



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DOTTORATO DI RICERCA IN
Produzione di animali acquatici e terrestri
e qualità dei prodotti

CICLO XXV

COORDINATORE Prof.ssa Poli Bianca Maria

L'analisi acustica applicata
al censimento al bramito del cervo
(*Cervus elaphus*)

Settore Scientifico Disciplinare AGR/19



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DISPAA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE
PRODUZIONE AGROALIMENTARI
E DELL'AMBIENTE

Dottorando

Dott.ssa Trunfio Carmen

Tutore

Prof.ssa Ponzetta Maria Paola

Coordinatore

Prof.ssa Poli Bianca Maria

Anni 2010/2012

a Marco, A., F., G.

a Mamma, Papà e Zio

alla memoria della Prof.ssa Francesca Gherardi

RIASSUNTO

L'Analisi Acustica applicata al Censimento al Bramito del Cervo *Cervus elaphus*

L'utilizzo dell'analisi acustica, quindi della bioacustica in generale, è largamente impiegato per studi di etologia, ecologia, riconoscimento delle specie e, ultimamente, riconoscimento individuale.

La finalità di tale lavoro di ricerca è analizzare le possibili sinergie tra la bioacustica e la gestione della fauna selvatica sviluppando un'analisi empirica basata su una metodologia di ricerca utile a ridurre la soggettività nei processi di censimento del Cervo Nobile *Cervus elaphus*.

Presente in ambiente montano, sia alpino che appenninico, il Cervo è l'Ungulato di dimensioni maggiori che abita nei nostri boschi ed è quasi privo di predatori naturali. La necessità di monitorare e censire le popolazioni di Cervo nascono proprio dall'esigenza di attuare programmi di gestione e controllo della densità di popolazione. Attualmente vengono utilizzati diversi metodi di censimento, tra i quali vi è il censimento al bramito. Attraverso una tecnica che prevede l'annotazione delle vocalizzazioni (bramiti) dei maschi adulti emesse durante il periodo riproduttivo, è possibile stimare la consistenza di popolazione di *C. elaphus*. Questo metodo non è privo di limiti metodologici dovuti alla soggettività della valutazione, proprio perché tutto il lavoro di

annotazione è affidato a operatori volontari, più o meno esperti.

Il lavoro di tesi parte dalla necessità di annullare o diminuire la soggettività della tecnica di censimento al bramito e quindi di ricercare fattori e tecniche che possano essere obiettivi e utilizzabili a supporto di questa metodologia di censimento.

La nostra ricerca ha avuto come obiettivo l'identificazione di caratteristiche acustiche individuali, presenti nelle vocalizzazioni del Cervo, che potessero fungere da “impronta vocale individuale”, attraverso le quali individuare e discriminare e i maschi in bramito.

Utilizzando i principi di base dell'analisi acustica, abbiamo registrato e analizzato le vocalizzazioni di maschi di *C. elaphus* prodotte durante la stagione del bramito e abbiamo focalizzato le nostre ricerche sull'individuazione di parametri spettro-temporali che potessero essere discriminanti per i bramiti registrati. Le variabili utilizzate per le nostre analisi riguardano le durate dei bramiti e alcuni valori di frequenza (calcolati in Hertz, Hz) della Fondamentale, la frequenza più bassa registrabile in una vocalizzazione. La Frequenza Fondamentale è stata scelta perché, nel Cervo, è svincolata da fattori esterni e risente meno di fattori quali stato motivazionale e di benessere, alimentazione.

Una volta ottenuti i dati necessari dall'analisi dei bramiti, abbiamo applicato la Discriminant Function Analysis. Questo tipo di analisi statistica individua le migliori funzioni discriminanti, formate dalle variabili proposte, e le utilizza per discriminare le vocalizzazioni e riassegnarle, in maniera predittiva, all'individuo che, secondo questo sistema, le ha prodotte. Con tale metodologia e

con uno specifico data set, siamo stati in grado di raggiungere il 70,4% di corrette riassegnazioni dei bramiti.

Le conclusioni a cui perviene il presente lavoro presentano importanti implicazioni metodologiche per gli studi sulla bioacustica e forniscono dati utili alla gestione della fauna selvatica.

Future ricerche avranno la finalità di migliorare il data set da utilizzare, individuando le variabili più idonee per un ottimale utilizzo della Discriminat Function Analysis.

Scenari futuri di ricerca saranno possibili anche grazie alla formulazione di un algoritmo che permetta il riconoscimento individuale immediato del maschio in bramito. In tal modo sarà possibile utilizzare i principi dell'analisi acustica a supporto del censimento al bramito, annullando errori di stima dovuti alla soggettività dell'operatore.

ABSTRACT

Acoustic Analysis for census based on red deer roaring stags *Cervus elaphus*

Acoustic Analysis, and bioacoustic in general, is widely used in ethological and ecological studies and, recently, in species and individual recognition.

The aim of this research is to analyse the possible synergy between bioacoustic studies and wildlife management, based on a research method to avoid subjectivity in census based on roaring-stags counts (traditional census activities on the Red Deer (*Cervus elaphus*) during mating season).

Red deer is the largest Ungulate living in the alpine and appennines mountain woods and it is almost lacking in natural predators. The need to monitor and census the red deer population is due to the programs for management and the control of red deer density. Currently, several census methods are used, i.e. census based on roaring-stags counts. By noting stags roars during mating season, it is possible to assess red deer population size. This technique has limits due to the human subjectivity in counting and the difficulty in distinguishing between different roaring stags.

Our research is focused on finding factors and methods to avoid, or to decrease, subjectivity in this census technique. The aim of our work is to identify acoustic features in red deer roars to find an individual “voiceprint”, by which to identify and discriminate

red deer stags during rutting season.

We recorded and analysed stags calls using acoustic analysis principles, trying to identify the best spectro-temporal parameters for discriminating different subjects. As parameters, we used bouts and roars durations and some fundamental frequency features, the lowest recordable frequency in a vocalization.

After calculating our parameters, we analysed them by applying a particular statistical tool: Discriminant Function Analysis. This technique firstly identifies the best discriminant function, by combining the chosen parameters, then uses it to discriminate between different roars and assign them to the individual that originally made them.

With our data set, 70,4% of the calls were correctly re-classified as belonging to the individual that made them.

In conclusion, this research is a starting point to find the best data set for the individual recognition of red deer, to support and help the traditional census by counting roaring stags.

INDICE

RIASSUNTO	III
ABSTRACT	VII
INTRODUZIONE	1
SCOPO DELLA RICERCA	5
CAPITOLO I	
LA BIOACUSTICA E IL CERVO NOBILE <i>Cervus elaphus</i>	
1.1 La Bioacustica	7
1.2 La Bioacustica nei diversi Taxa	9
1.2.1 Insetti	10
1.2.2 Pesci	12
1.2.3 Anfibi e Rettili	12
1.2.4 Uccelli	13
1.2.5 Mammiferi	15
1.3 Il Cervo Nobile: <i>Cervus elaphus</i> Linneus, 1758	18
1.3.1 Distribuzione Storica e Attuale	18
1.3.2 Alimentazione e Habitat	23
1.3.3 Morfologia	25
1.3.4 Struttura sociale e Riproduzione	28
1.4 Il Monitoraggio e il Censimento delle popolazioni di <i>C. elaphus</i>	33
1.4.1 Il Monitoraggio: definizione	33
1.4.2 Il Monitoraggio tramite i Conteggi	34
1.4.3 Conteggio da Punti di Vantaggio	35
1.4.4 Conteggio in Battuta	37
1.4.5 Conteggio Notturno con faro	39
1.4.6 Censimento al Bramito	41

1.5	Il Bramito del Cervo	46
1.5.1	La Teoria Sorgente-Filtro	48
1.5.2	L'abbassamento della laringe nel Cervo	50
1.5.3	Le frequenze prodotte dalla Sorgente e dal Filtro: la Fondamentale e le Formanti	51
1.5.4	Un solo Bramito, diversi tipi di roar	54

CAPITOLO II

MATERIALI E METODI

2.1	Area di Studio	63
2.2	Scelta dei siti dove effettuare le registrazioni: in Allevamenti e allo Stato Naturale	64
2.3	La Strumentazione	69
2.3.1	Il registratore	69
2.3.2	Il microfono	71
2.3.3	Le schede	73
2.4	Programmi di Editing e di Analisi Acustica	75
2.5	Variabili Spettro-Temporali analizzate	80
2.6	Analisi Statistica	83

CAPITOLO III

RISULTATI

3.1	Coefficiente di Variazione	89
3.2	Analisi della Varianza (ANOVA)	92
3.3	Discriminant Function Analysis (DFA)	103
3.3.1	Discriminant Function Analysis 1	103
3.3.2	Discriminant Function Analysis 2	109
3.3.3	Discriminant Function Analysis 3	115
3.3.4	Discriminant Function Analysis 4	120
3.3.5	Discriminant Function Analysis 5	124
3.3.6	Discriminant Function Analysis 6	128

CAPITOLO IV DISCUSSIONE	133
CONCLUSIONI	143
RINGRAZIAMENTI	147
BIBLIOGRAFIA	149

INTRODUZIONE

Il monitoraggio e il censimento degli Ungulati in ambiente alpino e appenninico, nasce dalla necessità di tenere sotto controllo le popolazioni di erbivori che, a causa di fattori ecologici e antropici, non possono rispettare i giusti rapporti preda-predatore. In molte zone vi è la totale assenza di predatori importanti, quali il lupo, che potrebbero tenere sotto controllo la densità di popolazione soprattutto del Cervo *Cervus elaphus* che è il più grande Ungulato presente nei nostri ambienti montani. Attualmente vengono intrapresi molti programmi di gestione faunistica che richiedono studi preliminari all'attuazione e messa in opera delle misure di conservazione della fauna. Un passo fondamentale, prima di intraprendere attività di gestione e conservazione per qualsiasi specie, è la stima della densità di popolazione, quindi è molto importante individuare le migliori tecniche di monitoraggio di cui si dispone per evitare fenomeni di sotto- o sovrastima della popolazione.

Poiché l'analisi acustica applicata al riconoscimento individuale potrebbe essere di supporto alla gestione delle specie, abbiamo cercato di applicare i principi della Bioacustica alle vocalizzazioni del Cervo.

Attualmente la Bioacustica, quindi le analisi acustiche delle emissioni sonore degli animali, uomo compreso, funge da supporto a molteplici studi legati all'ecologia, etologia, censimento di specie

elusive, monitoraggio della biodiversità, riconoscimento specifico e, ultimamente, riconoscimento individuale. Attraverso l'analisi acustica, e quindi utilizzando i principi della Bioacustica, è possibile stabilire le relazioni che ci sono tra l'individuo che produce il suono e l'ambiente circostante, in funzione della diversità delle situazioni (predazione, difesa del territorio, corteggiamento delle femmine, sfida tra rivali...).

Le potenti vocalizzazioni del maschio di Cervo, emesse durante la stagione riproduttiva, sono state utilizzate a partire dagli anni '70 in Norvegia per valutare la densità di popolazione di *Cervus elaphus* all'interno di una tecnica indicata come censimento al bramito. Nel corso degli anni questa modalità di censimento è stata ripresa in varie parti d'Europa ed è stata adattata alle diverse esigenze degli operatori, dell'analisi statistica, di metodologia, di rilevamento e campionatura. Il censimento al bramito prevede il conteggio dei maschi adulti durante la stagione riproduttiva e la relativa annotazione da parte di volontari, su apposite schede, del numero e della direzione del bramito.

Per la nostra ricerca abbiamo provveduto a registrare i bramiti emessi dai maschi adulti di Cervo durante la stagione riproduttiva. Il bramito, per questa specie, diventa un canale di comunicazione acustica attraverso il quale i maschi possono stimare la taglia corporea degli avversari, possono tenere riunite le femmine e anticipare l'ovulazione delle stesse. Alcune caratteristiche acustiche del bramito, inoltre, sono indicatrici del benessere fisico dell'emittitore (caller), del suo status gerarchico, dell'età.

Tramite l'analisi acustica abbiamo estrapolato dalle registrazioni le variabili che, dopo confronti con la letteratura esistente sull'argomento, abbiamo reputato essere le migliori candidate per una differenziazione individuale delle vocalizzazioni.

Come ultimo passaggio, abbiamo creato 6 data set differenti per numero di callers, di tipologia di bramito, di numero di vocalizzazioni per caller, e abbiamo sottoposto questi gruppi alla Discriminant Function Analysis (DFA). Questo metodo di indagine statistica è un potente sistema per identificare i fattori discriminanti per ogni data set inserito e, con l'utilizzo di questi fattori, è possibile riassegnare in maniera predittiva ogni bramito al corretto caller. Il sistema provvederà a fornire una percentuale media di corretta riassegnazione delle vocalizzazioni

Attraverso l'utilizzo della DFA abbiamo raggiunto risultati molto significativi che si pongono come punto di partenza per la creazione di un utile strumento a supporto delle operazioni di censimento al bramito.

Future ricerche avranno la finalità di individuare le specifiche caratteristiche acustiche da valutare e di ampliare il grado di accuratezza nella definizione del data set, così da consentire un maggior livello di affidabilità del sistema. La ricerca delle migliori variabili da considerare potrà essere impiegata per la realizzazione di un algoritmo che, in maniera automatica, possa essere in grado di discriminare i bramiti registrati e di fornire l'esatto numero di callers. In tal modo il riconoscimento individuale, fornito dall'analisi acustica, permette una stima più accurata del numero di

maschi in bramito, dà la possibilità di ripetere più volte la raccolta dati, consente di stilare una sorta di “archivio” delle presenze nell'area di studio e di utilizzare questi dati per confrontare aree limitrofe e quindi avviare studi sulla dispersione delle popolazioni di *C. elaphus*.

SCOPO DELLA RICERCA

Il presente lavoro pone come obiettivo l'individuazione di parametri acustici, presenti nelle vocalizzazioni dei maschi di Cervo *Cervus elaphus*, attraverso i quali sia possibile identificare una impronta vocale individuale che sia univoca e scientificamente accertata. Tale ricerca dell'individualità del bramito, oltre che contributi all'etologia e fisiologia della specie, potrebbe apportare migliorie ai protocolli di gestione della fauna selvatica.

Il riconoscimento individuale dei maschi, tramite l'analisi acustica del bramito, potrebbe essere impiegato in metodologie che siano di supporto al censimento al bramito del Cervo, tecnica che si affianca ai più tradizionali metodi di monitoraggio ma che presenta problemi legati alla soggettività dell'operatore, alle condizioni atmosferiche, al limite temporale del picco di attività della stagione del bramito.

Attraverso l'utilizzo simultaneo di queste due tecniche, il censimento al bramito supportato dall'analisi acustica delle vocalizzazioni, possiamo ipotizzare una più corretta stima della densità di popolazione di Cervo e quindi una più accurata gestione della specie.

CAPITOLO I

LA BIOACUSTICA E IL CERVO NOBILE *Cervus elaphus*

1.1 LA BIOACUSTICA

La bioacustica è un settore della zoologia, strettamente correlato all'etologia, che studia la produzione e la ricezione dei suoni negli animali, incluso l'uomo, e come gli animali regolano i propri comportamenti individuali e sociali attraverso segnali acustici. La bioacustica comprende anche lo studio degli organi dell'udito e degli apparati per la produzione di suoni così come i processi fisiologici attraverso i quali i suoni sono prodotti e recepiti, sia per la comunicazione che per l'ecolocalizzazione.

Questa disciplina si sviluppa a partire dal 1950 con la nascita degli strumenti per registrare, riprodurre e analizzare i suoni. Da allora la bioacustica ha avuto un effettivo sviluppo sia in campo scientifico sia applicativo, riconoscendo anche l'esistenza di segnali acustici non percepibili dall'uomo, infrasuoni e ultrasuoni. L'uomo, infatti, è in grado di captare onde sonore con frequenze comprese tra 20 e 20.000 Hz, i pipistrelli tra 1.000 e 120.000 Hz, orche e delfini riescono a percepire e produrre ultrasuoni con frequenza pari a 200.000 Hz.

Le potenzialità della bioacustica vengono sempre più supportate dall'ambito informatico che fornisce strumenti per l'acquisizione e l'archiviazione di dati acustici anche per lunghi

periodi di tempo. Ciò consente un facile recupero e studio dei dati per rilevare i parametri acustici specie-specifici. Sono disponibili specifici software, in commercio o open source, per lo studio dell'analisi acustica che permettono di misurare le caratteristiche di un segnale sonoro sia manualmente che con algoritmi automatizzati.

La più semplice visualizzazione grafica di un segnale è un oscillogramma, nel quale viene riportata la variazione dell'ampiezza di un suono (misurata in decibel, dB) rispetto al tempo. Per visualizzare, invece, la struttura spettrale nel tempo si utilizza lo spettrogramma (o sonogramma). È la forma più completa di visualizzazione in quanto vengono riportate tre grandezze: il tempo lungo l'asse x, la frequenza (calcolata in Hertz, Hz) lungo l'asse y e l'ampiezza, per una data frequenza in un dato istante di tempo, è espressa mediante livelli di grigio o diversa luminosità. Uno spettrogramma può rivelare caratteristiche del suono che gli esseri umani non possono percepire perché situate al di fuori del campo di udibilità umano, per esempio ultrasuoni oppure infrasuoni emessi da alcune grandi balene o da elefanti (Garstang, 2004).

Oggi giorno la bioacustica viene largamente impiegata per diverse finalità. È diventata un ottimo supporto per gli studi di monitoraggio ambientale e della biodiversità, per le analisi di paesaggi sonori ma soprattutto viene impiegata nei censimenti e studi di popolazioni e come strumento per riconoscimento specifico e individuale. Attraverso lo studio delle vocalizzazioni dei soggetti è possibile stabilire la specie di appartenenza soprattutto per quanto riguarda specie difficili da individuare e distinguere e, in alcuni

casi, è possibile risalire addirittura ad una sorta di impronta vocale individuale, che permette il riconoscimento del singolo emittitore della vocalizzazione (caller).

Inoltre, le conoscenze nel campo della bioacustica sono impiegate in una nuova scienza multidisciplinare sviluppatasi negli ultimi 10 anni, la zootecnia di precisione (Precision Livestock Farming, PLF). Attraverso la creazione di sistemi di controllo a distanza, che sfruttano i principi della bioacustica, è possibile apportare un sostegno alle attività di controllo e gestione negli allevamenti intensivi con lo scopo di migliorare le produzioni animali e di monitorare il loro comportamento, la loro salute e il loro benessere (Aerts *et al.*, 2003; Guarino *et al.*, 2004). Nell'ambito della zootecnia di precisione gli studi di bioacustica sono rivolti prevalentemente a suini e bovini dei quali sono state studiate, attraverso l'impiego di microfoni e videocamere, sia le tossi per l'analisi delle malattie respiratorie (Silva *et al.*, 2008, Ferrari *et al.*, 2008, 2009, 2010) che le diverse vocalizzazioni per valutarne il benessere (es. studi sullo stress da calore, stress da castrazioni, stress da management).

1.2. LA BIOACUSTICA NEI DIVERSI TAXA

I segnali acustici possono essere ricevuti da svariate distanze e consentono il rilevamento e l'osservazione non invasiva dei loro produttori. Sono stati effettuati studi delle produzioni sonore di

Insetti, Pesci, Uccelli, Anfibi (Anuri), Rettili, Mammiferi. A seconda del tipo di segnale e del gruppo tassonomico, è possibile l'identificazione dell'individuo, della specie, la stima dell'abbondanza oppure eseguire valutazioni di tipo comportamentale o legate al benessere dell'animale.

I canali acustici vengono utilizzati nel Regno Animale per diversi fini e in alternativa a quelli visivi o odorosi che in alcune situazioni risultano meno efficaci. Gli animali producono suoni per la difesa del territorio, per le interazioni di gruppo, per attrarre il compagno e per l'orientamento. La maggior parte delle vocalizzazioni presentano caratteristiche altamente distintive, utilizzabili in tassonomia e sistematica, e quindi di supporto per le ricerche sulla biodiversità. Alcune nuove specie sono state scoperte grazie ai loro segnali sonori distintivi, ad esempio specie notturne o elusive oppure specie sorelle morfologicamente simili tra loro.

1.2.1 Insetti

La maggior parte delle ricerche sono concentrate su Cicadidi e Ortotteri (Diwakar *et al*, 2007; Riede, 1997; Sueur, 2006), due gruppi di insetti che emettono suoni molto forti. Il suono, negli Ortotteri, è prodotto da un apparato stridulante formato dalle tegmine (ali anteriori) e dai femori posteriori. A volte questo apparato può essere presente anche nelle femmine. L'organo uditivo è situato nel primo segmento addominale.

Nei Cicadidi, invece, il “canto” dei maschi è prodotto dalla contrazione di due potenti muscoli striati, situati nell'addome, e dall'amplificazione e modulazione dell'onda sonora attraverso sacche aeree e timpani, che fungono da casse armoniche.

Altri gruppi di insetti producono ultrasuoni o deboli vibrazioni sonore non percettibili per l'uomo. Utilizzando microfoni, amplificatori e strumentazione appropriata, il monitoraggio acustico potrebbe facilmente essere esteso a altri gruppi la cui comunicazione è affidata alla vibrazione (es. treehoppers, appartenenti alla famiglia Membracidae: Cocroft & McNett, 2006) o alla stridulazione subacquea, come documentato per gli insetti acquatici appartenenti al genere *Cenocorixa* (Jansson, 1973).

I segnali acustici utilizzati per la ricerca del partner hanno la particolarità di essere specie-specifici e quindi sono di aiuto nella scoperta di nuove specie. In particolare negli insetti, poiché le differenze sonore dei richiami in specie morfologicamente simili aiuta i tassonomi nella descrizione di specie-sorelle, molte delle quali non possono essere distinte senza una registrazione sonora. Inoltre negli insetti la comunicazione acustica ha una base genetica, quindi qualsiasi cambiamento nell'emissione sonora rivela un cambiamento a livello genetico. In Europa, le analisi acustiche hanno portato alla scoperta di nuovi e importanti informazioni sulla biogeografia delle specie della famiglia Cicadidae (Sueur & Puissant, 2007).

1.2.2 Pesci

I meccanismi di produzione dei suoni nei pesci sono distinti in tre tipi: idrodinamici, meccanici e vescico-natatori. I primi sono determinati da movimenti bruschi del corpo durante il nuoto (es movimento della coda). I suoni di tipo meccanico sono anche detti stridulatori perchè prodotti dallo sfregamento o dalla percussione di parti dure del corpo come i denti faringei o gli opercoli o le pinne pettorali. La vescica natatoria se presente fa da cassa di risonanza. Infine la terza modalità di produzione dei suoni è data dalla compressione della vescica natatoria, prodotta dalla contrazione dei muscoli appositi connessi ad essa.

La produzione del suono nei pesci è poco studiata, benchè sia comune: più di 50 famiglie di Teleostei comprendono specie che producono suoni. I pesci producono suoni durante la stagione riproduttiva e il loro comportamento può essere studiato con idrofoni (Ladichetal, 1992; Torricelli *et al*, 1990). I suoni prodotti sono di bassa frequenza e intensità. Solo in aggregazioni di grandi dimensioni è possibile monitorare il suono su grandi distanze.

1.2.3 Anfibi e Rettili

Tra gli Anfibi, soltanto gli Anuri emettono vocalizzazioni. I richiami delle rane e dei rospi servono come richiamo per il partner e quindi sono altamente specie-specifici. La modalità di produzione

del suono è affidata all'emissione di aria dai polmoni, il che richiede un basso dispendio energetico. Alcune specie posseggono sacche vocali che fungono da accumulatori di aria e da casse di risonanza.

I richiami sonori variano molto meno negli Anuri che, ad esempio, negli Uccelli (Gerhardt & Huber, 2002) e ciò facilita il riconoscimento e l'assegnazione della specie al caller come provato da Brandes *et al.* (2005).

Nei Rettili, i geki hanno sviluppato un repertorio vocale da stridii semplici a sequenze complesse che utilizzano nel comportamento sociale (Brillet & Paillette, 1991; Marcellini, 1974). Tuttavia, negli ectotermi le caratteristiche dei segnali sonori variano con la temperatura ambiente (Kuhn & Schneider, 1984; Márquez & Bosch, 1995) quindi è richiesta l'annotazione dei parametri ambientali quali la temperatura e la relativa umidità del suolo, dell'aria e dell'acqua per ogni file audio registrato (Márquez *et al.*, 2008).

1.2.4 Uccelli

Negli Uccelli la comunicazione acustica è utilizzata in tutte le specie. Possiamo distinguere due tipologie di Uccelli in base al livello di elaborazione delle emissioni sonore: Uccelli non canori e Uccelli canori. Le specie che hanno vocalizzazioni semplici, ripetitive e determinate quasi esclusivamente a livello genetico, sono quelle non canore. In genere sono specie che vivono in

ambienti aperti, caratterizzate da individui di grosse dimensioni e che quindi affiancano alla comunicazione acustica anche la comunicazione visiva. Al contrario, le specie canore sono rappresentate da individui di piccole dimensioni, che vivono in ambienti con fitta vegetazione e dove l'utilizzo delle vocalizzazioni è la maniera più affidabile per comunicare e mantenere i contatti. I canti degli Uccelli canori sono molto complessi e sono determinati da imprinting, imitazione, innovazione ed eredità genetica.

Nella classe degli Uccelli vi è un organo particolare, deputato alla produzione dei canti, chiamato siringe. Situata tra l'estremità inferiore della trachea e l'inizio dei bronchi; la siringe è formata da un gruppo di cartilagini anulari entro cui si trovano due membrane vibratorie, a mezzaluna, che funzionano da corde vocali, ed è circondata da appositi muscoli che modificano l'ampiezza dell'organo, per la modulazione dei suoni.

Gli Uccelli, grazie al loro ricco repertorio vocale, sono regolarmente oggetto di monitoraggio acustico soprattutto in ambienti con scarsa visibilità (ad esempio Bart, 2005; Frommolt *et al.*, 2008; Haselmayer & Quinn, 2000). Spesso solo attraverso le vocalizzazioni è possibile distinguere due individui morfologicamente simili ma appartenenti a specie diverse, anche se la variabilità dei canti e delle vocalizzazioni intra e inter-individuali a volte rende difficile l'identificazione (Bardeli *et al.* 2008; Tantt & Turunen, 2008). Uccelli come l'usignolo possono disporre di un vasto e mutevole repertorio canoro (Todt & Hultsch, 1996). In alcuni casi le vocalizzazioni non solo portano informazioni sulla

specie ma anche a livello individuale, il che consente il riconoscimento individuale (individual recognition) del caller (Galeotti & Pavan, 1991; Laiolo *et al*, 2007).

L'uso di playback per ottenere risposte da uccelli elusivi è stato anche sviluppato come una valida tecnica di censimento (Conway & Gibbs, 2005; McGregor, 1992).

1.2.5 Mammiferi

La comunicazione acustica è largamente utilizzata da tutti gli Ordini della Classe Mammiferi. L'apprendimento individuale, l'esperienza e il contesto sociale condizionano lo sviluppo della comunicazione e determinano l'espressione vocale, che diventa complessa e molto più variabile rispetto ai taxa che mostrano un comportamento più semplice (Vannoni e McElligott, 2007).

La capacità di articolare suoni complessi si è sviluppata grazie alla sinergia tra laringe, che produce il suono base, e cavità orale, che amplifica e modella le caratteristiche spettrali. Ad esempio, le diverse vocali umane sono prodotte modificando la conformazione del cavo orale (posizione della lingua, del palato e delle labbra). Nell'uomo, infatti, la laringe è situata in basso, nella parte anteriore del collo tra la quarta e la sesta vertebra cervicale. L'abbassamento della laringe determina un aumento dello spazio tra le corde vocali e la bocca, che funge da cassa di risonanza. Queste modificazioni anatomiche hanno contribuito all'evoluzione

dell'espressione vocale, accompagnate dallo sviluppo di una zona cerebrofrontale coinvolta nell'elaborazione del linguaggio, detta area cerebrale di Broca.

Attualmente, per quanto riguarda Mammiferi non umani, accanto alle registrazioni delle vocalizzazioni e alle ricerche in natura, si studia anche la produzione dei suoni di animali in allevamento sia per applicare i risultati ottenuti ai corrispettivi selvatici, come nel caso del Cervo Nobile *Cervus elaphus* (Favaretto *et al.*, 2006; Reby *et al.*, 2001, 2003), che per monitorare e controllare lo stato di benessere degli animali allevati, come nel caso della zootecnia di precisione.

La produzione dei suoni, oltre che essere impiegata per comunicare, viene utilizzata per l'orientamento, la ricerca di cibo e di posatoi e per cacciare prede in condizioni di scarsa visibilità. Questa tecnica prevede l'emissione di ultrasuoni e la loro ricezione nel momento in cui questi ritornano indietro dopo aver incontrato un ostacolo o una preda. In base al tempo e alle modalità di ritorno viene calcolata la distanza e la grandezza dell'ostacolo. Tale modo di orientamento è stato definito “ecolocalizzazione” da Griffin (1958) I Chiroteri sono tra i Mammiferi che maggiormente si affidano a questa tecnica, come ipotizzato da Lazzaro Spallanzani nel 1700, il quale ideò e realizzò una serie di esperimenti per dimostrare che i pipistrelli si affidano a “speciali abilità sensoriali” per volare. Attraverso gli esperimento dello Spallanzani si scoprì che l'udito era essenziale per il volo notturno dei pipistrelli e, solo dopo il 1940, si è scoperto che producono brevi impulsi ultrasonici

che vengono utilizzati per l'orientamento e la caccia.

Attualmente sono disponibili diverse strumentazioni tecniche per registrare e rendere udibili gli ultrasuoni (Parsons & Obrist, 2004) e recentemente sono stati portati avanti studi sul riconoscimento delle specie in base agli ultrasuoni emessi (Jennings *et al.*, 2008, Obrist *et al.*, 2008; Parsons & Jones, 2000; Russo & Jones, 2002; Skowroński & Harris, 2006).

Importantissimo è il ruolo della comunicazione acustica in ambiente subacqueo. L'elevata velocità di propagazione (circa 1500 m/s, cinque volte maggiore di quella nell'aria) e la bassa attenuazione con la distanza permettono un'ottimale trasmissione acustica del segnale. Siccome in acqua la vista è spesso limitata a pochi metri e non può essere utilizzata nelle buie profondità oceaniche, la comunicazione acustica è il canale di comunicazione dominante nei Cetacei. Il range dei loro segnali sonori spazia dalle frequenze molto basse dei Mysticeti, infrasuoni inferiori ai 20Hz, agli ultrasuoni prodotti e utilizzati dagli Odontoceti per l'ecolocalizzazione, che raggiungono i 160 kHz.

