'Appennino calabro (Figura 3.3). In pianura è pressoché assente a causa della frammentazione dei suoi habitat, anche se si può ancora trovare dove persistono vegetazioni arboree planiziali. È assente in Sicilia, Sardegna e altre isole minori (Toschi, 1965).



**Figura 3.2** – Distribuzione dello scoiattolo comune europeo (mappa tratta dal sito [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)).



**Figura 3.3** – Areale di *S. vulgaris* in Italia.

### 3.3 MORFOLOGIA

*Sciurus vulgaris* è un roditore dalle tipiche abitudini arboricole. Di dimensioni medie, ha una forma corporea snella, con testa e collo ben distinti dal tronco. Gli arti anteriori sono più brevi dei posteriori che sono invece sviluppati per il salto. Le zampe anteriori sono provviste di quattro dita ben sviluppate provviste di unghie forti e ricurve: il pollice è rudimentale e praticamente privo di unghia. Le zampe posteriori hanno cinque dita e sono più lunghe di quelle delle zampe anteriori, con il quarto dito più lungo e l'alluce più breve dei rimanenti. Le unghie sono egualmente forti per poter far presa sugli alberi. La pelliccia è ricca e fine. Il dorso è monocolore mentre il ventre è generalmente bianco o crema. Generalmente il mantello ha due fasi di colore: una invernale più chiara e una estiva più vivace. La colorazione è molto variabile da rosso fulvo a quasi nero (Figura 3.4), con una vasta gamma di gradi intermedi. La coda, ben sviluppata, è appiattita, ricoperta da folti peli e lunga quasi come la lunghezza del corpo. Viene spesso tenuta ripiegata sul dorso. Sono inoltre presenti vibrisse facciali, carpali e ventrali. Le orecchie sono grandi e lunghe, quasi il doppio della loro larghezza, con all'apice caratteristici ciuffi di peli auricolari da settembre/ottobre a aprile/maggio.



**Figura 3.4** – Variazioni cromatiche del mantello di *Sciurus vulgaris* (in alto a sinistra e in alto a destra: due esempi di mantello intermedio/scuro; in basso: mantello chiaro).

Il cranio, grande e arrotondato, è più sviluppato posteriormente ed è convesso con processi post-orbitali rivolti all'indietro (Toschi, 1965). Le dimensioni corporee sono caratterizzate da una lunghezza testa-corpo di 198-250 cm e una lunghezza della coda di 170-225 cm (Wauters e Dhondt, 1989a; Lurz *et al.*, 2005).

La formula dentaria è: I 1/1, C 0/0, PM 2/1, M 3/3 = 22. Gli incisivi superiori sono robusti, compressi ed a sezione ellittica. Il grado di usura dei molari, gli strati di deposizione del cemento dei denti e il peso del cristallino sono caratteristiche utilizzate per la determinazione dell'età (Karpukhin e Karpukhina, 1971; Degn, 1973; Lemnell, 1973).

Nelle femmine sono presenti otto mammelle. In *S. vulgaris* non è rilevabile dimorfismo sessuale per quanto riguarda le dimensioni e la colorazione (Wiltafsky, 1973, 1977; Wauters e Dhondt, 1989a; Wauters *et al.*, 2004b, 2007). I sessi si distinguono in base alla distanza uro-genitale: 2-4 mm nelle femmine, superiore ai 10 mm nei maschi.

### 3.4 ECOLOGIA

Lo scoiattolo comune europeo frequenta foreste e boschi, da quelli di conifere boreali o subalpine ai temperati misti o alle foreste di latifoglie decidue, e si ritrova spesso nei parchi cittadini. Predilige boschi maturi, costituiti da diverse specie arboree, e disetanei, di dimensioni superiori ai 100 ha. Si ritrova fino ad oltre i 2000 m di altitudine, ma non supera il limite della vegetazione arborea. La frammentazione dei suoi habitat ha un'influenza negativa sulla sopravvivenza e la densità delle (sub)popolazioni (Celada *et al.*, 1994; Wauters *et al.*, 1994a, 1994b; Wauters, 1997; Rima *et al.*, 2010). Nei luoghi in cui il grado di frammentazione è moderato, le estinzioni locali della specie vengono compensate da frequenti ricolonizzazioni. Dove la frammentazione è più elevata invece, le popolazioni presenti nei boschi isolati sembrano destinate a scomparire entro alcuni anni (Celada *et al.*, 1994). Nelle foreste miste di conifere e latifoglie la densità media è di 0.8 individui/ha.

*Sciurus vulgaris* predilige cibarsi di semi di alberi (conifere e latifoglie), che consuma stando seduto sulle zampe posteriori e portandoseli alla bocca con le anteriori (Figura 3.5). In primavera la dieta comprende anche gemme, germogli, e fiori di diverse specie di alberi, ma anche insetti, e talvolta nidiacei e uova. In estate vengono consumati frutti, semi e funghi, e, raramente, scortecciati gli alberi per nutrirsi della linfa. In autunno-inverno la specie utilizza semi di alberi e funghi (Moller, 1983; Gurnell, 1987; Wauters e Dhondt, 1987; Wauters *et al.*, 1992, 2001a, 2001b; Bertolino *et al.*, 2004a). Tipico degli scoiattoli è l'immagazzinamento di frutti secchi e semi (quali nocciole, castagne, fagge, ghiande, noci), semi di *Pinus cembra* e pigne di *Pinus sylvestris*, in buche scavate nel terreno e occultate. Talvolta i semi immagazzinati nel terreno non vengono più ritrovati e consumati e possono così germogliare, favorendo la dispersione di specie arboree. Spesso si registra un aumento della densità degli scoiattoli in seguito ad una forte produzione di semi (Wauters e Lens, 1995; Kenward *et al.*, 1998; Wauters *et al.*, 2004a; Steele *et al.*, 2005).



**Figura 3.5** – Esempio di scoiattolo rosso mentre manipola una noce.

Lo scoiattolo comune ha abitudini diurne. Già di primo mattino gli individui entrano in attività, intercalando pause di riposo, spesso a metà giornata, che diventano più lunghe in estate e in zone calde (Wauters, 2000). In estate-autunno *S. vulgaris* è molto attivo mentre in inverno prevale il riposo nel nido collocato in cavità di alberi, alla biforcazione del tronco principale o sui rami di piccole dimensioni ma densamente intrecciati, di forma tondeggianti, costituito da stecchi, paglie e foglie, e foderato di muschio e peli. Inoltre, lo scoiattolo rosso è un grande arrampicatore e corridore, può percorrere celermente i tronchi sia verso l'alto che verso il basso, riesce a saltare a terra da notevoli altezze utilizzando la coda come paracadute, mentre nella corsa la coda viene distesa longitudinalmente e utilizzata così come bilanciere.

Lo scoiattolo rosso è un animale solitario. L'organizzazione sociale si basa sulla gerarchia di dominanza tra maschi e femmine e, in misura minore, tra i due sessi. Esistono notevoli sovrapposizioni fra *core-area* dei maschi e tra maschi e femmine. I maschi cercano di sovrapporre il loro territorio con quello di più femmine adulte possibili, dipendendo maggiormente dalla densità delle femmine che dalle risorse alimentari disponibili (Wauters *et al.*, 1990; Wauters e Dhondt, 1992; Romeo *et al.*, 2010). Le femmine adulte difendono invece *core-area* quasi esclusive e con sufficienti risorse di cibo rispetto a quelle di altre femmine al fine di soddisfare la richiesta energetica durante la gestazione e la gravidanza (Wauters e Dhondt, 1992; Wauters *et al.*, 1995; Lurz *et al.*, 2000). Generalmente gli animali dominanti sono più grandi e più anziani. I maschi dominanti occupano aree più estese rispetto ai maschi più giovani. L'ampiezza dell'*home range* varia in base a: qualità dell'habitat (risorse alimentari e densità), stagione, attività riproduttiva, variazioni annuali nella disponibilità di semi e frutti (Wauters e Dhondt, 1992, 1993, 1998; Andr en e Delin, 1994; Lurz *et al.*, 1995, 1997, 2000; Wauters *et al.*, 2001). I maschi hanno *home range* pi  grandi delle femmine.

Lo scoiattolo comune   un animale poliginico. Le femmine hanno un poli-estro ma con periodo fertile di solo 24 ore per ciascun ciclo. Il maschio dominante riesce ad accoppiarsi in circa l'80% dei casi (Wauters *et al.*, 1990; Lee, 2000). A volte la femmina si accoppia anche con un maschio sub-dominante o con pi  maschi (Wauters *et al.*, 1990). L'attivit  riproduttiva   suddivisa in due periodi: in inverno-primavera (da gennaio a maggio) e in primavera-estate (da maggio a settembre). Le femmine sono in estro da gennaio a giugno e in allattamento da febbraio/marzo a fine settembre/inizio ottobre (Wauters e Dhondt, 1989 a,b, 1995; Wauters e Lens, 1995). La gestazione   di 38-40 giorni e il numero di piccoli per cucciolata varia tra uno e cinque. Alla nascita i piccoli pesano 10-15 g. I neonati sono glabri, ciechi e sordi. I peli crescono dall'ottavo-nono giorno di vita (Figura 3.6). Lo svezzamento si ha dopo circa 10 settimane di vita (Gurnell, 1987). Il peso della madre e quello dei suoi piccoli allo svezzamento influenzano la probabilit  di sopravvivenza durante i primi sei mesi di vita (Wauters *et al.*, 1993). L'et  riproduttiva per le femmine   intorno ai 10-14 mesi di vita e possono partorire una o due volte l'anno mentre per i maschi la maturit  sessuale si ha intorno ai 12 mesi. I maschi non partecipano alle cure parentali. Nelle femmine della specie il peso corporeo e lo status sociale sono indicatori di fertilit . Il peso minimo per poter entrare in estro   di 300-325 g (Wauters e Dhondt, 1989b; Lurz, 1995; Munch, 1998; Magris e Gurnell, 2002). Le femmine di peso maggiore occupano gli *home range* di migliore qualit  e tendono ad avere una cucciolata pi  numerosa (Wauters e Dhondt, 1989b, 1995).



