



Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e  
Ambiente

Corso di Laurea in Scienze e tecnologie animali

Studio di associazione tra fertilità e aspetti produttivi nella  
razza Bruna

Relatore:

prof. Alessio Cecchinato

Correlatore:

dott. Attilio Rossoni

Laureando: Enrico Campara

Matricola: 2091336

ANNO ACCADEMICO 2023/2024



## **INDICE**

Riassunto

Abstract

1. Obiettivi
2. Introduzione
3. La razza Bruna
  - 3.1. La storia
  - 3.2. Caratteristiche produttive
  - 3.3. Caratteristiche morfologiche
  - 3.4. La Bruna in Italia
4. ANARB.
  - 4.1. Struttura organizzativa
  - 4.2. Dati raccolti da ANARB
5. La Fertilità Bovina
  - 5.1. Dati riguardanti la fertilità
  - 5.2. Strumenti a disposizione per gli allevatori di Bruna
  - 5.3. Qualità dei dati
  - 5.4. Fertilità in Bruna
  - 5.5. Indice fertilità
6. Materiali e Metodi
  - 6.1. Dati di campo
  - 6.2. Statistiche descrittive dei dati fenotipici
  - 6.3. Definizione dei caratteri
  - 6.4. Modelli statistici
  - 6.5. Procedura di analisi dei dati
7. Analisi dei quantili
8. Analisi del carattere interparto
9. Risultati
10. Discussione risultati
11. Conclusione
12. Appendice
13. Bibliografia
14. Ringraziamenti



## RIASSUNTO

La tesi si concentra sull'analisi dell'associazione tra fertilità e produzione di latte nella razza bovina Bruna, con l'obiettivo di valutare come parametri riproduttivi, in particolare l'interparto, siano influenzati dalla produzione di latte corretta espressa in dMEO (daily milk energy output). Lo studio coinvolge un campione di 715 allevamenti di Bruna distribuiti in tutta Italia. Le aziende sono state classificate in base alla produzione annua di latte per vacca e al numero di animali, monitorando circa 20 capi per controllo su un totale di 92.917 animali. I dati di produzione sono stati raccolti tramite controlli funzionali (Testday) svolti 9 volte durante l'anno, con misurazioni su latte, grasso e proteine. La fertilità è stata valutata in funzione dell'interparto, mentre la produzione è stata analizzata annualmente per vacca. L'analisi statistica ha utilizzato modelli ad effetti misti per calcolare l'effetto allevamento (quantile\_herd) e l'effetto animale (quantile\_matr) sugli anni di controllo dal 2014 al 2023. L'ANOVA è stata applicata per esaminare l'interazione tra effetto allevamento, effetto animale e variabile interparto. I risultati indicano che i livelli di produttività individuale (quantile\_matr) influenzano significativamente l'interparto, con un aumento della distanza tra parti all'aumentare della produttività. Questo fenomeno è attribuito allo stress metabolico e all'estensione della lattazione, aspetti comuni tra le vacche ad alta resa. Tuttavia, contrariamente a studi precedenti come quello di Toledo-Alvarado et al. (2021), l'effetto del livello produttivo dell'allevamento (quantile-herd) non mostra variazioni significative, forse a causa di un'elevata omogeneità gestionale nei metodi degli allevatori di Bruna. L'interazione tra effetto allevamento e animale suggerisce che le differenze di fertilità dipendano maggiormente dalla produzione individuale anziché dal management aziendale, implicando il ruolo chiave della genetica e delle capacità produttive dei singoli soggetti. Questi risultati potrebbero guidare la selezione genetica e lo sviluppo di strategie gestionali più mirate per massimizzare la produttività senza compromettere la fertilità.

Lo studio evidenzia come una segmentazione dei dati in quantili sia efficace per analizzare l'interazione tra fertilità e produzione, suggerendo la necessità di modelli complessi che integrino fattori interagenti. I risultati offrono spunti per migliorare l'efficienza riproduttiva e produttiva della razza Bruna, contribuendo alla sostenibilità economica degli allevamenti e alla qualità del latte prodotto.

## **ABSTRACT**

The thesis focuses on analyzing the association between fertility and milk production in the Brown cattle breed, aiming to assess how reproductive parameters, particularly the calving interval, are influenced by corrected milk production expressed in dMEO (daily milk energy output). The study involves a sample of 715 Brown cattle farms distributed across Italy. The farms were classified based on annual milk production per cow and the number of animals, with approximately 20 animals monitored per control, totalling 92,917 animals. Production data were collected through functional controls (Testday) carried out nine times a year, with measurements on milk, fat, and protein content. Fertility was evaluated based on the calving interval, while production was analysed annually per cow. The statistical analysis employed mixed-effect models to calculate the herd effect (quantile\_herd) and animal effect (quantile\_matr) across control years from 2014 to 2023. ANOVA was applied to examine the interaction between herd effect (quantile\_herd), animal effect, and the calving interval variable. Results indicate that individual productivity levels (quantile\_matr) significantly influence the calving interval, with increased time between calvings as productivity rises. This phenomenon is attributed to metabolic stress and extended lactation, both common in high-yield cows. However, contrary to previous studies like that of Toledo-Alvarado et al. (2021), the effect of the production level of herd did not show significant variations, possibly due to high managerial homogeneity among Brown cattle farmers. The interaction between herd and animal effects suggests that fertility differences are more dependent on individual production rather than farm management, highlighting the key role of genetics and the productive capacity of individual animals. These findings may inform genetic selection and the development of more targeted management strategies to maximise productivity without compromising fertility.

The study shows that data segmentation into quantiles is effective in analysing the interaction between fertility and production, underscoring the need for complex models that account for interacting factors. The results provide insights for enhancing reproductive and productive efficiency in the Brown cattle breed, contributing to the economic sustainability of farms and the quality of milk produced.

## **1. Obiettivi**

Questo studio si propone di analizzare in modo approfondito la fertilità della razza Bruna, esplorando in dettaglio sia i suoi punti di forza che le eventuali criticità. L'obiettivo principale è comprendere come la produzione di latte possa influire sulla fertilità degli animali, prendendo in considerazione non solo l'impatto a livello di intera mandria, ma anche a livello individuale, in modo da ottenere una visione completa del fenomeno. Un aspetto centrale di questa ricerca consiste nel separare l'effetto delle pratiche di allevamento dall'effetto genetico e fisiologico proprio degli animali, così da poter isolare e identificare i fattori che dipendono dalle caratteristiche individuali della razza Bruna, distaccandoli dalle influenze legate alla gestione e alle pratiche di allevamento. Questo approccio permetterà di ottenere dati più precisi e utili per ottimizzare la gestione della mandria, migliorando la fertilità senza compromettere il benessere animale. I risultati attesi potrebbero inoltre fornire indicazioni utili per l'adozione di pratiche di allevamento di precisione, che considerino le specifiche esigenze biologiche e ambientali degli animali. Infine, tali scoperte potrebbero supportare lo sviluppo di programmi di selezione genetica mirati, finalizzati a migliorare la fertilità complessiva della razza Bruna, con potenziali benefici sia in termini di produttività che di sostenibilità economica per le aziende agricole.

## 2. Introduzione

Il recente declino dei tassi di fertilità nei bovini da latte ha destato crescente preoccupazione, specialmente in parallelo all'aumento della produzione di latte degli ultimi decenni (Lucy, 2001). Gli studiosi hanno indagato a fondo le cause di questo fenomeno, cercando soluzioni efficaci (Walsh et al., 2011; López-Gatius, 2012). Le ricerche hanno evidenziato una correlazione genetica inversa tra l'alta produzione di latte e le caratteristiche di fertilità (Pryce et al., 2004; Tiezzi et al., 2011, 2012). Inoltre, fattori come l'ampliamento delle dimensioni delle mandrie, l'aumento della consanguineità, cambiamenti nei processi riproduttivi e una peggiore condizione fisica sono stati associati a una riduzione della fertilità (Lucy, 2001; Walsh et al., 2011; Tiezzi et al., 2013). Questi elementi hanno contribuito a periodi di non gravidanza più lunghi, una diminuzione dei tassi di gravidanza e un aumento dei casi di abbattimento involontario. È essenziale, tuttavia, considerare queste relazioni con prudenza, poiché l'impatto sulle performance riproduttive può variare notevolmente tra le singole vacche e le diverse mandrie, il che potrebbe portare a conclusioni errate. Per comprendere meglio le cause e le conseguenze della diminuzione della fertilità, è necessario adottare un approccio multidisciplinare, coinvolgendo esperti di diverse discipline scientifiche (Bello et al., 2012). Le differenze genetiche tra le varie razze bovine da latte, influenzate sia dalle caratteristiche native che dai programmi di miglioramento genetico, determinano diversi livelli di fertilità (Nilforooshan et al., 2009). Per far fronte a queste problematiche, molti paesi hanno inserito i tratti di fertilità nelle loro valutazioni genetiche e hanno sviluppato modelli e metodologie vari (VanRaden et al., 2004; Huang et al., 2007). Una revisione condotta da Egger-Danner et al. (2015) ha rivelato che 15 paesi con alta produzione di latte includono la fertilità nei loro indici di merito complessivo. L'uso dell'analisi di sopravvivenza è stato proposto come un metodo più adeguato rispetto alle analisi lineari tradizionali, soprattutto per i tratti censurati, poiché consente di utilizzare anche dati incompleti (Schneider et al., 2005). Phuong et al. (2016) hanno sviluppato un modello completo che tiene conto della produzione di latte, del bilancio energetico e della condizione fisica per valutare il successo riproduttivo di ogni singola vacca, simulando in modo efficace la performance riproduttiva in vari contesti alimentari e per diversi genotipi bovini. Vargas et al. (1998) hanno studiato i tratti di fertilità in diverse razze e incroci, utilizzando tecniche basate sul tempo-evento, scoprendo che le manze in mandrie con produzione di latte più bassa avevano maggiori probabilità di essere riprodotte. Inoltre, hanno identificato una relazione significativa tra la produzione di latte delle vacche primipare e l'intervallo tra il parto e la prima inseminazione, oltre al numero di giorni di non gravidanza. Hanno anche scoperto che il peso delle manze influisce sull'età del primo parto, con quelle più pesanti

che tendono a partorire prima. Secondo Bello et al. (2012), le connessioni tra produttività e fertilità potrebbero essere state sottovalutate a causa di fattori confondenti e analisi statistiche non sufficientemente accurate. Evidenziano l'importanza di distinguere tra fattori a livello di mandria e fattori a livello di vacca nella modellazione degli effetti dei diversi sistemi di produzione lattiero-casearia. LeBlanc (2010) ha esplorato la relazione tra la produzione di latte e le prestazioni riproduttive, sia a livello di mandria che di singola vacca, utilizzando tassi di gravidanza, inseminazione e parto come misure di fertilità. Lo studio ha trovato una correlazione positiva tra un elevato tasso di gravidanza e una prima inseminazione precoce in mandrie e vacche con alta produzione di latte. LeBlanc ha inoltre sottolineato la potenziale compatibilità tra alta produttività e buone performance riproduttive, riconoscendo tuttavia la complessità della fertilità e i rischi di fare affidamento su un singolo indicatore.

Un recente contributo su questo tema è stato dato dallo studio di Toledo-Alvarado, Cecchinato e Bittante (2021) ha analizzato i tratti della fertilità in razze bovine da latte come Frisona, Bruna, Pezzata Rossa e Grigio Alpina concentrandosi sull'influenza di fattori genetici e ambientali su parametri di fertilità, come l'intervallo tra i parti e il numero di inseminazioni necessarie per concepire. In particolare, è emerso che i tratti di fertilità risentono fortemente della produttività della mandria e della produzione individuale: nelle mandrie con alta produttività, le vacche presentavano periodi di non gravidanza più lunghi e richiedevano più inseminazioni, suggerendo che un'intensificazione produttiva possa incidere negativamente sulla fertilità. L'effetto delle pratiche di management è risultato meno influente rispetto alla produttività individuale, confermando che la fertilità varia principalmente a causa di differenze genetiche e fattori legati alla fisiologia della produzione. Lo studio ha inoltre rilevato differenze tra razze: le Holstein, per esempio, mostravano una correlazione più forte tra alta produzione e ridotta fertilità, mentre Simmental e Alpine Grey erano più resilienti dal punto di vista riproduttivo. Questi risultati suggeriscono che i programmi di selezione genetica e le strategie di management dovrebbero essere personalizzati per ciascuna razza, bilanciando produttività e fertilità per ottimizzare l'efficienza dell'allevamento. Toledo-Alvarado et al. (2021) evidenziano così l'importanza di un approccio integrato che combini analisi genetiche e gestionali, proponendo la selezione genetica e la riduzione dello stress metabolico come strategie chiave per migliorare la fertilità, specialmente nelle razze ad alta produttività.

### **3. La razza Bruna**

#### **3.1. La storia**

La storia della razza Bruna in Italia affonda le sue radici nel XIV secolo, quando questi animali cominciarono a essere allevati nelle regioni alpine. Nel corso dei secoli, la razza subì notevoli miglioramenti grazie a una selezione attenta e meticolosa, che mirava a esaltare caratteristiche come la robustezza, la capacità di adattamento ai terreni montuosi e la qualità del latte prodotto. Questi miglioramenti portarono la razza Bruna a sostituire progressivamente le precedenti popolazioni bovine del Nord Italia intorno al 1850. Fino agli anni '50 del XX secolo, la Bruna Alpina fu la razza bovina più popolare in Italia, apprezzata non solo per la sua resistenza, ma anche per la qualità del latte, particolarmente adatto alla produzione di formaggi tipici.

Negli anni '60, con la fondazione dell'Associazione Italiana Allevatori Bovini di Razza Bruna nel 1957, emerse la necessità di sviluppare animali che fossero non solo resistenti, ma anche più produttivi e precoci, in linea con le nuove esigenze dell'industria casearia italiana. Per rispondere a questa richiesta, tra il 1955 e il 1963 fu condotto un primo esperimento di introduzione di genetica americana, mirato a migliorare ulteriormente le caratteristiche produttive della razza. Questo esperimento, tuttavia, fu successivamente interrotto a causa di risultati non completamente soddisfacenti, che dimostrarono la difficoltà di integrare rapidamente nuove linee genetiche con quelle locali senza perdere le caratteristiche tradizionali apprezzate dagli allevatori italiani.

Nonostante le difficoltà iniziali, nel 1970, l'Associazione decise di riprendere l'esperimento, questa volta con una maggiore preparazione e con l'impiego di seme di tori americani accuratamente selezionati. Questo secondo esperimento, iniziato circa 50 anni fa e ancora in corso, ha dimostrato fin dai primi anni risultati molto promettenti, riuscendo a combinare l'efficienza produttiva delle linee genetiche americane con la resistenza e la qualità del latte tipiche della Bruna italiana.

Oggi, nonostante una diminuzione del numero di capi rispetto agli anni '50, la razza Bruna è stata promossa non tanto per la sua capacità di produrre grandi quantità di latte, quanto piuttosto per la qualità superiore di quest'ultimo, particolarmente apprezzata nella produzione casearia. Gli allevatori di Bruna, infatti, hanno scelto di perseguire un equilibrio tra l'aumento della produttività e la conservazione delle caratteristiche tradizionali del latte, come l'alto contenuto di grassi e proteine, fondamentali per la produzione di formaggi di qualità. Questa scelta strategica ha permesso alla razza Bruna di mantenere un ruolo significativo nell'allevamento bovino italiano,

dimostrando la sua capacità di adattarsi alle mutevoli esigenze del mercato senza perdere la propria identità storica e culturale.

### 3.2. Caratteristiche produttive

La Bruna italiana è una razza in grado di dare ottime produzioni di latte di ottima qualità. Questa razza spicca per le sue ottime rese alla caseificazione. Buona è anche la resa in carne e le sue capacità di adattamento ai più svariati ambienti. La produzione media italiana si attesta a circa 7.500kg per lattazione, con il 3,60 % di proteina e il 4,05% di grasso. Per avere un quadro più chiaro sulle potenzialità della razza, basta guardare i 20 migliori allevatori in Italia, i quali raggiungono produzioni medie di oltre 11.000 kg con una percentuale di proteina del 3,79%. Questa razza possiede quindi un potenziale notevole per quanto riguarda il contenuto di proteina del latte, che i migliori allevatori sanno sfruttare al meglio.

Il latte della razza Bruna presenta una composizione proteica che lo rende particolarmente adatto alla caseificazione e alla produzione di prodotti lattiero-caseari di alta qualità. Le proteine del latte si dividono principalmente in due categorie: caseine e proteine del siero di latte. Nel latte di razza Bruna, le caseine costituiscono circa l'80% delle proteine totali, mentre le proteine del siero ne rappresentano il restante 20%.

