

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE  
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE BIOLOGICHE

# **ANALISI DI ULULATI CORALI PER LA DISCRIMINAZIONE TRA BRANCHI DI LUPO (*Canis lupus*)**

Tesi di laurea di Isabella Maggini

Relatore: Prof. Francesco Dessì Fulgheri

Correlatore: Dott. Marco Zaccaroni

Anno Accademico 2009-2010

# INDICE

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUZIONE</b>                                            | <b>1</b>  |
| <b>1. IL LUPO</b>                                              | <b>5</b>  |
| 1.1 SISTEMATICA                                                | 5         |
| 1.2 DISTRIBUZIONE                                              | 6         |
| 1.3 MORFOLOGIA                                                 | 7         |
| 1.4 COMPORTAMENTO SOCIALE E RIPRODUTTIVO                       | 7         |
| 1.5 TERRITORIALITA'                                            | 9         |
| 1.6 COMUNICAZIONE ACUSTICA                                     | 11        |
| <b>2. MATERIALI E METODI</b>                                   | <b>15</b> |
| 2.1 AREA DI STUDIO                                             | 15        |
| 2.2 WOLF-HOWLING                                               | 17        |
| 2.3 IL SUONO                                                   | 20        |
| 2.4 ANALISI DEL SUONO                                          | 24        |
| 2.5 STIMA DEL NUMERO MINIMO DI INDIVIDUI E PRESENZA DI PICCOLI | 27        |
| 2.6 TIPIZZAZIONE DEGLI ULULATI                                 | 28        |
| 2.7 ANALISI STATISTICA                                         | 30        |
| <b>3. RISULTATI</b>                                            | <b>33</b> |
| 3.1 STIMA DEL NUMERO MINIMO DI INDIVIDUI E PRESENZA DI PICCOLI | 33        |
| 3.2 NORMALIZZAZIONE DEI DATI                                   | 33        |
| 3.3 ANALISI DESCRITTIVA                                        | 34        |
| 3.4 NPMANOVA PER SESSIONI                                      | 38        |
| 3.5 CONFRONTO TRA BRANCHI E ANNI CONSECUTIVI                   | 39        |
| 3.6 ANALISI DI FUNZIONE DISCRIMINANTE TRA BRANCHI              | 40        |
| <b>4. DISCUSSIONE</b>                                          | <b>42</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                            | <b>45</b> |
| <b>RINGRAZIAMENTI</b>                                          | <b>55</b> |

## **INTRODUZIONE**

**C'era una volta** un predatore che occupava una nicchia ecologica simile a quella dell'uomo primitivo . Questo predatore era il lupo. Entrambi erano ben adattati alla caccia di grossi erbivori e cacciavano in gruppi familiari (Schaller & Lowther 1969, Mech 1979, Peters & Mech 1975a, Hall & Sharp 1978). Si instaurò una sorta di relazione tra questi compagni predatori che durò più a lungo nel Nord America che in Europa, dove il passaggio all'agricoltura stanziale fu più precoce. I nativi nordamericani avevano familiarità con i lupi e spesso li consideravano animali spiritualmente ricchi e intelligenti. Addirittura molte tribù evitavano in ogni modo di offendere questa specie per non richiamare la mala sorte. Anche le prime culture euroasiatiche, ammiravano il lupo (Boitani 1995). Questo compare nelle prime storie riguardanti gli dèi europei, nelle quali è coinvolto nell'origine dell'uomo (Boitani 1995). Il lupo è percepito positivamente anche nella mitologia celtica, greca e romana (Boitani 1995), basta pensare alla leggenda di Romolo e Remo allevati da una lupa. Inoltre è da ricordare che la sua domesticazione ha dato origine al cane domestico (circa 12000 anni fa) con cui l'uomo ha creato un rapporto molto particolare di aiuto reciproco, compagnia e affetto. Questo atteggiamento positivo durò fino a quando l'uomo smise di considerarsi parte del mondo naturale prendendone il comando. La visione del lupo cambiò a causa del Cristianesimo e della domesticazione degli animali. Nel Vecchio e nel Nuovo Testamento il lupo è visto come simbolo di cupidigia, dissolutezza, scaltrezza, falsità, fino a diventare la rappresentazione del male per la Chiesa Cattolica (Boitani 1995). Per tutto il Medioevo assume un ruolo malvagio e diventa un personaggio importante nelle leggende dei santi (Ortelli 1973). Il lupo pericoloso persiste nel folklore europeo e russo con leggende e favole come “Cappuccetto Rosso” e “I tre porcellini”, le quali, pur avendo un intento educativo, hanno un profondo effetto riguardo la percezione negativa di questa specie nella cultura occidentale (Levin 1968, Greenleaf 1989). Finalmente nella seconda metà del secolo scorso si è assistito all'incremento di un'attitudine favorevole nei confronti del lupo, che riflette un cambiamento generale nella visione dell'ambiente e della fauna selvatica. Il lupo è diventato una specie protetta e sono stati attuati piani per la sua protezione. Nel 2004 è passato da “vulnerabile” a “rischio minimo” nella Red List della IUCN (International Union for Conservation of Nature). Permangono dei problemi nelle aree rurali, nelle fattorie e negli allevamenti di bestiame

(Bath & Buchanan 1989, Promberger & Schröder 1993). In questi casi le paure e i pregiudizi sono ancora legati all'ignoranza circa questo animale (Seracchiani 1976). La soluzione è l'educazione della popolazione per promuovere la tutela del lupo.

Per attuare qualsiasi iniziativa conservazionista è indispensabile una approfondita conoscenza della specie. Per questo predatore così elusivo risulta utile lo studio della comunicazione vocale, in particolare quella su lunghe distanze. Essa sfrutta i vantaggi che ha il suono rispetto agli altri mezzi di comunicazione (visivo, chimico, tattile, elettrico): è indipendente dalla luce e può quindi essere usato di giorno come di notte; ha una distanza d'azione molto maggiore rispetto agli altri sistemi (Km), e non richiede pertanto un collegamento diretto con il ricevente; è istantaneo e può essere cambiato rapidamente; infine, comporta solo un minimo dispendio di energia.

La *bioacustica* è una branca dell'etologia che si occupa di investigare da un punto di vista fisico i segnali acustici emessi dagli animali per comunicare, per percepire l'ambiente e per la cattura delle prede (Mainardi 1992). Con la nascita del fonografo di Edison nel 1877 e del grafofono di Chichester Bell nel 1880 è stato possibile impressionare il suono su carta stagnola, prima, e su cera, poi, creando i primi sonogrammi. Con lo sviluppo tecnologico del XX secolo misure più accurate sono state rese possibili da strumenti come l'oscilloscopio, fino ad arrivare ai dispositivi digitali e a software dedicati esclusivamente all'analisi visiva del suono. Questo progresso ha consentito l'utilizzo di materiali più maneggevoli e il salvataggio di registrazioni di maggiore durata, aprendo nuovi orizzonti per la bioacustica.

La raccolta dei suoni degli animali è un importante mezzo per la tassonomia e la ricerca sulla biodiversità. Svariate ricerche sono state condotte con questo intento. William Thorpe, iniziatore della moderna bioacustica, nel suo libro "Bird Song", analizza il canto degli uccelli come musica e linguaggio e trascrive le vocalizzazioni con note musicali (1961). Più di recente studi riguardanti questa classe hanno dimostrato come maschi territoriali confinanti condividano alcune frasi (Beecher et al. 1996). Lavori riferiti ad altre specie hanno considerato i richiami d'allarme, ad esempio quello sul cane della prateria (*Cynomys ludovicianus*) (Hoogland 1983); quelli sulle vocalizzazioni contro diversi predatori del Cercopiteco verde (*Chlorocebus pygerythrus*) (Cheney and Seyfarth 1990; Hauser 1996), dello Sciuride *Citellus undulatus* (Melchior 1971). Studi rivolti in maniera diretta alla tutela della fauna hanno coinvolto l'utilizzo dei *bat detector*, la cui funzione fondamentale è quella di convertire segnali ultrasonori emessi dai chiropteri in volo in suoni udibili. Anche in psicologia la voce assume un

ruolo importante, soprattutto nel rapporto madre-bambino. Ferguson (1964) si è occupato delle alterazioni della gamma e del profilo tonale del linguaggio infantile materno e Anderson e Jaffe (1972) hanno riscontrato che la durata delle vocali nel linguaggio dei bambini è maggiore rispetto agli adulti. Il ruolo dell'individualità vocale viene preso in considerazione da Terry et al. (2005) che sottolineano il fatto che questa possa essere utilizzata come una tecnica di marcatura alternativa: ad esempio in quei casi in cui le marcature siano difficili da rilevare, l'animale sia sensibile al loro disturbo o quando la cattura sia eticamente o logisticamente difficoltosa. L'identificazione degli individui in una popolazione è fondamentale per ottenere informazioni relative ai parametri della *life history* e di certi aspetti comportamentali, ricavando dei dati da considerare nei modelli gestionali. L'individualità vocale può essere uno strumento efficace per stimare le dimensioni di una popolazione e monitorarla nel corso del tempo.

Le impronte vocali sono state identificate in vari mammiferi sociali (Symmes *et al.* 1979, Gould 1983, Conner 1985). In particolare è stato molto studiato il riconoscimento madre-figlio: nell'elefante marino (*Miroungua angustirostris*) (Petrinovich 1974), nella renna (*Rangifer tarandus*) (Espmark 1975) e nel procione (*Procyon lotor*) (Sieber 1986). Per quanto riguarda gli adulti sono state effettuate ricerche su primati (Cheney & Seyfarth 1980; Snowdon & Cleveland 1980; Macedonia 1986), sui mammiferi marini (Shipley *et al.* 1986; Tyack 1986), sul lupo rosso (*Canis rufus*) (McCarley 1978), sulle volpi artiche (*Vulpes lagopus*) (Frommolt *et al.* 2003) e sui pattern dei richiami degli elefanti (*Loxodonta africana*) (Payne *et al.* 2003).

I segnali acustici occupano un ruolo sicuramente elevato tra i canali sensoriali del lupo. L'ululato svolge una funzione di comunicazione all'interno del branco e tra branchi diversi (Joslin 1967, Theberge & Falls 1967, Harrington & Mech 1978a,b). Nel primo caso serve a rafforzare i legami sociali tra gli individui (Rutter & Pimlott 1968) e per stabilire un contatto su lunghe distanze facilitando la riunione del gruppo (Harrington & Asa 2003); nel secondo caso rappresenta un segnale di territorialità per evitare scontri diretti con eventuali intrusi (Harrington & Mech 1979). Per quanto riguarda la struttura degli ululati si distinguono due modelli: il "flat", un ululato scarsamente modulato, con forma relativamente costante, e il "breaking", altamente modulato, con discontinuità nella tonalità che si visualizzano come numerose variazioni di forma (Theberge & Falls 1967, Harrington & Mech 1978b, Tooze 1987, Passilongo *et al.* 2010). Il flat, caratterizzato da toni bassi, può essere un elemento di ostilità del segnale e toni più

bassi sono correlati a individui di maggiori dimensioni (Morton 1977, Harrington 1984). Il breaking invece è relazionato al Beau Geste Effect e serve per confondere altri branchi riguardo la reale dimensione del branco (Harrington 1984,1989).

Lavori specifici mirati allo studio dell'individualità vocale nei lupi sono stati condotti solo in cattività (Tooze *et al.* 1990; Palacios *et al.* 2007) e hanno dimostrato che l'impronta vocale caratterizza ciascun individuo e che è quindi possibile un riconoscimento acustico intraspecifico.

La raccolta degli ululati per il presente studio è stata effettuata con il metodo del wolf-howling ed è stata condotta su due branchi che vivono in ambiente naturale, nella provincia di Arezzo.

Lo scopo di questo lavoro è quello di verificare le differenze tra gli ululati dei due branchi, identificando l'impronta vocale di ognuno di questi. Inoltre cerca di stabilire se tale impronta permane nel corso del tempo. La discriminazione tra branchi tramite l'analisi dei sonogrammi potrebbe essere un buon metodo per riconoscere un branco, sfruttando una tecnica non invasiva e di relativamente facile impiego.

# 1. IL LUPO

## 1.1 SISTEMATICA

**Regno:** Animalia

**Phylum:** Chordata

**Subphylum:** Vertebrata

**Classe:** Mammalia

**Sottoclasse:** Eutheria

**Ordine:** Carnivora

**Famiglia:** Canidae

**Genere:** *Canis*

**Specie:** *Canis lupus*



La specie *Canis lupus* (Linnaeus 1758) è un mammifero placentato che appartiene all'ordine dei Carnivori, famiglia dei Canidi, genere *Canis*. Quest'ultimo include altre 6 specie selvatiche: il coyote (*C. latrans* Say, 1832), lo sciacallo dorato (*C. aureus* L., 1758), lo sciacallo della gualdrappa (*C. mesomelas* Schreber, 1755), lo sciacallo striato (*C. adustus* Sundevall, 1847), lo sciacallo del Simien o lupo abissino (*C. simensis* Rüppell, 1869) e il lupo rosso (*C. rufus* Bayley, 1905). Il cane domestico è stato riconosciuto come sottospecie domestica del lupo (*C. lupus familiaris* Wilson e Reeder, 1993).

L'areale di distribuzione del lupo è molto esteso. Di conseguenza si ritrova una grande variabilità fenotipica che ha reso difficile la classificazione a livello di sottospecie. Nowak (1995), basandosi sull'analisi multivariata di 10 diverse misure del cranio di lupi maschi, ha indicato la presenza di 5 sottospecie nel continente americano (*arctos*, *occidentalis*, *nubilus*, *baileyi*, *lycaon*) e 5 in Eurasia (*albus*, *communis*, *lupus*, *cubanensis*, *pallipes*). In una recente revisione (Nowak 2003) sono state distinte altre 4 sottospecie (*arabs*, *hattai*, *hodophilax*, *lupaster*). L'esistenza di una sottospecie italiana (*C. lupus italicus*) è stata a lungo dibattuta: proposta da Altobello nel 1921 è stata confermata da Nowak e Federoff nel 2002.

## 1.2 DISTRIBUZIONE

Originariamente la distribuzione del lupo interessava qualunque habitat contenente grandi ungulati nell'emisfero settentrionale dal 20°N di latitudine (Messico, Sud Arabia Saudita, India) fino alla calotta artica (Young & Goldman 1944). Tuttavia questo grande areale è stato molto ridotto da secoli di persecuzioni da parte dell'uomo: esistono testimonianze di azioni pianificate contro i lupi nella Grecia del VI sec a.C., nel Medioevo, in Nord America dopo l'arrivo dei Padri Pellegrini e infine

negli anni che seguirono la seconda guerra mondiale. A partire dai primi anni '80 le popolazioni di lupo hanno avuto una ripresa grazie alle campagne di sensibilizzazione, ai provvedimenti legislativi e alla migrazione delle comunità rurali verso le città. Attualmente la specie risulta diffusa in Asia, in Canada e in Alaska; negli Stati Uniti è circoscritta ad aree nelle quali si è avuta una ricolonizzazione spontanea o è stata reintrodotta (Parco Nazionale di

Yellowstone, Idaho); in Europa è presente nei paesi scandinavi, Portogallo, Spagna, Italia, Alpi francesi, Grecia, paesi dell'ex-Jugoslavia e in tutta l'Europa orientale (Boitani 2003).

In Italia il lupo venne sterminato sulle Alpi negli anni '20 (Brunetti 1984), in Sicilia negli anni '40 (Cagnolaro *et al.* 1974) e durante il ventennio che seguì il secondo conflitto mondiale la popolazione venne ulteriormente ridotta (Cagnolaro *et al.* 1974). All'inizio degli anni '70 la distribuzione era costituita da pochi frammenti nell'Appennino centro-meridionale (Zimen & Boitani 1975). A questo declino è seguita una graduale espansione e oggi la specie è presente dall'Aspromonte alle Alpi Marittime, nelle zone collinari tra Lazio settentrionale e Toscana e nelle Alpi piemontesi.

Fig. 1.2



### **1.3 MORFOLOGIA**

Il lupo presenta una corporatura snella e robusta, con muso allungato, orecchie triangolari dritte e non molto lunghe, collo relativamente corto, arti piuttosto lunghi e sottili. Il peso varia tra 18-20 kg (penisola arabica) e 60-80 kg (Canada, Siberia), aumentando con la latitudine (fatta eccezione per le regioni artiche). La lunghezza dalla testa alla base della coda è compresa tra i 110 e i 148 cm, mentre l'altezza al garrese è di circa 50-70 cm. La postura è digitigrada. Le impronte mostrano 4 dita ma in realtà negli arti anteriori è conservato lo "sperone" che però non poggia sul terreno. L'anatomia di questo animale rende ottimali movimenti agili e un'andatura al trotto regolare e leggera. Inoltre permette agli arti anteriori e posteriori di muoversi sulla stessa linea, formando così una singola linea di impronte.

Il mantello presenta colorazioni molto variabili, con predominanze di bianco, argento, marrone, rossiccio, grigio e nero, cui si associano bandeggi su testa, collo, fianchi e zampe.

La testa del lupo è larga e massiccia con muso allungato e scatola cranica fortemente ossificata.

La dentatura (42 denti) è quella caratteristica di un animale carnivoro con lunghi canini e ferini molto taglienti.

In Italia il peso medio di un maschio adulto è compreso tra 25 e 35 kg, mentre quello delle femmine è minore di circa il 20 % (Ciucci e Boitani 1998). Per quanto riguarda la colorazione, questa è tipicamente grigio-fulva nei mesi invernali, mentre in quelli estivi tende al marrone-rossiccio. Inoltre sono ben visibili bandeggi scuri sul dorso, sulla punta della coda e delle orecchie, sugli arti anteriori. Le regioni ventrali e addominali sono più chiare, così come la mascherina facciale nella parte inferiore del muso.

### **1.4 COMPORTAMENTO SOCIALE E RIPRODUTTIVO**

L'organizzazione sociale dei lupi è basata sul branco. Questo generalmente è un gruppo familiare, costituito dalla coppia parentale e da figli di più anni, che si muove all'interno di un dato home range ed è ostile agli individui appartenenti a branchi limitrofi.

Alla domanda "Perché i lupi vivono in branco?" la risposta che più comunemente viene data è che esso rappresenti un adattamento alla caccia di grosse prede. Di conseguenza la dimensione del branco varierà con la dimensione della preda in modo che l'energia

spesa per la predazione sia minima, e quella guadagnata sia massima (MacDonald 1983). In realtà lupi solitari e coppie senza prole riescono comunque a sopravvivere cacciando grandi ungulati, e anche quando la caccia avviene in branco non tutti i membri contribuiscono ad attaccare la preda. La tendenza dei lupi a vivere in branco può essere allora spiegata considerando l'aiuto che i figli ricevono dai genitori che condividono una grossa preda (Mech 1970, 1991; Schmidt & Mech 1997). Infatti, secondo l'ipotesi della *kin selection* (Schmidt & Mech 1997) gli adulti investono sui figli distribuendo il cibo in esubero e attraverso l'insegnamento, in modo da massimizzare la propria fitness. In effetti dal punto di vista fisiologico questa specie può non essere completamente matura fino ai 5 anni, visto che i livelli di estrogeni e androgeni aumentano fino a tale età (Seal *et al.*, dati non pubblicati). Dunque la permanenza nel branco permette un "tetto sicuro" durante la crescita e un apprendimento delle componenti più sottili del comportamento di caccia che non sono innate (Leyhausen 1965, citato in Eaton 1970).