1.3 IL CERVO NOBILE: *Cervus elaphus* Linneus, 1758

Il Cervo Nobile, o Cervo rosso, è il più grande Ungulato presente sul territorio Italiano. Membro della famiglia dei *Cervidi*, il *C. elaphus* ha una distribuzione Oloartica essendo presente sia nel continente euroasiatico che nel continente americano con la sottospecie wapiti (*Cervus elaphus canadensis*). Le sottospecie presenti in Italia sono *C. elaphus elaphus*, sottospecie nominale, e *C. elaphus corsicanus*, Cervo sardo (o corso) endemico della Sardegna e della Corsica. Da segnalare in provincia di Ferrara, più precisamente nella Riserva Naturale Bosco della Mesola, la presenza di un nucleo di cervi autoctoni, discendenti dell'antico cervo della Pianura Padana, che non ha subito colonizzazioni e ibridazioni ed è rimasto riproduttivamente isolato (Cervo della Mesola).

1.3.1 Distribuzione Storica e Attuale

Specie presente storicamente in tutta Europa, il Cervo risultava quasi estinto in Italia agli inizi del '900 ad eccezione di pochi nuclei nel Bosco della Mesola (FE) e in alcune valli dell'Alto Adige (Val Monastero e alta Val Venosta).

In maniera graduale si sono verificate, nel corso degli anni, migrazioni spontanee di individui dai Paesi confinanti, come la Slovenia, l'Austria e la Svizzera, che hanno contribuito alla

ricolonizzazione della specie nell'arco alpino orientale e centrale. Per le Alpi occidentali, negli anni '60 e '70, si è assistito a programmi di reintroduzione di individui provenienti dall'Europa centrale, dalle Alpi e dalla Francia (“Reintroduzioni: immissioni di entità faunistiche o botaniche in un’area in cui siano state sicuramente presenti e da cui siano scomparse in tempi storici, per lo più per azione diretta o indiretta dell’uomo”, Chiarucci & Lovari, 2007).

Allo stesso tempo, anche la presenza del Cervo e di altri Ungulati in Appennino settentrionale è il risultato di programmi di reintroduzione attuati negli anni '50 e '60 grazie soprattutto all'iniziativa del Corpo Forestale dello Stato nelle Foreste Demaniali appenniniche della Toscana. Ricordiamo l'immissione di 4 cervi, 23 caprioli, 22 daini, 10 mufloni, 4 cinghiali nell'Alto Pistoiese tra il 1954 e il 1960 (Premuda 1975), il rilascio di 11 cervi, 4 caprioli, 48 daini, 6 mufloni nel Casentino tra il 1950 e il 1964 (CFS Pratovecchio, Crudele in Padula e Crudele 1988), l'immissione di 8 cervi, 28 caprioli, 4-5 mufloni nell'Alta Garfagnana tra il 1966 e il 1970, l'introduzione di 9 daini in Val Tiberina nel 1964 (Casini *et al.* 1988). Il risultato di queste operazioni è stato il raggiungimento di popolazioni naturalizzate, in grado di riprodursi autonomamente, con una buona capacità di espansione numerica e spaziale in risposta alle condizioni climatiche più miti rispetto a quelle alpine, ma anche in seguito ad un progressivo abbandono delle campagne da parte dell’uomo (Apollonio, 1996).

Dalla “Banca dati Ungulati”, report 2006-2010 la

consistenza del Cervo sull'intero territorio italiano è stimabile in più di 67.000 individui (al 2010), con un aumento del +54% rispetto al 2000. In realtà è una sottostima della reale consistenza della specie poiché vi sono aree, in particolare nell'Italia centrale, in cui non sono ancora stati avviati dei reali programmi di gestione e monitoraggio della specie, e quindi operazioni di censimento, o anche perché vi sono nuclei con densità molto ridotta (Carnevali et al., 2009). Attualmente, dalle “Linee guida per la gestione degli Ungulati” (ISPRA; 2013) risulta che in Italia l'areale del Cervo è di circa 54.000 km² ed è presente in 58 province, 22 delle quali attuano progetti di prelievo venatorio.

Per quanto riguarda la distribuzione, possiamo individuare un grande areale alpino che si estende da Udine a Cuneo, mentre sugli Appennini le popolazioni sono ancora isolate tra loro. Oltre al nucleo della Garfagnana, nell'Appennino settentrionale si è verificata l'unione delle due maggiori popolazioni presenti, la popolazione dell'Acquerino e quella del Casentino. Per l'Appennino centrale segnaliamo i nuclei che risiedono all'interno del Parco Nazionale d'Abruzzo e sul massiccio montuoso della Majella, in particolare nella Valle dell'Orfento, ove il Cervo è stato immesso tra gli anni 1983 e 1995.

Altre operazioni di reintroduzione hanno permesso la ricomparsa della specie nel sud della penisola (Parco Nazionale del Cilento e Parco Nazionale del Pollino). Infine, in Sardegna la specie risulta oggi presente nei tre sub-areali storici posti nella porzione meridionale dell'Isola (Sulcis, Sarrabus e Arbus) e in altre due aree

(Montimannu a sud e Pattada a nord) per effetto di reintroduzioni avvenute negli anni '90. Operazioni di reintroduzione sul territorio nazionale sono state condotte anche recentemente nelle province in cui la specie era già presente ma non ancora affermata (Bergamo e Cuneo) e in aree dove la presenza era stata accertata in tempi storici (Torino, Macerata, Ascoli, Teramo, Salerno, Potenza) (Carnevali *et al.*, 2009).

I progetti di reintroduzione, sviluppati alla luce di favorevoli situazioni ecologiche, si sono tradotti, in particolare sull'Appennino Tosco-Emiliano, in un tasso demografico di *C. elaphus* in costante crescita, rappresentato da popolazioni in grado di auto-sostenersi (consideriamo che, dai 4 cervi reintrodotti sulla montagna pistoiese, oggi se ne stimano più di 3000!).

La forte espansione del Cervo e l'aumento notevole della densità di popolazione sono l'effetto di molteplici fattori. Primo fra tutti, l'allontanamento dell'uomo dagli ambienti rurali ha ridotto il fastidio provocato alle specie selvatiche dalle attività antropiche e ha facilitato l'espansione dei boschi, quindi dell'habitat idoneo alla sopravvivenza di questo Ungulato. Fattori che possono, invece, limitare l'espansione sono la pressione predatorie e altri fattori di mortalità. I predatori principali per il Cervo sono il lupo e la lince (quando presente); cani inselvatichiti sembrano pericolosi per piccoli e giovani. I cerbiatti appena nati sono, inoltre, predabili da parte della volpe, del gatto selvatico e dell'aquila reale. Possiamo quindi immaginare che, almeno per quanto riguarda la situazione appenninica, la pressione predatoria esercitata dai grandi predatori

(come il lupo) o dai predatori di taglia più piccola, è abbastanza modesta e non riesce a mantenere sotto controllo una popolazione talmente vasta di cervi. Altre cause di morte sono legate allo stato di salute, come le parassitosi dell'apparato digerente, e agli incidenti stradali e ferroviari che si verificano nelle regioni dove l'areale del cervo si sovrappone maggiormente a zone antropizzate.

Quindi, se da un lato possiamo valutare con successo il programma di reintroduzione del Cervo in Appennino settentrionale proprio in base all'aumento del numero di individui e quindi alla risposta e all'adattamento della specie al nuovo ambiente, dall'altro lato ci troviamo a dover contenere questa espansione per limitare i problemi legati alla forte densità di Ungulati. Essendo il Cervo il più grande Ungulato presente sul territorio e non essendo sottoposto ad una forte pressione predatoria, molto spesso la sua presenza può apportare problemi, come le occasioni di conflitto con le coltivazioni agricole e con l'ambiente forestale (Boitani *et al.*, 2003) oppure il notevole numero di incidenti stradali causati dalla fauna selvatica, di cui è la causa (Ponzetta *et al.*, 2009). Per questo motivo il Cervo, come gli altri Ungulati, è sottoposto a vari programmi di gestione della specie e di contenimento della densità attraverso attività di caccia di selezione, quindi di una caccia svolta da personale addestrato e che, annualmente, definisce il numero di capi da abbattere dopo una stima della densità, della struttura e della sex ratio della popolazione.



Figura 1 - Distribuzione del Cervo in Italia. In Sardegna, è presente il Cervo sardo (Cervus elaphus corsicanus) (da ISPRA - Linee guida per la gestione degli ungulati 2013).

1.3.2 Alimentazione e Habitat

L'alimentazione del Cervo comprende di norma piante erbacee ma la sua dieta prevede anche elementi come foglie, frutti e giovani rami (Clutton-Brock & Albon, 1989). Questo comportamento alimentare viene attuato da animali definiti “pascolatori di tipo intermedio”, quindi a metà tra un brucatore selettivo, come il Capriolo (che si nutre di foglie di arbusti, cespugli e piante legnose, gemme, getti, foraggi ad elevata concentrazione di

elementi nutritivi), e un pascolatore puro, come il Muflone (erbe di prato anche abbastanza coriacee, foraggi grezzi) Tali preferenze alimentari rendono *C.elaphus* una specie estremamente versatile e adattabile alle diverse disponibilità vegetazionali stagionali: infatti, durante la stagione invernale, a causa della scarsa disponibilità di risorse e soprattutto in caso di abbondanti neviccate, il Cervo arriva a nutrirsi anche delle cortecce degli alberi (Mustoni *et al.*, 2002).

In Europa, il cervo occupa naturalmente una vasta gamma di tipologie ambientali, passando dalle brughiere scozzesi alle foreste mesofile dell'Europa centrale, fino alla macchia mediterranea che caratterizza la parte più meridionale del suo areale.

In Italia l'habitat naturale è costituito prevalentemente da vaste zone boschive, tra il livello del mare e le altitudini alpine. La miglior composizione boschiva è rappresentata da un misto di latifoglie (soprattutto faggi e specie quercine) e conifere, alternate a radure e pascoli. L'assenza di sottobosco diventa un fattore importante, date le notevoli dimensioni della specie e la conformazione corporea. La specie occupa comunque con buon successo anche i boschi di sole conifere, caratteristici delle aree montane più elevate e delle Alpi interne, e zone di macchia mediterranea, come in Sardegna.

Fondamentale, in ogni tipologia di habitat, è la presenza di ruscelli, stagni e di fonti d'acqua in generale, necessarie per l'abbeverata e per i caratteristici bagni nelle pozze fangose (insoglio) effettuati dai maschi nel periodo estivo. La stessa popolazione può utilizzare ambienti diversi nel corso del ciclo

annuale, ad esempio lungo un gradiente altitudinale. Infatti, mentre in montagna d'estate il Cervo si spinge oltre il limite della vegetazione arborea (estivazione) andando ad occupare le praterie situate nell'orizzonte alpino, d'inverno compie migrazioni stagionali (svernamento) verso altitudini inferiori e su versanti con esposizioni favorevoli. L'inverno rappresenta, per le specie selvatiche in generale, il principale fattore limitante che regola lo sviluppo di individui e popolazioni. In questo periodo è minima la disponibilità alimentare sia per quantità che per qualità e la presenza del manto nevoso può condizionare, anche in modo rilevante, le possibilità di movimento degli animali e la reperibilità del cibo. Per questo è fondamentale, per i quartieri di svernamento, la presenza di versanti a Sud/Sud-Ovest, in funzione della maggiore insolazione e minore permanenza del manto nevoso (Mustoni *et al.*, 2002).

1.3.3 Morfologia

A causa della selezione sessuale, il Cervo presenta un forte dimorfismo sessuale che si manifesta nella taglia e nella presenza di caratteri sessuali secondari. Il peso degli animali, pur variando a seconda delle aree geografiche e delle condizioni vegetazionali e climatiche, si approssima intorno ad un massimo di 250 kg per i maschi con un'altezza al garrese di circa 150 cm, e ad un massimo di 130 Kg per le femmine con altezza di 100 – 120 cm al garrese. Generalmente, le popolazioni dell'Europa Orientale presentano le

dimensioni maggiori, a differenza del Cervo sardo, del Cervo della Mesola o, comunque, delle popolazioni dell'area mediterranea, che hanno peso e dimensioni minori.

Nei maschi di Cervo i caratteri sessuali secondari, come la giogaia e il palco, diventano la caratteristica predominante di questa specie. La presenza di appendici frontali, chiamate palco, determinano una struttura analoga, ma non omologa, alle corna dei Bovidi. La composizione del palco, in genere notevolmente ramificata e allargata sopra il capo, contribuisce a conferire a questa specie il caratteristico aspetto imponente, da cui il nome comune Cervo Nobile. In *C. elaphus*, come nelle altre specie di Cervidi, soltanto i maschi posseggono i palchi. Le eccezioni a questa caratteristica sono la renna *Rangifer tarandus*, con i palchi portati sia dai maschi che dalle femmine, e il cervo d'acqua cinese, *Hydropotes inermis*, con assenza dei palchi in entrambi i generi.

I palchi sono strutture costituite da due stanghe ossee ramificate che vanno incontro ad un ciclo annuale di caduta/ricrescita basato sui cicli ormonali e sul fotoperiodo. Alla fine del primo inverno (9-10 mesi di età) sulla regione frontale si sviluppa una protuberanza ossea permanente della scatola cranica che funge da supporto della stanga e che rimane sempre nascosta sotto la pelle dell'animale. Tale struttura prende il nome di stelo. Dallo stelo compaiono i primi palchi, nutriti da uno strato di pelle riccamente vascolarizzata, detta velluto; in luglio essa raggiunge il suo massimo sviluppo, ossificandosi. Tra febbraio e marzo del secondo anno di vita, a causa della graduale diminuzione dei livelli

di testosterone nel sangue (la crescita dei palchi è infatti legata al tasso ematico di testosterone e di somatotropina), il giovane cervo subisce la decalcificazione della base dei primi palchi che, al minimo urto contro un ostacolo, si staccano e cadono. Il fenomeno si ripete, da qui innanzi, regolarmente ogni anno: i palchi cadono ma sullo stelo se ne formano di nuovi, sempre ricoperti di velluto, che raggiungono le dimensioni massime entro quattro mesi. Ogni anno il volume, il peso e parzialmente il numero delle punte va aumentando ma non è possibile basarsi sulla conformazione e sul numero di punte dei palchi per stimare l'età dei cervi, piuttosto si deve utilizzare, come per gli altri Cervidi, la valutazione della dentizione.

La forma e le dimensioni del palco variano, oltre che in base all'età e alle caratteristiche genetiche dell'animale, anche in funzione del suo grado di "benessere" nell'habitat in cui vive. Tale benessere è influenzato da diversi fattori, quali: la disponibilità di cibo, il clima, il disturbo antropico, la disponibilità di zone di rifugio e la densità della popolazione.

Quando il Cervo raggiunge un'età avanzata, si può assistere ad un regresso del trofeo, con una diminuzione della lunghezza delle punte e in alcuni casi del loro numero (Mustoni *et al.*, 2002).

Il palco serve, comunque, a distinguere i maschi nei primi anni di vita.

Possiamo suddividere gli individui maschili in:

- Cerbiatti, con età minore di un anno
- Fusoni, da 10/11 mesi a 22/23 i cui palchi sono stanghe piuttosto

corte e non ramificate

- Sub-adulti, da 2 a 5 anni, socialmente immaturi
- Adulti, oltre i 4/5 anni

Mentre per le femmine sono state individuate tre classi:

- Cerbiate, con età minore di un anno;
- Sottili, da 10/11 a 22/23 mesi
- Adulte, oltre i 22/23 mesi

1.3.4 Struttura Sociale e Riproduzione

Come struttura sociale, i cervi hanno un comportamento gregario: sono associati in gruppi sessualmente segregati, ma la composizione del gruppo e la sua dimensione può variare a seconda dell'habitat, della disponibilità alimentare e della stagione.

Queste aggregazioni sono caratterizzate da una separazione tra i sessi fuori dal periodo degli amori e sono strutture elastiche composte da unità base di tipo femminile (femmina adulta con cerbiatto e prole dell'anno precedente) o maschile (piccoli gruppi di maschi adulti a partire dal secondo anno di età). L'affermazione del rango gerarchico determina delle "tensioni sociali" e questo motivo spinge i maschi adulti o anziani (oltre i 10 anni) a restare prevalentemente da soli o in compagnia di un subadulto (2-4 anni) per buona parte dell'anno.

Il Cervo è una specie poligama e ciò determina un'elevata competizione tra i maschi adulti nel periodo riproduttivo (in Italia

fra settembre e ottobre). La strategia riproduttiva prevede la formazione di un harem che verrà protetto dal capobranco contro eventuali intromissioni di altri maschi. Un maschio adulto definisce, fin dalla fine di agosto, il suo rango sociale attraverso comportamenti ritualizzati che possono diventare anche cruenti e sfociare in veri e propri combattimenti, più probabili fra maschi di rango sociale simile, nella fase immediatamente precedente la stagione riproduttiva.

Già dall'inizio di settembre i maschi si avvicinano ai territori occupati dai branchi femminili seguendo le tracce olfattive e anche grazie alla memoria storica riguardo la posizione dei territori utilizzati per gli accoppiamenti (filopatria riproduttiva). I maschi sono sottoposti a un'intensa selezione intrasessuale per l'accesso alle femmine (Clutton-Brock, 1989) e i primi a dare segni di eccitazione e frenesia sono i maschi adulti seguiti dai giovani. È un momento particolare, impegnativo e dispendioso a livello energetico, che porta i maschi a sfidarsi e a competere per l'accesso alle femmine. Poiché il sistema riproduttivo è di tipo poliginico, soltanto pochi maschi riusciranno ad avere accesso ai branchi di femmine.

Le sfide tra maschi sono competizioni ritualizzate e prevedono l'utilizzo, in primis, di canali acustici come il bramito (vocalizzazione emessa dai maschi di Cervo che anche a distanza rivela la presenza e lo status dell'animale che lo emette), a seguire l'utilizzo della comunicazione visiva, con la marcia parallela e quindi con una valutazione diretta dell'avversario, in seguito, ma

solo se è conveniente ai due sfidanti, si passa allo scontro fisico vero e proprio.

La comunicazione, nel Cervo, è affidata a diversi canali: olfattivi, visivi, acustici. In entrambi i sessi vi è la presenza di ghiandole “odorifere” (formate dall'unione di ghiandole sebacee e sudoripare), situate in varie parti del corpo ed aventi diversi gradi di importanza e funzione.

Sia nel maschio che nella femmina, davanti all'angolo nasale dell'occhio (seno infraorbitale), sono presenti delle ghiandole molto importanti per il cervo: le ghiandole preorbitali. Queste vengono usate in modo cospicuo (e diventano pertanto più vistose) nel periodo del bramito da parte del maschio, il quale diffonde il secreto di queste ghiandole e l'urina come indicatori non per marcare il territorio, bensì per far capire che le femmine che stanno stazionando in quell'area appartengono al suo harem (il Cervo lascia dei segnali odorosi per segnalare il suo passaggio e la sua temporanea presenza nella zona). Le femmine e i piccoli utilizzano le ghiandole preorbitali prevalentemente nella fase delle cure parentali per imprimere il proprio odore al “parente” e poterlo quindi facilmente riconoscere.

Nelle zampe posteriori, subito sotto il tallone, sono localizzate le ghiandole metatarsali; tra le dita delle zampe posteriori si trovano le ghiandole interdigitali, poco sviluppate e scarsamente utilizzate.

La comunicazione visiva si manifesta attraverso parate (marcia parallela di due individui per valutare la taglia del rivale,

può concludersi con un combattimento), esposizioni del canino in atteggiamento minaccioso e “adornamento”, sfregamento e messa in mostra dei palchi. La marcia parallela è un confronto diretto delle dimensioni dell'avversario. I due contendenti, dopo essersi sfidati ad un duello “vocale” tramite le emissioni di potenti vocalizzazioni, si incontrano e procedono affiancati. In questo modo riescono a valutare le effettive dimensioni dell'avversario e riescono a giudicare se sia conveniente o meno sfidarlo e affrontarlo fisicamente.

La comunicazione acustica è tipica del periodo riproduttivo. Per circa 4 settimane, tra settembre e ottobre, i maschi emettono serie di vocalizzazioni (bramiti) che raggiungono un picco di frequenza e poi diminuiscono bruscamente (Clutton-Brock & Albon, 1979; Pépin *et al.*, 2001). Ciò è dovuto ad un calo delle condizioni fisiche degli animali, poiché l'attività vocale è molto impegnativa per il Cervo: è dispendiosa da un punto di vista energetico e sottrae tempo alla ricerca di cibo.

Il bramito è la vocalizzazione prodotta dai maschi che hanno raggiunto la maturità sessuale. La maturità sessuale fisiologica dei maschi di Cervo viene raggiunta, come nelle femmine, a circa 16-18 mesi, ma solo alcuni anni più tardi viene raggiunta la maturità sociale che renderà il maschio in grado di competere con gli altri per l'accesso alle femmine e quindi assicurarsi la riproduzione.



Figura 2 – Maschio adulto con il proprio harem presso l'allevamento a scopo ornamentale “I Cancelli”, Marradi, FI (Foto C. Trunfio).

1.4 IL MONITORAGGIO E IL CENSIMENTO DELLE POPOLAZIONI DI *Cervus. elaphus*

La forte espansione del Cervo impone delle misure di gestione della specie per una corretta interazione degli animali e dell'habitat. A monte dei piani di prelievo venatorio e di gestione faunistica vi deve essere una stima accurata del numero di individui, per non interferire con le dinamiche di popolazione e per non rendere vani gli sforzi di gestione.

I metodi di monitoraggio che ci permettono di stimare la consistenza numerica delle popolazioni di *C. elaphus* sono:

- il conteggio da punti fissi di osservazione
- il conteggio in battuta
- il conteggio al faro
- il censimento al bramito

I vari metodi di monitoraggio possono essere utilizzati in base alle diverse realtà boschive e ambientali ma è importante, per quanto possibile, una sinergia tra le varie tecniche per evitare fenomeni di sotto- o sovrastima della popolazione.

1.4.1 Il Monitoraggio: definizione

Il termine monitoraggio identifica il “processo generale in

base al quale vengono raccolti ed organizzati i dati quantitativi riferiti ad alcune variabili demografiche e a diversi intervalli temporali, con la finalità di valutare periodicamente lo stato del sistema e trarre conclusioni in merito alle variazioni di stato osservate” (Yoccoz *et al.*, 2001).

Ogni progetto di gestione della fauna prevede programmi di monitoraggio della stessa, volti all'identificazione e alla stima dello stato del sistema e alle modalità di risposta della specie alle azioni di gestione intraprese.

Innanzitutto, un corretto programma di monitoraggio di popolazione deve essere in grado di rilevare il tasso e la direzione delle variazioni associate all'abbondanza della popolazione nel tempo e nello spazio.

Secondariamente, il monitoraggio della popolazione fornisce i risultati delle azioni di gestione intraprese negli anni precedenti e ne valuta gli effetti previsti.

Le metodologie di monitoraggio utilizzate a fini gestionali devono rappresentare, quindi, il miglior compromesso fra il metodo idoneo in base alla specie e all'ambiente di monitoraggio, e la disponibilità di risorse, economiche ed umane, necessarie per condurre al meglio le operazioni di conteggio.

1.4.2 Il Monitoraggio tramite i Conteggi

Attraverso le tecniche di conteggio è possibile una stima della

popolazione basata sull'osservazione, conteggio e classificazione (per sessi e classi di età) degli individui in habitat idonei e durante le ore di maggior attività.

In base alla tipologia di ambiente possiamo utilizzare un diverso tipo di conteggio, come:

- il conteggio da punti di vantaggio;
- il conteggio in battuta;
- il conteggio notturno con faro.

1.4.3 Conteggio da Punti di Vantaggio

Il conteggio diretto risulta essere il metodo migliore in presenza di habitat caratterizzati da almeno il 50% di aree aperte, cioè in presenza di situazioni dove la contattabilità visiva degli animali sia massima. Ovviamente, è un metodo non applicabile nei casi in cui è presente una notevole copertura di bosco o macchia, in quanto vi potrebbero essere notevoli differenze tra il campione osservato e la dimensione effettiva della popolazione, con uno sbilanciamento nei risultati finali.

In fase di pianificazione occorre identificare le zone aperte (settori di conta) con dimensioni tali da rappresentare un buon compromesso tra personale disponibile e la specie oggetto del campionamento. In linea teorica, i settori di conta devono essere selezionati in modo tale che i confini coincidano con elementi topografici (creste, fiumi, strade, ecc.) e che possano svolgere la

funzione di barriere semipermeabili, al fine di ridurre il più possibile doppi conteggi di animali in spostamento fra aree adiacenti (Mayle *et al.*, 1999). Una volta individuati i settori di conta, si procede alla identificazione dei punti di osservazione che saranno distribuiti in modo da garantire la copertura delle aree aperte (parcelle di conta) idonee alla osservazione degli animali.

Oltre alle zone adatte, un fattore molto importante da tenere in considerazione è la scelta del periodo in cui effettuare i conteggi da punti di vantaggio. Il periodo idoneo deve tener conto delle migliori situazioni ambientali e della biologia della specie oggetto di monitoraggio. È importante, quindi, che i conteggi vengano effettuati prima della ripresa vegetativa delle essenza forestali, per offrire una visibilità ottimale degli animali. Inoltre, è bene evitare periodi biologici particolari delle specie, quindi quei momenti in cui vi è segregazione degli individui, ad esempio durante la stagione degli amori o dei parti

In generale il periodo migliore si colloca in concomitanza della ripresa vegetativa nelle aree aperte che, a sua volta, dipende dalle caratteristiche climatiche ed altitudinali dell'unità territoriale di gestione in cui si opera.

Durante il giorno, le ore ottimali in cui è massima la contattabilità visiva, in particolare per i Cervidi, coincidono con le ore crepuscolari (alba e tramonto), cioè nei momenti in cui gli animali si dedicano all'alimentazione.

Ogni sessione di conta deve durare almeno due ore: in questo modo si cerca di evitare il rimescolamento di animali tra

parcelle contigue e, allo stesso tempo, si ha un'alta probabilità di avvistamento degli animali. I dati sono annotati su schede cartacee che, in seguito, verranno messe a confronto per evitare i doppi conteggi.



Figura 3 – Altana utilizzata per il conteggio da punti di vantaggio (Foto A. Dal Pian).

1.4.4 Conteggio in Battuta

Quando l'estensione boschiva è tale da rendere difficoltoso l'utilizzo di altre pratiche di monitoraggio, si può utilizzare il metodo del conteggio in battuta. In genere, si applica quando il bosco interessa più del 50% dell'area sottoposta a monitoraggio.

La tecnica consiste nel rilevamento a vista degli animali, eseguito da osservatori fermi in determinati punti, chiamati “poste”, lungo tre lati di un rettangolo. Il quarto lato è formato da un fronte di battitori, disposti a intervalli variabili da 5 a 25 metri, in funzione

della visibilità del bosco. Il compito dei battitori è quello di avanzare gradualmente, in maniera da spingere gli animali verso uno dei lati del rettangolo, dove verranno conteggiati dagli osservatori lungo le linee delle poste. I battitori conteranno soltanto gli animali che, sfondando il fronte di battuta, si muoveranno in senso inverso a quello di battuta, entrando quindi nel settore alle spalle dei battitori.

Il numero degli osservatori e dei battitori è in funzione della morfologia del territorio e del grado di copertura del bosco. Il momento adatto per effettuare un conteggio in battuta è durante le ore più calde della giornata, quando gli animali utilizzano le zone boschive come rifugio e luogo di riposo.

La dimensione minima per un settore di battuta è di 15ha, l'estensione massima, invece, è variabile e dipende da problemi pratici come il reclutamento di un numero maggiore di operatori, la disponibilità di risorse economiche, la precisione richiesta dal monitoraggio. Importante, inoltre, è che il campionamento interessi una porzione di bosco non inferiore al 10-15% dell'estensione complessiva della tipologia ambientale presente nell'unità territoriale di gestione (Pucek *et al.*, 1975).

Per la scelta delle aree campione bisogna affidarsi ad una certa casualità, per evitare di scegliere zone con maggior concentrazione della popolazione. Dal totale del numero di animali conteggiati (sommando tutti gli animali di tutti i settori di battuta) è possibile ottenere il valore di densità rapportando tale numero al totale degli ettari campionati. Se è stato correttamente campionato almeno il

10% di bosco presente nella unità territoriale di riferimento è possibile estendere il valore di densità ottenuto alla estensione totale del bosco per ottenere un valore di consistenza complessiva della popolazione.

1.4.5 Conteggio Notturmo con faro

Il conteggio notturno con l'ausilio del faro si basa sulla quantificazione degli animali osservati nelle aree aperte durante la notte.

Questo sistema di monitoraggio viene effettuato da un veicolo e ciò impone la presenza di un reticolo viario che passi accanto a zone aperte, frequentate dalle specie da monitorare. Il periodo più favorevole per applicare questa tecnica è quando si realizza la massima presenza degli animali sulle aree aperte di fondovalle, cioè quando si ha la ripresa vegetativa primaverile e le aree aperte vengono frequentate maggiormente per il foraggiamento notturno.

Ogni squadra percorre, di notte, il percorso (transetto) assegnato sostando e illuminando le aree aperte alla ricerca e all'identificazione degli animali presenti. I transetti dovrebbero essere completati nel minor tempo possibile (massimo 4 ore) per evitare rimescolamenti e quindi doppi conteggi tra aree confinanti.

Il riconoscimento della specie – in caso di compresenza di più specie – avviene attraverso un'attenta osservazione con il

binocolo ed è aiutata dal colore della luce riflessa dal *tapetum lucidum*. I cervi sono identificabili a distanza grazie al riflesso giallo-aranciato del tappeto lucido.

L'orario di inizio del conteggio notturno con il faro è, di solito, 1 ora dopo il tramonto, anche se sono stati effettuati studi in diverse aree geografiche che indicano differenti fasce orarie ottimali per questo tipo di tecnica. Nel caso di uno studio effettuato sulla popolazione di Cervo del Parco Naturale di Paneveggio – Pale di San Martino, la contattabilità dei soggetti è risultata migliore nella prima parte della notte (22.00-22.30), mentre per le popolazioni di Cervo del Parco Nazionale dello Stelvio è risultato più conveniente iniziare i conteggi tra le 22.30 e le 23.00 e prostrarli sino alle 2.00-3.00 della mattina successiva.



Figura 4 - Immagine di cervi durante il conteggio notturno con faro (Foto L. Pedrotti).

1.4.6 Censimento al Bramito

Proposto per la prima volta nel 1977 in Norvegia da Langvatn, questo metodo stima la consistenza delle popolazioni di Cervo in base al numero di maschi in bramito che si riesce a conteggiare. La teoria di base, con alcune modifiche, è stata ripresa successivamente in altri Paesi europei (Bobek *et al.*, 1986, Albaret *et al.*, 1989, Mazzarone *et al.*, 1989, 1991, Ciucci *et al.* 2009, Douhard *et al.*, 2013).