#### Varianti delle proteine del latte di razza Bruna

1. **Beta-Caseina:** Una delle principali varianti della beta-caseina presente nel latte della razza Bruna è la beta-caseina A2. Questa variante è ritenuta più digeribile e meno associata a problemi gastrointestinali rispetto alla beta-caseina A1, che si trova più comunemente nel latte di altre razze bovine. Il latte con prevalenza di beta-caseina A2 è quindi spesso preferito da chi è più sensibile al latte crudo.
2. **Kappa-Caseina:** Il latte di razza Bruna è anche ricco di varianti della kappa-caseina, in particolare le varianti B e A. Queste forme di kappa-caseina sono favorevoli per la produzione di formaggi perché migliorano la coagulazione del latte e la resa in cagliata. Una buona presenza di kappa-caseina B, in particolare, è associata a una coagulazione più rapida e a una cagliata più solida, caratteristiche ideali per la produzione di formaggi come il Grana Padano e il Parmigiano Reggiano.
3. **Alfa-S1 e Alfa-S2 Caseina:** Questi tipi di caseina sono presenti in quantità variabili nel latte di razza Bruna e influenzano sia la struttura del coagulo sia la qualità nutrizionale del latte. Un contenuto equilibrato di alfa-S1 e alfa-S2 caseina contribuisce a migliorare le proprietà viscoelastiche della cagliata, rendendo il latte ideale per la produzione di formaggi a lunga stagionatura.

4. **Proteine del siero (Lattoglobulina e Lattalbumina):** Anche se rappresentano una parte minore delle proteine del latte, le proteine del siero, come la beta-lattoglobulina e l'alfa-lattalbumina, sono importanti per il loro valore nutrizionale. Queste proteine sono ricche di aminoacidi essenziali e hanno buone proprietà funzionali, come la capacità di legare l'acqua e di formare schiume e gel, il che le rende utili per la produzione di yogurt e altri prodotti lattiero-caseari fermentati.

La prevalenza di beta-caseina A2 e le elevate quantità di kappa-caseina B permettono di ottenere una cagliata di alta qualità, con buona consistenza e resa. Questo rende il latte di razza Bruna particolarmente adatto per la produzione di formaggi tradizionali italiani e altri formaggi a pasta dura e semi-dura, migliorando la qualità del prodotto finale e il valore commerciale del latte.

### 3.3. Caratteristiche morfologiche

Dal punto di vista morfologico, la razza Bruna si distingue per diverse caratteristiche che ne esaltano la robustezza e l'efficienza produttiva.

**Caratteristiche generali:** gli animali di razza Bruna presentano un mantello tipicamente uniforme di colore marrone, che può variare dal chiaro al scuro, con sfumature più intense attorno agli occhi, al musello, e alle orecchie. Le mucose sono chiare (depigmentate) e il musello scuro.

**Struttura corporea:** questi bovini hanno una corporatura ben sviluppata e armoniosa, con una buona profondità e ampiezza del torace, che contribuisce a una maggiore capacità respiratoria e una buona costituzione generale. Il dorso è largo e muscoloso, offrendo un buon supporto per la capacità produttiva dell'animale.

**Mammella:** una delle caratteristiche morfologiche più importanti per la razza Bruna è la conformazione della mammella, che è ben attaccata sia anteriormente che posteriormente, con un legamento sospenditore centrale forte e ben definito. Questo è fondamentale per garantire una lunga durata di vita produttiva e ridurre l'incidenza di mastite. I capezzoli sono di dimensioni medie, ben posizionati e adatti alla mungitura meccanica, il che è importante per gli allevamenti moderni.

**Arti e appiombi:** la razza Bruna è rinomata per avere arti forti e ben conformati, con articolazioni solide e un buon appiombo. Gli zoccoli sono scuri e resistenti, caratteristiche che contribuiscono a una buona resistenza alle condizioni difficili del terreno montano e riducono il rischio di problemi podalici.

**La groppa:** è ampia, lunga, larga e ben sviluppata, con un profilo leggermente inclinato verso la coda, garantendo un buon equilibrio strutturale. La sua conformazione robusta favorisce un'ottima capacità riproduttiva.

Queste caratteristiche morfologiche fanno della razza Bruna una delle razze più versatili e produttive, adatta sia per la produzione di latte di alta qualità sia per la resistenza e l'adattabilità a diversi ambienti, dalle zone alpine ai terreni di pianura.

Sito Ufficiale ANARB : [www.anarb.it](http://www.anarb.it)

### **3.4. La Bruna in Italia**

La razza Bruna in Italia conta circa 400.000 capi di cui 300 sono vacche. I capi iscritti al LG (libro genealogico) sono 100000 e 80000 sono le vacche sottoposte ai controlli funzionali. Gli allevatori di questa razza sono circa 6000 con una media di 21 capi per allevamento.

La provincia con la maggiore numero di animali (Bolzano) rappresenta non più del 30% della razza e solo cinque province ne rappresentano almeno il 5%. Questo descrive in modo accurato le caratteristiche dell'allevamento della razza Bruna in Italia: piccoli allevamenti diffusi su tutto il territorio nazionale, prevalentemente nelle zone montane o nelle aree produttive svantaggiate.

In Italia le zone montane con i relativi problemi e la razza Bruna sono sempre stati legati, dimostrando come questo animale si fosse adattato all'ambiente circostante. Il progressivo miglioramento della razza le ha permesso di diffondersi anche nella Piana Italiana. La razza è oggi presente su tutto il territorio Italiano, le seguenti aree si contraddistinguono per la maggior vocazione:

- Nord Italia (Lombardia, province di Trento e Bolzano, Veneto, Piemonte)
- Emilia Romagna
- Puglia
- Sicilia e Sardegna

#### **4. ANARB (associazione nazionale allevatori razza bruna)**

ANARB è l'Associazione Italiana Allevatori Bovina Bruna. Gli scopi principali dell'Associazione Nazionale sono quello di gestire il Libro Genealogico della Razza (LG), promuovere e diffondere la razza e il controllo dei riproduttori maschi per la F.A.

L'associazione è stata costituita il 6 aprile 1957. Essa si occupa del miglioramento genetico e dello sviluppo della razza Bruna. In particolare:

1. cura lo sviluppo e il perfezionamento della razza;
2. promuove ricerche e studi diretti a risolvere speciali problemi, collaborando con istituti di ricerca e di sperimentazione;
3. promuove l'organizzazione di manifestazioni zootecniche che mettano in evidenza i progressi ottenuti con la selezione;
4. redige la stampa tecnica;
5. gestisce l'azienda agricola collegata al centro genetico dell'ANARB per permettere l'allevamento dei riproduttori.

#### 4.1. Struttura organizzativa

I principali organi dell'associazione sono i seguenti (<http://www.anarb.it/chi-siamo/la-razza-bruna/>):

a) **Assemblea generale:** composta dai soci aventi diritto di voto. L'assemblea si riunisce annualmente ed è presieduta dal presidente. Ha il compito di eleggere il comitato direttivo e il collegio dei sindaci, approvare i bilanci, determinare l'indirizzo dell'associazione e deliberare eventuali modifiche allo statuto.

b) **Comitato direttivo:** formato da rappresentanti delle associazioni e altre figure con funzione consultiva. Si riunisce due volte all'anno e ha il compito di nominare il presidente e il vicepresidente, gestire il patrimonio, decidere sull'ammissione e l'espulsione dei soci, gestire il personale, presentare i bilanci e approvare eventuali modifiche al libro genealogico (LG).

c) **Il Presidente:** funge da rappresentante legale dell'associazione e ha il compito di dare esecuzione alle decisioni del comitato direttivo e di convocare la commissione tecnica.

d) **Collegio dei Sindaci:** costituito da cinque membri (tre effettivi e due nominati dall'AIA). È incaricato di verificare le scritture contabili e il bilancio.

e) **Proviviri:** composto da tre membri, ha la funzione di risolvere le controversie tra i soci.

A supporto di questi organi sono stati istituiti alcuni apparati per la gestione delle funzioni relative al libro genealogico, tra cui:

1. **Commissione Tecnica Centrale:** costituita da rappresentanti del ministero, degli allevatori, dell'associazione, da esperti del settore, dal presidente e dal direttore. Ha il compito di analizzare e determinare le linee guida per la selezione.
2. **L'Ufficio del Libro genealogico:** gestisce i dati necessari all'attuazione del programma genetico della razza bruna, producendo certificazioni, registrando genealogie, verificando parentele e organizzando valutazioni morfologiche. Inoltre, coordina gli esperti di razza, redige documentazione per mostre ufficiali e monitora l'evoluzione della razza.
3. **Corpo degli esperti:** ha il compito di effettuare valutazioni morfologiche sia durante le competizioni che nelle stalle.

I programmi e gli obiettivi dell'ANARB sono focalizzati su un aggiornamento continuo della selezione, attraverso:

- **Performance Test:** il centro genetico ospita i futuri esemplari della selezione genetica della razza Bruna in Italia. I giovani tori presenti nel centro possiedono un elevato valore genetico che si esprimerà nell'ambito dei programmi di selezione, permettendo di migliorare le produzioni sia in termini di quantità che di qualità.
- **Indici genetici:** sono lo strumento fondamentale per la selezione, consentendo agli allevatori di scegliere quali animali allevare e quali tori utilizzare per l'inseminazione artificiale. Ogni animale, maschio o femmina, iscritto nel libro genealogico, è corredato tre volte all'anno da un rapporto genetico che riporta le stime del suo valore riproduttivo per oltre 20 caratteristiche produttive e morfologiche.
- **Valutazione morfologica:** è un giudizio sulla conformazione esteriore degli animali, in relazione agli scopi per cui sono allevati, al fine di migliorare la costituzione e renderla più adeguata alle esigenze tecnico-economiche.
- **Accoppiamenti programmati:** ANARB offre un servizio di accoppiamenti programmati che identifica, per ogni vacca e manza, i migliori riproduttori per ottenere una progenie produttiva e corretta dal punto di vista morfologico.
- **Ricerca dei genotipi:** dal 1993, ANARB ha implementato una procedura automatica di ricerca dei genotipi per identificare i giovani tori con i genotipi più promettenti da inserire nei performance test.
- **Qualità del latte:** la razza Bruna è nota per l'elevata qualità del latte. ANARB effettua sulle madri di toro un'analisi genomica dove vengono raccolte anche le informazioni sulla qualità del latte.

## **4.2. I dati raccolti da ANARB**

I dati raccolti da ANARB sono principalmente di carattere morfologico e funzionale. I quali vengono poi utilizzati per lo sviluppo e il calcolo degli indici genomici.

I dati di carattere morfo/funzionale vengono raccolti per tutte le vacche al primo parto. Questo servizio, svolto da esperti/classificatori di razza, opera su tutto il territorio nazionale ed è gestito dall'ANARB, che garantisce un'altissima accuratezza e omogeneità dei metodi di registrazione dei dati.

I principali aspetti che vengono valutati durante la valutazione morfologica sono i seguenti:

- Conformazione della mammella: includendo profondità, legamento sospenditore centrale, attacco anteriore e posteriore, posizione e lunghezza dei capezzoli.
- Caratteristiche corporee: altezza, capacità toracica, profondità del corpo, angolo e struttura degli arti, posizione dei garretti, angolo e diametri della groppa.

ANARB organizza due volte all'anno un incontro di aggiornamento e armonizzazione relativo agli esperti in servizio. Questo per rendere più omogeneo e preciso il metodo di valutazione e le valutazioni stesse. Alcuni esperti sono anche giudici e vengono incaricati da ANARB per le valutazioni nelle varie mostre organizzate su tutto il territorio italiano. Ogni due anni l'associazione organizza anche un corso per formare nuovi esperti valutatori. Il corso è diviso in una parte teorica ed una pratica, nelle quali non viene spiegato solamente come valutare un animale ma anche il comportamento che l'esperto deve mantenere quando opera sul territorio.

L'ANARB utilizza vari dati di carattere funzionale per calcolare gli indici genomici della razza Bruna. Questi dati riguardano principalmente la salute e la riproduzione.

Di seguito, ecco un elenco dei principali dati funzionali utilizzati:

1. Produzione di Latte:
  - Quantità totale di latte prodotto;
  - Contenuto di grasso e proteine del latte;
  - Varianti proteine del latte

## 2. Salute e Benessere:

- Longevità: durata produttiva dell'animale;
- Cellule somatiche: numero di cellule somatiche nel latte, indicativo della salute della mammella e dell'incidenza della mastite;

## 3. Caratteristiche Riproduttive:

- Fertilità della figlia: intervallo tra i parti, tasso di concepimento, ritorno al calore;
- Fertilità del toro: tasso di concepimento delle figlie dei tori;
- Difficoltà di parto: tasso di distocie o difficoltà durante il parto.

## 4. Altri Indici Funzionali:

- Temperamento e docilità: comportamento dell'animale durante la mungitura e in altre situazioni di gestione.

Questi dati vengono raccolti attraverso vari metodi, tra cui registrazioni di produzione, valutazioni morfologiche sul campo, test di laboratorio per la salute del latte, e registrazioni genealogiche. Gli indici genomici combinano queste informazioni con dati genetici per prevedere la capacità di un animale di trasmettere questi tratti alla progenie, migliorando così l'efficienza e la produttività dell'allevamento.

## 5. La Fertilità Bovina

La fertilità bovina è un aspetto cruciale per la produttività e la sostenibilità delle aziende zootecniche, poiché influisce direttamente sulla capacità di ottenere una prole sana e di produrre latte. Comprendere i numerosi fattori che influenzano la fertilità è essenziale per sviluppare strategie efficaci di gestione e migliorare le pratiche di allevamento. I principali fattori che impattano la fertilità bovina comprendono quelli genetici, nutrizionali, sanitari, ambientali, comportamentali e legati all'età. In particolare, la genetica svolge un ruolo fondamentale nel determinare la capacità riproduttiva degli animali. Razze come la Bruna, per esempio, sono notoriamente produttive in termini di latte, ma possono presentare problematiche legate alla fertilità (Davis et al., 2014). La selezione genetica, attraverso l'identificazione di animali con caratteristiche riproduttive superiori, può contribuire a migliorare la fertilità della mandria e ridurre i costi legati alla riproduzione. L'implementazione di programmi di selezione mirati, che utilizzano tecniche avanzate come l'analisi genomica, permette agli allevatori di selezionare animali con potenziale riproduttivo elevato, accelerando il miglioramento genetico della popolazione. Inoltre, la nutrizione rappresenta un altro fattore determinante per la fertilità. Una dieta equilibrata, che fornisca tutte le sostanze nutritive necessarie, è cruciale per mantenere la salute riproduttiva delle vacche. Carenze nutrizionali, in particolare di proteine, minerali e vitamine, possono compromettere la regolarità dei cicli estrali e ridurre i tassi di concepimento (Garnsworthy et al., 2008). Le vacche con un indice di condizione corporea ottimale tendono a manifestare cicli estrali regolari e tassi di fertilità più elevati. Programmi di alimentazione mirati, che considerano le fasi produttive delle vacche, contribuiscono a ottimizzare la performance riproduttiva, garantendo che gli animali ricevano una dieta adeguata che favorisca la loro salute riproduttiva. Anche la gestione della salute animale è fondamentale per mantenere alti tassi di fertilità. Malattie come la mastite, le infezioni uterine e altre patologie riproduttive possono ridurre significativamente le probabilità di concepimento (LeBlanc, 2008). Prevenire e trattare tempestivamente queste malattie è essenziale per garantire la salute della mandria e migliorare la sua capacità riproduttiva. L'adozione di programmi di prevenzione sanitaria, che includano vaccinazioni regolari e monitoraggi periodici della salute degli animali, è fondamentale per ridurre l'incidenza di malattie riproduttive. La diagnosi precoce delle infezioni e l'intervento tempestivo possono evitare problematiche più gravi e favorire una riproduzione sana. Un altro fattore che incide sulla fertilità bovina è lo stress ambientale, in particolare lo stress termico. Le alte temperature e l'umidità possono compromettere la fertilità, alterando i cicli estrali e riducendo la qualità dello sperma (Wolfenson et al., 2000). Le vacche che subiscono stress da calore durante i periodi estivi tendono a mostrare una riduzione delle probabilità di concepimento. Per mitigare gli effetti dello stress

termico, è necessario implementare strategie di gestione ambientale efficaci. Ciò include la fornitura di ombra, l'adozione di ventilazione adeguata e l'assicurazione di un costante accesso a fonti di acqua fresca. Inoltre, pratiche come la programmazione delle inseminazioni in orari freschi della giornata possono contribuire a migliorare la fertilità. Le tecniche di allevamento moderne, come l'inseminazione artificiale e la sincronizzazione dei cicli estrali, sono strumenti fondamentali per ottimizzare la riproduzione. L'inseminazione artificiale, che consente l'utilizzo di sperma provenienti da tori geneticamente superiori, offre numerosi vantaggi rispetto all'allevamento naturale, riducendo la necessità di mantenere tori e aumentando le possibilità di selezionare gli esemplari con le migliori caratteristiche genetiche. La sincronizzazione dei cicli estrali, inoltre, permette agli allevatori di gestire con maggiore precisione il momento dell'inseminazione, migliorando i tassi di concepimento (Pursley et al., 1995). L'uso di tecnologie avanzate, come l'ecografia per il monitoraggio della gravidanza, ha migliorato ulteriormente la capacità di monitorare e gestire la fertilità, fornendo dati preziosi sullo stato di salute degli animali e sul progresso della gravidanza. Anche i fattori comportamentali, come le dinamiche sociali tra gli animali, possono influenzare la fertilità. La presenza di un toro, ad esempio, può stimolare il ciclo estrale delle vacche e favorire l'attività sessuale (González et al., 2003). Le vacche che vivono in un ambiente sociale positivo, in cui si sentono rilassate e al sicuro tendono a manifestare un comportamento riproduttivo più attivo e a presentare tassi di fertilità superiori. Monitorare le relazioni sociali tra gli animali e intervenire in caso di conflitti è quindi importante per ottimizzare i risultati riproduttivi. L'età degli animali è un altro fattore che incide sulla fertilità. Le vacche giovani, infatti, tendono a mostrare tassi di fertilità superiori rispetto alle vacche più anziane, che sono maggiormente soggette a problematiche riproduttive (Norrington et al., 2008). Una gestione attenta del ricambio della mandria è quindi fondamentale per garantire una produttività costante nel lungo periodo. Un piano di ricambio efficace, che preveda la sostituzione delle vacche più vecchie con animali giovani e sani, contribuisce a mantenere elevati i tassi di fertilità e a ottimizzare la produzione. La fertilità bovina, pertanto, è un fenomeno complesso e multifattoriale che richiede un approccio integrato. Solo attraverso la combinazione di selezione genetica, nutrizione equilibrata, gestione sanitaria, controllo dello stress ambientale, tecniche moderne di allevamento e attenzione ai fattori comportamentali ed età, gli allevatori possono massimizzare la fertilità delle loro mandrie. L'adozione di strategie di gestione integrate, che tengano conto di tutte queste variabili, contribuisce a migliorare la produttività e la sostenibilità dell'allevamento, garantendo una mandria sana e redditizia. In conclusione, la fertilità bovina rappresenta una sfida complessa, ma affrontabile attraverso un approccio multidimensionale che comprenda tutte le aree critiche legate alla gestione animale. L'innovazione continua nel campo della genetica, della

nutrizione, della salute animale e delle tecniche di allevamento offrirà nuove opportunità per migliorare i tassi di fertilità e per affrontare le sfide future in modo efficace.