Di solito un branco viene fondato da un maschio e una femmina non imparentati (Smith *et al.* 1997), in dispersione, che si muovono insieme in un'area non difesa da altri branchi (Rothman & Mech 1979, Fritts & Mech 1981). Le femmine iniziano a ovulare al loro secondo-quarto inverno (Rausch 1967, Mech *et al.* 1998) ma il loro sviluppo è influenzato dallo stato nutrizionale o altri stress (Packard *et al.* 1985, Mech & Seal 1987, Packard 1989). L'accoppiamento avviene tra gennaio e aprile (latitudini più alte) (Mech 1970). In Italia di solito ricade in periodo compreso tra febbraio e marzo. La gestazione dura 61-64 giorni. La nascita dei cuccioli (in media 6) di lupo a primavera coincide con quella degli erbivori, che diventano facili prede per i lupi adulti. In autunno i cuccioli sono abbastanza grandi per poter aiutare i genitori nella caccia di prede più grosse. Al sopraggiungere dell'inverno hanno quasi raggiunto le dimensioni adulte (Van Bellenberghe & Mech 1975).

La femmina incinta può iniziare la ricerca della tana fino a un mese prima del parto (Harrington & Mech 1982; Fuller 1989a; Boyd, Ream *et al.* 1993). La scelta predilige zone non periferiche del territorio, dove sarebbero probabili incontri con altri branchi (Ballard & Dau 1983, Fuller 1989, Ciucci & Mech 1992); in territori vasti è centrale (Ciucci & Mech 1992) a meno che non siano presenti risorse attrattive come corsi d'acqua (Mech *et al.* 1998, 104); può essere influenzata dall'esperienza (Fuller 1989a). Gli adulti e i giovani di entrambi i sessi partecipano a scavare la tana (Ryon 1977; Mech *et al.* 1996), a nutrire la femmina incinta (Fentress & Ryon 1982) e a farle compagnia.



Fig. 1.3

I cuccioli restano vicino alla tana fino alle 8 settimane (Mech 1970). Poi, fino alle 20 settimane si spostano nel *rendez-vous site* (Murie 1944, Joslin 1967, Theberghe & Pimlott 1969), un'area di limitate dimensioni con una tana dove rannicchiarsi insieme, una rete di percorsi e varie zone per giocare. Tane e *rendez-vous sites* costituiscono gli *homesites* (Harrington & Mech 1978a).

Durante l'allattamento, che dura circa un mese, il padre contribuisce indirettamente al fabbisogno dei cuccioli cacciando e difendendo l'*homesite*. Dopo lo svezzamento la madre torna a cacciare e tutti gli adulti forniscono ai piccoli cibo rigurgitato. Tra i 4 e i 10 mesi i cuccioli possono già cacciare con gli adulti, benché non abbiano ancora raggiunto le dimensioni definitive.

Numerosi autori vedono nel branco una gerarchia lineare di dominanza dove i subordinati sono tenuti in riga dai dominanti e ogni individuo occupa un ruolo ben definito: il rango più alto è prerogativa della coppia *alfa*, l'unica a riprodursi, seguono i subordinati distinti in *beta*, *gamma*, ecc. In realtà, nella maggior parte dei branchi le dinamiche sono più complesse. Essi sono formati da famiglie i cui componenti sono fortemente uniti da una complessa rete di legami. D'altra parte ogni individuo deve assicurarsi la propria sopravvivenza, altrimenti non sarà in grado di assistere i propri parenti (Packard 2003). Quindi il conflitto può essere visto come un modo di assicurare la sopravvivenza della famiglia a lungo termine. Secondo questa visione i ruoli non sono così statici e ben determinati, ma ogni lupo ha un temperamento individuale che cambia in relazione all'esperienza sociale e allo stato d'animo (Packard 1980; Fentress 1982; Packard & Mech 1983; Packard *et al.* 1983; Fentress *et al.* 1987; McLeod *et al.* 1991,1996).

## 1.5 TERRITORIALITA'

Generalmente il lupo è molto territoriale (Mech 1973,1994; Van Ballenberghe *et al.* 1975; Fritts & Mech 1981; Jordan *et al.* 1967; Peterson 1977; Peterson, Woolington & Bailey 1984; Messier 1985; Ballard *et al.* 1987; Fuller 1989b; Ream *et al.* 1991; Meier *et al.* 1995; Mech *et al.* 1998). Wilson (1975) spiega lo sviluppo della territorialità come

di seguito: “La territorialità è un tipo di competizione in cui l’animale ha bisogno di vincere solo una o relativamente poche volte. Di conseguenza il residente spende molta meno energia rispetto a quanto accadrebbe se, ogni qual volta cercasse di mangiare in presenza di un animale conspecifico, venisse costretto a uno scontro”. Per definizione il territorio è un’area difesa attivamente (Burt 1943). Per una specie territoriale la difesa deve essere utile dal punto di vista energetico (Brown 1964) e non deve togliere molto tempo ed energia al corteggiamento, all’accoppiamento e alla cura della prole (Wilson 1975). I lupi hanno risolto queste problematiche con la loro abilità nel compiere lunghi spostamenti: possono percorrere 40 km in meno di un giorno (Mech 1966, 1970). Dato che marcano e cacciano mentre si spostano, e le marcature odorose sono persistenti per lunghi periodi, ne risulta una “bolla olfattiva” (Peters & Mech 1975) che permette loro un’ottima difesa territoriale. Complementare alla marcatura odorosa vi è quella acustica che consente di coprire lunghe distanze: 11 km nelle foreste (Harrington & Mech 1979) e 16 km nella tundra (Stephenson dati non pubblicati, L. D. Mech dati non pubblicati). Le dimensioni del home range variano in modo consistente: dai 33 km<sup>2</sup> occupati da un branco di 6 lupi a Farm Lake (nord-est Minnesota) (Mech & Tracy, dati non pubblicati) ai 6.272 km<sup>2</sup> coperti da un branco di 10 lupi in Alaska in un periodo di 6 settimane (Burkholder 1959). In Europa si hanno valori compresi tra 80 e 200 km<sup>2</sup> (Okarma *et al.* 1998). Esistono casi in cui i lupi intraprendono enormi viaggi per seguire le migrazioni di prede quali il bisonte e il caribù (Carabyn 1997), arrivando a coprire in media 63.058 km<sup>2</sup> all’anno (Walton *et al.* 2001). Pare che si tratti però di aree non difese, anche se ancora si conosce poco riguardo la territorialità durante le migrazioni.

Tra i territori di due branchi confinanti ci può essere una certa sovrapposizione, limitata alle immediate vicinanze dei confini territoriali. Queste aree sono state denominate *buffer zones* (Mech 1977) e hanno dimensioni che variano tra 2 e 6 km di ampiezza (Peters & Mech 1975, Mech 1994). Si tratta di zone cuscinetto, frequentate dai branchi in momenti diversi, dove aumenta il tasso di marcatura (Mech 1994) e dove è più probabile trovare lupi uccisi da altri lupi.

Quando una giovane coppia sceglie una zona in cui stabilirsi ha due possibilità: optare per un’area circa 15 volte più grande di quella di cui hanno bisogno, calcolando il fabbisogno della futura prole, oppure espandersi in un secondo momento. La scelta prevalente è la prima, quindi nella maggior parte delle popolazioni intatte la relazione tra dimensione del territorio e dimensione del branco è trascurabile (Potvin 1988, Fuller 1989b, Mech *et al.* 1998).

Basandosi su dati relativi a lupi che predano alci (Messier 1985) e cervi dalla coda bianca (Fuller 1989b, Wydeven *et al.* 1995), è stato dimostrato che il 33% della variazione delle dimensioni del territorio dipende dalla biomassa delle prede. Quest'ultima diminuisce con la latitudine, di conseguenza se ne ricava una nuova relazione secondo la quale per latitudini maggiori si hanno home ranges più grandi. L'utilizzazione interna del territorio varia durante l'anno: in primavera e in estate è concentrata intorno agli *home-sites*, mentre in inverno diviene più ampia poiché la ricerca di cibo si fa più difficile.

## 1.6 COMUNICAZIONE ACUSTICA

Le vocalizzazioni accompagnano gran parte del comportamento sociale di questa specie, dai saluti amichevoli agli attacchi brutali. I segnali acustici presentano dei vantaggi rispetto alle altre modalità di segnalazione: possono essere uditi immediatamente sia da individui vicini che lontani, sia di giorno che di notte; inoltre non richiedono che il ricevente all'inizio del messaggio sia attento per essere capiti, anzi, sono ottimi per attirare l'attenzione. D'altra parte la loro ricezione è condizionata dalla distanza tra segnalatore e ricevente, e dalle condizioni atmosferiche e ambientali.

Per quanto riguarda il sistema uditivo del lupo, ancora si conosce poco. Ci possiamo però riferire agli studi fatti sul cane. La sensibilità alle basse frequenze ( $< 1$  kHz) è simile a quella dell'uomo e dei felini (Dworkin *et al.* 1940, Lipman & Grassi 1942, Neff & Hind 1955, Masterton *et al.* 1969, Baru 1971, Heffner 1983), mentre alle frequenze più alte i cani sono più sensibili degli umani (18 kHz a 60 dB), arrivando ad percepire i 45 kHz a 60 dB, ma non dei felini (85 kHz a 60 dB). Heffner (1983) ha osservato che in quattro cani diversi il limite superiore di frequenze udibili non varia con le loro dimensioni. Se ne deduce che la sensibilità alle alte frequenze potrebbe essere una caratteristica specie-specifica.

E' inoltre da sottolineare la grande capacità dei lupi nel localizzare la provenienza dei suoni, grazie alla sensibilità binaurale, paragonabile a quella dei felini ma minore di qualche grado rispetto a quella dell'uomo (Heffner & Heffner 1992a,b).

Il repertorio vocale adulto è già riscontrabile in un cucciolo di 3 mesi (Schassburger 1993), anche se alcuni suoni sono ancora rari. Schassburger (1978, 1987, 1993) lo ha diviso in suoni armonici e rumorosi, i cui suoni rappresentativi sono rispettivamente il guaito (*whine*) e il ringhio (*growl*). Questi due gruppi separano i suoni usati in contesti

amichevoli e di sottomissione (armonici) da quelli usati in contesti aggressivi e di dominanza (rumorosi), equivalentemente alla distinzione di Cohen e Fox (1976) tra richiami attrattivi e repulsivi, e coerentemente alla regola “motivation-structural” (M-S) di Morton (1977). Quest’ultima propone una relazione tra la struttura fisica delle vocalizzazioni e la motivazione che vi è dietro. I suoni che esprimono una motivazione non aggressiva saranno più acuti e con toni più puri rispetto a quelli motivati dall’aggressione. Queste differenze rispecchiano la relazione tra dimensione del corpo, da una parte, e abilità competitive e capacità vocali dall’altra. Infatti gli individui piccoli, come i cuccioli, non sono minacciosi e possiedono corde vocali piccole che producono suoni alti e puri; quelli grandi invece, possono essere minacciosi e dotati di corde vocali più grandi che producono suoni più gravi e complessi. Quindi per manifestare amichevolezza bisogna sembrare piccoli e per manifestare aggressività bisogna sembrare grandi. Harrington (1984) infatti ha notato che quando i cuccioli si trovano in assenza dei genitori emettono ululati più gravi e più simili a quelli adulti. Ha anche osservato che quando emetteva ululati con persistenza, il maschio alfa gli si avvicinava e talvolta ululava. Questi ululati erano molto più bassi (in frequenza) di tutti quelli registrati dal branco cui apparteneva. Infine ha constatato che durante gli ululati corali i singoli lupi producono suoni ricchi in modulazione di frequenze e di ampiezza. Ascoltati a distanza raccolgono echi che insieme alla complessità del coro, rendono impossibile definire il numero di lupi che ulula (effetto “Beau Geste”). Il sistema di Schassburger inoltre è graduato, con sottili differenze nel messaggio ottenute con variazioni tra i tipi di suoni oppure con modulazioni di altezza, intensità, durata, ritmo, frequenza e ampiezza. Complessivamente le vocalizzazioni dei lupi possono essere distinte in:

♣ **Segnali Vocali a Corta Distanza** (*Short-Range Vocal Signals*). La maggior parte delle vocalizzazioni del lupo sono usate a distanze ravvicinate tra i compagni di branco, quando sono disponibili anche informazioni visive, tattili e olfattive. La vicinanza permette di esprimere tutte le variazioni possibili per ogni suono, senza alcuna attenuazione o distorsione.

Suoni armonici: uggolio, guaito, mugolio (*whimper, whine, yelp*) (frequenza massima 35 kHz). Sono tipici di contesti amichevoli o sottomessi. Ci sono due varianti per ognuno di questi suoni: forme piene con toni gravi e forme a “fischio” (*whistle*) prive di frequenze basse (Schassburger 1993). Le prime si sarebbero evolute per facilitare la localizzazione (Schassburger 1978,1987,1993), le altre secondo Morton (1977)

potrebbero essere usate per massimizzare l'attrazione e l'interesse, come nel caso di un adulto che si avvicina a un cucciolo.

Suoni rumorosi: ringhio (250-1500Hz), abbaio (320-904 Hz) (*growl, snarl, woof, bark*).

I lupi ringhiano in situazioni aggressive: quando affermano la propria dominanza, se minacciano o attaccano, o per avvertimento o difesa (Schenkel 1974; Joslin 1966; Fentress 1967; Fox 1971, 1978; Schassburger 1978, 1987, 1993). I *woofs* sono emessi a “bassa voce”, quasi sussurrati, in casi di avvertimento o difesa, per esempio quando le persone si avvicinano agli homesites (Nikol'skii *et al.* 1986).



Fig. 1.4

I *barks* sono corti e gravi e, analizzati con un'alta risoluzione, mostrano una forma a V (Frommolt *et al.* 1988, Coscia *et al.* 1991, Coscia 1995). Possono rappresentare un segnale di localizzazione o sollecitazione (Rutter & Pimlott 1968) o un sintomo di tensione sociale (Boscagli 1985).

Suoni intermedi: gemiti (*moans*). Non sono mai stati ascoltati in lupi selvatici. Shassburger gli ha descritti come “suono di dolore o pena basso e prolungato” (1993,19).

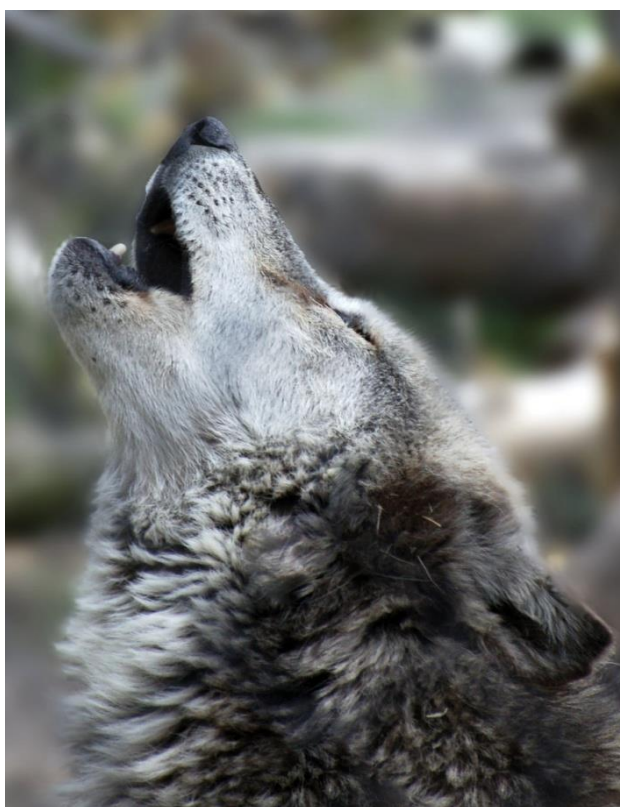
Suoni misti: sono vocalizzazioni continue formate da duo o tre tipi dei suoni precedentemente descritti. Secondo Schassburger costituiscono la “somma funzionale” di messaggi diversi ma compatibili (1978,1987,1993), altrimenti servirebbero per graduare l'intensità del messaggio (Cohen & Fox 1976).

♣ **Segnali Vocali a Lunga Distanza** (*Long-Distance Vocal Signals*). Per ottenere un segnale percepibile a elevate distanze rendendo minima la distorsione e l'attenuazione, bisogna usare suoni con frequenze basse e armonicamente poveri. Questo scopo è raggiunto con l'ululato che può essere udito fino a 16 Km di distanza nella tundra (Henshaw & Stephenson 1974). D'altra parte però esso è più limitato riguardo la varietà di informazioni che può trasmettere. La frequenza fondamentale varia tra 150 e 1000 Hz per gli adulti (Theberge & Falls 1967, Tooze *et al.* 1990). Le funzioni di questi segnali vocali comprendono il mantenimento dei contatti tra individui appartenenti allo stesso branco, e la difesa del territorio.

*Ululato singolo*: ha una durata compresa tra meno di un secondo e 14 secondi (Theberge & Falls 1967, Harrington & Mech 1978b, Schassburger 1993). La struttura varia molto a seconda degli individui e del contesto sociale (Theberge & Falls 1967; Harrington & Mech 1978b; Schassburger 1978, 1987, 1993; Tooze 1987; Harrington 1989; Toze *et al.* 1990).

*Ululato corale*: gli ululati nei cori sono ancora più variabili rispetto a quelli dei singoli (Mc Carley 1978, Harrington 1989, Holt 1998). I lupi di solito iniziano i cori con ululati relativamente non modulati, poi altri lupi si uniscono e accelerano il ritmo. Gli ululati corali possono durare 30-120 secondi (Joslin 1966, Mc Carley 1978, Klinghammer & Laidlow 1979, Harrington 1989), ma anche di più durante la stagione riproduttiva (Klinghammer & Laidlow 1979, Servín-Martínez 2000).

Holt (1998) ha sottolineato il fatto che spesso l'ululato corale viene classificato come un unico suono, mentre contiene più componenti vocali: *squeaks* (pigolio), *barks*, *growls* e *bark-howls*. Alcune di queste però non vengono percepite dagli operatori perché troppo lontani.



**Fig. 1.5**

## **2. MATERIALI E METODI**

### **2.1 AREA DI STUDIO**

La ricerca si è svolta nella provincia di Arezzo che copre un territorio di circa 323.000 ha ed è suddivisa in 39 comuni. Confina con l'Emilia-Romagna (provincia di Forlì-Cesena e provincia di Rimini) a nord-est, con la provincia di Firenze a nord-ovest, con le Marche (provincia di Pesaro e Urbino) e con l'Umbria (provincia di Perugia) a est e con la provincia di Siena a sud-ovest.