**Figura 3.6** – Cuccioli di scoiattolo comune europeo di circa cinque settimane di vita.

La comunicazione intraspecifica è effettuata mediante secrezioni di diversi tipi di ghiandole e urina come segnali olfattivi, mentre la comunicazione vocale è associata a tipiche posizioni del corpo e movimenti della coda che può essere anche utilizzata per lanciare l'allarme in presenza di predatori.

La *sex ratio* nello scoiattolo è circa 1:1. La durata della vita è in media di circa 3-4 anni, alcuni individui sopravvivono però in natura fino a 6-7 anni (Wauters e Dhondt, 1995) e fino a 14 anni in cattività. La mortalità è dovuta a varie cause: predazione, inedia, basse temperature e infezioni da parassiti. La predazione è ad opera di vari rapaci e mammiferi carnivori.

Gli scoiattoli sembrano capaci di prevedere la maggior produttività degli alberi e di conseguenza partoriscono una cucciolata aggiuntiva e più numerosa in anticipo rispetto al periodo di maturazione dei semi. Questo avviene solo in quegli anni in cui gli alberi massimizzano la loro produzione di semi (Boutin *et al.*, 2006).

### **3.5 STATO DI CONSERVAZIONE**

Secondo la IUCN lo scoiattolo comune europeo si colloca nella Red List sotto la categoria LC, ovvero *least concern* (Shar *et al.*, 2008). Anche nella "Lista rossa dei Vertebrati Italiani" (Rondinini *et al.*, 2013) *Sciurus vulgaris* appartiene alla categoria LC. Tuttavia a causa dei rischi dovuti all'espansione dell'areale italiano di *Sciurus carolinensis* e alla frammentazione degli habitat idonei, specialmente nelle aree più antropizzate, la specie è meritevole di interventi di conservazione. Attualmente in Italia risulta protetta dalla L.N. 157/92 ed è in atto il progetto "LIFE09 NAT/IT/00095 EC-SQUARE" per il controllo delle popolazioni di scoiattolo grigio in Lombardia, Piemonte e Liguria. Ancora più recentemente si è dato inizio anche al progetto "LIFE13 BIO/IT/00204 U-SAVEREDS" per il controllo dello scoiattolo grigio in Umbria, vista la recente introduzione della specie alloctona in provincia di Perugia.

# 4 MATERIALI E METODI

## 4.1 FASE DI CAMPO E PREPARAZIONE ESCHE

La fase di campo è stata svolta tra maggio e dicembre del 2013. La procedura sperimentale utilizzata è quella del “*cafeteria feeding experiment*” (Rozin, 1976), basata sul sistema *self service* che permette allo scoiattolo di avere libero accesso ai due tipi di alimento presenti su un'unica mangiatoia. La scelta alimentare dello scoiattolo è stata rilevata mediante l'utilizzo di fototrappole che registravano filmati mentre lo scoiattolo si trovava sulla mangiatoia (Figura 4.1). Gli scoiattoli sono stati inizialmente abituati a frequentare le mangiatoie, durante il mese precedente l'inizio dell'esperimento, mediante la tecnica del *prebaiting*, che consiste nel posizionare su entrambi i piatti della mangiatoia delle nocciole non trattate in modo da attirarli nel punto di foraggiamento. Durante l'esperimento, ogni settimana venivano effettuate 2 somministrazioni di nocciole. Su un piattino venivano posizionate le nocciole di controllo non trattate, sull'altro quelle trattate con limonene. A ogni apporto di nocciole avveniva anche il controllo della batteria e della scheda di memoria della fototrappola e l'eventuale sostituzione, quando necessario delle medesime.

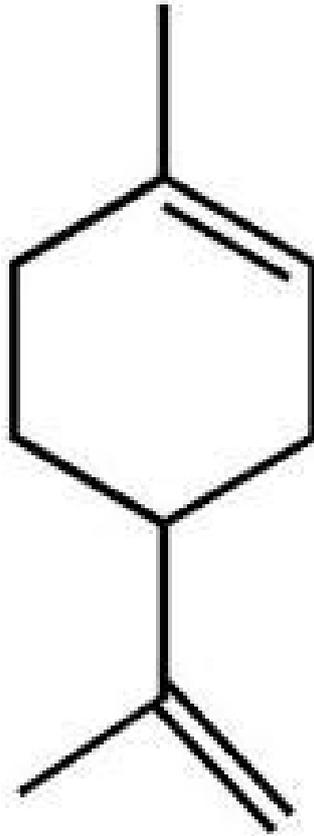


**Figura 4.1** – Mangiatoia e fototrappola in VAN01.

### 4.1.1 Preparazione esche

In laboratorio avveniva la preparazione delle nocciole trattate. Per i dosaggi e le metodologie di preparazione, essenziale è stato il contributo del professor S. Banfi dell'unità di ricerca di chimica organica del Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate.

La sostanza oggetto dello studio è il limonene (Figura 4.2), metabolita secondario presente all'interno delle pigne di abete bianco. Questo composto organico è una molecola chirale e presenta perciò due enantiomeri: l'(-)-limonene e il (+)-limonene.



**Figura 4.2** – Molecola di limonene.

Dieci grammi di nocciole sgusciate e tagliate a metà venivano messe a contatto con l'(R)-(+)-limonene in contenitori isolati dall'ambiente esterno per 24 ore. Per l'esperimento sono stati utilizzati 4 dosaggi crescenti di limonene: 20  $\mu$ l, 60  $\mu$ l, 200  $\mu$ l e 600  $\mu$ l. Il limonene è però una sostanza volatile che si disperde una volta a contatto con l'ambiente esterno. Infatti dopo 2 giorni dalla somministrazione sulle mangiatoie di nocciole trattate, la concentrazione di limonene è stata considerata troppo bassa per essere utile ai fini dell'esperimento.

#### **4.1.2 Mangiatoie**

Le mangiatoie sono state realizzate utilizzando delle assi in legno, trattate con materiale impregnante atossico, sulle quali sono stati fissati 2 piattini (Figura 4.3). Davanti al piattino dove sarebbero state posizionate le nocciole trattate, è stata incisa la lettera L sul legno della mangiatoia, per distinguere facilmente nelle riprese video il piattino destinato alle nocciole trattate da quello per le nocciole di controllo. La mangiatoia era sufficientemente ampia per permettere allo scoiattolo una scelta agevole dell'alimento. Ciascuna mangiatoia è stata poi fissata a un tronco mediante filo da giardiniere con anima metallica, a un'altezza sufficiente da impedire ad animali come il capriolo di nutrirsi delle nocciole. Le 3 mangiatoie sono state poste tra loro a una distanza tale da essere facilmente raggiungibili a piedi ma, allo stesso tempo, sufficientemente lontane per evitare che uno scoiattolo potesse utilizzare più di una mangiatoia.



**Figura 4.3** – Mangiatoia utilizzata per l'esperimento.

### 4.1.3 Fototrappole

Il fototrappolaggio è una tecnica recente utile per il monitoraggio indiretto attivo (Silveira *et al.*, 2003; Tobler *et al.* 2008). L'utilizzo di fototrappole permette di fare ricerche su diverse specie animali senza disturbare gli individui nelle loro azioni. La fototrappola (Figura 4.4) è una videocamera o fotocamera digitale in grado di registrare filmati o scattare foto in modo automatico al passaggio di un animale nel suo campo di azione mediante un sensore di rilevamento del movimento. Una fototrappola utilizza sensori infrarossi (*passive infrared detector*, PIR) capaci di reagire al movimento sia nelle ore notturne che diurne. Una delle caratteristiche di questo strumento è la possibilità di utilizzare una illuminazione a LED a 940 nm (luce infrarossa) che consente di riprendere gli animali di notte, con foto e filmati in bianco e nero di ottima qualità. La registrazione di foto o video avviene su schede di memoria *secure digital* (SD).

Il modello di fototrappola utilizzato è la Scout Guard 550V. Le fototrappole sono state posizionate sopra le mangiatoie, fissandole su rami orizzontali che sporgevano dal tronco, a circa un metro di altezza dalla mangiatoia, per avere una buona inquadratura dei 2 piatti. La fototrappola ha registrato filmati in formato .avi ed è stata impostata su modalità video, con 60 secondi di durata del filmato e 2 secondi di intervallo tra un video e il successivo.



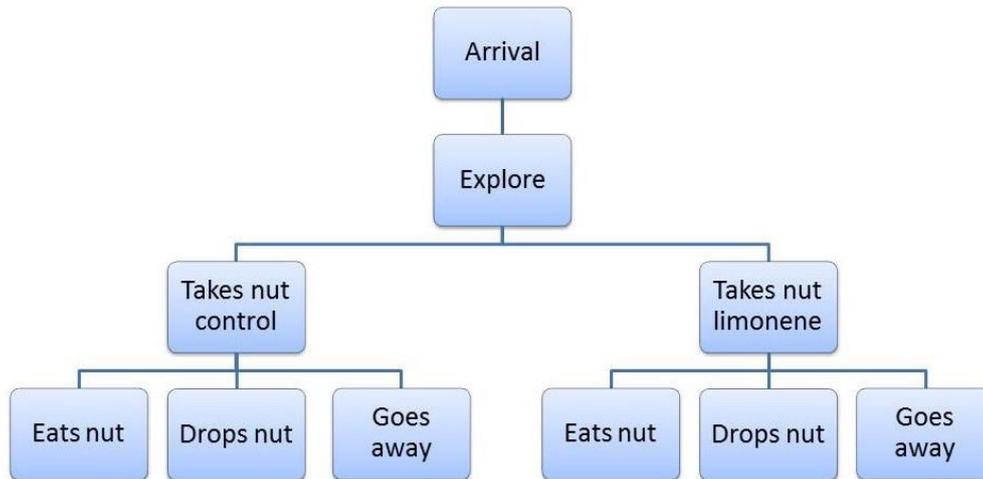
**Figura 4.4** – Esempio di posizionamento di una fototrappola sulla verticale di una delle tre mangiatoie.