## 5.1. Dati riguardanti la fertilità

Per affrontare la tematica dal punto di vista selettivo, è fondamentale considerare un primo aspetto cruciale: la scelta dei dati da utilizzare e la loro qualità. I dati base da raccogliere sono relativamente semplici: la data di fecondazione e il toro utilizzato. Tuttavia, per effettuare un'analisi più approfondita, risulta utile disporre anche di informazioni aggiuntive, come l'uso di seme sessato, le diagnosi di gravidanza e le eventuali patologie riproduttive. La maggior parte degli allevatori registra questi dati in modo accurato, sia su supporti cartacei che su sistemi informatizzati. I dati raccolti possono essere successivamente sintetizzati in vari indicatori di fertilità, che forniscono informazioni importanti sulle performance riproduttive del bestiame. Tra gli indicatori più rilevanti, si annoverano:

- Intervallo interparto (Calving Interval): rappresenta il periodo tra due parti successivi. Idealmente, dovrebbe essere di circa 365 giorni, anche se un intervallo di 410 giorni può essere considerato accettabile. Questo parametro dipende dal rilevamento dell'estro e dal tasso di concepimento.
- Tempo di attesa post-partum volontario (Voluntary Waiting Period - VWP): è il periodo che l'allevatore solitamente attende prima di iniziare a inseminare nuovamente le bovine. La durata di questo periodo varia generalmente tra i 40 e i 60 giorni. È un indicatore cruciale, poiché se il VWP è troppo breve, potrebbero verificarsi peggioramenti significativi in altri parametri di fertilità.
- Intervallo parto-concepimento (Days Open): rappresenta il periodo che intercorre tra il parto e l'inseminazione che porta alla gravidanza, che può avvenire alla seconda, terza inseminazione o oltre. Considerando che la durata media della gravidanza nella bovina è di 280 giorni, in un'azienda con un intervallo interparto di 365 giorni, l'intervallo parto-concepimento dovrebbe essere di 85 giorni ( $280 + 85 = 365$ ). Questo parametro dipende sia dal VWP che dalla velocità con cui le vacche diventano gravide dopo il VWP.
- Intervallo parto-prima inseminazione (DFS - Days to First AI Service): è il periodo che intercorre tra il parto e la prima inseminazione (che non sempre porta alla gravidanza). Per ottenere un intervallo medio parto-concepimento di 85 giorni, le inseminazioni devono iniziare intorno al 45°-50° giorno post-partum. Questo dato è influenzato dalla rapidità con cui le vacche riprendono i cicli estrali regolari dopo il parto e dall'efficacia nel rilevamento dei calori.

Questi indicatori consentono di monitorare l'efficienza riproduttiva dell'allevamento e di orientare le scelte selettive per migliorare la fertilità delle bovine.

## **5.2. Strumenti a disposizione per gli allevatori di Bruna**

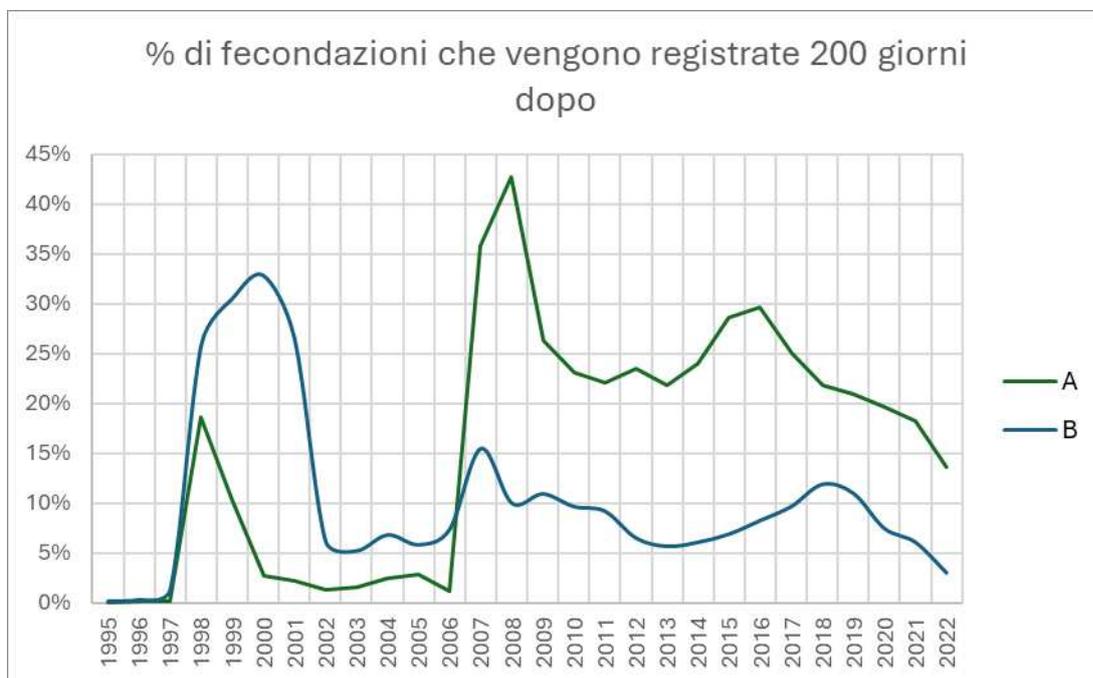
Attualmente, gli allevatori di Bruna dispongono di due strumenti principali per migliorare la predisposizione genetica dei propri animali: l'indice BCS (Body Condition Score) e l'indice interparto. L'indice BCS, in particolare, identifica i riproduttori le cui figlie tendono a mantenere una condizione corporea ottimale senza un'eccessiva mobilitazione delle riserve adipose. Questi animali, inoltre, sono generalmente quelli con minori problematiche di fertilità. Sebbene l'indice BCS sia un indicatore indiretto della fertilità, in quanto non si basa direttamente su dati relativi alla fertilità, ma piuttosto sulla condizione corporea, presenta due vantaggi significativi: ha un'ereditarietà maggiore rispetto agli indici diretti e non è influenzato dalla completezza dei dati sulle fecondazioni, che può essere un limite degli indici diretti. L'indice interparto, invece, è un indice diretto che si basa sulle date di parto, ed è stato identificato oltre dieci anni fa come uno dei più funzionali per le esigenze degli allevatori di Bruna. Esso ha il vantaggio di basarsi su dati relativamente completi e affidabili, rispetto alle informazioni sulle fecondazioni. Tuttavia, presenta il principale limite di non considerare la fertilità delle manze, né può includere animali riformati per problemi di fertilità, poiché questi non hanno una data di parto da cui derivare l'indice.

## **5.3. Qualità dei dati**

Uno dei principali problemi riguarda la registrazione e l'organizzazione dei dati. Sebbene molte informazioni potenzialmente utili, come l'utilizzo di seme sessato, le diagnosi di gravidanza, la sincronizzazione dei calori e le visite ginecologiche, siano registrate in molti allevamenti, non vengono sempre raccolte in modo sistematico e standardizzato. Inoltre, alcune informazioni aggiuntive potrebbero essere acquisite grazie all'uso delle nuove tecnologie, consentendo un approccio più avanzato. Ad esempio, la registrazione dei calori non seguiti da inseminazione, il lotto di produzione del seme, le analisi qualitative del seme e altre informazioni derivanti dall'analisi del latte potrebbero arricchire notevolmente i dati disponibili. Tuttavia, uno degli ostacoli storici, che oggi sta acquisendo un carattere di urgenza, è la scarsa qualità dei dati già raccolti. Nonostante la semplicità di alcune informazioni, come la data di fecondazione, il toro utilizzato e la data di parto, la qualità di questi dati è spesso bassa e disomogenea, variando significativamente tra anni, province e allevamenti. Per monitorare e validare la qualità dei dati, è possibile utilizzare indicatori che misurano la tempestività e l'accuratezza delle registrazioni. Un esempio è il tempo che intercorre tra la fecondazione e la registrazione del dato presso ANARB. Sebbene un ritardo del 5% nelle registrazioni possa essere considerato fisiologico, i dati raccolti mostrano una situazione ben diversa. Ad esempio, nella provincia A (Grafico % fecondazioni registrate dopo i 200 giorni), fino al 2006, le fecondazioni venivano registrate rapidamente, ma

dopo tale anno, in seguito a modifiche nelle procedure informatiche, è stato osservato un aumento del numero di fecondazioni registrate al momento del parto. Al contrario, nella provincia B, il ritardo nella registrazione è stato elevato intorno all'anno 2000, ma si è progressivamente stabilizzato nel tempo (Grafico % fecondazioni). Altri indicatori utili per valutare la qualità dei dati riguardano il numero medio di fecondazioni per parto. In alcuni allevamenti, infatti, si riscontra una media inferiore a una fecondazione per parto, mentre in altri si osserva una lunghezza identica della gestazione per quasi tutte le vacche, segno che non tutte le fecondazioni sono state correttamente registrate o che queste vengano annotate solo al momento del parto. La raccolta sistematica di informazioni finora trascurate è un processo impegnativo, ma migliorare l'organizzazione dei dati già raccolti è un obiettivo raggiungibile, richiedendo solo un impegno organizzativo e la consapevolezza dell'importanza di questi dati.

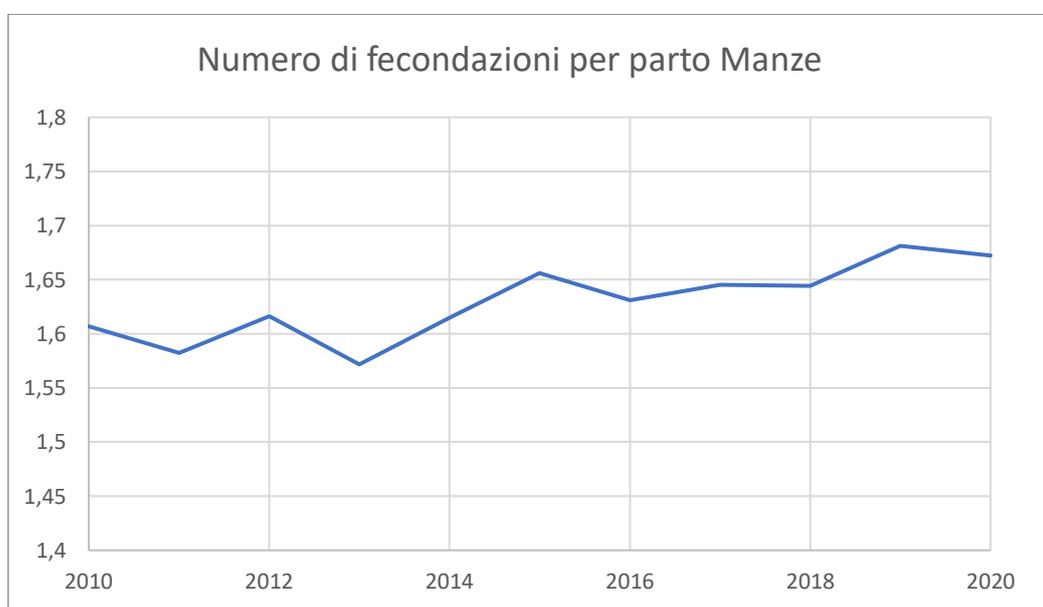
### Grafico % fecondazioni registrate dopo i 200 giorni



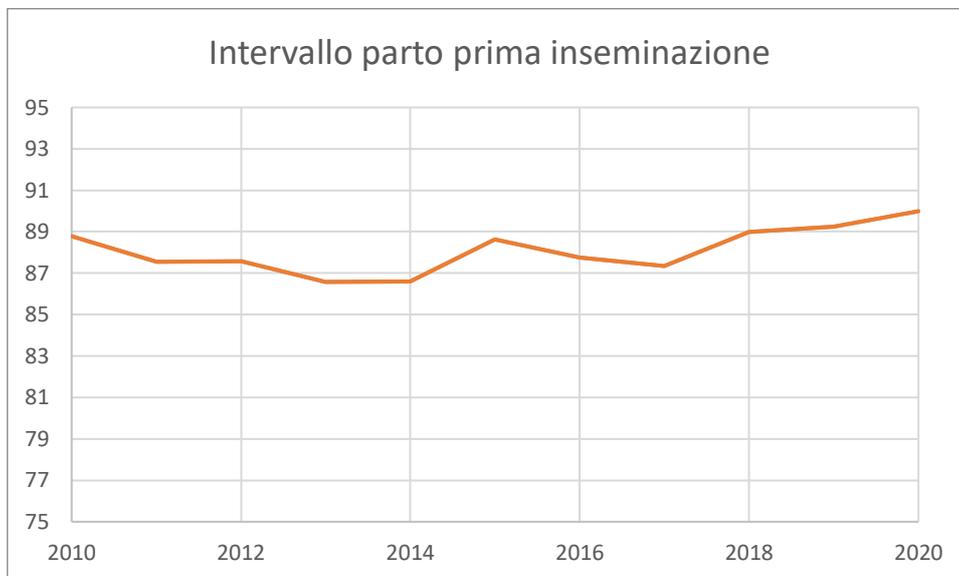
#### 5.4. Fertilità in Bruna

Analizzando l'andamento fenotipico della popolazione per quanto riguarda le manze, si osserva un leggero peggioramento della fertilità negli ultimi dieci anni, con un aumento del numero medio di fecondazioni per manza, passato da 1.6 nel 2010 a 1.65 nel 2015, fino a 1.67 nel 2020, con un peggioramento complessivo del 4.3%. Per quanto riguarda le vacche adulte, la situazione appare più stabile e positiva. L'intervallo parto/prima inseminazione, che include sia l'attesa volontaria post-partum sia la capacità della vacca di tornare a ciclare, è rimasto abbastanza costante nel corso degli ultimi dieci anni, passando da 89 giorni nel 2000 a una media di poco inferiore a 87 giorni nel 2014, per poi risalire a 90 giorni nel 2020. Inoltre, sia il numero medio di fecondazioni per parto che l'intervallo tra la prima inseminazione e il concepimento mostrano un miglioramento continuo: nel 2010, in media, erano necessarie 2.21 fecondazioni per ingravidare una vacca, mentre nel 2020 ne bastavano 2.14, con una riduzione del 3%. L'intervallo medio tra la prima inseminazione e il concepimento è passato da 54.5 giorni nel 2010 a 51.4 giorni nel 2020, con un miglioramento del 5.7%. Le cause di queste variazioni sono complesse e difficili da isolare, poiché sono influenzate da diversi fattori, tra cui il management aziendale, i cambiamenti climatici e la selezione genetica. Una parte del miglioramento può essere attribuita all'adozione dell'indice interparto e dell'indice BCS da parte di molti allevatori, che utilizzano questi strumenti per la selezione dei tori. Sebbene l'andamento della fertilità nelle manze non desti preoccupazioni immediate, rappresenta un segnale che merita attenzione, indicando la necessità di affrontare questo carattere anche dal punto di vista genetico per prevenire eventuali problematiche future.

