



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
SCIENZE E TECNOLOGIE ANIMALI

**Studio del comportamento dei bovini da latte in  
alpeggio tramite l'uso di cardiofrequenzimetri**

*Analysis of cattle behaviour on summer farms by using heart rate  
monitors*

Relatore

Prof. *Enrico Sturaro*

Correlatore

Dott. *Salvatore Raniolo*

Laureanda

*Annalisa Comini*

Matricola n.

*2027720*

ANNO ACCADEMICO 2021-2022



# INDICE

1. RIASSUNTO .....	3
2. ABSTRACT .....	5
3. INTRODUZIONE .....	7
3.1 Ecosistema pascoli d'alpeggio .....	7
3.1.1 Inquadramento generale.....	7
3.1.2 Uso dei pascoli e servizi ecosistemici associati .....	8
3.2 Evoluzione status delle malghe in Trentino .....	9
3.3 Focus Malga Juribello: la piccola università della montagna.....	11
3.4 Attività cardiaca delle vacche .....	13
4. OBIETTIVI .....	15
5. MATERIALE E METODI.....	17
6. RISULTATI E DISCUSSIONE .....	27
6.1 Conditional Inference Trees.....	27
6.2 Frequenza cardiaca e variabilità .....	32
6.3 Comportamento “attivo” e “inattivo” .....	34
6.4 Comportamento “grazing”, “resting” e “walking” .....	38
6.5 Modelli dei comportamenti .....	42
7. CONCLUSIONI .....	49
BIBLIOGRAFIA .....	51
RINGRAZIAMENTI .....	53



# 1. RIASSUNTO

L'alpeggio delle bovine da latte ha un ruolo fondamentale nell'agricoltura di montagna; infatti, sono molteplici i servizi ecosistemici che questo offre. Per questo è importante continuare a migliorare la gestione degli animali al pascolo e per farlo è necessario capire come questi si comportano applicando l'uso di tecnologie come strumenti di precision farming anche al pascolo. Questa tesi, infatti, ha lo scopo di studiare il comportamento delle bovine da latte in alpeggio attraverso l'uso di cardiofrequenzimetri. Per lo studio sono stati utilizzati smartwatch dotati di GPS e cardiofrequenzimetri che monitoravano gli spostamenti delle vacche dando una posizione GPS ogni 2 minuti e la loro frequenza cardiaca con frequenza di rilevazione pari a 1 secondo o 1 Hz. I dati sono stati raccolti da un totale di sei bovine di cui tre di razza Bruna e tre di razza Pezzata Rossa mentre erano in alpeggio nei pascoli della Malga Juribello in Trentino. Le vacche sono state monitorate per 30 giorni nel mese di agosto sia di giorno che di notte. Inoltre, sono state svolte delle osservazioni comportamentali delle vacche direttamente sul pascolo con lo scopo di validare i dati ottenuti dagli smartwatch. All'inizio e alla fine della prova è stato misurato il peso e il BCS di ogni vacca e durante tutta la stagione di alpeggio è stata monitorata la produzione di latte. Al termine della raccolta, i dati sono stati elaborati e analizzati con il supporto di diversi programmi quali *Excel*, *PostgreSQL* ed *R*. In totale sono stati presi in considerazione più di 500.000 dati di cui 173.733 provenienti dalle osservazioni comportamentali e 327.399 rilevati dagli smartwatch. Sono state riscontrate differenze tra le frequenze cardiache delle due razze, in particolare la razza Bruna presenta una frequenza cardiaca minore (media di 70 bpm) rispetto alla Pezzata Rossa (media di 83 bpm) ma in ogni caso rientrano nel range dei valori fisiologici. Risultato interessante, però, in quanto dalle osservazioni comportamentali dirette le Brune sono risultate molto più attive al pascolo rispetto alle Pezzate Rosse. I risultati ottenuti evidenziano che i cardiofrequenzimetri possono fornire informazioni utili sul comportamento degli animali al pascolo, e possono quindi essere utilizzati in progetti mirati a promuovere pratiche innovative di gestione degli alpeggi.



## 2. ABSTRACT

Alpine pasture of bovine plays a fundamental role in the mountain agriculture; in fact, it provides many ecosystem services. Therefore it is important to continue to improve the management of animal grazing, and to do this it is necessary to understand how they behave by applying them some technological devices such as precision farming tools on grazing land as well. The aim of this thesis is to study the behaviour of dairy cows in alpine pastures through the use of heart rate monitors. For the study, smartwatches equipped with GPS and heart rate monitors were used to monitor the cows' movements by giving us a GPS position every 2 minutes and their heart rate too. The data were collected in the alpine pasture of malga Juribello in Trentino, from a total of six cows, three of them were Brown Swiss and the other three were Simmental. The cows were monitored, both during the day and night, for 30 days in August. In addition, behavioural observations were carried out directly on the pasture to verify the data obtained from the smartwatches. Weight and BCS of each cow were measured at the beginning and at the end of the trial, also the milk production was monitored throughout the alpine season. As soon as the collection of data was finished, they were processed and analysed with the support of various programmes such as *Excel*, *PostgreSQL* and *R*. More than 500.000 data have been considered, 173,733 came from the behavioural observations and 327,399 from the smartwatches. Important differences were found between the heart rates of the two breeds, with the Brown Swiss (average of 70 bpm) presenting a lower heart rate than the Simmental (average of 83 bpm). Very interesting result as behavioural observations showed that the Brown Swiss were much more active when grazing than the Simmental. The results obtained show that heart rate monitors can provide useful information on the grazing behaviour of animals and can therefore be used in projects aimed at promoting innovative pasture management practices.



## 3. INTRODUZIONE

### 3.1 Ecosistema pascoli d'alpeggio

#### 3.1.1 Inquadramento generale

Il pascolo è un terreno coperto da erbe spontanee che non vengono falciate ma direttamente pascolate dal bestiame (Treccani) (**Fig. 3.1**). Sono una componente fondamentale del sistema agro-zootecnico in molti luoghi di montagna dove viene mantenuta la pratica della transumanza che rappresenta il principale elemento di valorizzazione del territorio e delle produzioni (Bovolenta et al. 2022).

La tradizione della transumanza prevede l'utilizzo dei prati di fondovalle per la produzione di fieno che servirà per alimentare i bovini nel periodo invernale e la monticazione del bestiame a quote più alte nel periodo primaverile estivo (Bovolenta et al. 2022). Per gli allevatori rappresenta una pratica importante perché permette di ammortizzare i costi per l'acquisto del foraggio, da accesso a sussidi pubblici e si ottengono prodotti di alta qualità derivati dal latte di malga (Zendri et al. 2016). La transumanza non offre benefici solo all'allevatore in termini economici ma anche in termini ambientali e culturali perché permette di mantenere le tradizioni, aumentare il turismo locale, preservare gli habitat naturali e supportare la biodiversità (Zendri et al. 2016).



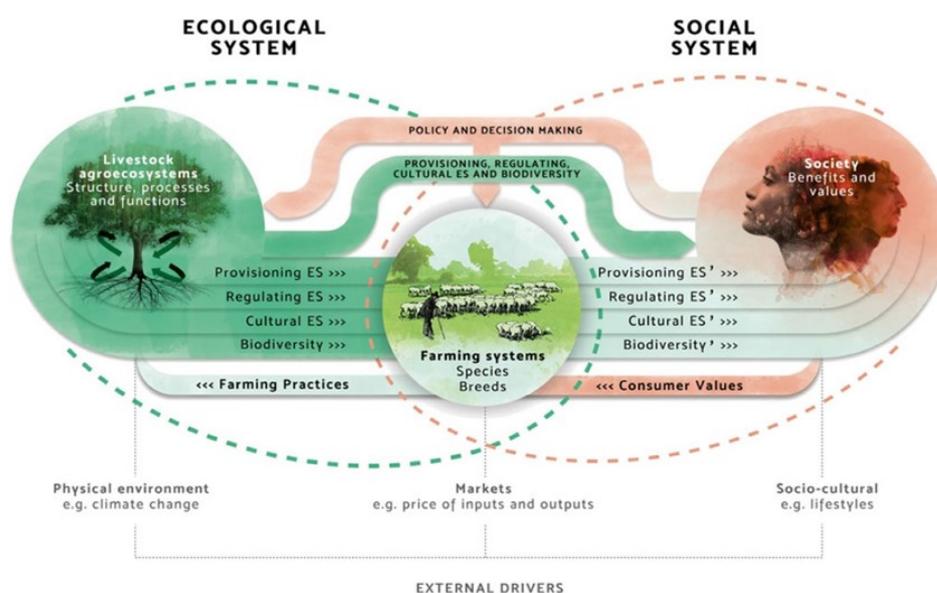
**Fig. 3.1** – Vacche al pascolo, Passo Rolle. (Foto Annalisa Comini)

### 3.1.2 Uso dei pascoli e servizi ecosistemici associati

I servizi ecosistemici (ES) sono tutti quei contributi che un ecosistema fornisce al benessere umano e possono essere diretti o indiretti. Si possono classificare in quattro categorie: servizi di approvvigionamento, di regolazione, culturali e di supporto alla vita (Fig. 3.2). Questi ultimi tre citati non hanno un valore di mercato e per questo vengono molto spesso sottovalutati (Sturaro et al. 2022).

I servizi ecosistemici forniti dall'allevamento al pascolo (PLFS) sono molto importanti perché dipendono e influenzano più di ogni altro agro-ecosistema i servizi di regolazione e di supporto (Rodríguez-Ortega et al. 2014).

Le aziende di montagna utilizzando i foraggi locali e i pascoli ad alta quota hanno un ruolo fondamentale perché forniscono quei servizi ecosistemici sopra citati preservando il paesaggio dalla riforestazione, contribuendo alla conservazione della biodiversità, alla protezione del suolo e delle acque, al sequestro di carbonio e al mantenimento del patrimonio paesaggistico. Quest'ultimo servizio si collega alla vocazione turistica delle aree montane e, di conseguenza, le aziende contribuiscono anche allo sviluppo economico e sociale degli abitanti locali. È quindi importante mantenere queste aziende redditizie che si sono adattate ai cambiamenti ma che sono in grado di garantire la conservazione tradizionale dei luoghi di montagna perché giocano un ruolo fondamentale nello sviluppo rurale delle aree montane (Vescovo et al. 2022, Sturaro et al. 2013).



**Fig. 3.2** – Agricoltura e servizi ecosistemici. (Martin-Collado, D., P. Boettcher, and A. Bernués. "Opinion paper: livestock agroecosystems provide ecosystem services but not their components—the case of species and breeds." *animal* 13.10 (2019): 2111-2113)

Essendo i pascoli di montagna degli ecosistemi seminaturali caratterizzati da un'elevata biodiversità possono fornire diversi servizi ecosistemici ma soltanto se gestiti correttamente con la conseguenza che anche i prodotti di malga ottenuti potranno poi godere di un valore aggiunto dovuto alla connessione con i servizi ecosistemici forniti dall'alpeggio (Sturaro et al. 2022).

### 3.2 Evoluzione status delle malghe in Trentino

Le malghe sono delle stalle temporanee che ospitano i bovini per il periodo estivo dedicato al pascolamento (Zendri et al. 2016). Sono l'insieme dei pascoli in alta quota, le strutture per contenere gli animali e in alcuni casi per la lavorazione dei prodotti lattieri caseari in loco (Bovolenta et al. 2022).

Con il passare degli anni si è vista un'intensificazione dell'allevamento verso zone più produttive portando ad un progressivo abbandono delle zone marginali e di conseguenza la pratica della transumanza è andata incontro ad un declino. La provincia di Trento è proprio un esempio dell'evoluzione delle aziende di vacche da latte nelle Alpi perché dal 1980 al 2010 il numero di aziende si è ridotto da 5749 a 1071 ma è aumentato il numero di capi allevati da ogni azienda passando da una media di 5 capi a una di 23. Per questo è diventata una priorità delle politiche agricole mantenere l'allevamento estensivo e tutte le zone di alto valore naturale e le sue tradizioni come lo è la transumanza. Per fare questo è di fondamentale importanza mantenere le malghe (Zendri et al. 2016, Sturaro et al. 2013).

Di seguito vengono proposte dei dati (**Tab. 3.1** e **Tab. 3.2**) per inquadrare meglio la zootecnia in Trentino. Si può notare come la maggioranza delle aziende agricole trentine che allevano bovini da latte utilizzino il pascolo e le malghe durante la stagione dell'alpeggio. Queste aziende allevano prevalentemente vacche di razza Bruna, Pezzata Rossa, Rendena e Grigio Alpina.