Il territorio provinciale è collocato lungo la dorsale appenninica ed è compreso per buona parte nei bacini dell' Arno e del Tevere, mentre aree più piccole occupano il bacino dei fiumi Marecchia e Conca, e i bacini dei fiumi Metauro e Ombrone. Esso è suddiviso in quattro aree geografiche costituite da quattro vallate principali:

- il Casentino che corrisponde al tratto superiore dell'Arno, compreso tra i massicci dell'Alpe di Catenaia ad est e del Pratomagno ad ovest;
- il Valdarno Superiore, vallata alluvionale chiusa a Nord Est dal massiccio del Pratomagno e delimitata a Sud Ovest dai modesti Monti del Chianti;
- la Val di Chiana, che comprende il bacino idrografico del Canale Maestro della Chiana, dal confine con la provincia di Siena fino alla confluenza con l'Arno;
- la Valtiberina, compresa tra l'Alpe della Luna ad est e l'Alpe di Catenaia ad ovest, ove si snoda il corso superiore del Tevere.

L'intera area è caratterizzata da numerosi sistemi montuosi che sono in stretta relazione con la distribuzione del lupo. Il principale è costituito da un tratto di Appennino in cui si trovano il sistema montuoso del Falterona, di Camaldoli, dell'alta valle dell'Archiano e del Corsalone, il sistema dell'alta valle del Tevere e quello dell'Alpe della Luna.

Altri sistemi montuosi, collegati solo secondariamente alla dorsale appenninica, sono: il massiccio del Pratomagno, l'Alpe di Catenaia, il Sasso di Simone e Simoncello.

Infine, a maggiore distanza dall'Appennino, si trovano sistemi montuosi di minore altezza: i Monti del Chianti e l'alta val d'Ambra, l'Alpe di Poti e il sistema montano che divide la val di Chiana dal bacino del Tevere.

Complessivamente il territorio risulta situato per il 57,1 % oltre i 400 mt di altitudine e per il 7,4 % oltre i 1000 mt. Dai dati della carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000) si ricava che le aree di bosco o macchia ricoprono il 51 % circa del territorio. I boschi sono per lo più di latifoglie, caratterizzati dalla presenza del faggio (*Fagus sylvatica*),

del cerro (*Quercus cerris*), del castagno (*Castanea sativa*), del carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e della roverella (*Quercus pubescens*). Solo il 5,5 % delle aree boscate è occupato da conifere, in particolare abete bianco (*Abies alba*) e pino nero (*Pinus nigra*). Infine si trovano boschi misti (7%) e aree in rinnovazione (17 %).



**Fig. 2.1**

La densità abitativa è di 100 abitanti/kmq (dati ISTAT 2001). Da sottolineare il fatto che nei comuni collinari essa è 3,3 volte maggiore rispetto a quella dei comuni montani. Il clima è di tipo continentale. Gli inverni sono caratterizzati da elevati tassi di umidità e piovosità. Al di sopra dei 900 mt le temperature scendono spesso sotto lo zero con nevicate abbondanti che permangono al suolo per alcuni mesi (generalmente Dicembre-Febbraio). Le estati sono calde ma non afose.

In provincia di Arezzo si trovano diverse aree destinate alla protezione della fauna:

- ♣ il sistema delle oasi di protezione faunistica, istituito dalla provincia di Arezzo nel 1996, che comprende le oasi del Pratomagno, Alpe di Catenaia, Alpe della Luna, Alto Tevere e Monte Modina per un totale di 10.500 ha.
- ♣ il sistema delle sette Riserve naturali istituite dalla Regione: due situate nelle aree umide di Ponte Buriano e Penna e della Valle dell'Inferno e Bandella, lungo il corso del fiume Arno; le riserve del Sasso di Simone, dell'Alpe della Luna, Monte Nero, Monti Rognosi e Bosco di Montalto si trovano invece in aree collinari e montane dove formano un sistema integrato con quello delle oasi di protezione.
- ♣ le zone di protezione lungo le rotte migratorie istituite dalla provincia in attuazione della Direttiva 79/409 CEE e la L. 157/92. Queste sono collocate a quote più basse e comprendono aree carenti di istituti di protezione.
- ♣ le aree protette statali che comprendono il Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi-Monte Falterona e Campigna, il quale occupa circa 13.770 ha, e altre 5 riserve che si estendono complessivamente per circa 500 ha.

Nella provincia di Arezzo il lupo trova una buona disponibilità di prede selvatiche. Infatti questo territorio è ricco di ungulati selvatici tutti appartenenti all'ordine degli artiodattili: una specie suiforme, il cinghiale (*Sua scrofa*); quattro specie di ruminanti, il capriolo (*Capreolus capreolus*), il cervo (*Cervus elaphus*) e il daino (*Dama dama*) appartenenti alla famiglia dei cervidi, il muflone (*Ovis orientalis musimon*), rappresentante della famiglia dei bovidi. Il capriolo e il cinghiale sono le specie più ampiamente distribuite.

## 2.2 WOLF-HOWLING

Gli ululati utilizzati in questo studio sono stati ottenuti con l'impiego della tecnica del wolf-howling, o tecnica dell'ululato indotto. Questa tecnica consiste nell'emissione di un ululato, a voce o registrato, al fine di stimolare una risposta da parte dei lupi. Pimlott fu il primo a farne uso per scopi scientifici nel 1960. Negli anni successivi il wolf-howling è stato adottato in diversi studi: da una parte quelli atti a censire i branchi, definire il loro home-range, stimarne la consistenza numerica (Joslin 1967, Pimlott *et al.* 1969, Voigt 1973, Harrington & Mech 1982b, Fuller & Sampson 1988) e verificare l'avvenuta riproduzione dei piccoli (Harrington & Mech 1978b, 1979); dall'altra quelli relativi all'acquisizione di dati riguardanti gli ululati stessi, sia di lupi in cattività che di lupi selvatici (Harrington & Mech 1978a, 1979, 1982a; Harrington 1987).

Questo metodo sfrutta la tendenza dei lupi a rispondere a stimoli vocali estranei (Harrington & Mech 1979, 1982b, Harrington 1987) al fine di difendere il proprio territorio evitando scontri diretti con gli intrusi (Harrington & Mech 1979). Infatti le risposte che si ottengono sono quelle caratteristiche di un contesto agonistico tra branchi diversi (Joslin 1967, Harrington & Mech 1979) e i lupi solo raramente si avvicinano ai ricercatori/estranei (Harrington & Mech 1979). In questi rari casi i lupi che si espongono sono al massimo due e il loro atteggiamento è per lo più agonistico con ululati frequenti, ma può anche accadere che non emettano alcuna vocalizzazione (Harrington & Mech 1979). In particolare il tasso di risposta aumenta in presenza dei cuccioli o di prede, risorse attivamente difese dai lupi e correlate all'evoluzione del comportamento territoriale del lupo (Harrington & Mech 1979). Inoltre è stato notato che i cuccioli fino a quattro mesi di vita non distinguono gli ululati estranei da quelli familiari e quindi replicano repentinamente allo stimolo emesso (Harrington & Mech 1979).

Diversi autori hanno dimostrato che gli ululati emessi a voce sono più efficaci per stimolare una risposta, rispetto a quelli registrati (sia simulazioni umane che ululati veri e propri) ( Pimlott 1960, Joslin 1967, Theberge & Falls 1967, Voigt 1973), e tale risposta è uguale a quella provocata da un branco estraneo (Joslin 1967, Harrington & Mech 1979). Addirittura Harrington ha osservato che lupi in cattività rispondono più prontamente a un ululato di tipo “breaking” piuttosto che a un “flat” (dati non pubblicati), ma comunque si consiglia di alternarli, a voce, per un totale di 5 ululati per trial (Harrington & Mech 1982b). In questo studio però è stato utilizzato uno stimolo registrato per evitare differenze nelle vocalizzazioni prodotte dai diversi operatori. La registrazione ha una durata di 1 minuto e 20 secondi ed è un ululato corale di una coppia di lupi, un maschio ed una femmina, ospitati nel Parco Faunistico “La Torbiera”. Tale stimolo viene emesso mediante un mangianastri collegato ad un amplificatore lineare con una potenza di 40 Watt e ad una tromba esponenziale ad elevata direzionalità di emissione (120° di copertura orizzontale e 60° in verticale).



**Fig. 2.2** Ululato corale

La stagione estiva è quella più adatta per praticare il wolf-howling (Harrington & Mech 1979,1982b, Nowak *et al.* 2006). In Italia, in particolare, il tasso di risposta è elevato da luglio a ottobre, con un picco a settembre (Gazzola *et al.* 2002). Harrington e Mech (1979) hanno osservato anche un altro piccolo aumento nella frequenza degli ululati durante il periodo degli accoppiamenti. Tale dato è stato confermato nelle provincia di Arezzo, con un picco in marzo (Gazzola 2002), ma non in Polonia (Nowak *et al.* 2006).

Questa attività viene effettuata nelle ore notturne, da una parte perché aumenta il tasso di risposta (Rutter & Pimlott 1968, Zimen 1971, Harrington & Mech 1978a, Nowak *et al.* 2006), dall'altra perché il disturbo antropico è minimo. Nell'area della provincia di Arezzo sono stati ottenuti 2 picchi in particolare: 7-9 p.m. e 5-7 a.m. (Gazzola *et al.* 2002). In caso di pioggia o vento forte le uscite dovranno essere rimandate.

Nel 1982 Harrington e Mech propongono due approcci diversi per il censimento tramite il wolf-howling. Il “censimento a saturazione” può essere usato per aree limitate, come riserve o parchi nazionali, che consentano una buona accessibilità al territorio, in modo da esplorarlo per intero. L'ideale sarebbe di costruirvi una griglia formata da percorsi distanziati di circa 3 km, all'intersezione dei quali viene istituita una stazione di censimento. Chiaramente può essere molto difficile raggiungere alcuni punti di emissione, quindi si possono sfruttare strade, asfaltate e non, purché siano ben distribuite su tutta l'area. Il “censimento per campionamento” serve per stimare il numero di cucciolate sopravvissute alla fine dell'estate su aree ampie. In questo caso bisogna emettere in molte aree selezionate casualmente, determinare l'area totale coperta dalle varie emissioni, calcolare il rapporto tra il numero delle risposte e l'area censita, proiettare questo rapporto sul territorio totale.

Il materiale per questo studio è stato raccolto nel 2009 in occasione delle operazioni di censimento nella provincia di Arezzo, seguendo il metodo “a saturazione”.

Da ogni punto di censimento viene effettuata una prima emissione a volume generalmente basso in modo da non intimorire i lupi, inibendoli a rispondere. L'operatore con cuffie e microfono si trova a qualche metro di distanza dalla fonte di emissione ed esplora lo spazio circostante nell'attesa di ascoltare una risposta. Se questa non arriva dopo due minuti, si effettuano altre due emissioni a volume più alto. Molti branchi non rispondono al primo stimolo, ma bisogna aspettare la terza emissione. Per questo è consigliabile ripetere tre trials (Harrington & Mech 1982b). Se si ottiene una risposta, si può provare a spostarsi in quella direzione per effettuare altri trials, in modo da riuscire ad avere registrazioni migliori e una localizzazione del branco più precisa. Su una apposita scheda di campo vengono annotate data, zona, ora solare, coordinate della stazione di emissione registrate con un GPS (Garmin 60CSx). Gli operatori valutano poi direzione e distanza della risposta e successivamente la localizzazione del sito è riportata su cartografia digitale ed elaborata con specifici software di georeferenziazione (MapInfo professional 5.0).

Il wolf-howling non si pratica solo di notte. Durante il giorno vengono effettuate delle uscite, per perlustrare il territorio e individuare dei punti panoramici per effettuare le emissioni, magari che guardino le valli sottostanti, o che comunque permettano una buona propagazione del suono.

Le risposte ottenute vengono registrate con un apposito microfono direzionale Sennheiser (Mod. K6p), dotato di protezione anti-vento ed un registratore digitale (M-Audio microtrack 24/96) impostando il campionamento di frequenza a 44.1 kHz e la risoluzione di ampiezza a 16 bit, salvando le tracce in formato esteso (wave) per la successiva importazione su computer ed elaborazione spettrografica.

## 2.3 IL SUONO

Il suono è prodotto da una sorgente sonora che vibra. Tale vibrazione crea un' **onda longitudinale** di compressione e decompressione che si propaga in un mezzo elastico, come l'aria o l'acqua. L'onda sonora arriva alle orecchie che sono in grado di trasformare la variazione della pressione dell'aria in un impulso elettrico capace di generare, a livello cerebrale, la sensazione sonora.

La **pressione sonora** è data dalla forza delle molecole del mezzo per unità di superficie.

Le caratteristiche della forma dell'onda sono:

- il **periodo**  $T$  è il tempo che intercorre tra l'istante in cui, in un punto prefissato, si verifica la massima pressione e l'istante in cui questa situazione si verifica nuovamente nello stesso punto, cioè è la durata di un ciclo;
- la **frequenza**  $f$  dell'onda è il numero di cicli per secondo e si misura in Hertz;
- la **lunghezza d'onda**  $\lambda$  è la distanza che intercorre, in un certo istante, tra due zone consecutive di maggior addensamento (zone scure), zone nelle quali la pressione acustica è massima;
- l'**ampiezza** dell'oscillazione, cioè lo spostamento massimo delle molecole rispetto alla loro condizione di riposo;
- la **velocità** di propagazione nel mezzo è data dal rapporto tra  $\lambda$  e  $T$ .

Un'importante proprietà da ricordare, che riguarda il mezzo in cui l'onda si propaga è l' **impedenza**  $Z$ . Essa infatti quantifica la resistenza che il mezzo oppone al fenomeno acustico ed è definita come il rapporto tra la pressione sonora  $P$  e il flusso del fluido  $U$  (o portata di volume) in un punto.

Il **microfono** è un dispositivo in grado di convertire le onde di pressione sonora in segnali elettrici. In particolare il **microfono a condensatore** consta di una lamina metallica e una sottile membrana di plastica su cui è stato depositato uno strato di metallo. La membrana è posta vicina e parallela alla lamina, con il lato di plastica rivolto verso la lamina e quello metallizzato verso il suono. Tra la lamina e lo strato di metallo della membrana viene applicato un voltaggio. Il funzionamento del microfono può essere così riassunto: 1) il suono colpisce la membrana 2) quando la pressione aumenta la membrana è spinta in avanti verso la lamina e gli elettroni fuoriescono da questa 3) quando la pressione diminuisce la membrana è spinta indietro e gli elettroni ritornano alla lamina 4) questo movimento di elettroni crea una corrente elettrica che riproduce la forma d'onda del suono incidente.

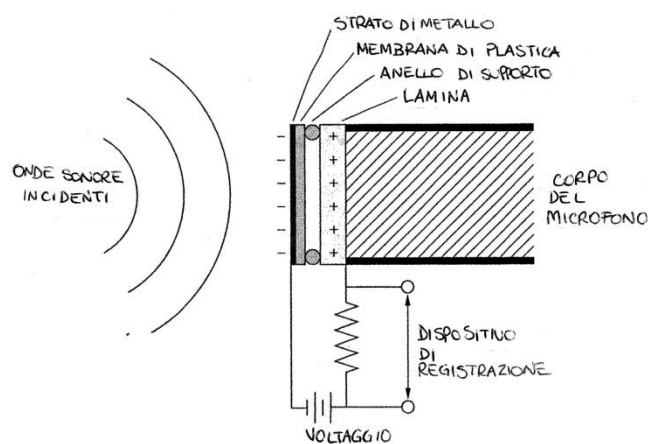
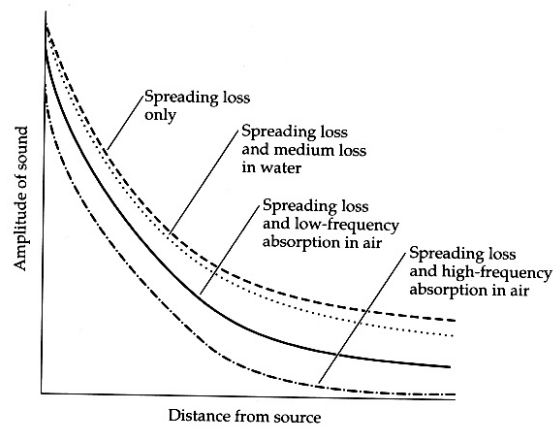


Fig. 2.3 Schema di un microfono a condensatore

Durante il tragitto che separa la sorgente sonora dal ricevente il suono può essere distorto e degradato in vari modi:

- ♣ *Attenuazione globale*: nell'aria libera il suono si propaga uniformemente dalla sorgente in tutte le direzioni e l'intensità del suono diminuisce all'aumentare della distanza dalla sorgente. Infatti la *legge dell'inverso del quadrato* stabilisce che l'intensità del suono in qualunque campo libero è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente.

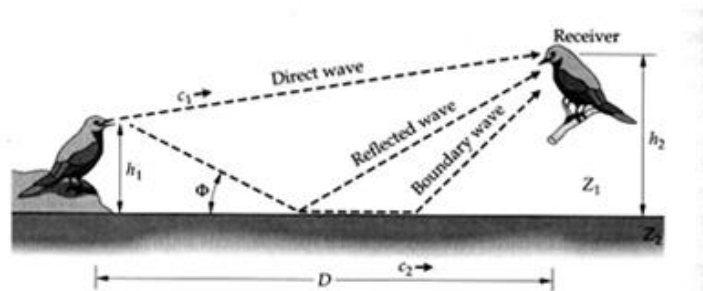
- ♣ *Assorbimento da parte del mezzo*: le perdite di energia del suono sotto forma di calore variano in base al mezzo e alla frequenza del suono. Per esempio, per un segnale di 1 kHz in acqua si ha una perdita di 0,008 dB/100 m, in aria 1,2 dB/100 m. Quindi l'assorbimento da parte del mezzo è molto maggiore in aria piuttosto che in acqua (150-200 volte)



**Fig. 2.4** Assorbimento da parte del mezzo in funzione della distanza dalla sorgente sonora

♣ *Scattering*: le onde vengono deflesse a causa della collisione con altre particelle. Tale deflessione avviene in modo disordinato e per lo più casuale. La quantità di energia che viene persa dipende dalla misura relativa degli oggetti, dalla lunghezza d'onda incidente, dall'impedenza acustica del mezzo e delle particelle, e talvolta dalla forma e dalla composizione di queste ultime. Un esempio di una fonte di scattering è la vegetazione.

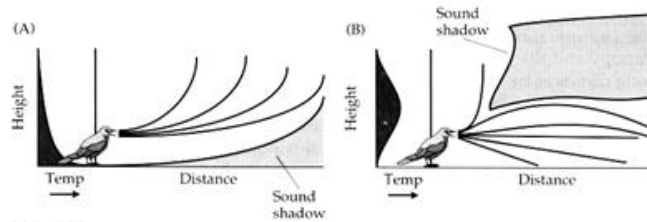
♣ *Effetto del bordo*: nelle vicinanze di un bordo possono essere descritti tre tipi di onde sonore che si propagano simultaneamente: *dirette, riflesse, del bordo*. A seconda dell'angolo tra segnalatore e ricevente si hanno modificazioni diverse del segnale. Quando le tre onde arrivano al ricevente si sommano. In base allo spostamento di fase e alla differenza delle distanze percorse arriveranno con delle fasi relative diverse.