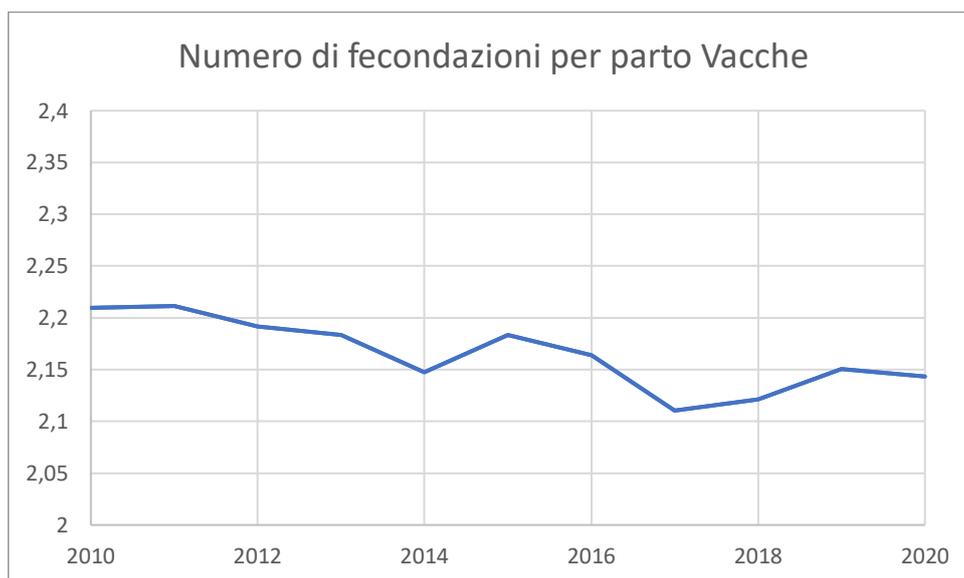
#### Grafico numero di fecondazioni per parto - manze



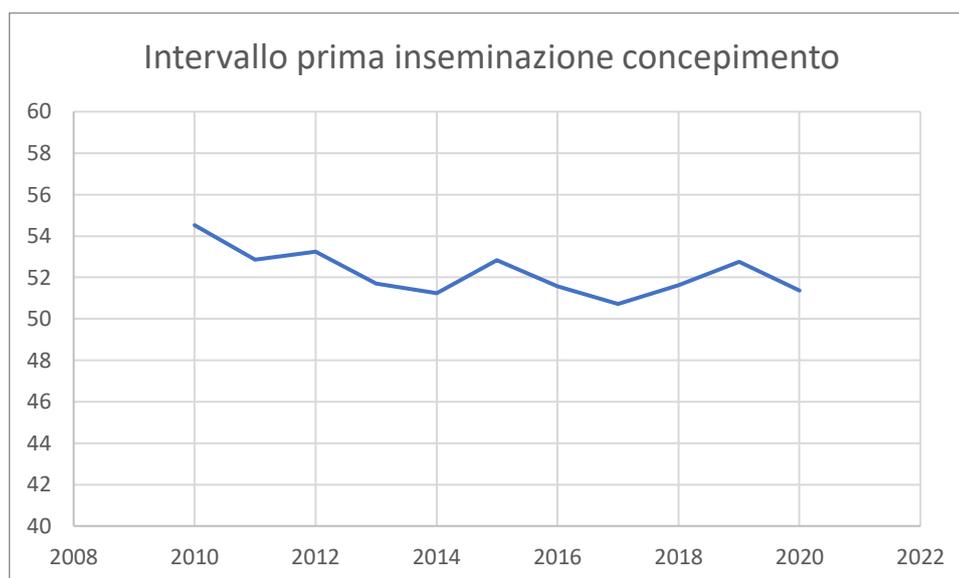
### Grafico parto - 1° inseminazione



### Grafico numero di fecondazioni per parto - vacche



## Grafico 1° inseminazione - concepimento



### 5.5. Indice fertilità

Nel 2023 è stato sviluppato un nuovo indice di fertilità, approvato dalla Commissione Tecnica Centrale (CTC) nel novembre dello stesso anno, che si prevede sarà integrato nell'ITE entro la fine del 2024. Esso comprenderà diversi parametri chiave: il tasso di concepimento delle manze, il tasso di concepimento delle vacche, l'intervallo parto-prima inseminazione, l'intervallo prima inseminazione-concepimento e l'intervallo interparto. Ogni variabile avrà un peso pari al 20%, e l'indice sarà espresso su una scala con media 100 e deviazione standard di 12. L'introduzione di questo indice mira a fornire una misura complessiva e più precisa della fertilità, superando le limitazioni degli attuali indici e migliorando la possibilità di intervento, soprattutto nelle manze, che per definizione non presentano l'indice interparto. Questo nuovo indice sostituirà l'attuale indice interparto, inglobando al suo interno i dati relativi alle fecondazioni. In tal modo, si permetterà una valutazione più completa anche delle manze, che non hanno un indice interparto definito, e delle vacche, prendendo in considerazione non solo l'intervallo tra i parti, ma anche la capacità di ritorno in calore e la fertilità post-parto. Questi aspetti, pur essendo correlati, non sono perfettamente sovrapponibili: infatti, una femmina potrebbe tornare in calore rapidamente ma avere difficoltà a rimanere gravida, mentre un'altra potrebbe richiedere più tempo per entrare in calore, ma rimanere gravida con maggiore facilità. Il nuovo indice di fertilità offre una visione più precisa della capacità riproduttiva, permettendo scelte selettive più mirate. Confrontando i dati dei primi 100 tori genomici a ITE, è possibile osservare che, pur non essendo uguali, i nuovi e i vecchi

indici sono molto simili, suggerendo che la selezione effettuata finora non era errata, ma oggi è possibile affinare ulteriormente le scelte grazie a un indice più accurato.

## 6. Materiali e metodi

### 6.1. Dati di campo

I dati relativi alla fertilità delle femmine e alla produzione di latte sono stati raccolti su delega da parte di ANARB dall'Associazione Italiana Allevatori (AIA) attraverso i controlli funzionali del latte condotti regolarmente nelle aziende agricole distribuite su tutto il territorio italiano. Il Controllo Funzionale del Latte è una pratica di monitoraggio sistematico e continuativo delle performance produttive e riproduttive delle bovine da latte all'interno degli allevamenti. Questo controllo mira a raccogliere informazioni dettagliate sulla produzione di latte e sulla sua qualità, inclusi il contenuto di grassi, proteine e cellule somatiche, nonché su importanti parametri riproduttivi come l'intervallo tra i parti e la fertilità delle bovine. I dati raccolti vengono poi resi disponibili agli enti di selezione attraverso un flusso continuo di informazioni, permettendo all'ANARB (Associazione Nazionale Allevatori Bovini di Razza Bruna) di utilizzarli per i propri programmi di selezione genetica e miglioramento della razza Bruna.

L'allevamento della razza Bruna in Italia presenta una notevole diversificazione in termini di dimensioni aziendali e pratiche di gestione. Esistono realtà di piccole e medie dimensioni, dove si allevano tra i 10 e i 20 animali in lattazione, mentre altre aziende, di dimensioni medio-grandi, gestiscono mandrie composte da 50 a 100 capi in lattazione. Vi sono casi più rari di aziende che contano fino a 150-200 bovine in lattazione. Inoltre, la razza Bruna è presente in molte aziende miste per migliorare la qualità del latte di altre razze. Questa varietà di dimensioni aziendali riflette una altrettanto ampia diversità nei sistemi di allevamento e nelle pratiche di gestione della mandria.

I sistemi di allevamento possono essere classificati in due principali categorie:

1. **Sistemi tradizionali:** caratterizzati da animali legati in stalle più vecchie, con strutture che spesso risalgono a periodi passati, e dalla pratica del trasferimento delle bovine in alpeggio durante i mesi estivi. Questi sistemi sono generalmente associati a una gestione più manuale e a tecniche di allevamento che si basano su metodi storici e consolidati.
2. **Sistemi più moderni:** in queste aziende, solitamente di maggiori dimensioni, gli animali sono allevati in libertà, in strutture recenti e progettate per ottimizzare il benessere animale e l'efficienza produttiva. Le mandrie sono gestite in edifici dotati di sale di mungitura moderne o addirittura di robot di mungitura automatizzata. Questi allevamenti mirano ad alti livelli di produzione di latte e a una gestione della mandria tecnologicamente avanzata e intensiva.

## 6.2. Statistiche descrittive dei dati fenotipici

Prima di procedere con lo sviluppo dell'analisi, sono state eseguite analisi descrittive per fornire una panoramica delle variabili produttive di base e verificare la qualità dei dati disponibili. La tabella sottostante ( Tab. Statistiche 1 ) riassume le principali statistiche descrittive delle variabili legate alla produzione fenotipica del latte, con l'obiettivo di caratterizzare distribuzione e variabilità dei dati. Le variabili analizzate comprendono:

- latk\_feno: quantità totale di latte prodotto osservata;
- prop\_feno: percentuale di proteine fenotipiche nel latte;
- grap\_feno: percentuale di grasso fenotipico nel latte;
- NEI: Net Energy for lactation;
- dMEO: daily milk energy output.

**Tab. Statistiche 1**

Variabile	n	Media	Deviazione Standard	Mediana	Minimo	Massimo	Range	Skewness	Kurtosi
latk_feno	19035404	21,75	7,72	21,1	5	97,9	92,9	0,54	0,36
prop_feno	19035404	3,53	0,41	3,51	1	6	5	0,32	0,26
grap_feno	19035404	3,97	0,72	3,93	1	7	6	0,25	1,04
nei	19035404	3,66	0,37	3,64	1,52	5,79	4,26	0,3	0,37
dMEO	19035404	79,22	28,31	76,67	11,36	392,94	381,58	0,58	0,54

Le osservazioni totali raccolte ammontano a 19.035.404, una dimensione notevole che assicura la rappresentatività statistica del campione. Per ogni variabile, sono stati calcolati media, mediana, deviazione standard, range (differenza tra valore massimo e minimo), asimmetria (skewness) e curtosi (kurtosis).

Le medie riportate per le variabili forniscono una misura della tendenza centrale dei dati. La mediana, essendo prossima alla media in tutte le variabili, suggerisce una distribuzione pressoché simmetrica. La deviazione standard evidenzia la variabilità intrinseca di ciascuna variabile, con una dispersione più accentuata per le variabili `latk_feno` e `dMEO`, che indicano ampia variabilità nella produzione totale e nell'energia prodotta rispettivamente. Il range evidenzia l'ampiezza dei valori per ogni variabile, con `latk_feno` variabile da 5 a 97,9 e una media di 21,75 kg; `prop_feno` variabile da 1% a 6% con una media di 3,53%; `grap_feno` da 1% a 7% con media 3,97%; `nei` varia da 1,52 a 5,79 con media 3,66, mentre `dMEO` spazia da 11,36 a 392,94 con una media di 79,22.

L'analisi dell'asimmetria (*skewness*) ha mostrato valori vicini a zero per la maggior parte delle variabili, suggerendo una distribuzione pressoché simmetrica con lievi code positive. La curtosi risulta anch'essa vicina a zero, eccetto per `grap_feno`, la cui curtosi superiore a 1 indica una distribuzione a coda lunga. Queste statistiche complessive indicano che i dati produttivi del latte hanno una distribuzione quasi normale, con alcune variabili che mostrano una maggiore variabilità e code più pronunciate. I grafici di distribuzione (Appendice A grafici medie) offrono una rappresentazione visiva della distribuzione di ciascuna variabile.

### 6.3. Definizione dei caratteri

Per lo studio delle performance produttive degli animali, è stata utilizzata una variabile chiave: il **Latte corretto per energia** (*dMEO*), che rappresenta l'output energetico del latte corretto per i suoi componenti principali, ossia grasso, proteine e lattosio. L'energia netta per la produzione di un kg di latte è stata calcolata attraverso la formula di **NEi** (Net Energy for lactation), che tiene conto dei singoli componenti del latte (Buttazzoni, L., & Mao, I. L. (1989).

Le formule utilizzate sono le seguenti:

- **NEi**: energia netta per la produzione di latte, calcolata come:

$$\mathbf{NEi=0.3887\times Grasso+0.3887\times Proteine+0.1653\times 4.5}$$

Dove:

- **Grasso** e **Proteine** rappresentano i contenuti fenotipici del latte osservato.
- Il coefficiente 0.3887 converte grasso e proteine in unità energetiche.
- 0.1653 rappresenta il coefficiente energetico del lattosio, moltiplicato per il valore medio del 4,5% di lattosio nel latte.
- **dMEO**: energia totale del latte corretto, calcolata come:

$$\mathbf{dMEO=NEi\times latk_{feno} \quad dMEO = NEi \times latk_{feno}}$$

Dove **latk\_feno** rappresenta la quantità di latte prodotta in chilogrammi. Il valore di *dMEO* fornisce quindi una misura dell'energia totale prodotta sotto forma di latte per l'intera lattazione.

Come principale indicatore di fertilità è stato considerato l'interparto (**IP**), definito come l'intervallo tra due parti consecutivi e misurato in giorni. Esso rappresenta uno dei parametri più indicativi della fertilità e della capacità riproduttiva di una vacca. Questo parametro, espresso in giorni, misura la distanza tra un parto e quello successivo, fornendo informazioni importanti sulla velocità con cui un animale è in grado di concepire e partorire in modo ciclico e costante. Un interparto breve è generalmente considerato un indicatore di elevata fertilità, poiché implica che la vacca è in grado di concepire nuovamente entro un breve periodo dal parto.

L'interparto è strettamente correlato al ciclo produttivo della vacca e, di conseguenza, alla produttività complessiva della mandria. Un interparto ridotto consente di massimizzare il numero

di lattazioni che un animale può sostenere durante la sua vita produttiva, aumentando così la resa totale di latte. Tuttavia, un interparto troppo breve può aumentare lo stress metabolico e fisico, riducendo la longevità dell'animale. Al contrario, un interparto troppo lungo può indicare difficoltà riproduttive, ritardi nel concepimento o problemi di salute, e comporta un prolungamento del periodo non riproduttivo.

I valori medi dell'interparto nelle bovine da latte riportati in letteratura scientifica:

- **Interparto medio nelle vacche da latte europee:**
  - Uno studio condotto in diversi paesi europei ha riportato un interparto medio tra **360 e 390 giorni** nelle mandrie con gestione moderata della fertilità. I valori tendono a variare in base alla razza, alle pratiche gestionali e all'alimentazione adottate nei diversi paesi .
  
- **Vacche di razza Brown Swiss:**
  - Nelle vacche di razza Brown Swiss, la media dell'interparto può essere leggermente più lunga rispetto alle Holstein, oscillando tra **370 e 400 giorni**. Questo intervallo è dovuto al bilanciamento tra produzione di latte e performance riproduttiva, con le Brune generalmente considerate più resilienti dal punto di vista riproduttivo rispetto alle Frisone.
  
- **Standard di fertilità raccomandati:**
  - Per massimizzare l'efficienza riproduttiva e produttiva, le linee guida veterinarie e gestionali consigliano un interparto medio ideale di **365 giorni**. Questo intervallo corrisponde a un ciclo annuale e viene considerato ottimale per bilanciare salute, produzione e fertilità, sebbene sia sempre più difficile da raggiungere in mandrie ad alta produttività.

#### 6.4. Modelli statistici

Per il presente studio sono stati utilizzati i dati raccolti dall'**ANARB** (Associazione Nazionale Allevatori Bovini di Razza Bruna), relativi al periodo 2014-2023. I dati iniziali contenevano informazioni su 16.282 allevamenti e 796.324 animali. Per garantire una maggiore coerenza, sono stati selezionati solo gli allevamenti con almeno 200 controlli annui, corrispondenti a circa 23 animali per controllo. Dopo questa selezione, il campione definitivo include 715 aziende e un totale di 92.917 vacche monitorate. Ogni anno, sono stati effettuati 9/11 controlli per ciascun allevamento, con un numero medio di 415 allevamenti per anno e un totale di 158.547 controlli annui per tutti gli allevamenti combinati.

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato un modello misto (o modello lineare misto) e un modello ANOVA. Il modello lineare misto è una tecnica statistica utilizzata per analizzare dati che presentano sia effetti fissi che casuali. In altre parole, un modello misto è una combinazione di un modello ad effetti fissi (dove si considerano variabili che hanno un effetto sistematico e costante sulla variabile dipendente) e di un modello ad effetti casuali (dove si considera la variabilità dovuta a fattori che non sono misurati direttamente e che possono variare casualmente da un'osservazione all'altra). Questi modelli sono particolarmente utili quando si lavora con dati gerarchici o raggruppati, come i dati longitudinali (misurazioni ripetute su un soggetto nel tempo) o i dati di esperimenti con più livelli (ad esempio, soggetti che appartengono a gruppi diversi o misurazioni ripetute per ogni soggetto). Il modello misto permette di gestire correttamente la dipendenza dei dati all'interno dei gruppi o dei soggetti, migliorando la stima dei parametri e la comprensione dei fattori che influenzano la variabile di interesse. Un esempio di modello misto potrebbe essere l'analisi della crescita di vacche da latte, dove gli effetti fissi potrebbero includere fattori come la dieta o il tipo di trattamento, e gli effetti casuali potrebbero rappresentare la variabilità tra gli allevamenti o tra i soggetti.