	Totale	Media/azienda
Registro nazionale bovini		
Aziende con vacche da latte (n)	1071	-
Bestiame allevato (capi)	38.214	35,7
Vacche da latte allevate (capi)	24.934	23,3

**Tab. 3.1** – Numero di aziende e di capi allevati in Trentino (Sturaro et al. 2013).

Variabile	Az. Agr. che usano pascoli	Az. Agr. che non usano i pascoli
Numero aziende	334	276
Vacche in lattazione (n)	23.3	42.4
Dimensione mandria (UBA)	30.9	55.4
Bruna (% UBA)	48.8	42.6
Frisona (% UBA)	9.4	36.1
Pezzata Rossa (% UBA)	12.2	7.9
Rendena (% UBA)	11.2	2.6
Grigio Alpina (% UBA)	9.8	2.9
Incroci (% UNA)	8.5	8.0
Altezza azienda (m slm)	879	731
Produzione latte (kg/capo/giorno)	19.1	21.9

**Tab. 3.2** – caratteristiche delle aziende agricole che utilizzano e non i pascoli di alta montagna (Zendri et al. 2013).

Nella Provincia Autonoma di Trento, le malghe sono spesso di proprietà di enti pubblici ed ospitano vacche provenienti da diverse aziende. Nella tabella sottostante (**Tab. 3.3**) si possono vedere il numero di malghe presenti in Trentino suddivise anche per categoria di animali ospitati.

Variabile	Numero	Altezza
Totale malghe	395	1664±250
Malghe con bovine da latte	345	
- Solo manze e asciutte	83	1653±287
- Anche con vacche in lattazione	262	1651±245
- Con produzione di formaggi	92	1661±235
- Con agro-turismo	39	
Latte prodotto in malga (tons)	6,527	

**Tab. 3.3** – Statistiche descrittive delle malghe in Trentino (Zendri et al. 2013).

Nel corso degli anni non solo sono cambiati i numeri delle malghe, ma anche la loro funzione. La malga di ieri era essenzialmente funzionale per i contadini perché permetteva di gestire in maniera efficiente le riserve di foraggi, oggi invece la malga offre diversi servizi ecosistemici come la salvaguardia della biodiversità animale e vegetale, la protezione da erosione e incendi dei territori, mantiene un paesaggio alpino presentabile anche collegato al turismo locale e preserva la cultura locale (Bovolenta et al. 2022). Per tutti i motivi citati è

molto importante non perdere il collegamento che c'è tra malghe e aziende, inoltre è fondamentale prestare attenzione alla qualità della gestione del pascolo e ai molteplici servizi che gli animali svolgono nelle aree montane (Zendri et al. 2013).

### **3.3 Focus Malga Juribello: la piccola università della montagna**

Risalgono al 1284 le prime notizie storiche dell'alpeggio di Juribello mentre la nascita della Stazione d'Alpeggio risale al Regio Decreto del 31 gennaio 1929, infatti, l'estate dello stesso anno inizia l'esercizio di pascolo nei prati adiacenti alla malga. Nello stesso anno viene costituito il "Consorzio di mantenimento" che era composto dal Ministero dell'agricoltura e delle foreste, dall'Azienda delle foreste demaniali, dalla Cattedra ambulante d'agricoltura e dal Comune di Primiero, successivamente vennero aggregati il Consiglio provinciale delle Corporazioni ed il Comune di Predazzo.

*"Compito della nuova istituzione era:*

*- Costituire un'alpe che possa servire come modello per manufatti, viabilità e condizioni della cotica;*

*- Costituire un esempio di razionale utilizzazione e conservazione del pascolo mediante opere, cure e concimazioni, per aumentarne e migliorarne la produzione;*

*- Contribuire al miglioramento del bestiame bovino, dimostrando i vantaggi evidenti che derivano da un alpeggio razionale all'industria zootecnica, sia per quanto riguarda la produzione che lo sviluppo, lo stato di nutrizione, la salute e la resistenza degli animali;*

*- Provvedere alla monticazione di buon bestiame da allevamento e da reddito, destinando parte del pascolo all'alpeggio specializzato di tori e di torelli selezionati;*

*- Istituire una scuola estiva per pastori, allo scopo di preparare il personale destinato alla direzione tecnica dei pascoli alpini e all'industria del caseificio di montagna." (dr. prof. Antonio Gusellotto)*

L'ultimo punto è sicuramente il motivo per cui ancora oggi la malga Juribello viene ricordata in tutta Italia. Il 31 luglio 1932 viene battezzato il primo corso della scuola di pastori che aveva il compito di formare le maestranze da mettere a capo della Società di Malga con lo scopo di costituire un'organizzazione sociale di conduzione delle malghe per andare a sostituire gli imprecisi metodi di sfruttamento attuati dai vecchi malghesi. Il corso durava circa un mese (da metà luglio a metà agosto) e inizialmente era pensato solo per la

provincia di Trento ma poi allargato anche alle provincie di Bolzano, Verona, Vicenza, Treviso e Belluno. Durante il corso gli studenti studiavano materie come Agronomia e Colture di montagna, Alpicoltura e Economia montana, Zootecnia, Igiene e rimedi di pronto soccorso, Mungitura razionale, Tecnologia casearia, Contabilità e Forme sociali di conduzione delle malghe.

Vista la grande richiesta si pensò anche ad un progetto di ampliamento però mai realizzato probabilmente a causa del periodo bellico che sopraggiunse.

Come scrisse il dr. prof. Antonio Gusellotto “[...] *la Stazione è stata creata e a miglior fine essa opera in stretto legame colla Scuola, in seno della quale fermenta la volontà di farsi più bella, più grande, più operosa, per divenire colla promessa che l’attende, la piccola università della montagna.*”.

Anche tutt’ora si può dire che la malga continua ad essere una “piccola università della montagna” in quanto vengono svolti diversi studi sul pascolo, sull’ambiente e sulle vacche da parte dell’Università di Padova, l’Università di Udine e l’Istituto Agrario di San Michele all’Adige.

Attualmente alla Malga Juribello sono presenti 145 vacche in lattazione di cui 100 di razza Bruna Alpina, 35 di razza Pezzata Rossa e 10 di razza Frisona. Presenta un pascolo esteso per 180 ettari con un carico di circa 0.84 UBA/ha. La pendenza media del pascolo è di  $14.3 \pm 7.9$  gradi con un’altitudine di  $1950 \pm 100$  metri.

Oltre al pascolo e la mungitura delle vacche, la malga svolge l’attività di agriturismo e ristorazione permettendo così a turisti e non di gustare piatti tipici della zona compresi i formaggi del Caseificio di Primiero, alcuni ottenuti propri con il latte delle vacche munte in malga.



**Fig. 3.3** – Malga Juribello, 2022. A sinistra la stalla e a destra l’agritur/ristorante. (Foto Lorenzo Geat)

### **3.4 Attività cardiaca delle vacche**

La frequenza cardiaca è il numero dei battiti cardiaci al minuto e viene usata per esplorare gli eventi interni a breve termine che si verificano durante i cambiamenti comportamentali. Il monitoraggio e la valutazione dell'attività cardiaca, ed in particolare la variabilità della frequenza cardiaca, degli animali da reddito ha suscitato negli ultimi anni molto interesse in tutto il mondo in quanto si tratta di un importante indicatore della salute e del benessere degli animali. Uno dei principali vantaggi dell'uso della frequenza cardiaca e della sua variabilità è il fatto che possono venire misurate in modo costante e non invasivo per l'animale oggetto di studio. Lo studio di questi parametri permette di ottenere una grande quantità di informazioni sulla salute degli animali e sono un importante indicatore di stress che permettono di garantire il benessere dell'animale e di conseguenza permettono un miglioramento delle performance. Inoltre, queste informazioni sono utili per capire come gestire al meglio e migliorare le condizioni di stabulazione e movimentazione delle bovine da latte (Kovács et al. 2013, Kahankova et al. 2022).

La frequenza cardiaca non è costante in quanto si tratta della conseguenza dei meccanismi di regolazione nel corpo delle bovine; infatti, varia da battito a battito non per forza a causa di stress fisico o psicologico. Questa variazione viene definita come variabilità della frequenza cardiaca, ovvero il tempo che intercorre tra un battito e l'altro. La frequenza cardiaca e la sua variabilità sono inversamente proporzionali. L'analisi della variabilità della frequenza cardiaca, insieme alla frequenza cardiaca stessa, consente un'interpretazione dell'attività cardiaca più dettagliata (K. Hagen et al. 2005).

È interessante l'applicazione della tecnologia per la misurazione dell'attività cardiaca anche agli animali al pascolo perché comprendere il loro comportamento è fondamentale per attuare strategie che ne permettano una gestione più sostenibile e produttiva (Rivero et al. 2021).



## 4. OBIETTIVI

L'alpeggio dei bovini è molto importante per l'equilibrio con l'ecosistema montano in quanto offre servizi ecosistemici di regolazione e supporto come, ad esempio, la conservazione della biodiversità e del paesaggio e la protezione del suolo e delle acque. Per far sì che questo accada è necessario però gestire gli animali al pascolo in maniera corretta.

La tesi si inserisce in una serie di prove sperimentali mirate a studiare il comportamento delle bovine da latte in alpeggio mettendolo in relazione con le funzioni produttive e non produttive che gli animali hanno al pascolo.

Il punto di partenza è stato "SmartAlp", un progetto per valorizzare il sistema alpicolturale sia in termini di produzioni che di impatto ambientale. L'obiettivo era quello di utilizzare le nuove tecnologie legate all'agricoltura di precisione per una migliore gestione dell'alpeggio. Da questo progetto è nata l'idea di testare dei cardiofrequenzimetri sulle bovine da latte al pascolo come strumenti di precision farming al fine di monitorare il benessere degli animali in malga e di migliorare in termini di sostenibilità ambientale i processi produttivi e la qualità dei prodotti ottenuti.

Lo scopo finale di questo progetto è proprio quello di capire come poter gestire in maniera migliore le bovine al pascolo attraverso lo studio dei loro comportamenti sfruttando la tecnologia anche in alpeggio. Un obiettivo specifico di questa tesi è testare l'uso di cardiofrequenzimetri per il monitoraggio del comportamento degli animali al pascolo.

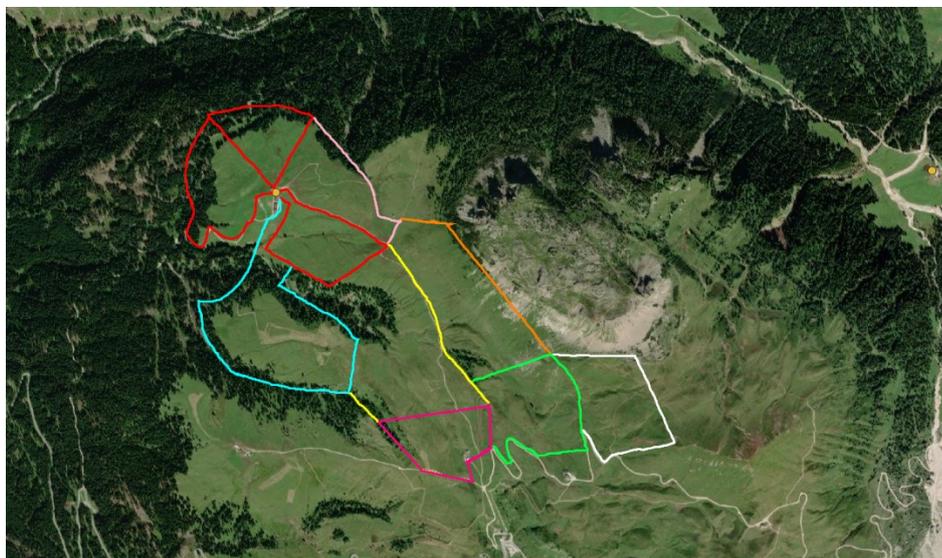
Si tratta inoltre di una prova sperimentale per capire punti di forza e criticità dell'utilizzo delle nuove tecnologie al pascolo per poi mettere in atto un campionamento più esteso nelle stagioni prossime.



## 5. MATERIALE E METODI

Per questo studio sono state scelte sei bovine di cui tre di razza Bruna e tre di razza Pezzata Rossa provenienti da due diverse aziende. Le bovine sono state scelte secondo due criteri principali: dovevano essere pluripare così da essere già state precedentemente in malga per limitarne gli effetti e dovevano andare in asciutta dopo il ritorno dalla malga.

La Malga Juribello e tutti i suoi pascoli adiacenti sono stati l'area di studio per questa sperimentazione durante il mese di agosto.



**Fig. 5.1** – Mappa dei pascoli attorno a Malga Juribello utilizzati dalle bovine.

Per lo studio sono stati utilizzati degli smartwatch Polar Pacer (**Fig. 5.2**) in grado di trasmettere il segnale GPS e configurati per raccogliere una posizione ogni due minuti. Gli smartwatch avevano una precisione media del percorso di 5 metri ed i valori venivano ottenuti in condizioni satellitari all'aperto quando la visuale del satellite non era ostruita dagli alberi, per questo i valori venivano comunque ottenuti ma trattandosi di aree forestali potevano variare. Sono state utilizzate anche delle fasce/cardiofrequenzimetri con sensore di frequenza cardiaca Polar Equine (**Fig. 5.3**) che trasmettevano la frequenza cardiaca degli animali allo smartwatch con una frequenza di rilevazione di 1 secondo o 1 Hz, poi lo smartwatch registrava tutti i dati. L'intervallo di misurazione della frequenza cardiaca andava dai 15 ai 240 bpm.