**Fig. 2.5** Sound propagation near a boundary surface. Sound waves arrive at a receiver through a direct path, a wave reflected from the boundary, and ground and surface waves that travel in or near the boundary. Critical parameters affecting sound intensity at the receiver include the heights above the boundary of the sender,  $h_1$ , and of the receiver,  $h_2$ ; the horizontal distance  $D$  between sender and receiver; the grazing angle of the reflected sound,  $\Phi$ ; the relative impedances,  $Z_1$  and  $Z_2$  of the two media at the boundary; and the speeds of sound in the two media,  $c_1$  and  $c_2$ .

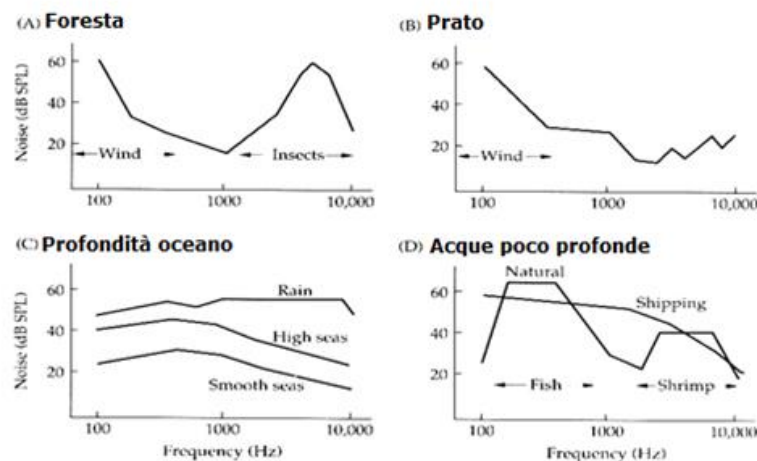
♣ *Rifrazione*: è il cambiamento di direzione che un'onda subisce a causa del cambiamento della sua velocità di propagazione. Gradienti di temperatura e densità del

mezzo o velocità/direzione vento e corrente possono causare rifrazione dei suoni (canali sonori; zone d'ombra sonora)



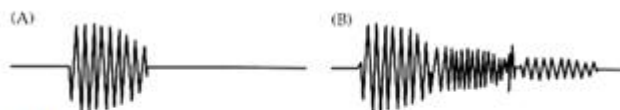
**Fig. 2.6** Refraction effects experienced by terrestrial animals. Sound velocity profile depends primarily on temperature of air (Temp). In (A), the ground is warm, and the air near the surface has a higher sound velocity than air at greater heights. Sounds are refracted up and away from the ground, generating a sound shadow near the ground at a moderate distance from the source. In (B), the warmest air occurs at some height above the ground. This situation is common in open areas on clear nights or at the canopy of a forest during the day. Vocalizations emitted below the warm air are refracted back down and travel long distances. The sound radiating above the warm air is bent up, generating a sound shadow above the warm layer.

♣ **Rumore:** altera la composizione spettrale di un suono che si propaga aggiungendo nuove componenti di frequenza e nuova energia alle componenti già presenti.



**Fig. 2.7** Noise levels in terrestrial and marine environments. (A) Ambient noise spectra in a typical forest. Contributions by wind and insects are marked. (B) Ambient noise levels over typical pasture or grassland. (C) Deep ocean ambient noise spectra under conditions of smooth seas, high seas, and heavy rain. (D) Shallow water noise spectra showing natural and man-made sources separately. Contributions by fish and shrimp in natural sources are marked. (A and B after Klump and Curio 1983, Klump and Shalter 1984, Morton 1975, Ryan and Brenowitz 1985, Waser and Waser 1977; C and D after Albers 1960, Rogers and Cox 1988.)

♣ **Riverbero:** distorsione causata da eco e riflessione del suono sugli oggetti. Esso è maggiore in foreste e ambienti acquatici ed è minimo in ambienti aperti.



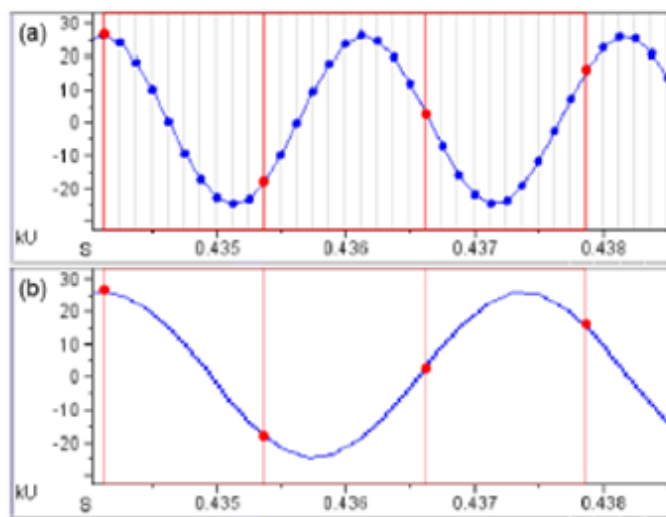
**Fig. 2.8** Effects of reverberations on a propagating signal. (A) Waveform of a signal emitted by sender. (B) Waveform of a signal at a receiver, consisting of the initial signal that has arrived by a direct path, followed by successively lower amplitude reverberations from scatter and boundary echoes.

## 2.4 ANALISI DEL SUONO

Per poter essere analizzato al computer, il segnale suono deve essere digitalizzato. Questo significa misurare il voltaggio istantaneo del segnale continuo (analogico) migliaia di volte per secondo. La rappresentazione che si ottiene è una sequenza di valori numerici che rappresentano l'ampiezza dell'onda originale in modo discreto, con punti distanziati regolarmente nel tempo.

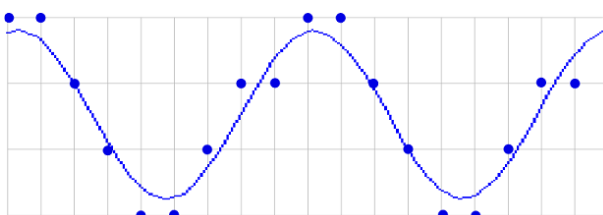
La precisione con cui un segnale digitalizzato rappresenta un segnale continuo dipende da due parametri:

- **La frequenza di campionamento** - E' il numero di campioni al secondo, cioè la frequenza con cui sono fatte le misure di ampiezza. I dispositivi audio digitali in commercio usano frequenze di campionamento di 44,1 kHz (cd audio). Il *teorema di Nyquist* suggerisce che la frequenza di campionamento deve essere per lo meno il doppio della più alta frequenza dello spettro del segnale preso in esame; in caso contrario si può incorrere nel fenomeno *aliasing*, che crea un artefatto per cui nel segnale digitalizzato saranno rappresentate delle frequenze non realmente presenti nell'originale.



**Fig. 2.9** Aliasing as a result of inadequate sampling rate. Vertical lines indicate times at which samples are taken. (a) A 500 Hz pure tone sampled at 8000 Hz. The blue sinusoidal curve represents the continuous analog waveform being sampled. There are 16 sample points ( $= 8000/500$ ) in each cycle of the waveform. If the same analog signal were sampled at 800 Hz (red sample points), there would be fewer than two points per cycle, and aliasing would result. (b) The aliased waveform that would be represented by sampling the 500 Hz signal at a sampling rate of 800 Hz (Nyquist frequency = 400 Hz). Since the original waveform was 100 Hz higher than the Nyquist frequency, the aliased signal is 100 Hz below the Nyquist frequency, or 300 Hz.

- **La quantizzazione** - Il numero di bit utilizzati per rappresentare ogni misura della ampiezza. Per un campione a 8 bit si ottengono  $2^8=256$  valori possibili, mentre per un campione a 16 bit si ottengono  $2^{16}=65536$  valori possibili.

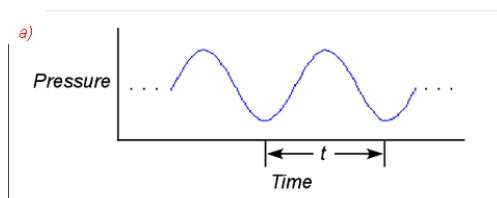


**Fig. 2.10** Digitizing error with a hypothetical 2-bit sample size. 2-bit samples can represent only four different amplitude levels. The blue sinusoidal curve represents the continuous analog waveform being sampled. At each sample time (vertical lines), the actual amplitude levels are rounded to the nearest value that can be represented by a 2-bit sample (horizontal lines). The amplitude values stored for most samples (dots) are slightly different from the true amplitude level of the signal at the time the sample was taken

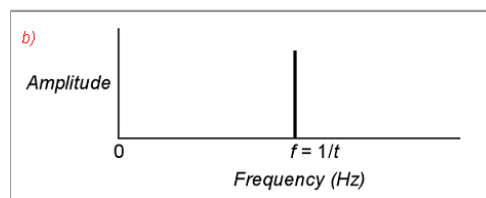
La visualizzazione degli ululati può essere effettuata utilizzando software specifici (Avisoft, Raven Pro 1.3, Spectrogram, Praat, ecc...). Si tratta di programmi per l'acquisizione, la visualizzazione, la misurazione e l'analisi dei segnali acustici. Tutti questi processi sono resi possibili grazie alla tecnica dell'*analisi di Fourier*. Questa si basa sul fatto che ogni forma d'onda continua può essere scomposta in un insieme di onde sinusoidali pure di durata infinita, le cui frequenze, ampiezze e relative fasi possono essere facilmente quantificate e comparate in modo da dare una descrizione completa della forma d'onda iniziale.

Ogni segnale acustico può essere descritto in due modi:

- il *dominio del tempo*, in cui la pressione istantanea è rappresentata come funzione del tempo;
- il *dominio della frequenza*, in cui l'ampiezza del segnale è rappresentata come una funzione della frequenza.



**Fig. 2.11**

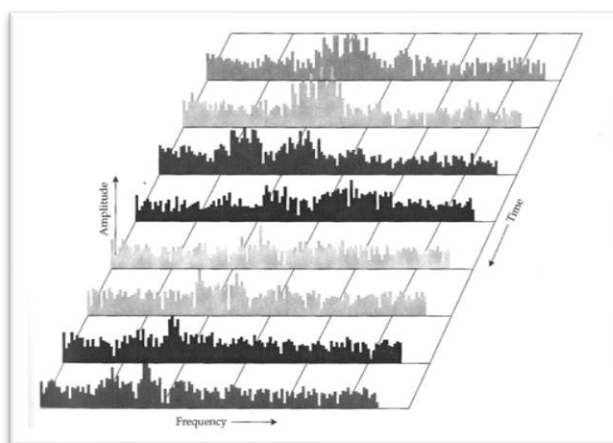


**Fig. 2.12**

La regola base dell'analisi di Fourier afferma che più il grafico del dominio del tempo si discosta da quello di un semplice seno di durata infinita, maggiore sarà il numero di

onde sinusoidali che devono essere sommate al grafico del dominio della frequenza e maggiori saranno le ampiezze di queste componenti aggiunte.

In pratica i programmi che analizzano i suoni dividono il segnale in segmenti, eseguono l'analisi di Fourier su ogni segmento e tracciano i risultati dello spettro di frequenza lungo l'asse del tempo. Si ottiene quindi un grafico tridimensionale chiamato "waterfall display". Questo però è molto difficile da interpretare ed è preferibile utilizzare uno *spettrogramma* a due dimensioni, o *sonogramma*. Si tratta di un grafico a due dimensioni in cui sono mostrate solo le ampiezze di frequenza più alte, le quali sono tracciate in funzione del tempo (asse x) e della frequenza (asse y). Lo *spettro* invece permette di analizzare in un dato istante del suono, le frequenza in ascissa e l'intensità (ampiezza, in dB) in ordinata.



**Fig. 2.13** Spettrogramma 3D

In particolare quando il segnale e lo spettro sono rappresentati da una sequenza di valori digitali discreti, si usa la *Trasformata Discreta di Fourier* (DFT). L'input per la DFT sono i valori di ampiezza del segnale, digitalizzati a intervalli regolari. Gli spettrogrammi sono prodotti con una tecnica chiamata *Short-time Fourier Transform* (STFT).

Potremmo pensare di dividere il segnale in segmenti piccolissimi in modo da avere una grande accuratezza per i dati riguardanti il tempo. In realtà bisogna avere un segmento ragionevolmente lungo per identificare le componenti della frequenza e le loro intensità. Una sezione molto corta produrrebbe una sbavatura di energia sulle frequenze adiacenti e sarebbe difficile capire dove si trova esattamente l'energia all'interno della macchia. Supponiamo di avere un segmento di durata  $\Delta t$ . Più corto è  $\Delta t$ , minore sarà il numero di cicli presenti per ogni onda e meno accurata la stima della frequenza. La larghezza di banda  $\Delta f$  (*bandwidth*) di uno strumento è l'abilità nel discriminare componenti adiacenti della frequenza. Più grande è  $\Delta f$ , maggiore sarà la probabilità di analizzare due bande

adiacenti raggruppate insieme come un'ampia macchia di frequenza. Ne consegue che bisogna trovare un compromesso tra una buona risoluzione temporale e una buona risoluzione in frequenza. Questo concetto è riassunto dal “*principio dell'indeterminazione*” il quale stabilisce che la nostra abilità (o quella dello strumento) nel misurare la frequenza di un evento continuo è limitata dall'intervallo di tempo in cui è misurata. Quindi la precisione nella misura della frequenza è ottenuta solo considerando un lungo intervallo di tempo e questo avviene a spese della precisione nella misura del tempo. Questa relazione è espressa come  $\Delta f \cdot \Delta t \geq 1$  (Gabor 1946, Joos 1948, Brillouin 1962, Cherry 1965, Greenewalt 1968, Beecher 1988).

## **2.5 STIMA DEL NUMERO MINIMO DI INDIVIDUI E PRESENZA DI PICCOLI**

Le risposte ottenute durante le sessioni di wolf-howling sono state scaricate direttamente dal M-Audio al computer. Dopodiché sono stati effettuati dei tagli, relativi alle parti iniziali e finali delle registrazioni in cui non erano presenti gli ululati, con il programma informatico Cool-Edit Pro. 2.1 al fine di renderli più gestibili dal software per l'analisi del suono.

La visualizzazione degli ululati è stata effettuata utilizzando il software Raven Pro. 1.3 (Cornell Lab of Ornithology). Questi vengono rappresentati in tre differenti modalità:

- la *waveform* che consiste in un oscillogramma, cioè il grafico del suono composto dal tempo in secondi (s) sull'asse delle ascisse e dell'ampiezza in chilounità (ku) su quello delle ordinate;
- lo *spettrogramma* in cui l'asse delle ordinate rappresenta le frequenze (kHz), quello delle ascisse il tempo in secondi (s) e l'intensità è rappresentata (generalmente) dalle tonalità di grigio ed è utilizzato il decibel (dB) come unità di misura;
- lo *spettro* è la rappresentazione in un dato istante del suono con le frequenze (kHz) in ascissa e l'intensità in decibel (dB) in ordinata.

Per le registrazioni del 2009 è stato determinato il numero minimo di individui all'interno di ogni risposta corale. La metodologia consiste nel contare il numero di vocalizzazioni diverse per andamento e frequenza presenti nello stesso istante, partendo dal presupposto che un lupo non può emettere due ululati diversi contemporaneamente. Per fare questo tipo di analisi sono sufficienti la visualizzazione dello spettrogramma e dello spettro. La finestra di riferimento è quella di Hanning. La risoluzione di frequenza

usata è di 10.9 Hz, il filtro di banda di 21.5 Hz ed una sovrapposizione temporale di 10 millisecondi.

In presenza di due o più ululati sovrapposti, che si traducono nella visualizzazione di una sola e spessa linea, è stato inserito un filtro di banda più stretto capace di separare visivamente le vocalizzazioni.

In questo genere di analisi si analizza solamente la frequenza fondamentale. Bisogna quindi prestare attenzione a non confonderla con le varie armoniche, che sono facilmente riconoscibili perché hanno una forma simile e frequenze multiple rispetto alla fondamentale.

Per verificare l'avvenuta riproduzione è necessario valutare la presenza di vocalizzi di cuccioli che possono raggiungere i 1.554 Hz (Harrington 1989) , che siano privi del range di frequenze più basse (300-400 Hz) tipiche dei cori degli adulti (Harrington & Mech 1978) e che nei primi mesi di vita presentano una struttura molto variabile. Studi in cattività su una subpopolazione di lupo iberico (*Canis lupus lupus*) hanno stabilito che la massima frequenza della vocalizzazione fondamentale di un adulto è di 1.116 Hz (Palacios *et al.* 2007) e la struttura rientra in un continuum tra modelli di base dal “flat”, l'ululato piatto, al “breaking”, l'ululato spezzato (Harrington 1982; Palacios *et al.* 2007). Inoltre è noto da tempo che i lupi stessi sono in grado di discriminare gli ululati dei cuccioli da quelli degli adulti (Harrington 1986).

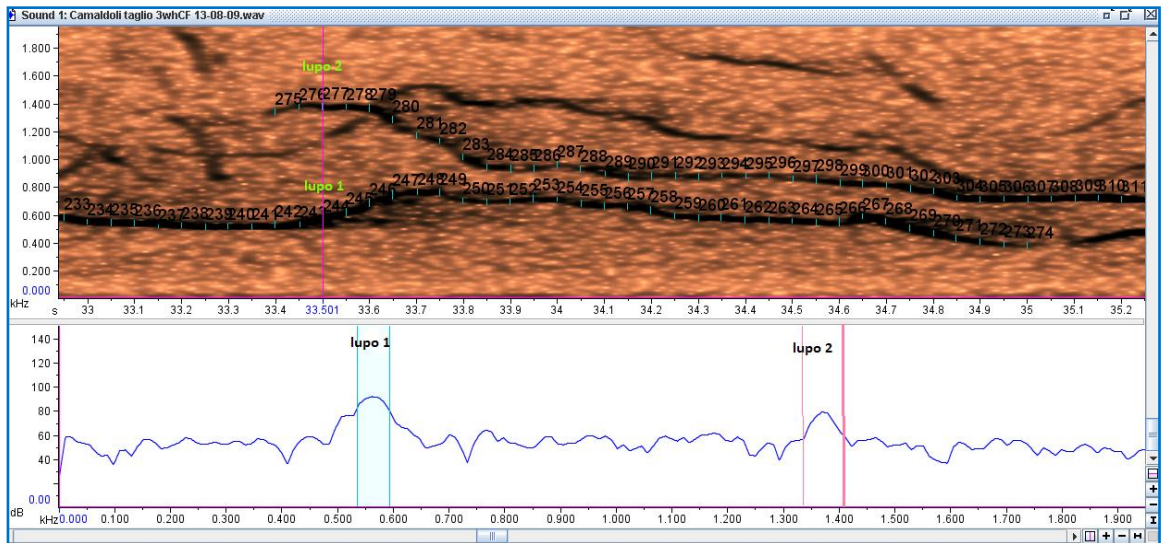
## 2.6 TIPIZZAZIONE DEGLI ULULATI

Per la tipizzazione degli ululati sono state considerate solamente le frequenze fondamentali di ululati di lupi adulti, e sono state utilizzate solamente le tracce che potevano essere seguite per intero.