Il modello ANOVA (Analisi della varianza) è una tecnica statistica utilizzata per confrontare le medie di più di due gruppi per verificare se ci sono differenze significative tra di esse. L'ANOVA suddivide la variabilità totale di un insieme di dati in componenti che sono attribuibili a diverse fonti di variazione, come i gruppi di trattamento o altre variabili indipendenti. In un'analisi ANOVA, si calcola una **statistica F** che confronta la variabilità tra i gruppi con la variabilità all'interno dei gruppi. Se la variabilità tra i gruppi è significativamente maggiore rispetto a quella all'interno dei gruppi, allora si può concludere che ci sono differenze significative tra le medie dei gruppi.

Ci sono diverse varianti del modello ANOVA, tra cui:

- **ANOVA a un fattore:** Confronta le medie di più gruppi, ma solo una variabile indipendente è considerata.
- **ANOVA a due fattori:** Confronta le medie in relazione a due variabili indipendenti e può anche esplorare le interazioni tra i fattori.
- **ANOVA a misure ripetute:** Utilizzata quando si misurano le stesse unità sperimentali (ad esempio, lo stesso individuo) in momenti diversi o sotto condizioni diverse.

L'ANOVA è ampiamente utilizzata in molti campi, come la ricerca agricola, la psicologia, l'ingegneria e le scienze sociali, per verificare ipotesi su differenze di medie in contesti sperimentali.

## 6.5. Procedura di analisi dei dati

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando un modello misto per stimare gli effetti relativi all'animale (produttività) e all'allevamento (produttività) in relazione ai quantili di dMEO (Produzione Energetica Media Stimata). Questo approccio è stato scelto per segmentare la popolazione in gruppi omogenei in base alla produttività del latte, consentendo di analizzare in modo più preciso gli effetti specifici di ciascun fattore, tenendo conto delle differenze tra gli animali e gli allevamenti. In particolare, il modello misto ha permesso di stimare l'effetto del livello produttivo dell'animale e dell'allevamento sul dMEO in modo da separare la variabilità tra gli individui e quella tra i diversi allevamenti. Uno degli scopi principali dell'applicazione del modello misto è stato quello di creare quantili basati sui valori di dMEO per analizzare gli effetti relativi all'animale (matr) e all'allevamento (herd). Questa segmentazione ha permesso di classificare la popolazione in gruppi omogenei in base alla produttività energetica del latte, rendendo più semplice confrontare e analizzare le performance produttive.

A seguito di questa segmentazione tramite il modello misto, è stato applicato un modello ANOVA per analizzare l'effetto delle variabili quantile allevamento e soggetto, sulla durata dell'interparto. Le variabili prese in considerazione sono state:

- Produttività media stimata dei soggetti sul dMEO): suddivisa in quartili per identificare l'effetto della produttività individuale sulla durata dell'interparto.
- Effetto quantile allevamento (herd): trattato come una variabile categorica per esaminare l'influenza del quantile sulla durata dell'interparto, tenendo conto della variabilità tra i gruppi di vacche in diversi allevamenti.

I risultati sono stati validati mediante un'analisi dei residui, per assicurarsi che i presupposti del modello ANOVA (come la normalità e l'assenza di autocorrelazione) fossero soddisfatti. In caso di violazioni dei presupposti, sono stati considerati approcci alternativi, come l'uso di modelli misti o modelli robusti che potessero tenere conto della variabilità tra gli allevamenti (effetto casuale). I risultati sono stati interpretati in base ai test F ottenuti, che indicano se le differenze osservate tra i gruppi sono statisticamente significative. Inoltre, sono stati calcolati gli intervalli di confidenza per ciascun parametro per verificare la significatività statistica delle variabili considerate. In sintesi, l'analisi dei dati è stata effettuata utilizzando un modello misto per esaminare gli effetti del livello produttivo animale e dell'allevamento sul dMEO, e un modello ANOVA per analizzare gli effetti del quantile allevamento e animale sull'interparto. Sono stati considerati anche approcci per gestire la non linearità dei dati e per validare i risultati ottenuti. I dati sono stati organizzati in modo da permettere una comprensione approfondita dei fattori che

influenzano il periodo di interparto, con particolare attenzione alla produttività (quantile soggetto) e all'effetto quantile allevamento.

## 7. Analisi dei quantili

Per stimare i livelli medio di produzione delle mandrie (**Herd-L**) e delle singole vacche (**Cow-L**), è stato applicato un modello misto impiegando la procedura **MIX99**. Il modello ha la seguente formula:

$$\mathbf{dMEO}=\mathbf{nlatt}+\mathbf{eta}+\mathbf{cdim}+\mathbf{cgrav}+\mathbf{matr1}+\mathbf{alle\_anno}$$

Dove:

- **dMEO**: Latte corretto per energia.
- **nlatt**: Numero di lattazione.
- **eta**: Età al parto.
- **cdim**: Days in Milk (giorni di lattazione).
- **cgrav**: Stato di gravidanza rilevato durante i controlli (00 soggetto non gravido, 01 gravida entro 120 gioni, 02 gravida tra 121 e 220 giorni e 03 gravida oltre i 220 giorni.)
- **matr1**: Identificativo dell'animale.
- **alle\_anno**: Identificativo dell'allevamento e anno di controllo.

Questo modello ha come obiettivo principale l'analisi della produzione di latte corretta per energia (dMEO), tenendo conto di una serie di variabili che possono influenzare la resa produttiva, incluse variabili individuali, riproduttive e aziendali. La variabile dMEO rappresenta la quantità di latte corretta per il contenuto energetico (considerando grasso, proteine e lattosio) prodotta da ciascun animale, consentendo un confronto standardizzato tra animali e allevamenti.

Le variabili incluse nel modello sono:

- **nlatt** (Numero di lattazione): Rappresenta il numero di cicli di lattazione completati dall'animale. Generalmente, la produzione di latte aumenta nelle prime lattazioni, per poi stabilizzarsi o diminuire negli anni successivi, rendendo nlatt una variabile cruciale per spiegare la variabilità della resa.
- **età** (Età al parto): L'età dell'animale al momento del parto, che può influenzare la produttività poiché gli animali più giovani tendono a produrre meno latte rispetto agli animali più maturi.

- **cdim** (Days in Milk): Numero di giorni trascorsi dall'inizio della lattazione (parto) al momento del controllo. La produzione di latte segue tipicamente una curva con picchi iniziali e una successiva riduzione; quindi, cdim aiuta a identificare la fase di lattazione dell'animale.
- **cgrav** (Stato di gravidanza): Indica lo stato di gravidanza al momento del controllo, suddiviso in quattro categorie (00 per animali non gravidi, 01 per gravide entro 120 giorni, 02 per gravide tra 121 e 220 giorni, e 03 per gravide oltre 220 giorni). La produzione di latte tende a diminuire man mano che l'animale avanza nella gravidanza, poiché l'energia viene parzialmente diretta al feto.
- **matr1** (Identificativo dell'animale): Effetto casuale che tiene conto delle caratteristiche individuali uniche di ciascun animale, come la genetica e la costituzione fisica, che influiscono sulla produzione ma non sono misurate direttamente.
- **alle\_anno** (Identificativo dell'allevamento e dell'anno di controllo): Anch'esso trattato come effetto casuale, rappresenta la variabilità dovuta a differenze tra allevamenti (es. condizioni ambientali, pratiche di gestione) e variazioni annuali che possono influenzare la produzione.

Gli effetti casuali matr1 e alle\_anno sono inclusi per catturare la variabilità non spiegata da altre variabili nel modello. L'effetto casuale matr1 permette di considerare le differenze individuali tra gli animali, mentre alle\_anno considera le differenze dovute agli allevamenti e alle variazioni annuali, offrendo una rappresentazione più accurata della produzione di latte in base al diverso management aziendale.

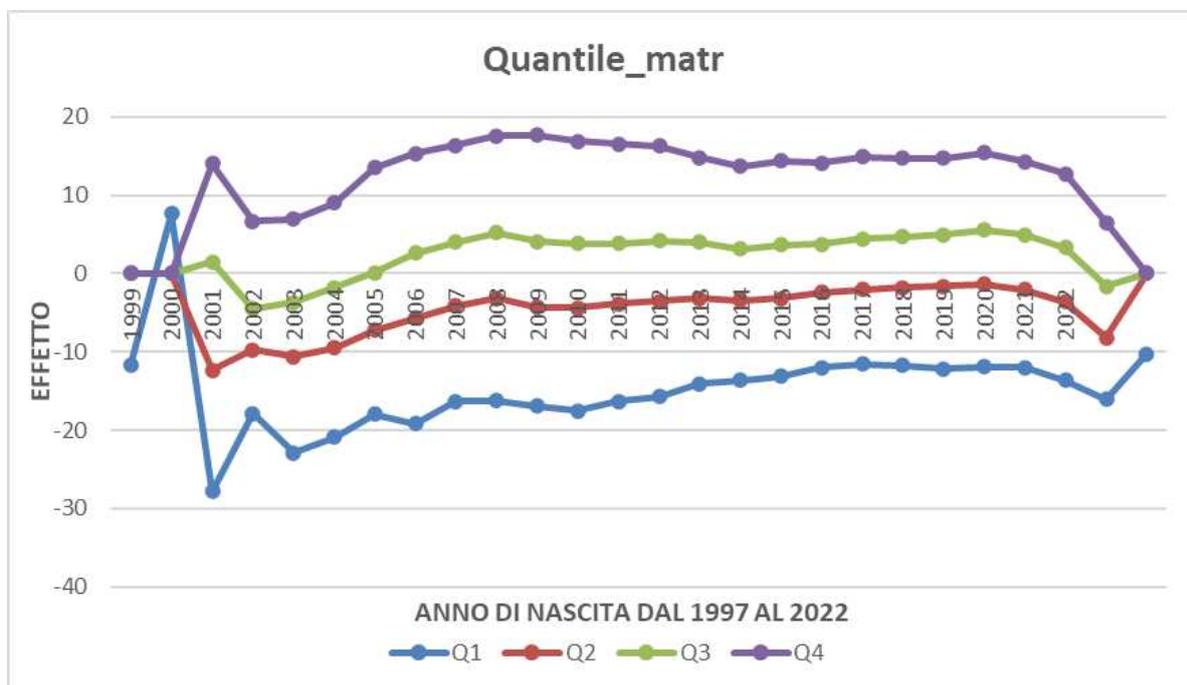
## Stima dell'Effetto Animale e Allevamento tramite Quantili

Uno degli scopi finali del modello è la creazione di quantili basati sui valori di dMEO per analizzare gli effetti relativi all'animale (matr) e all'allevamento (herd). Questo processo consente di segmentare la popolazione studiata in gruppi omogenei in base alla produzione energetica del latte, rendendo più semplice confrontare e analizzare le performance produttive.

### Effetto Animale (quantile\_matr)

Per stimare l'effetto dell'animale, i dati sono stati suddivisi in quantili in base all'anno di nascita e alla produzione fenotipica all'interno di ciascun allevamento. Questa segmentazione permette di classificare gli animali in base alla loro produttività, creando gruppi di confronto che rappresentano diverse fasce di produzione. Successivamente, per ogni quantile e anno di nascita è stata calcolata la media fenotipica della produzione di latte (in kg) e il valore di dMEO, fornendo una panoramica della produttività media di ciascun gruppo di animali. (Grafico 1. Effetto medio dMEO - Tabella 2. Effetto medio dMEO) (Appendice di Analisi: Tabelle e Grafici Aggiuntivi).

**Grafico 1. Effetto medio dMEO**



**Tabella 2. Effetto medio dMEO**

<b>ANNO/EFFETTO MEDIO</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
1997	-11,7	NA	NA	NA
1998	7,6	NA	NA	NA
1999	-27,8	-12,3	1,47	14
2000	-17,9	-9,75	-4,49	6,65
2001	-22,9	-10,6	-3,71	6,98
2002	-20,9	-9,51	-1,78	9,02
2003	-18	-7,2	0,0714	13,5
2004	-19,2	-5,68	2,61	15,3
2005	-16,3	-4,12	4,01	16,4
2006	-16,2	-3,18	5,19	17,6
2007	-16,9	-4,32	4,11	17,7
2008	-17,5	-4,4	3,87	16,9
2009	-16,3	-3,87	3,86	16,5
2010	-15,7	-3,48	4,2	16,3
2011	-14,1	-3,17	3,96	14,8
2012	-13,6	-3,43	3,16	13,7
2013	-13,1	-3,2	3,67	14,4
2014	-12	-2,39	3,75	14,1
2015	-11,6	-2,07	4,43	14,9
2016	-11,7	-1,83	4,66	14,7
2017	-12,2	-1,66	4,92	14,7
2018	-11,9	-1,4	5,58	15,4
2019	-12	-2,06	4,99	14,3
2020	-13,6	-3,6	3,28	12,7
2021	-16,1	-8,16	-1,63	6,51
2022	-10,3	NA	NA	NA

### **Effetto Allevamento (quantile\_herd)**

L'effetto dell'allevamento è stato stimato suddividendo le aziende in quattro categorie produttive, definite tramite i quartili di dMEO. Questa classificazione permette di confrontare la produttività tra allevamenti con differenti livelli di efficienza energetica nella produzione di latte. Ogni quartile include un gruppo di allevamenti omogeneo per livello di produzione corretta, verificando che la distribuzione sia equilibrata tra gli anni per una maggiore rappresentatività.

Per ogni quartile sono stati calcolati il valore medio della produzione e la deviazione standard sia per la quantità di latte prodotta sia per l'energia totale dMEO. Le analisi evidenziano differenze significative tra i quartili: gli allevamenti nel quartile più alto mostrano una produzione maggiore rispetto a quelli nel quartile più basso, con una differenza media di circa 10 kg di latte e 38 unità di dMEO tra il primo e il quarto quartile. Oltre a una netta differenza tra i quartili espressi in dMEO (Tabella 3. Effetto allevamento dMEO) (Appendice di Analisi: Tabelle e Grafici Aggiuntivi)

**Tabella 3. Effetto allevamento dMEO**

<b>anno</b>	<b>effetto_1</b>	<b>effetto_2</b>	<b>effetto_3</b>	<b>effetto_4</b>
<b>2014</b>	-24,4	-8,46	-0,194	13,7
<b>2015</b>	-23,1	-8,03	0,988	14,7
<b>2016</b>	-20,5	-5,05	4,15	16,9
<b>2017</b>	-20,3	-4,59	5,14	18,3
<b>2018</b>	-19,8	-2,79	6,74	18,4
<b>2019</b>	-21,3	-5,03	6,68	19,1
<b>2020</b>	-18,5	-1,71	7,26	21,7
<b>2021</b>	-17,6	-0,0426	9,9	24,3
<b>2022</b>	-18,9	-1,98	8,43	22,8
<b>2023</b>	-18,1	-2,33	8,87	24,3

Questo modello permette di isolare e quantificare l'impatto delle variabili principali (nlatt, eta, cdim, cgrav) sulla produzione di latte corretta per energia (dMEO), evidenziando l'influenza di ciascun fattore. I quantili creati per le variabili matr e herd (alle\_anno) forniscono una segmentazione utile per confrontare gli animali e gli allevamenti in base alla loro produttività.

## 8. Analisi del carattere interparto

L'analisi dei tratti di fertilità rappresenta un punto fondamentale per comprendere e migliorare la gestione della riproduzione negli allevamenti bovini, ottimizzando i tempi e la produttività. In questo studio, il carattere di interesse è l'**interparto**, cioè l'intervallo tra due parti successivi, un indicatore chiave per valutare la fertilità e l'efficienza riproduttiva della mandria. Un valore ideale di interparto è cruciale per la redditività, poiché riduce i tempi tra i parti e favorisce una maggiore produttività nel tempo. Per l'analisi dell'interparto, abbiamo utilizzato un modello ANOVA (Analisi della Varianza), con cui abbiamo valutato l'impatto di vari fattori potenzialmente rilevanti su questa variabile.

Il modello statistico impiegato è il seguente:

```
modello <- aov(interparto ~ ord_p + anno + quantile_matr + quantile_herd +  
quantile_herd*quantile_matr )
```

Dove le variabili considerate sono:

- **ord\_p**: indica l'ordine di parto, cioè il numero di parti precedenti, variabile che può influenzare la durata dell'interparto.
- **anno**: anno di osservazione, inserito per analizzare eventuali variazioni annuali della fertilità.
- **quantile\_matr**: rappresenta i quartili del livello produttivo dell'animale, dividendo la mandria in quattro classi sulla base del livello riproduttivo.
- **quantile\_herd**: rappresenta i quartili di produttività del gruppo (livello produttivo medio della mandria).
- **Quantile\_herd\_quantile\_matr**: è l'interazione tra il quantile del gruppo e il quantile individuale, inserito per individuare un possibile effetto combinato sull'interparto.