**Fig. 5.2** – Smartwatch Polar Pacer utilizzato nella sperimentazione. (Foto <https://www.polar.com>)



**Fig. 5.3** – Fascia Polar Equine con sensore di frequenza cardiaca. (Foto <https://www.polar.com>)

Gli smartwatch sono stati posizionati all'interno di un contenitore fissato sul cinturino del campanaccio delle vacche (**Fig. 5.4**) e la fascia è stata fissata attorno al torace degli animali con il sensore di frequenza cardiaca posizionato vicino allo sterno sul lato sinistro del torace (**Fig. 5.5**) così da permettere la rilevazione dell'attività cardiaca.



**Fig. 5.4** – Smartwatch all'interno del contenitore sul campanaccio della vacca. (Foto Annalisa Comini)



**Fig. 5.5** – Vacche con fascia con sensore di frequenza. (Foto Annalisa Comini)

Sono state svolte delle osservazioni comportamentali direttamente sul pascolo per validare poi i dati ottenuti dagli smartwatch. Queste consistevano nell’osservare i comportamenti di ogni vacca e annotare l’ora esatta (ora, minuto e secondo) di quando la vacca cambiava il suo comportamento. I comportamenti principali si dividevano in: cammina (“walking”) (Fig. 5.7), riposa (“resting”) (Fig. 5.6) quando la vacca stava ferma o si coricava e pascola (“grazing”) (Fig. 5.8). Qualsiasi altro comportamento veniva appuntato nella sezione note (esempio: beve, viene importunata, ecc.). Al termine delle osservazioni, tutte le informazioni raccolte sono state riportate in un file Excel per la successiva elaborazione dei dati.

Data	Vacca	Ora	Walking	Resting	Grazing	Note
24/08/2022	102	16:20:00	X			
24/08/2022	102	16:20:41				ferma
24/08/2022	102	16:23:16		X		
24/08/2022	102	16:42:00	X			

**Tab. 5.1** – Esempio di annotazione durante le osservazioni comportamentali al pascolo.



**Fig. 5.6** – Vacca di razza Bruna nei pascoli adiacenti alla Malga Juribello che si sta riposando.  
(Foto Annalisa Comini)



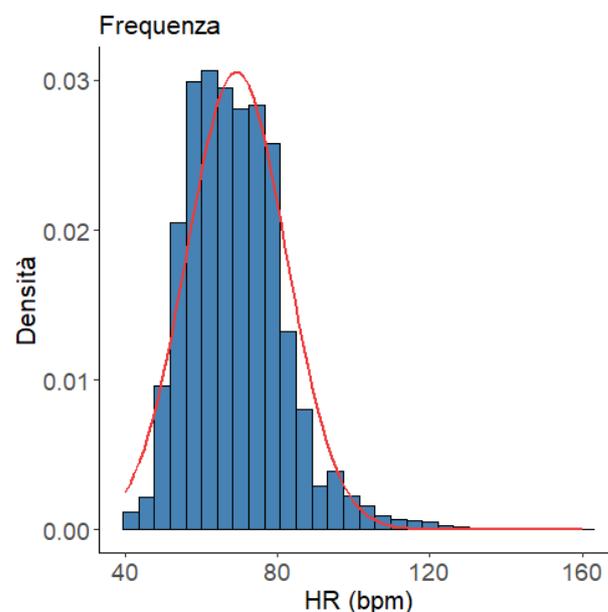
**Fig. 5.7** – Vacca di razza Pezzata Rossa nei pascoli adiacenti alla Malga Juribello mentre si sta spostando. *(Foto Annalisa Comini)*



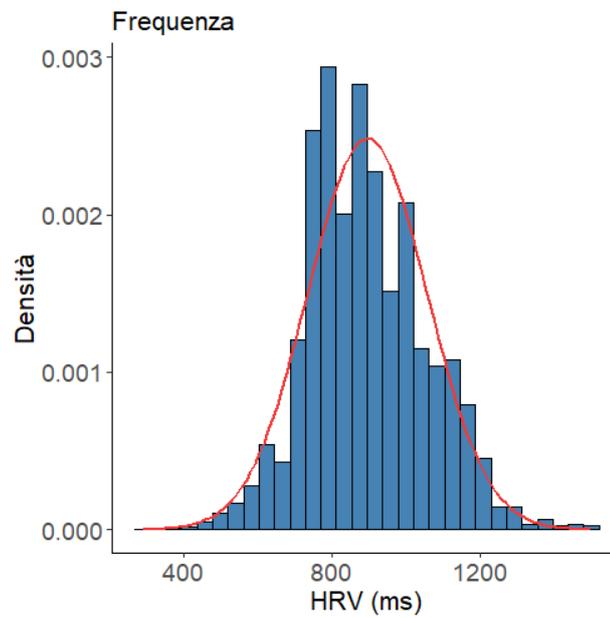
**Fig. 5.8** – Vacca di razza Pezzata Rossa che sta pascolando nei pascoli adiacenti alla Malga Juribello. *(Foto Annalisa Comini)*

Al termine della prova sperimentale in campo è stato necessario elaborare la grande quantità di dati ottenuta. Tramite l'applicativo proprietario della *Polar* sono stati scaricati i dataset singoli per l'attività giornaliera registrata e attraverso l'utilizzo di Excel sono state introdotte le informazioni relative alle matricole e alla razza delle bovine oggetto di studio. I database sono stati poi uniti attraverso l'utilizzo del programma *PostgreSQL* ed è stato selezionato un sottodataset corrispondente alle osservazioni comportamentali (**Tab. 5.2** e **Tab. 5.3**). In quest'ultimo dataset sono stati identificati dei possibili outliers ponendo delle condizioni con criteri logici. Le condizioni poste sono state necessarie per discriminare i tre comportamenti presi in considerazione attraverso l'uso della "speed" (velocità) e della frequenza cardiaca ("heart rate"). I limiti posti sono stati: "speed" compresa tra 3 e 16 km/h e "heart rate" maggiore di 50 bpm per il "walking", "speed" minore di 0,5 km/h e "heart rate" minore di 90 bpm per il "resting", "speed" compresa tra 0 e 4 km/h per il "grazing". Inoltre, è stata posta una condizione generale per quanto riguarda la frequenza cardiaca che non poteva mai essere minore di 40 bpm in nessun caso. Infine, sono state svolte delle analisi statistiche attraverso l'utilizzo del programma *R*.

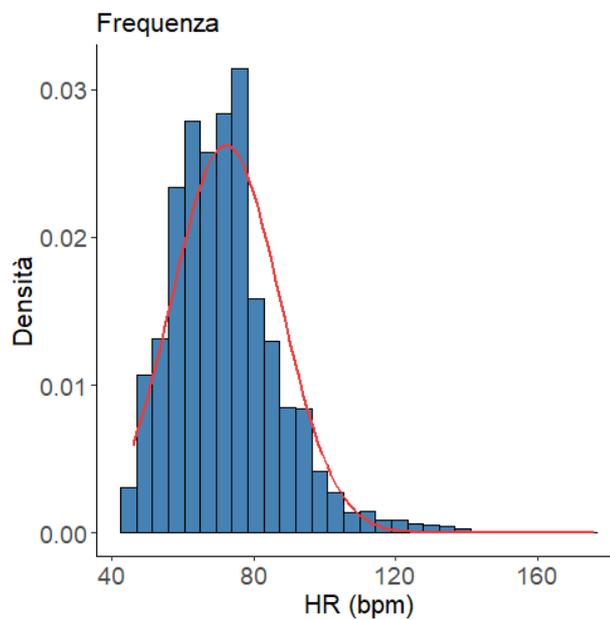
I modelli di analisi sono stati sviluppati in seguito accertamento della distribuzione delle variabili esaminate. Di seguito sono riportati i grafici per supporto al tipo di modello usato. Si tratta di istogrammi delle variabili modellate per valutare la loro distribuzione normale.



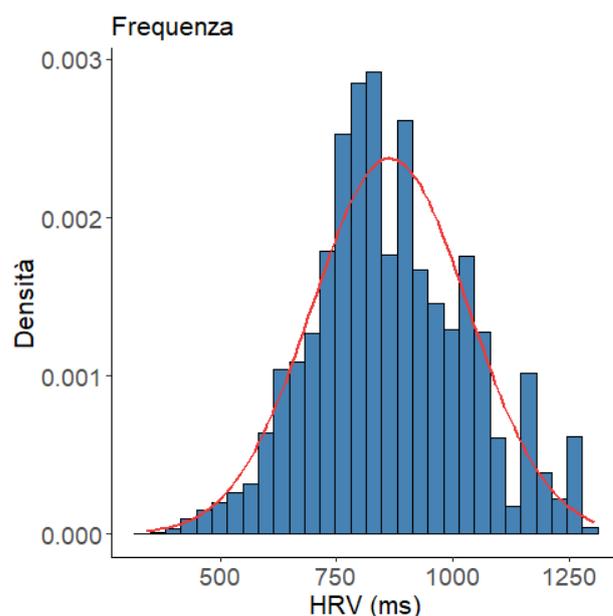
**Fig. 5.5** – Istogramma di supporto per lo sviluppo dei modelli di analisi in riferimento alla frequenza cardiaca (misurata in battiti per minuto, bpm) dei comportamenti classificati.



**Fig. 5.6** – Istogramma di supporto per lo sviluppo dei modelli di analisi in riferimento alla variabilità della frequenza cardiaca (misurata in millisecondi, ms) dei comportamenti classificati.



**Fig. 5.7** – Istogramma di supporto per lo sviluppo dei modelli di analisi in riferimento alla frequenza cardiaca (misurata in battiti per minuto, bpm) dei comportamenti osservati.



**Fig. 5.8** – Istogramma di supporto per lo sviluppo dei modelli di analisi in riferimento alla variabilità della frequenza cardiaca (misurata in millisecondi, ms) dei comportamenti osservati.

Le figure sopra riportate presentano la classica andatura continua con forma a campana e curva simmetrica rispetto all’asse centrale della distribuzione normale. Sull’asse delle ordinate è riportata la frequenza delle osservazioni e sull’asse delle ascisse la scala delle variabili studiate. Infatti, questi grafici sono risultati sufficientemente normali da giustificare l’uso di modelli basati su distribuzioni normali.

Nelle tabelle **Tab. 5.2** e **Tab. 5.3** sono rappresentati il numero e la percentuale totale delle osservazioni e delle rilevazioni classificate suddivise per razza e per tipo di comportamento.

Razza	Comportamento	Count	Perc. Totale
Bruna	Grazing	36259	21%
Bruna	Resting	48778	28%
Bruna	Walking	15018	9%
Pezzata Rossa	Grazing	40299	23%
Pezzata Rossa	Resting	24073	14%
Pezzata Rossa	Walking	9306	5%
		173733	

**Tab. 5.2** – Osservazioni dei comportamenti classificate.

Razza	Comportamento	Count	Perc. Totale	Perc. Totale classificati
Bruna	Grazing	98135	2%	30%
Bruna	Resting	69767	1%	21%
Bruna	Walking	20782	0,4%	6%
Pezzata Rossa	Grazing	93833	2%	29%
Pezzata Rossa	Resting	30745	1%	9%
Pezzata Rossa	Walking	14137	0,3%	4%
Bruna	none	2778438	55%	
Pezzata Rossa	none	1986752	39%	
		5092589		
		327399		

**Tab. 5.3** – Rilevazioni dei comportamenti classificate. I parametri evidenziati in giallo non sono classificabili in quanto questi dati non avevano le metriche su “speed” e “step” perché la frequenza cardiaca veniva rilevata ogni secondo mentre le altre metriche (rilevate dal sistema GPS) ogni 2 minuti.



## 6. RISULTATI E DISCUSSIONE

Al termine dell'elaborazione dei dataset di partenza sono stati ottenuti diversi grafici e tabelle che consentono di discriminare i comportamenti delle bovine. I parametri principali che sono stati utilizzati per la creazione dei grafici sono stati gli orari della giornata, la velocità e la frequenza cardiaca delle vacche.

In questa sezione della tesi verranno analizzati tutti i grafici e le tabelle ottenuti dallo studio dei dati.