## **4.2 ANALISI DATI**

### **4.2.1 Analisi filmati**

I video registrati con l'utilizzo delle fototrappole sono stati sottoposti all'analisi, eliminando quelli non adatti ai fini dell'esperimento poiché condizionati da falsi *triggers* o poiché innescati dal passaggio di specie non *target*. L'analisi è stata condotta con il software *CowLog 2.0* (Hänninen e Pastell, 2009). Questo programma è un software *open-source*, in grado di semplificare l'analisi di comportamenti registrati su video digitali, ed è di facile uso, oltre ad essere modificabile secondo necessità. *CowLog* inoltre permette di associare ad ogni comportamento la sequenza temporale con cui questo comportamento accade. Il programma si presenta con due finestre principali: una finestra di codifica, che è un'interfaccia grafica usata per scegliere il file video e che possiede dei pulsanti per segnalare i vari comportamenti osservati durante la visione del filmato, e una finestra dedicata al video, che mostra il filmato in corso di analisi. L'utente seleziona i pulsanti relativi alle tipologie di comportamento oggetto di osservazione, definendoli mediante un apposito file di configurazione, e *CowLog* rileva e trascrive su file gli eventi causati dalla pressione dei pulsanti da parte dell'operatore che sta visionando il video: in questo modo vengono registrati successione, tipologia e durata dei diversi comportamenti.

Per questo studio si è creato uno specifico etogramma (Figura 4.5) con i diversi codici di comportamento dello scoiattolo osservabili sulla mangiatoia.



**Figura 4.5** – Etogramma semplificato utilizzato in *Cowlog* ai fini sperimentali indicati.

Al fine di uniformare le osservazioni, si è definito il comportamento “*Arrival*” come il momento in cui lo scoiattolo poggia una zampa sull’asse di legno della mangiatoia. Segue poi una fase di esplorazione, identificata con il codice “*Explore*”. Dopo l’esplorazione, sono stati previsti due possibili comportamenti: “*Takes nut control*” nel caso in cui lo scoiattolo scelga di manipolare la nocciola di controllo, o “*Takes nut limonene*” nel caso in cui lo scoiattolo manipoli la nocciola trattata. Dopo la manipolazione, per ciascuno dei 2 tipi di alimenti, nella sequenza comportamentale prevista, lo scoiattolo può o alimentarsi sulla mangiatoia (“*Eats nut*”), o scartare la nocciola (“*Drops nut*”). Quando anche l’ultima zampa dello scoiattolo lascia la mangiatoia, l’azione osservata è considerata conclusa con il codice “*Goes away*”. Va sottolineato come l’etogramma qui presentato si riferisca a una ideale sequenza comportamentale completa: in molti casi tale sequenza può essere “interrotta” senza uno sviluppo completo.

#### 4.2.2 Analisi statistiche

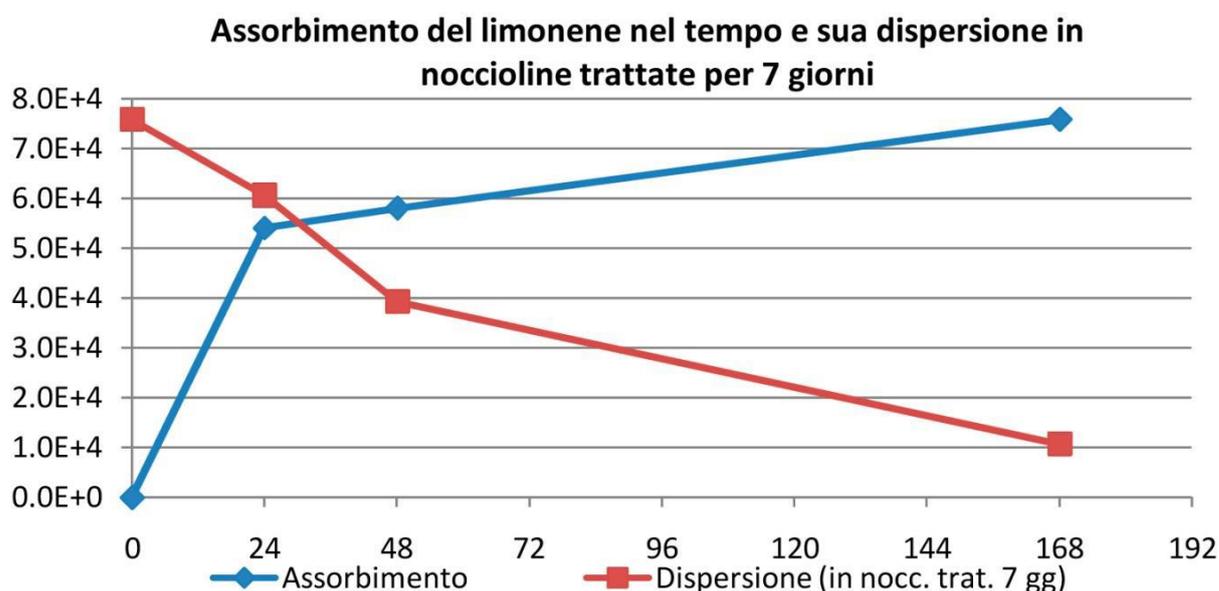
*CowLog* richiede l’utilizzo del programma R (R Core Team, 2013) per l’analisi dei file di dati. Grazie ad R l’utente può calcolare la frequenza e la durata dei vari comportamenti codificati e produrre grafici di sintesi. R è un sistema di analisi statistica, caratterizzato da un ambiente integrato e coerente, è semplice da gestire, permette una buona manipolazione dei dati, possiede molti strumenti per l’analisi statistica e per i calcoli con operazioni complesse ed è dotato di numerose potenzialità grafiche. R è un software *open source* e in virtù di ciò si può accedere al codice sorgente e modificarlo e ha un costo zero per l’utente finale. A differenza di *S-Plus*, progenitore di R, è completamente gratuito e si basa sullo stesso linguaggio “S” (Becker e Chambers, 1984).

Per questo studio, attraverso R, si è effettuata un’analisi log-lineare basata su tabelle di contingenza (Agresti, 2007; Thompson, 2009). Si è verificato se il numero di eventi registrati dipendesse dalle condizioni sotto le quali sono stati registrati, e se sì, in quale misura. Sono state considerate per l’analisi solo le situazioni con uguale quantità di nocciole presente su entrambi i piatti di una mangiatoia, in modo che lo scoiattolo avesse la stessa condizione di scelta. Si sono considerati per l’analisi: la data e l’orario di innesco delle mangiatoie, la concentrazione di limonene somministrata e la quantità di nocciole presente nei piattini prima e dopo la visita dello scoiattolo. Con l’analisi di contingenza si è verificato se le differenze nel numero degli eventi osservati (consumo o manipolazione di uno dei due tipi di nocciole) dipendessero dal caso o dai fattori (concentrazione di limonene, quantità di nocciole, ecc.), considerati singolarmente, così come dalla loro combinazione.

# 5 RISULTATI E DISCUSSIONE

## 5.1 ELABORAZIONE DEI DATI

I dati sono stati analizzati tenendo conto della natura della sostanza organica utilizzata. Infatti il limonene è un composto volatile, che dopo un certo tempo a contatto con l'aria, si disperde nell'ambiente circostante. Dalle analisi chimiche di laboratorio, si è valutato che il tempo di persistenza utile del limonene sulle nocciole è di 48 ore dopo la somministrazione sulle mangiatoie, passate le quali, la concentrazione di limonene è stata considerata troppo bassa per essere utile ai fini della ricerca (Figura 5.1).



**Figura 5.1** – Curve di dispersione e di assorbimento del limonene contenuto nelle nocciole trattate con in ascissa il tempo espresso in ore e in ordinata la concentrazione di limonene.

Sono 2 le tipologie di eventi, mutuamente esclusivi, che sono state prese in considerazione nell'analisi: in un primo caso sono stati considerati i comportamenti “*Eats nut control*” ed “*Eats nut limonene*”, ovvero se lo scoiattolo si fosse nutrito di nocciole trattate o di controllo; in un secondo caso la coppia di eventi mutuamente esclusivi ha compreso gli eventi “*Takes nut control*” e “*Takes nut limonene*”, ovvero se al momento della scelta lo scoiattolo manipolasse nocciole trattate o non trattate, indipendentemente dal successivo comportamento (cioè se poi si cibasse sulla mangiatoia della nocciola presa o se la trasportasse in un altro luogo). Questa seconda coppia di comportamenti mutuamente esclusivi è stata considerata ipotizzando il fatto che una sostanza repellente, creata da una pianta, è più utile se agisce già sulla manipolazione prima che sull'effettivo consumo per evitare danneggiamenti al seme della specie arborea e quindi un danno certo alle capacità riproduttive.

I fattori analizzati nell'esperimento sia singolarmente che nelle varie interazioni reciproche sono i seguenti:

- BEHAVNAME: rappresenta i comportamenti osservati ovvero la contrapposizione degli eventi “*Eats nut control*” vs. “*Eats nut limonene*” e “*Takes nut control*” vs. “*Takes nut*

*limonene*". Tale fattore è stato utilizzato quale variabile dipendente, vale a dire, si è ipotizzato che i valori assunti dagli altri fattori potessero influenzare le probabilità di verificarsi di uno dei due eventi contrapposti sopra citati;

- DOSE: indica la quantità di limonene utilizzata nella preparazione delle esche ovvero 20 µl, 60 µl, 200 µl e 600 µl;
- NUTS : rappresenta il numero di nocciole presenti sui piattini della mangiatoia, al momento dell'osservazione dei vari filmati, che è stato suddiviso in 3 classi di abbondanza, cioè da 1 a 4 nocciole, da 4 a 7 e da 7 a 10.