L'analisi ANOVA ha prodotto i risultati riassunti nella tabella sottostante (Tabella 4. Modello ANOVA), fornendo una panoramica sugli effetti delle variabili considerate sull'interparto.

I risultati significativi sono stati i seguenti:

- **ord\_p (ordine di parto)**: altamente significativo ( $p < 99\%$ ), il numero di parti precedenti risulta avere un effetto altamente significativo sull'interparto. In pratica, l'aumento dell'ordine di parto tende ad allungare l'interparto, il che è coerente con la fisiologia bovina.

- **anno**: altamente significativo ( $p < 99\%$ ), suggerendo variazioni annuali nei tempi di interparto che potrebbero essere correlate a cambiamenti gestionali o ambientali.
- **quantile\_matr**: altamente significativo ( $p < 99\%$ ), i quantili del livello produttivo individuale mostrano un impatto significativo sull'interparto, evidenziando come la produzione dell'animale influenzi direttamente il periodo di riposo tra due parti.
- **quantile\_herd**: il quantile del livello di gruppo ha un effetto significativo ( $p < 95\%$ ), indicando che il livello produttivo del gruppo può avere una certa influenza sui tempi di interparto.
- **Interazione quantile\_matr/quantile\_herd** : l'effetto combinato tra i quartili del singolo animale e del gruppo non è risultato significativo ( $p > 95\%$ ) il che suggerisce che la combinazione tra i due fattori non influenza significativamente la durata dell'interparto.

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi ANOVA:

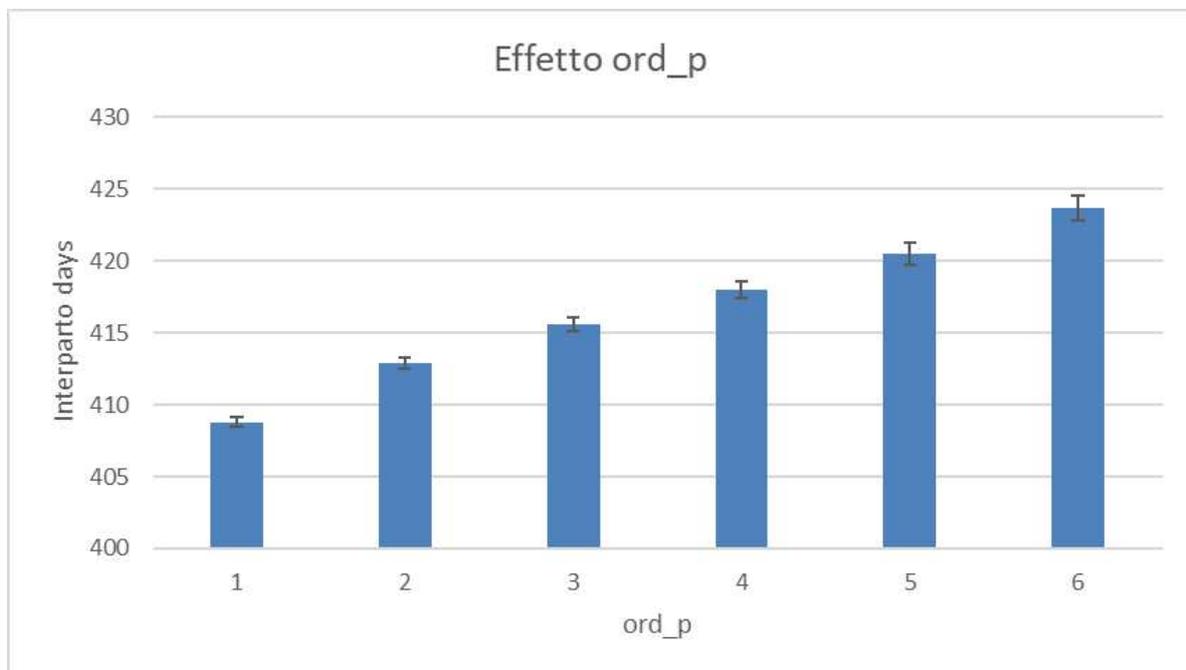
**Tabella 4. Modello ANOVA**

Fattore	gradi di libertà (Df)	Somma dei Quadrati (Sum Sq)	Quadrati Medi (Mean Sq)	Valore F (F value)	Pr(>F)
ord_p	5	2,414,833	482,967	108.523	< 2e-16 ***
anno	9	1,493,663	165,963	37.292	< 2e-16 ***
quantile_matr	3	3,671,618	1,223,873	275.005	< 2e-16 ***
quantile_herd	3	99,967	33,322	7.488	5.23e-05 ***
quantile_matr:quantile_herd	9	26,691	2,966	0.666	0.74
Residui	126,375	562,414,311	4,45		

## 9. Risultati

L'ordine di parto (ord\_p) emerge come un fattore altamente significativo nell'influenzare l'interparto, evidenziando che, man mano che l'animale invecchia, aumenta l'intervallo tra i parti; i dati e i grafici associati (Grafico 2. Effetto ord\_p e Tabella 5. Effetto ord\_p) confermano che l'interparto tende ad allungarsi dopo ogni parto. Per omogeneizzare i dati, i parti oltre il sesto sono stati inclusi in una categoria "6 parto". Le vacche con più parti hanno periodi di riposo più lunghi, influenzati da fattori fisiologici (maggiore tempo di recupero tra le lattazioni) e gestionali (le vacche produttive vengono mantenute più a lungo in lattazione, ritardando così la messa in asciutta). Questo approccio gestionale, volto a massimizzare la produzione di latte, estende l'interparto per gli animali con più parti.

**Grafico 2. Effetto ord\_p**



**Tabella 5. Effetto ord\_p**

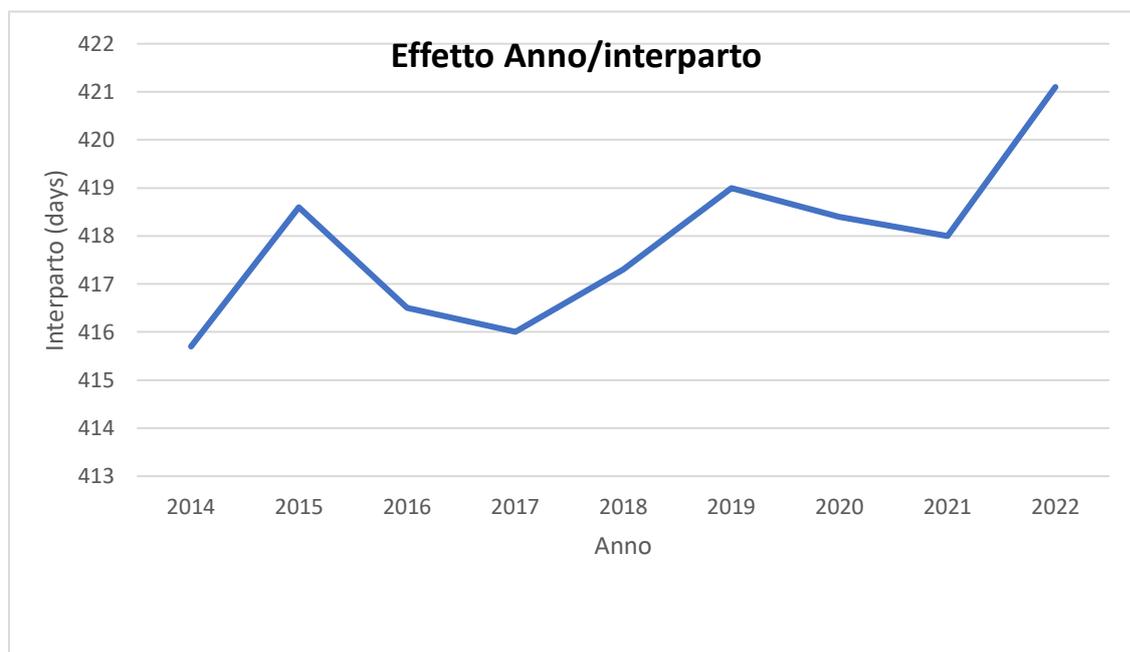
<b>ord_p</b>	<b>Interparto (days)</b>	<b>SE</b>	<b>lower.CL</b>	<b>upper.CL</b>
1	408,8	0,3233	408,2	409,5
2	412,9	0,3698	412,1	413,6
3	415,6	0,4472	414,7	416,4
4	418	0,5713	416,9	419,2
5	420,5	0,7725	419,0	422,0
6	423,7	0,8711	422	425,4

Anche il fattore anno ha mostrato un effetto significativo, con un incremento dell'interparto dal 2014 al 2023, indicato nella Tabella 6. e Grafico 3. Anno/interparto Tale aumento potrebbe essere associato a cambiamenti nelle pratiche di allevamento o nelle condizioni ambientali che influenzano la fertilità delle vacche. Tuttavia, l'anno 2023 va considerato con cautela per il campione ridotto, poiché include solo gli animali che hanno partorito in quell'anno, escludendo le vacche fecondate nel 2023 ma partorienti nel 2024.

**Tabella 6. Anno/interparto**

<b>anno</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b>Media stimata</b>	415,7	418,6	416,5	416	417,3	419	418,4	418	421,1	405,03
<b>SE</b>	0,5838	0,5879	0,5987	0,6037	0,6064	0,6121	0,6047	0,596	0,6159	0,7965
<b>N</b>	14409	13831	13341	13108	12962	12672	13069	13474	12554	7345

**Grafico 3. Anno/interparto**



Il modello ANOVA è stato utilizzato principalmente per studiare l'effetto dell'animale e quello dell'allevamento sull'interparto delle vacche da latte, con l'obiettivo di valutare le capacità genetiche dei singoli soggetti separandole dalle capacità gestionali dell'allevatore. Il modello misto, precedentemente descritto, ha permesso di suddividere gli animali in quartili di produttività media stimata (quantili) in base al parametro dMEO (produzione media stimata). Un quantile rappresenta un valore in una distribuzione di dati che divide il dataset in intervalli con frequenza specifica. In statistica, i quantili permettono di suddividere un dataset ordinato in parti uguali, rendendo possibile l'osservazione della distribuzione dei dati in segmenti di uguale numerosità. Grazie a questo parametro, le vacche sono state classificate in quattro classi di efficienza produttiva, da 1 a 4, dove la classe 1 include gli animali con produttività più bassa e la classe 4 quelli con produttività più alta. Questa segmentazione si è rivelata fondamentale per analizzare l'effetto della produttività individuale sul periodo di riposo tra i parti (interparto), valutando come

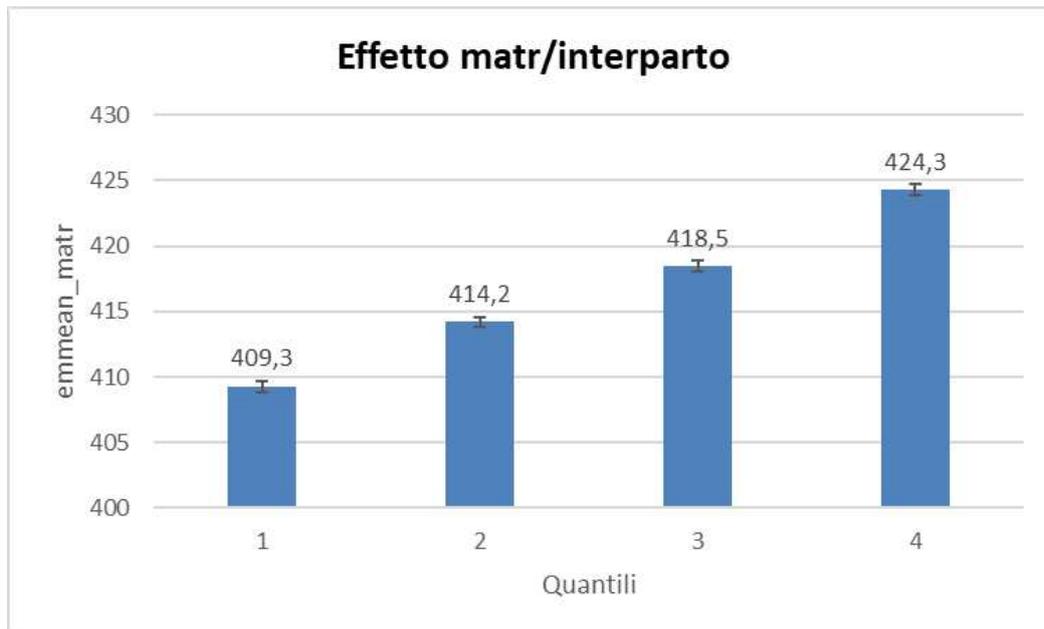
questa variabile sia influenzata sia da fattori individuali che collettivi, considerando anche l'ambiente e le pratiche gestionali specifiche dell'allevamento.

La Tabella 7. “Quantile matr e herd “e il Grafico 6. “Effetto matr” riportano i risultati dell'analisi dei quartili. Osservando le stime e gli intervalli di confidenza per ciascun livello di quantile, si nota come, all'aumentare del quartile di dMEO (quindi con la crescita della produttività media stimata), l'interparto (emmean, media marginale stimata) tenda ad aumentare. Questa relazione suggerisce che le vacche con una produttività stimata più alta, appartenenti ai quartili superiori, tendano ad avere periodi più lunghi tra un parto e l'altro. Questo interparto più esteso è attribuibile principalmente a scelte gestionali: le vacche altamente produttive vengono mantenute in lattazione per periodi prolungati, consentendo di estendere la produzione di latte e ritardando la messa in asciutta, ovvero il periodo di riposo pre-parto. Tale pratica gestionale comporta un allungamento dell'interparto, per cui al termine della lattazione, le vacche altamente produttive richiedono più tempo per recuperare uno stato ottimale di fertilità per una nuova gravidanza. In sintesi, l'effetto animale, quantificato attraverso il quantile di produttività, dimostra di influire in modo diretto e significativo sull'interparto: con l'aumentare della produttività dell'animale, cresce anche l'intervallo di tempo tra i parti.

**Tabella 7. Quantile matr e herd**

<b>quantile_matr/herd</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>emmean_matr</b>	409,3	414,2	418,5	424,3
<b>SE</b>	0,4071	0,4029	0,4062	0,4318
<b>emmean_herd</b>	417,2	416,7	415,1	417,3
<b>SE</b>	0,4458	0,4159	0,3924	0,3921

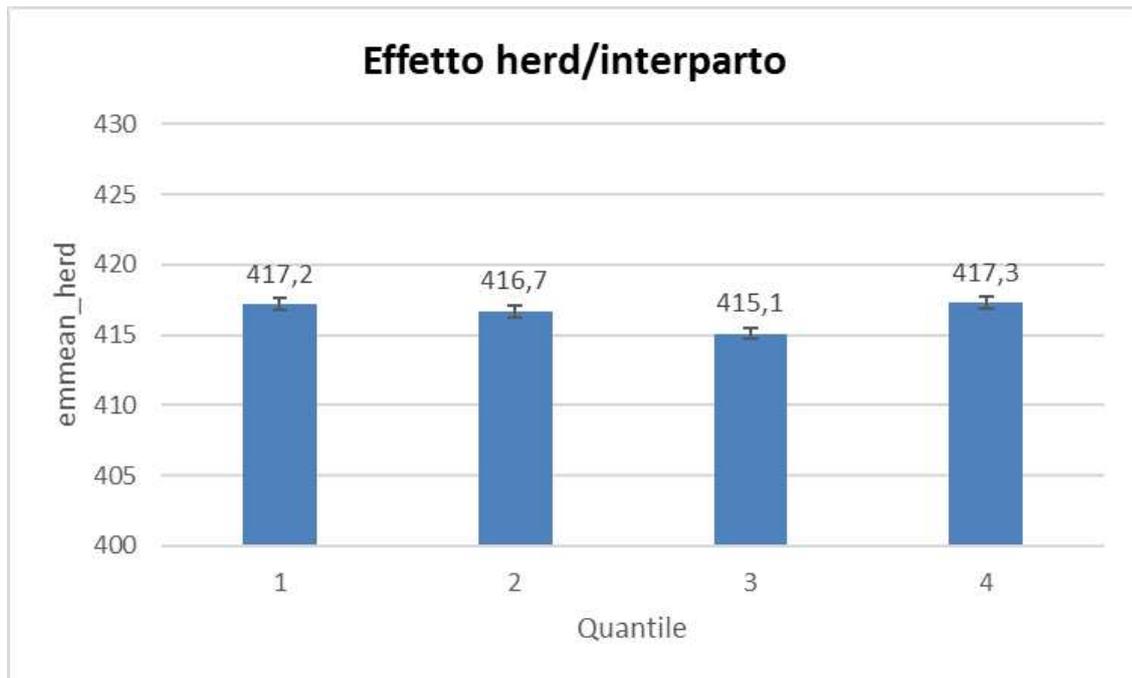
## Grafico 6. Effetto matr



Parallelamente, è stato analizzato l'effetto allevamento (herd), ossia l'influenza che la media del livello produttivo del gruppo di appartenenza esercita sull'interparto (Tabella 7. Quantile matr e herd). Il modello ha mostrato che il fattore allevamento (produttività) risulta statisticamente significativo. Tuttavia, a differenza dell'effetto animale, l'effetto allevamento non presenta un andamento chiaro e lineare tra i livelli di quantile. Questo significa che, pur influenzando il valore medio dell'interparto, l'effetto allevamento non rappresenta un predittore preciso e affidabile della durata del periodo di riposo tra i parti. Ad esempio, nel Grafico 7, che visualizza le medie stimate (Emmean\_herd) per ogni livello di quantile herd, si può osservare come i valori medi dell'interparto non seguano un trend crescente o decrescente. (Grafico 7. Effetto herd). Nel grafico mostrato, è evidente che l'andamento dei primi tre quantili segue la tendenza prevista, che si allinea con le aspettative iniziali e con quanto emerso in altri studi precedenti. In particolare, l'analisi ha suggerito che, con l'aumento del livello produttivo degli allevamenti, ci si sarebbe aspettati una diminuzione della media dell'interparto. Questo comportamento è coerente con l'ipotesi che le aziende con un maggiore livello di produzione tendano anche ad avere un migliore management e l'adozione di tecnologie più avanzate. Tali fattori possono contribuire a una gestione più efficiente della riproduzione animale, riducendo quindi i tempi tra un parto e l'altro. Nel dettaglio, il concetto che guida questa aspettativa è che le aziende più produttive, grazie a un'efficace organizzazione e all'uso di tecnologie moderne, possano ottimizzare la salute animale e i cicli di riproduzione,