### 6.1 Conditional Inference Trees

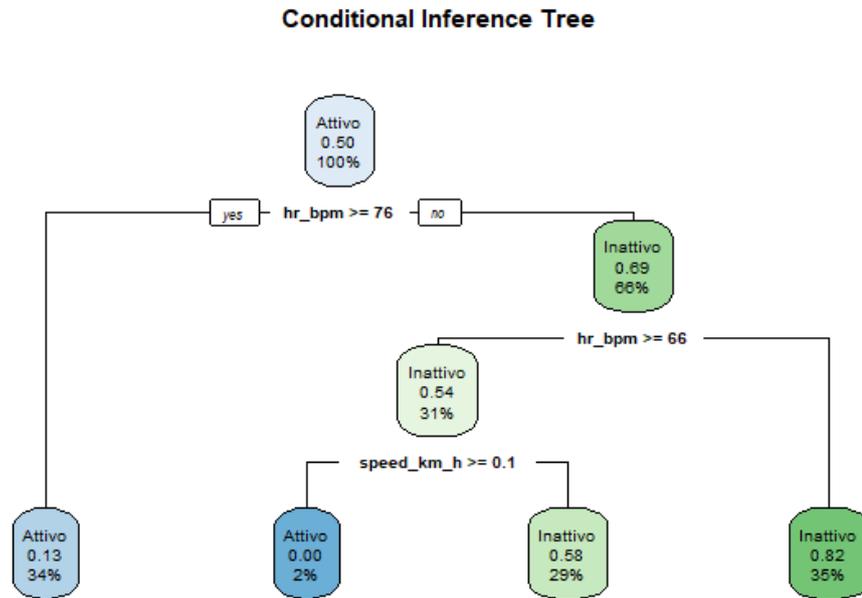
In questo paragrafo verranno analizzati dei grafici di tipo “conditional inference tree” che vengono usati per discriminare i comportamenti delle vacche in funzioni di diverse condizioni.

Per prima cosa sono stati creati dei grafici di riferimento (**Fig. 6.1** e **Fig. 6.2**) nei quali sono state inserite le condizioni che sono state poste per discriminare i comportamenti delle bovine.

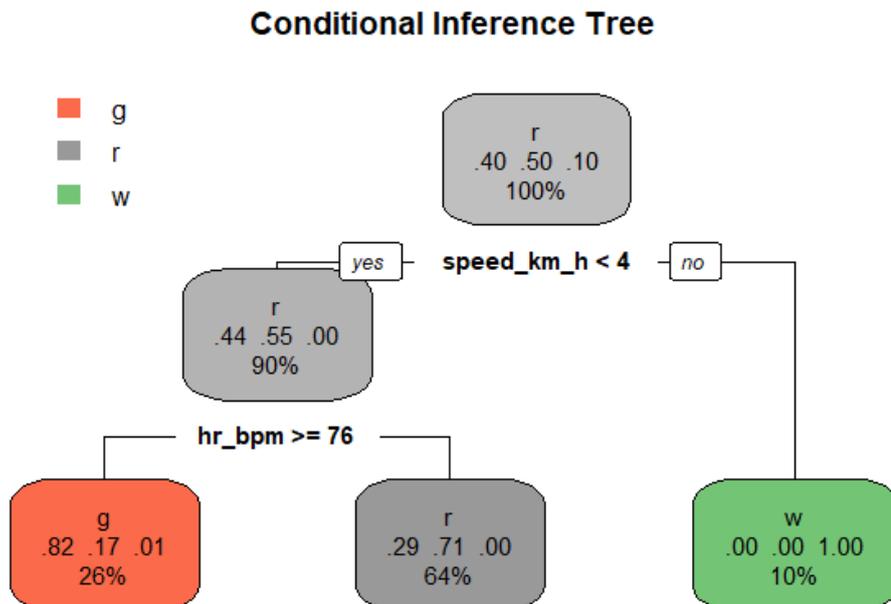
Nel primo grafico si è voluto discriminare il comportamento denominato “attivo” da quello “inattivo” utilizzando la frequenza cardiaca delle bovine (hr): se quest'ultima è maggiore o uguale di 76 bpm allora il comportamento è “attivo” se invece è minore il comportamento è “inattivo”. A quest'ultimo è stata posta un'altra condizione sempre riguardante la frequenza cardiaca: se minore di 66 bpm il comportamento rimane definitivamente “inattivo” mentre se maggiore o uguale è necessario porre una nuova condizione prendendo in considerazione la velocità delle vacche (speed). Quindi, avendo una frequenza cardiaca compresa tra 76 e 66 bpm, se la velocità è maggiore di 0,1 km/h il comportamento è definito “attivo”, se è minore è “inattivo”.

Il secondo grafico serve a discriminare i tre principali comportamenti delle bovine al pascolo quali pascolamento (“grazing”), riposo (“resting”) e spostamento (“walking”). Come prima condizione discriminante è stata posta una velocità di 4 km/h e se questa risulta maggiore allora il comportamento è definito come “walking”, se invece è minore bisogna introdurre un'altra condizione ovvero la frequenza cardiaca con una soglia di 76 bpm. Se la frequenza

cardiaca delle vacche supera questa soglia il comportamento è definito “grazing”, al contrario se non la supera il comportamento è “resting”.



**Fig. 6.1** – Conditional Inference Tree di riferimento per discriminare i comportamenti denominati “attivo” e “inattivo”.

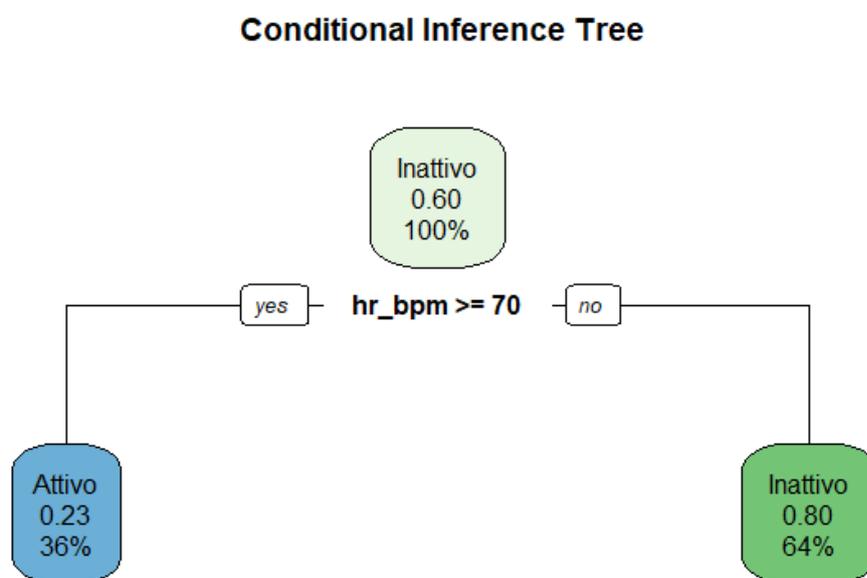


**Fig. 6.2** – Conditional Inference Tree di riferimento per discriminare i comportamenti denominati “grazing”, “resting” e “walking”.

A questo punto si può passare all'analisi dei Conditional Inference Trees per le due razze.

Nel grafico **Fig. 6.3** si è voluto discriminare il comportamento definito “attivo” da quello “inattivo” delle vacche di razza Bruna.

È stata posta una soglia per la frequenza cardiaca pari a 70 bpm, se questa si presenta essere maggiore allora il comportamento viene classificato come “attivo”, al contrario se si presenta inferiore il comportamento sarà classificato “inattivo”.

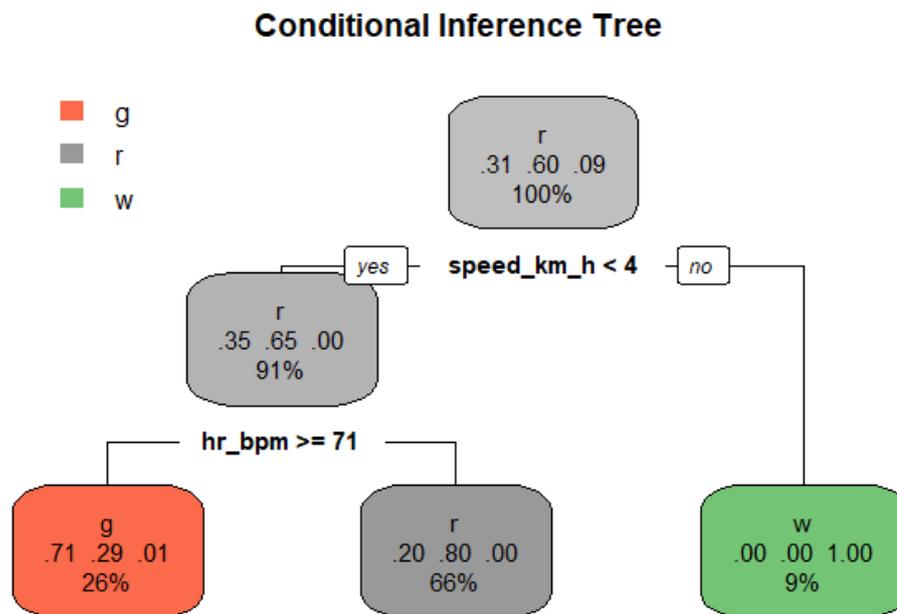


**Fig. 6.3** – Conditional Inference Tree per i comportamenti “attivo” e “inattivo” delle vacche di razza Bruna.

Stessa cosa vale per il grafico **Fig. 6.4** nel quale vengono discriminati i comportamenti di “grazing”, “resting” e “walking” ponendo come condizioni i parametri di velocità e frequenza cardiaca.

Si parte dal comportamento definito “resting” ovvero il riposo: se la velocità della vacca supera i 4 km/h allora questo comportamento cambia e viene definito “walking” ovvero la vacca si sta spostando. Se invece la velocità è minore dei 4 km/h allora il comportamento della vacca rimane “resting”. A questo punto per discriminare il “resting” dal “grazing” si usa la frequenza cardiaca: se questa super i 71 bpm allora si associa il comportamento “grazing” ovvero si

assume che la vacca stia pascolando mentre se è inferiore il comportamento rimane “resting” e la vacca sta riposando.

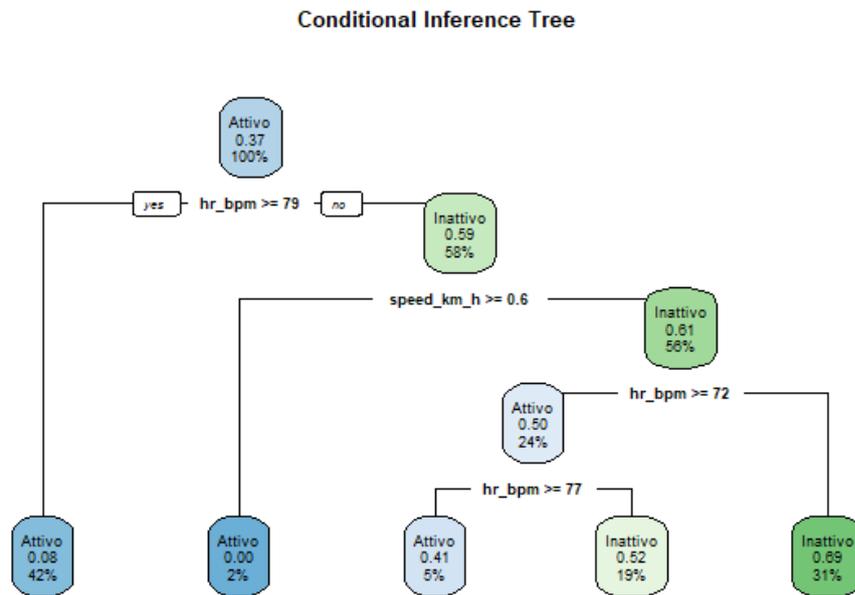


**Fig. 6.4** – Conditional Inference Tree per i comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” delle vacche di razza Bruna.

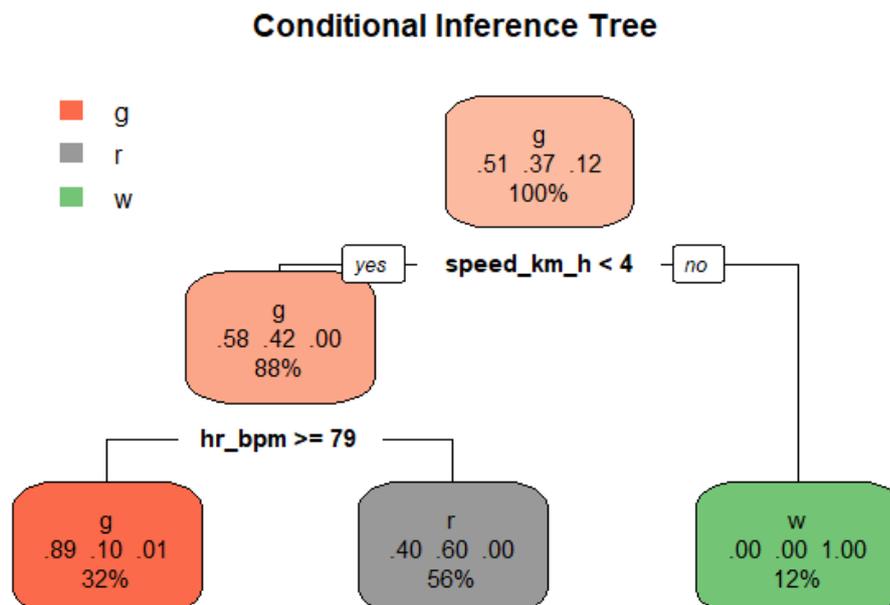
Passando alle vacche di razza Pezzata Rossa è leggermente più complicato discriminare il comportamento “attivo” da quello “inattivo” (Fig. 6.5). Partendo dalla frequenza cardiaca se è maggiore di 79 bpm il comportamento è “attivo”, se è minore allora è “inattivo”. A quest’ultimo si pone come condizione la velocità: se è maggiore di 0,6 km/h il comportamento diventa “attivo” altrimenti rimane definito “inattivo”. A questo punto si pone un’altra soglia alla frequenza cardiaca pari a 72 bpm: se inferiore a questa soglia il comportamento rimane “inattivo”, se invece la frequenza cardiaca è superiore a questa soglia il comportamento è “attivo”. Un’ultima condizione è stata posta sempre sulla frequenza cardiaca e se questa supera i 77 bpm il comportamento rimane definito “attivo” ma se al contrario è inferiore allora il comportamento è “inattivo”.