## 5.2 “EATS NUT CONTROL” vs. “EATS NUT LIMONENE”

**Tabella 5.1** – Evento “*Eats nut*” in relazione al numero di nocciole disponibili e alla quantità di limonene.

- NUTS = 1-4

	20µl	60µl	200µl	600µl
Eats nut control	3	0	18	9
Eats nut limonene	1	0	16	6

- NUTS = 4-7

	20µl	60µl	200µl	600µl
Eats nut control	5	0	21	6
Eats nut limonene	3	0	17	8

- NUTS = 7-10

	20µl	60µl	200µl	600µl
Eats nut control	5	7	32	14
Eats nut limonene	2	6	19	19

Dalla Tabella 5.1 si può vedere che nei casi con 60 µl di limonene non si sono registrati eventi di alcun tipo per le classi di abbondanza da 1 a 4 nocciole e da 4 a 7, mentre sono stati osservati 13 eventi di alimentazione solo per la classe più alta da 7 a 10. Per tale motivo si è preferito eliminare dall'analisi gli eventi verificatisi con nocciole trattate con 60 µl di limonene, poiché il numero di eventi rilevati è nullo per due livelli su tre del fattore considerato, e questo potrebbe portare ad artefatti nell'analisi. È probabile che avendo potuto disporre di un numero di filmati maggiore la situazione sarebbe stata diversa. Analogamente, si sono verificati pochi eventi (a prescindere dal risultato, cioè consumo di nocciola trattata o meno) con la concentrazione di 600 µl, e, a titolo prudenziale, si è deciso di non considerare anche questa serie di osservazioni. La Tabella 5.1 risulta così ridotta nella Tabella 5.2, dove compaiono solo i casi a 20 µl, che è la concentrazione di limonene presente naturalmente nei semi dell'abete bianco secondo le analisi del laboratorio chimico, e i casi a 200 µl, concentrazione che è possibile considerare come un vero e proprio superstimolo, nell'ipotesi che il contenuto in limonene abbia un effetto deterrente.

**Tabella 5.2** – Evento “*Eats nut*” considerato solo alle dosi di 20 $\mu$ l e 200 $\mu$ l.

- NUTS = 1-4

	20 $\mu$ l	200 $\mu$ l
Eats nut control	3	18
Eats nut limonene	1	16

- NUTS = 4-7

	20 $\mu$ l	200 $\mu$ l
Eats nut control	5	21
Eats nut limonene	3	17

- NUTS = 7-10

	20 $\mu$ l	200 $\mu$ l
Eats nut control	5	32
Eats nut limonene	2	19

A partire dal sottoinsieme di dati qui presentato, si è innanzitutto proceduto al calcolo del cosiddetto “modello saturo”, cioè un modello log-lineare in grado di generare i medesimi valori di frequenza osservati, considerando tutti i fattori e tutte le loro possibili interazioni, esaurendo pertanto tutti i gradi di libertà disponibili. La procedura standard per l'analisi log-lineare consiste infatti nell'eliminazione progressiva di fattori dal modello saturo, valutando se i vari modelli ridotti consentano di ottenere come predizione delle frequenze non significativamente differenti dalle osservate. La capacità predittiva di ciascun modello viene valutata calcolandone il criterio di informazione di Akaike (AIC, Tabella 5.3).

Dalla tabella sotto riportata, si vede come sia possibile per l'insieme di dati relativo al comportamento di alimentazione, semplificare il modello, vista la continua decrescita del valore di AIC fino alla riduzione ai singoli valori: non sono quindi significative le possibili interazioni tra fattori.

**Tabella 5.3** – Eliminazione progressiva di fattori dal modello saturo, e identificazione mediante criterio di informazione di Akaike del miglior modello ridotto possibile.

Loglinear modelling by backward stepwise regression.  
Behaviour: 'Eats nut'

- Start: AIC=24

~BEHAVNAME \* DOSE \* NUTS

	Df	AIC
- BEHAVNAME:DOSE:NUTS	2	20.244
<none>		24.000

- Step: AIC=20.24

~BEHAVNAME + DOSE + NUTS + BEHAVNAME:DOSE + BEHAVNAME:NUTS  
+ DOSE:NUTS

	Df	AIC
- BEHAVNAME:NUTS	2	17.183
- DOSE:NUTS	2	17.257
- BEHAVNAME:DOSE	1	19.092
<none>		20.244

- Step: AIC=17.18

~BEHAVNAME + DOSE + NUTS + BEHAVNAME:DOSE + DOSE:NUTS

	Df	AIC
- DOSE:NUTS	2	14.148
- BEHAVNAME:DOSE	1	15.983
<none>		17.183

- Step: AIC=14.15

~BEHAVNAME + DOSE + NUTS + BEHAVNAME:DOSE

	Df	AIC
- BEHAVNAME:DOSE	1	12.948
<none>		14.148
- NUTS	2	14.402

- Step: AIC=12.95

~BEHAVNAME + DOSE + NUTS

	Df	AIC
<none>		12.948
- NUTS	2	13.202
- BEHAVNAME	1	15.736
- DOSE	1	96.033

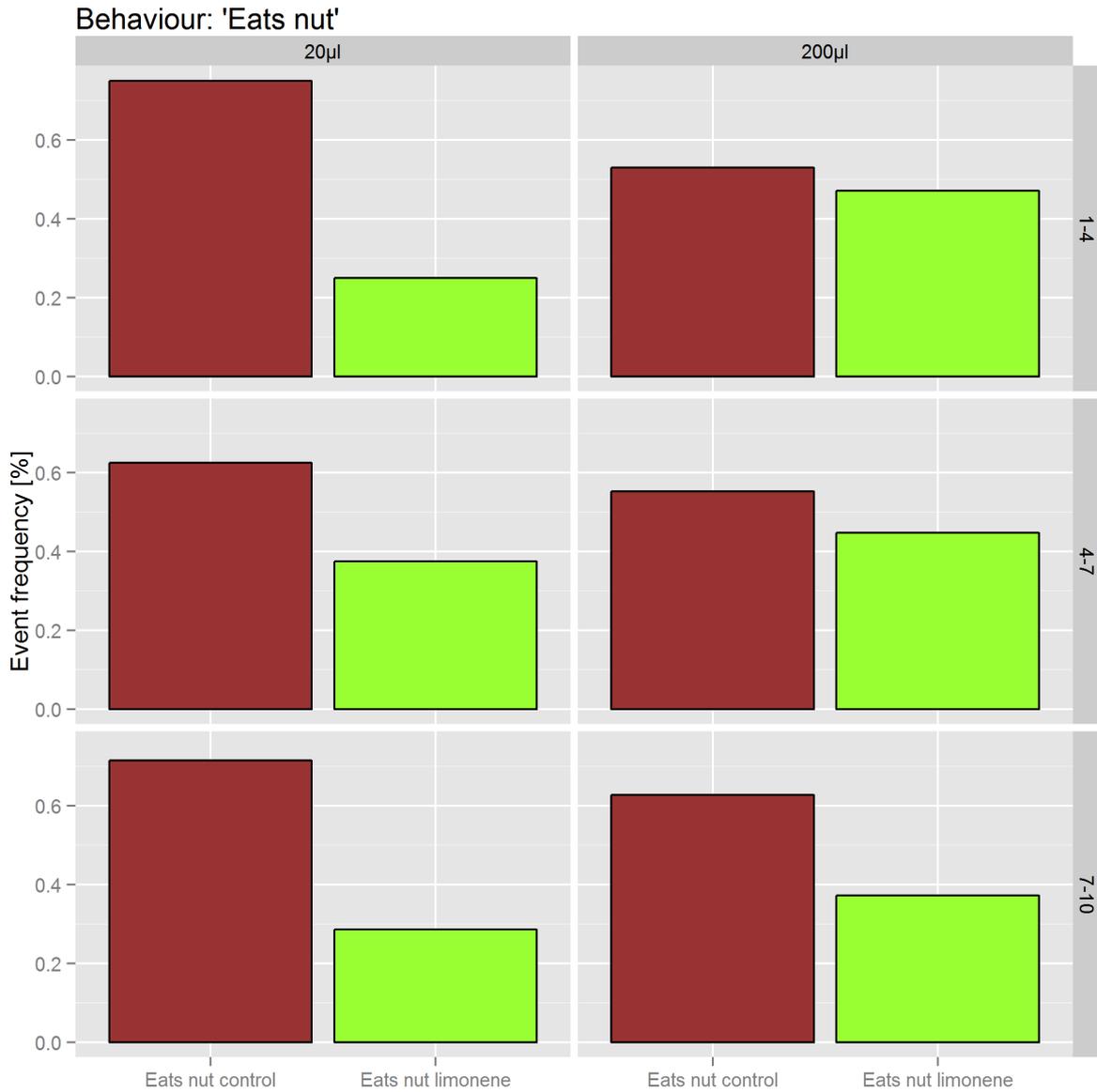
Un'analisi della devianza effettuata mediante test Chi quadrato (Tabella 5.4) indica la significatività dei vari fattori rimasti nel modello semplificato.

**Tabella 5.4** – Analisi della devianza per l'evento “*Eats nut*”.

	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			11	97.074	
BEHAVNAME	1	4.788	10	92.287	0.02867*
DOSE	1	85.085	9	7.202	< 2e-16 ***
NUTS	2	4.254	7	2.948	0.11920
BEHAVNAME:DOSE	1	0.800	6	2.148	0.37112
BEHAVNAME:NUTS	2	0.891	4	1.257	0.64060
DOSE:NUTS	2	1.014	2	0.244	0.60240
BEHAVNAME:DOSE:NUTS	2	0.244	0	0.000	0.88524
---					
Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1					

	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			11	97.074	
BEHAVNAME	1	4.788	10	92.287	0.02867 *
DOSE	1	85.085	9	7.202	< 2e-16 ***
---					
Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1					

Poiché per valori di Chi quadrato con probabilità inferiore a 0.05 si considera che il risultato abbia bassissime probabilità di essere casuale, e viene allora considerato come “significativo”, dalla tabella sopra riportata si evince come per l'evento “*Eats nut*” sia possibile utilizzare il modello ridotto anziché il saturo, poiché solo DOSE, cioè la quantità di limonene, influisce sul comportamento alimentare (infatti DOSE è l'unico tra i vari fattori con Chi quadrato <0.05).