Per questa analisi sono necessarie la visualizzazione dello spettrogramma e dello spettro. Al fine di uniformare i valori di questo studio con quelli di precedenti studi sulle vocalizzazioni di lupo (Tooze *et al.* 1990; Palacios *et al.* 2007), sono stati impostati i seguenti parametri per l'analisi del suono: DFT size (2048 samples); Hanning window; risoluzione in frequenza (21.5 Hz); risoluzione temporale (10 ms); filtro di banda (37.5 Hz).

Per l'intera durata dell'ululato, ogni 0,05 secondi, usando il cursore, vengono rilevate alcune misure. Il programma è in grado di restituire 32 parametri diversi per ogni rilevazione, ma sono stati utilizzati solo: Begin Time (s), End Time (s), Low Frequency

(Hz), High Frequency (Hz) e Peak Frequency (Hz). Tali selezioni sono riportate automaticamente in una tabella in formato “testo delimitato da tabulazione” (txt) alla quale è possibile aggiungere annotazioni personali.



**Fig. 2.14** Sonogramma e spettro con due vocalizzazioni diverse nello stesso istante

Successivamente, per ogni ululato sono state ricavate le seguenti variabili, che erano già state considerate in lavori precedenti (Tooze *et al.* 1990, Palacios *et al.* 2007, Passilongo *et al.* 2010):

▪ **Variabili tonali:**

**Meanf:** la media del picco di frequenza fondamentale calcolata ogni 0.05 secondi per l'intera durata dell'ululato in Hz

**Modelf:** la moda della frequenza fondamentale in Hz

**Rangef:** intervallo tra il minimo e il massimo picco di frequenza in Hz

**Minf:** il valore minimo dei picchi di frequenza della fondamentale in Hz

**Maxf:** il valore massimo dei picchi di frequenza della fondamentale in Hz

**Endf:** il picco di frequenza alla fine dell'ululato in Hz

▪ **Variabili di forma:**

**Duration:** la lunghezza dell'ululato in secondi

**Posmin:** la posizione alla quale si trova il valore minimo di frequenza della fondamentale (tempo in cui si ha la minima frequenza/durata)

**Posmax:** la posizione alla quale si trova il valore massimo di frequenza della fondamentale (tempo in cui si ha la massima frequenza/durata)

**Cofv:** coefficiente di variazione di frequenza.  $Cofv = \frac{SD}{meanf} * 100$

**Cofm:** coefficiente di modulazione di frequenza.  $Cofm = \frac{\frac{\sum |f(t) - f(t+1)|}{n-1}}{meanf} * 100$

**Abrupt:** numero di discontinuità nella fondamentale (cambiamenti di frequenza di almeno 25 Hz tra un punto e un altro).

## 2.7 ANALISI STATISTICA

I dati ottenuti dagli ululati sono stati inizialmente elaborati con una statistica descrittiva. Sono state calcolate misure di posizione (media) e di dispersione (intervallo e deviazione standard).

L'Analisi Univariata della Varianza (ANOVA) permette di confrontare due o più gruppi di dati confrontando la variabilità *interna* a questi gruppi con la variabilità *tra* i gruppi. Essa confronta le medie di due o più campioni tenendo conto contemporaneamente di più variabili, il tutto in un singolo test. Le condizioni di validità per l'ANOVA sono: 1) osservazioni indipendenti, 2) distribuzione normale della popolazione, 3) varianza omogenea per ciascuno dei campioni. L'ipotesi nulla ( $H_0$ ) sostiene che le medie di tutti i campioni siano uguali. La verifica dell'ipotesi si basa sul seguente ragionamento: la variabilità totale della variabile dipendente è dovuta, da un lato, alla variabilità tra i gruppi (*between*) e, dall'altro alla variabilità entro i gruppi (*within*). Se  $H_0$  è vera le due variabilità saranno uguali e il loro rapporto sarà 1. La significatività di qualsiasi devianza è provata tramite il test F:  $F = \frac{\text{varianza intergruppo}}{\text{varianza intragruppo}}$ .

L'analisi statistica multivariata comprende un corpo di metodologie statistiche che permettono di analizzare simultaneamente misurazioni riguardanti diverse caratteristiche (variabili qualitative o quantitative) di un insieme di individui in esame. In questa ricerca sono stati utilizzati due diversi metodi di statistica multivariata: la Non-Parametric MANOVA e l'Analisi di Funzione Discriminante (AFD), parametrica. La Statistica Non Parametrica prevede l'utilizzo di modelli matematici che non necessitano di ipotesi a priori sulle caratteristiche della popolazione, o comunque le ipotesi sono meno restrittive di quelle usuali della statistica parametrica. In particolare non si assume che la popolazione sia normalmente distribuita. La Non-Parametric Multivariate Analysis of Variance (Anderson 2001) può dividere la variazione basandosi su qualsiasi misura di diversità conformemente a qualunque modello di ANOVA. Essa viene usata per testare le differenze *a priori* tra i gruppi. Questo metodo utilizza permutazioni delle osservazioni per ottenere una probabilità associata all'ipotesi nulla ( $H_0$ ) secondo la quale non vi è alcuna differenza tra i gruppi. Ne consegue che per

questo test non sono richieste assunzioni riguardo al numero di variabili, la loro distribuzione o la loro correlazione.

La statistica usata è analoga al test F di Fisher ed è costruita sulle somme del quadrato delle distanze tra i gruppi e nei gruppi stessi. Quello che si ottiene è un valore P ( $P = \frac{n \text{ di } F^{\pi} \geq F}{n \text{ tot di } F^{\pi}}$ ) la cui precisione aumenta con il numero di permutazioni. Di solito andrebbero fatte almeno 1000 permutazioni per test con un livello  $\alpha$  di 0,05 e almeno 5000 per test con un livello  $\alpha$  di 0,01 (Manly 1997).

E' stato scelto di utilizzare la distanza di Gower ( $d_{jk} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{|x_{ji} - x_{ki}|}{\max x_{si} - \min x_{si}}$ ) per la presenza di dati mescolati, sia continui che ordinali.

L'Analisi di Funzione Discriminante viene eseguita a partire da una serie di gruppi già definiti a priori. Questa tecnica punta a "misurare" le distanze, cioè le differenze, fra gli oggetti relativi ai singoli gruppi e di conseguenza le differenze fra i gruppi stessi; inoltre, tenta di individuare quelle particolari variabili che contribuiscono alla differenziazione fra i gruppi. L'analisi genera una funzione discriminante e, quando sono presenti più di due gruppi, un insieme di funzioni discriminanti in base alle combinazioni lineari delle variabili stimatore che forniscono la migliore discriminazione tra i diversi gruppi. Mediante la creazione di un sistema di assi ortogonali, l'analisi procede alla rappresentazione grafica di una serie di piani su cui sono proiettati i punti che rappresentano gli oggetti presi in esame. In questo modo si può passare alla verifica del comportamento di tali oggetti, in quanto l'ipotesi attesa è che ciascun gruppo originale e coerente dia luogo ad una "nuvola di punti" compatta e ben distinta dalle altre nuvole, le quali rappresentano gli ulteriori gruppi analizzati (P. Moscati 1987). Le funzioni vengono generate da un campione di casi di cui è noto il gruppo di appartenenza ed è quindi possibile applicarle ai nuovi casi con misurazioni per le variabili stimatore di cui non è noto il gruppo di appartenenza. Le assunzioni per l'utilizzo dell'AFD sono: due o più gruppi; nessuna variabile discriminante può essere una combinazione lineare di altre variabili discriminanti; le matrici della covarianza devono essere le stesse per ogni gruppo; le variabili discriminanti devono avere una distribuzione normale multivariata.

Al fine di convalidare i risultati della AFD, si procede, in genere, con la convenzionale analisi Jack-knife oppure mediante la Cross-validation (Durbin 1998). L'analisi Jack-knife consiste nel classificare la metà del campione con le funzioni discriminanti derivate dall'altra metà dei dati (Manly 1986), mentre la cross-validation, o

classificazione autoesclusiva, consiste nell'eliminare sistematicamente ogni osservazione, stimare nuovamente la discriminante ed assegnare l'osservazione esclusa ad un gruppo (Huberty 1994). Per questa indagine è stata utilizzata l'analisi della cross-validation (Terry *et al.* 2005).

Per le analisi statistiche sono stati utilizzati i seguenti programmi: Microsoft office Excel 2007, PASW Statistics 18 (Chicago, Illinois, USA) e Past (Hammer *et al.* 2001).

### **3. RISULTATI**

Nel periodo di studio compreso tra agosto e settembre 2009 abbiamo effettuato 11 uscite notturne ottenendo risposte alle stimolazioni in 6 casi complessivamente. Abbiamo registrato in totale 82 ululati (tab. 3.1).

**Tabella 3.1** Numero di sessioni, registrazioni e ululati per ogni branco

| <b>Branco</b>     | <b>Anno</b> | <b>N° sessioni</b> | <b>N° registrazioni</b> | <b>N° ululati</b> |
|-------------------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Camaldoli</b>  | 2009        | 3                  | 9                       | 47                |
| <b>Pratomagno</b> | 2009        | 3                  | 5                       | 35                |

#### **3.1 STIMA DEL NUMERO MINIMO DI INDIVIDUI E PRESENZA DI CUCCIOLI**

Per determinare il numero minimo di individui presenti in ogni branco, gli ululati registrati nell'estate 2009 sono stati sottoposti ad analisi spettrografica utilizzando il programma Raven Pro 1.3 (Cornell Lab of Ornithology). Il numero minimo indica il numero degli individui che vocalizzano contemporaneamente (tab. 3.2).

**Tabella 3.2** Stima del numero minimo degli individui nei due branchi

| <b>Branco</b>          | <b>Adulti</b> | <b>Cuccioli</b> | <b>Totale Individui</b> |
|------------------------|---------------|-----------------|-------------------------|
| <b>Camaldoli</b>       | 4             | 2               | 6                       |
| <b>Pratomagno Nord</b> | 2             | 2               | 4                       |

#### **3.2 NORMALIZZAZIONE DEI DATI**

Per verificare se le 12 variabili elencate nel precedente capitolo erano distribuite normalmente è stato usato il test di normalità di Kolmogorov-Smirnov. Le variabili  $Mean_f$ ,  $Min_f$ ,  $Max_f$ ,  $End_f$ ,  $Cof_v$ ,  $Cof_m$  hanno mostrato una distribuzione normale. Le altre variabili  $Abrupt$ ,  $Rangef$ ,  $Duration$ ,  $Posmin$ ,  $Posmax$ ,  $Modf$  sono invece state normalizzate mediante trasformazione logaritmica.

Il parametro Posmin non è risultato normale neanche dopo la trasformazione logaritmica. Di conseguenza non è stato utilizzato nelle successive elaborazioni dei dati.

### **3.3 ANALISI DESCRITTIVA**

Per ogni branco è stata svolta un'analisi descrittiva riguardante le variabili risultate normali al test di Kolmogorov-Smirnov e quelle normalizzate tramite trasformazione logaritmica.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori medi e la deviazione standard dei parametri caratterizzanti gli ululati di ogni branco, separando le variabili tonali (Tab. 3.3) da quelle di forma (Tab. 3.4).

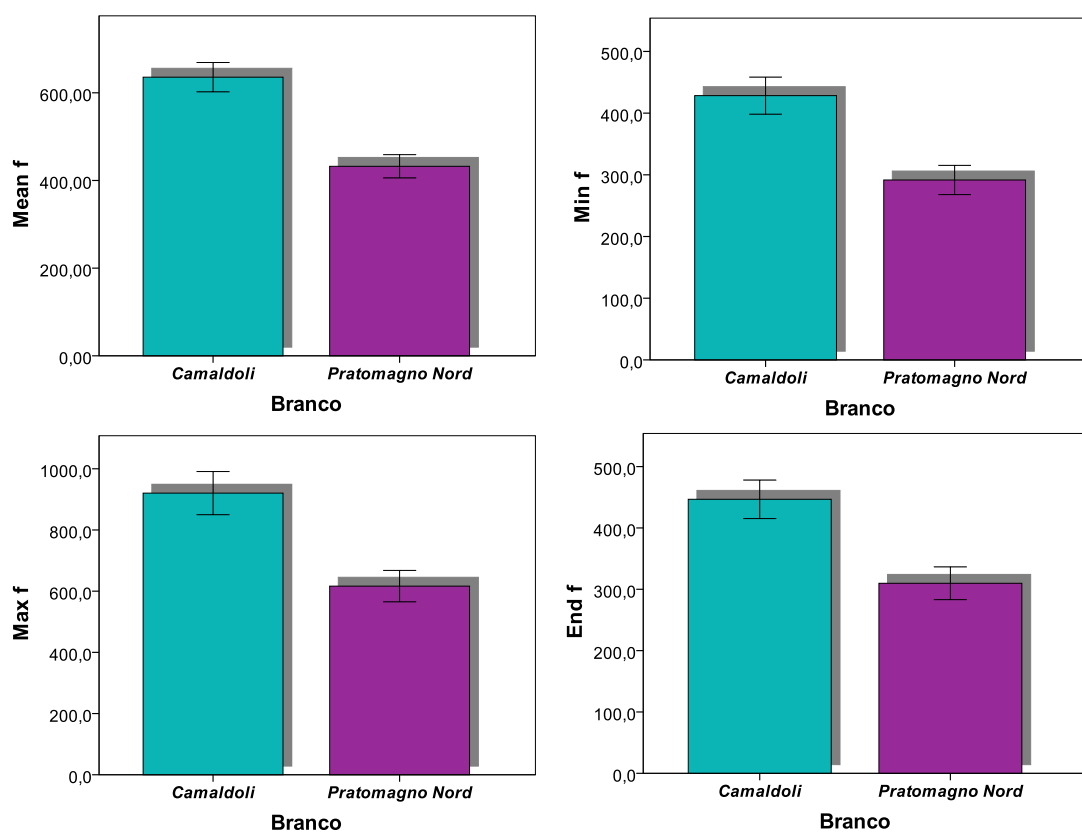
**Tabella 3.3** Parametri tonali degli ululati

| <b>Branco</b>          | <b>N°</b> | <b>Meanf<br/>(Media±ds)</b> | <b>Modf<br/>(Media±ds)</b> | <b>Rangef<br/>(Media±ds)</b> | <b>Minf<br/>(Media±ds)</b> | <b>Maxf<br/>(Media±ds)</b> | <b>Endf<br/>(Media±ds)</b> |
|------------------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Camaldoli</b>       | 47        | 635,66±114,73               | 6,35±0,25                  | 6,05±0,58                    | 428,38±103,09              | 920,43±241,82              | 446,70±107,80              |
| <b>Pratomagno Nord</b> | 35        | 432,30±78,58                | 5,96±0,21                  | 5,71±0,40                    | 291,63± 70,08              | 616,46± 152,00             | 309,77±78,90               |

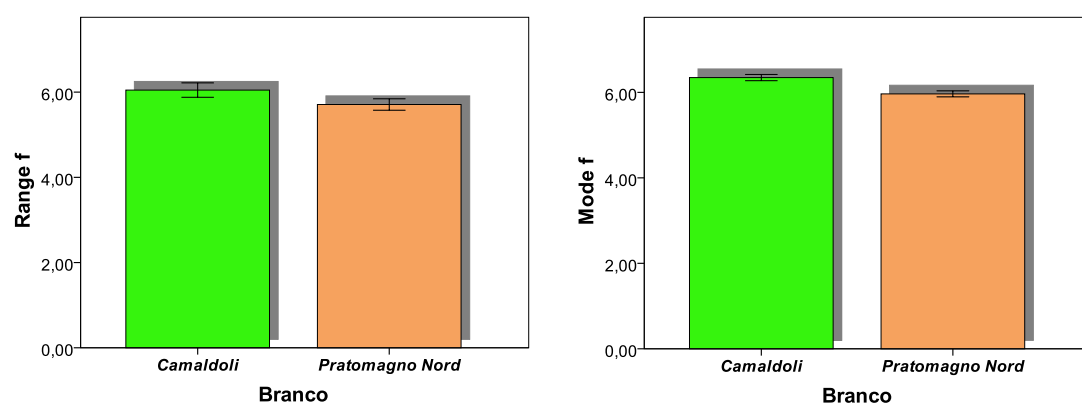
**Tabella 3.4** Parametri di forma degli ululati

| <b>Branco</b>          | <b>N°</b> | <b>Duration<br/>(Media±ds)</b> | <b>Posmax<br/>(Media±ds)</b> | <b>Cofv<br/>(Media±ds)</b> | <b>Cofm<br/>(Media±ds)</b> | <b>Abrupt<br/>(Media±ds)</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| <b>Camaldoli</b>       | 47        | 1,23±0,42                      | -1,84±1,19                   | 21,68 ± 10,32              | 2,88 ± 1,05                | 1,77±0,61                    |
| <b>Pratomagno Nord</b> | 35        | 1,40±0,49                      | -2,25±1,14                   | 18,24± 7,10                | 2,98± 1,13                 | 1,52±0,76                    |

I grafici 3.1 e 3.2 mostrano le medie dei parametri tonali dei due branchi. Si nota che esse variano per ognuno dei due branchi e per tutte le variabili il branco di Camaldoli mostra dei valori superiori rispetto al branco di Pratomagno Nord.