Più semplice è discriminare per la razza Pezzata Rossa i comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” (Fig. 6.6). Si pone come prima condizione discriminante la velocità delle bovine: se maggiore di 4 km/h il comportamento è definito “walking” quindi la bovina si sta spostando, se invece la velocità è minore il comportamento è “grazing”. A quest’ultimo si pone la condizione sulla frequenza cardiaca e se questa risulta maggiore di 79 bpm il comportamento

rimane “grazing” quindi le bovine stanno pascolando mentre se la frequenza cardiaca è minore di 79 bpm le bovine si stanno riposando e il comportamento è definito “resting”.



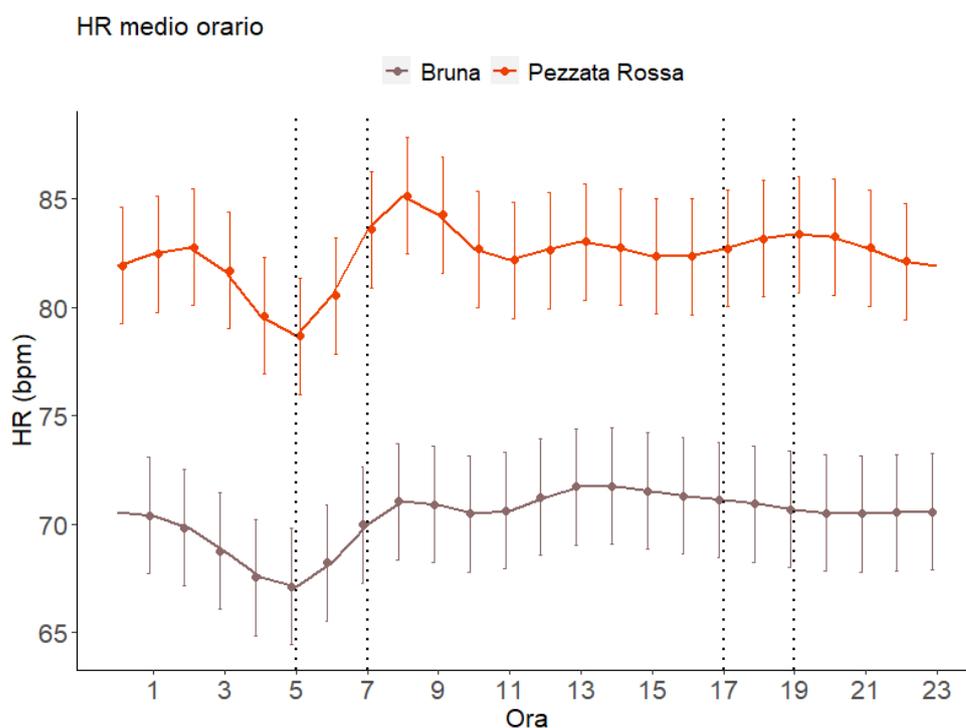
**Fig. 6.5** – Conditional Inference Tree per i comportamenti “attivo” e “inattivo” delle vacche di razza Pezzata Rossa.



**Fig. 6.6** – Conditional Inference Tree per i comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” delle vacche di razza Pezzata Rossa.

## 6.2 Frequenza cardiaca e variabilità

Il grafico **Fig. 6.7** mostra l'evoluzione della frequenza cardiaca media delle vacche di razza Bruna e di razza Pezzata Rossa durante le ore della giornata.



**Fig. 6.7** – Frequenza cardiaca media oraria.

Nella razza Pezzata Rossa notiamo un picco di massimo in corrispondenza delle ore 8:00 del mattino probabilmente dovuto dal fatto che le vacche iniziavano a spostarsi dal recinto di stazionamento verso il pascolo accompagnate dal pastore. Il picco di minimo si può vedere alle ore 5:00 del mattino, orario di entrata in stalla per la mungitura. Tra la frequenza minima e quella massima passano relativamente poche ore (circa 3) dove però si assiste ad un aumento repentino rispetto alle altre ore della giornata durante le quali la frequenza cardiaca resta abbastanza costante e si aggira attorno agli 83 bpm. L'aumento della frequenza cardiaca, in quel lasso di tempo, può essere dovuto al fatto che le vacche uscivano dalla stalla dopo la mungitura e cominciavano a dirigersi verso la fine del recinto su un percorso in pendenza. Verso le ore 8:00 il pastore, aiutato dal cane, radunava tutte le vacche alla fine del recinto, lo apriva e le bovine partivano per raggiungere il pascolo.

Nelle vacche di razza Bruna la frequenza cardiaca ha un andamento diverso rispetto a quelle di Pezzata Rossa. Non presenta un picco di massimo ma tende a rimanere abbastanza

costante attorno ai 70 bpm o poco più fatta eccezione dalle 2:00 del mattino che comincia a scendere fino a raggiungere un picco di minimo alle 5:00 (66 bpm circa) per poi tornare a salire e stabilizzarsi alle ore 7:00 del mattino. Questo risultato è in linea con quanto studiato da Colombini *et al.* (2010) in una prova su 45 vacche di razza Bruna in Valtellina (SO) nella quale ha rilevato una frequenza cardiaca media nel mese di agosto di circa 70 bpm. Risultati simili sono stati ottenuti anche da Brosh *et al.* (2003, 2006).

I valori fisiologici della frequenza cardiaca dei bovini vanno solitamente dai 60 bpm agli 80 bpm con una media di 70 bpm (Kahankova *et al.* 2022) e secondo questi risultati la razza Bruna rientra perfettamente in questi valori. La razza Pezzata Rossa ha dei valori leggermente più alti ma comunque accettabili.

La cosa molto interessante da notare in questo grafico è come la frequenza cardiaca media delle vacche di razza Bruna è minore di quella delle vacche di razza Pezzata Rossa. Questo fenomeno viene mostrato anche in uno studio condotto da Hagen *et al.* (2005) su 12 Brune e 12 Pezzate Rosse nei quali i valori di frequenza cardiaca delle Brune era leggermente inferiore di quella delle Pezzate Rosse in quanto il peso e la razza sono dei fattori significativi. In questa prova si è riscontrato un peso maggiore delle Pezzate Rosse rispetto alle Brune ma è un fattore che non viene approfondito.

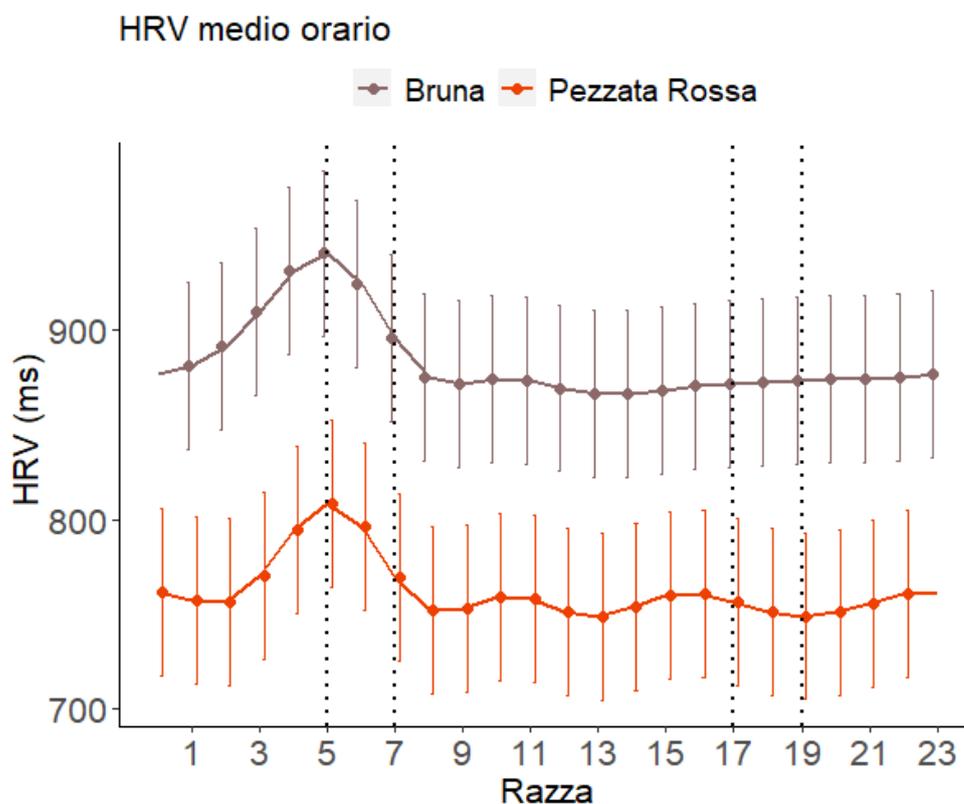
Nel grafico sottostante (**Fig. 6.8**) è rappresentata l'evoluzione della variabilità della frequenza cardiaca delle due razze di bovine. Con variabilità si intende il tempo che trascorre tra un battito cardiaco e quello successivo misurato in millisecondi (ms). Sull'asse delle ascisse sono rappresentate le ore della giornata e sull'asse delle ordinate la variabilità della frequenza cardiaca espressa in millisecondi (ms). Si può notare un aumento della variabilità che inizia attorno alle ore 2:00 del mattino e raggiunge il picco di massimo alle ore 5:00 del mattino sia per la razza Bruna che per la Pezzata Rossa con valori rispettivamente pari a circa 950 ms e 800 ms. La variabilità comincia poi a decrescere fino alle ore 8:00 del mattino dove si stabilizza e resta più o meno costante per tutto il resto della giornata.

La frequenza cardiaca media e la sua variabilità media sono inversamente proporzionali ( $hrv = 60000/hr$ ) ed è per questo che la variabilità della frequenza cardiaca sia più alta nella razza Bruna che nella razza Pezzata Rossa.

Kovacs *et al.* (2014) hanno dimostrato che le vacche in una sala di mungitura a spina di pesce presentavano una ridotta variabilità della frequenza cardiaca e alti livelli di stress durante l'attesa per l'uscita dalla sala di mungitura. Dal grafico **Fig. 6.8** si nota un calo della variabilità

della frequenza cardiaca nell'orario in cui le vacche si trovavano in stalla per la mungitura come anche spiegato in precedenza, nonostante questo i valori della frequenza cardiaca rientrano nel range dei valori fisiologici quindi si può dedurre che le vacche munte alla Malga Juribello non presentavano elevati livelli di stress.

Nonostante sia interessante, la variabilità della frequenza cardiaca non è un fattore forte come la frequenza cardiaca stessa e la velocità per la classificazione dei dati.



**Fig. 6.8** – Variabilità media oraria della frequenza cardiaca.

### 6.3 Comportamento “attivo” e “inattivo”

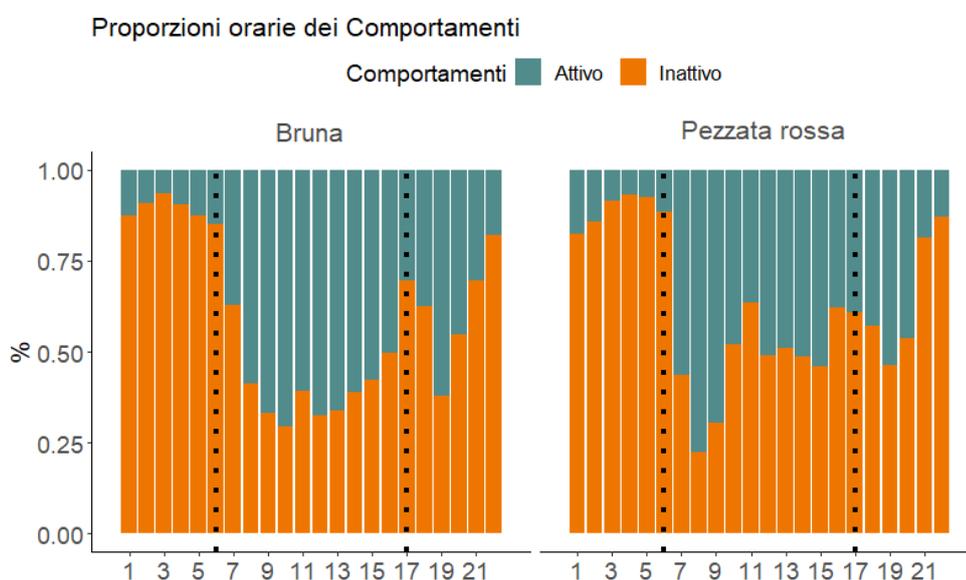
Nel grafico **Fig. 6.9** vengono riportate le proporzioni orarie del comportamento delle bovine suddiviso in “attivo” e “inattivo” per entrambe le razze analizzate in questo studio.