**Figura 5.2** – Grafico a barre che mostra il confronto tra le frequenze osservate degli eventi “*Eats nut control*” vs “*Eats nut limonene*” in base alla quantità di nocciole presenti e alla concentrazione di limonene.

Dalla figura 5.2 si può osservare come la frequenza osservata dell’evento “*Eats nut limonene*” sia sempre minore rispetto all’evento “*Eats nut control*”, anche se a volte esiste poca differenza tra i due eventi: la significatività di tali differenze, per quanto piccole, non è dovuta al caso.

### 5.3 “TAKES NUT CONTROL” vs “TAKES NUT LIMONENE”

**Tabella 5.5** - Evento “*Takes nut*” in relazione al numero di nocchie disponibili e alla dose di limonene.

- NUTS = 1-4

	20µl	60µl	200µl	600µl
Eats nut control	15	0	44	9
Eats nut limonene	4	0	49	12

- NUTS = 4-7

	20µl	60µl	200µl	600µl
Eats nut control	15	0	76	14
Eats nut limonene	9	0	61	8

- NUTS = 7-10

	20µl	60µl	200µl	600µl
Eats nut control	12	23	106	17
Eats nut limonene	9	14	28	22

Dalla tabella 5.5 si vede come anche per il comportamento di manipolazione risulti conveniente ai fini di un'analisi dei dati non affetta da artefatti dovuti al campionamento non omogeneo eliminare i casi osservati a concentrazioni di limonene di 60µl e 600µl. L'insieme di dati ridotti utilizzato per l'analisi è riportato in Tabella 5.6.

**Tabella 5.6** - Evento “*Takes nut*” considerato solo alle dosi di 20µl e 200µl.

- NUTS = 1-4

	20µl	200µl
Eats nut control	15	44
Eats nut limonene	4	49

- NUTS = 4-7

	20µl	200µl
Eats nut control	15	76
Eats nut limonene	9	61

- NUTS = 7-10

	20µl	200µl
Eats nut control	12	106
Eats nut limonene	9	28

In questo caso il modello saturo non può essere ridotto poiché anche l'interazione tra tutti e 3 i fattori risulta avere effetti significativi, e pertanto non può essere considerata casuale come si evince dalle Tabelle 5.7 e 5.8.

**Tabella 5.7** – Valori dell'AIC per l'interazione tra tutti i 3 fattori.

• Start: AIC=24

~BEHAVNAME \* DOSE \* NUTS

	Df	AIC
<none>		24.000
- BEHAVNAME:DOSE:NUTS	2	30.976

**Tabella 5.8** - Analisi della devianza per l'evento "Takes nut".

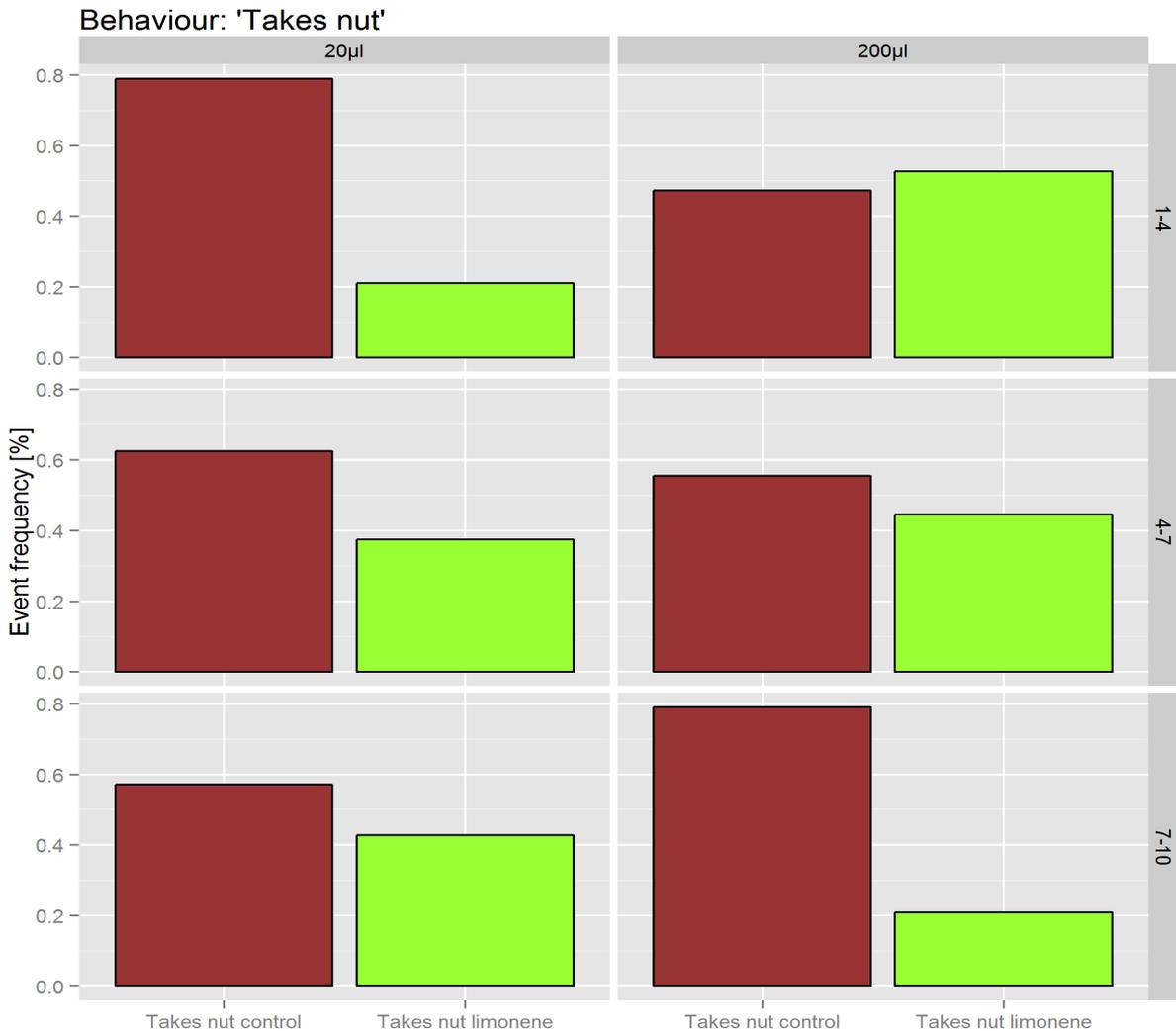
	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			11	302.240	
BEHAVNAME	1	27.549	10	274.690	1.532e-07 ***
DOSE	1	232.190	9	42.501	< 2.2e-16 ***
NUTS	2	10.420	7	32.080	0.005461 **
BEHAVNAME:DOSE	1	0.294	6	31.787	0.587849
BEHAVNAME:NUTS	2	20.023	4	11.764	4.489e-05 ***
DOSE:NUTS	2	0.788	2	10.976	0.674216
BEHAVNAME:DOSE:NUTS	2	10.976	0	0.000	0.004137 **
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			11	302.240	
BEHAVNAME	1	27.549	10	274.690	1.532e-07 ***
DOSE	1	232.190	9	42.501	< 2.2e-16 ***
NUTS	2	10.420	7	32.080	0.005461 **
BEHAVNAME:NUTS	2	20.023	5	12.058	4.489e-05 ***
BEHAVNAME:DOSE:NUTS	5	12.058	0	0.000	0.034006 *
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			11	302.240	
BEHAVNAME	1	27.549	10	274.690	1.532e-07 ***
DOSE	1	232.190	9	42.501	< 2.2e-16 ***
NUTS	2	10.420	7	32.080	0.005461 **
BEHAVNAME:DOSE	1	0.294	6	31.787	0.587849
BEHAVNAME:NUTS	2	20.023	4	11.764	4.489e-05 ***
DOSE:NUTS	2	0.788	2	10.976	0.674216
---					

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dalle tabelle sopra riportate si deduce come l'evento "*Takes nut*" dipenda anche dall'interazione di terzo ordine tra i fattori, rendendo impossibile ridurre il modello saturo nonostante le interazioni di secondo grado BEHAVNAME:DOSE e DOSE:NUTS siano probabilmente casuali. La manipolazione non dipende solo dalla quantità di limonene, come per l'evento "*Eats nut*", ma anche da tutti gli altri fattori oltre che dalle loro interazioni.



**Figura 5.3** - Istogramma che mostra il confronto tra gli eventi "*Takes nut control*" vs "*Takes nut limonene*" in base alla quantità di nocciole presenti e alla concentrazione di limonene.

Anche per l'evento "*Takes nut*", nella figura 5.3, si può vedere come la frequenza di eventi in cui viene manipolata una nocciola trattata sia sempre minore rispetto al numero di nocciole di controllo manipolate. L'unico caso differente è alla concentrazione di 200µl, nella classe di abbondanza più bassa (tra 1 e 4 nocciole), dove gli scoiattoli sembrano aver preferito le nocciole trattate. Probabilmente questo dato risulterebbe in accordo con gli altri se si fossero ottenute più osservazioni in quella classe di abbondanza. Si può affermare sulla base di questi risultati che il limonene agisce come sostanza repellente già al momento della manipolazione.

## **6 CONCLUSIONI**

I risultati di questa attività di ricerca hanno consentito di approfondire le conoscenze sulle scelte alimentari dello scoiattolo comune europeo, una specie di grande interesse nell'ambito degli ecosistemi forestali montani, nei quali svolge un ruolo chiave sia nella dispersione dei semi di specie arboree sia nella dispersione di spore fungine di funghi ipogei ed epigei, oltre a rappresentare una specie preda di grande interesse sia per mammiferi predatori sia per rapaci diurni.

In particolare questo studio ha permesso di valutare il ruolo del limonene, metabolita secondario prodotto da certe piante tra cui l'abete bianco, come causa della ridotta consumazione dei semi di abete bianco rispetto a quelli di abete rosso da parte di *Sciurus vulgaris* e quindi di indagare le cause dell'apparente contrasto con il modello del *foraging behaviour* basato sull'Optimal Foraging Theory.