L'idea di fondo consiste nell'individuare, innanzitutto, la diversa composizione e struttura di popolazione, quindi, attraverso altre metodologie di conteggio, conoscere il rapporto che c'è tra i diversi sessi e le diverse classi di età nella popolazione che sarà sottoposta al censimento. Una volta a conoscenza della percentuale di maschi in bramito (dai 4 anni in su) si passerà al conteggio dei maschi che, durante il periodo degli amori (periodo del bramito), emettono le vocalizzazioni tipiche della specie. In base al numero di maschi ricavato dal censimento al bramito, è possibile ottenere una stima della dimensione della popolazione. Il passaggio dalla raccolta dati all'analisi finale è sempre un momento critico, in quanto va valutata con molta attenzione la percentuale di maschi adulti in bramito.

La tecnica di censimento al bramito prevede che gli operatori, debitamente istruiti, segnino su una scheda il numero di bramiti che ascoltano, indicando la direzione di provenienza della vocalizzazione e la distanza approssimativa secondo tre classi principali: vicino (si può sentire il rumore dei movimenti

dell'individuo in bramito), a media distanza (si possono distinguere tutti i suoi bramiti) e lontano (si perdono probabilmente alcuni bramiti).

In Italia, il metodo del censimento dei maschi in bramito, con le dovute modifiche, è entrato a far parte delle classiche tecniche di monitoraggio soprattutto in quelle zone caratterizzate da una elevata copertura forestale che comporta difficoltà per il conteggio diretto dei soggetti, come ad esempio le Foreste Casentinesi. Mazzarone *et al.* (1989, 1991) hanno quindi apportato dei cambiamenti all'idea iniziale di Langvatn, sviluppando una tecnica di triangolazioni acustiche che quantifichi il numero minimo certo di maschi adulti presenti nell'area.

Prima di iniziare le sessioni di censimento è opportuno definire, all'interno dell'areale riproduttivo, le aree di rilevamento e i punti d'ascolto, in modo tale da coprire con un'unica sessione tutti i quartieri riproduttivi della popolazione. Tali aree devono essere sufficientemente estese (ad esempio 20-30.000 ha/notte, nell'area del Casentino).

Al fine di ottenere le triangolazioni in fase di elaborazione, la zona coperta da un punto di ascolto deve sovrapporsi alle zone dei punti di ascolto adiacenti. In genere vengono collocati due operatori per ogni punto di ascolto, i quali provvederanno ad annotare per ciascun minuto, su apposite schede, i bramiti ascoltati e la direzione di provenienza. Ogni punto di ascolto è provvisto di un quadrante goniometrico orientato a nord e dotato di una freccia mobile. Questa strumentazione è indispensabile per valutare la

direzione di provenienza della vocalizzazione e quindi eseguire una corretta triangolazione in fase di analisi dei dati.

Il rilevamento sul campo è effettuato in contemporanea in tutti i punti d'ascolto, in genere di notte, per un periodo di tre ore continuative.

Requisito fondamentale per la corretta riuscita del censimento è che lo stesso venga effettuato durante le notti di picco del periodo di bramito. Per verificare ciò, occorre rilevare i bramiti sia prima che dopo il presunto picco: tali rilevamenti forniscono la fenologia del bramito in forma di indici. Analogamente, è importante valutare quali sono le ore notturne in cui si concentra il picco delle vocalizzazioni. Mazzarone *et al.* (1991), per le Foreste Casentinesi, hanno riscontrato che il picco della frequenza dei bramiti si colloca nell'ultima settimana di settembre nelle ore comprese tra le 21 e le 24 e tra le 3 e le 6. Bocci *et al.* (2012) indicano che l'attività di bramito mostra un picco 5-7 ore dopo il tramonto (studi effettuati nella zona delle Alpi Orientali)

Una volta terminata la fase di raccolta dati, e quindi le annotazioni dei bramiti, si passa alla fase di elaborazione. Innanzitutto si procede con la triangolazione che è effettuata attraverso software specifici a partire dalle coordinate dei punti di ascolto e dalle direzioni annotate. Tramite la triangolazione è possibile stabilire il numero e la posizione dei maschi in bramito registrati durante il censimento. Il numero dei maschi in bramito verrà inserito nella seguente formula per stimare la consistenza di popolazione:

$$N=(n^{\circ} \text{ maschi adulti censiti} / \% \text{ maschi adulti nella popolazione}) \times 100$$

Dove N è la consistenza totale stimata della popolazione. Utilizzando i dati di struttura ricavati dalle osservazioni dirette, possiamo suddividere N secondo le proporzioni delle varie classi sociali.

Dzieciolowski *et al.* (1996) hanno confrontato i dati (relativi ad un solo anno di campionamento) delle conte al bramito secondo il metodo di Mazzarone *et al.* (1989) con quelli derivanti dai conteggi in battuta nella foresta planiziale di Bialoweza trovando una buona corrispondenza tra i risultati delle due stime. In Sardegna il *pellet count* (Lovari *et al.*, 2007) ha fornito dati in sintonia con quelli ottenuti col conteggio dei maschi in bramito.

Ovviamente, come ogni metodologia, presenta i pro e i contro. I punti a favore sono che, comunque, durante il campionamento, viene rilevata una porzione di soggetti in un periodo particolare e da questa è possibile ricavare anche la composizione percentuale della popolazione.

I punti a svantaggio possono essere vari. La raccolta dati del censimento al bramito deve essere eseguita durante il periodo di picco dell'attività dei maschi, ma spesso a causa della stagionalità e delle tempistiche di censimento, l'attività di sondaggio non corrisponde con il picco massimo. Secondo uno studio fatto nell'Appennino settentrionale da Ciucci *et al.* nel 2009, le variazioni tra giorno e notte, le variazioni annuali, l'orografia del

territorio e le diverse condizioni atmosferiche possono influenzare in diversa misura le attività di stima della popolazione.

Le condizioni atmosferiche, per esempio, oltre a influire negativamente sulla ricezione o annotazione dei bramiti possono avere anche influenze negative sull'attività dei cervi maschi. Difatti abbassamenti improvvisi della temperatura e soprattutto forte vento tendono a rendere minori gli spostamenti dei gruppi femminili e quindi la mobilità dei maschi e le possibilità di interazioni, anche vocali, tra maschi adulti. Da ciò deriva che in tali condizioni climatiche diminuiscono nel complesso il numero dei maschi che bramiscono e il tasso di ripetizione dei bramiti (Langvatn, 1977, Mazzarone *et al.*, 2009).

Anche secondo altri autori (Langvatn, 1977; Clutton-Brock & Albon, 1979; Clutton-Brock *et al.*, 1982, 1997; Bowyer & Kitchen, 1987; Albaret *et al.*, 1989; Pépin *et al.*, 2001; Yoccoz *et al.*, 2002; Sánchez-Prieto *et al.*, 2004) la quota di cervi in bramito può essere influenzata da fattori ecologici, sociali ed antropici comportando così difficoltà nella stima di una popolazione di selvatici (Pépin *et al.*, 2001).

Un altro limite a questa tecnica è l'impossibilità di riconoscere e distinguere "a orecchio" il maschio in bramito e quindi la raccolta dati deve essere effettuata soltanto in una notte, con il rischio, comunque, di sovrastimare il numero di maschi adulti.

1.5 IL BRAMITO DEL CERVO

Durante la stagione riproduttiva, il maschio adulto di Cervo emette potenti vocalizzazioni definite “Bramiti”. La stagione degli amori, nei mesi di settembre e ottobre, è anche indicata come stagione del bramito. Le vocalizzazioni prodotte sono molto forti, prevedono un costo energetico notevole e in genere sono prodotte dal tramonto all'alba, anche se, durante i momenti di picco della stagione riproduttiva, possono essere emesse anche durante il dì.

I bramiti sono costituiti da sequenze di 1-11 emissioni (Reby & McComb, 2003b), con una media di 2 bramiti al minuto nell'arco di 24 ore (Clutton-Brock & Albon, 1979) fino a 8 bramiti al minuto, immediatamente prima dello scontro fisico con il rivale (Reby & McComb, 2003a).

Il bramito è connesso all'attività riproduttiva e ha funzione attrattiva nei confronti delle femmine e di minaccia nei confronti dei maschi di Cervo (Vannoni & McElligott, 2007).

La comunicazione inter-sessuale affidata al bramito, fornisce alle femmine di Cervo importanti informazioni sul caller. Da esperimenti condotti in playback da McComb (1991), sembra che le femmine siano attratte dai maschi che bramiscono con un alto tasso di ripetizione e che mostrino anche una preferenza verso il maschio che inizia la competizione vocale. Sempre attraverso esperimenti in playback, è stato dimostrato che le femmine sono in grado di distinguere il bramito del maschio detentore dell'harem da quello dei maschi confinanti (Reby, 1998; Reby *et al.*, 2001) avvalorando

precedenti risultati che dimostravano come il bramito del Cervo contenesse abbastanza canali acustici per identificare il caller. (McComb, 1988; Reby, 1998). Inoltre, il bramito stimola e anticipa l'ovulazione: in questo modo l'accoppiamento è anticipato e di conseguenza anche il parto, in modo che i cerbiatti affrontino il loro primo inverno più maturi (McComb, 1987). Il maschio, attraverso il bramito, riesce a difendere e a controllare la dispersione delle femmine appartenenti al proprio harem (Clutton-Brock & Albon, 1979; Clutton-Brock *et al.*, 1982; Bowyer & Kitchen, 1987)

Il bramito è un importante canale di comunicazione anche per i potenziali rivali. Il numero di bramiti è infatti associato alla taglia, alla possenza e al vigore fisico del caller (Boitani *et al.*, 2003). Durante la stagione del bramito, i maschi si sfidano a duello per diventare detentori di un harem, in tal modo viene garantito l'accesso alle femmine e la riproduzione. I duelli iniziano con una competizione vocale, portata avanti “a colpi” di bramito: in base al tasso di ripetizione delle emissioni e a determinate caratteristiche acustiche, gli sfidanti riescono a valutare la taglia e lo status gerarchico degli avversari. Se dalle valutazioni del bramito il rivale è affrontabile, i due maschi passano alla marcia parallela, una sorta di parata durante la quale i due sfidanti camminano affiancati così da valutare l'un l'altro le dimensioni fisiche dell'avversario. Questi due passaggi, competizione vocale e marcia parallela, hanno la finalità di evitare il più possibile lo scontro fisico che avverrà nel caso in cui i due maschi giudichino affrontabile l'avversario. Lo scontro fisico verrà risolto a colpi di palco, in alcuni casi potrà

anche essere fatale per uno dei due maschi.

La produzione di un alto tasso di ripetizioni sonore implica notevoli costi energetici per l'animale, sia come impiego di energie per produrre il bramito sia come tempo sottratto alla ricerca di cibo. Pertanto soltanto gli individui in buone condizioni fisiche e con un alto stato motivazionale possono permettersi i costi fisiologici di frequenti competizioni vocali (Reby & McComb, 2003a; Clutton-Brock & Albon, 1979).

Il bramito viene considerato un segnale onesto, in base al quale è possibile valutare la possenza e lo stato fisico dell'animale che lo emette. Un segnale onesto è il risultato di caratteristiche proprie di chi le possiede e non è imitabile, quindi soltanto chi effettivamente ha le qualità giuste può produrre determinate vocalizzazioni. Evolutivamente il bramito, in quanto segnale onesto, è stato selezionati proprio per comprendere subito la forza del rivale ed evitare quindi scontri nei quali la probabilità di successo è molto bassa.

1.5.1 La Teoria Sorgente-Filtro

La spiegazione della produzione dei segnali acustici è stata affrontata nel 1960 da Gunnar Fant a cui si deve la formulazione della Teoria Sorgente-Filtro o Teoria acustica della produzione del suono. La teoria sorgente-filtro, inizialmente formulata da Fant per la voce umana, è stata generalizzata allo studio delle vocalizzazioni

di altri mammiferi, tra cui il cervo (Reby & McComb, 2003b).

Fant interpreta il segnale acustico come combinazione lineare di una sorgente di energia e di una struttura di filtraggio. Tra i segnali acustici includiamo, quindi, anche i richiami sonori emessi dai mammiferi, che sono il risultato di un suono originato nella laringe (precisamente attraverso la vibrazione delle corde vocali) e successivamente modificato dalle strutture sopralaringee, durante il passaggio verso l'esterno. Quindi abbiamo la laringe, che corrisponde alla sorgente, e il tratto vocale, che funge da filtro.

Nella produzione di un suono, l'entità della vibrazione delle corde vocali determina la FREQUENZA FONDAMENTALE F_0 (misurata in Hertz, Hz); il movimento vibratorio dell'apparato vocalico genera inoltre frequenze che sono multipli interi della Frequenza Fondamentale e vengono definite armoniche. L'onda vibratoria è quindi soggetta agli effetti di risonanza ed antirisonanza esercitati dai tessuti e dalle cavità situate al di sopra della laringe.

Con il termine di FORMANTI si fa riferimento alle frequenze prodotte dalle risonanze nel tratto vocalico, cioè alla concentrazione di energia acustica in corrispondenza di particolari frequenze. Nell'uomo le cavità sopralaringee coinvolte nel processo di filtraggio sono la cavità nasale, la faringe e la cavità orale. È possibile produrre suoni differenti da segnali in origine identici grazie ai movimenti di lingua, mandibola e labbra (elementi articolatori) che modificano la forma e gli effetti di risonanza di faringe e cavità orale.

La Teoria dimostra l'indipendenza tra le vibrazioni delle

corde vocali e le risonanze del tratto vocale (Fitch & Hauser, 2003), da ciò si deduce che la Frequenza Fondamentale e le Formanti seguono un andamento diverso nel corso dell'emissione sonora.

1.5.2 L'abbassamento della laringe nel Cervo

Si è sempre pensato alla laringe discendente come ad una caratteristica prettamente umana, come un fattore in grado di distinguere gli umani dagli altri mammiferi, nei quali la laringe rimane sul fondo della cavità orale. Ciò, secondo alcuni autori, è stato alla base dell'elaborazione del linguaggio articolato (Lieberman *et al.*, 1969; Fitch, 2000).

Fitch e Reby (2001) analizzando filmati di maschi in bramito di Cervo e Daino (*Dama dama*) hanno documentato che la caratteristica della laringe discendente è presente anche in queste due specie di Ungulati. Dalla comparazione tra i video e le registrazioni acustiche, i due autori hanno ricavato la stretta correlazione esistente tra l'allungamento fisico della laringe (quasi fino al petto) e i bassi valori di frequenza raggiunti dalle Formanti, proprio nell'istante di massima elongazione del tratto vocalico. Con l'abbassamento della laringe, come suggerito dalla Teoria Sorgente-Filtro, aumenta lo spazio disponibile da utilizzare come filtro per modificare il suono prodotto dalla sorgente. Le componenti acustiche prodotte dal filtro sono le Formanti che diventano dei canali positivamente correlati alla dimensione del tratto vocalico e,

di conseguenza, alla taglia corporea.

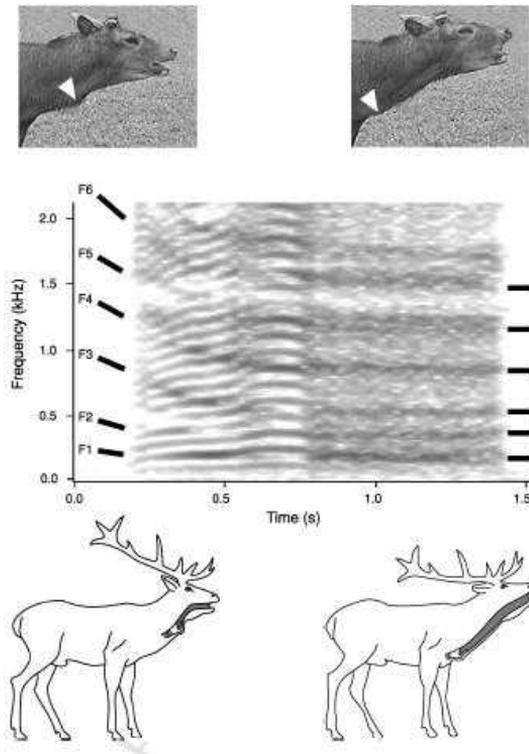


Figura 5 - L'abbassamento della laringe nel Cervo nel corso della vocalizzazione (da Reby e McComb, 2003a). Con le sigle F1,...F6 sono indicate le Formanti nello spettrogramma.

1.5.3 Le frequenze prodotte dalla Sorgente e dal Filtro: la Fondamentale e le Formanti

Secondo la Teoria Sorgente-Filtro (Fant, 1960) i fattori coinvolti nella produzione del suono nei mammiferi sono la laringe

e il tratto vocale, cioè le cavità oro-rino-faringee. Per la produzione dei suoni vocalici la sorgente è costituita dalle corde vocali, mentre il filtro è riferito alle strutture sovraglottiche (faringe, cavità orale, guance, cavità nasale...). La vibrazione delle corde vocali e la risonanza nel tratto vocale non sono dipendenti e possono variare indipendentemente (Fitch & Hauser, 2003). In base a questa teoria, il suono che percepiamo è un insieme di più elementi, alcuni prodotti dalla sorgente e altri modulati dal filtro. La sorgente produce la Frequenza Fondamentale, F_0 , mentre il filtro produce le Formanti, F_1, \dots, F_n .

La Frequenza Fondamentale è la più bassa frequenza nei roari e le basse frequenze possono essere trasmesse senza alterazioni per lunghe distanze (Garstang *et al.*, 1995). Non a caso l'utilizzo di basse frequenze e di infrasuoni è la modalità di comunicazione scelta dai grandi mammiferi marini come le Megattere. La Frequenza Fondamentale, come dimostrato da Reby & McComb (2003a), non è correlata con l'età dell'animale e non porta nemmeno informazioni sul peso o sullo stato di benessere dell'individuo. In passato, sono stati affrontati studi basati sull'assunto che all'aumentare della taglia dovrebbe aumentare anche la lunghezza delle corde vocali, vincolando così il range della Frequenza Fondamentale. (Hauser 1993, Masataka 1994) e che in particolare gli animali di dimensioni maggiori producessero vocalizzazioni di tono più grave. In realtà, a causa della loro natura di tessuto molle, le corde vocali non sono vincolate rigidamente nella loro crescita alla taglia di un individuo. Di conseguenza la Frequenza Fondamentale non è un indicatore

attendibile della taglia corporea (Taylor & Reby 2009). A conferma di ciò è stato confrontato il peso corporeo e la Frequenza Fondamentale media dei bramiti in due sottospecie di Cervo Nobile: il Cervo Scozzese e il Cervo Sardo. Mentre il primo, che ha una taglia intorno ai 200 kg, produce bramiti con una F0 media di 112 Hz, il secondo, che pesa circa 80 kg, ha una F0 media di 34 Hz, quindi notevolmente più bassa (Taylor & Reby, 2009).

Possiamo quindi affermare che la F0 è svincolata da fattori annuali, quali appunto il peso, mentre invece è determinata dalle caratteristiche fisico-anatomiche proprie dell'animale, non modificabili e quindi stabili nel tempo.

Le Formanti, risultato del passaggio dell'aria attraverso il tratto vocale (il filtro), risentono dello stato fisico e motivazionale dell'emettitore e caratterizzano tutti i tipi di roar. Poiché il tratto vocale non può svilupparsi indipendentemente dal resto del corpo, essendo la sua crescita vincolata anatomicamente dalle strutture scheletriche, la sua lunghezza dipende direttamente dalla taglia corporea ed è correlata con la dimensione del cranio (Fitch 1997). Ciò significa che, a differenza della F0, le frequenze delle Formanti forniscono un'informazione veritiera sulla taglia corporea dell'animale, sul peso e sull'età del caller (Reby & McComb, 2003a)

Inoltre, i maschi adulti di Cervo sono capaci di modificare le frequenze delle proprie Formanti in relazione a quelle del rivale, poiché tendono a bramire con il tratto vocale più esteso (descended larynx) quando si “scontrano” con rivali più minacciosi (Reby *et al.*, 2005)

E' stato dimostrato che le cervie femmine di allevamento preferiscono i bramiti in cui i valori più bassi delle Formanti indicano animali di taglia maggiore (Charlton *et al.*, 2007), poiché questi presumibilmente sono più robusti e vigorosi. In un esperimento di Charlton *et al.* (2008) le femmine hanno mostrato maggiore attenzione per i bramiti di maschi di taglia sub-adulta rispetto a quelli di maschi adulti. L'ipotesi avanzata in questo caso è che le femmine utilizzino le Formanti per individuare precocemente ed evitare i giovani subadulti, che sono per loro fonte di minaccia e di disturbo

1.5.4 Un solo Bramito, diversi tipi di roar

Con il termine Bramito indichiamo qualsiasi emissione sonora prodotta dai maschi di Cervo, adulti e sub-adulti, durante il periodo riproduttivo. In realtà le manifestazioni vocali possono essere di diverso tipo, diversa durata, diversa composizione acustica e sono utilizzate in determinati contesti e con differenti finalità.

Tutta la sequenza sonora viene indicata con il termine “bout” e ogni bout può essere composto da una o più emissioni sonore. Ogni singola emissione sonora viene denominata roar. I roar possono essere di vario tipo in quanto hanno finalità diverse.

I Common roar sono vocalizzazioni armoniche nelle quali è ben visibile il profilo della Frequenza Fondamentale F0, chiamato pitch, e delle armoniche, che sono multipli della F0 e vengono

visualizzate come linee curve parallele. Nello spettrogramma, le Formanti sono rappresentate da bande scure con un andamento opposto a quello delle armoniche.

Generalmente, i Common roar sono composti da tre fasi distinte che rispecchiano i cambiamenti nel tratto vocale e nella vibrazione delle corde vocali.

Nella prima fase del roar la frequenza della F0 aumenta, rispecchiando un aumento della vibrazione della cavità vocale. Allo stesso tempo, il cervo allunga il tratto vocale, abbassando la laringe e portando in alto il capo: da questo deriva un crollo nelle frequenze delle Formanti. Nella seconda fase, il collo e il tratto vocale del maschio rimangono estesi, di conseguenza le Formanti raggiungono il valore più basso mentre la Fondamentale si assesta sul valore più alto, raggiungendo un plateau. Nell'ultima fase si ha un ritorno della laringe nella posizione iniziale e una diminuzione nelle vibrazioni del tratto vocale, questi cambiamenti fanno crollare i valori della F0 e aumentare le frequenze delle Formanti. (Fitch & Reby, 2001). Notiamo quindi il diverso andamento della Fondamentale e delle Formanti e il loro comportamento indipendente a sostegno della Teoria Sorgente-Filtro.

Nelle nostre analisi acustiche abbiamo individuato una tipologia di roar definita Common “Bocca Aperta”: è il risultato di una vocalizzazione sulla scia delle precedenti, senza che l'animale investa un particolare sforzo per produrla poiché rimane con la bocca aperta dalla fine del roar precedente. Pur essendo di tipologia Common, il Common “Bocca Aperta” presenta una scarsa

modulazione di Frequenza.

Alcune volte un Common roar può presentare un segmento caotico, definito “Harsh”. I roar Common/Harsh sono delle vocalizzazioni con una doppia struttura: partono con la tipologia Common (presenza di F0 e di armoniche) per poi subire una modifica nella seconda parte e quindi terminare come Harsh. Sono quindi Common che presentano segmenti caratterizzati da fenomeni non-lineari (subarmoniche e deterministic chaos), tipici dei roar Harsh.

Un caso particolare è rappresentato dai roar totalmente Harsh. Sono vocalizzazioni caotiche, non armoniche, spesso non è possibile individuare la Fondamentale. Al contrario, sono ben visibili le Formanti che non hanno un andamento discendente, come nei Common roar, ma si mantengono in piano, riflettendo la posizione statica assunta dal maschio. Durante l'emissione degli Harsh roar, il maschio estende totalmente il collo e abbassa la laringe fino al limite anatomico. Comparando le intensità (in dB) dei Common e degli Harsh roar (registrati con le stesse condizioni), notiamo che i secondi raggiungono valori più alti dei primi. Questi tipi di roar vengono eseguiti durante un intenso scontro vocale fatto di Common roar, sono indicativi di un livello di alta motivazione e sono utilizzati per richiamare l'attenzione del rivale durante ripetute sessioni di bramito, quando c'è il rischio che il rivale si sia assuefatto e non presti più attenzione (Reby & McComb, 2003b). Un fenomeno del genere è riportato nel marketing con il termine “effetto Aiazzone”, quando, cioè, il pubblico viene bombardato da

talmente tanta pubblicità relativa ad un prodotto che la stessa perde di efficacia e ottiene l'effetto contrario. Per ovviare a questo problema, quindi, i maschi di Cervo inseriscono all'interno delle competizioni acustiche uno o più roar caotici, per provocare un effetto di disturbo e rompere la routine sonora.

Un altro tipo di emissione è denominato Grunt roar. I Grunt hanno una struttura caotica, sono prodotti in serie veloci e sono di breve durata (media=0,018s; SD=0,08). Sono composti da 3 a 10 emissioni e in genere terminano con un Harsh roar. La loro funzione potrebbe essere quella di attirare l'attenzione sui successivi Harsh roar (Favaretto *et al.*, 2006).

L'ultima tipologia di roar è denominata Tosse. È una vocalizzazione più breve del Grunt, in media dura 0,076s (SD=0,032) ed è ripetuta da 3 a 6 volte. Ha sempre struttura caotica e viene utilizzato quando il maschio insegue un rivale o quando necessita di raggruppare le femmine (Favaretto *et al.*, 2006).

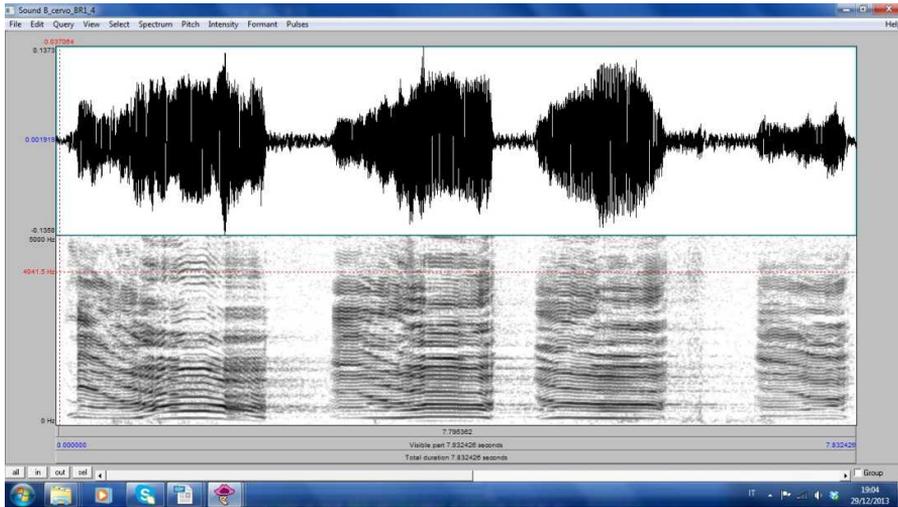


Figura 6 - Spettro d'onda (in alto) e spettrogramma (in basso) di un bout composto da 4 Common roar. Le linee parallele, ben definite e con andamento ondulatorio sono le armoniche, le fasce scure, con andamento discendente, sono le Formanti. Nel primo roar tra le armoniche in fase di plateau si notano le tracce delle subarmoniche, che indicano una vibrazione caotica del tratto vocale.

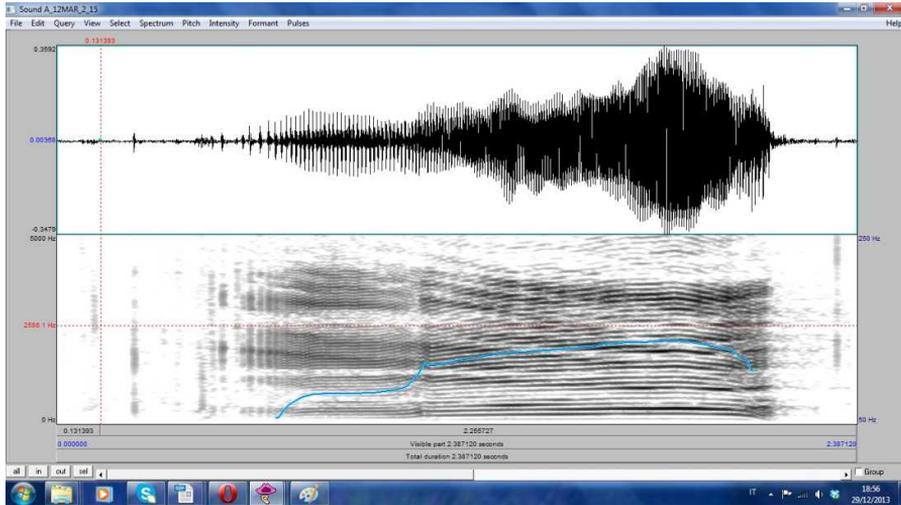


Figura 7 - Spettro d'onda (in alto) e spettrogramma (in basso) di un bout composto da un singolo Common roar. La traccia blu indica il profilo (pitch) della Frequenza Fondamentale F_0 , rappresentato in una scala diversa rispetto al roar.

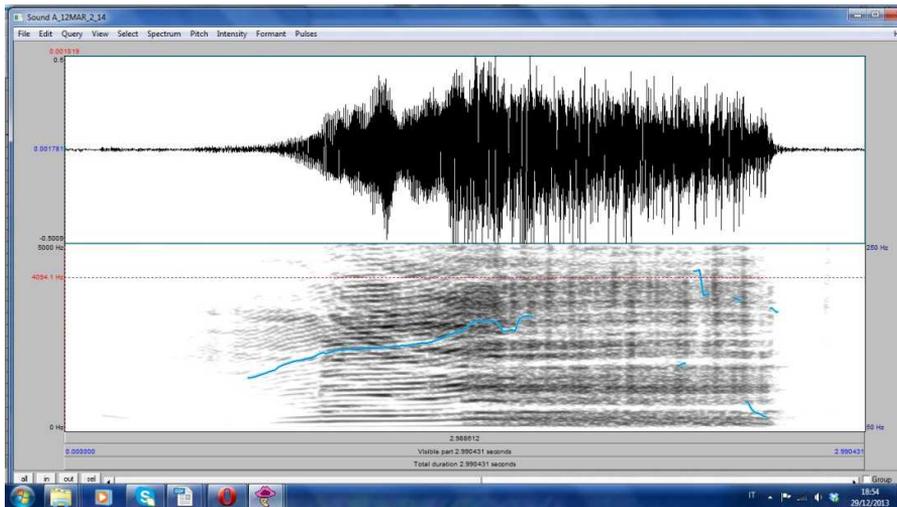


Figura 8 - Spettro d'onda (in alto) e spettrogramma (in basso) di un bout composto da un singolo roar Common/Harsh. Si noti la presenza delle armoniche e del pitch nella prima metà dello spettrogramma, mentre la seconda metà è caratterizzata da una struttura Harsh, caotica, quindi priva delle armoniche e di un pitch lineare. Le Formanti, rappresentate da bande scure, sono discendenti nella sezione armonica e in piano nella sezione caotica.