Sull’asse delle ascisse sono rappresentate le ore della giornata e sull’asse delle ordinate la percentuale del comportamento. Inoltre, sono stati evidenziati mediante una linea tratteggiata gli orari durante i quali le bovine si trovavano in stalla per la mungitura e questi andavano indicativamente dalle 5:00 alle 7:00 del mattino e dalle 17:00 alle 19:00 del pomeriggio.

Dal grafico si può notare che in entrambe le razze c'è una maggior percentuale del comportamento “attivo” durante le ore diurne e una maggior percentuale del comportamento “inattivo” durante le ore notturne come ci si poteva aspettare.

Le bovine di razza Bruna risultano più attive attorno alle ore 10:00 del mattino con una percentuale del 70%. Il picco di attività per la razza Pezzata Rossa si manifesta intorno alle ore 8:00 del mattino con una percentuale del 75%.

Si può inoltre notare una differenza di comportamento tra le due razze: infatti, risulta che le bovine di razza Bruna sono più attive durante la giornata rispetto a quelle di razza Pezzata Rossa.

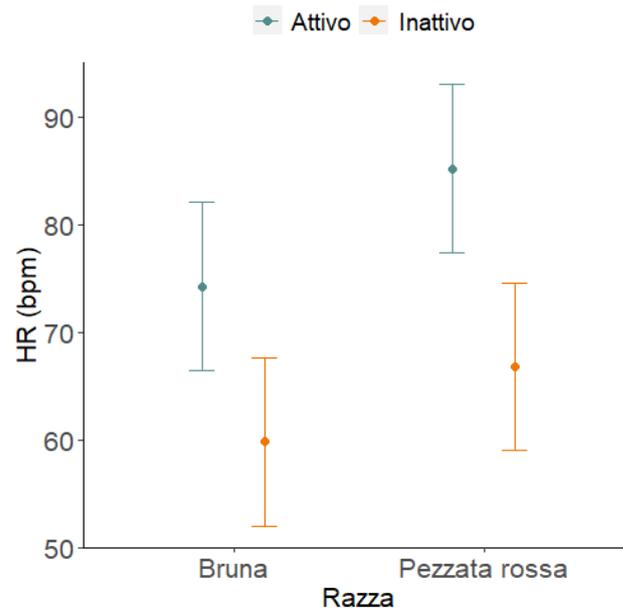


**Fig. 6.9** – Proporzioni orarie dei comportamenti “attivo” e “inattivo”.

In **Fig. 6.10** viene rappresentata la frequenza cardiaca sull’asse delle ordinate e le due razze e i due diversi tipi di comportamento sull’asse delle ascisse. Come ci si poteva aspettare, la frequenza cardiaca per il comportamento “attivo” è ovviamente maggiore di quella del comportamento “inattivo” in entrambe le razze.

Interessante è come la frequenza cardiaca della razza Bruna è minore di quella della razza Pezzata Rossa per entrambi i comportamenti.

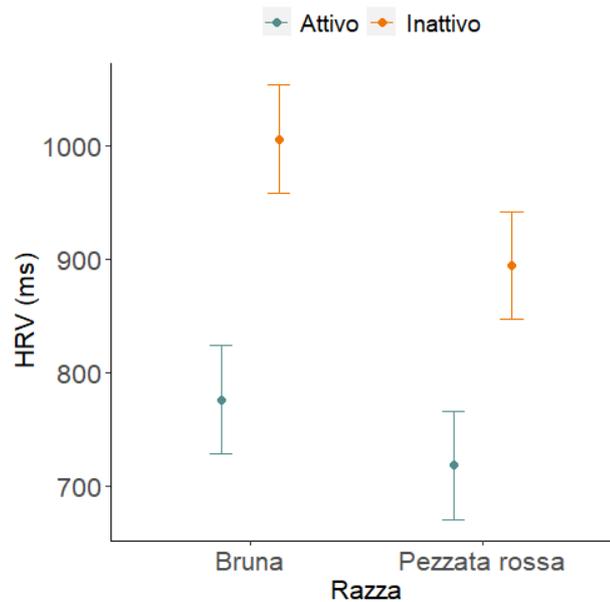
Per il comportamento “attivo” la media si aggira attorno ai 75 bpm per la razza Bruna e attorno agli 85 bpm per la Pezzata Rossa. Per il comportamento “inattivo” la media è circa 60 bpm per la Bruna e leggermente maggiore intorno ai 65 bpm per la Pezzata Rossa.



**Fig. 6.10** – Frequenza cardiaca media con barre di errore dei comportamenti “attivo” e “inattivo”.

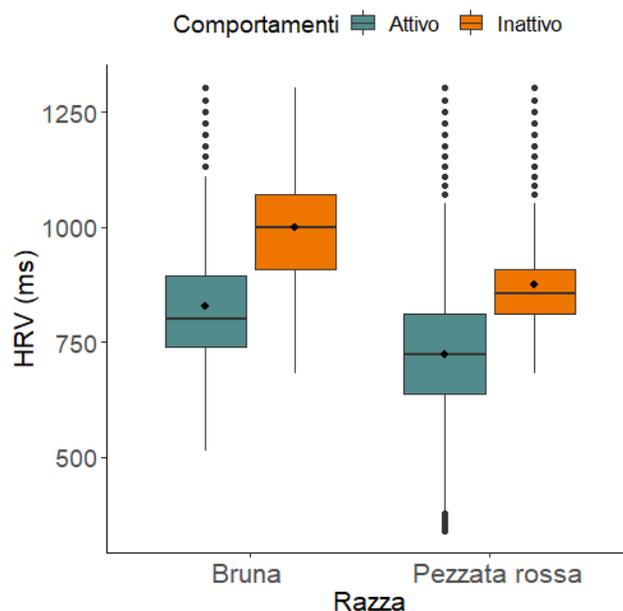
Nei grafici successivi (**Fig. 6.11**) è rappresentata la variabilità della frequenza cardiaca sull’asse delle ordinate espressa in millisecondi (ms). Come già accennato in precedenza la variabilità della frequenza cardiaca e la frequenza cardiaca stessa sono inversamente proporzionali quindi come ci si può aspettare si avrà una variabilità della frequenza cardiaca più alta nella razza Bruna e più bassa nella razza Pezzata Rossa.

Avendo il comportamento “inattivo” una frequenza cardiaca bassa, la media della sua variabilità è circa 1000 ms per la razza Bruna e 900 ms per la Pezzata Rossa in quanto il tempo che trascorre tra un battito cardiaco e l’altro è maggiore. Nel comportamento “attivo”, di conseguenza, la media della variabilità risulta più bassa perché il tempo tra un battito e l’altro è meno e per entrambe le razze si colloca tra i 700 e gli 800 ms (più prossima ai 700 ms per la Pezzata Rossa e più vicina agli 800 ms per la Bruna).



**Fig. 6.11** – Variabilità media della frequenza cardiaca con barre di errore dei comportamenti “attivo” e “inattivo” classificati.

Passando all’ultimo grafico (**Fig. 6.12**) per quanto riguarda i comportamenti “attivo” e “inattivo”, si vede come è distribuita la variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti osservati mentre sopra si parlava di quelli classificati. In questo caso c’è una variabilità più ampia ma le medie restano molto simili a quelle dei comportamenti classificati.



**Fig. 6.12** – Variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “attivo” e “inattivo” osservati.

## 6.4 Comportamento “grazing”, “resting” e “walking”

Il grafico **Fig. 6.13** rappresenta le proporzioni orarie dei comportamenti suddivisi tra pascolamento (“grazing”), riposo (“resting”) e spostamento (“walking”) durante la giornata delle due razze di bovine.

Si trovano sull’asse delle ascisse le ore della giornata e sull’asse delle ordinate le percentuali corrispondenti ai tipi di comportamenti analizzati.

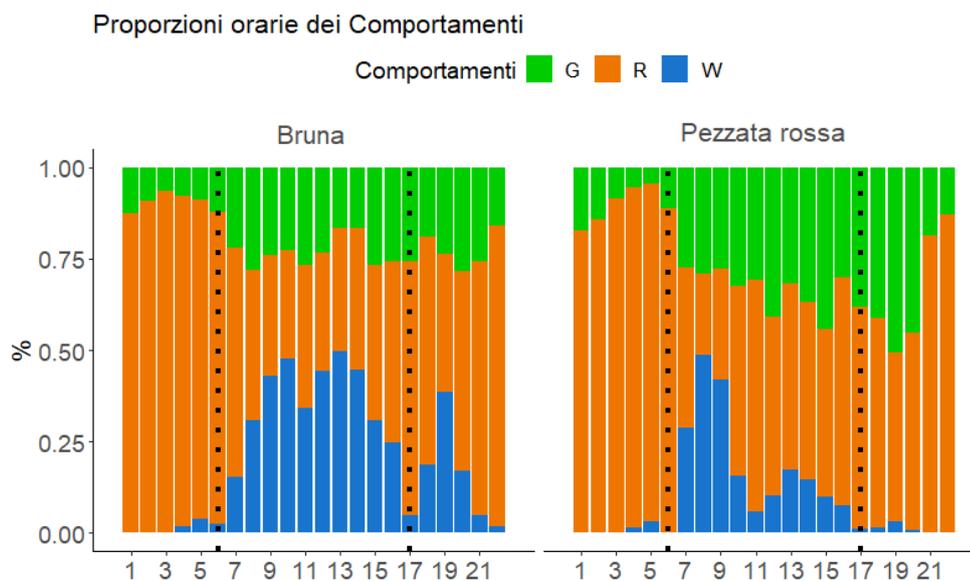
Si può notare una ben visibile differenza tra le due razze. La razza Bruna presenta una maggior percentuale per il comportamento “walking” durante tutto il tempo della giornata. Nella Pezzata Rossa si può distinguere un picco per il comportamento “walking” tra le 8:00 e le 9:00 del mattino, orario nel quale le bovine venivano accompagnate nella zona da pascolare dal pastore. Poi la percentuale cala dando più spazio agli altri due comportamenti.

Le Brune sono state più costanti anche per quanto riguarda la percentuale del comportamento “grazing” che si aggira attorno al 25% dalle 7:00 del mattino alle 20:00 di sera. Le Brune presentano anche un picco del comportamento “walking” attorno alle 19:00, orario in cui indicativamente uscivano dalla stalla per raggiungere i pascoli notturni. Mentre per le Brune in questa fascia orario il comportamento principale era il “walking”, per le Pezzate Rosse era il “grazing” con circa una percentuale del 50%.

Per quanto riguarda l’ultimo comportamento, il “resting”, si può notare che si verificava soprattutto nelle ore notturne che andavano dalle 22:00 alle 5:00 del mattino.

Anche in questo grafico sono stati evidenziati gli orari nei quali le vacche si trovavano in stalla per la mungitura e come ci si può aspettare il comportamento principale era il “resting”.

Interessante è comparare questi risultati con quelli ottenuti in uno studio condotto da Brosh *et al.* (2006), il quale ha riscontrato che nel mese di agosto le vacche passavano circa 5 ore al giorno a pascolare, mezz’ora la impiegavano negli spostamenti, per circa 7 ore si riposavano e altre 10 ore le passavo in piedi.



**Fig. 6.13** – Proporzioni orarie dei comportamenti “grazing”, “resting” e “walking”.

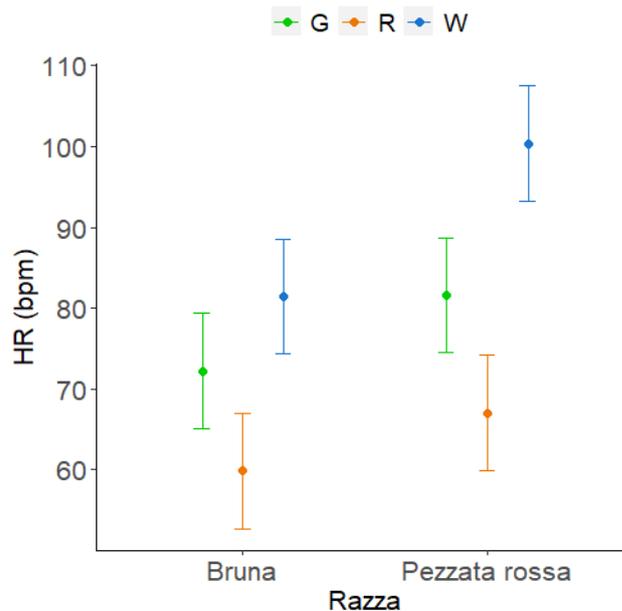
Nel grafico **Fig. 6.14** sono rappresentate le frequenze del battito cardiaco delle bovine nei tre diversi comportamenti. Come mostrato anche dal grafico **Fig. 6.10**, si può notare che le frequenze cardiache della razza Pezzata Rossa sono maggiori che nella razza Bruna in tutti e tre i comportamenti.