I risultati ottenuti confermano le ipotesi sperimentali formulate, in quanto la presenza di limonene sembra scoraggiare gli scoiattoli dal consumare nocchie trattate con questa sostanza, confermando alcuni precedenti lavori (Rubino *et al.*, 2012) che avevano ipotizzato l'effetto repellente del limonene sui semi di abete bianco (che contengono quantità di limonene 500 volte maggiori di quelli di abete rosso), nonostante il loro più alto contenuto nutrizionale ed energetico. Infatti lo scoiattolo comune sfrutta in modo estremamente limitato i semi di abete bianco (*Abies alba*), specie tipica dell'ambiente montano spesso in associazione con il faggio (*Fagus sylvatica*), come fonte di cibo nei 3 mesi (agosto-ottobre) in cui sono disponibili, rispetto a quelli dell'abete rosso (*Picea abies*), che occupa livelli altitudinali maggiori e che rappresenta la risorsa più utilizzata dalla specie.

Quindi, è possibile affermare che il limonene agisca come sostanza deterrente nella consumazione dei semi in cui è contenuto sia a livello della manipolazione dell'alimento, sia a livello dell'ingestione, come mostrano i risultati del presente lavoro e come dimostrato anche in studi condotti su altri sciuridi (Barthelmess, 2001) e su diverse specie di ungulati (Austin *et al.*, 1989).

Questo studio rappresenta un tipico caso di interazione tra produttore e consumatore, che mostra come le piante sviluppino composti non legati al loro metabolismo basale per difendersi dai predatori di semi e per aumentare il loro successo riproduttivo.

## **7 RINGRAZIAMENTI**

Ringrazio tutto lo staff del gruppo UAGRA dell'Università degli Studi dell'Insubria, in particolare i professori Adriano Martinoli, Damiano Preatoni e Lucas Wauters per il contributo dato per la realizzazione della tesi.

Un caro ringraziamento a Ambrogio Molinari dell'Istituto Oikos, per i preziosi consigli durante il lavoro di campo e durante la scrittura della tesi e per avermi sopportato per tutto questo tempo. Vorrei inoltre ringraziare il professor Banfi dell'Università degli Studi dell'Insubria per le analisi chimiche effettuate.

Grazie anche all'ormai laureato Davide Ribolini con cui ho condiviso questa esperienza e, come lui direbbe, grazie "per le chiacchiere e per tutto il limonene inalato durante la preparazione delle esche in laboratorio".

Grazie a tutta l'equipe del Bosco WWF di Vanzago e al suo direttore Andrea Longo, per avermi ospitato e per avermi permesso di svolgere il lavoro di campo presso di loro.

Un grazie anche a tutti gli amici del CRAS di Vanzago e ovviamente a Luigi Migliavacca, per avermi permesso di diventare una di loro, dandomi l'opportunità di fare una delle esperienze più bella della mia vita...

Un sincero ringraziamento al CAI di Varese per aver creduto nel mio lavoro e per l'importante riconoscimento offertomi.

Grazie ai miei compagni di corso con cui ho condiviso le lezioni e le uscite sul campo, i momenti spensierati oltre che le ansie e le paure da studenti.

E infine... Grazie ai miei nonni che mi hanno supportato in ogni modo durante tutti i miei anni di studio e durante la mia vita, e ovviamente ai miei genitori che mi hanno sostenuto in ogni momento dell'esistenza, bello o brutto che fosse, e a cui va il ringraziamento più grande perché senza di loro, senza il loro sostegno e il loro affetto, non sarei mai arrivata fin qui.

## **8 BIBLIOGRAFIA**

- Abbott, H.G., Quink, T.F., 1970.** Ecology of eastern white pine seed caches made by small mammals. *Ecology* 51, 271–278.
- Agresti A., 2007.** An Introduction to Categorical Data Analysis (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley Inter-Science. p. 212. ISBN 978-0-471-22618-5.
- Andr n H., Delin A., 1994.** Habitat selection in the Eurasian red squirrel, *Sciurus vulgaris*, in relation to forest fragmentation. *Oikos*, 70: 43-48.
- Armitage V. L., S. P. Rushton, P. W. W. Lurz, R. M. Fuller, 1997** – Modelling the dynamics of red squirrel populations in relation to invasion by grey squirrels: an individual based modelling approach. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz (eds)**, The Conservation of Red Squirrels, *Sciurus vulgaris* L., PTES, London: 97-104.
- Austin P.J., Suchar L.A., Robbins C.T., Hagerman A.E., 1989.** Tannin-binding proteins in saliva of deer and their absence in saliva of sheep and cattle. *Journal of Chemical Ecology* 15: 1335-1347.
- Bakkali, F., Aeverbeck, S., Aeverbeck, D., Idaomar, M., 2008.** Biological effects of essential oils: a review. *Food Chem. Toxicol.* 46, 446–475.
- Barthelmess E.L., 2001.** Effects of tannin and protein on food preference in eastern grey squirrels. *Ethology Ecology e Evolution* 13: 115-132.
- Becker, R.A., Chambers J.M., 1984.** S: An Interactive Environment for Data Analysis and Graphics. Pacific Grove, CA, USA: Wadsworth e Brooks/Cole. ISBN 0-534-03313-X.
- Benkman, C.W., 1995.** The impact of tree squirrels (*Tamiasciurus*) on limber pine seed dispersal adaptations. *Evolution* 49, 585–592.
- Bertolino S., Vizzini A., Wauters L. A., Tosi G., 2004a.** Consumption of hypogeous and epigeous fungi by red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in subalpine conifer forests. *Forest Ecology and Management*, 202: 227-233.
- Bertolino S., Cordero di Montezemolo N., Preatoni D., Wauters L. A., Martinoli A., 2014.** A grey future for Europe: *Sciurus carolinensis* is replacing native red squirrels in Italy. *Biol Invasions* 16: 53-62.
- Blytt, H.J., Guscar, T.K., Butler, L.G., 1988.** Antinutritional effects and ecological significance of dietary condensed tannins may not be due to binding and inhibiting digestive enzymes. *J. Chem. Ecol.* 14, 1455–1465
- Boutin S., Wauters L.A., Mcadam A.G., Humphries M.M., Tosi G., Dhondt A.A., 2006.** Anticipatory reproduction and population growth in seed predators. *Science*, 314: 1928-1930.
- Breitmaier, E., 2006.** Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmaca Pherormones. Wiley-VCH, Oxford, UK.
- Carleton M.D., Musser G.G., 2005.** Rodentia. In: **Wilson D.E., Reeder D.M. (eds.)**. Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference (3<sup>o</sup> ediz.). *Johns Hopkins University Press, Baltimore*, pp: 745–752.
- Celada C., Bogliani G., Gariboldi A. e Maracci A., 1994.** Occupancy of isolated woodlots by the red squirrel *Sciurus vulgaris* L. in Italy. *Biological Conservation*, 69: 239-253.
- Cheng Zong, Lucas A. Wauters, Stefan Van Dongen, Veronica Mari, Claudia Romeo, Adriano Martinoli, Damiano Preatoni, Guido Tosi, 2010.** Annual variation in predation and dispersal of Arolla pine (*Pinus cembra* L.) seeds by Eurasian red squirrels and other seed-eaters. *Forest Ecology and Management* 260 (2010) 587–594
- Degn H. J., 1973.** Systematic position, age criteria and reproduction of Danish red squirrels (*Sciurus vulgaris* L.). *Danish Review of Game Biology*, 8: 1-24.

- Di Pierro, E., Ghisla, A., Wauters, L.A., Molinari, A., Martinoli, A., Gurnell, J., Tosi, G., 2011.** The effects of seed availability on habitat use by a specialist seed predator. *Eur. J. Wildl. Res.* 57, 585–595.
- Duff J. P., A. Scott, I. F. Keymer, 1996** – Parapoxvirus infection of the grey squirrel. *Mammal News*, The quarterly Newsletter of the Mammal Society: 10.
- Emlen J.M., 1966.** The role of time and energy in food preferences. *Am. Nat.* 100: 611-617.
- EPA, 1994.** R.E.D Facts – Limonene. United States Environment Protection Agency, Washington, DC
- Farentinos, R.C., Capretta, P.J., Kepner, R.E., Littlefield, V.M., 1981.** Selective herbivory in tassel-eared squirrels: role of monoterpenes in Ponderosa pine chosen as feeding trees. *Science* 213, 1273–1275.
- FDA (Food and Drug Administration), 2003.** Substances generally recognized as safe - Sec. 182.60 Synthetic flavoring substances and adjuvants.
- Forget, P.-M., Lambert, J.E., Hulme, P.E., Vander Wall, S.B., 2005.** Seed Fate: Predation, Dispersal and Seedling Establishment. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, UK.
- Genovesi P. e S. Bertolino, 2001** – Linee guida per il controllo dello Scoiattolo grigio (*Sciurus carolinensis*) in Italia. Quad. Cons. Natura, 4, Min. Ambiente – Ist. Naz. Fauna Selvatica.
- Genovesi P., G. Amori, 1999** – Conservation of *Sciurus vulgaris* and eradication of *Sciurus carolinensis* in Italy. Council of Europe, Environmental encounters, 41: 101-106.
- Gershenzon J., Kreis W., 1999.** Biochemistry of terpenoids: monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes, sterols, cardiac glycosides and steroid saponins. In: Wink M. (ed.). Biochemistry of plant secondary metabolism. Annual plant reviews, Volume 2. Sheffield Academic Press Ltd.
- Gurnell J., 1983** – Squirrel numbers and the abundance of tree seed supplies. *Mamm. Rev.*, 13: 133-148.
- Gurnell J., 1987** – The natural history of squirrels. Christopher Helm, London.
- Gurnell J., 1987.** The natural history of squirrels. *Christopher Helm, London.*
- Gurnell J., 1991a** – The red squirrel. In: **Corber G. B., S. Harris (eds.)**, The Handbook of British Mammals, Blackwell Scientific Publications, Oxford: 176-186.
- Gurnell J., 1991b** – The grey squirrel. In: **Corber G. B., S. Harris (eds.)**, The Handbook of British Mammals, Blackwell Scientific Publications, Oxford: 186-191.
- Gurnell J., H. Pepper, 1993** – A critical look at conserving the British red squirrel *Sciurus vulgaris*. *Mamm. Rev.*, 23: 125-136.
- Gurnell J., P. Lurz, 1997** – Red squirrel conservation in Britain and Europe – the future. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz (eds)**, The Conservation of Red Squirrels, *Sciurus vulgaris* L., PTES, London: 161-162.
- Hänninen L., Pastell M., 2009.** CowLog: Open source software for coding behaviors from digital video. *Behavior Research Methods.* 41(2), 472-476.
- Harris S., P. Morris, S. Wray, D. Yalden, 1995** – A review of British mammals: population estimates and conservation status of British mammals other than cetaceans. Peterborough, JNCC.
- Ibrahim,M.A., Kainulainen, P., Aflatuni, A., Tiilikkala, K., Holopainen, J.K., 2001.** Insecticidal, repellent, antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: with special reference to limonene and its suitability for control of insect pests. *Agric. Food Sci. Finland* 10, 243–259.
- Jameson, C.W., 1990.** Toxicology and carcinogenesis studies of d-limonene (CAS n. 5989-27-5) in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). NTP technical report n. 347, US Dept. of health and human services, USA.
- Karpukhin I. P. e Karpukhina N. M., 1971.** Eye lens weight as a criterion of age of *Sciurus vulgaris*. *Zoologicheskii Zhurnal*, 50: 274-277.
- Kelly, D., 1994.** The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends Ecol. Evol.* 9, 465–470.