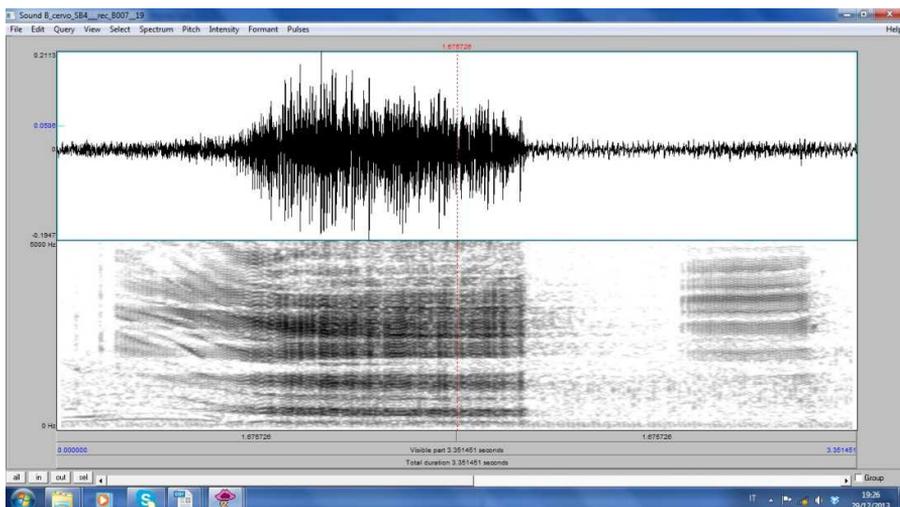


Figura 9 - Spettro d'onda (in alto) e spettrogramma (in basso) di un bout composto da due Harsh roar. Da notare l'assenza di strutture armoniche.

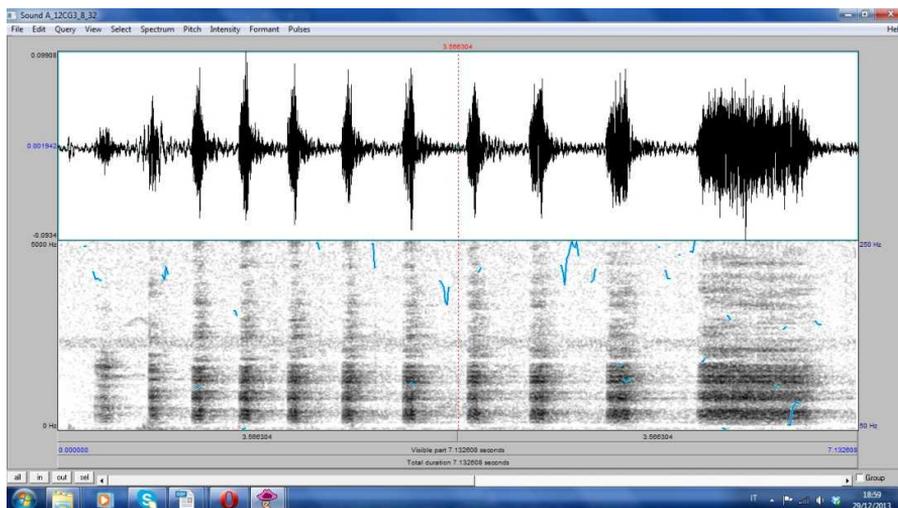


Figura 10 - Spettro d'onda (in alto) e spettrogramma (in basso) di una sequenza di 10 Grunt roar terminante con un Harsh roar.

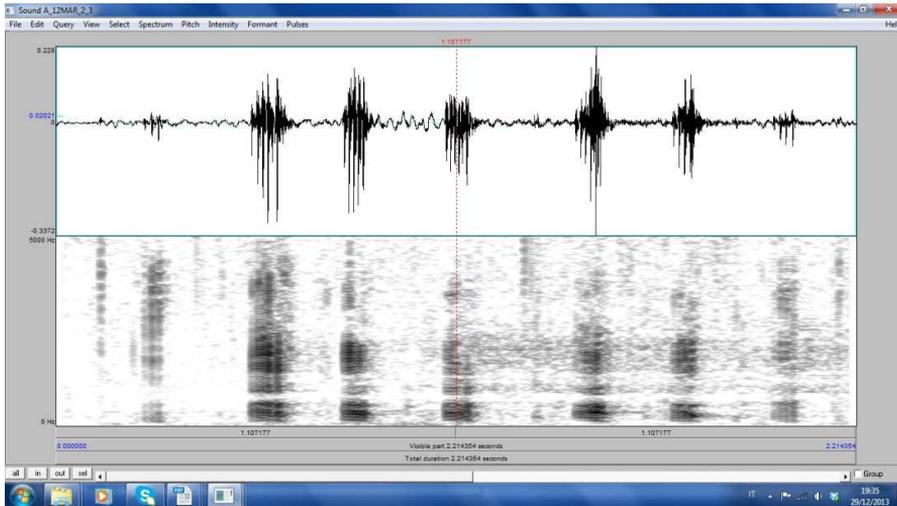


Figura 11 - Spettro d'onda (in alto) e spettrogramma (in basso) di una sequenza di 6 Tossi.

CAPITOLO II

MATERIALI E METODI

2.1 AREA DI STUDIO

Per la raccolta dati della ricerca è stata scelta una zona geograficamente omogenea. La zona idonea, pertanto, è risultata essere la catena nord-appenninica situata tra le province di Firenze, Bologna, Prato (Appennino Tosco-Emiliano).

L'Appennino Tosco Emiliano è caratterizzato da un paesaggio vegetale relativamente omogeneo. Le aree di crinale sono prevalentemente interessate dalla presenza di praterie, spesso con ericacee, come i mirtili. I boschi delle quote maggiori, tra i 1800 e i 900 metri, sono faggete e si presentano in formazioni pure.

Al di sotto dei 900 metri di quota, gli originari boschi di quercia (soprattutto cerro e roverella accompagnati dal carpino) sono stati in gran parte sostituiti dal castagneto da frutto. In molte zone l'abbandono colturale sta facendo regredire il castagneto, spesso trasformato in bosco ceduo (cioè un bosco con piante dotate di più fusti e tagliate con una certa regolarità) e in boschi spontaneizzati in cui tornano le specie originarie. Di grande interesse per la particolare composizione floristica e per il ruolo che occupano, sono le praterie e i pascoli alle quote minori, in prossimità degli alpeggi e degli abitati. Le praterie e i pascoli intrasilvatici sono l'habitat in cui incontrare greggi di pecore ma anche numerosi ungulati selvatici.



Figura 12 - Paesaggio Appenninico del Parco dei Laghi di Suviana e di Brasimone, Bologna (Foto C. Trunfio).

2.2 SCELTA DEI SITI DOVE EFFETTUARE LE REGISTRAZIONI: IN ALLEVAMENTI E ALLO STATO NATURALE

I soggetti della nostra ricerca sono sia animali di allevamento che animali allo stato libero.

La scelta iniziale di registrare animali provenienti da allevamenti è stata dettata dalla necessità di identificare, con assoluta certezza, il maschio emettitore del bramito (caller) ed evitare attribuzioni errate dei bramiti ad altri animali. Per motivi legati alla disponibilità di femmine, all'abbondanza di cibo e alla

situazione di cattività, i maschi di Cervo in allevamento bramiscono anche durante il giorno (situazione poco frequente allo stato selvatico, vedi Pepin *et al.* 2001, Loe *et al.* 2005). Le registrazioni sono state effettuate nel tardo pomeriggio, fino a quando c'era luce sufficiente per distinguere il maschio emettitore. In tal modo è stato possibile registrare gli animali con la luce naturale e quindi abbiamo avuto la certezza dell'individualità dell'emettitore. Inoltre, registrando durante il giorno, è stato possibile annotare diversi fattori quali la composizione del branco e la presenza di altri maschi competitori.

I criteri di selezione e scelta degli allevamenti riguardano la localizzazione degli allevamenti nel territorio dell'Appennino settentrionale, la presenza di maschi adulti sessualmente riproduttivi, la struttura delle recinzioni, la presenza di punti di osservazione e quindi di punti adatti alla recezione sonora e alla registrazione, la disponibilità degli allevatori, o dei proprietari delle aziende, a collaborare alla nostra ricerca.

Gli allevamenti selezionati, dopo accurate indagini e sopralluoghi, sono stati:

- 3 Aziende Faunistico Venatorie: San Benedetto Val di Sambro (BO), Panna (FI), “il Passeggere”, Bruscoli (Firenze),
- 3 allevamenti a scopo ornamentale: Galliano (FI), “Il Cerro Alto”, Arezzo, “I Cancelli”, Marradi (FI)
- 1 Parco Faunistico “Galceci”, Prato.

La raccolta dati è stata effettuata durante tre stagioni di bramito (2010, 2011, 2012) nel momento in cui, all'interno della stagione stessa, i maschi raggiungono il picco di emissione dei bramiti. La stagione del bramito dura circa un mese, da metà settembre a metà ottobre e, nei nostri campionamenti, abbiamo riscontrato un ritardo nell'inizio e nel culmine delle vocalizzazioni per quanto riguarda gli animali di allevamento. Anche la durata dell'intera stagione di bramito sembra essere più corta per gli animali allevati. Questo è dovuto probabilmente alla mancanza di una forte competizione con altri maschi e alla presenza costante e assicurata di foraggiamento.

Le sessioni di registrazione si sono protratte per più giorni, fino ad avere un numero sufficiente di bramiti per giornata di registrazione. Nel caso della presenza di più animali in bramito, come per l'allevamento di San Benedetto Val di Sambro, per evitare di attribuire ad un animale vocalizzazioni di altri maschi, è stato scelto di analizzare le registrazioni relative ad un solo giorno di campionamento, quello cioè che presentava un maggior numero di bramiti e una maggiore variabilità di animali. Sono stati comunque eliminati i bramiti di dubbia appartenenza. Per animali singoli, come ad es. l'unico maschio in bramito presente all'interno del Parco di Galceti, sono state utilizzate registrazioni di più giorni essendo sicuri dell'identità del caller .

In un primo momento, era stato deciso di registrare per più anni consecutivi soltanto animali allevati per ottenere variabili portatrici di individualità per poi, negli anni successivi, verificare i

risultati ottenuti in ambiente naturale. Per motivi legati all'impossibilità dell'identificazione da un anno all'altro dei maschi allevati (essendo la maggior parte di questi sprovvisti di tag auricolare o di caratteristiche distintive), è stato deciso di raccogliere la maggior parte delle registrazioni possibili, sia in allevamento che in natura, e di analizzarle insieme per aumentare il campione a disposizione.

Oltre alle registrazioni in ambienti confinati, è stato quindi deciso di campionare anche animali selvatici durante le sessioni ufficiali di censimento al bramito (le ultime due settimane di settembre 2012) in località:

- Cerreto (PO)
- Cascina di Spedaletto (PO)
- Cantagallo (PO)
- Poranceto (BO)
- Panna (FI)
- Vicchio(FI)

Anche per le registrazioni in natura abbiamo adottato lo stesso sistema e cioè quello di analizzare i bramiti di attribuzione certa, scartando le vocalizzazioni sovrapposte e di dubbia appartenenza, come quelle registrate nelle arene di bramito con la presenza di più di 3 callers.

Per le analisi acustiche sono state utilizzate le registrazioni di 21 animali (12 Allevati e 9 Selvatici) per un totale di 444 bramiti (1017 vocalizzazioni suddivise nelle varie tipologie).



Figure 13 e 14 – Allevamento di cervi in San Benedetto Val di Sambro, Bologna (Foto C. Trunfio).

2.3 LA STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata consiste in un registratore portatile collegato ad un microfono e ad una scheda da compilare per ogni animale registrato.

2.3.1 Il registratore

Per la nostra ricerca è stato utilizzato un registratore Marantz PMD 620. Portatile e digitale, è facilmente utilizzabile in campo per le ridotte dimensioni e l'alimentazione a pile ricaricabili. Inoltre è dotato di una scheda di memoria SDHC card da 4 Gb in grado di garantire circa 3 ore e 45 min. di registrazione. Una volta effettuate le registrazioni, tramite la scheda SDHC è possibile trasferire i dati direttamente sul computer.



Figura 15 - Registratore Marantz PMD 620

Abbiamo scelto di registrare in formato audio non compresso (.WAV) poiché le compressioni (come ad es. mp3, Atrac o minidisk) si basano su modelli percettivi dell'uomo e rischiano di eliminare elementi importanti per l'analisi. La frequenza di campionamento scelta (cioè il numero di volte in cui viene campionato l'audio al secondo) è stata di 44.1 kHz. Attraverso questa frequenza di campionamento abbiamo eliminato i fenomeni di aliasing, poiché la frequenza di campionamento risulta essere almeno il doppio della più alta frequenza emessa, in base al teorema di Niqvist.

La risoluzione scelta è stata di 24 bit. I bit servono per descrivere un istante di suono convertendolo da pressione a sequenza di numero. La risoluzione di 24 bit restituisce 16.777.216 valori.

La scelta di registrare in modalità mono ha permesso di mantenere inalterata la qualità del suono, proveniente appunto da una sorgente monofonica, e, allo stesso tempo, di prolungare la durate delle registrazioni possibili.

Inoltre, abbiamo attivato l'opzione "Low Cut" che attua un taglio delle bassissime frequenze, questo per evitare interferenza quali vento o disturbi ambientali durante le registrazioni. Tra le opzioni disattivate vi è la "Silent Skip" che permette al registratore di andare in stand by durante le pause di registrazione: ciò avrebbe comportato la perdita di alcune caratteristiche importanti legate proprio agli istanti iniziali del bramito.

– Input	MIC
– Rec Format	PCM-24
– Rec channel	Mono
– Sample Rate	44.1 kHz
– Level Cont.	Manual
– Level LED	-12 dB
– Manual Track	OFF
– Auto Track	OFF
– Silent Skip	OFF
– Mic Atten.	0 dB
– Low Cut	ON
– Mic Power	OFF
– Input jack	Stereo
– Skip Back	3 sec
– Key Lock	Partial
– Battery	Ni-MH
– Auto powerOff	ON
– SP Mute	OFF
– Machine ID	A

Tabella 1 - Schema delle impostazioni relative al registratore utilizzato (da M. Chiti).

2.3.2 Il microfono

Abbinato al registratore Marantz, abbiamo utilizzato un microfono *Sennheiser ME 67*, provvisto di connettore XLR, corpo alimentatore e capsula microfonica ultradirezionale. La capsula ultradirezionale permette di registrare anche a notevole distanza e

allo stesso tempo, data la sua forma a fucile, registra in maniera più esclusiva la sorgente sonora puntata. I suoni provenienti lateralmente, poiché subiscono dei ritardi, non entrano in fase e quindi non vengono captati e registrati.

Per attenuare i rumori di sottofondo è stata utilizzata una protezione in gommapiuma nera, spessa 1 cm. Attraverso questa protezione è possibile eliminare i rumori di fondo e soprattutto il fruscio causato dal vento.



Figura 16 - Microfono Sennheiser ME 67 utilizzato in postazione fissa (Foto C. Trunfio).



Figura 17 – Utilizzo degli strumenti di registrazione da altana di avvistamento (Foto A. Sanna).

2.3.3 Le schede

Durante le sessioni di registrazione sono state compilate delle schede relative a ciascun animale in bramito. In queste schede sono stati riportati innanzitutto i dati relativi alla registrazione (data, luogo, orario, operatore, distanza dall'animale, numero del file audio).

Altri fattori molto importanti e che quindi sono stati annotati, riguardano le condizioni meteorologiche. È risaputo, infatti, che gli agenti atmosferici, in particolar modo le precipitazioni, influiscono sull'attività di bramito: i Cervi maschi bramiscono di più e più a lungo durante le giornate meno umide (Langvatn, 1977). Le condizioni meteorologiche sono state valutate seguendo delle scale di intensità.

Molto importanti sono i dati relativi alla composizione del branco e alla vicinanza di altri maschi satellite che influiscono sul tasso e sulla tipologia di bramito.

REGISTRAZIONI BRAMITO 2010

DATA _____

ORA (solare) _____

OPERATORE _____

AZIENDA _____

LUOGO (gps) _____

ANGOLO _____

DISTANZA (stimata) _____

DURATA _____

CONDIZIONI METEOROLOGICHE

SOLE/LUNA

0	1	2	3
---	---	---	---

VENTO

0	1	2
---	---	---

PRECIPITAZIONI

0	1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---	---

NUVOLOSITA'

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

VISIBILITA'

0	1	2
---	---	---

TERRENO

0	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---

T°C _____

UMIDITA' _____

INDIVIDUI PRESENTI NEL RAGGIO DI 50 m:

TOT	IND	K	♀S	♀A	♀V	♀IND	♂F	♂G	♂A	♂V	♂IND
<input type="checkbox"/>											

NOTE

ORA _____

TOT	IND	K	♀S	♀A	♀V	♀IND	♂F	♂G	♂A	♂V	♂IND
<input type="checkbox"/>											

ORA _____

TOT	IND	K	♀S	♀A	♀V	♀IND	♂F	♂G	♂A	♂V	♂IND
<input type="checkbox"/>											

Figura 18 - Esempio di scheda utilizzata durante le sessioni di registrazione degli animali in allevamento e di quelli allo stato libero.

2.4 PROGRAMMI DI EDITING E DI ANALISI ACUSTICA

Dopo ogni sessione di registrazione abbiamo provveduto a salvare sul computer le registrazioni effettuate, composte da uno o più file.

Una volta terminata la stagione del bramito, sono stati analizzati i suoni registrati. Come già detto sono stati scartati i bramiti di attribuzione incerta, quelli disturbati da altri suoni (aerei, vento,...) e quelli troppo lontani. Ogni registrazione è stata etichettata con una sigla per indicare l'anno di registrazione, l'animale, il luogo di registrazione e il registratore utilizzato.

Tramite il software Adobe Audition, (Adobe ®), che permette operazioni di editing, abbiamo visualizzato ogni registrazione sia sottoforma di spettro d'onda che di spettrogramma nel dominio del tempo e ciò ha avvantaggiato le successive operazioni. Da ogni file abbiamo “tagliato” i bramiti adatti: questa operazione si indica con il termine labelling. Attraverso il labelling abbiamo ottenuto da un unico file, che presentava momenti di disturbo o di silenzio degli animali, tanti singoli frammenti, ognuno dei quali è la registrazione di un singolo bramito.

Contemporaneamente è stata compilata una scheda con le caratteristiche principali per ogni nuovo file. In questa scheda (in formato elettronico) sono stati annotati i minuti di inizio e fine del file (così da ritrovarlo nella registrazione originaria) e i caratteri particolari relativi alla registrazione (note).

In seguito i nuovi files sono stati analizzati con il

programma Avisoft Sas Lab pro (Avisoft ®). I parametri utilizzati per la visualizzazione e l'analisi sonora sono i seguenti: FFT 1024, frequenza di risoluzione = 86Hz, intervallo di campionamento = 1.4 ms. Tramite questo programma è possibile visualizzare i bramiti come spettrogrammi ed è possibile, tramite alcune funzioni, determinare i parametri acustici che si intende analizzare. Purtroppo, a ricerca quasi conclusa, abbiamo riscontrato un problema nella misurazione di alcuni parametri. Non avendo trovato in letteratura una soluzione a questo inconveniente, abbiamo deciso di cambiare programma e quindi di utilizzare il programma di analisi acustica PRAAT (P. Boersma e D. Weenink, University of Amsterdam, The Netherlands, www.praat.org). Entrambi i programmi, Avisoft e PRAAT, sono ugualmente utilizzati in letteratura per le analisi acustiche, anche se PRAAT è scaricabile gratuitamente dalla rete ed è possibile fare uso di script per delle analisi approfondite.

Le impostazioni utilizzate per le analisi spetbro-temporali con PRAAT sono state le seguenti: window length = 0,04s, frequency step = 250, method = Fourier, windows = Hanning, pitch range = 50-250 Hz.

Per le variabili temporali abbiamo considerato tre durate. Ogni bramito (bout) è composto da uno o più roar (singola vocalizzazione), questi roar possono essere di tipologia diversa. Le durate misurate riguardano l'intera sequenza (bout), le singole vocalizzazioni (roar), l'intervallo tra l'inizio di un roar e l'inizio del successivo.

Attraverso il comando “Show Pitch” del programma PRAAT, siamo stati in grado di visualizzare il profilo della Frequenza Fondamentale e quindi di estrapolare i dati di nostro interesse.

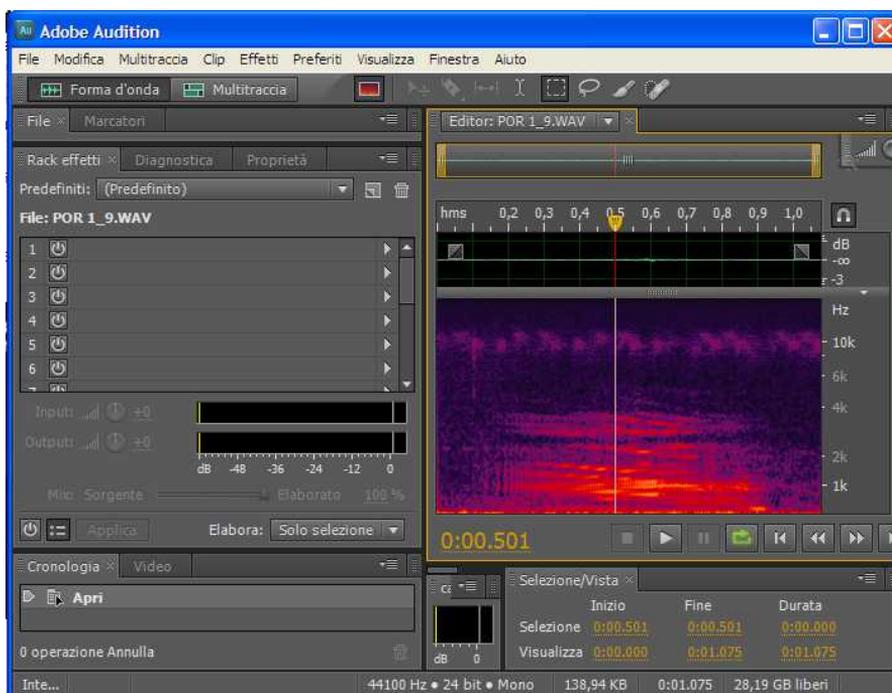


Figura 19 - Interfaccia del software Adobe Audition, (Adobe ®). I diversi colori (dal viola al rosso-arancione) indicano le diverse intensità del suono.

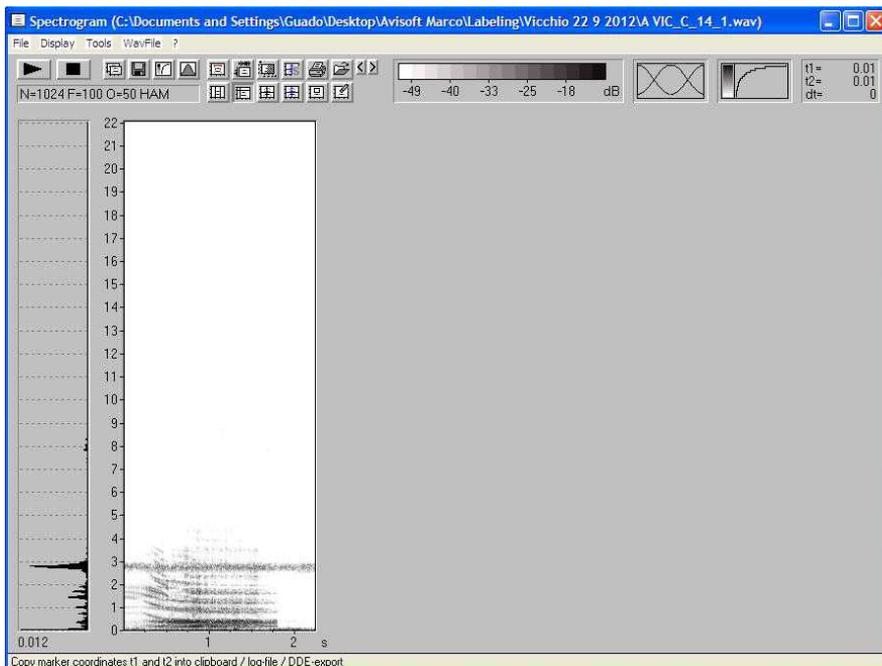


Figura 20 - Interfaccia del software Avisoft Sas Lab pro (Avisoft®). Sulla destra lo spettrogramma del roar, sulla sinistra la frequenza (asse y) in funzione dell'intensità (asse x) nell'istante individuato dal cursore

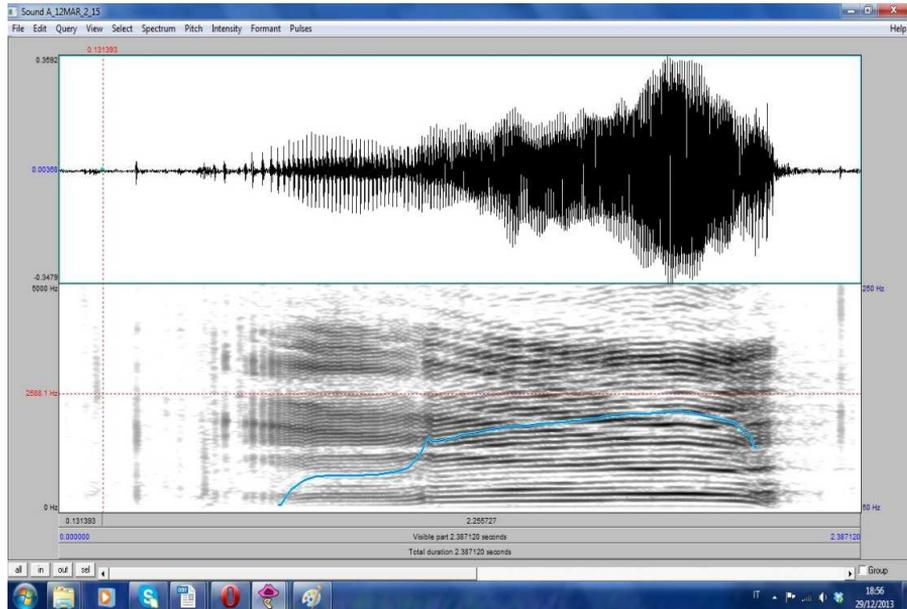


Figura 21 - Interfaccia del software PRAAT. In alto lo spettro d'onda, in basso lo spettrogramma del roar dove si possono individuare facilmente le armoniche e, di colore blu, il profilo della Frequenza Fondamentale (pitch). Il pitch è sovrapposto allo spettrogramma e ha una scala diversa in quanto il limite dello spettrogramma è di 5000Hz, mentre il pitch raggiunge i 250Hz.

2.5 VARIABILI SPETTRO-TEMPORALI ANALIZZATE

Per le nostre analisi acustiche abbiamo scelto di utilizzare soltanto parametri spettrali relativi alla Frequenza Fondamentale F0, evitando le frequenze delle Formanti.

La Fondamentale, come dimostrato da Reby & McComb (2003a), non è correlata con l'età dell'animale e non porta informazioni sul peso o sullo stato di benessere dell'individuo, quindi è svincolata da caratteristiche annuali e modificabili.

Le variabili da noi considerate sono riportate in tabella 2.

Sigla della variabile	Descrizione
Dtbout	Durata di tutto il bout, dall'inizio del primo roar alla fine dell'ultimo (s)
Dtroar	Durata di un singolo roar (s)
Dist	Intervallo tra l'inizio di un roar e l'inizio del successivo (s)
F0i	Frequenza fondamentale -F0- misurata nell'istante iniziale per ogni roar (Hz)
F0f	Frequenza fondamentale -F0- misurata nell'istante finale per ogni roar (Hz)
F0min	Valore minimo della frequenza fondamentale per ogni roar (Hz)
F0MAX	Valore massimo della frequenza fondamentale per ogni roar (Hz)
F0mean	Valore medio della frequenza fondamentale per ogni roar (Hz)
Range/DTROAR	Rapporto tra il Range (differenza tra F0MAX – F0min) e la durata totale del roar (Hz/s)
Srmin/DTROAR	Rapporto tra il tempo impiegato per raggiungere la F0min e la durata totale del roar
SRMAX/DTROAR	Rapporto tra il tempo impiegato per raggiungere la F0MAX e la durata totale del roar

Tabella 2 - Sigle delle variabili utilizzate durante l'analisi acustica e relativa descrizione. Tra parentesi è riportata l'unità di misura utilizzata per misurare la variabile.

Durante l'estrapolazione delle misure relative alle variabili spettro-temporali, sono state annotate anche altre caratteristiche come il numero di roar e la tipologia di roar.

Di seguito riportiamo le sigle e le descrizioni delle diverse tipologie di roar.

Sigla	Descrizione
C	Common roar con struttura armonica
C BA	Common roar con una bassissima modulazione in frequenza
CH	Common roar con fenomeni di deterministic chaos
G	Grunt roar. Durata media 0,18s, serie da 3 a 12 roar
H	Harsh roar. A volte non è distinguibile la F0
T	Tosse. Durata media 0,07s, serie da 3 a 7 roar

Tabella 3 - Sigle utilizzate per indicare le diverse tipologie di roar analizzate e relativa descrizione.

2.6 ANALISI STATISTICA

L'analisi statistica condotta per la seguente ricerca si sviluppa su più livelli.

Innanzitutto, per ogni animale, è stato calcolato il Coefficiente di Variazione CV (Deviazione Standard/Media X100) per ogni variabile considerata nell'analisi acustica. Il Coefficiente di Variazione per ogni soggetto ci dà informazioni sulla variazione individuale rispetto ad una variabile: più è alto il valore del CV, maggiore è la Deviazione Standard e quindi maggiore è la variazione intorno al valore medio dei campioni.

Il primo rapporto tra CV, Ratio CV_{pop} , calcolato per ogni variabile spettro-temporale, è dato dal Coefficiente di Variazione dell'intera popolazione (Allevati+Selvatici, senza distinzione) diviso la media dei CV degli animali considerati: CV_{pop}/CV_{medio} . Se calcoliamo questo rapporto, tra il CV della popolazione intera e la media dei CV individuali, otteniamo una misura di quanto la variabilità inter-individuale si discosti da quella intra-individuale. In altri termini, se la variabilità riscontrata nella popolazione è maggiore della variabilità individuale, per ogni variabile, il rapporto sarà maggiore di 1 ($CV_{pop}/CV_{medio} > 1$).

Altri due rapporti di CV, Ratio CV_A e Ratio CV_S , sono stati calcolati suddividendo gli individui in base alla classe di appartenenza.