riducendo i periodi di fermo tra un parto e il successivo. Una gestione più avanzata implica un miglior controllo delle condizioni ambientali, dell'alimentazione e dei trattamenti veterinari, tutti elementi che possono influenzare positivamente la fertilità degli animali, portando a intervalli tra i parti più brevi. Tuttavia, il comportamento osservato nel quarto quantile è più complesso e non segue la stessa tendenza. In questo caso, l'andamento che avrebbe dovuto portare a una riduzione continua dell'interparto si arresta, suggerendo un'inversione di tendenza. Questo fenomeno è probabilmente dovuto al significativo aumento del livello produttivo che si osserva in questa fascia di allevamenti. Quando il livello di produzione continua a crescere, potrebbero emergere fattori che interferiscono con la capacità di mantenere l'efficienza riproduttiva. È possibile che l'incremento della produzione porti ad un maggiore stress sugli animali, influenzando negativamente la loro capacità di rimanere gravidi. L'aumento della produzione implica spesso un maggiore impegno fisiologico per gli animali, che potrebbe manifestarsi in termini di stress e di maggiore difficoltà nel mantenere la gravidanza. In un contesto di alta produzione, gli animali sono sottoposti a carichi di lavoro più intensi, che potrebbero ridurre la loro salute generale e la capacità di riprendersi rapidamente tra un parto e l'altro. In questi casi, l'efficienza riproduttiva potrebbe non riuscire a stare al passo con l'intensificazione della produzione, portando ad un allungamento dei tempi tra i parti invece che a una loro riduzione. In altre parole, sebbene i primi tre quantili mostrino un miglioramento nelle performance riproduttive con l'aumento della produzione, nel quarto quantile si evidenzia un punto di rottura dove il livello di produttività molto elevato sembra causare un deterioramento della capacità riproduttiva. Questo potrebbe essere il risultato di un compromesso tra la produttività e la salute degli animali, con il rischio che l'intensificazione produttiva porti a stress fisico, che a sua volta interferisce con il ciclo riproduttivo.

## Grafico 7. Effetto herd



Prendendo in considerazione, ad esempio, le classi, si osserva che l'interparto stimato varia in modo non uniforme: il primo livello di quantile allevamento ha un interparto di 417,2 giorni, il secondo di 416,7 giorni, il terzo di 415,1 giorni e il quarto di 417,3 giorni. Questo andamento non sequenziale sottolinea come l'effetto quantile allevamento, pur essendo significativo dal punto di vista statistico, non mostri un'influenza uniforme e prevedibile sull'interparto.

Ulteriori analisi sono state svolte considerando i quartili di produttività (quantili matr) all'interno di ciascun livello di allevamento (quantili herd)f, con l'obiettivo di comprendere se esistessero effetti combinati tra il livello di produttività dell'animale e il gruppo di appartenenza. Questo approccio ha consentito di analizzare l'effetto allevamento considerando animali con livelli di produttività simili e di verificare come l'interparto potesse variare tra i diversi ambienti di allevamento per animali con lo stesso livello di produttività. Anche in questo caso, i risultati confermano che l'effetto animale (quantile matricola) ha un'influenza significativa sull'interparto: all'aumentare della classe di produttività, cresce anche l'interparto stimato. Tuttavia, l'effetto allevamento non evidenzia una variazione lineare (Tabella 8. Quantile herd\_matr). In altre parole, il gruppo di appartenenza non sembra essere determinante nella previsione dell'interparto, dato che a parità di livello di produttività individuale, l'interparto non presenta una relazione precisa con il quantile di allevamento. Ad esempio, prendendo come riferimento la classe matr 2, il valore

dell'interparto non segue una progressione chiara: varia leggermente senza rispettare un ordine, indicando che l'effetto del gruppo di appartenenza è meno incisivo rispetto a quello della produttività individuale.

**Tabella 8. Quantile herd\_matr 1**

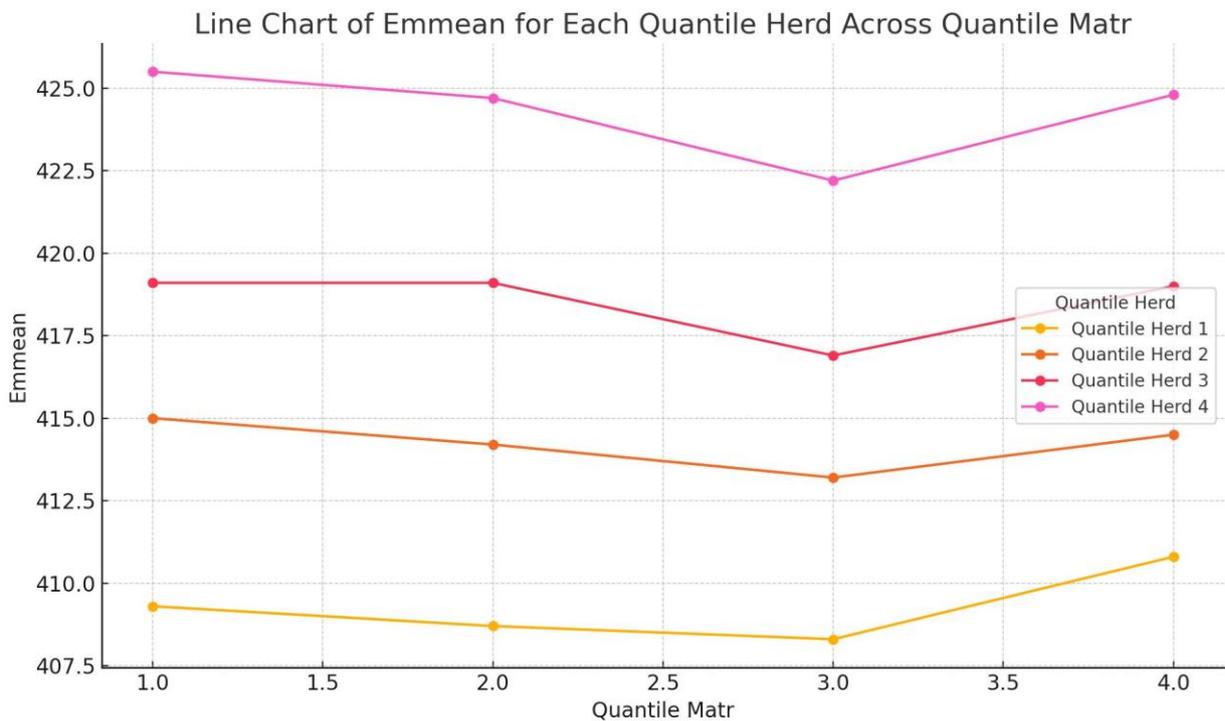
quantile_herd	quantile_matr	emmean	SE
1	1	409,3	0,8148
1	2	408,7	0,7933
1	3	408,3	0,7475
1	4	410,8	0,7199
2	1	415	0,7829
2	2	414,2	0,7722
2	3	413,2	0,7304
2	4	414,5	0,7473
3	1	419,1	0,8133
3	2	419,1	0,7739
3	3	416,9	0,7301
3	4	419	0,7469
4	1	425,5	0,9999
4	2	424,7	0,8143
4	3	422,2	0,7306
4	4	424,8	0,6871

Questi risultati portano a una conclusione importante: l'interparto sembra essere maggiormente influenzato dal livello produttivo dell'animale piuttosto che dal livello produttivo dal gruppo (Grafico 8. Quantile herd\_matr). Il fattore più rilevante risulta essere quindi il livello di produttività individuale, che condiziona in modo evidente la durata dell'interparto. Le vacche con un alto valore di dMEO, appartenenti ai quantili più elevati, presentano un interparto significativamente più lungo, riflettendo l'approccio gestionale volto a massimizzare la produzione di latte per questi animali. Mantenendo tali vacche in lattazione per periodi estesi, si allunga inevitabilmente il tempo tra un parto e l'altro. Questo fenomeno mostra come le scelte di gestione aziendale, basate sull'efficienza produttiva dell'animale, incidano direttamente sull'interparto, con una strategia che

mira a sfruttare al massimo le capacità di produzione delle vacche più performanti, prolungando la loro fase produttiva a scapito di una riproduzione più frequente.

Dall'altra parte, l'effetto quantile allevamento appare meno determinante nell'influencare il valore dell'interparto, poiché i risultati non evidenziano un andamento chiaro nei diversi livelli di quantile allevamento (herd). Sebbene l'effetto allevamento sia statisticamente significativo, la sua incidenza pratica risulta limitata e poco prevedibile, suggerendo che il livello produttivo del gruppo di appartenenza non è un fattore prioritario per determinare la durata dell'interparto. Questa discrepanza potrebbe essere legata a variabili ambientali e gestionali che non incidono in modo uniforme su tutti gli individui.

Grafico 8. Quantile herd\_matr



## 10. Discussione risultati

L'analisi dei dati raccolti ha messo in evidenza come la variabile interparto nelle vacche da latte sia significativamente influenzata da una serie di fattori, tra cui spiccano il livello di produttività individuale, rappresentato dai quantili della produttività media stimata (dMEO), e l'ordine di parto. Tuttavia, ulteriori variabili come l'anno e l'effetto allevamento hanno anch'esse mostrato un certo grado di rilevanza, pur senza dimostrare un effetto lineare costante. I risultati dello studio, pertanto, confermano alcune tendenze già emerse nella letteratura esistente e forniscono al contempo nuovi spunti per interpretare l'influenza che i diversi aspetti della gestione e della genetica delle vacche possono avere sulla durata dell'interparto.

Il livello di produttività individuale (effetto animale) è emerso come uno dei fattori principali nell'influenzare la durata dell'interparto. I dati mostrano infatti che gli animali appartenenti ai quantili più alti di produttività media tendono ad avere interparti più lunghi. Questo fenomeno è attribuibile principalmente a due fattori: il maggiore stress metabolico che caratterizza gli animali ad alta produttività e le pratiche gestionali che, allo scopo di massimizzare la resa lattiera, tendono a prolungare la fase di lattazione in questi animali, ritardando così il momento dell'asciutta. Il prolungamento della lattazione, infatti, permette agli allevatori di sfruttare a pieno il potenziale produttivo degli animali, in modo da ottimizzare la produzione di latte e ottenere un ritorno economico maggiore. Tuttavia, questa pratica comporta anche alcuni rischi per la salute riproduttiva degli animali, poiché le vacche da latte altamente produttive sono sottoposte a un considerevole stress metabolico e ad elevate richieste energetiche. Tale condizione si ripercuote sul sistema riproduttivo, allungando il periodo di recupero necessario prima di intraprendere un nuovo ciclo di gestazione. Questa relazione tra produttività e interparto trova riscontro anche nella letteratura scientifica. Studi come quello condotto da Toledo-Alvarado, Cecchinato e Bittante (2021) indicano chiaramente che gli animali con una maggiore intensità di produzione di latte tendono a mostrare una fertilità ridotta rispetto a quelli meno produttivi. In particolare, gli autori osservano che l'aumento della produttività ha un effetto negativo sulla fertilità, portando a un incremento del periodo di interparto. La spiegazione biologica di questo fenomeno risiede nel fatto che le vacche con una produzione elevata di latte necessitano di una quantità maggiore di energia per supportare sia la lattazione sia le attività fisiologiche di mantenimento. Quando l'energia è insufficiente, le risorse vengono dirette preferenzialmente verso il mantenimento delle funzioni vitali e della produzione lattiera, e solo successivamente verso il sistema riproduttivo. Questo fenomeno è noto come "priorità metabolica" e implica che, in condizioni di deficit energetico, il sistema riproduttivo venga temporaneamente "sacrificato" a favore della lattazione. Ciò porta, inevitabilmente, a una riduzione della fertilità e a un allungamento del periodo tra un parto e l'altro.

Oltre alla produttività individuale, l'ordine di parto rappresenta un altro fattore significativo nell'influenzare l'interparto. Dall'analisi dei dati emerge infatti che, con l'aumentare dell'età dell'animale e del numero di parti, anche il periodo di riposo tra i parti tende ad allungarsi. Questo fenomeno può essere attribuito a due principali cause: da un lato, i cambiamenti fisiologici che si verificano nelle vacche con l'avanzare dell'età, dall'altro, le strategie gestionali adottate dagli allevatori, che spesso prolungano la lattazione negli animali più anziani e produttivi. In altre parole, man mano che le vacche invecchiano, è necessario un periodo di recupero più lungo per garantire che possano sostenere una nuova gestazione senza compromettere la loro salute. Questo fenomeno può essere visto come una strategia fisiologica di recupero, finalizzata a preservare l'efficienza produttiva degli animali anziani. È infatti comune osservare che le vacche oltre il sesto parto abbiano intervalli di tempo più lunghi tra le lattazioni rispetto agli animali più giovani. Tali intervalli più lunghi permettono loro di recuperare adeguatamente e di prepararsi per una nuova gravidanza.

Inoltre, le analisi dei dati hanno permesso di confermare che il fattore "ordine di parto" contribuisce a rendere più omogenea la distribuzione dei dati, poiché tutti i parti successivi al sesto sono stati inseriti in una categoria unica denominata "6 parto". Questa semplificazione si è resa necessaria per migliorare l'affidabilità statistica delle analisi, evitando che le poche osservazioni relative a ordini di parto superiori al sesto potessero introdurre una variabilità non rappresentativa nei risultati. Tale scelta metodologica è quindi giustificata dall'obiettivo di ottenere stime più precise dell'effetto dell'ordine di parto sull'interparto, senza che i dati relativi a vacche con un numero elevato di parti possano influenzare eccessivamente i risultati complessivi.

Anche il fattore anno si è rivelato essere statisticamente significativo. Dai dati emerge infatti un aumento progressivo dell'interparto nel periodo che va dal 2014 al 2023. Questo andamento può essere spiegato da una serie di fattori ipotizzati, tra cui modifiche nelle pratiche gestionali, progressi nella selezione genetica degli animali e cambiamenti nelle condizioni ambientali che potrebbero aver influenzato indirettamente la fertilità delle vacche. Gli anni più recenti, infatti, sono stati caratterizzati da un'attenzione sempre maggiore alla produttività e all'ottimizzazione della produzione di latte, anche a discapito della frequenza dei parti. Gli allevatori si sono progressivamente adattati a nuove metodologie gestionali che, negli ultimi anni, hanno privilegiato l'efficienza produttiva rispetto alla riproduzione frequente. Questo cambio di paradigma gestionale potrebbe aver contribuito al prolungamento dell'interparto osservato nei dati più recenti. Tuttavia, è importante considerare che i dati relativi all'anno 2023 sono parziali, poiché includono solo le vacche che hanno partorito entro quell'anno, escludendo quindi quelle che sono state fecondate ma

non hanno ancora completato la gestazione. Questa limitazione richiede una certa cautela nell'interpretazione dei risultati relativi all'ultimo anno del periodo di studio, l'andamento osservato potrebbe risultare parzialmente influenzato dalla mancanza di dati completi per il 2023. Pertanto, ulteriori studi e raccolte di dati più completi potrebbero essere necessari per stabilire un quadro più preciso delle tendenze a lungo termine relative all'interparto.