- Kenward R. E., 1983** – The causes of damage by red and gray squirrels. *Mammal Review*, 13: 159-166.
- Kenward R. E., J. M. Tonkin, 1986** – Red and Grey squirrels: some behavioural and biometric differences. *J. Zool.*, London, 209: 279-281.
- Kenward R. E., K. H. Hodder, R. J. Rose, C. A. Walls, T. Parish, J. L. Holm, P. A. Morris, S. S. Walls, F. I. Doyle, 1998** – Comparative demography of red squirrels (*Sciurus vulgaris*) and grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) in deciduous and conifer woodland. *J. Zool.*, London, 244: 2-21.
- Kenward R.E., Hodder K.H., Rose R.J., Walls C.A., Parish T., Holm J.L., Morris P.A., Walls S.S., Doyle F.I., 1998.** Comparative demography of red squirrels (*Sciurus vulgaris*) and grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) in deciduous and conifer woodland. *J. Zool., Lond.* 224: 7–21.
- Kenward R.E., Holm J.L. 1993.** On the replacement of the red squirrel in Britain. A phytotoxic explanation. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, 251: 187-194
- Kimball, B.A., Nolte, D.L., Engeman, R.M., Johnston, J.J., Stermitz, F.R., 1998.** Chemically mediated foraging preference of black bears (*Ursus americanus*). *J. Mammal.* 79, 448–456.
- Krebs J.R., Davies N.B. (eds.), 1984.** Behavioral ecology: An evolutionary approach, 2nd ed. Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.
- Lee T. H., 2000.** Behaviour and body weight fluctuations of the Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in the mating season. *Canadian Field Naturalist*, 114: 495-497.
- Lennell P. A., 1973.** Age determination in red squirrels (*Sciurus vulgaris* L.). *International Congress of Game Biology*, 11: 573-580.
- Lewis, C.E., Clark, T.W., Derting, T.L., 2001.** Food selection by the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) on the basis of energy and protein contents. *Can. J. Zool.* 79, 562–568.
- Lobo, N., Duong, M., Millar, J.S., 2009.** Conifer-seed preferences of small mammals. *Can. J. Zool.* 87, 773–780.
- Lobo, N., Millar, J.S., 2011.** The efficacy of conifer seeds as major food resources to deer mice (*Peromyscus maniculatus*) and southern red-backed voles (*Myodes gapperi*). *Mamm. Biol.* 76, 274–284.
- Longo A. M., Rutigliano A., 2007.** Il bosco WWF di Vanzago. Ed. Doramarkus. 108 pp.
- Lurz P.W.W., 1995.** The ecology and conservation of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in upland conifer plantations. *Ph.D. thesis, Univeristy of Newcastle, UK.*
- Lurz P.W.W., Garson P.J., Rushton S.P., 1995.** The ecology of squirrels in spruce dominated plantations: implications for forest management. *For. Ecol. Manag.* 79: 79–90.
- Lurz P.W.W., Garson P.J., Wauters L.A., 1997.** Effects of temporal and spatial variation in habitat quality on red squirrel dispersal behaviour. *Anim. Behav.* 54: 427-435.
- Lurz P.W.W., Garson P.J., Wauters L.A., 2000.** Effects of temporal and spatial variations in food supply on the space and habitat use of red squirrels (*Sciurus vulgaris* L.). *J. Zool., Lond.* 251: 167-178.
- Lurz P.W.W., Gurnell J., Magris L., 2005.** *Sciurus vulgaris*. In: *Mammalian species*, n.769. American Society of Mammalogist, pp. 1-10.
- MacArthur H., Pianka E.R., 1966.** On optimal use of a patchy environment. *Am. Nat.* 100: 603-609.
- Magris L., Gurnell J., 2002.** Population ecology of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in a fragmented woodland ecosystem on the Island of Jersey, Channel Islands. *Journal of Zoology*, London, 256: 99-112.
- Mari, V., Martini, S., Romeo, C., Molinari, A., Martinoli, S., Tosi, G., Wauters, L.A., 2008.** Record litter size in the eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Hystrix: Ital. J. Mamm.* 19, 61–65.

- Martinoli A., Bertolino S., Preatoni D., Balduzzi A., Marsan A., Genovesi P., Tosi G., Wauters L. A., 2010.** Headcount 2010: the multiplication of the grey squirrel introduced in Italy. *Hystrix It. J. Mamm.* 21(2): 127-136.
- McKeegan, D.E.F., 2002.** Spontaneous and odour evoked activity in single avian olfactory bulb neurones. *Brain Res.* 929, 48–58.
- Molinari, A., Wauters, L.A., Airoidi, G., Cerinotti, F., Martinoli, A., Tosi, G., 2006.** Cone selection by Eurasian red squirrels in mixed conifer forests in the Italian Alps. *Acta Oecol.* 30, 1–10.
- Moller H., 1983.** Foods and foraging behaviour of red (*Sciurus vulgaris*) and grey (*S. carolinensis*) squirrels. *Mammal Review* 13: 81–98.
- Münch S., 1998.** Populationsökologie, Aktivität, Raum – und Habitatnutzung beim Europäischen Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris* L.) im Bergmischwald des Nationalparks Bayerischer Wald. Ph. D. thesis, Biologisch – Pharmazeitische Fakultät der Friedrich-Schiller Universität, Jena.
- Ozaki, M., Takahara, T., Kawashara, Y., Wada-Katsumata, A., Seno, K., Amakawa, T., Yamaoka, R., Nakamura, T., 2003.** Perception of noxious compounds by contact chemoreceptors of the blowfly *Phormia regina*: putative role of an odorantbinding protein. *Chem. Senses* 28, 349–359.
- Petrakis, P.V., Roussis, V., Papadimitriou, D., Vagia, C., Tsitsimpikou, C., 2005.** The effect of terpenoid extracts from 15 pine species on the feeding behavioural sequence of the late instars of the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa*. *Behav. Process.* 69, 303–322.
- Pyke G.H., 1984.** Optimal foraging theory: a critical review. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15: 523-575.
- R Core Team, 2013.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Reynolds J. C., 1985** – Details of the geographic replacement of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) by the grey squirrel (*Sciurus carolinensis*) in eastern England. *J. Anim. Ecol.*, 54: 149-162.
- Rima, P. C., Cagnin, M., Aloise, G., Preatoni, D. and Wauters, L. A.(2010).** 'Scale-dependent environmental variables affecting red squirrel (*Sciurus vulgaris meridionalis*) distribution', *Italian Journal of Zoology*, 77: 1, 92 — 101, First published on: 10 November 2009 (iFirst).
- Robbins, C.T., Hanley, T.A., Hagerman, A.E., Hjeljord, O., Baker, D.L., Schwartz, C.C., Mautz, W.W., 1987.** Role of tannins in defending plants against ruminants: reduction in protein availability. *Ecology* 68, 98–107.
- Rodrigues D., Wauters L. A., Romeo C., Mari V., Preatoni D., Mathias M. da L., Tosi G. and Martinoli A., 2010.** Living on the Edge: Can Eurasian Red Squirrels (*Sciurus vulgaris*) Persist in Extreme High-elevation Habitats? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, Vol. 42, No. 1, 2010, pp. 106–112.
- Romeo C., Wauters L. A., Preatoni D., Tosi G. and Martinoli A., 2010.** Living on the edge: space use of Eurasian red squirrels in marginal high-elevation habitat. *Acta Oecologica*, 36: 604-610.
- Rondinini C., Battistoni A., Peronace V., Teofili C. (compilatori), 2013.** Per il volume: Lista Rossa IUCN dei Vertebrati Italiani. Comitato Italiano IUCN e Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.
- Rozin P., 1976.** The selection of food by rats, humans and other animals. In: Rosenblatt, J., *et al.* (compilatori.), *Advances in the Study of Behavior*, vol. VI. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Rubino F. M., Martinoli A., Pitton M., Di Fabio D., Caruso E., Banfi S., Tosi G., Wauters L. A., Martinoli A., 2012.** Food choice of Eurasian red squirrels and concentrations of anti-predatory secondary compounds. *Mammalian Biology.* 77, 332-338.