Come ci si può aspettare la frequenza cardiaca del comportamento “resting” è quella più basse per entrambe le razze: per la Bruna va dai 50 bpm circa a poco sotto i 70 bpm con una media di 60 bpm, per la Pezzata Rossa va dai 60 bpm a circa 75 bpm con una media poco sotto i 70 bpm.

Le due razze presentano la stessa frequenza cardiaca corrispondente però a due comportamenti diversi: la Bruna per il comportamento “walking” e la Pezzata Rossa per il comportamento “grazing”. Questa frequenza va dai 75 bpm circa a poco meno dei 90 bpm con una media di 80 bpm.

Un particolare interessante da evidenziare è che, nonostante le vacche di razza Bruna hanno mostrato una frequenza del battito cardiaco inferiore di quelle di razza Pezzata Rossa (vedi anche **Fig. 6.7**), durante le osservazioni comportamentali delle bovine al pascolo le Brune erano molto più attive delle Pezzate Rosse. Le Brune, infatti, si muovevano ed esploravano molto di più delle Pezzate Rosse che invece tendevano a spostarsi più lentamente e riposare per più tempo.

Uno studio condotto da Colombini *et al.* (2010) mostra che la frequenza cardiaca medie di 45 vacche al pascolo di razza Bruna in Valtellina (SO) si aggirava attorno ai 75 bpm per il comportamento “grazing” e attorno ai 70 bpm per il comportamento “resting”. I risultati del comportamento “grazing” sono in linea con quanto risultato anche in questo studio mentre per il comportamento “resting” si trovano delle differenze.

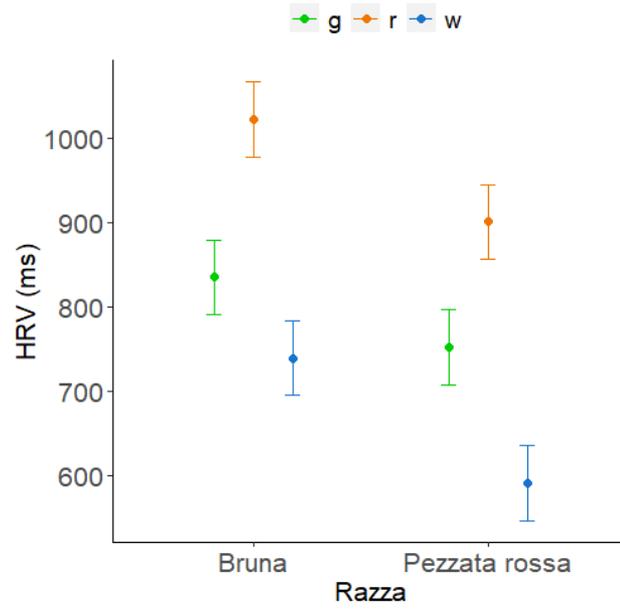


**Fig. 6.14** – Frequenza cardiaca media con barre di errore dei comportamenti “grazing”, “resting” e “walking”.

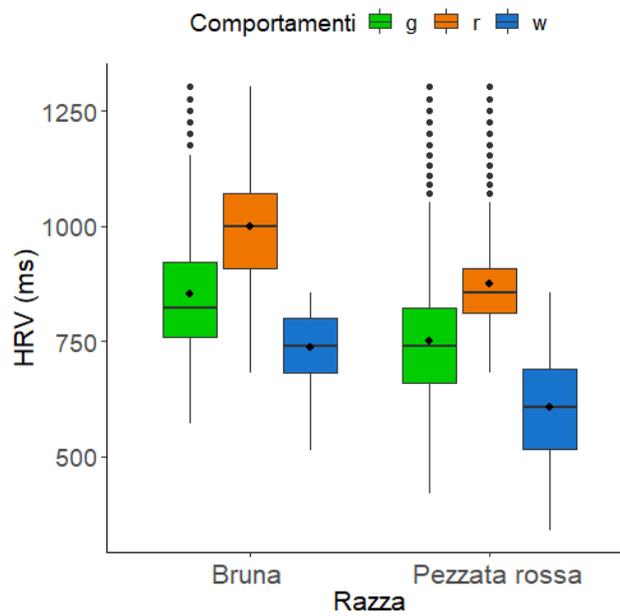
Si passa ora all’analisi dei grafici che mostrano la variabilità della frequenza cardiaca dei tre principali comportamenti delle bovine al pascolo che sono stati classificati (**Fig. 6.15**). Anche in questo caso si può notare che la variabilità della frequenza cardiaca è più alta nella razza Bruna che nella razza Pezzata Rossa perché è inversamente proporzionale alla frequenza cardiaca. La media più bassa (600 ms) si trova in corrispondenza del comportamento “walking” della razza Pezzata Rossa che infatti presentava la frequenza cardiaca più alta (**Fig. 6.14**). La media più alta si ritrova invece nel comportamento “resting” della razza Bruna con una variabilità leggermente superiore ai 1000 ms.

Nei comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” osservati (**Fig. 6.16**) c’è una variabilità maggiore rispetto a quelli classificati ma le medie restano abbastanza invariate.

Come già detto in precedenza la frequenza cardiaca e la velocità restano fattori più forti della variabilità della frequenza cardiaca per la classificazione dei dati.



**Fig. 6.15** – Variabilità media della frequenza cardiaca con barre di errore dei comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” classificati.



**Fig. 6.16** – Variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” osservati.

## 6.5 Modelli dei comportamenti

Le tabelle riportate in seguito propongono i modelli della frequenza cardiaca dei comportamenti suddivisi in base a quelli classificati e osservati e suddivisi ulteriormente in “attivo-inattivo” e “grazing-resting-walking”.

Nella prima parte della tabella (**Tab. 6.1**) si trovano, espressi sottoforma di dati, gli andamenti dei comportamenti: in questo caso i comportamenti “attivo” e “inattivo” classificati. La voce “Intercept Estimate” rappresenta la media del battito cardiaco delle vacche di razza Bruna e in questo caso è estremamente significativo (76,43465). La voce “Breed (B): Pezzata Rossa Estimate” mostra di quanti punti si differenzia la media del battito cardiaco della razza Pezzata Rossa da quello della razza Bruna quindi per trovare la media bisogna aggiungere all’”Intercept Estimate” la “Breed (B): Pezzata Rossa Estimate” ( $76,43465+7,32955=83,7642$ ). Ciò si può ben notare anche nel grafico **Fig. 6.10**. Passando alla voce “Comportamento (C): Inattivo Estimate”, come per la voce “Breed (B): Pezzata Rossa Estimate”, mostra di quanti punti si differenzia il comportamento “attivo” da quello “inattivo” e in questo caso i due comportamenti sono molto diversi. I segni “+” e “-” nella colonna degli “Estimate” rappresentano gli andamenti.

Nella seconda parte della tabella si trovano gli effetti fissi, quelli ben definiti (“Edf”), e i fattori random (“Ref.df”) che sono quei fattori che non si riescono a definire nella loro interezza. Le righe denominate “Spline (hour)” rappresentano gli andamenti della frequenza cardiaca durante le ore del giorno e sono divisi per razza Bruna e razza Pezzata Rossa e presentano un andamento polinomiale caratterizzato da variazioni circadiane.

Nell’ultima parte della tabella sono rappresentati gli indicatori statistici. Di seguito la legenda per l’interpretazione:

Indice statistico	Significato
AIC	Misura della qualità della stima di un modello statistico tenendo conto sia della bontà di adattamento che della complessità del modello
BIC	Serve per l’identificazione del modello di regressione lineare
R2	È il coefficiente di determinazione ovvero l’indice che misura la correlazione lineare tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato
R2 cond	Model conditional R squared: è il coefficiente di determinazione che considera gli effetti random (in questi casi la matricola)
R2 marg	Model marginal R squared: è il coefficiente di determinazione che considera gli effetti fissi (in questi casi razza, comportamento e interazioni)
ICC	È una misura di correlazione e validità che può essere usata con due o più variabili qualitative (in questi casi è sempre minore di 0,4 quindi la correlazione è scarsa)
RMSE	Fornisce una stima delle dimensioni degli errori quindi delle differenze tra i valori del modello rispetto a quelli dei dati ottenuti
Sigma	Indice statistico di dispersione (deviazione standard e errore standard)

Parametric terms	Classificati Attivo-Inattivo				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
Intercept	76,44	1,66	46,02	2,00E-16	***
Breed (B): Pezzata Rossa	7,33	2,39	3,12	0,002	**
Comportamento (C): Inattivo	-17,61	0,02	-1206,05	2,00E-16	***
B Pezzata Rossa: C Inattivo	0,97	0,02	41,85	2,00E-16	***
Smooth terms	Edf	Ref.df	F	p-value	
Spline (matricola)	4	4	51779	<2e-16	***
Spline (hour): B Bruna	7,99	8	294465	<2e-16	***
Spline (hour): B Pezzata Rossa	7,99	8	570407	<2e-16	***
AIC	BIC	R2	RMSE	Sigma	
1,59E+07	1,59E+07	0,78	6,26	6,26	

**Tab. 6.1** - Modelli della frequenza cardiaca dei comportamenti “attivo-inattivo” classificati.

Nella prima parte della tabella (**Tab. 6.2**) si trovano le stesse voci che per i comportamenti classificati descritte in precedenza e si nota che anche i valori degli “Estimate” sono molto simili.

Nella seconda parte invece non ci sono le voci “Spline (hour)” in quanto le variazioni del battito cardiaco dei comportamenti osservati non presentano un effetto ore perché si tratta di contesti diversi.

Per quanto riguarda l’ultima parte, quella degli indicatori statistici, è interessante soffermarsi sulle voci “R<sup>2</sup> cond” e “R<sup>2</sup> marg”. Il primo considera la matricola quindi un effetto random mentre il secondo considera gli effetti fissi come la razza, il comportamento e le interazioni. Nel nostro caso questi sono dei buoni coefficienti di regressione.

La razza, inoltre, è significativa solo in relazione al comportamento mentre nei comportamenti classificati (**Tab. 6.1**) la razza diventa significativa.

Osservati Attivo-Inattivo							
Parametric terms	Estimate	Std. Error	DF	t value	Pr(> t )		
Intercept	74,27	3,98	4,00	18,67	4,83E-05	***	
Breed (B): Pezzata Rossa	10,95	5,63	4,00	1,95	0,123		
Comportamento (C): Inattivo	-14,44	0,08		-186,22	2,00E-16	***	
B Pezzata Rossa: C Inattivo	-3,96	0,12		-33,72	2,00E-16	***	
Groups		Variance	Std.Dev.				
Matricola	(Intercept)	47,46	6,89				
Residual		109,53	10,45				
AIC	AICc	BIC	R2 cond	R2 marg	ICC	RMSE	Sigma
1,07E+06	1,07E+06	1,07E+06	0,58	0,39	0,30	10,47	10,47

**Tab. 6.2** – Modelli della frequenza cardiaca dei comportamenti “attivo-inattivo” osservati.

Le tabelle, in seguito, mostrano gli andamenti della frequenza cardiaca delle vacche per i comportamenti “grazing-resting-walking” classificati (**Tab. 6.3**) e osservati (**Tab. 6.4**) e si interpretano nello stesso modo delle tabelle proposte sopra.