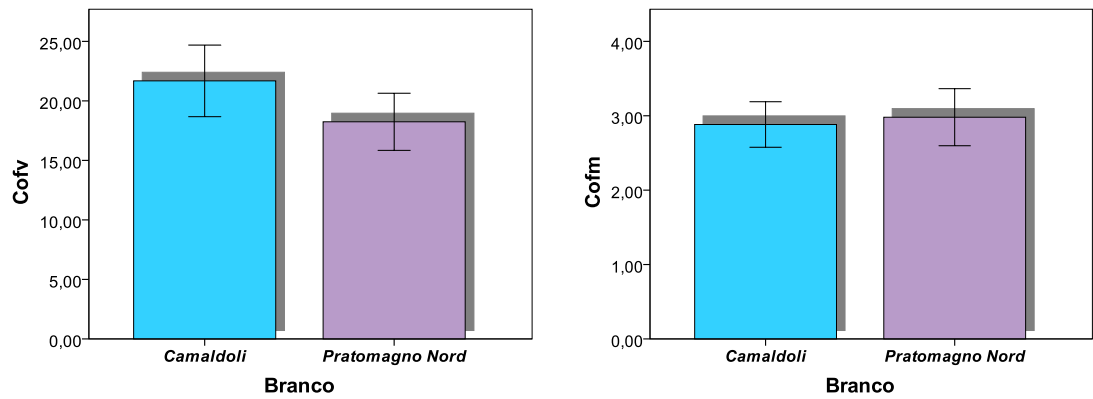


**Grafico 3.1** Medie dei parametri tonali *non* sottoposti a trasformazione logaritmica

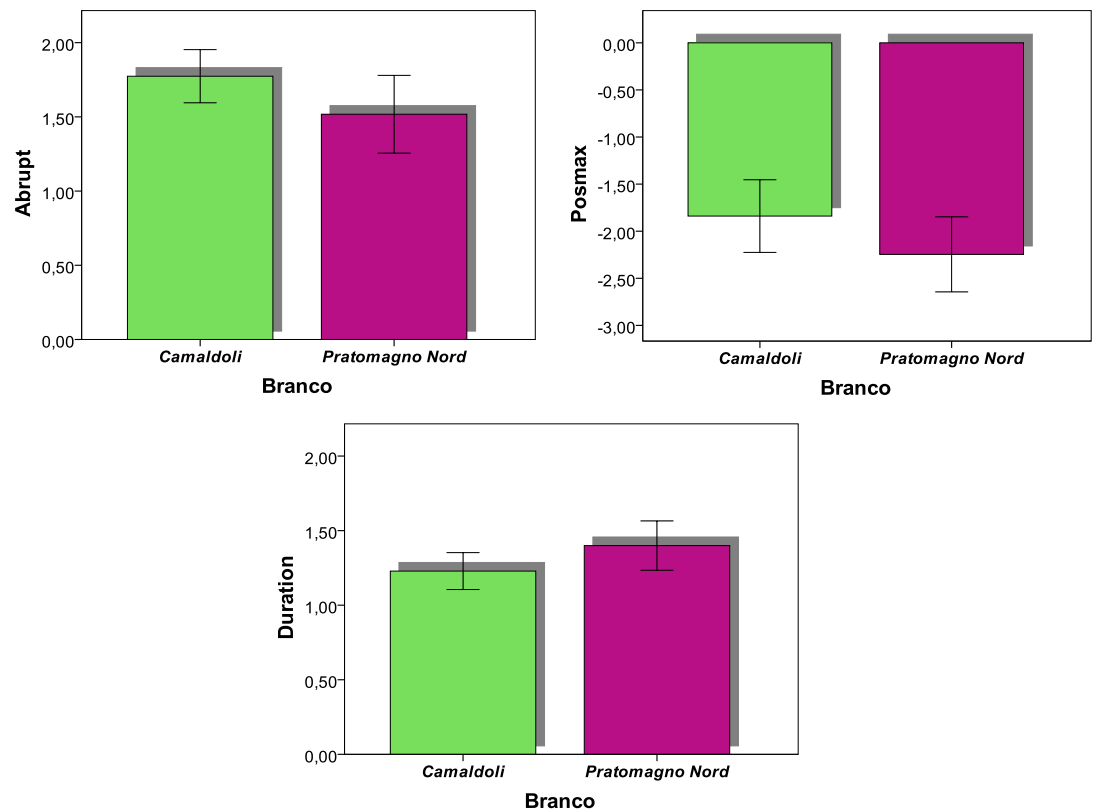


**Grafico 3.2** Medie dei parametri tonali sottoposti a trasformazione logaritmica

I grafici 3.3 e 3.4 mostrano le medie dei parametri di forma dei due branchi. Il coefficiente di modulazione di frequenza (Cofm) risulta essere il parametro meno variabile, mentre le altre variabili assumono valori ben distinti per ogni branco.



**Grafico 3.3** Medie dei parametri di forma *non* sottoposti a trasformazione logaritmica



**Grafico 3.4** Medie dei parametri di forma sottoposti a trasformazione logaritmica

### 3.4 NPMANOVA PER SESSIONI

Per ogni branco è stata effettuata un'Analisi Multivariata della Varianza Non Parametrica (NPMANOVA) per confrontare le tre sessioni, in modo da valutare delle eventuali differenze statistiche tra le diverse notti.

Prima di tutto è stato necessario trasformare le variabili in ranghi (Pagnotta 2003) per standardizzare le differenze tra le varie scale di misura. Inoltre Meanf e Cofv sono state escluse per evitare una distorsione e ridurre il peso di possibili valori erratici (Passilongo *et al.*).

Dato che la NPMANOVA non necessita di variabili con distribuzione normale, è stato utilizzato anche il parametro Posmin.

Per quanto riguarda il branco di Camaldoli il risultato della NPMANOVA utilizzando la distanza di Gower mostra delle differenze significative tra le tre notti (NP MANOVA; 10000 permutations; total sum of squares = 3,12; Within-group sum of squares = 2,398;  $F = 6,626$ ;  $p < 0,0001$ ).

**Tabella 3.5** Camaldoli: confronto a coppie Bonferroni corrected

|            | Sessione 1 | Sessione 2 | Sessione 3 |
|------------|------------|------------|------------|
| Sessione 1 |            |            |            |
| Sessione 2 | 0,0132     |            |            |
| Sessione 3 | 0,0294     | 0          |            |

Il confronto a coppie è fornito dal programma come test post hoc, dal quale si evince che tutte le sessioni sono diverse tra loro.

Anche le sessioni del branco di Pratomagno Nord non risultano essere omogenee (NP MANOVA; 10000 permutations; total sum of squares = 1,969; Within-group sum of squares = 1,568;  $F = 4,101$ ;  $p = 0,0003$ ).

**Tabella 3.6** Pratomagno Nord: confronto a coppie Bonferroni corrected

|            | Sessione 1 | Sessione 2 | Sessione 3 |
|------------|------------|------------|------------|
| Sessione 1 |            |            |            |
| Sessione 2 | 0,0258     |            |            |
| Sessione 3 | 0,0021     | 0,063*     |            |

Solamente la sessione 2 e la sessione 3 non mostrano una differenza statisticamente significativa.

### 3.4 CONFRONTO TRA BRANCHI E ANNI CONSECUTIVI

Per quanto riguarda il branco di Camaldoli è stato possibile utilizzare anche i dati degli ululati registrati e analizzati nel 2008 (C. Facchini 2009), in modo da fare un confronto di uno stesso branco in anni diversi.

Nelle seguenti tabelle sono riassunti il numero di sessioni, registrazioni, ululati e la stima del numero minimo di lupi per il branco di Camaldoli 2008.

**Tabella 3.7** Numero di sessioni, registrazioni e ululati per ogni branco

| <b>Branco</b>    | <b>Anno</b> | <b>N° sessioni</b> | <b>N° Registrazioni</b> | <b>N° ululati</b> |
|------------------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Camaldoli</b> | 2008        | 3                  | 8                       | 24                |

**Tabella 3.8** Stima del numero minimo di lupi per branco

| <b>Branco</b>    | <b>Adulti</b> | <b>Cuccioli</b> | <b>Totale Individui</b> |
|------------------|---------------|-----------------|-------------------------|
| <b>Camaldoli</b> | 3             | 2               | 5                       |

Per fare questa analisi è stata effettuata la NPMANOVA considerando il branco di Camaldoli del 2008, quello del 2009 e il branco di Pratomagno nord del 2009.

La NPMANOVA è stata utilizzata per confrontare i branchi di Camaldoli 2009 e Pratomagno Nord 2009 e verificare se la differenza presente tra questi fosse maggiore rispetto a quella presente tra le varie sessioni. Dai risultati emerge sicuramente una differenza significativa tra i due gruppi (NP MANOVA; 10000 permutations; total sum of squares = 6,953; Within-group sum of squares = 5,234;  $F = 16,91$ ;  $p < 0,0001$ ).

**Tabella 3.9** Confronto a coppie Bonferroni corrected

|                         | <b>Camaldoli 08</b> | <b>Camaldoli 09</b> | <b>Pratomagno N. 09</b> |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| <b>Camaldoli 08</b>     |                     |                     |                         |
| <b>Camaldoli 09</b>     | 0,0678*             |                     |                         |
| <b>Pratomagno N. 09</b> | 0                   | 0                   |                         |

Inoltre grazie a questa analisi è stato possibile eseguire un confronto tra il branco di Camaldoli del 2008 e quello del 2009. Dal confronto a coppie si evince che non ci sono differenze significative per il branco di Camaldoli nei due anni consecutivi.

### 3.4 ANALISI DI FUNZIONE DISCRIMINANTE TRA BRANCHI

Per avere una maggiore sicurezza e chiarezza riguardante la discriminazione tra i due branchi è stata utilizzata anche l' Analisi di Funzione Discriminante (AFD). Questa ha permesso di identificare un branco solamente sulla base delle analisi delle vocalizzazioni.

L'AFD è stata utilizzata per discriminare gli 82 ululati emessi dai due differenti branchi.

Le variabili da cui deriva la funzione discriminante sono: *ModelfLn*, *AbruptLn*, *RangefLn*, *DurationLn*, *PosmaxLn*, *Meanf*, *Minf*, *Maxf*, *Endf*, *Cofv*, *Cofm*.

La funzione discriminante spiega il 100,0 % della varianza

**Tabella 3.10** Riepilogo della funzione discriminante canonica:

Autovalori della funzione, percentuale di variazione totale e correlazione canonica

| Funzione | Autovalore | % di varianza | % cumulata | Correlazione canonica |
|----------|------------|---------------|------------|-----------------------|
| 1        | 1,421a     | 100,0         | 100,0      | ,766                  |

a. Per l'analisi è stata usata la prima funzione discriminante canonica.

Valori della Lambda di Wilks, Chi-quadrato e livello di significatività

| Test di funzioni | Lambda di Wilks | Chi-quadrato | df | Sig. |
|------------------|-----------------|--------------|----|------|
| 1                | ,413            | 59,245       | 2  | ,000 |

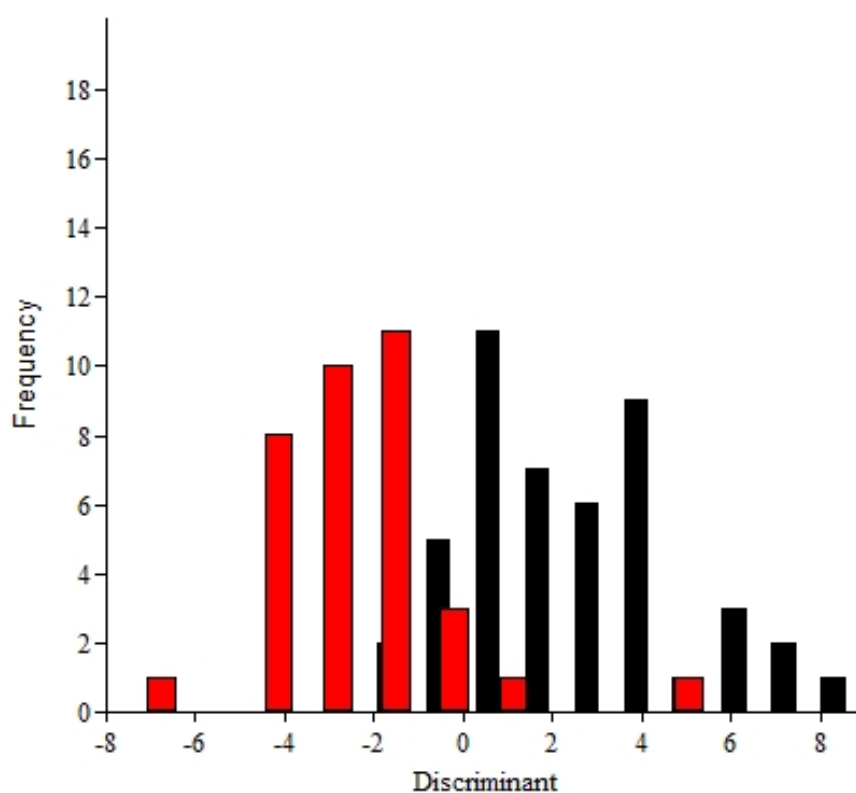
L'analisi ha discriminato correttamente il 90,1% dei casi raggruppati originali. La cross-validation ne ha classificati in modo corretto il 90,1%. L' 84% degli ululati del branco di Camaldoli è stato assegnato correttamente e ben il 97% degli ululati di Pratomagno Nord è stato raggruppati in modo corretto.

La tabella 3.6 riassume i valori percentuali dei raggruppamenti dei casi originali e della cross-validation.

Il grafico 3.5 mostra distintamente il risultato della discriminazione dei 2 branchi.

**Tabella 3.11** Risultati della classificazione degli ululati dei due branchi.

| Località                    |           |                 | Gruppo di appartenenza previsto |                 | Totali |
|-----------------------------|-----------|-----------------|---------------------------------|-----------------|--------|
|                             |           |                 | Camaldoli                       | Pratomagno Nord |        |
| Originale                   | Conteggio | Camaldoli       | 32                              | 6               | 38     |
|                             |           | Pratomagno Nord | 1                               | 32              | 33     |
|                             | %         | Camaldoli       | 84,2                            | 15,8            | 100,0  |
|                             |           | Pratomagno Nord | 3,0                             | 97,0            | 100,0  |
| Cross-validato <sup>a</sup> | Conteggio | Camaldoli       | 32                              | 6               | 38     |
|                             |           | Pratomagno Nord | 1                               | 32              | 33     |
|                             | %         | Camaldoli       | 84,2                            | 15,8            | 100,0  |
|                             |           | Pratomagno Nord | 3,0                             | 97,0            | 100,0  |



**Grafico 3.5** Funzione discriminante canonica

In nero: Camaldoli. In rosso: Pratomagno nord.

#### **4. DISCUSSIONE**

I risultati ottenuti confermano l'importanza e la validità della tecnica del wolf-howling come un metodo di censimento non invasivo. Esso presenta però alcune limitazioni. In primo luogo lo sforzo di monitoraggio è molto elevato, con un tasso di risposta basso (Occhipinti 2008). Per la presente ricerca la raccolta degli ululati ha interessato quattro branchi, da giugno a ottobre 2009: Catenaiia, Vallesanta, Camaldoli e Pratomagno Nord. Solo per questi ultimi due però è stato raggiunto l'obiettivo di tre sessioni con risposte. Per il branco di Catenaiia si è riusciti ad avere solo le registrazioni di due notti, di cui una "sporcata" dalle vocalizzazioni di cani. Queste si trovano sulle stesse frequenze di quelle dei lupi e non esiste ancora un modo sicuro per distinguerle. Il branco di Vallesanta ha risposto solamente una volta, in una zona di confine con il branco di Catenaiia. Non è quindi possibile affermare con certezza se si trattasse di uno o dell'altro branco. E' comunque certo che il branco di Vallesanta fosse presente perché sono state scattate foto con macchine rilevatrici del passaggio di animali, del Corpo forestale dello Stato, e sono stati segnalati avvistamenti da parte dei cacciatori. In secondo luogo ci sono vari fattori ambientali che arrecano disturbo durante le registrazioni. Il vento forte non consente di sentire le risposte, ma anche un vento più debole, pur permettendo di udire gli ululati, danneggia la qualità dello spettrogramma creando un effetto a "pioggia" (Passilongo 2008). A settembre inizia il periodo riproduttivo del cervo e viene registrato un numero elevato di bramiti. Essi vanno a "inquinare" proprio le frequenze di nostro interesse. Nonostante non si effettuino uscite nei fine settimana per evitare feste o sagre, il disturbo antropico è pur sempre presente anche da lunedì a venerdì: feste, passaggio di vetture, case. In questi casi è conveniente uscire più tardi nella notte, anche per non incorrere in incontri con abitanti del luogo o turisti estivi che potrebbero spaventarsi nel constatare la presenza di lupi vicino alle loro abitazioni. Altri fattori di disturbo sono stati: i corsi d'acqua, che pur di piccola portata durante la stagione estiva, non permettevano un buon ascolto; la nebbia, che rende il suono come ovattato; le gocce di acqua che cadono dalla vegetazione dopo un temporale, creando uno sfrigolio, come se ancora stesse piovendo. Infine bisogna prestare attenzione alla provenienza del segnale per non andare in contro a una distorsione degli ululati.

Dall'analisi dello spettrogramma è stato determinato il numero di individui nel branco e l'avvenuta riproduzione. Tale analisi permette di evitare gli errori nel conteggio degli individui dovuti all'effetto Beau Geste (Krebs 1977). Tale ipotesi deve il suo nome alla

storia di un legionario francese che, da solo, difese con successo un forte imitando la voce di tanti uomini, facendo credere al nemico che ci fossero molte altre truppe nel forte. Krebs propose che gran parte del repertorio dei canti dei maschi di alcune specie di uccelli, potrebbe essersi evoluto perché in tal modo essi aumenterebbero la densità apparente di maschi residenti, scoraggiando l'immigrazione di un potenziale colonizzatore. Harrington ha applicato questa ipotesi anche ai lupi (1989). Infatti a orecchio cori emessi da una coppia di lupi spesso non si distinguono da quelli prodotti da più individui con cuccioli (Harrington 1989). Esiste comunque un limite massimo nella percezione delle dimensioni del branco, determinato dalla capacità del sistema di elaborazione uditivo a breve termine. Secondo Harrington infatti un branco di 12 lupi suona uguale a uno di 5 o 7 individui. Inoltre l'effetto dell'inganno diminuisce con l'aumento delle dimensioni del branco. Questo stratagemma dunque è funzionale per gruppi piccoli e quindi più vulnerabili. Restano comunque dei limiti interpretativi (Harrington & Mech 1982):

- branchi di grosse dimensioni hanno una maggiore tendenza a rispondere rispetto a branchi più piccoli;
- branchi con cuccioli tendono a rispondere di più di branchi in cui non è avvenuta la riproduzione;
- gli individui subordinati non necessariamente partecipano al coro e non è detto che tutti gli individui del branco si trovino insieme al momento della risposta.

A livello di struttura degli ululati sono stati identificati due modelli: “flat” e “breaking”, in accordo con precedenti studi (Theberge & Falls 1967, Harrington & Mech 1978b, Tooze 1987, Passilongo *et al.* 2010).

L'analisi delle tre sessioni di ogni branco ha rivelato la presenza di una certa disomogeneità negli ululati di notti diverse. Nonostante ciò la NPMANOVA ha individuato una differenza molto significativa tra i due branchi. Dall'analisi descrittiva solo il parametro Cofm non risulta variare. Per approfondire ulteriormente lo studio è stata eseguita anche l'Analisi di Funzione Discriminante che ha discriminato correttamente il 90,1% dei casi originali. Le differenze tra sessioni non risultano quindi così rilevanti dato l'alto grado di diversità tra i due branchi. Questo dato si va ad aggiungere ad altri studi precedenti effettuati nella Provincia di Arezzo (Passilongo 2008, Facchini 2009), e può confermare l'esistenza di una impronta vocale per ogni branco. Inoltre non sono emerse differenze statistiche importanti nella comparazione del

branco di Camaldoli tra due anni consecutivi. Questo lascia pensare che l'impronta vocale possa essere mantenuta nel tempo.

Tooze nel 1990 ha dimostrato come un lupo possa essere discriminato da un altro, sulle basi delle caratteristiche strutturali dell'ululato. La frequenza fondamentale è quella che restituisce i parametri più significativi dell'ululato ed è largamente determinata dalle caratteristiche dell'apparato vocale dell'individuo, dalla lunghezza e dalle dimensioni del tubo di risonanza (Keleman 1963), caratteri costanti in un individuo adulto. Essa è una delle caratteristiche acustiche migliori per la discriminazione tra individui anche in altri mammiferi (Palacios *et al.* 2007) come nei richiami dell'elefante africano (*L. africana*) (McComb *et al.* 2003), nei latrati dei cani (*Canis lupus familiaris*) (Yin & McCowan 2004) e nel fischio di richiamo del cuon (*Cuon alpinus*) (Durbin 1998).

L'identificazione individuale ai fini conservazionistici assume un'elevata importanza per tre motivi: per la stima della consistenza numerica; per ottenere informazioni dettagliate circa la storia vitale; per valutare se determinate tipologie di individui all'interno del gruppo abbiano delle esigenze specifiche da considerare nella pianificazione gestionale.