- Ruxton, G.D., Kennedy, M.W., 2006.** Peppers and poisons: the evolutionary ecology of bad taste. *J. Anim. Ecol.* 75, 1224–1226.
- Ruzicka L., 1959.** History of the isoprene rule. *Proceedings of the Chemical Society.* London 341-360.
- Sainsbury A. W., P. Nettleton, J. Gurnell, 1997** – Recent developments in the study of Paradoxvirus in red and grey squirrel. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz (eds.)**, *The Conservation of Red Squirrels, Sciurus vulgaris L.*, PTES, London: 105-108.
- Salmaso, F., Molinari, A., Di Pierro, E., Ghisla, A., Martinoli, A., Preatoni, D., Cerabolini, B., Tosi, G., Bertolino, S., Wauters, L.A., 2009.** Estimating and comparing food availability for tree-seed predators in typical pulsed-resource systems: alpine conifer forest. *Plant Biosyst.* 143, 258–267.
- Shar, S., Lkhagvasuren, D., Bertolino, S., Henttonen, H., Kryštufek, B. e Meinig, H. 2008.** *Sciurus vulgaris*. In: *The IUCN Red List of Threatened Species.* Version 2014.3.
- Shimada, T., Saitoh, T., 2003.** Negative effects of acorns on the woodmouse *Apodemus speciosus*. *Pop. Ecol.* 45, 7–17
- Silveira, L., Ja'como, A.T.A. e Diniz-Filho, J.A.F. (2003)** Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biologica Conservation*, 114, 351–355.
- Sinclair A.R.E., Krebs C.J., Smith J.M.N., Boutin S., 1988.** Population biology of snowshoe hares. III: Nutrition, plant secondary compounds, and food limitation. *Journal of Animal Ecology* 57: 787-806.
- Skelcher G., 1997** – The ecological replacement of red by grey squirrels. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz, eds.** *The conservation of red squirrels, Sciurus vulgaris L.*, PTES, London: 67-78.
- Smith D., J. Gurnell, 1997** – The ecology of the grey squirrel, *Sciurus carolinensis*, in conifer forest. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz, eds.** *The Conservation of Red Squirrels, Sciurus vulgaris L.*, PTES, London: 109- 119.
- Steele M.A., Wauters L.A., Larsen K.W., 2005.** Selection, predation and dispersal of seeds by tree squirrels in temperate and boreal forests: are tree squirrels keystone granivores? In: **Forget P.M., Lambert J.E., Hulme P.E., Vander Wall S.B.** Seed fate: predation, dispersal and seedling establishment. *CAB International*, 432 pp..
- Stewart D., 1997** – Red squirrel conservation – past and present. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz (eds.)**, *The Conservation of Red Squirrels, Sciurus vulgaris L.*, PTES, London: 1-3.
- Theimer, T.C., 2005.** Rodent scatterhoarders as conditional mutualists In: Forget, P.M., Lambert, J.E., Hulme, P.E., Vander Wall, S.B. (Eds.), *Seed Fate: Predation, Dispersal and Seedling Establishment.* CABI Publishing, CAB International, Wallingford, UK, pp. 283–295.
- Thompson L.A., 2009.** R (and S-PLUS) Manual to Accompany Agresti's Categorical Data Analysis(2002). 2nd Edition <https://home.comcast.net/~lthompson221/Splusediscrete2.pdf>
- Tobler, M.W., Carrillo-Percestequi, S.E., Leite Pitman, R., Mares, R. e Powell, G. (2008)** An evaluation of camera traps for inventorying large- and medium-sized terrestrial rainforest mammals. *Animal Conservation*, 11, 169–178.
- Toschi A., 1965.** Mammalia. Lagomorpha, Rodentia, Carnivora, Ungulata, Cetacea. *Collana "Fauna d'Italia"*. Vol. VII. Calderini, Bologna.
- Wauters L. A., 2000.** Squirrels. Medium-sized granivores in woodland habitats (pp. 131-143). In: **S. Halle, N. C. Stenseth (eds)**. *Activity Patterns in Small Mammals: a Comparative Ecological Approach.* Ecological Studies 141, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Wauters L. A., J. Gurnell, 1999** – The mechanism of replacement of red squirrel by grey squirrels: a test of the interference competition hypothesis. *Ethology*, 105: 1053-1071.
- Wauters L., I. Currado, P. J. Mazzoglio, J. Gurnell, 1997** – Replacement of red squirrels by introduced grey squirrels in Italy: evidence from a distribution survey. In: **Gurnell J., P. W. W. Lurz (eds.)**, *The Conservation of Red Squirrels, Sciurus vulgaris L.*, PTES, London: 79-88.

- Wauters L.A., 1997.** The ecology of red squirrels in fragmented habitats: a review (pp.5-12). In: J. Gurnell e P.W.W. Lurz (eds). The Conservation of Red Squirrels, *Sciurus vulgaris* L. Peoplès Trust for Endangered Species, London.
- Wauters L.A., Bijmens L., Dhondt A.A., 1993.** Body mass at weaning and juvenile recruitment in the red squirrel. *J. Anim. Ecol.* 62: 280-286.
- Wauters L.A., Casale P., Dhondt A.A., 1994b.** Space use and dispersal in red squirrels in fragmented habitats. *Oikos*, 69: 140-146.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1987.** Activity budget and foraging behaviour of the red squirrel (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) in a coniferous habitat. *Z. Säugetk.* 52: 341-352.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1989a.** Variation in length and body weight of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*) in two different habitats. *J. Zool., Lond.* 217: 93-106.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1989b.** Body weight, longevity and reproductive success in red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *J. Anim. Ecol.* 58: 637-651.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1992.** Spacing behaviour of red squirrels, *Sciurus vulgaris*: variation between habitats and the sexes. *Anim. Behav.* 43: 297-311.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1993.** Immigration pattern and success in red squirrels. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 33: 159-167.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1995.** Lifetime reproductive success and its correlates in female Eurasian red squirrels. *Oikos* 72: 402-410.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., 1998.** Variation in spacing behaviour of Eurasian red squirrels, *Sciurus vulgaris*: effects of density and food. In: M.A. Steele, J.F. Merritt e D. Zegers (eds). Ecology and Evolutionary Biology of Tree Squirrels. Virginia Museum of Natural History, special publication, 6: 71-78.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., De Vos R., 1990.** Factors affecting male mating success in red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *Ethol. Ecol. Evol.* 2: 195-204.
- Wauters L.A., Dhondt A.A., De Vos R., 1990.** Factors affecting male mating success in red squirrels (*Sciurus vulgaris*). *Ethol. Ecol. Evol.* 2: 195-204.
- Wauters L.A., Gurnell J., Martinoli A., Tosi G. 2001.** Does interspecific competition with introduced grey squirrels affect foraging and food choice of Eurasian red squirrels? *Animal Behaviour*, 61/6: 1079-1091.
- Wauters L.A., Gurnell J., Preatoni D.G., Tosi G., 2001b.** Effects of spatial variation in food availability on spacing behaviour and demography of Eurasian red squirrels. *Ecography* 24: 525-538.
- Wauters L.A., Hauffe H.C., Tosi G., 2001a.** Studio sull'ecologia dello scoiattolo rosso in ambiente alpino. *Rapporto finale. Amm. Prov. di Sondrio*, 85 pp..
- Wauters L.A., Hutchinson Y., Parkin D.T. e Dhondt A.A., 1994a.** The effects of habitat fragmentation on demography and on the loss of genetic variation in the red squirrel. *Proceedings of the Royal Society, London, B*, 255: 107-111.
- Wauters L.A., Lens L., 1995.** Effects of food availability and density on red squirrel (*Sciurus vulgaris*) reproduction. *Ecology* 76: 2460-2469.
- Wauters L.A., Molinari A., Martinoli A., Tosi G., 2004a.** Progetto di ricerca sull'ecologia dello scoiattolo rosso in tipici ambienti alpini del Parco delle Orobie Valtellinesi (Provincia di Sondrio). *Relazione finale. Amm. Prov. di Sondrio e Istituto Oikos*.
- Wauters L.A., Suhonen J., Dhondt A.A., 1995.** Fitness consequences of hoarding behaviour in Eurasian red squirrel. *Proc. Royal Soc., Lond.* 262: 277-281.
- Wauters L.A., Swinnen C., Dhondt A.A., 1992.** Activity budget and foraging behaviour of red squirrels (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) in coniferous and deciduous habitats. *J. Zool., Lond.* 227: 71-86.
- Wauters L.A., Vermeulen M., Van Dongen S., Bertolino S., Molinari A., Tosi G., Matthysen E., 2007.** Effects of spatio-temporal variation in food supply on red squirrel *Sciurus*

*vulgaris* body size and body mass and its consequences for some fitness components. *Ecography* 30: 51-65.

**Wauters L.A., Zaninetti M., Tosi G., Bertolino S., 2004b.** Is coat-colour polymorphism in Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris* L.) adaptive? *Mammalia* 68: 37-48.

**Wauters, L.A., Githiru, M., Bertolino, S., Molinari, A., Tosi, G., Lens, L., 2008.** Demography of alpine red squirrel populations in relation to fluctuations in seed crop size. *Ecography* 31, 104–114.

**Weiler, E., Deutsch, S., Apfelbach, R., 2006.** Combined behavioral and c-Fos studies elucidate the vital role of sodium for odor detection. *Chem. Senses* 31, 641–647.

**Wiltafsky H., 1973.** Die geographische Variation morphologischer Merkmale bei *Sciurus vulgaris* L., 1758. Ph.D. dissertation, Universität zu Köln, Köln.

**Wiltafsky H., 1977.** Regionale Unterschiede in der Schwanzfärbung von *Sciurus vulgaris* L., 1758. *Z. Säugetierkunde*, 42: 133-144.

**Wink M., 1999a.** Introduction. In: Wink M. (ed.). *Functions of secondary plant metabolites and their exploitation in biotechnology*. Annual plant reviews, Volume 3. Sheffield Academic Press Ltd. Wolf H., 2003.

**Wink M., 1999b.** Introduction: biochemistry, role, biotechnology of secondary metabolites. In: Wink M. (ed.). *Biochemistry of plant secondary metabolism*. Annual plant reviews, Volume 2. Sheffield Academic Press Ltd.