Classificati Grazing-Resting-Walking					
Parametric terms	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
Intercept	71,48	1,37	52,29	2,00E-16	***
Breed (B): Pezzata Rossa	7,79	1,93	4,03	5,49E-05	***
Comportamento (C): resting	-12,95	0,01	-923,01	2,00E-16	***
Comportamento (C): walking	10,35	0,02	646,24	2,00E-16	***
B Pezzata Rossa: C resting	0,17	0,02	8,28	2,00E-16	***
B Pezzata Rossa: C walking	12,44	0,03	402,29	2,00E-16	***
Smooth terms	Edf	Ref.df	F	p-value	
Spline (matricola)	4	4	51779	<2e-16	***
Spline (hour): B Bruna	7,99	8	294465	<2e-16	***
Spline (hour): B Pezzata Rossa	7,99	8	570407	<2e-16	***
AIC	BIC	R2	RMSE	Sigma	
1,59E+07	1,59E+07	0,78	6,26	6,26	

**Tab. 6.3** – Modelli della frequenza cardiaca dei comportamenti “grazing-resting-walking” classificati.

Parametric terms	Estimate	Osservati Grazing-Resting-Walking				Pr(> t )	
		Std. Error	DF	t value			
Intercept	72,23	3,62	4,01	19,96	3,68E-05	***	
Breed (B): Pezzata Rossa	9,31	5,12	4,00	1,82	0,143		
Comportamento (C): resting	-12,38	0,08	142500,00	-162,16	2,00E-16	***	
Comportamento (C): walking	9,21	0,13	142500,00	71,83	2,00E-16	***	
B Pezzata Rossa: C resting	-2,11	0,11	142500,00	-18,52	2,00E-16	***	
B Pezzata Rossa: C walking	9,60	0,18	142500,00	54,01	2,00E-16	***	
Groups		Variance	Std.Dev.				
Matricola	(Intercept)	39,28	6,27				
Residual		91,28	9,55				
AIC	AICc	BIC	R2 cond	R2 marg	ICC	RMSE	Sigma
1,07E+06	1,07E+06	1,07E+06	0,64	0,48	0,30	9,55	9,5

**Tab. 6.4** - Modelli della frequenza cardiaca dei comportamenti “grazing-resting-walking” osservati.

Passando ai modelli della variabilità della frequenza cardiaca, anche qui vengono proposte quattro tabelle. Le prime mostrano gli andamenti della variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “attivo” e “inattivo” classificati (**Tab. 6.5**) ed osservati (**Tab. 6.6**) e le ultime due gli andamenti della variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “grazing”, “resting” e “walking” classificati (**Tab. 6.7**) ed osservati (**Tab. 6.8**). Il metodo di interpretazione rimane lo stesso che per le tabelle viste in precedenza.

Parametric terms	Estimate	Classificati Attivo-Inattivo				
		Std. Error	t value	Pr(> t )		
Intercept	802,23	24,19	33,16	<2e-16	***	
Breed (B): Pezzata Rossa	-70,82	34,21	-2,07	0,04	*	
Comportamento (C): Inattivo	230,11	0,17	1374,43	<2e-16	***	
B Pezzata Rossa: C Inattivo	-53,78	0,26	-203,5	<2e-16	***	
Smooth terms	Edf	Ref.df	F	p-value		
Spline (matricola)	4	4	87455	<2e-16	***	
Spline (hour): B Bruna	7,99	8	14090586	<2e-16	***	
Spline (hour): B Pezzata Rossa	7,99	8	2490677	<2e-16	***	
AIC	BIC	R2	RMSE	Deviance		
2,88E+07	2,88E+07	0,71	87,23	70,60%		

**Tab. 6.5** – Modelli della variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “attivo-inattivo” classificati.

Osservati Attivo-Inattivo							
Parametric terms	Estimate	Std. Error	DF	t value	Pr(> t )		
Intercept	8,26E+02	4,71E+01	4,00E+00	17,54	6,17E-05	***	
Breed (B): Pezzata Rossa	-9,50E+01	6,66E+01	4,00E+00	-1,43	0,227		
Comportamento (C): Inattivo	1,92E+02	8,21E-01	1,43E+05	234,32	2,00E-16	***	
B Pezzata Rossa: C Inattivo	-2,19E+01	1,24E+00	1,43E+05	-17,58	2,00E-16	***	
Groups		Variance	Std.Dev.				
Matricola	(Intercept)	6657	81,59				
Residual		12274	110,79				
	AIC	AICc	BIC	R2 cond	R2 marg	ICC	RMSE
	1,75E+06	1,75E+06	1,75E+06	0,62	0,41	0,35	110,78
							Sigma
							110,79

**Tab. 6.6** – Modelli della variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “attivo-inattivo” osservati.

Classificati Grazing-Resting-Walking					
Parametric terms	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
Intercept	848,39	22,55	37,62	2,00E-16	***
Breed (B): Pezzata Rossa	-85,23	31,89	-2,67	0,01	**
Comportamento (C): resting	186,68	0,18	1039,61		***
Comportamento (C): walking	-96,39	0,21	-469,72	2,00E-16	***
B Pezzata Rossa: C resting	-37,72	0,27	-141,66	2,00E-16	***
B Pezzata Rossa: C walking	-64,67	0,39	-163,33	2,00E-16	***
Smooth terms	Edf	Ref.df	F	p-value	
Spline (matricola)	4	4	91710	<2e-16	***
Spline (hour): B Bruna	7,99	8	639196	<2e-16	***
Spline (hour): B Pezzata Rossa	7,99	8	304364	<2e-16	***
	AIC	BIC	R2	RMSE	Deviance
	2,83E+07	2,83E+07	0,75	80,20	75,10%

**Tab. 6.7** – Modelli della variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “grazing-resting-walking” classificati.

Parametric terms	Estimate	Osservati Grazing-Resting-Walking			Pr(> t )			
		Std. Error	DF	t value				
Intercept	8,47E+02	4,46E+01	4,00E+00	18,99	4,54E-05	***		
Breed (B): Pezzata Rossa	-9,15E+01	6,31E+01	4,00E+00	-1,45	0,221			
Comportamento (C): resting	1,71E+02	8,48E-01	1,43E+05	201,80	2,00E-16	***		
Comportamento (C): walking	-9,52E+01	1,42E+00	1,43E+05	-66,90	2,00E-16	***		
B Pezzata Rossa: C resting	-2,68E+01	1,27E+00	1,43E+05	-21,18	2,00E-16	***		
B Pezzata Rossa: C walking	-3,08E+01	1,97E+00	1,43E+05	-15,62	2,00E-16	***		
Groups		Variance	Std.Dev.					
Matricola	(Intercept)	39,28	6,27					
Residual		91,28	9,55					
	AIC	AICc	BIC	R2 cond	R2 marg	ICC	RMSE	Sigma
	1,73E+06	1,73E+06	1,73E+06	0,64	0,45	0,35	106,06	106,07

**Tab. 6.8** – Modelli della variabilità della frequenza cardiaca dei comportamenti “grazing-resting-walking” osservati.



## 7. CONCLUSIONI

In questa tesi sono stati mostrati i risultati per quanto riguarda l'attività cardiaca di vacche al pascolo di razza Bruna e Pezzata Rossa misurata attraverso l'uso di cardiofrequenzimetri. Lo scopo era quello di testarli come strumenti di precision farming potendo applicare la tecnologia per monitorare gli animali anche al pascolo.

La misurazione della frequenza cardiaca e della sua variabilità attraverso l'uso dei cardiofrequenzimetri consente di ricavare informazioni preziose sullo stato di benessere delle bovine e quindi su come gestire poi al meglio questi animali. La particolarità di questa tecnologia è quella di non essere un metodo invasivo e di non creare stress nelle vacche e risulta quindi efficace per monitorarne e studiarne il comportamento.

Da questo studio è emerso che la media della frequenza cardiaca delle bovine rientra nel range dei loro valori fisiologici dimostrando che le vacche al pascolo non presentavano segnali di stress. Interessante è risultato il confronto della frequenza cardiaca tra le due razze prese in considerazione: dalle osservazioni comportamentali dirette sul pascolo si poteva pensare che le vacche di razza Bruna, essendo più attive come anche dimostrato dai risultati, avessero una frequenza cardiaca maggiore rispetto a quelle di razza Pezzata Rossa. Ciò è stato smentito dai risultati che hanno mostrato una frequenza cardiaca maggiore nelle Pezzate Rosse sebbene fossero risultate più tranquille durante il pascolamento.

Questi strumenti pur essendo economici e usati ancora poco sembrano essere efficaci nel monitorare non solo la frequenza cardiaca degli animali ma anche il loro comportamento.

Inoltre, questa tecnica per il monitoraggio dell'attività cardiaca nelle bovine va sicuramente messa a punto e migliorata in quanto la fascia con il sensore di frequenza spesso tendeva a spostarsi e la frequenza cardiaca delle vacche non veniva più rilevata. Ciò è accaduto soprattutto sulle vacche di razza Bruna che presentavano un temperamento più attivo e vivace durante il pascolo e più irrequieto durante le operazioni effettuate sugli smartwatch.



## BIBLIOGRAFIA

Brosh A. (2007) *Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review*, American Society of Animal Science 85:1213–1227, DOI: 10.2527/jas.2006-298

Brosh A., Henkin Z., Ungar E. D., Dolev A., Orlov A., Yehuda Y. & Aharoni Y. (2006) *Energy cost of cows' grazing activity: Use of the heart rate method and the Global Positioning System for direct field estimation*, American Society of Animal Science 84:1951–1967, DOI: 10.2527/jas.2005-315

Colombini S., Tamburini A., Guerci M., Rapetti L. & Crovetto G. M. (2010) *Heart rate in dairy cows grazing in an alpine area, Energy and protein metabolism and nutrition*, European Federation of Animal Science publication No. 127, DOI: 10.3920/978-90-8686-709-7

Ente Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino (2022) *SmartAlp: un progetto per valorizzare il sistema apicolo*, Quaderno del Parco 17

Hagena K., Langbeinb J., Schmieda C., Lexera D. & Waiblingera S. (2005) *Heart rate variability in dairy cows—influences of breed and milking system*, Physiology & Behavior 85 (2005) 195 – 204, DOI: 10.1016/j.physbeh.2005.03.019

Hopster H. & Blokhuis H. J. (1994) *Validation of a heart rate monitor for measuring a stress response in dairy cows*

Hunter L. B., Haskell M. J., Langford F. M., O'Connor C., Webster J. R. & Stafford K. J. (2021) *Heart Rate and Heart Rate Variability Change with Sleep Stage in Dairy Cows*, Animals 2021, 11, 2095, DOI: 10.3390/ani11072095

Jordana Rivero M., Grau-Campanario P., Mullan S., Held S. D. E., Stokes J. E., Lee M. R. F. & Cardenas L. M. *Factors Affecting Site Use Preference of Grazing Cattle Studied from 2000 to 2020 through GPS Tracking: A Review* (2021), Sensor, DOI: 10.3390/s21082696

Kahankova R., Kolarik J., Brablik J., Barnova K., Simkova I. & Martinek R. (2022) *Alternative measurement systems for recording cardiac activity in animals: a pilot study*, Animal Biotelemetry, DOI: 10.1186/s40317-022-00286-y

Kovács L., Jurkovich V., Bakony M., Szenci O., Póti P. & Tózsér J. (2013) *Welfare implication of measuring heart rate and heart rate variability in dairy cattle: literature review and conclusions for future research*, Animal (2014), 8:2, pp 316–330 © The Animal Consortium 2013 DOI:10.1017/S1751731113002140

Rodríguez-Ortega T., Oteros-Rozas E., Ripoll-Bosch R., Tichit M., Martín-López B. & Bernués A. (2014) *Applying the ecosystem services framework to pasture-based livestock farming systems in Europe*, Animal (2014), 8:8, pp 1361–1372 © The Animal Consortium 2014 DOI: 10.1017/S1751731114000421

Sharma B., Kounda D. (2018) *Cattle health monitoring system using wireless sensor network: a survey from innovation perspective*, The Institution of Engineering and Technology DOI: 10.1049/iet-wss.2017.0060

Sturaro E., Marchiori E., Cocca G., Penasa M., Ramanzin M., Bittante G. (2013) *Dairy systems in mountainous areas: Farm animal biodiversity, milk production and destination, and land use*, *Livestock Science* 158 (2013) 157–168 1871-1413/\$ DOI: 1016/j.livsci.2013.09.011

Valorz C. *Juribello: “la piccola università della montagna”*

Zendri F., Ramanzin M., Bittante G. & Sturaro E. (2016) *Transhumance of dairy cows to highland summer pastures interacts with breed to influence body condition, milk yield and quality*, *Italian Journal of Animal Science*, 15:3, 481-491, DOI: 10.1080/1828051X.2016.1217176

Zendri F., Sturaro E. & Ramanzin M. (2013) *Highland Summer Pastures Play a Fundamental Role for Dairy Systems in an Italian Alpine Region*, *Agric. conspec. sci.* Vol. 78 (2013) No. 3

# RINGRAZIAMENTI

*Un ringraziamento al professor Enrico Sturaro e a Salvatore per avermi dato l'opportunità di svolgere questo progetto di tesi e per avermi seguita durante la stesura.*

*Grazie alla mia famiglia "troppo, troppo disinvolta" che se non fosse stato per loro, avrei pensato che "trei ani le ben asà, anca masa" e invece eccomi qui.*

*Al Paolin un grazie enorme per essermi sempre stato accanto nei momenti belli ma anche in quelli brutti.*

*Ringrazio tutti i miei amici e soprattutto le "Girzz" e le Alessie perché ci sono sempre.*

*Un ringraziamento speciale a Chiara, Elia e Jacopo: i migliori compagni di università che potessi incontrare. Se sono qui è anche grazie a voi e alle numerose ore passate su Zoom a ripassare.*

*Ringrazio in particolar modo Lucia e Leonardo per tutto l'aiuto che mi hanno dato in malga durante la raccolta dati.*

*Grazie a Sergio che è sempre pronto ad aiutarmi quando ne ho bisogno.*