L'impronta vocale di gruppo è stata descritta in molti uccelli (Baker 2004, Radford 2005) e mammiferi (primati: Cheney & Seyfarth 1990,2007; Crockford *et al.* 2004, Townsend 2010). Essa gioca un ruolo nella difesa del territorio e nella scelta del compagno, ed è riscontrata spesso in vocalizzazioni a lunga distanza che hanno il compito di mantenere la coesione nel gruppo e di aiutare a distinguere tra membri del gruppo e non (Townsend 2010). L'individualità vocale gruppo-specifica può essere determinata geneticamente (cane della prateria: Travis *et al.* 1997, scimmia scoiattolo: Liebllich *et al.* 1980), ma può anche essere appresa, in modo che le vocalizzazioni di un individuo convergano con quelle del gruppo (megattera: Payne & Payne 1985, amazzone nucagialla: Wright & Wilkinson 2001, scimpanzé: Crockford *et al.* 2004).

I risultati emersi da questa ricerca dimostrano che branchi di lupo diversi possono essere discriminati sulla base degli ululati corali e registrazioni diverse possono essere assegnate a un branco determinato. Sono necessari ulteriori studi per poter verificare se l'impronta vocale resta invariata nel tempo. In tal caso le registrazioni ci permetterebbero di riconoscere uno stesso branco nel corso degli anni, apportando una nuova tecnica importante per la gestione del lupo.

## BIBLIOGRAFIA

- Alton Everest, F. 1994. Manuale di Acustica. Hoepli, Milano
- Anderson, M. J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26, 32–46
- Anderson, S.W., Jaffe, J. 1972. The definition, Detection and Timing of Vocalic Syllables in Speech Signals. Scientific report n. 12. Department of Communication Sciences, New York State Psychiatric Institute.
- Apollonio, M., Mattioli, L. & Scandura, M. 2004a. Occurrence of black wolves in the Northern Apennines, Italy. *Acta Theriologica*, 49, 2, 281-285.
- Apollonio, M., Mattioli, L., Scandura, M., Mauri, L., Gazzola, A. & Avanzinelli, E. 2004b. Wolves in the Casentinesi Forests: insight for wolf conservation in Italy from a protected area with a rich wild prey community. *Biological Conservation*, 120, 249-260.
- Apollonio, M. & Mattioli L. 2007. Il lupo in provincia di Arezzo. Le Balze, Roma.
- August, P.V. & Anderson, J.G.T. 1987. Mammal sounds and motivation-structural rules: a test of the hypothesis. *Journal of Mammalogy*, 68, 1, 1-9.
- Baker, M.C. 2004. The chorus song of cooperatively breeding laughing kookaburras (Coraciiformes, Halcyonidae: Dacelo novaeguineae): characterisation and comparison among groups. *Ethology*, 110, 21–35.
- Ballard, W.B. & Dau. J.R. 1983. Characteristics of gray wolf (*Canis lupus*) den and rendezvous sites in south-central Alaska. *Can. Field Nat.* 97, 299-302.
- Ballard, W.B., Whitman, J.S. & Gardner, C.L. 1987. Ecology of an exploited wolf population in south-central Alaska. Wild-life Monographs, no. 98. The Wildlife Society, Bethesda, MD. 54 pp.
- Baru, A.V. 1971. Absolute thresholds and frequency difference limens as a function of sound duration in dogs deprived of the auditory cortex. Pp. 265-85 in G.V. Gersuni, ed., *Sensory processes at the neuronal and behavioral levels* trans. J.Rose. Academic Press, New York.
- Bath, A.J. & Buchanan, T. 1989. Attitudes of interest groups in Wyoming toward wolf restoration in Yellowstone National Park. *Wildl. Soc. Bull.* 17, 519-525.
- Boitani, L. 1995. Ecological and cultural diversities in the evolution of wolf-human relationships. In: L. N. Carbyn, S. H. Fritts & D. R. Seip. *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, pp. 3-11.
- Boitani, L. 2003. Wolf Conservation and recovery. In: *Wolves, Behavior, Ecology and Conservation* (L.D. Mech & L. Boitani eds), pp. 317-340, The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Boscagli, G. 1985. Il Lupo. C. Lorenzini ed., Udine.
- Boyd, D.K., Ream, R.R., Pletscher, D.H & Fairchild, M.W. 1993. Variation in denning and parturition dates of a wild gray wolf (*Canis lupus*) in the Rocky Mountains. *Can. Field Nat.* 107, 359-60.
- Bradbury, J. W. & Veherencamp, S. L. 1998. Principles of Animal Communication. Sinauer Associates, Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts.
- Brown, J.L. 1964. The evolution of diversity in avian territorial systems. *Wilson Bull.* 76: 160-69.
- Brown, J.L. 1982. Optimal group size in territorial animals. *J. Theor. Biol.* 95, 793-810.
- Brunetti, R. 1984. Distribuzione storica del lupo in Piemonte, Valle d'Aosta e Canton Ticino. *Riv. Piem. St. Nat.* 5, 7-22.

- Burkholder, B.L. 1959. Movements and behavior of a wolf pack in Alaska. *J. Wild. Mgmt*, 231, 1-11.
- Burkholder, B. L. 1962. Observations concerning wolverine. *J Mammal.* 43, 263-64.
- Burt, W. H. 1943. Territorially and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy*, 24, 346-52.
- Cagnolaro, L., Rosso, D., Spagnesi M. & Venturi, D. 1974. Rapporto sulla distribuzione del lupo In Italia e nei Cantoni Ticino e Grigioni. *Ricerche di Biologia della Selvaggina* 59, 1-75.
- Capitani, C., Mattioli, L., Avanzinelli, E., Gazzola, A., Lamberti, P., Mauri, L., Scandura, M., Viviani & Apollonio, M. 2006. Selection of rendezvous sites and reuse of pup raising areas among wolves (*Canis lupus*) of northern-eastern Apennines, Italy. *Acta Theriologica*, 51, 4, 395-404.
- Carbyn, L.N. 1997. Unusual movement by bison, *Bison bison*, in response to wolf, *Canis lupus*, predation. *Can. Field Nat.* 111, 461-62.
- Charif, R.A., A.M. Waack, & Strickman, L.M. 2008. *Raven Pro 1.3 User's Manual*. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY.
- Cheney, D.L. & Seyfarth, R.M. 1980. Vocal recognition in free ranging vervet monkeys. *Animal Behaviour*, 28, 362-367.
- Cheney, D.L. & Seyfarth, R.M. 1990. *How Monkeys See the World*- Chicago: University of Chicago Press.
- Cheney, D.L. & Seyfarth, R.M. 2007. *Baboon Metaphysics: the Evolution of a Social Mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ciucci, P. & Mech L.D. 1992. Selections of wolf dens in relation to winter territories in northeastern Minnesota. *Journal of Mammalogy*, 73, 899-905.
- Ciucci, P. & Boitani, L. 1998a. Il lupo. Elementi di biologia, gestione, ricerca. *Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica "A. Ghigi"*, Documenti Tecnici 23, 1-111.
- Cohen, J.A. & Fox M.W. 1976. Vocalizations of wild canids and possible effects of domestication. *Behav. Processes* 1, 77-92.
- Coscia, E.M. 1995. Ontogeny of timber wolf vocalization: Acoustic properties and behavioral contexts. Ph D. dissertation, Dalhousie University, Halifax, NS.
- Coscia, E.M., D.P. Phillips & Fentress J.C. 1991. Spectral analysis of neonatal wolf *Canis lupus* vocalizations. *Bioacoustics* 3, 275-93.
- Crockford, C., Herbinger, I., Vigilant, L. & Boesch, C. 2004. Wild chimpanzees produce group-specific calls: a case for vocal learning? *Ethology*, 110, 221-243.
- Davies, N.B. & Halliday, T. R. 1978. Deep croaks and fighting assessment in toads *Bufo bufo*. *Nature*, 274, 683-685.
- Del Vecchio, F.1992. Analisi statistica di dati multidimensionali. Caucci ed., Bari.
- Durbin, L.S. 1998. Individuality in the whistle call of the Asiatic wild dog *Cuon alpinus*. *Bioacoustics* 9,197-206.
- Dworkin, S., Katzman, J., Hutchison, G.A. & McCabe, J.R. 1940. Hearing acuity of animals as measured by conditioning methods. *J. Exp. Psychol.* 6, 281-98.
- Eaton, R.L. 1970. The predatory sequence, with emphasis on killing behavior and its ontogeny, in the cheetah (*Acinonyx jubatus* Schreber). *Z. Tierpsychol.* 27, 492-504.
- Espmark, Y. 1985. Individual characteristics of the call of reindeer calves. *Behaviour*, 54, 50-59.
- Facchini C. 2009. Riconoscimento dei branchi di lupo (*Canis lupus*) mediante analisi degli ululati. Tesi di Laurea. Università degli studi di Milano
- Fentress, J.C. 1967. Observations on the behavioral development of a hand-reared male timber wolf. *Am. Zool.* 7, 339-551.

- Fentress, J.C. 1982. Conflict and context in sexual behaviour. Pp. 579-613 in J. Hutchinson, ed., *Biological determinants of sexual behaviour*. J. Wiley & Sons, New York.
- Fentress, J.C. & Ryon, J. 1982. A long-term study of distributed pup feeding in captive wolves. Pp. 238-61 in F.H. Harrington & P.C. Paquet, eds., *Wolves of the world: perspectives of behavior, ecology, and conservation*. Noyes Publications, Park Ridge, NJ.
- Fentress, J.C., Ryon, J., McLeod, P.J. & Havkin, G.Z. 1987. A multidimensional approach to agonistic behavior in wolves. Pp 253-74 in H.Frank,ed., *Man and wolf. Advances, issues and problems in captive wolf research*. Dr. W. Junk Publishers, Dodrecht, The Netherlands.
- Ferguson, C.A. 1964. Baby talk in six languages. In: Gumperz, J., Hymes, D. The Ethnography of Communication. *Amer. Anthropol.* 66, 2, 103-114.
- Filibeck, U., Nicoli, M., Rossi, P. & Boscagli, G.1982. Detection by frequency analyzer of individual wolves howling in a chorus: A preliminary report. *Bollettino di zoologia*, 49, 151-54.
- Fox, M.W. 1971. *The behavior of wolves , dogs and related Canids*. Jonathan Cape, London.
- Fox, M.W. 1978. *The dog: Its domestication and behavior*. Garland STPM Press, New York.
- Fritts, S.H. & L.D. Mech. 1981. Dynamics, movements, and feeding ecology of a newly Protected wolf population in northwestern Minnesota. Wildlife Monographs, no. 80. The Wildlife Society, Bethesda, MD. 79pp.
- Frommolt. K.H., Kaal, M.I., Paschina, N.M. & Nikol'skii, A.A. 1988. Die Entwicklung der Lautgebung beim Wolf (*Canis lupus* L., Canidae L.) während der postnatalen Ontogenese [Sound development of the wolf (*Canis lupus* L., Canidae L.) during the postnatal ontogeny]. *Zoologische Jahrbucher Abteilung für Allgemeine Zoologie Physiologie der Tiere*, 92, 105-15.
- Frommolt, K.H. 1999. Acoustic structure of chorus howling in wolves and consequences for sound propagation. Abstract from: 137<sup>th</sup> Meeting of Acoustical Society of America. Berlin, 4 papers.
- Frommolt, K. H., Goltsman, M.E. & MacDonald, D.W. 2003. Barking foxes, Alopex lagopus: field experiments in individual recognition in a territorial mammal. *Animal Behaviour*, 65, 509-518.
- Fuller, T.K. 1989a. Denning behavior of wolves in north-central Minnesota. *Am. Midl. Nat.* 121, 184-88.
- Fuller, T.K. 1989b. Population dynamics of wolves in north-central Minnesota. Wildlife Monographs, no 105. The Wildlife Society, Bethesda, MD. 41 pp.
- Fuller, T.K. & Sampson, B.A. 1988. Evaluation of a simulated howling survey for wolves. *J. Wildlife Manage*, 52, 60-63.
- Gazzola, A., Avanzinelli, E., Mauri, L., Scandura, M., Apollonio, M. 2002. Temporal change of howling in South European wolf packs. *Italian Journal of Zoology*, 69, 157-161.
- Gould, E. 1983. Mechanism of mammalian auditory communication. In: *Advances in the Study of Mammalian Behaviour*. (Ed. by J.F. Eisenberg & D.G. Kleiman). Stillwater, Oklahoma: American Society of mammologists Special Publication.
- Greenleaf, S. 1989. The evolution of the wolf in children's books. *Appraisal. Science Books for Young People* 22, 1-6.
- Hall, R.L. & H.S. Sharp, eds. 1978. *Wolf and man: Evolution in parallel*. Academic Press, New York.

- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. & P. D. Ryan. (2001). PAST. Paleontological Software Package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4, 1, 9.
- Harrington, F.H. 1989. Chorus howling by wolves: Acoustic structure, pack, size and the Beau Geste effect. *Bioacoustic* 2. 117-36.
- Harrington, F.H. 1978. Wolf vocalization. Pp 109-32 in R.L. Hall & H.S. Sharp, eds., *Wolf and man: Evolution in parallel*. Academic Press, New York.
- Harrington, F.H. 1979. Wolf howling and its role in territory maintenance. *Behaviour* 68, 207-49.
- Harrington, F.H., 1982a. Patterns of homesites attendance in two Minnesota wolf packs. Pp 81-105. In F.H. Harrington & P.C. Paquet eds., *Wolves of the world: Perspectives of behavior, ecology, and conservation*. Noyes Publication. Park Ridge, NJ.
- Harrington, F.H., 1987. Aggressive howling in wolves. *Animal Behaviour*, 35, 7-12.
- Harrington, F.H. & Mech, L.D. 1978a. Howling at two Minnesota wolf pack summer homesites. *Can. J. Zool.* 56, 2024-28.
- Harrington, F.H. & Mech, L.D. 1978b. Wolf vocalization. In: R.L. Hall & H.S. Sharp (eds), *Wolf and man: evolution in parallel*. Academic Press, New York, 109-132.
- Harrington, F.H. & Mech, L.D. 1979. Wolf howling and its role in territory maintenance. *Behaviour*, 68, 207-249.
- Harrington, F.H. & Mech, L.D. 1982a. Fall and winter homesite use by wolves in northeastern Minnesota. *Can. Field-Nat.*, 96, 79-84.
- Harrington, F.H. & Mech, L.D. 1982b. An analysis of howling response parameters useful for wolf pack censusing. *J. Wildlife Manage.*, 46, 686-693.
- Harrington, F. H. & Asa, C. S. 2003. Wolf communication. In: *Wolves: Behaviour Ecology and Conservation*. (Ed. by L.D. Mech and L. Boitani). University of Chicago Press, Chicago, 66-79.
- Heffner, H.E. 1983. Hearing in large and small dogs: Absolute thresholds and size of the tympanic membrane. *Behav. Neurosci.* 97, 310-18.
- Heffner, H.E. 1992a. Evolution of sound localization in mammals. Pp. 691-715 in D.B. Webster, R.R. Fay, and A.N. Popper eds., *The evolutionary biology of hearing*. Springer-Verlag, New York.
- Heffner, H.E. 1992b. Hearing in large mammals: Sound-localization acuity in cattle (*Bos taurus*) and goats (*Capra hircus*). *J. Comp. Psychol.* 106, 107-13.
- Henshaw, R.E. & Stephenson, R.O. 1974. Homing in the gray wolf (*Canis lupus*). *Journal of Mammalogy*, 55, 234-37.
- Hogland, J.L. 1983. Nepotism and alarm calling in the black-tailed prairie dog, *Cynomys ludovicianus*. *Animal Behaviour*, 31, 2, 472-479.
- Holt, T.D. 1998. A structural description and reclassification of the wolf, *Canis lupus*, chorus howl. Master's thesis, Dalhousie University, Halifax, NS.
- Hopp, S. L., Owren, M. J. & Evans, C. S. (Eds.) 1998. *Animal Acoustic Communication: Sound Analysis and Research Methods*. Berlin: Springer-Verlag.
- Jordan, P.A., Shelton, P.C. & Allen, D.L. 1967. Numbers, turnover, and social structure of the Isle Royale wolf population. *Am. Zool.* 7, 233-52.
- Joslin, P.W.B. 1966. Summer activities of two timber wolf (*Canis lupus*) packs in Algonquin Park. Master's thesis, University of Toronto, Ontario. 99 pp.
- Joslin, P.W.B. 1967. Movements and homesites of timber wolves in Algonquin Park. *Am Zool.* 7, 279-88.
- Kelemann, G. 1963. Vocal origin in vertebrates. In: *Acoustic behaviour of animals* (Ed. R.G. Busnell) 489-521. New York, Elsevier Publishing.

- Klinghammer E. 1979. The behavior and ecology of wolves. Garland STPM Press, New York.
- Konishi, M. 1970. Evolution of design features in the coding of species-specificity. *American Zoologist*, 10, 1, 67-72.
- Krebs, J. R. 1977. The significance of song repertoires: the Beau Geste hypothesis. *Animal Behaviour*, 25, 475-478.
- Levin, J. 1986. Children's literature. Pp. 29-37 in wolves in American culture Committee, *Wolf! A modern look*. Northword, Ashland, WI.
- Liebllich, A.K., Symmes, D., Newmann, J.D. & Shapiro, M. 1980. Development of the isolation peep in laboratory-bred squirrel monkeys. *Animal Behaviour*, 28, 1-9.
- Lipmann, E.A. & Grassi, J.R. 1942. Comparative auditory sensitivity of man and dog. *Am J. Psychol.* 55, 84-89.
- Macedonia, J.M. 1986. Individuality in a contact call of the ringtailed lemur (*Lemur coatta*). *Am.J. Primatol.*, 11, 163-169.
- Mainardi, D. 2000. La strategia dell'aquila. Ed. Mondadori.
- Minardi, D. 1992. Dizionario di etologia. Ed Einaudi.
- Manly, B. J. F. 1986. Discriminant function analysis. Multi-variate statistical method: a primer. Chapman and Hall, London.
- McDonald, K.B. 1980. Stability of individual differences in behavior in a litter of wolf cubs (*Canis lupus*). *J. Comp. Psychol.* 97, 99-106.
- Masterton, B., Heffner, H. & Ravizza, R. 1969. The evolution of human hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 45, 966-85.
- McCarley, H. 1978. Vocalization of red wolves (*Canis rufus*). *Journal of Mammalogy*, 59, 27-35.
- McComb, K., Reby D., Backer L., Moss C. & Sayialel S. 2003. Long-distance communication of acoustic cues to social identity in African elephants. *Animal Behaviour*, 65, 317-329.
- McGregor, P. K., Catchpole, C.K., Dabelsteen, T., Falls, J.B., Fusani, L., Gerhardt, H.C., Gilbert, F., Horn, A.G., Klump, G.M., Kroodsman, D.E., Lambrechts, M.M., McComb, K.E., Nelson, D.A., Pepperberg, I.M., Ratcliffe, L., Searcy, W.A. & Weary, D.M. 1992. Design of playback experiments: the Thornbridge Hall NATO ARW Consensus. In: *Playback and studies of animal communication* (Ed. by P.K. Mc Gregor), pp 1-9. New York: Plenum Press.
- McGregor, P.K. & Peak, T.M. 1998. The role of individual identification in conservation Biology. In: *Behavioral Ecology and Conservation Biology*. (Ed. by T.M. Caro) 31-55, Oxford Un.Press.
- McLeod, P.J., Fentress, J.C. & Royon, J. 1991. Patterns of aggression within a captive timber wolf pack. *Aggress. Behav.* 17, 84.
- McLeod, P.J., Moger, W.H., Royon, J., Gadbois, S. & Fentress, J.C. 1996. The relation between urinary cortisol levels and social behavior in captive timber wolves. *Can. J. Zool.* 74, 209-16.
- Mech, L.D. 1966. The wolves of Isle Royale. U.S. National Park Service Fauna Series, no. 7. U.S. Govt. Printing Office. 210 pp.
- Mech, L.D. 1970. *The wolf: The ecology and behavior of an endangered species*. Natural History Press, Garden City, N.Y.
- Mech, L.D. 1973. Wolf numbers in the Superior National Forest of Minnesota. USDA Forest Service Research Paper NC-97. North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN. 10 pp.
- Mech, L.D. 1977. Wolf-pack buffer zones as prey reservoirs. *Science*, 198, 320-21.
- Mech, L.D. 1991. *The way of the wolf*. Voyageur Press, Stillwater, MN.