Il Coefficiente di Variazione per la classe "Allevati" (A), CV_A , è dato dal CV della popolazione formata dai soli animali

allevati, mentre il rapporto con il CV medio dei soli animali allevati, $Ratio\ CV_A = CV_A / CV_{medio\ A}$, ci dà una misura della variabilità calcolata nella sola classe “Allevati”. Allo stesso modo è stato calcolato il Coefficiente di Variazione per la classe “Selvatici” (S), CV_S , e il rapporto $Ratio\ CV_S = CV_S / CV_{medio\ S}$. Tutti questi valori sono stati calcolati per ogni individuo, per ogni variabile spettro-temporale e sono stati suddivisi in base alla tipologia di roar emesso: Common, Common “Bocca Aperta”, Common-Harsh, Harsh, Grunt e Tosse.

Il secondo tipo di analisi statistica condotto riguarda i confronti tra le medie utilizzando l'analisi della varianza ANOVA. Come variabili dipendenti abbiamo considerato, di volta in volta, le diverse variabili spettro-temporali misurate. Come fattori fissi abbiamo utilizzato gli individui (ID), la suddivisione in classi Allevati/Selvatici (A/S), gli individui *nested* le classi [ID(A/S)], la tipologia dei roar (CGHT). Con la funzione *nested* abbiamo indagato se le medie degli individui allevati differiscono significativamente tra loro, e così per le medie degli individui selvatici.

La terza analisi condotta riguarda l'utilizzo della procedura Discriminant Function Analysis o Analisi Discriminante (DFA). La DFA è un'analisi che stabilisce un numero di funzioni discriminanti attraverso le quali è possibile distinguere tra loro diversi elementi definiti a priori, come ad esempio le vocalizzazioni prodotte da individui differenti. Le diverse funzioni discriminanti sono spiegate da una o più variabili inserite nell'analisi. Se una funzione

discriminante è spiegata da più variabili, vuol dire che quest'ultime sono correlate tra loro e insieme contribuiscono a definire la funzione stessa.

Una volta identificate le variabili che hanno il maggior peso, e quindi le funzioni discriminanti ad esse associate, la DFA utilizza queste indicazioni per assegnare, in maniera predittiva, ad ogni individuo (gruppo) le vocalizzazioni (elementi) che rispondono alle caratteristiche acustiche definite. Quindi, la DFA ha la doppia funzione di investigare in base a quali fattori è possibile discriminare i nostri gruppi e di utilizzare questi fattori come metodo predittivo per riassegnare ogni elemento al corretto gruppo di appartenenza.

La Discriminant Function Analysis è stata eseguita tramite il software SPSS 16.0 (IBM® SPSS® Statistics). Come “grouping variables” (gruppi) abbiamo considerati i singoli individui, come “independents” tutte le variabili spettro-temporali calcolate con l'analisi acustica.

Sono state prodotte varie DFA sottoponendo all'analisi diversi insiemi di individui e di tipologie di vocalizzazioni emesse.

Di seguito, una tabella riassuntiva delle 6 DFA calcolate e dei diversi fattori utilizzati per l'analisi.

	Numero di individui	Numero di roar totali	Numero min di roar/individuo	Tipologia di roar
DFA1	6	108	10	PC
DFA2	17	144	2	PC
DFA3	21	367	3	P(C+CH)
DFA4	21	367	2	PC e PCH
DFA5	23	1017	7	TUTTI (insieme)
DFA6	71	1017	2	TUTTI (separati)

Tabella 4 - Parametri utilizzati per le varie DFA. PC = primo roar Common di serie esclusivamente Common; P (C+CH) = primi roar sia Common che Common/Harsh di serie esclusivamente Common e Common/Harsh (considerati uguali e accorpati). PC e PCH = primi roar Common di serie Common e primi roar Common/Harsh di serie Common/Harsh, considerati diversi; TUTTI = Common, Common/Harsh, Common "Bocca Aperta", Harsh; Grunt; Tossi.

Per le prime 4 DFA sono stati valutati soltanto i primi Common roar, di ripetizioni esclusivamente Common, per rendere il più omogenee possibile le nostre variabili. La scelta di limitare al massimo gli elementi del nostro gruppo è stata determinata dalle caratteristiche acustiche delle varie emissioni. Abbiamo cercato di rendere il meno dispersivo possibile la variabilità delle vocalizzazioni e quindi le diverse caratteristiche spettro-temporali

tipiche di ogni tipologia di bramito. Inoltre, per la DFA1 abbiamo fissato a 10 il numero minimo di ripetizioni per ogni animale. Con queste limitazioni (solo il primo Common roar e almeno 10 ripetizioni per ogni animale) è stato possibile eseguire la DFA1 con un numero di individui pari a 6. Aumentando i fattori, nelle successive DFA, è aumentato anche il numero di individui idonei per l'analisi.

Nella DFA5 e DFA6, al contrario delle prime 4 DFA, abbiamo analizzato tutte le emissioni sonore prodotte da tutti gli animali considerati. In questo modo abbiamo circa triplicato il numero totale di roar, aumentando anche la variabilità delle caratteristiche spettro-temporali per ogni soggetto.

CAPITOLO III

RISULTATI

3.1 COEFFICIENTE DI VARIAZIONE

Elaborando i ratio CV (CV_{pop}/CV_{medio} , $CV_A/CV_{medio A}$, $CV_S/CV_{medio S}$), e suddividendoli per le variabili rispetto alle tipologie di roar, notiamo che i rapporti finali hanno sempre un valore maggiore di 1, tranne in alcuni casi in cui sono minori di 1 ma comunque prossimi all'unità. Pertanto, nelle tre classi analizzate (Pop, A, S), il Coefficiente di Variazione intra-individuale, quindi la varianza per ogni animale rispetto ad una variabile, risulta essere più basso del CV inter-individuale, cioè più basso del CV dell'intera popolazione. Quindi, se il valore è maggiore di 1 vuol dire che le variazioni che si riscontrano nella popolazione, per quanto riguarda una variabile, sono maggiori delle variazioni individuali.

	C	C BA	C/H	G	H	T
CV Dtbout	1,22	1,14	1,19	2,22	1,72	1,77
CV Dtroar	1,56	1,59	1,70	1,82	3,20	1,03
CV Dist	1,12	1,27	0,90	1,07	1,13	1,40
CV F0i	1,17	1,59	1,23	2,03	1,33	1,79
CV F0f	1,24	1,12	1,16	1,71	1,24	1,45
CV F0min	1,41	1,39	1,47	1,98	1,65	1,75
CV F0MAX	1,19	1,20	1,06	1,78	1,37	1,46
CV F0mean	1,25	1,17	1,20	1,87	1,54	1,59
CV R/DTROAR	1,72	1,16	1,19	1,65	1,66	1,41
CV Srmin/DTROAR	1,07	1,21	1,02	1,06	1,31	1,01
CV SRMAX/DTROAR	1,04	1,29	0,94	1,74	1,25	1,10

Tabella 5 - Ratio Coefficiente di Variazione nella Popolazione. Valori dei ratio CV_{pop} delle variabili analizzate rispetto alle diverse tipologie di bramito.

	C	CBA	C/H	G	H	T
CV Dtbout	1,31	1,14	1,33	1	1,87	1,77
CV Dtroar	1,63	1,59	1,44	1,72	3,67	1,03
CV Dist	1,26	1,27	0,88	0,91	1,15	1,40
CV F0i	1,19	1,59	1,33	2,14	1,3	1,79
CV F0f	1,27	1,12	1,2	1,78	1,42	1,45
CV F0min	1,4	1,39	1,43	2,09	1,59	1,75
CV F0MAX	1,16	1,20	1,13	1,84	1,61	1,46
CV F0mean	1,2	1,17	1,19	1,91	1,76	1,59
CV R/DTROAR	1,88	1,16	1,31	1,9	1,4	1,41
CV Srmin/DTROAR	1,07	1,21	1,04	1,28	1,49	1,01
CV SRMAX/DTROAR	1,05	1,29	0,99	1,61	1,24	1,10

Tabella 6 - Ratio Coefficiente di Variazione nella classe Allevati. Valori dei ratio CV_A delle variabili analizzate rispetto alle diverse tipologie di bramito, per la classe Allevati. Da notare che le colonne CBA (Common "Bocca Aperta") e T (Tosse) coincidono con le colonne della ratio CV_{pop} in quanto sono state registrate queste tipologie di bramito soltanto in allevamento.

	C	C/H	G	H
CV Dtbout	1,04	1,04	4,32	1,61
CV Dtroar	1,35	1,72	1,76	1,14
CV Dist	0,9	0,89	1,43	1,12
CV F0i	1,14	1,05	1,86	1,48
CV F0f	1,19	1,1	1,72	1,1
CV F0min	1,41	1,26	1,82	1,4
CV F0MAX	1,25	0,99	1,81	1,19
CV F0mean	1,3	1,13	1,87	1,2
CV R/DTROAR	1,25	1	1,23	1,4
CV Srmin/DTROAR	1,04	0,98	0,97	1,08
CV SRMAX/DTROAR	1,02	0,9	1,73	1,17

Tabella 7 - Ratio Coefficiente di Variazione nella classe Selvatici. Valori dei ratio CV_s delle variabili analizzate rispetto alle diverse tipologie di bramito, per la classe Selvatici. Da notare l'assenza delle colonne CBA (Common "Bocca Aperta") e T (Tosse).

Valori inferiori a 1, ma comunque prossimi, si registrano prevalentemente nelle tipologie C/H e G e, per una sola variabile, anche nella tipologia C, classe Selvatici.

3.2 ANALISI DELLA VARIANZA (ANOVA)

L'Analisi della Varianza è stata condotta a più livelli, utilizzando come fattori fissi gli individui (ID), la suddivisione in classi Allevati/Selvatici (A/S), gli individui *nested* classi [ID(A/S)], la tipologia dei roar (CGHT). I risultati sono stati incoraggianti in quanto (tranne in due casi) hanno sempre mostrato differenze significative tra le medie, con valori di $p < 0,05$: ciò porta a ipotizzare la presenza di caratteri ripetitivi all'interno delle vocalizzazioni individuali. Di seguito riportiamo le tabelle più significative.

Variabile	F value	p
Dtbout	16,84	<0,0001
Dtroar	28,56	<0,0001
Dist	3,17	<0,0001
F0i	5,74	<0,0001
F0f	8,25	<0,0001
F0min	10,76	<0,0001
F0MAX	5,72	<0,0001
F0mean	8,39	<0,0001
Range/DTROAR	6,2	<0,0001
Srmin/DTROAR	4,14	<0,0001
SRMAX/DTROAR	2,93	<0,0001

Tabella 8 - Valori di F e di p (Signif<0,05) della comparazione delle medie delle variabili, utilizzando gli individui (ID) come fattori fissi.

Variabile	F value	p
Dtbout	8,246	0,004
Dtroar	91,85	<0,0001
Dist	7,10	0,0078
F0i	29,87	<0,0001
F0f	23,42	<0,0001
F0min	93,22	<0,0001
F0MAX	0,44	0,51
F0mean	38,09	<0,0001
Range/DTROAR	2,44	0,12
Srmin/DTROAR	12,94	0,0003
SRMAX/DTROAR	9,74	0,0019

Tabella 9 - Valori di F e di p (Signif<0,05) della comparazione delle medie delle variabili, utilizzando le classi Allevato/Selvatico (A/S) come fattori fissi.

Variabile	F value	p
Dtbout	16,84	<0,0001
Dtroar	28,56	<0,0001
Dist	3,17	<0,0001
F0i	5,74	<0,0001
F0f	8,25	<0,0001
F0min	10,76	<0,0001
F0MAX	5,72	<0,0001
F0mean	8,39	<0,0001
Range/DTROAR	6,2	<0,0001
Srmin/DTROAR	4,14	<0,0001
SRMAX/DTROAR	2,93	<0,0001

Tabella 10 - Valori di F e di p (Signif<0,05) della comparazione delle medie delle variabili, utilizzando gli individui nested classi [ID(A/S)] come fattori fissi.

	C	C BA	C/H	G	H	T	F	<i>p</i>
Dtbout	4,89 ± 0,13	3,95 ± 0,43	4,6 ± 0,13	6,57 ± 0,17	3,92 ± 0,33	1,14 ± 0,11	18,2	,000
Dtroar	1,39 ± 0,03	0,69 ± 0,07	1,5 ± 0,03	0,18 ± 0,004	1,05 ± 0,04	0,1 ± 0,003	178,42	,000
Dist	0,98 ± 0,06	0,45 ± 0,13	1,42 ± 0,06	0,45 ± 0,01	0,73 ± 0,09	0,2 ± 0,03	22,17	,000
F0i	128,15 ± 2,71	122,92 ± 15,92	126,65 ± 2,7	136,98 ± 5,4	149,02 ± 6,52	87,92 ± 7,47	2,91	,013
F0f	129,8 ± 2,66	127,47 ± 15,29	147,05 ± 3,09	150,29 ± 5,94	145,62 ± 6,07	91,54 ± 8,35	4,63	,000
F0min	90,54 ± 1,68	100,68 ± 14,42	83,62 ± 1,91	129,31 ± 5,19	98,11 ± 5,36	84,12 ± 7,18	21,62	,000
F0MAX	168,97 ± 2,56	155,29 ± 15,6	193,4 ± 2,16	159,04 ± 5,97	192,67 ± 4,71	95,52 ± 8,35	25,09	,000
F0mean	125,1 ± 1,63	125,83 ± 13,78	135,99 ± 1,76	144,13 ± 5,13	146,05 ± 4,49	90,21 ± 7,68	10,01	,000
Range/DTROAR	73,73 ± 4,2	73,09 ± 19,41	81,83 ± 2,48	164,61 ± 25,36	96,03 ± 9,24	115,66 ± 35,44	12,23	,000
Srmin/DTROAR	0,4 ± 0,02	0,23 ± 0,06	0,40 ± 0,02	0,25 ± 0,03	0,36 ± 0,03	0,2 ± 0,04	9,51	,000
SRMAX/DTROAR	0,33 ± 0,01	0,17 ± 0,05	0,43 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,25 ± 0,03	0,19 ± 0,04	16,8	,000

Tabella 11 - Valori delle Medie ± Dev. St., di F e di p (Signif<0,05) delle diverse variabili rispetto alla tipologia di roar (CGHT).

Di seguito riportiamo i grafici di errore, con intervallo di confidenza al 95%, per le variabili descritte in funzione delle diverse tipologie di roar

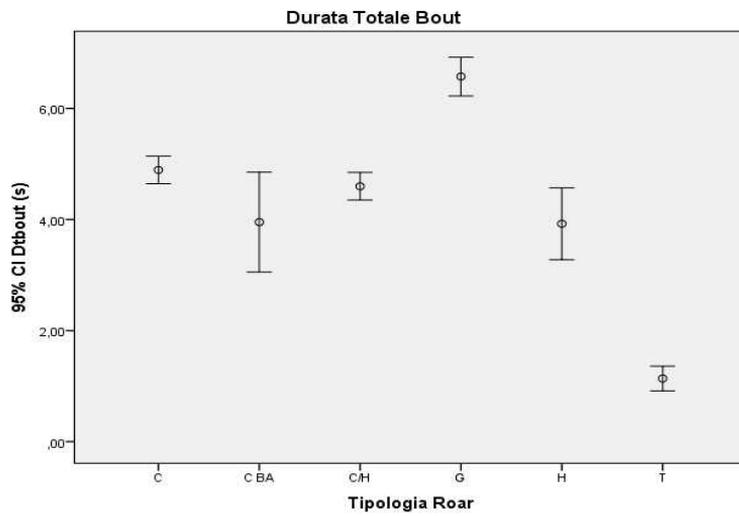


Figura 22 - Grafico di errore della durata totale del bout, espresso in secondi, rispetto alle diverse tipologie di roar.

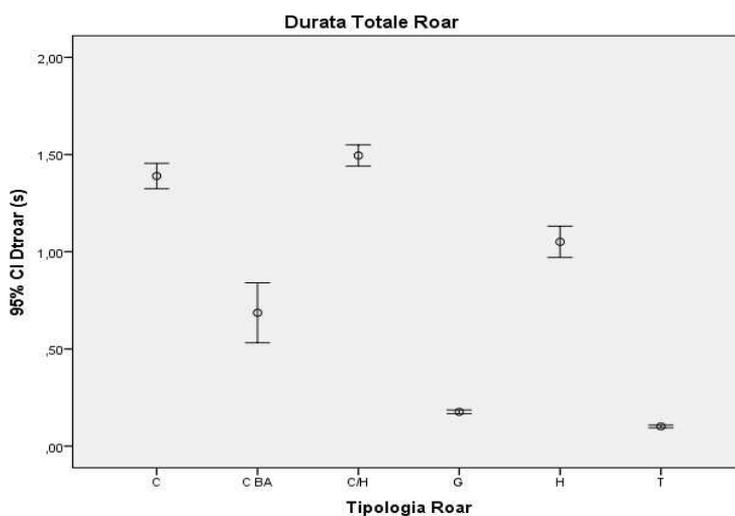


Figura 23 - Grafico di errore della durata totale del roar, espresso in secondi, rispetto alle diverse tipologie di roar.

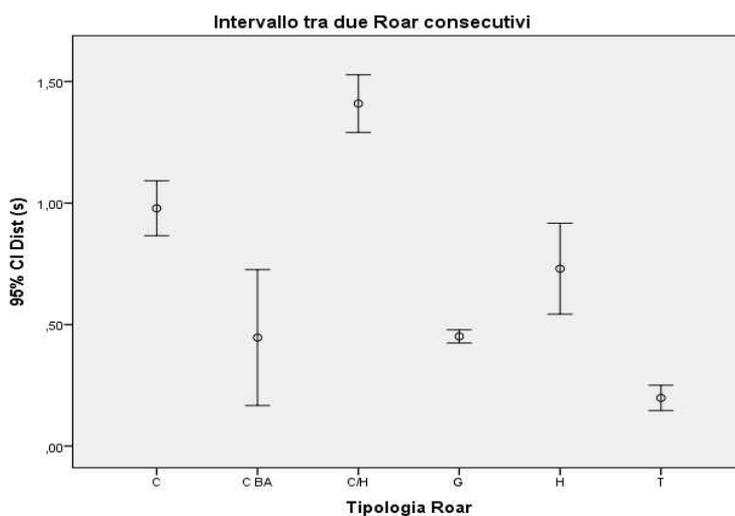


Figura 24 - Grafico di errore dell'intervallo che intercorre tra due roar consecutivi dello stesso bout, espresso in secondi, rispetto alle diverse tipologie di roar.

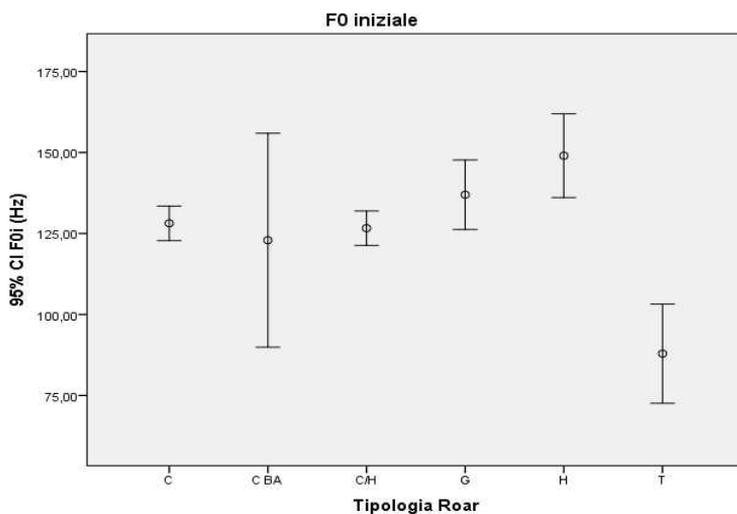


Figura 25 - Grafico di errore del valore della Frequenza Fondamentale F_0 , calcolata nell'istante iniziale del roar e espressa in Hz, rispetto alle diverse tipologie di roar.

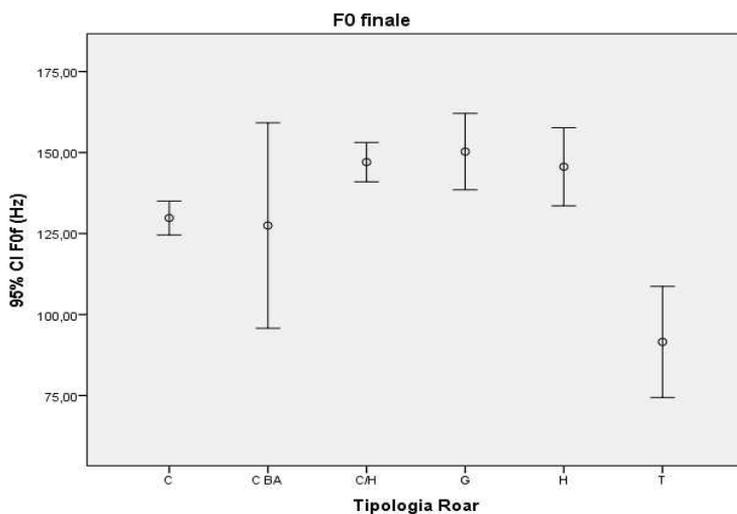


Figura 26 - Grafico di errore del valore della Frequenza Fondamentale F_0 , calcolata nell'istante finale del roar e espressa in Hz, rispetto alle diverse tipologie di roar.

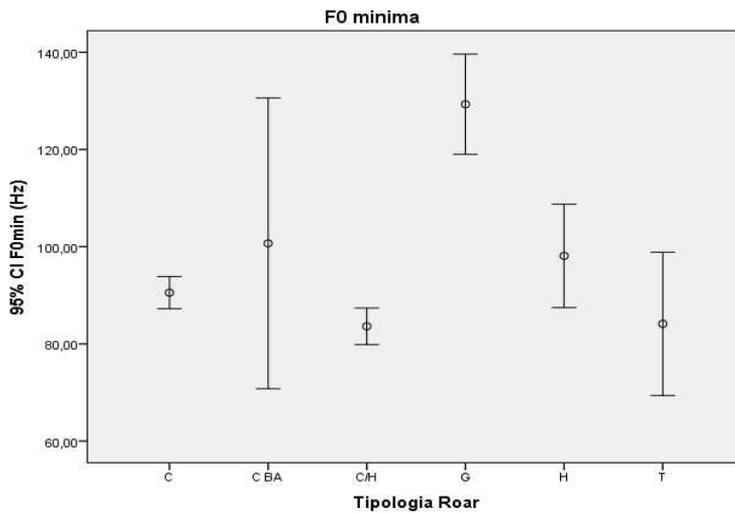


Figura 27 - Grafico di errore del valore minimo raggiunto dalla Frequenza Fondamentale F0, espressa in Hz, rispetto alle diverse tipologie di roar.

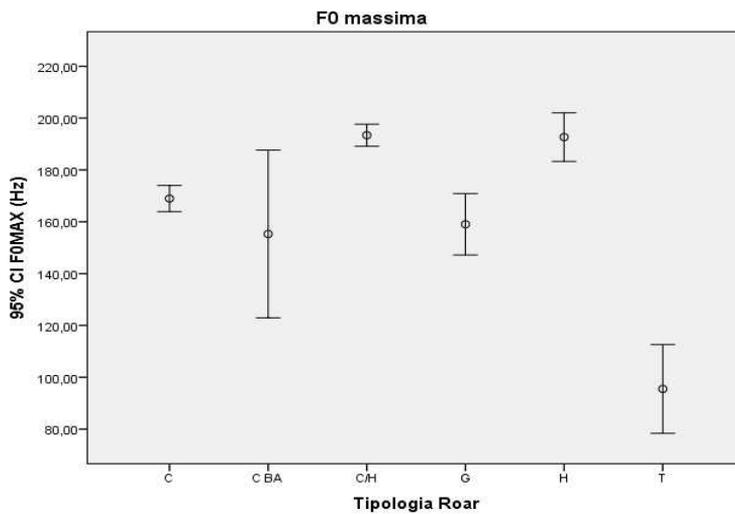


Figura 28 - Grafico di errore del valore massimo raggiunto dalla Frequenza Fondamentale F0, espressa in Hz, rispetto alle diverse tipologie di roar.

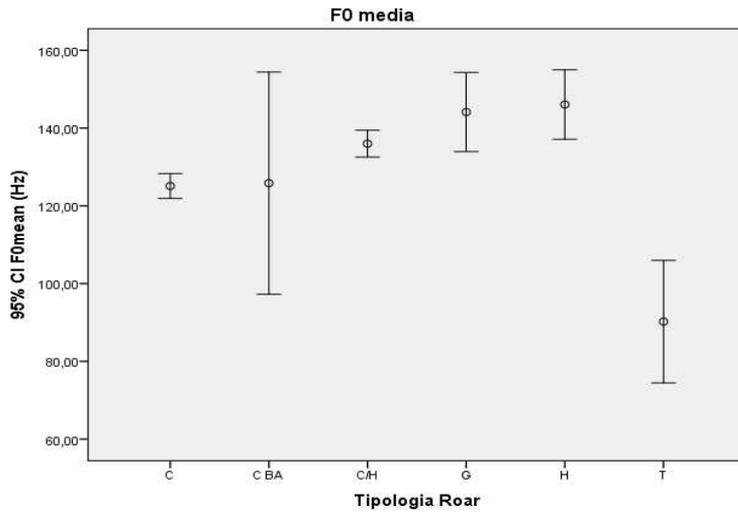


Figura 29 - Grafico di errore del valore medio della Frequenza Fondamentale F_0 , espressa in Hz, rispetto alle diverse tipologie di roar.

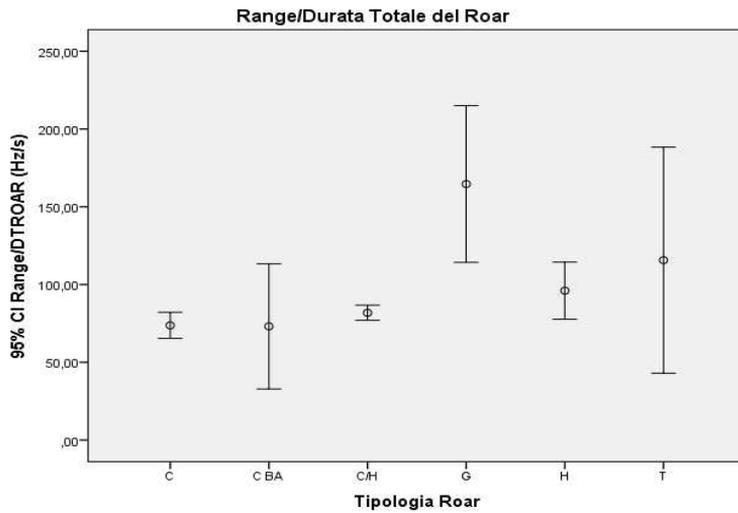


Figura 30 - Grafico di errore della variabile Range/Durata totale del roar, espressa in Hz/s, rispetto alle diverse tipologie di roar. Il Range è calcolato come la differenza tra F_0 massima e F_0 minima.

Secondi impiegati per raggiungere la minima frequenza/Durata Totale del Roar

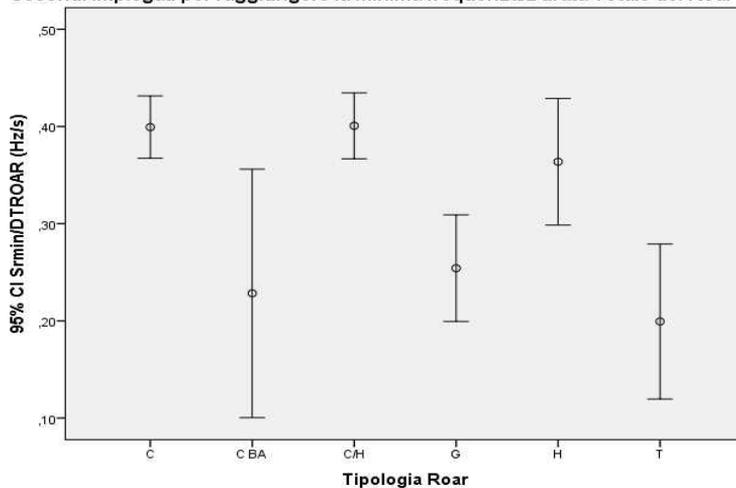


Figura 31 - Grafico di errore della variabile $Srmin/Durata$ totale del roar, rispetto alle diverse tipologie di roar. La variabile $Srmin$ equivale ai secondi impiegati dal soggetto per raggiungere la $F0$ minima.

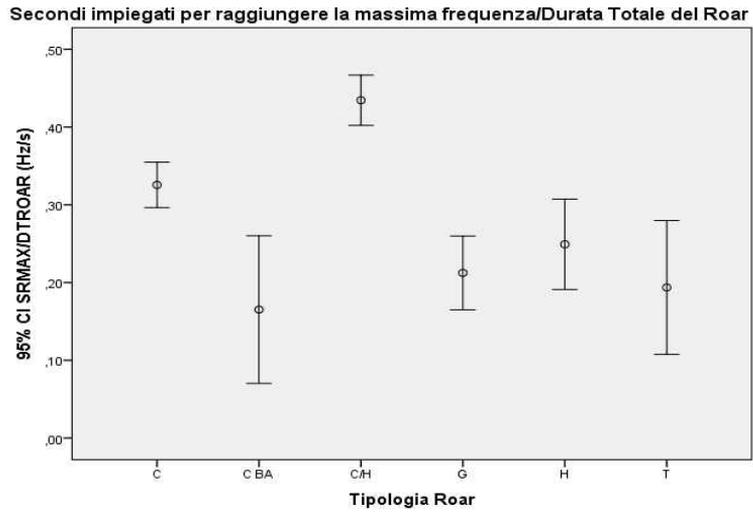


Figura 32 - Grafico di errore della variabile SRMAX/Durata totale del roar, rispetto alle diverse tipologie di roar. La variabile SRMAX equivale ai secondi impiegati dal soggetto per raggiungere la F0 massima.

Per le tipologie di bout abbiamo riscontrato diverse percentuali di presenza all'interno delle sessioni di registrazione. Ciò ha portato a scegliere, per la Discriminant Analysis, soltanto alcuni tipi di bout, partendo da quelli più frequenti. Le diverse frequenze vengono così riassunte:

	N. medio di bout per classe	% media bout Common	% media bout Harsh	% media bout Grunt	% media bout Tossi	% media bout Misti
Allevati	25,08	83,87	5,14	2,44	2,86	5,68
Selvatici	24,09	67,75	10,78	6,33	0,53	14,6

Tabella 12 - Numero medio di bout e frequenze percentuali delle diverse tipologie di bout nelle due classi A/S.

3.3 DISCRIMINANT FUNCTION ANALYSIS (DFA)

3.3.1 Discriminant Function Analysis 1

La prima Analisi Discriminante (DFA1) eseguita è stata calcolata su un data set ridotto: 6 individui, che abbiano prodotto almeno 10 Common bout, e utilizzo delle variabili esclusivamente del primo Common roar

Dalla tabella degli autovalori (Tabella : Eigenvalues) ricaviamo il numero di funzioni canoniche (o discriminanti) impiegate nella DFA. In questo caso sono state valutate 5 funzioni ognuna con una diversa capacità di separare i gruppi. Nella colonna Cumulative% osserviamo che la prima funzione insieme alla seconda spiegano l'84,6% della varianza totale. In generale, vengono prese in considerazione le funzioni che, insieme, riescono a spiegare il 70-80% della varianza. In base alla colonna degli autovalori possiamo valutare quali sono le funzioni che hanno il più alto potere discriminante e cioè quelle funzioni che hanno il maggiore eigenvalues. Infatti, ogni autovalore è associato ad una funzione canonica e il potere discriminante di ogni funzione è misurato tramite il suo eigenvalues: più è alto il valore, più i gruppi verranno separati da quella funzione.

Valutando la successiva colonna (% of Variance), notiamo che la prima funzione, da sola, spiega il 52,4% della varianza e la seconda il 32,3%. Un altro modo di valutare l'utilità di una funzione canonica è esaminare i Coefficienti della Correlazione Canonica

(Canonical Correlation). Il valore di questi coefficienti va da 0 a 1: all'aumentare del valore, aumenta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione canonica.; il valore 0 denota l'assenza di relazione.

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	2,090 ^a	52,4	52,4	,822
2	1,288 ^a	32,3	84,6	,750
3	,458 ^a	11,5	96,1	,560
4	,127 ^a	3,2	99,3	,335
5	,030 ^a	,7	100,0	,170

a. First 5 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Tabella 13 - Eigenvalues. Contributo di ciascuna delle 5 funzioni discriminanti utilizzate nell'analisi. La colonna Eigenvalue (autovalore) riporta il potere discriminante di ogni funzione. Dalla colonna % of Variance otteniamo il contributo in percentuale di ogni funzione alla discriminazione finale. La somma dei contributi individuali è riportata nella Colonna cumulative %. L'ultima colonna, Canonical Correlation, riporta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione discriminante.

Ricordiamo che le funzioni discriminanti sono definite da una o più variabili del nostro data set e servono per l'assegnazione predittiva degli elementi ai vari gruppi.

Per analizzare quali delle nostre variabili ha un peso maggiore all'interno della DFA, andremo a considerare le prime due funzioni canoniche discriminanti e cioè quelle funzioni che, da sole,

riescono a spiegare fino all'80% della varianza. Per far questo, analizzeremo la matrice di struttura riportata nella tabella 14.

Structure Matrix

	Function				
	1	2	3	4	5
Range/DTROAR	,583*	-,377	,147	-,002	-,380
F0min	-,055	,466*	-,359	,420	-,198
DTBOUT	-,017	-,334	-,605*	,130	,199
DTROAR	-,422	-,169	,499*	,409	,208
F0 I	,052	-,079	-,132	,504*	-,085
SRMAX/DTROAR	,086	,102	,218	-,382*	-,095
F0mean	-,024	,167	-,268	,190	-,606*
Srmin/DTROAR	-,018	,040	,054	,214	,557*
F0f	,231	,138	,042	,425	-,547*
F0MAX	,248	-,325	,152	,385	-,515*
DIST	,077	-,307	-,114	,075	,343*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Tabella 14 - Matrice di Struttura: Correlazione tra le funzioni discriminanti individuate dall'analisi e le variabili del nostro sistema. Gli asterischi indicano quali variabili spiegano le funzioni discriminanti.

Nella colonna relativa alla prima funzione osserviamo che il valore più alto (in modulo), contrassegnato da un asterisco, indicante quindi la più ampia correlazione, è relativo alla variabile Range/DTROAR. Mentre per la seconda funzione, la più ampia correlazione è rappresentata dalla variabile F0min. Queste due variabili spiegano le nostre due funzioni discriminanti e cioè le

funzioni che hanno più peso nella discriminazione e riattribuzione dei nostri elementi. A questo punto, dopo aver valutato le migliori funzioni e le variabili che le rappresentano, possiamo passare alla valutazione della tabella Classification Results (tabella 15).

Classification Results^a

		Predicted Group Membership						Total
		2	4	7	9	10	12	
Original	Count	2	4	7	9	10	12	
		11	2	1	0	2	3	19
		0	13	0	0	0	0	13
		0	0	8	0	1	1	10
		3	0	0	22	6	1	32
		1	0	0	0	9	0	10
	12	3	1	0	3	4	13	24
	%	2	4	7	9	10	12	
		57,9	10,5	5,3	,0	10,5	15,8	100,0
		,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		,0	,0	80,0	,0	10,0	10,0	100,0
		9,4	,0	,0	68,8	18,8	3,1	100,0
		10,0	,0	,0	,0	90,0	,0	100,0
		12,5	4,2	,0	12,5	16,7	54,2	100,0

a. 70,4% of original grouped cases correctly classified.

Tabella 15 - Classification Results. Nella metà superiore della tabella (Count) viene riportato l'effettivo numero di vocalizzazioni (elementi) riassegnati ai vari individui (gruppi). Nella metà inferiore (%) lo stesso dato riportato in percentuale. I valori delle corrette riattribuzioni sono riportati lungo la diagonale.

Notiamo che, per l'animale 4 è stato raggiunto il 100% di corretta classificazione, mentre, per il modello in generale, è stato raggiunto il 70,4% di riattribuzione esatta.

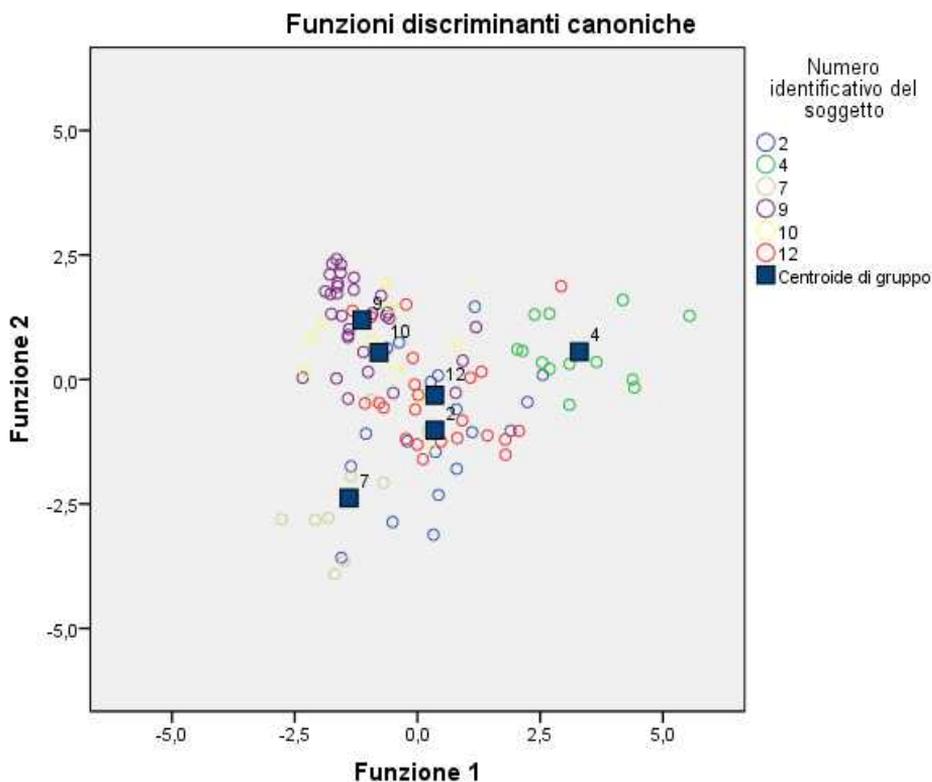


Figura 33 – Grafico delle prime due funzioni discriminanti estrapolate dalla DFA1. I cerchi di colore diverso rappresentano le vocalizzazioni di ogni individuo, i quadrati indicano i centroidi (medie individuali).

Nel grafico di figura 33 le funzioni canoniche presenti sui due assi rappresentano le combinazioni lineari delle variabili discriminanti che contribuiscono maggiormente alla separazione tra i gruppi definiti a priori (cioè tra gli individui). I cerchi rappresentano le vocalizzazioni degli individui e i quadrati, i centroidi, le medie individuali.

Il risultato di un'analisi discriminante esprime quanto il modello sia riuscito a individuare i fattori che permettono la distinzione tra i gruppi. In un modello ben riuscito la separazione fra i gruppi è netta e il margine di incertezza, rappresentato dalla zona di sovrapposizione tra i cerchi, è minimo.

Lo stesso risultato è indicato dalla disposizione dei centroidi, che indicano il posizionamento più probabile della vocalizzazione di un particolare individuo nello spazio definito dalle funzioni canoniche (McGarigal *et al* 2000).

3.3.2 Discriminant Function Analysis 2

Per la seconda DFA gli elementi considerati sono gli stessi della DFA1 (primi Common roar, di ripetizioni esclusivamente Common), mentre abbiamo aumentato il numero dei gruppi poiché abbiamo abbassato a 2 il numero minimo di vocalizzazioni prodotte per ogni animale. Quindi, abbiamo condotto la nostra analisi considerando 144 vocalizzazioni prodotte da 17 individui.

Le funzioni discriminanti per la DFA2 sono la prima, la seconda e la terza (Tabella 16) che insieme spiegano il 76,2 % della varianza.

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,646 ^a	34,4	34,4	,789
2	1,410 ^a	29,5	63,9	,765
3	,591 ^a	12,3	76,2	,609
4	,371 ^a	7,7	84,0	,520
5	,331 ^a	6,9	90,9	,499
6	,230 ^a	4,8	95,7	,432
7	,084 ^a	1,7	97,4	,278
8	,046 ^a	1,0	98,4	,210
9	,036 ^a	,8	99,1	,187
10	,023 ^a	,5	99,6	,150
11	,018 ^a	,4	100,0	,133

a. First 11 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Tabella 16 - Eigenvalues. Contributo di ciascuna delle 11 funzioni discriminanti utilizzate nell'analisi. La colonna Eigenvalue (autovalore) riporta il potere discriminante di ogni funzione. Dalla colonna % of Variance otteniamo il contributo in percentuale di ogni funzione alla discriminazione finale. La somma dei contributi individuali è riportata nella Colonna cumulative %. L'ultima colonna, Canonical Correlation, riporta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione discriminante.

Dalla Matrice di Struttura notiamo che la prima funzione discriminante viene spiegata dalla variabile Range/DTROAR, la seconda funzione è associata a tre variabili: F0min, Dtroar e F0mean, e la terza funzione alla DTBOUT (tabella 17).

Structure Matrix

	Function										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Range/DTROAR	,710*	-,069	-,001	-,159	,434	,081	,052	,371	,300	-,190	-,065
F0min	-,212	,672*	-,288	,255	,037	-,398	,138	,019	,161	,243	,301
DTROAR	-,467	-,569*	,425	,252	,191	-,262	,243	,060	,032	,174	,124
F0mean	-,076	,410*	-,385	-,156	,370	-,392	,323	,357	,252	,077	-,249
DTBOUT	-,026	-,302	-,505*	,372	-,178	,142	,491	,255	,027	,392	,046
F0MAX	,327	-,084	-,197	-,069	,456	-,664*	,092	,230	,356	,062	,035
F0f	,194	,374	,044	,317	-,054	-,656*	,242	,339	-,219	,098	-,236
DIST	,088	-,299	-,194	,240	-,163	-,050	,575*	-,327	,371	,405	-,197
Srmin/DTROAR	-,093	-,014	,140	-,060	-,380	-,006	-,411	,293	,752*	,022	-,048
SRMAX/DTROAR	,045	,040	,289	-,265	-,299	-,076	,328	,331	-,595*	,416	,063
F0 I	,110	,128	-,241	,205	,419	-,212	-,423	,062	,535*	,388	-,177

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Tabella 17 - Matrice di Struttura: Correlazione tra le funzioni discriminanti individuate dall'analisi e le variabili del nostro sistema. Gli asterischi indicano quali variabili spiegano le funzioni discriminanti. La seconda funzione è spiegata da tre variabili.

I Risultati di Classificazione (Tabella 18) indicano una riattribuzione media del 55,6% degli elementi ai corretti gruppi. Notiamo che per 7 gruppi la riattribuzione è stata del 100%. Questo risultato è incoraggiante, ma dobbiamo valutare il numero di vocalizzazioni emesse da ciascun individuo che, in alcuni casi, è minimo.

Dal grafico delle Funzioni Discriminanti Canoniche possiamo notare che, per quanto riguarda alcuni centroidi, è presente una zona di sovrapposizione, il che vuol dire che c'è con un certo margine di incertezza da parte del sistema nel discriminare tra i nostri gruppi. Infatti la riattribuzione media, come già detto, è del 55,6%

Classification Results^a

		Predicted Group Membership																	Total
NUM		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Original	Count	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	1
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	4	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	7	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	9	2	0	3	0	0	0	0	0	0	19	0	1	0	2	0	5	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	12	0	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	3	5	5	0	3	0	1
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	
%	1	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	
	2	,0	,0	21,1	,0	5,3	5,3	,0	,0	,0	,0	31,6	,0	26,3	5,3	,0	,0	5,3	
	3	,0	,0	50,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	50,0	,0	,0	
	4	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	
	5	,0	,0	16,7	,0	66,7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	16,7	,0	,0	,0	,0	,0	
	6	,0	,0	50,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	50,0	
	7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	
	8	,0	,0	75,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	25,0	,0	,0	
	9	6,2	,0	9,4	,0	,0	,0	,0	,0	,0	59,4	,0	3,1	,0	6,2	,0	15,6	,0	
	10	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	
	11	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	50,0	,0	50,0	,0	,0	,0	
	12	,0	,0	25,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	4,2	,0	12,5	20,8	20,8	,0	12,5	,0	
	13	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	
	14	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	83,3	,0	16,7	
	15	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	
	16	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	
	17	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	33,3	,0	33,3	,0	,0	,0	

a. 55,6% of original grouped cases correctly classified.

Tabella 18 - Classification Results. Lungo la diagonale le vocalizzazioni correttamente attribuite all'individuo che le ha emesse.

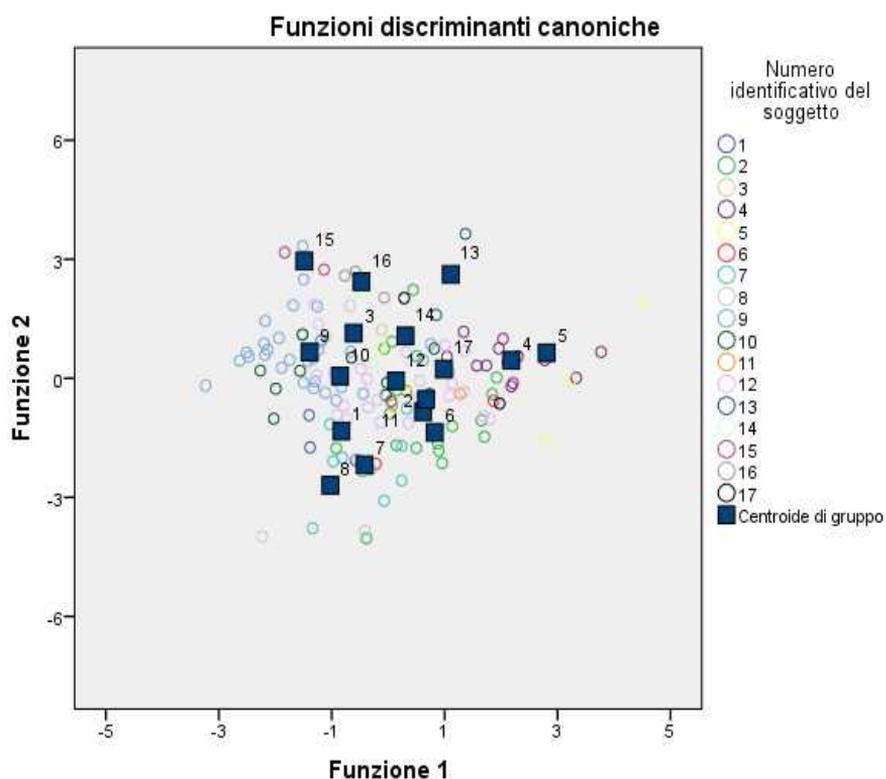


Figura 34 – Grafico delle prime due funzioni discriminanti estrapolate dalla DFA2. I cerchi di colore diverso rappresentano le vocalizzazioni di ogni individuo, i quadrati indicano i centroidi, (medie individuali).

3.3.3 Discriminant Function Analysis 3

Per la DFA3 abbiamo analizzato i primi Common roar emessi, sommati ai primi Common/Harsh (CH),Il totale di gruppi (individui) analizzati è 21.

Il 73,9% della varianza cumulativa è spiegata dalle prime tre funzioni, con la prima che contribuisce al 43, 4% del totale (tabella 19).

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,597 ^a	43,4	43,4	,784
2	,773 ^a	21,0	64,4	,660
3	,352 ^a	9,6	73,9	,510
4	,308 ^a	8,4	82,3	,485
5	,214 ^a	5,8	88,1	,420
6	,182 ^a	4,9	93,1	,392
7	,086 ^a	2,3	95,4	,281
8	,080 ^a	2,2	97,6	,272
9	,042 ^a	1,1	98,7	,200
10	,029 ^a	,8	99,5	,168
11	,019 ^a	,5	100,0	,136

a. First 11 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Tabella 19 - Eigenvalues. Contributo di ciascuna delle 11 funzioni discriminanti utilizzate nell'analisi. La colonna Eigenvalue (autovalore) riporta il potere discriminante di ogni funzione. Dalla colonna % of Variance otteniamo il contributo in percentuale di ogni funzione alla discriminazione finale. La somma dei contributi individuali è riportata nella Colonna cumulative %. L'ultima colonna, Canonical Correlation, riporta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione discriminante.

La prima funzione è spiegata da due variabili: Dtroar e Range/DTROAR. Anche la seconda funzione è spiegata da due variabili: F0min e F0mean. La terza è spiegata dalla DTBout (tabella 20).

La media delle corrette percentuali di riattribuzione è del 55,95%, come riportato in tabella 21.

Structure Matrix

	Function										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DTROAR	-,828*	-,202	,139	-,055	,278	-,149	,314	,050	,198	,030	,105
Range/DTROAR	,532*	-,460	,247	,347	,145	,106	,444	-,067	-,103	-,040	-,280
F0min	,126	,778*	-,153	-,100	-,025	-,244	,200	,231	,147	,356	,207
F0mean	,131	,588*	-,065	,460	-,050	-,135	,512	-,222	,124	,239	-,130
DTBOUT	-,106	-,032	-,464*	,413	,295	,383	,125	,273	,423	,033	,313
F0 I	,137	,344	-,202	,113	,633*	-,128	,167	-,150	-,288	,489	-,142
F0f	,229	,227	,048	,432	,148	-,700*	,225	-,013	,304	-,110	,201
F0MAX	,194	-,094	-,130	,333	,092	-,326	,765*	-,036	-,016	,300	-,183
DIST	-,083	-,217	-,309	,105	,264	,182	-,012	-,101	,743*	,407	,095
Srmin/DTROAR	-,149	-,122	,145	,320	,082	,004	-,401	,426	-,219	,507*	-,431
SRMAX/DTROAR	-,008	-,243	,303	,417	-,317	-,156	-,082	,008	,016	-,005	,737*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
 Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Tabella 20 - Matrice di Struttura: Correlazione tra le funzioni discriminanti individuate dall'analisi e le variabili del nostro sistema. Gli asterischi indicano quali variabili spiegano le funzioni discriminanti.

Classification Results^a

NUM		Predicted Group Membership																				Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		21
Original	Count	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	2	0	1	0	0	0	1	0	10	0	0	5	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	23
	3	0	0	11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	14
	4	0	0	0	22	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	29
	5	0	0	0	1	7	0	0	8	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	22
	6	0	0	0	0	0	5	1	3	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	15
	7	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
	9	0	0	0	0	0	2	0	8	24	2	4	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	45
	10	3	0	0	0	0	0	0	3	2	12	3	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	26
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	12	0	0	0	1	0	0	0	12	0	1	0	11	0	1	4	0	5	2	0	0	0	37
	13	1	0	0	1	0	0	0	3	0	0	3	0	6	0	0	0	0	0	0	2	0	16
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	15	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	2	0	0	0	15	0	0	0	0	1	0	24
	16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	13
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
	18	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	2	12	0	1	1	1	23
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	7
	21	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	11	20
%	1	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	2	,0	4,3	,0	,0	,0	4,3	,0	43,5	,0	,0	21,7	,0	,0	8,7	,0	17,4	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	3	,0	,0	78,6	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	7,1	,0	7,1	,0	,0	7,1	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	4	,0	,0	,0	75,9	,0	,0	,0	10,3	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	3,4	,0	,0	10,3	,0	,0	100,0
	5	,0	,0	,0	4,5	31,8	,0	,0	36,4	,0	,0	,0	,0	,0	9,1	,0	9,1	,0	,0	9,1	,0	,0	100,0
	6	,0	,0	,0	,0	,0	33,3	6,7	20,0	,0	6,7	6,7	,0	,0	6,7	,0	13,3	,0	,0	6,7	,0	,0	100,0
	7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	84,6	,0	,0	,0	7,7	7,7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	8	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	66,7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	33,3	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	9	,0	,0	,0	,0	,0	4,4	,0	17,8	53,3	4,4	8,9	,0	,0	,0	,0	11,1	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	10	11,5	,0	,0	,0	,0	,0	,0	11,5	7,7	46,2	11,5	,0	,0	,0	3,8	,0	7,7	,0	,0	,0	,0	100,0
	11	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	12	,0	,0	,0	2,7	,0	,0	,0	32,4	,0	2,7	,0	29,7	,0	2,7	10,8	,0	13,5	5,4	,0	,0	,0	100,0
	13	6,2	,0	,0	6,2	,0	,0	,0	18,8	,0	,0	18,8	,0	37,5	,0	,0	,0	,0	,0	12,5	,0	,0	100,0
	14	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	15	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	25,0	,0	,0	8,3	,0	,0	,0	62,5	,0	,0	,0	,0	4,2	,0	100,0
	16	,0	,0	,0	7,7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	92,3	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	17	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	18	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	26,1	,0	,0	,0	,0	,0	,0	4,3	,0	8,7	52,2	,0	4,3	4,3	100,0
	19	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	100,0
	20	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	14,3	,0	,0	,0	,0	,0	85,7	,0	100,0
	21	,0	,0	,0	5,0	,0	,0	,0	20,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	15,0	5,0	,0	,0	55,0	100,0

a. 55,9% of original grouped cases correctly classified.

Tabella 21 - Classification Results. Lungo la diagonale le vocalizzazioni correttamente attribuite all'individuo che le ha emesse.

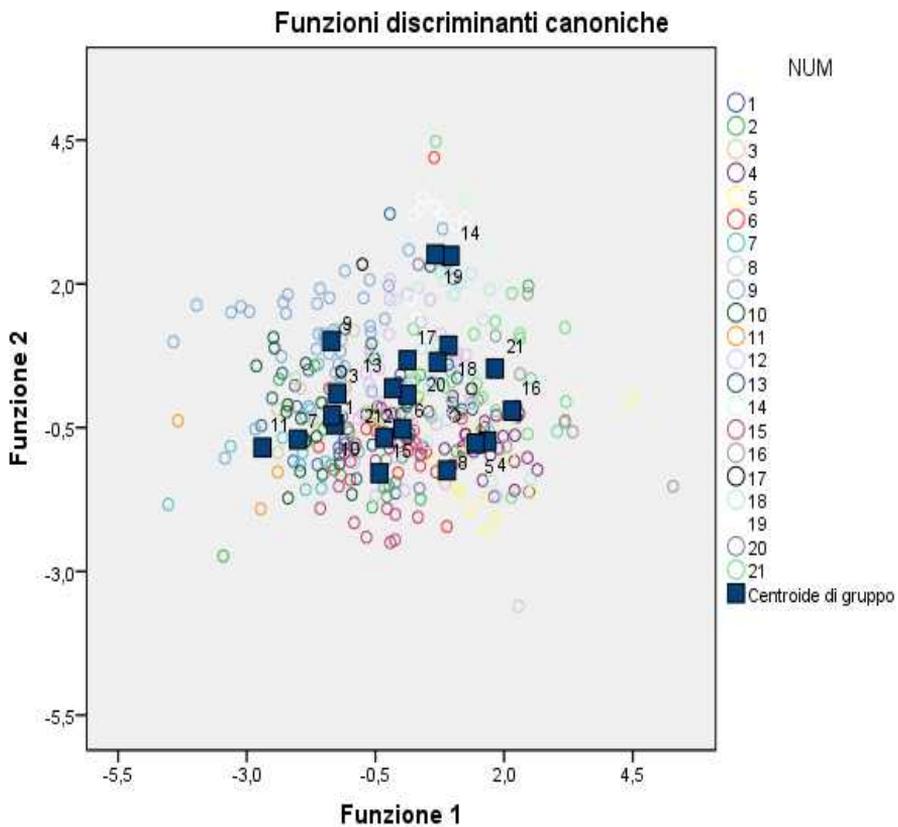


Figura 35 – Grafico delle prime due funzioni discriminanti estrapolate dalla DFA3. I cerchi di colore diverso rappresentano le vocalizzazioni di ogni individuo, i quadrati indicano i centroidi (medie individuali).

3.3.4 Discriminant Function Analysis 4

Mantenendo separati i roar Common dai roar Common /Harsh, otteniamo un incremento dei gruppi, in quanto ogni animale viene considerato sia come emettitore dei roar C che come emettitore dei roar CH. I gruppi passano quindi da 21 a 42.

Le prime quattro funzioni discriminanti spiegano il 77,1% della varianza cumulativa. La prima funzione è spiegata da DTROAR, la seconda funzione da F0min e Range/DTROAR, la terza da F0mean e DTBOUT, mentre la quarta funzione canonica è spiegata da F0i. La media delle corrette riattribuzioni è pari al 1,1%

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,829 ^a	36,8	36,8	,804
2	1,094 ^a	22,0	58,8	,723
3	,481 ^a	9,7	68,5	,570
4	,428 ^a	8,6	77,1	,548
5	,381 ^a	7,7	84,8	,525
6	,232 ^a	4,7	89,4	,434
7	,204 ^a	4,1	93,5	,412
8	,122 ^a	2,5	96,0	,330
9	,108 ^a	2,2	98,2	,312
10	,053 ^a	1,1	99,2	,225
11	,038 ^a	,8	100,0	,190

a. First 11 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Tabella 22 - Eigenvalues. Contributo di ciascuna delle 11 funzioni discriminanti utilizzate nell'analisi. La colonna Eigenvalue (autovalore) riporta il potere discriminante di ogni funzione. Dalla colonna % of Variance otteniamo il contributo in percentuale di ogni funzione alla discriminazione finale. La somma dei contributi individuali è riportata nella Colonna cumulative %. L'ultima colonna, Canonical Correlation, riporta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione discriminante.

Structure Matrix

	Function										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DTROAR	-.827*	,034	-,165	,324	,042	,169	-,210	,232	,197	,123	,032
F0min	,257	,712*	,225	-,129	-,152	,141	-,256	,093	,306	,376	,083
Range/DTROAR	,414	-,623*	,196	,306	,334	-,271	-,153	-,053	,187	-,058	-,243
F0mean	,170	,423	,678*	,064	,155	-,253	-,375	,134	,105	,161	-,212
DTBOUT	-,140	-,097	,535*	,201	-,298	,083	,461	,348	,267	,283	,251
F0 l	,184	,244	,317	,511*	-,262	,036	-,298	-,393	-,109	,447	-,141
F0f	,225	,102	,503	,069	,279	,507*	-,505	,274	,042	-,068	,096
F0MAX	,120	-,220	,485	,139	,040	-,118	-,647*	-,003	,363	,243	-,241
Srmin/DTROAR	-,160	-,081	,052	-,043	,290	,245	,328	-,587*	,000	,483	-,366
DIST	-,128	-,206	,203	,116	-,259	,094	,187	,591	-,165	,629*	-,057
SRMAX/DTROAR	-,066	-,207	,133	-,221	,541	,081	-,045	,109	-,035	,022	,756*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Tabella 23 - Matrice di Struttura: Correlazione tra le funzioni discriminanti individuate dall'analisi e le variabili del nostro sistema. Gli asterischi indicano quali variabili spiegano le funzioni discriminanti.

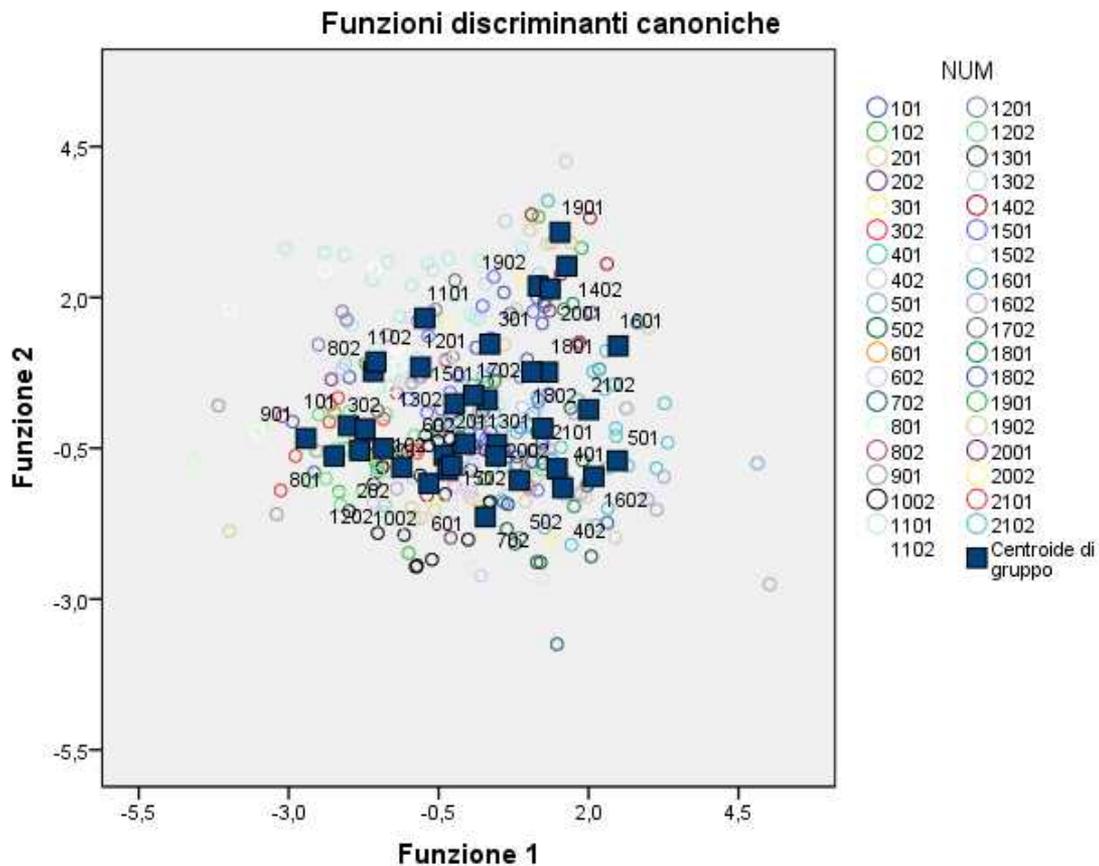


Figura 36 – Grafico delle prime due funzioni discriminanti estrapolate dalla DFA4. I cerchi di colore diverso rappresentano le vocalizzazioni di ogni individuo, i quadrati indicano i centroidi (medie individuali).