- Mech, L.D. 1994. Buffer zones of territories of gray wolves as regions of intraspecific strife. *Journal of Mammalogy*, 75, 199-202.
- Mech, L.D., Adams, L.G., Meier, T.J., Burch, J.W. & Dale, B.W. 1998. *The wolves of Denali*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Mech, L.D. & Boitani L. 2003. *Wolves, Behavior, Ecology and Conservation*, The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Mech, L.D., Phillips, M.K., Smith, D.W. & Kreeger, T.J. 1996. Denning behaviour of non-gravid wolves, *Canis lupus*. *Can. Field. Nat.* 110, 343-45.
- Mech, L.D. & Seal, U.S. 1987. Premature reproductive activity in wild wolves. *Journal of Mammalogy*, 68, 871-73.
- Meier, T.J., Burch, J.W., Mech, L.D. & Adams, L.G. 1995. Pack structure dynamics and genetic relatedness among wolf packs in a naturally regulated population. Pp. 293-302 in L.N. Carbyn, S.H. Fritts & D.R. Seip, eds., *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta.
- Melchior, H.R. 1971. Characteristics of arctic round squirrel alarm calls. *Oecologia*, 7, 184-90.
- Messier, F. 1985. Social organization, spatial distribution and population density of wolves in relation to moose density. *Can. J. Zool.* 63, 1068-67.
- Morton, E.S. 1977. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some bird and mammal sounds. *Am. Nat.* III, 855-69.
- Morton, E.S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist*, 109, 965, 17-34.
- Moscatti, P. 1987. Archeologia e Calcolatori, p 104, Giunti Barbera, Firenze.
- Murie, A. 1944 The wolves of Mount McKinley. U.S. National Park Service Fauna Series, no 5. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 238 pp.
- Neff, W.D. & Hind, J.E. 1955. Auditory threshold of the cat. *J. Acoust. Soc. Am.* 27, 480-83.
- Nikol'skii, A.A. & Frommolt, K.H. 1985. Sound activity of wolves during their breeding period. *Zoologicheskii Zhurnal* 65, 10, 1589-1591.
- Nikol'skii, A.A., Frommolt, K.H. & Bologov, V.P. 1986. Sound response of the she-wolf taking her wolf-cubs away from danger. [In Russian, translation by T. Neklioudova.] *Biuletten Moskovskogo Obshchestva Ispytatelei Prirody (Otdel Biologicheskii)* 91, 53-55.
- Nowak, R.M. 1995. Another look at wolf taxonomy. In *Ecology and conservation of wolves in a changing world* (L.N. Carbyn, S.H. Fritts & D.R. Seip eds.), pp. 375-397, *Canadian Circumpolar Institute*, Edmonton, Canada.
- Nowak, R.M. 2003. Wolf evolution and taxonomy. In *Wolves: Behavior, Ecology, and Conservation* (L.D. Mech & L. Boitani eds.), pp. 239-258. The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Nowak, R.M., Federoff, N. E. 2002. The systematic status of the Italian wolf *Canis lupus*. *Acta Theriologica* 47, 333-338.
- Nowak, S., Jedrzejewski, W., Schmidt, K., Theuerkauf, J., Mysłajek, R.W., Jedrzejewska, B. 2007. Howling activity of free-ranging wolves (*Canis lupus*) in the Białowieża Primeval Forest and the Western Beskid Mountains (Poland). *Journal of Ethology*, 25, 3, 231-237.
- Occhipinti S. 2008. Analisi della consistenza numerica e della distribuzione spaziale dei branchi di lupo (*Canis lupus*) nella provincia di Arezzo. Tesi di Laurea, Università di Milano.

- Okarma, H. Jedrzejewski, W., Schmidt, K., Snieszko, S., Bunevich, A.N., Jedrzejewska, B. 1998. Home range of wolvewes in Bailowieza Primeval Forest, Poland, compared with other eurasian populations. *Journal of Mammalogy*, 79, 842-852.
- Ortalli, G. 1973. Natura, storia e mitografia del lupo nel Medioevo. *La Cultura* 9, 257-311.
- Packard, J.M. 1980. Deferred reproduction in wolves (*Canis lupus*). Ph. D. dissertation, University of Minnesota, St paul. 347 pp.
- Packard, J.M. 1989. Olfaction, ovulation and sexual competition in monogamous mammals. Pp.525-43 in J.M. Lakoski, J.R. Perez-Polo & D.K. Rassin, eds., *Neural Control of reproductive function*. Alan R. Liss, New York.
- Packard, J.M. & Mech, L.D. 1983. Population regulation in wolves. Pp. 151-74 in F.L. Bunnell, D.S. Eastman & J.M. Peek, eds., *Symposium on Natural Regulation of Wildlife Populations Forestry, Wild-life, and Range Experiments Station*, Moscow, Idaho.
- Packard, J.M., Mech, L.D. & Seal, U.S. 1983. Social influences on reproduction in wolves. Pp. 78-85. in L.N. Carbyn, ed., *Wolves in Canada and Alaska: Their status,biology and management*. Report Series, no. 45. Canadian Wildlife Service, Edmonton, Alberta.
- Packard, J.M, Seal, U.S., Mech, L.D. & Plotka, E.D. 1985. Causes of reproductive failure in two family groups of wolves (*Canis lupus*). *Z. Tierpsychol.* 68, 1, 24-40.
- Packard, J.M. 2003. Wolf Behavior: Reproductive, Social, and Intelligent. In: Mech, L.D. & Boitani, L. 2003. *Wolves, Behavior, Ecology and Conservation*, The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Pagnotta, S.M. 2003. Una generalizzazione dei ranghi per standardizzare i dati. *Quaderni di Statistica* Vol.5.
- Palacios, V., Font, E., Marquez, R. 2007. Iberian wolf howl: acoustic structure, individual variation, and comparison with North American populations. *Journal of Mammalogy*, 88, 3, 606-13.
- Passilongo, V. 2008. La visualizzazione spettrografica di ululati di lupo nel censimento mediante wolf-howling e analisi degli ululati indotti. Tesi di laurea, Università degli Studi di Firenze.
- Passilongo, D., Bucciatti, A., Dessì-Fulgheri, F., Gazzola, A., Zaccaroni, M. & Apollonio, M. 2010. The Acoustic Structure Of Wolf Howls In Some Eastern Tuscany (Central Italy) Free Ranging Packs. *Bioacoustics* 19, 3, 159-175.
- Payne, K. & Payne, R. 1985. Large scale changes over 19 years in songs of humpback whales in Bermuda. *Z. Tierpsychol.* 68, 89-114.
- Payne, K.B., Thompson, M. and Kramer, L. 2003. Elephant calling patterns as indicators of group size and composition: the basis for an acoustic monitoring system. *African Journal of Ecology*, 41, 99-107.
- Peters, R.P. & Mech, L.D. 1975a. Behavioral and intellectual adaptation of selected mammalian predators to the problem of hunting large animals- Pp. 279-300 in R.H. Tuttle ed., *Socioecology and psychology of primates*. Mouton Publishers, The Hague, Paris.
- Peters, R.P. & Mech, L.D. 1975b. Scent-marking in wolves: A field study. *Am. Sci.* 63, 628-37.
- Peterson, R.O. 1977. Wolf ecology and prey relationship on Isle Royale U.S. National Park Service Scientific Monograph Series, no. 11. Washington, D.C. 210 pp.
- Peterson, R.O., Woolington, J.D. & Bailey, T.N. 1984. Wolves of the Kenai Peninsula, Alaska. *Wild-life Monographs*, no. 88. The Wildlife Society, Bethesda, MD. 52 pp.

- Petrinovich, L. 1974. Individual recognition of vocalization by northern elephant seal mothers. *Tierpsychol.*, 34, 308-312.
- Pimlott, D.H., 1960. The use of tape-recorded wolf howls to locate timber wolves. XXII Midwest fish e wildlife conference, Toronto, 15.
- Potvin, F. 1988. Wolf movements and population dynamics in Papineau-Labelle reserve. Quebec. *Can. J. Zool.* 66, 1266-73.
- Promberger, C. & W. Schröder eds. 1993. *Wolves in Europe: Status and perspectives*. Munich Wildlife Society, Ettal, Germany.
- Radford, A.N. 2005. Group-specific vocal signatures and neighbour-stranger discrimination in the cooperatively breeding green woodhoopoe. *Animal behaviour*, 70, 1227-1234.
- Rausch, R.A. 1967. Some aspects of the population ecology of wolves, Alaska. *Am. Zool.* 7, 253-65.
- Ream, R.R., Fairchild, M.W., Boyd, D.K. & Pletscher, D.H. 1991. Population dynamics and home range changes in a colonizing wolf population. Pp. 349-66 in R.K. Keiter and M.S. Boyce, eds., *The Greater Yellowstone ecosystem; Redefining America's wilderness heritage*. Yale University Press, New Haven, CT.
- Rothman, R.J. & Mech, L.D. 1979. Scent-marking in lone wolves and newly formed pairs. *Animal Behaviour*, 27, 750-60.
- Rutter, R.J. & Pimlott, D.H. 1968. *The world of the wolf*. J.B. Lippincott, Philadelphia.
- Ryon, C.J. 1977. Den digging and related behavior in a captive timber wolf pack. *Journal of Mammalogy*, 58, 87-89.
- Sebeok, Th.A. 1968. *Zoosemiotica. Studi sulla comunicazione animale*. Bompiani, Milano
- Serracchiani, S. 1976. Indagine sulle opinioni nei riguardi della conservazione del lupo in Abruzzo. Tesi in Psicologia. Università di Roma.
- Schassburger, R.M. 1978. The vocal repertoire of the wolf: Structure, function, and ontogeny. Ph. D. dissertation, Cornell University, Ithaca, NY. 343 pp.
- Shassburger, R.M. 1987. Wolf vocalization: An integrated model of structure, motivation and ontogeny. Pp. 313- 47 in H Frank, ed., *Man and wolf: Advances, issue and problems in captive wolf research*. Dr. W. Junk Publisher, Dodrecht, The Netherlands
- Schassburger, R.M. 1993. Vocal communication in the timber wolf, *Canis lupus*, Linnaeus: Structure, motivation, and ontogeny. *Advances in Ethology*, no. 30. Paul Parey, Berlin. 84 pp.
- Schenkel, R. 1947. Ausdrucks-studien an wolfen [Expression studies of wolves]. *Behaviour* 1, 81-129. [translation from German by F. Harrington.]
- Schmidt, P.A. & Mech, L.D. 1997. Wolf pack size and food acquisition. *Am. Nat.* 150, 513-17.
- Servín [-Martinez], J. 2000. Duration and frequency of chorus howling of the mexican wolf (*Canis lupus baileyi*). *Acta Zool. Mex.* 80, 223-31.
- Shipley, C., Hines, M & Buchwald, J.S. 1986. Vocalizations of northern elephant seal bulls: development adult call characteristics during puberty. *Journal of Mammalogy*, 67, 516-536.
- Sieber, O.J. 1986. Acoustic recognition between mother and cubs in racoons (*Procyon lotor*). *Behaviour*, 9, 130-163.
- Smith, D., Meier, T.J., Geffen, E., Mech, L.D., Burch, J.W., Adams, L.G. & Wayne, R.K. 1997. Is incest common in gray wolf packs? *Behav. Ecol.* 8, 384-91.
- Snowdon, C.T. & Cleveland, J. 1980. Individual recognition of contact calls by pygmy marmosets. *Animal Behaviour*, 28, 717-727.

- Stern, D.N. 1998. Le interazioni madre-bambino. R. Cortina Ed., Milano.
- Symmes, D., Newmann, J.D., Talmage-Riggs, G. & Lieblich, A.K. 1979. Individuality and stability isolation peeps in squirrel monkeys. *Animal Behaviour*, 2, 1142-1152.
- Terry, A.M.R., Peake, T.M., McGregor, P.K. 1995. The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers in zoology*, 2(10), 1-16.
- Theberge, J.B. & Falls, J.B. 1967. Howling as a means of communication in timber solfe. *Am. Zool.* 7, 331-38.
- Theberge J. & Pimlott, D. 1969. Observation of wolves at a rendezvous site in Algonquin Park. *Can. Field. Nat.* 83, 122-28.
- Thorpe, W.H. 1961. Bird-Song: the biology of vocal communication and expression in birds. Cambridge University Press.
- Tooze, Z.J. 1987. Some aspects of the structure and function of long-distance vocalization of timber wolves (*Canis lupus*). Master's thesis, Dalhousie University, Halifax, NS.
- Tooze, Z.J., Harrington, F.H. & Fentress, J.C. 1990. Individually distinct vocalization in timber wolves, *Canis lupus*. *Animal Behaviour*, 40, 720-30.
- Townsend S. W., Hollén L., Manser M. B. 2010. Meerkat close calls encode group-specific signatures, but receivers fail to discriminate. *Animal Behaviour*, 80, 133-138.
- Travis, S., Slobodchikoff, C.N. & Keim, P. 1997. DNA fingerprinting reveals low genetic diversity in Gunnison's prairie dog (*Cynomys gunnisoni*). *Journal of Mammalogy*, 78, 725-732.
- Van Ballenberghe, V., A. W. Erickson & D. Byman. 1975. Ecology of the timber wolf in northeastern Minnesota. Wildlife Monographs, no. 43. The Wildlife Society, Washington, D.C. 44 pp.
- Van Camp, J.E. Gluckie, R. 1979. A record long-distance move by wolf (*Canis lupus*). *Journal of Mammalogy*, 60, 236-237.
- Walton, L.R., Cluff, H.D., Paquet, P.C. & Ramsay, M.N. 2001. Movement patterns of barren-ground wolves in the central Canadian Arctic. *Journal of Mammalogy*, 82, 867-76.
- Wilson, E.O. 1975. *Sociobiology*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Wilson, D.E. & Reeder, D.M. 1993. Mammal Species of the World, a Taxonomic and Geographic Reference. (2<sup>a</sup> ed.) Smithsonian Institution Press, Washington, USA.
- Wright, T.F., & Wilkinson, G.S. 2001. Population genetic structure and vocal dialects in an amazon parrot. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 268, 609-616.
- Wydeven, A.P., Schultz, R.N. & Thiel, R.P. 1995. Monitoring of a gray wolf (*Canis lupus*) population in Wisconsin, 1979-1991. Pp. 147-56 in L.N. Carbyn, S.H. Fritts & D.R. Seip, eds., *Ecology and conservation of wolves in a changing world*. Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta.
- Yin, S. & McCowan, B. 2004. Barking in domestic dogs: context specificity and individual identification. *Animal Behaviour*, 68, 343-355.
- Young, S.P. & Goldman, E.A. 1944. *The wolves of North America*. American Wildlife Institute, American Wildlife Institute, Washington, D.C.
- Zimen, E. & Boitani, L. 1975. Number and distribution of wolves in Italy. *Zeitschrift für Saugetierkunde* 40, 102-112.

## REFERENZE FOTOGRAFICHE

**Fig. 1.1** Hans H. Siergrist

**Fig. 1.2** “Wolf Mother” by LordWolfgang

**Fig. 1.3** “Wolves pack in bad mood” by Woxys

**Fig. 1.5** “The Crown” by Durantenduring (K Lindeman)

**Fig. 2.1** Isabella Maggini

**Fig. 2.2** “artic wolves howling” by Nashoba67

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. Apollonio per avermi dato la possibilità di svolgere questa tesi e di vivere l'esperienza unica di fare wolf-howling.

Ringrazio il Dott. Andrea Gazzola che mi ha insegnato tante cose sui lupi e non si è mai arreso nelle lunghe notti in cui non giungeva alcuna risposta.

Ringrazio Claudia Facchini che mi ha insegnato a registrare e mi ha accompagnata in tantissime notti di wolf-howling. La ringrazio anche per avermi permesso di usare i dati di Camaldoli 2008.

Ringrazio Paolo Bongi che si è fatto le notti con me e la Claudia anche se la mattina dopo si doveva svegliare prestissimo.

Ringrazio Emanuela Donaggio con la quale ho condiviso meravigliose camminate e ho imparato un sacco di cose. Anche se non siamo mai riuscite a sentire i lupi insieme, ti ringrazio per avermi accompagnata su e giù per Catenaia con qualsiasi condizione atmosferica!

Ringrazio Daniela Passilongo per avermi introdotta all'analisi dei sonogrammi ed essere stata sempre disponibile durante la stesura della mia tesi.

Ringrazio i coinquilini di Casa Stabbi con i quali ho vissuto una bella esperienza di convivenza, anche se avevamo tutti orari così diversi che a volte a malapena ci incontravamo.

Ringrazio tutti coloro che hanno raccolto gli ululati che ho utilizzato per la mia tesi.

Ringrazio la Provincia di Arezzo nella figura del Dott. Chianucci e l'Ente Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, Campigna e Monte Falterona all'interno della quale opera il Corpo Forestale.

Ringrazio la Dott.ssa Rita Cervo con la quale ho sostenuto il primo esame del mio corso di studi. La ringrazio per essere stata presente anche nella conclusione di questo percorso, con le sue lezioni di comunicazione animale, e per aver consigliato un libro che mi è stato utilissimo.

Ringrazio la Prof. Silvana Schifini per avermi fornito materiali per la statistica ed essere stata sempre disponibile. Ringrazio la Pepi per avermi fatto da tramite.

Ringrazio la Dott.ssa Nicasi per avermi aiutata ad affrontare gli ultimi mesi.

Ringrazio la mamma e il babbo che mi sono sempre stati vicino e mi hanno aiutata e compresa durante tutte le mie ansie da studentessa e non solo.

Ringrazio l'Amor de mi vida con il quale condivido tutto. Grazie per avermi sopportata, per avermi aiutata, per essermi sempre vicino e rendermi così felice. Ti ringrazio per avermi aiutata a riguardare la tesi anche alle undici di sera, il giorno prima di portarla a stampare.

Infine ringrazio i miei cani che mi hanno donato serenità durante le mie giornate di studio. Ringrazio in particolare la mia Kirina, sempre felicissima di vedermi avvicinare alla scrivania per potersi mettere sotto i miei piedi!