3.3.5 Discriminant Function Analysis 5

Per l'Analisi Discriminante 5 sono stati impiegati tutti i dati a disposizione e cioè i roar di tutte le tipologie, considerati insieme, emessi da ogni individuo. I gruppi sono quindi 23. Consideriamo le prime 3 funzioni discriminanti (che spiegano il 74,4% della varianza): la prima funzione è spiegata da DTBOUT e DTROAR, la seconda da F0f e F0MAX, la terza da F0min e F0mean. La percentuale media di riattribuzione corretta risulta essere pari al 42%.

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	,478 ^a	30,1	30,1	,569
2	,395 ^a	24,9	55,0	,532
3	,308 ^a	19,4	74,4	,485
4	,141 ^a	8,9	83,3	,352
5	,092 ^a	5,8	89,1	,290
6	,065 ^a	4,1	93,2	,247
7	,046 ^a	2,9	96,1	,210
8	,036 ^a	2,2	98,3	,185
9	,015 ^a	1,0	99,3	,123
10	,007 ^a	,4	99,7	,080
11	,005 ^a	,3	100,0	,069

a. First 11 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Tabella 24 - Eigenvalues. Contributo di ciascuna delle 11 funzioni discriminanti utilizzate nell'analisi. La colonna Eigenvalue (autovalore) riporta il potere discriminante di ogni funzione. Dalla colonna % of Variance otteniamo il contributo in percentuale di ogni funzione alla discriminazione finale. La somma dei contributi individuali è riportata nella Colonna cumulative %. L'ultima colonna, Canonical Correlation, riporta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione discriminante.

Structure Matrix

	Function										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dtbout	,667*	,560	,311	,071	-,131	,331	,055	,004	-,042	,070	,058
Dtroar	,578*	-,383	,058	-,387	,295	-,267	-,293	,238	,168	,133	,139
F0f	-,194	,547*	-,296	,024	,390	,054	-,419	,411	,069	,172	,205
F0MAX	-,140	,473*	-,066	-,408	,175	-,291	-,180	,434	,439	-,179	,161
F0min	,046	,367	-,791*	,102	,042	,318	,076	-,029	,337	-,071	-,006
F0mean	,040	,537	-,570*	,042	,080	-,356	-,034	,275	,348	-,121	,198
F0i	,014	,441	-,322	-,295	,525*	-,213	,392	-,166	,293	-,161	,015
Range/DTROAR	-,296	,238	,286	,168	,082	,003	,348	,755*	-,027	-,215	,011
Srmin/DTROAR	,130	-,118	,320	,228	,370	,002	-,052	-,312	,453	-,589*	,160
SRMAX/DTROAR	-,098	,008	,304	,314	,040	,002	-,441	,322	,465	,515*	-,133
Dist	,243	,041	,192	-,232	-,091	,090	,107	-,017	,282	,315	,801*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Tabella 25 - Matrice di Struttura: Correlazione tra le funzioni discriminanti individuate dall'analisi e le variabili del nostro sistema. Gli asterischi indicano quali variabili spiegano le funzioni discriminanti.

Classification Results*

Original	Count	ID	Predicted Group Membership																				Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	22	
1	15	1	5	0	0	0	3	1	3	11	2	0	8	0	1	1	0	1	0	1	0	1	54
2	0	11	3	1	3	0	4	1	5	2	4	0	4	0	5	1	2	4	3	0	2	55	
3	1	1	28	1	0	1	1	0	6	2	0	0	6	0	0	0	2	0	3	3	2	57	
4	0	1	0	48	10	1	0	0	0	9	0	0	1	0	2	9	1	7	2	1	6	98	
5	0	1	0	4	20	0	3	0	0	5	0	1	0	0	1	3	0	1	4	0	0	43	
6	4	3	0	3	5	1	4	0	0	4	2	0	2	0	7	1	0	1	5	1	2	45	
7	0	0	0	0	0	0	17	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	21	
8	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
9	0	0	1	0	0	0	0	1	42	0	1	1	2	0	0	2	0	1	7	0	0	58	
10	1	2	3	1	0	0	2	0	17	36	0	0	5	0	4	1	0	2	0	0	1	75	
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
12	4	6	7	7	1	0	9	2	9	3	9	2	13	0	5	5	1	6	3	5	8	105	
13	1	3	1	0	1	0	2	2	5	1	4	0	24	0	2	1	1	4	4	1	5	62	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9	
15	0	0	0	2	2	1	9	3	2	5	3	0	1	1	19	4	1	1	0	0	2	56	
16	0	1	0	0	3	0	3	3	0	7	0	0	1	0	1	23	0	1	5	0	3	51	
17	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	20	0	0	0	0	24	
18	5	0	0	1	4	0	1	3	2	2	0	0	4	1	1	6	1	13	11	6	6	67	
21	0	1	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	24	1	3	35	
22	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	2	19	0	25	
23	0	0	0	1	1	0	1	2	3	1	1	0	3	0	0	5	0	1	1	0	43	63	
%	1	27,8	1,9	9,3	,0	,0	,0	5,6	1,9	5,6	20,4	3,7	,0	14,8	,0	1,9	1,9	,0	1,9	,0	1,9	100,0	
	2	,0	20,0	5,5	1,8	5,5	,0	7,3	1,8	9,1	3,6	7,3	,0	7,3	,0	9,1	1,8	3,6	7,3	5,5	,0	3,6	100,0
	3	1,8	1,8	49,1	1,8	,0	1,8	1,8	,0	10,5	3,5	,0	,0	10,5	,0	,0	3,5	,0	5,3	5,3	3,5	3,5	100,0
	4	,0	1,0	,0	49,0	10,2	1,0	,0	,0	,0	9,2	,0	,0	1,0	,0	2,0	9,2	1,0	7,1	2,0	1,0	6,1	100,0
	5	,0	2,3	,0	9,3	46,5	,0	7,0	,0	,0	11,6	,0	2,3	,0	,0	2,3	7,0	,0	2,3	9,3	,0	,0	100,0
	6	8,9	6,7	,0	6,7	11,1	2,2	8,9	,0	,0	8,9	4,4	,0	4,4	,0	15,6	2,2	,0	2,2	11,1	2,2	4,4	100,0
	7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	81,0	,0	4,8	,0	4,8	,0	,0	4,8	,0	4,8	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	8	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	9	,0	,0	1,7	,0	,0	,0	,0	1,7	72,4	,0	1,7	3,4	,0	,0	3,4	,0	1,7	12,1	,0	,0	,0	100,0
	10	1,3	2,7	4,0	1,3	,0	,0	2,7	,0	22,7	48,0	,0	,0	6,7	,0	5,3	1,3	,0	2,7	,0	,0	1,3	100,0
	11	,0	,0	,0	,0	,0	,0	14,3	,0	,0	,0	85,7	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	12	3,8	5,7	6,7	6,7	1,0	,0	8,6	1,9	8,6	2,9	8,6	1,9	12,4	,0	4,8	4,8	1,0	5,7	2,9	4,8	7,6	100,0
	13	1,6	4,8	1,6	,0	1,6	,0	3,2	3,2	8,1	1,6	6,5	,0	38,7	,0	3,2	1,6	1,6	6,5	6,5	1,6	8,1	100,0
	14	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	15	,0	,0	,0	3,6	3,6	1,8	16,1	5,4	3,6	8,9	5,4	1,8	1,8	33,9	7,1	1,8	1,8	,0	,0	,0	3,6	100,0
	16	,0	2,0	,0	,0	5,9	,0	5,9	5,9	,0	13,7	,0	,0	2,0	,0	2,0	45,1	,0	2,0	9,8	,0	5,9	100,0
	17	4,2	4,2	4,2	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	4,2	,0	,0	,0	83,3	,0	,0	,0	,0	100,0
	18	7,5	,0	,0	1,5	6,0	,0	1,5	4,5	3,0	3,0	,0	,0	6,0	1,5	1,5	9,0	1,5	19,4	16,4	9,0	9,0	100,0
	21	,0	2,9	,0	,0	,0	,0	5,7	5,7	,0	2,9	,0	,0	,0	,0	2,9	,0	,0	68,6	2,9	8,6	100,0	
	22	,0	,0	,0	4,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	,0	4,0	8,0	,0	8,0	76,0	,0	,0	100,0
	23	,0	,0	,0	1,6	1,6	,0	1,6	3,2	4,8	1,6	1,6	,0	4,8	,0	,0	7,9	,0	1,6	1,6	,0	68,3	100,0

a. 42,0% of original grouped cases correctly classified.

Tabella 26 - Classification Results. Lungo la diagonale le vocalizzazioni correttamente attribuite all'individuo che le ha emesse.

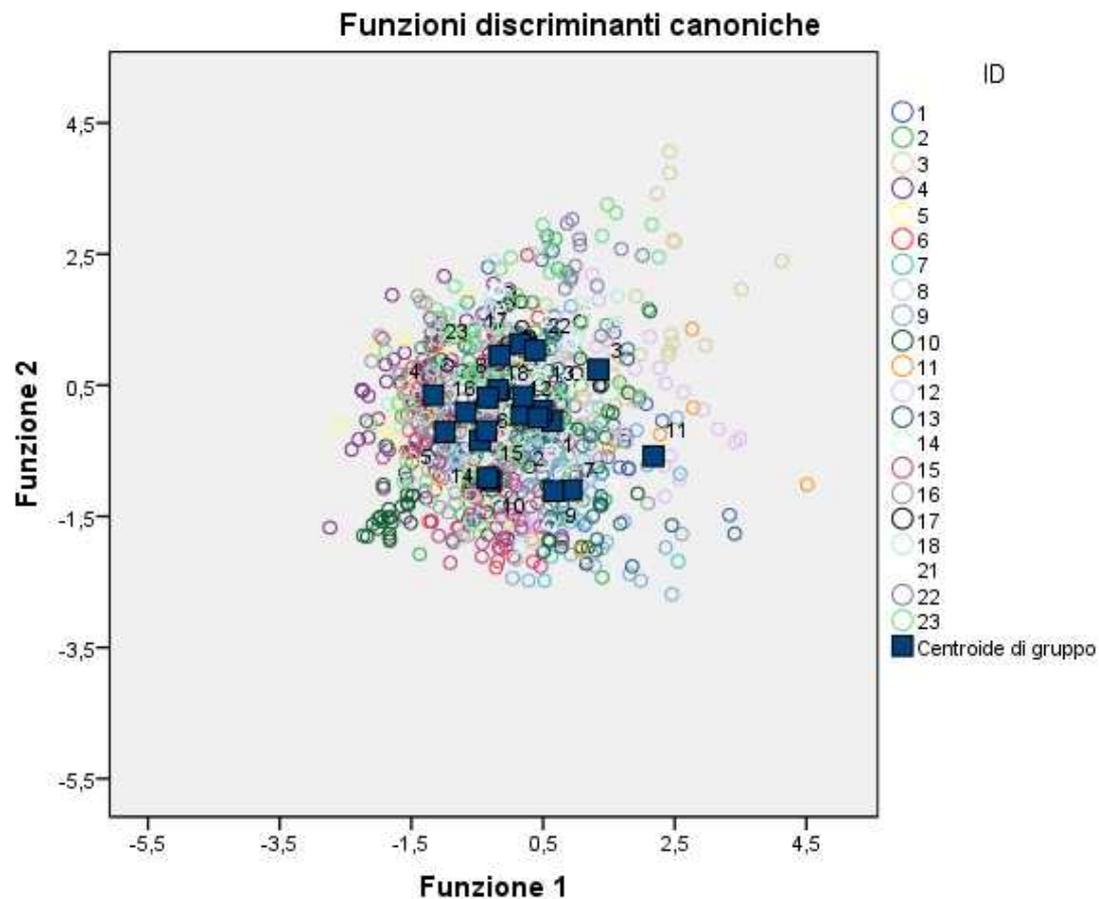


Figura 37 – Grafico delle prime due funzioni discriminanti estrapolate dalla DFA5. I cerchi di colore diverso rappresentano le vocalizzazioni di ogni individuo, i quadrati indicano i centroidi (medie individuali).

3.3.6 Discriminant Function Analysis 6

Per l'ultima DFA abbiamo utilizzato il data set della DFA5, però separando i roar. Ciò ha fatto in modo che risultassero 71 individui.

Dalla tabella degli Eigenvalues andiamo a considerare le prime 4 funzioni discriminanti, quelle che spiegano il 78,5% della varianza.

Dalla tabella 28 notiamo che la prima funzione è spiegata dalla variabile DTROAR, la seconda da DTBOUT, la terza da F0MAX, la quarta da F0mean, F0min e F0f.

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,841 ^a	37,7	37,7	,805
2	,964 ^a	19,8	57,5	,701
3	,565 ^a	11,6	69,1	,601
4	,462 ^a	9,5	78,5	,562
5	,254 ^a	5,2	83,7	,450
6	,199 ^a	4,1	87,8	,407
7	,188 ^a	3,8	91,7	,397
8	,134 ^a	2,8	94,4	,344
9	,112 ^a	2,3	96,7	,317
10	,095 ^a	2,0	98,7	,295
11	,066 ^a	1,3	100,0	,248

a. First 11 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Tabella 27 - Eigenvalues. Contributo di ciascuna delle 11 funzioni discriminanti utilizzate nell'analisi. La colonna Eigenvalue (autovalore) riporta il potere discriminante di ogni funzione. Dalla colonna % of Variance otteniamo il contributo in percentuale di ogni funzione alla discriminazione finale. La somma dei contributi individuali è riportata nella Colonna cumulative %. L'ultima colonna, Canonical Correlation, riporta il grado di associazione tra i gruppi e la funzione discriminante.

Structure Matrix

	Function										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dtroar	,865*	,151	-,277	-,009	,317	,177	-,067	,084	-,007	,047	-,078
Dtbout	,059	,670*	,402	-,495	-,126	,161	-,142	,040	-,179	,211	,011
F0MAX	,147	-,013	,626*	,482	,258	,299	-,086	,182	,381	,014	-,113
F0mean	-,033	,358	,366	,769*	,129	,139	,219	,008	,154	,098	-,166
F0min	-,287	,501	-,078	,687*	-,096	,029	-,109	,363	,097	,153	,039
F0f	-,074	,101	,443	,496*	,291	,313	,061	,463	-,334	-,168	-,055
F0i	-,052	,223	,281	,441	,495*	-,377	-,201	,093	,287	,395	-,010
Srmin/DTROAR	,168	-,031	,095	-,213	-,153	-,532*	,235	,476	,335	,242	-,397
Range/DTROAR	-,259	-,154	,331	-,208	,415	,522*	,401	,071	,347	,070	-,143
Dist	,267	-,003	,172	-,021	-,210	,306	-,197	,001	-,280	,792*	-,126
SRMAX/DTROAR	,181	-,151	,241	-,041	-,185	,281	,479	,412	-,180	-,138	,567*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Tabella 28 - Matrice di Struttura: Correlazione tra le funzioni discriminanti individuate dall'analisi e le variabili del nostro sistema. Gli asterischi indicano quali variabili spiegano le funzioni discriminanti.

La percentuale media di corretta riattribuzione è pari al 13,9%. Dal grafico delle Funzioni Canoniche possiamo vedere come tutti i dati siano fortemente sovrapposti, eccetto il centroide indicato con il numero 304. Questo centroide corrisponde alla media di 4 vocalizzazioni Harsh dell'animale 3.

CAPITOLO IV

DISCUSSIONE

Per la nostra ricerca sono state analizzate le emissioni sonore (Bramiti) di maschi adulti di Cervo (*Cervus elaphus*) dell'Appennino Tosco-Emiliano. Sono stati presi in considerazione sia animali provenienti da allevamenti (A) che animali registrati in natura (S) durante le sessioni ufficiali di censimento al bramito. Attraverso l'analisi statistica dei dati ottenuti dall'analisi acustica, abbiamo notato che, per quasi tutte le variabili spettro-temporali analizzate, non vi sono differenze significative tra gli animali appartenenti alla classe A e quelli appartenenti alla classe S. Al contrario, differenze fortemente significative le abbiamo riscontrate mettendo a confronto i diversi individui, senza distinzione di provenienza. Abbiamo quindi condotto le nostre successive analisi statistiche considerando i vari individui distintamente, senza separazioni in base alla provenienza (Allevamento oppure Selvatico).

Anche il Ratio Coefficiente di Variazione (CV) nella Popolazione ha presentato valori più alti rispetto ai Ratio calcolati per gli Allevati o per i Selvatici. Il rapporto tra il CV della Popolazione rispetto al CV medio degli individui ci dà una misura dell'individualità delle vocalizzazioni (Bocci *et al.*, 2012) e la considerazione che la variabilità tra individui deve essere maggiore di quella intra-individuale diventa un prerequisito fondamentale per il riconoscimento individuale (Seddon & Tobias, 2010).

Dalle registrazioni effettuate sono state catalogate 6 tipologie diverse di roar, a differenza di Favaretto *et al.* (2006) che ne identificano 8. Queste tipologie mostrano variabilità per quanto riguarda le caratteristiche spettro-temporali (combinazioni di durata e di diversi range della Frequenza Fondamentale), la presenza o assenza di fenomeni non-lineari (segmenti Harsh e/o presenza di subarmoniche) e la percentuale di presenza dei singoli tipi di roar all'interno delle registrazioni.

Le differenze delle medie delle variabili spettro-temporali sono altamente significative per le diverse tipologie di roar, come dimostra la tabella 11 e i grafici delle figure 22 – 32, e come riportato anche da Passilongo *et al* (2013) riferito al Cervo iberico (*Cervus elaphus hispanicus*, sottospecie di *C. elaphus*). Pertanto è stato scelto di differenziare le successive analisi in base ai diversi tipi di roar e alla loro posizione all'interno del bout.

Per le varie Discriminant Analysis condotte, (DFA) abbiamo modificato di volta in volta i diversi parametri, quali la diversa tipologia di roar e il numero minimo di roar per individuo. La DFA che, nei nostri studi, ha un maggior potere discriminante è la DFA1, ottenuta con i seguenti parametri: 6 individui, solo il primo Common roar, almeno 10 vocalizzazioni per individuo. Con questo data set abbiamo raggiunto il 70,4% di corretta riassegnazione delle vocalizzazioni al giusto individuo. Questa percentuale è decisamente maggiore di quella raggiunta in maniera casuale che, per 6 animali e 79 bramiti, è del 16,6% (Passilongo *et al*, 2013). Risultati simili di corretta riattribuzione sono stati raggiunti anche

da Bocci *et al.* (2012) sempre per il Cervo Nobile, Passilongo *et al.* (2013) per il Cervo Iberico, Reby *et al.* (1998) per il Daino.

Per le successive DFA (2-6) abbiamo ampliato il numero di individui o la tipologia di roar, oppure abbiamo diminuito il numero minimo di roar per ciascun animale. In questi casi le percentuali di corretta riattribuzione sono state modeste (massimo il 55,9%, risultato simile a quello raggiunto da Vannoni & McElligot (2007) nello studio sul Daino, pari a 53,6%).

	% MEDIA di corretta riattribuzione dei roar	%MINIMA di corretta riattribuzione dei roar	%MASSIMA di corretta riattribuzione dei roar
DFA1	70,4	54,2	100
DFA2	55,6	20,8	100
DFA3	55,9	4,3	100
DFA4	1,1	0	100
DFA5	42	1,9	100
DFA6	13,9	0	100

Tabella 29 - La percentuale media, minima e massima di corretta riattribuzione dei roar al giusto emettitore, per ogni Discriminant Function Analysis (DFA) effettuata.

Nel nostro studio, inoltre, le riattribuzioni errate non sono mai state assegnate ad un unico individuo ma sono state attribuite a più soggetti, tranne nel caso dell'animale 10 (DFA1): riattribuzione corretta 90%, riattribuzione errata, assegnata ad un unico individuo, 10%.

Per quanto riguarda quindi il raggiungimento della più alta corretta riattribuzione, è fondamentale che vengano prese in considerazione le stesse tipologie di roar per ogni individuo, come nella DFA1, per rendere il meno dispersivi possibile gli intervalli delle nostre variabili.

Un altro fattore importante è il numero minimo di roar per individuo che, nella DFA1 risulta essere pari a 10. Nelle DFA con pochi roar per individuo, gli animali con un numero limitato di roar danno sempre una sorta di “disturbo” al sistema, poiché, avendo pochi roar di esempio ed essendo poco caratterizzati, non vengono riconosciuti come un gruppo a parte e i loro roar possono facilmente essere confusi con i roar degli altri animali, come l'individuo 3 nella DFA2 (con 2 roar analizzati) oppure l'individuo 8 nella DFA3 (con 3 roar analizzati). Sempre nelle DFA con pochi roar per individuo, le percentuali errate attribuite ad altri individui raggiungono valori anche più alti delle percentuali di corretta riassegnazione, ad esempio nella DFA2 per l'individuo 2: riassegnazione corretta 0%, riassegnazione errata attribuita ad un altro individuo 31,6%.

ID dell'animale	% riattribuzione corretta con DFA1	% massima di riattribuzione errata ad un altro soggetto, con DFA1	% riattribuzione corretta con DFA2	% massima di riattribuzione errata ad un altro soggetto, con DFA2	% riattribuzione corretta con DFA3	% massima di riattribuzione errata ad un altro soggetto, con DFA3	Numero di vocalizzazioni per individuo
2	57,9	15,8	0	31,6	4,3	43,5	19
4	100	0	100	0	75,9	10,3	13
7	80	10	100	0	84,6	7,7	10
9	68,8	18,8	59,4	15,6	53,3	17,8	32
10	90	10	100	0	46,2	11,5	10
12	54,2	16,7	20,8	25	29,7	32,4	24

Tabella 30 - Confronto, per gli stessi soggetti, fra le percentuali di corretta riattribuzione attraverso la DFA1, DFA2 e DFA3. Confronto fra le percentuali massime di riattribuzione errata ad un altro soggetto, che non sia quello analizzato, attraverso la DFA1, DFA2 e DFA3.

Le variabili spettro-temporali considerate nella nostra ricerca riguardano le durate dei bout e dei roar, gli intervalli tra roar e le caratteristiche acustiche legate ai valori della Frequenza Fondamentale F0.

Le funzioni canoniche emerse dalle DFA, soprattutto dalle prime DFA come riportato in tabella 31 utilizzano un insieme di variabili e l'aspetto più interessante è dato dalla predominanza della variabile Range/Dtroar. È una variabile che unisce le caratteristiche della F0 (il Range) alle caratteristiche di durata del roar e questo è un ulteriore passo avanti rispetto agli studi di Favaretto et al. (2006), nei quali vengono utilizzate le variabili temporali e le Formanti 3 e 4 per la DFA, e agli studi di Passilongo et al. (2013) nei quali le funzioni sono spiegate dalle variabili legate ai valori della F0 e delle Formanti.

Un'altra variabile che spiega le funzioni delle nostre DFA è la F0min, cioè il valore di frequenza più basso raggiunto dalla Fondamentale. Questa variabile, secondo Reby & McComb, (2003a), mostra una correlazione positiva con l'indice di successo riproduttivo. È possibile che nel Cervo i maschi più forti, e quindi con una maggiore capacità polmonare e con muscoli pettorali più sviluppati, siano quelli in grado di produrre pressioni subgottali maggiori. L'aumento della pressione subglottale si traduce in un aumento dei valori della Frequenza Fondamentale e quindi anche della F0min, che sembra essere positivamente correlata al successo riproduttivo dei maschi adulti di Cervo, al contrario delle previsioni. Reby & McComb, (2003a) suggeriscono quindi che ci siano diversi

fattori, in contrasto fra loro, alla base dell'alta variabilità nei valori della F0 osservata nei Cervi adulti: la F0 può diminuire all'aumentare della lunghezza delle corde vocali ma, allo stesso tempo, può essere positivamente correlata con fattori quali la pressione subglottale, che è maggiore in animali più forti, di taglia grande e alto successo riproduttivo.

Inoltre le basse frequenze, e la F0 è la più bassa, possono essere trasmesse per lunghe distanze (Garstang *et al*, 1995; Laiolo 2012) e ciò ci lascia ipotizzare che l'utilizzo della F0 e del suo valore minimo, in particolare, possano avere un ruolo funzionale nel trasmettere un messaggio anche a competitori non proprio vicini.

	DFA1	DFA2	DFA3	DFA4	DFA5	DFA6
Funzione 1	Range/DTroar	Range/DTroar	Range/DTroar DTroar	DTroar	DTroar DTbout	DTroar
Funzione 2	F0min	F0min DTroar F0mean	F0min F0mean	Range/DTroar F0min	F0f F0MAX	DTbout
Funzione 3	-	DTbout	DTbout	F0min DTbout	F0min F0mean	F0MAX
Funzione 4	-	-	-	F0i	-	F0min F0mean F0f

Tabella 31 - Le variabili che caratterizzano le varie funzioni discriminanti per le diverse DFA calcolate.

Esempi di “Individual Recognition” si possono trovare anche in altre specie e addirittura in altre classi. Tra i mammiferi ricordiamo: *Loxodonta africana* (McComb *et al.* 2003, Soltis *et al.* 2005), *Ateles geoffroyi* (Chapman & Weary 1990), *Microcebus murinus* (Zimmerman & Lerch 1993), *Suricata suricatta* (Manser *et al.* 2011), *Tursiops truncatus* (Sayigh *et al.* 1998; King *et al.* 2013). Per la Classe Aves: *Strix aluco* (Galeotti & Pavan 1991), *Pygoscelis adeliae*, *Eudyptes chrysolophus*, *Aptenodytes forsteri*, *Aptenodytes patagonicus* (Lengagne *et al.* 1997)

Con la presente ricerca è stato possibile riassegnare in maniera corretta, con una media del 70,4%, la vocalizzazione al soggetto che l'aveva prodotta. Questo risultato è stato raggiunto utilizzando la Discriminant Analysis e, soprattutto, utilizzando un data set il più restrittivo possibile e cioè considerando soltanto il primo Common roar (per una omogeneità dei dati a disposizione), solo parametri acustici collegati alla Frequenza Fondamentale (quindi caratteristiche legate all'anatomia dell'animale) e confrontando fra loro animali con almeno 10 vocalizzazioni, ovviamente Common, prodotte da ciascuno (per avere a disposizione un buon numero di campioni per ogni animale).

CONCLUSIONI

La nostra ricerca nasce con l'intento di fornire una metodologia da affiancare alle tecniche di censimento al bramito, attualmente intrapreso in ambiente alpino e appenninico. Come già descritto, il censimento al bramito può essere utilizzato in sinergia con altri metodi di conteggio, pur presentando molti limiti di attuazione.

Attraverso le nostre analisi acustiche e il supporto della bioacustica, abbiamo cercato di individuare delle caratteristiche acustiche nelle emissioni vocali dei cervi che potessero aiutare nella discriminazione e, eventualmente, nel riconoscimento individuale di maschi in bramito. Da studi effettuati su varie specie di mammiferi, in primis *Homo sapiens*, si è scoperto che la voce possiede delle caratteristiche individuali tali per cui un soggetto può essere distinto dai suoi con specifici tramite determinate analisi effettuate sulle emissioni vocali.

Tra le differenti analisi effettuate, abbiamo riscontrato che la variabile più efficace nella discriminazione tra le vocalizzazioni dei vari soggetti analizzati, è rappresentata dal Range/DTRoar. Con questa sigla indichiamo un valore che racchiude caratteristiche acustiche (Range, differenza tra Frequenza Fondamentale massima e minima) e caratteristiche temporali (Durata totale del roar). Utilizzando questo fattore e una particolare tecnica di analisi statistica, Discriminant Function Analysis, abbiamo raggiunto una percentuale di riattribuzione delle vocalizzazioni analizzate ai

corretti caller, del 70,4%. Per raggiungere questa percentuale abbiamo analizzato solo un tipo di roar, rispetto alle 6 tipologie individuate, e abbiamo messo a confronto soltanto 6 individui poiché erano gli unici ad aver prodotto almeno 10 vocalizzazioni del tipo analizzato. Per studi futuri, possiamo ipotizzare che, aumentando il numero di soggetti a disposizione, sarà possibile raggiungere una percentuale di riattribuzione maggiore.

Una volta individuata la migliore composizione di variabili e raggiunta una elevata percentuale di riattribuzione, si potrebbero applicare questi studi di bioacustica a supporto del censimento al bramito. Utilizzando l'analisi acustica delle registrazioni delle vocalizzazioni, si potrebbero riconoscere individualmente gli animali che bramiscono e quindi si potrà utilizzare questo metodo per analizzare dati raccolti in più sessioni di registrazione. Infatti, attraverso il riconoscimento individuale sarà possibile distinguere, nelle diverse registrazioni, tutti i maschi che hanno partecipato alle competizioni vocali e che sono stati registrati.

La raccolta dati del censimento al bramito deve essere eseguita durante il periodo di picco dell'attività dei maschi, ma spesso per motivi logistici, pratici o legati alla reperibilità degli operatori, viene effettuata in momenti diversi e comunque i dati riguardano una notte soltanto. Attraverso l'utilizzo delle registrazioni, potrebbe essere possibile ottenere informazioni sulla presenza di maschi adulti durante tutto il periodo riproduttivo, allestendo dei registratori nei pressi delle arene di bramito, in maniera tale da ottenere dati durante l'intera stagione del bramito e

non soltanto in determinate notti.

La strumentazione potrà essere automatizzata o fornita di controllo remoto, e quindi si potrà limitare l'impiego di personale per garantire il funzionamento della strumentazione. Inoltre, come già sperimentato in altri ambiti della bioacustica, si potrebbe mettere a punto un algoritmo che, automaticamente, riesca a distinguere i bramiti in base al caller.

Con l'analisi acustica a supporto del censimento al bramito, potranno essere eliminati anche altri fattori negativi della tecnica, quali la soggettività dell'operatore. Molto spesso i volontari che partecipano al censimento sono poco preparati o fanno troppo affidamento sulle loro capacità di discriminazione. In questi casi, subentra una certa soggettività che rischia di falsare i dati ottenuti, causando una certa sotto- o sovrastima degli animali presenti. Introducendo un metodo obiettivo e scientifico, si potrebbe raggiungere un livello più accurato delle dimensioni numeriche effettive di maschi adulti presenti nell'area.

La distinzione individuale degli animali potrebbe essere molto importante per valutare la consistenza annuale di popolazione. Inoltre, se si riuscisse anche ad individuare caratteristiche della voce stabili nel tempo, si potrebbero utilizzare per riconoscere i maschi in bramito di anno in anno e, eventualmente, ricostruire spostamenti e dispersione della specie da un anno all'altro.

Le potenzialità della bioacustica sono numerose e soprattutto vanno incontro a molte esigenze di gestione della fauna.

Auspichiamo che il nostro studio possa essere di partenza per una messa a punto di un sistema automatizzato di distinzione individuale in base alle emissioni sonore e che possa contribuire alla ricerca di una impronta vocale individuale.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare le persone che in questi anni importanti e formativi mi sono state accanto a livello professionale e personale.

Ringrazio, innanzitutto, la Dott.ssa Ponzetta per aver messo a disposizione la strumentazione e i fondi per portare avanti questa ricerca; i professori, il personale e i tecnici del DISPAA, in particolare la Prof.ssa Poli, per la sua disponibilità e la Prof.ssa Parisi per la sua vicinanza e comprensione.

Il Prof. Franci e il Prof. Beneddelli per il loro fondamentale aiuto nelle analisi statistiche.

La Dott.ssa Bocci, Anna, senza la quale tutto sarebbe stato meno produttivo, stimolante, interessante. La ringrazio per l'immenso aiuto che mi ha dato, per la sua infinita pazienza e voglia di mettersi a disposizione.

Il Prof. Pavan che ha contribuito in maniera fondamentale alla mia preparazione nel campo della Bioacustica.

Ringrazio la Dott.ssa Crocetti, il Dott. Cervasio, la Dott.ssa Maccelli, la Dott.ssa Becciolini, il Dott. Sanna e il Dott. Chiti per l'aiuto, il supporto e i bei momenti trascorsi in questi anni.

Il personale e i custodi degli allevamenti per la loro disponibilità e per aver condiviso con me la loro esperienza sui cervi.

Ringrazio chi, con il suo cattivo esempio, mi ha comunque insegnato qualcosa.

Ringrazio la mia grande e splendida famiglia: ognuno di loro ha partecipato in maniera creativa, costruttiva, pratica e teorica a questo lavoro di ricerca.

Gli amici, sempre presenti, curiosi e interessati.

Il ringraziamento più importante va ai miei Cucciolotti-tti, che hanno accompagnato la loro mamma negli ultimi 8 mesi di stesura della tesi, dando ancora più importanza e valore a questo periodo magico

Un pensiero speciale va a tutti coloro che non ci sono più e grazie ai quali io sono arrivata fin qui....

BIBLIOGRAFIA

AERTS J.M., WHATES C.M. & BERKMANS D. 2003. Dynamic data-base modelling of heat production and growth of broiler chickens: development of integrated management system. *Biosystem Engineering* 84 (3): 257-266.

ALBARET M., LARTIGES A. & PEROUX R. 1989. Recensements des cerfs au brame. Essais réalisés sur la Pinatelle d'Allanche (Cantal). *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse* 132: 21-26.

ANDERSON D.R. 2001. The need to get the basics right in wildlife field studies. *Wildlife Society Bulletin* 29(4): 1294-1297.

ANDRICH C. 2008. Ricerche etologiche sul cervo all'inizio del periodo riproduttivo nella Foresta del Cansiglio. Lo scambio di individui tra arene di bramito. Tesi di laurea specialistica in Scienze e tecnologie agrarie. Università degli Studi di Padova.

APOLLONIO M. 2004. Gli ungulati in Italia: status, gestione e ricerca scientifica. *Hystrix It. J. Mamm.* (n.s.) 15(1): 21-34.

APOLLONIO M. 1996. Evoluzione delle attività antropiche e dell'ambiente in aree appenniniche in relazione al lupo. *Atti del Convegno Nazionale sul Lupo. Serie Atti e Studi WWF Italia* 10: 49-58.

BARDELI R., WOLFF D. & CLAUSEN M. 2008. Bird song recognition in complex audio scenes. *In*: FROMMOLT K.H., BARDELI R. & CLAUSEN M. (Eds). International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical pattern. *Federal Agency for Nature Conservation, International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm. BfN-Skripten 234*: 93-102.

BART J. 2005. Monitoring the abundance of bird populations. *The Auk* 122: 15-25.

BERNASCONI L. 2005. Effetti di differenti tecniche di utilizzazione sulle caratteristiche di alcuni pascoli della Foresta del Cansiglio e sul comportamento degli ungulati selvatici che li frequentano. Tesi di laurea specialistica in Scienze e tecnologie agrarie. Università di Padova.

BERRETTI R. e MOTTA R., 2005 - Ungulati selvatici e foresta. I danni prodotti alla rinnovazione forestale del Parco. Ente Parco Naturale Paneveggio-Pale di San Martino. Tipolitografia TEMI - Trento.

BOBEK B., PERZANOWSKI K. & ZIELINSKI J. 1986. Red deer population census in mountains: testing of an alternative method. *Acta theriologica* 31: 423-431.

BOBEK B.K., PERZANOWSKI K. & ZIELINSKI J. 1986. Red deer population census in mountains: testing of an alternative method. *Acta Theriologica* 31: 423-431.

BOCCI A., TELFORD M. & LAIOLO P. 2012. Determinants of the acoustic behaviour of red deer during breeding in a wild alpine population, and implications for species survey. *Ethology, Ecology & Evolution* 25: 1-18

BOITANI L., LOVARI S. e VIGNA TAGLIANTI A. 2003. Fauna d'Italia. Mammalia III. Carnivora-Arctiodactyla. Calderini Editore.

BOWYER R.T. & KITCHEN D.W. 1987. Sex and age-class differences in vocalization of Roosevelt elk during rut. *American Midland Naturalist* 118: 225-235.

BRANDES T.S. 2005. Acoustic monitoring protocol. Tropical ecology, assessment, and monitoring (team) network. Version 2.1.: 15 pp.
[<http://www.teamnetwork.org/files/protocols/amphibian/TEAMAcoustic-PT-EN>]

BRILLET C. & PAILLETTE M.G. 1991. Acoustic signals of the nocturnal lizard *Gekko gecko*. Analysis of the long complex sequence. *Bioacoustics* 3: 33-44.

CARNEVALI L., PEDROTTI L., RIGA F. e TOSO S., 2009 - Banca Dati Ungulati: *Status*, distribuzione, consistenza, gestione e prelievo venatorio delle popolazioni di Ungulati in Italia. Rapporto 2001-2005. Biol. Cons. Fauna, 117:1-168 [Italian-English text] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

CASINI L., SANTOLINI R., SEMERARO G., 1988 - Il popolamento animale: i Vertebrati pp 210-213 in Santolini R. (a cura di), La Valle del Marecchia

CAUDULLO G., DE BATTISTI R., COLPI C., VAZZOLA C. & DA RONCH F. 2003. Ungulate damage and silviculture in the Cansiglio Forest (Veneto Prealps, NE Italy). *Journal for Nature Conservation*, 10 (4): 233-241.

CHAPMAN C.A. & WEARY D.M. 1990. Variability in spider monkeys' vocalisations may provide basis for individual recognition. *American Journal of Primatology* 22: 279-284.

CHARLTON B.D., McCOMB K. & REBY D. 2008. Free-ranging red deer hinds show greater attentiveness to roars with formant frequencies typical of young males. *Ethology* 14: 1023-1031.

CHARLTON B.D., REBY D. & McCOMB K. 2007a. Female red deer prefer the roars of larger males. *Biology Letters* 3: 382-385.

CHARLTON B.D., REBY D. & McCOMB K. 2007b. Female perception of size-related formant shifts in red deer, *Cervus elaphus*. *Animal Behaviour* 74 (4): 707-714.

CHIARUCCI A. E LOVARI S. 2007. Biologia della conservazione. *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*.

CHITI M. 2012. Analisi bioacustica del bramito: studio preliminare di un metodo di supporto per il monitoraggio del Cervo (*Cervus elaphus*). Tesi di laurea, corso di laurea di 1° livello in Scienze Faunistiche, Facoltà di Agraria, Università degli studi di Firenze.

CICOGNANI L. e GUALAZZI S. 2002. I Cervi nel Parco. Status, biologia e ecologia della popolazione di Cervo dell'Appennino tosco-romagnolo. Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi M.te Falterona e Campigna, Collana: *I Quaderni del Parco*: 36 pp.

CIUCCI P., CATULLO G. & BOITANI L. 2009. Pitfalls in using counts of roaring stags to index red deer (*Cervus elaphus*) population size. *Wildlife research* 36: 126-133.

CIUCCI P., CATULLO G. & BOITANI L. 2009. Pitfalls in using counts of roaring stags to index red deer (*Cervus elaphus*) population size. *Wildlife Research* 36: 126-133.

CLUTTON-BROCK T. H. & ALBON S. D. 1979. The roaring of red deer and the evolution of honest advertisement. *Behaviour* 69: 145-170.

CLUTTON-BROCK T. H., GUINNESS F. E. & ALBON S. D. 1982. Red Deer. Behaviour and Ecology of two sexes. *Univ. of Chicago e Edimburgh University Press*, Edimburgh.

CLUTTON-BROCK T.H. 1989. Mammalian mating system. *Proceeding of the Royal Society of London (B)* 236: 339-372.

CLUTTON-BROCK T.H., IASON G.R. & GUINNESS F.E. 1987. Sexual segregation and density related changes in habitat use in male and female red deer (*Cervus elaphus*). *Journal of Zoology* 211: 275-289.

CLUTTON-BROCK T.H., ROSE K.E. & GUINNESS F.E. 1997. Density-related changes in sexual selection in red deer. *Proceedings Royal Society London. Biological Series* 264: 1509-1516.

COCHRAN W.G. 1977. Sampling techniques (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

COCROFT, R.B. & MCNETT, G.D. 2006. Vibrational communication in treehoppers (Hemiptera: Membracidae). In Drosopoulos S. & Claridge M.F. (Eds). Insect sounds and communication: Physiology, behaviour, ecology, and evolution. *Taylor & Francis Group*, Boca Raton, London, New York: 305-317.

CONWAY, C.J. & GIBBS, J.P. 2005. Effectiveness of call-broadcast surveys for monitoring marsh birds. *The Auk* 122: 26-35.

DARWIN C. 2011. L'origine dell'uomo e la selezione sessuale. Newton Compton

DEL FAVERO R. e LASSEN C. 1993. La vegetazione forestale del Veneto. Seconda edizione. Progetto ed. Padova.

DI GANGI E. 2006. Produttività reale della popolazione di cervo nella foresta del Cansiglio. Contributo sperimentale all'indagine demografica e verifica del processo incrementale. Tesi di laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Padova. Facoltà di Agraria.

DIWAKAR S., JAIN M. & BALAKRISHNAN R. 2007. Psychoacoustic sampling as a reliable, non-invasive method to monitor orthopteran species diversity in tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 16: 4081-4093.

DOUHARD M., BONENFANT C., GAILLARD J.M., HAMANN J.L., GAREL M., MICHALLET J. & KLEIN F. 2013. Roaring counts are not suitable for the monitoring of red deer *Cervus elaphus* population abundance. *Wildlife Biology* 19: 94-101.

DZIECIOLOWSKI R., KOSSAK S., WASILEWSKI M., PRZYPASNIAK J. & WAWRZYNIAK P. 1996. Estimating numbers and structure of red deer population in the Bialowieza Forest. In Paschalis P. & Zajaczkowki S. eds Biodiversity protection of Bialowieza Primeval Forest. FR SGGW, Warsaw: 77-90.

ELZINGA C.L., SALZER D.W., WILLOUGHBY J.W. & GIBBS J.P. 2001. Monitoring Plant and Animal Populations. Blackwell Science, Inc., Malden, MA.

FANT G. 1960. Acoustic Theory of Speech Production. *The Hague*: Mouton.

FAVARETTO A., DE BATTISTI R., PAVAN G. & PICCININ A. 2006. Acoustic features of red deer (*Cervus elaphus*) stags vocalization in the Cansiglio forest (NE Italy, 2001-2002). In: *Razprave IV. Razpreda sazu*. Ljubljana:125-138.

FERRARI S., PICCININI R., SILVA M., EXADAKTYLOS V., BERCKMANS D. & GUARINO M. 2010. Cough sound description in relation to respiratory diseases in dairy calves. *Preventive Veterinary Medicine* 96: 276-280.

FERRARI S., SILVA M., GUARINO M. & BERCKMANS D. 2008. Analysis of cough sounds for diagnosis of respiratory infections in intensive pig farming. *Transaction of the Asae*. 51 (3): 1051-1055.

FERRARI S., SILVA M., GUARINO M. & BERCKMANS D. 2009. Bioacoustics: a tool for diagnosis of respiratory pathologies in pig farms. *J. of Ag. Eng.- riv. Di Ing. Agr.* 1: 7-10.

FERRARI S., TRUNFIO C., GUARINO M., BERCKMANS D., COSTA A. & CROCETTI C. 2011. The use of Red Deers vocalization for population census. *3rd Symposium on Acoustic Communication by Animals*. August 1-5, 2011, Cornell University, Itacha, NY.

FITCH W. T. 1997. Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *J. Acoust. Soc. Am.* 102, 1213-1222

FITCH W. T. 2000. The phonetic potential of nonhuman vocal tracts: comparative cineradiographic observations of vocalizing animals. *Phonetica* 57, 205-218

FITCH W.T. & HAUSER M.D. 2003. Unpacking “honesty”: vertebrate vocal production and the evolution of acoustic signals. In *Acoustic communication*. Springer New York: 65-137.

FITCH W.T. & REBY D. 2001. The descended larynx is not uniquely human. *Proceedings of the Royal Society B, London* 268: 1669-1675.

FLUECK W. T. 2005. Spatio-temporal movements among red deer males, *Cervus elaphus*, introduced to Patagonia. In: Pohlmeyer K. (Editor), 2005 - Extended abstracts of the XXVIIth Congress of the International Union of Game Biologists, Hannover 2005: 330-332.

FLUECK W.T. 2000. Population regulation in large northern herbivores: evolution, thermodynamics, and large predators. *Zeitschrift fuer Jagdwissenschaft, Springer* 46: 139-166.

FROMMOLT, K.H., TAUCHERT, K.H. & KOCH, M. 2008. Advantages and disadvantages of acoustic monitoring of birds - realistic scenarios for automated bioacoustic monitoring in a densely populated region. In: Frommolt, K.-H., Bardeli, R. & Clausen, M. (Eds). International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical pattern. *Federal Agency for Nature Conservation, International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm. BfN-Skripten* 234: 83-92.

GALEOTTI P., & PAVAN G. 1991. Individual recognition of male Tawny Owls (*Strix aluco*) using spectrograms of their territorial calls. *Ethology Ecology & Evolution* 3(2): 113-126.

GARSTANG M. 2004. Long-distance, low-frequency elephant communication. *Journal of Comparative Physiology A* 190: 791-805.

GARSTANG M., LAROM D., RASPET R. & LINDEQUE M. 1995. Atmospheric controls on elephant 483 communication. *Journal of Experimental Biology* 198: 939-951.

GERHARDT C. & HUBER F. 2002. Acoustic communication in insects and anurans: Common problems and diverse solutions. *University of Chicago Press, Chicago & London*.

GRIFFIN D.R. 1958. Listening in the dark. The acoustic orientation of bats and men. *Yale University Press, New Haven*. (Reprint by Cornell University Press, Ithaca, New York 1986).

GUARINO M., COSTA A., VAN HIRTUM A., JANS P., GHESQUIERE K., AERTS J.M., NAVAROTTO P. & BERCKMANS D. 2004. Automatic direction of infective pig coughing from continuous recording in field situation. *Rivista di ingegneria agraria* 4: 9-13.

HASELMAYER J. & QUINN J.S. 2000. A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in amazonian southeast Peru. *The Condor* 102: 887-893.

HAUSER M. D. 1993. The evolution of nonhuman primate vocalizations: effects of phylogeny, body weight, and social context. *American Naturalist*, 528-542.

JANSSON A. 1973. Stridulation and its significance in the genus *Cenocorixa* (Hemiptera, Corixidae). *Behaviour* 46: 1-36.

JENNINGS N., PARSONS S. & POCOCK M.J.O. 2008. Human vs. Machine: Identification of bat species from their echolocation calls by humans and by artificial neural networks. *Canadian Journal of Zoology* 86: 371-377.

KIDJO N., CARGNELUTTI B., CHARLTON B., WILSON C. & REBY D. 2008. Vocal behaviour in corsican deer, description and phylogenetic implications. *Bioacoustics* 18: 159-181.

KING S.L., SAYIGH L.S., WELLS R.S., FELLNER W. & JANIK V.M. 2013. Vocal copying of individually distinctive signature whistles in bottlenose dolphins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280 (1757).

KREBS C.J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper and Row Publishers, New York.

KUHN B. & SCHNEIDER R.H. 1984. Mating and territorial calls of the frog *Rana ridibunda* and their temperature variability. *Zoologischer Anzeiger* 212: 273-305.

LADICH F., BISCHOF C., SCHLEINZER G. & FUCHS A. 1992. Intra- and interspecific differences in agonistic vocalization in croaking gouramis (genus: *Trichopsis*, Anabantoidei, Teleostei). *Bioacoustics* 4: 131-141.

LAIOLO P. 2012. Interspecific interactions drive cultural co-evolution and acoustic convergence in syntopic species. *Journal of Animal Ecology*, 81(3), 594-604.

LAIOLO P., VÖGELI M., SERRANO D. & TELLA J.L. 2007. Testing acoustic versus physical marking: two complementary methods for individual-based monitoring of elusive species. *Journal of Avian Biology* 38(6): 672-681.

LANGVATN R. 1977. Social behaviour and population structure as a basis for censuring red deer populations. XII *Congress of game biologist, Atlanta Georgia*.

LENGAGNE T., LAUGA J. & JOUVENTIN P. 1997. A method of independent time and frequency decomposition of bioacoustic signals: inter-individual recognition in four species of penguins. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie* 320(11): 885-891.

LIEBERMAN P., KLATT D. H., & WILSON W. A. 1969. Vocal tract limitation of the vocal repertoires of Rhesus Monkeys and other non-human Primates. *Science* 164:1185-1187.

LOE L.E., BONEFANT C., MYSTERUD A., GAILLARD J.M., LANGVATN R., KLEIN F., CALENGE C., ERGON T., PETTORELLI N. & STENSETH C. 2005. Climate predictability and breeding phenology in red deer: timing and synchrony of rutting and calving in Norway and France. *Journal of Animal Ecology* 74: 579-588.

LOVARI S., CUCCUS P., MURGIA A., MURGIA C., SOI F. & PLANTAMURA G. 2007. Space use, habitat selection and browsing effects of red deer in Sardinia. *The Italian Journal of Zoology* 74:179-189.

MANSER M.B., ALLEN C. & TOWNSEND S.W. 2012. A simple test of vocal individual recognition in wild meerkats. *Biology Letters* 8(2):179-82.

MARCELLINI D.L. 1974. Acoustic behavior of the gekkonid lizard, *Hemidactylus frenatus*. *Herpetologica* 30: 44-52.

MÁRQUEZ R. & BOSCH J. 1995. Advertisement calls of the midwife toads alytes (Amphibia, Anura, Discoglossidae) in continental Spain. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 33: 185-192.

MÁRQUEZ R., LLUSIA D., BELTRÁ J.F., DO AMARAL J.P. & BOWKER R.G. 2008. Anurans, the group of terrestrial vertebrates most vulnerable to climate change: A case study of acoustic monitoring in the iberian peninsula. In Frommolt K.H., Bardeli R. & Clausen M. (Eds). International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical pattern. *Federal Agency for Nature Conservation, International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm. BfN-Skripten* 234: 43-52.

MASATAKA N. (1994). Lack of correlation between body size and frequency of vocalisations in young female Japanese macaques (*Macaca fuscata*). *Folia Primatologica* 63, 115–118.

MAZZOCCO M. 2009. Il rilevamento demografico per il cervo secondo criteri elaborati per la foresta del Cansiglio. Secondo contributo al monitoraggio per l'annata 2005. Tesi di laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Padova. Facoltà di Agraria.

MATTIELLO S., REDOELLI W., CARENZI C. & CRIMELLI C. 2002. Effect of dairy cattle husbandry on behavioural patterns of red deer (*Cervus elaphus*) in the Italian Alps. *Applied Animal Behaviour Science* 79: 299-310.

MATTIOLI S. 1994. Le reintroduzioni di Cervidi in Italia, con particolare riferimento all' Appennino. In Inglisa, M. (ed.), *Atti I Conv. Naz. P. Barrasso: La fauna appenninica e la sua conservazione*. Airone.

MATTIOLI S. 1999. Il Cervo: lineamenti di biologia e gestione. Dream Italia.

MAYER H. & HOFMANN A. 1969. Tannenreiche Wälder an Südabfall der Mittleren Ostalpen. Verlagsgesellschaft BLV.

MAYER H. 1979. Il ruolo selvicolturale dell'abete nelle Alpi e Prealpi centro-orientali. *Ann. Acc. It. Sc. For.*, XXVIII: 245-265.

MAYLE B., PEASE A.J. & GILL R.M.A 1999. How many deer? Forestry Commission Edinburgh UK, n.18.

MAZZARONE V., APOLLONIO M., LOVARI C., MATTIOLI L., PEDONE P. & SIEMONI, N. 1989. Censimento di cervi al bramito in ambiente montano appenninico. In *Atti II Seminario Italiano sui Censimenti Faunistici dei Vertebrati* (Ed. M. Fasola.). Supplemento alle Ricerche di Biologia della Selvaggina, Vol. XVI: 587-590.

MAZZARONE V., LOVARI C. e GUALAZZI S. 2009. Gli ungulati delle foreste Casentinesi. Dieci anni di monitoraggio: 1988-1997, Comunità Montana del Casentino, Regione Toscana.

MAZZARONE V., LOVARI C., MATTIOLI L., PEDONE P. & SIMEONI N. 1991. A method of red deer (*Cervus elaphus*, L. 1758) census during the roaming period in a forested area of the northern Apennines (central Italy). *XXth I.U.G.B. International Congress, Budapest, Hungary*.

MAZZARONE V., SIEMONI N., PEDONE P., LOVARI C., MATTIOLI L. 1991. A method of red deer (*Cervus elaphus* L.) census during the roaring period in a forested area of the northern Apennines (central Italy). In *Proceedings of 20th Congress of the International Union of Game Biologists*: 140–145.

McCOMB K. E. 1987. Roaring by red deer stags advances the date of oestrus hinds. *Nature* 330: 648-649.

McCOMB K. E. 1988. Roaring and reproduction in red deer *Cervus elaphus*. *Ph.D. Thesis, University of Cambridge*. In Reby, D. & McComb, K. 2003a. Anatomical constraints generate honesty: acoustic cues to age and weight in the roars of red deer stags. *Animal Behaviour* 65: 519-530.

McCOMB K. E. 1991. Female choice for high roaring rate in red deer, *Cervus elaphus*. *Animal Behaviour* 41:79-88.

McCOMB K., REBY D., BAKER L., MOSS C. & SAYIALEL S. 2003. Long-distance communication of acoustic cues to social identity in African elephants. *Animal Behaviour* 65: 317-329

McGARIGAL K., CUSHMAN S., STAFFORD S. 2000. *Multivariate statistics for wildlife and ecology research*. Ed Springer

McGREGOR P. K. 1992. *Playback studies of animal communication: Problems and prospects*. Plenum Press, New York.

MUSTONI A., PEDROTTI L., ZANON E. e TOSI G., 2002 - Ungulati delle Alpi. *Nitida Immagine Editrice*, Cles (TN).

OBRIST M.K., BOESCH R. & FLÜKIGER P.F. 2008. Probabilistic evaluation of synergetic ultrasound pattern recognition for large scale bat surveys. In Frommolt K.H., Bardelli R. & Clausen M. (Eds). International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical pattern. *Federal Agency for Nature Conservation, International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm. BfN-Skripten 234*: 29-42.

OBRIST M.K., PAVAN G., SUEUR J., RIEDE K., LLUSIA D. & MÁRQUEZ R. 2010. Bioacoustic approaches in biodiversity inventories. In *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories, Abc Taxa 8*: 68-99.

PADULA M. E CRUDELE G. 1988. Descrizione naturalistica delle foreste demaniali casentinesi di Campigna-Lama nell'Appennino tosco-romagnolo. Regione Emilia-Romagna Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo: 1-40

PARSONS S. & JONES G. 2000. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of Experimental Biology* 203: 2641-2656.

PARSONS S. & OBRIST M.K. 2004. Recent methodological advances in the recording and analysis of chiropteran biosonar signals in the field. In: Thomas, J., Moss, C. & Vater, M. (Eds). Echolocation in bats and dolphins. *Proceedings of the biosonar conference 1998. University of Chicago Press, Chicago*: 468-477.

PEPIN D., CARNEGLUTTI B., GONZALEZ G., JOACHIM J. & REBY D. 2001. Diurnal and seasonal variations of roaring activity of farmed red deer. *Applied Animal Behaviour Sciences* 74: 233-239.

PONZETTA M. P., SORBETTI GUERRI F., BANTI P. e NUTI S. (a cura di) (2009). Gli incidenti stradali causati dalla fauna selvatica nella Regione Toscana. Analisi del fenomeno nel periodo 2001-2008. Centro stampa Giunta regionale Toscana.

PREMUDA G. 1975. Origine e consistenza attuale del patrimonio faunistico della montagna pistoiese in *Diana* 11/75: 28-31.

PRIMACK R.B. 2004. A primer of conservation biology. (3rd ed.) Sunderland (Mass.). Sinauer (trad. it.: Conservazione della natura, a cura di Luciana Carotenuto, Bologna, Zanichelli, 2003).

PUCEK Z., BOBEK B., ŁABUDZKI L., MIŁKOWSKI L., MOROW K. & TOMEK A. 1975. Estimates of density and number of ungulates. *Acta Theriologica* 1:21–135.

RAGANELLA PELLICIONI E., RIGA F. e TOSO S. 2013. Linee guida per la gestione degli ungulati – Cervidi e Bovidi. ISPRA, Manuali e Linee Guida 91/2013.

RATCLIFFE P.R. & MAYLE B.A. 1992. Roe deer biology and management. *Forestry Commission. Bulletin* 105.

REBY D. 1998. Etude de la Communication Sonore Chez les Cervidés. Prise en Compte de la Dimension Individuelle. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse

REBY D. & McCOMB K. 2003a. Anatomical constraints generate honesty: acoustic cues to age and weight in the roars of red deer stags. *Animal Behaviour* 65: 519-530.

REBY D. & McCOMB K. 2003b. Vocal communication and reproduction in deer. *Advances in the Study of Behaviour* 33: 231-264.

REBY D., IZQUIERDO M., HEWISON A.J.M., PEPIN D. 2001. Red deer (*Cervus elaphus*) hinds discriminate between the roars of their current harem holder stag and those of neighbouring stags. *Ethology* 107: 951-959

REBY D., McCOMB K., CARGNELUTTI B., DARWIN C., FITCH W. T. & CLUTTON-BROCK T. H. 2005 Red deer stags use formants as assessment cues during intrasexual agonistic interactions. *Proc. R. Soc. B* 272: 941-947.

RIEDE K. 1997. Bioacoustic monitoring of insect communities in a bornean rainforest canopy. In: Storke N.E., Adis J. & Didham R.K. (Eds). Canopy arthropods. *Chapman & Hall, London*: 442-452.

RUSSO D. & JONES G. 2002. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *Journal of Zoology, London* 258: 91-103.

SÁNCHEZ-PRIETO C.B., CARRANZA J. & PULIDO F. 2004. Reproductive behavior in female Iberian red deer: effects of aggregation and dispersion of food. *Journal of Mammalogy* 85: 761-767.

SANNA A. 2012. Analisi acustica del bramito del cervo come strumento di identificazione dei singoli individui. Risultati preliminari di uno studio finalizzato ad accrescere l'affidabilità del conteggio dei maschi bramanti. Tesi di laurea magistrale, corso di laurea in Scienze Faunistiche, Facoltà di Agraria, Università degli studi di Firenze.

SAYIGH L.S., TYACK P.L., WELLS R.S., SOLOW A.R., SCOTT M.D. & IRVINE A.B. 1999. Individual recognition in wild bottlenose dolphins: a field test using playback experiments. *Animal behaviour* 57(1): 41-50.

SEDDON N. & TOBIAS J.A. 2010. Character displacement from the receiver's perspective: 595 species and mate recognition despite convergent signals in suboscine birds. *Proceeding 596 of the Royal Society London (B)* 277: 2475-2483.

SILVA M., GUARINO M., FERRARI S., COSTA A., AERTS J.M. & BERCKMANS D. 2008. Cough localization for the detection of respiratory disease in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture. COMPAG* 64 (2): 286-292.

SKOWRONSKI M.D. & HARRIS J.G. 2006. Acoustic detection and classification of microchiroptera using machine learning: Lessons learned from automatic speech recognition. *The Journal of the Acoustical Society of America* 119: 1817-1833.

SOLTIS J., LEONG K. & SAVAGE A. 2005. African elephant vocal communication I: antiphonal calling behaviour among affiliated females. *Animal Behaviour* 70: 579-587

SUEUR J. & PUISSANT S. 2007. Similar look but different song: A new Cicadetta species in the montana complex (Insecta, Hemiptera, Cicadidae). *Zootaxa* 1442: 55-68.

SUEUR J. 2006. Insect species and their song. In Drosopoulos, S. & Claridge, M. (Eds). *Insect Sounds and Communication: Physiology, Behaviour, Ecology, and Evolution*, Taylor and Francis, CRC Press, New York: 207-217.

TELFORD M. & BOCCI A. 2007. Rutting period and roars analysis in a mountainous area. In: *Abstr. First International Conference on Genus Cervus*. Fiera di Primiero (Italia), 14-17 settembre 2007: 108.

TAYLOR A. M. & REBY D. 2009. The contribution of source filter theory to mammal vocal communication research. *Journal of Zoology* 280, 221-236

THOMPSON W.L., WHITE G.C. & GOWAN C. 1998. *Monitoring Vertebrate Population*. Academic Press, London

TORRICELLI P., LUGLI M. & PAVAN G. 1990. Analysis of sounds produced by male *Padogobius martensi* (Pisces, Gobiidae) and factors affecting their structural properties. *Bioacoustics* 2: 261-275.

VANNONI E. & McELLIGOTT A.G. 2007. Individual acoustic variation in fallow deer (*Dama dama*) common and harsh groans: A source-filter theory perspective. *Ethology* 113: 223-234.

YOCCOZ N.G., MYSTERUD A., LANGVATN R. & STENSETH N.C. 2002. Age- and density-dependent reproductive effort in male red deer. *Proceedings Royal Society London. Biological Series* 269: 1523–1528.

YOCCOZ N.G., NICHOLS J.D. & BOULINIER T. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16:446–453.

ZIMMERMAN E. & LERCH C. 1993. The complex acoustic design of an advertisement call in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*) and sources of its variation. *Ethology* 93: 211-224.