Un altro aspetto che è emerso dall'analisi è l'effetto allevamento (herd) sull'interparto. Con effetto allevamento non si intende l'effetto allevamento in se per se ma il quantile del livello produttivo dell'allevamento. Sebbene questo fattore abbia mostrato una significatività statistica, non ha evidenziato un andamento chiaro e lineare. Ciò significa che, pur essendo rilevante per comprendere l'influenza del gruppo di appartenenza sull'interparto, il fattore allevamento non sembra rappresentare un predittore affidabile della durata del periodo di riposo tra i parti. Le differenze nell'interparto tra i vari quantili di allevamento non seguono infatti un andamento regolare: ad esempio, nelle vacche con produttività media, si osserva che l'interparto varia in modo non uniforme tra i diversi quantili di allevamento. Questo suggerisce che l'influenza dell'allevamento è meno significativa rispetto a quella della produttività individuale. Una possibile interpretazione di questa osservazione è che i metodi di gestione tra allevamenti siano diventati sempre più omogenei, almeno per quanto riguarda la razza Bruna. La mancanza di variabilità nell'interparto in funzione del quantile allevamento può essere quindi interpretata come un segnale della diffusione di standard gestionali avanzati, che hanno ridotto le differenze di management tra le diverse aziende. In questo scenario, il fattore produttività dell'allevamento perde di rilevanza come elemento distintivo dell'interparto, poiché le variazioni osservate si concentrano principalmente tra singoli animali con differenti capacità produttive piuttosto che tra allevamenti diversi.

Infine, i risultati emersi dall'analisi suggeriscono un'importante riflessione sull'influenza della genetica e sulle prospettive future per la selezione. L'influenza della produttività individuale sull'interparto, combinata con la relativa omogeneità dell'effetto allevamento, sottolinea infatti l'importanza di considerare i fattori genetici nel miglioramento dei tratti riproduttivi delle vacche da latte. Gli animali più produttivi, sottoposti a un'elevata selezione genetica per la produzione di latte, mostrano infatti una maggiore tendenza all'allungamento dell'interparto. Ciò evidenzia la necessità di bilanciare la produttività con la salute riproduttiva nella selezione degli animali, al fine di mantenere elevate prestazioni produttive senza compromettere il benessere e la fertilità degli animali. Gli allevatori e i selezionatori genetici potrebbero quindi adottare un approccio più equilibrato nella selezione delle vacche, considerando l'interparto come un indicatore della fertilità

e della sostenibilità a lungo termine della produzione di latte. Un aumento eccessivo dell'interparto, infatti, può comportare una riduzione della vita produttiva dell'animale, oltre a una diminuzione della sua capacità riproduttiva, con ripercussioni sia economiche sia etiche per l'allevamento.

A livello gestionale, le pratiche che prolungano la lattazione possono risultare vantaggiose per massimizzare la produzione di latte, ma sarebbe opportuno accompagnarle con protocolli specifici per preservare la fertilità delle vacche, soprattutto per quelle ad alta produttività. Suddividere gli animali in quartili di produttività, come suggerito dai dati raccolti, potrebbe rappresentare un metodo efficace per monitorare e gestire in modo più mirato gli animali. Tale approccio consentirebbe agli allevatori di applicare pratiche di gestione "personalizzate" per i vari livelli di produttività, riducendo i rischi di infertilità e ottimizzando al contempo la resa produttiva. Ad esempio, un'alimentazione mirata e una gestione individualizzata delle vacche ad alta produzione potrebbero mitigare gli effetti negativi sulla fertilità, permettendo loro di mantenere un'interparto accettabile anche in presenza di alti livelli di produzione di latte. Inoltre, strategie di gestione del riposo e dell'attività riproduttiva più flessibili, adattate ai vari quantili di produttività, potrebbero ridurre lo stress metabolico sugli animali e favorire un equilibrio migliore tra produzione e riproduzione.

## 11. Conclusione

L'obiettivo di questa ricerca era approfondire i fattori che influenzano la durata dell'interparto nelle vacche da latte, con un'attenzione specifica alla produttività individuale e al livello produttivo dell'allevamento. L'analisi è stata condotta per rispondere alla domanda principale di ricerca: in che modo e in quale misura i fattori legati alla produttività condizionano il periodo tra i parti nelle vacche altamente produttive?

I risultati ottenuti hanno dimostrato che la produttività individuale è il fattore predominante nel determinare la durata dell'interparto: le vacche con maggiore produttività individuale media tendono ad avere interparti più prolungati, principalmente a causa del maggiore stress metabolico e delle strategie gestionali adottate per estendere la lattazione. Inoltre, si è osservato che l'ordine di parto influisce significativamente sulla durata dell'interparto, con vacche più anziane che presentano tempi di recupero maggiori, probabilmente per esigenze di recupero fisiologico legate all'età e alle esigenze gestionali di ottimizzazione della produzione. Anche il fattore anno è risultato rilevante, evidenziando un andamento di incremento dell'interparto nel corso del decennio osservato, probabilmente come risultato di un'evoluzione nelle pratiche di allevamento. L'effetto quantile allevamento, sebbene statisticamente significativo, non ha mostrato un impatto lineare, suggerendo una relativa omogeneità nelle pratiche gestionali tra gli allevamenti esaminati.

Le implicazioni di questi risultati sono particolarmente rilevanti perché evidenziano la necessità di trovare un equilibrio tra le strategie di massimizzazione della produttività e le esigenze di salute riproduttiva delle vacche da latte. Questo studio suggerisce che l'estensione della lattazione nelle vacche altamente produttive, sebbene vantaggiosa per la produzione, può avere conseguenze negative sulla fertilità e, di conseguenza, sull'efficienza generale dell'allevamento. Le evidenze raccolte indicano anche la necessità di un approccio più personalizzato nella gestione dell'interparto, che tenga conto della produttività individuale per preservare il benessere animale e migliorare la sostenibilità economica delle pratiche di allevamento. A livello teorico, i risultati contribuiscono a una comprensione più articolata della relazione tra produttività e interparto, integrando le dinamiche di stress metabolico e gestione della lattazione. Questo studio presenta alcuni limiti, tra cui la parzialità dei dati del 2023, che potrebbero aver influenzato l'analisi longitudinale del fattore anno, dato che le vacche in gestazione ma non ancora partorienti sono state escluse dal campione. Inoltre, la variabilità intrinseca delle condizioni ambientali e gestionali tra gli allevamenti, nonostante gli standard gestionali omogenei, potrebbe aver limitato la generalizzabilità dei risultati a contesti diversi da quello specifico degli allevamenti di razza Bruna. Sulla base dei limiti emersi e delle considerazioni fatte, sarebbe utile approfondire la relazione tra

produttività e salute riproduttiva considerando anche altri fattori ambientali e genetici. Inoltre, future ricerche potrebbero estendere l'analisi a razze diverse e a contesti di allevamento eterogenei per valutare la generalizzabilità dei risultati e sviluppare approcci gestionali più adattivi e personalizzati. Un'indagine più dettagliata sul contributo della genetica alla variabilità dell'interparto nelle vacche altamente produttive potrebbe fornire ulteriori indicazioni per migliorare la selezione genetica in funzione di tratti legati alla fertilità. In conclusione, questa tesi ha contribuito a chiarire l'importanza della produttività individuale e di gruppo sulla gestione dell'interparto nelle vacche da latte, evidenziando come questi fattori possano influenzare la salute riproduttiva e la sostenibilità economica delle pratiche di allevamento. Il percorso intrapreso ha dimostrato che una gestione più equilibrata, che contempli sia la produzione che la salute riproduttiva, può ottimizzare il benessere degli animali e migliorare l'efficienza globale dell'allevamento. Questo studio apre prospettive per ulteriori approfondimenti sulla gestione integrata della produttività e fertilità, con potenziali benefici per l'intero settore dell'allevamento bovino.

## 12. Appendice

Di seguito è riportata l'analisi completa della tesi, comprensiva dei risultati presentati sotto forma di script e grafici.

Leggo il file dei dati fenotipici che sono quelli già editati per la valutazione genetica

```
# Define the column types
col_types <- c(
  herdtd = "character",
  fattone = "character"
  # Add other columns as needed
)

latte <- read.csv("t:/enrico_campara/tday4_prok_feno.csv", sep=";", header=TRUE, encoding="UTF-16LE", quote="", colClasses = col_types)
```

- **calcolo del latte corretto**  
**ricalcolo il latte corretto secondo il dMEO**

```
latte$nei <- 0.3887*latte$grap_feno+0.3887*latte$prop+0.1653*4.5
latte$dMEO <- latte$nei * latte$latk_feno
```

- **faccio un po' di stastiche sui file in ingresso**

```
# Aggiungere uno 0 davanti alle stringhe più corte di 19 caratteri
latte$herdtd1 <- ifelse(nchar(latte$herdtd) < 15, paste0("0", latte$herdtd), latte$herdtd)

latte$anno <- substr(latte$herdtd1, 8, 11)
latte$anno <- as.numeric(latte$anno)

##### da definire da che anno tenere

latte$herd <- substr(latte$herdtd1, 1, 7)

n_herd <- as.data.frame(unique(latte$herd))

n_matr <- as.data.frame(unique(latte$matr1))
print(paste("numero di vacche nel dati iniziali ", dim(n_matr)[1]))
## [1] "numero di vacche nel dati iniziali 796324"
print(paste("numero di allevamanti nel dati iniziali ", dim(n_matr)[1]))
## [1] "numero di allevamanti nel dati iniziali 796324"
```

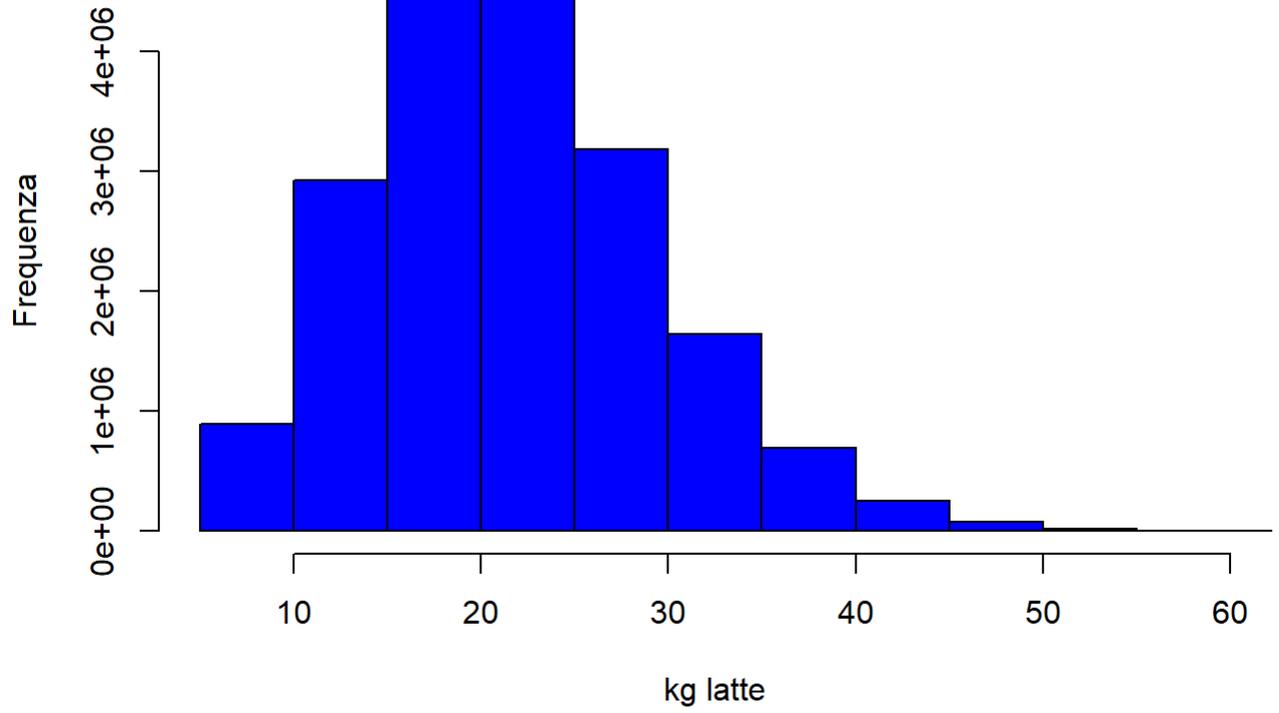
```

print("statistiche latte dati di partenza")
## [1] "statistiche latte dati di partenza"
summary(subset(latte,select=c("latk_feno","prop_feno","grap_feno","nei","dMEO")))
##      latk_feno      prop_feno      grap_feno      nei
## Min.   : 5.00   Min.   :1.000   Min.   :1.000   Min.   :1.521
## 1st Qu.:16.20   1st Qu.:3.250   1st Qu.:3.520   1st Qu.:3.406
## Median :21.10   Median :3.510   Median :3.930   Median :3.640
## Mean   :21.75   Mean   :3.534   Mean   :3.968   Mean   :3.660
## 3rd Qu.:26.50   3rd Qu.:3.800   3rd Qu.:4.390   3rd Qu.:3.896
## Max.   :97.90   Max.   :6.000   Max.   :7.000   Max.   :5.785
##
##      dMEO
## Min.   : 11.36
## 1st Qu.: 58.84
## Median : 76.67
## Mean   : 79.22
## 3rd Qu.: 96.64
## Max.   :392.94
describe(subset(latte,select=c("latk_feno","prop_feno","grap_feno","nei","dMEO")))
##      vars      n mean   sd median  min   max  range skew kurtosis
## latk_feno    1 19035404 21.75  7.72  21.10  5.00  97.90  92.90 0.54    0.36
## prop_feno    2 19035404  3.53  0.41   3.51  1.00   6.00   5.00 0.32    0.26
## grap_feno    3 19035404  3.97  0.72   3.93  1.00   7.00   6.00 0.25    1.04
## nei          4 19035404  3.66  0.37   3.64  1.52   5.79   4.26 0.30    0.37
## dMEO         5 19035404 79.22 28.31  76.67 11.36 392.94 381.58 0.58    0.54
##
##      se
## latk_feno 0.00
## prop_feno 0.00
## grap_feno 0.00
## nei       0.00
## dMEO      0.01

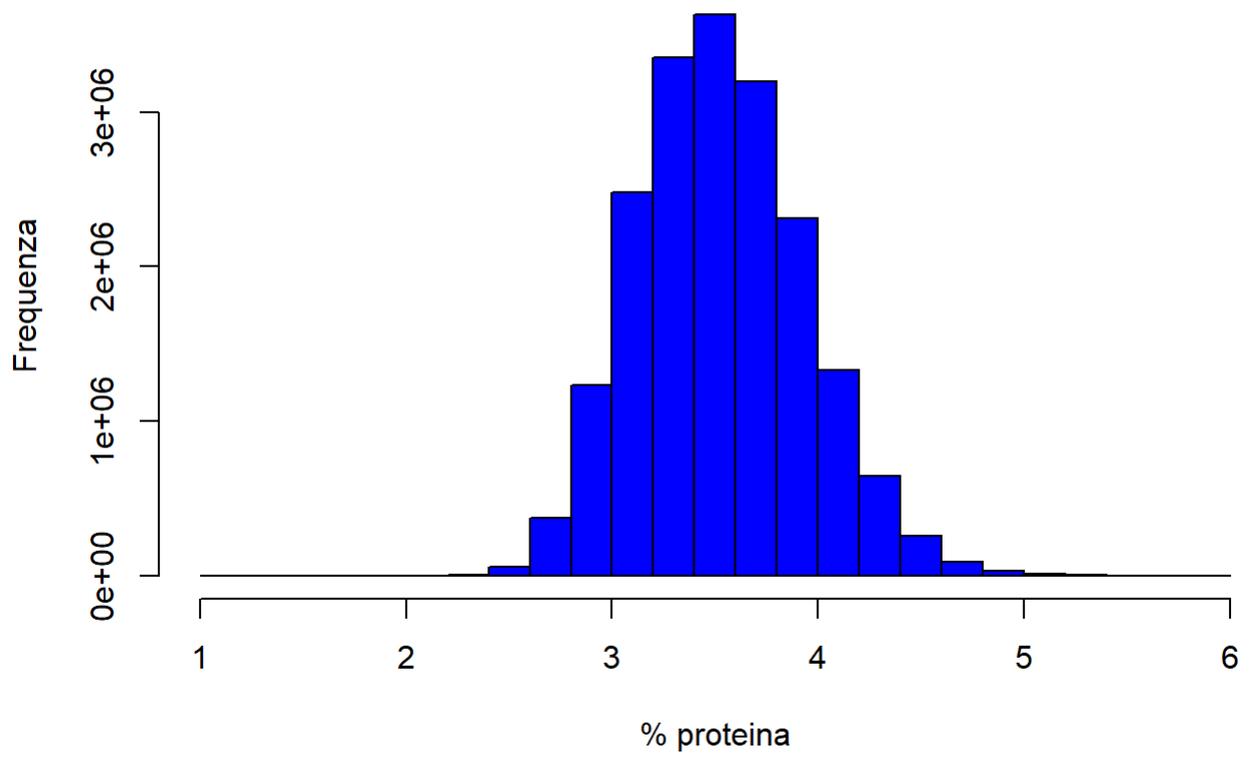
```

- **FACCIO I PLOT DELLE DISTRIBUZIONI (Appendice A grafici medie)**

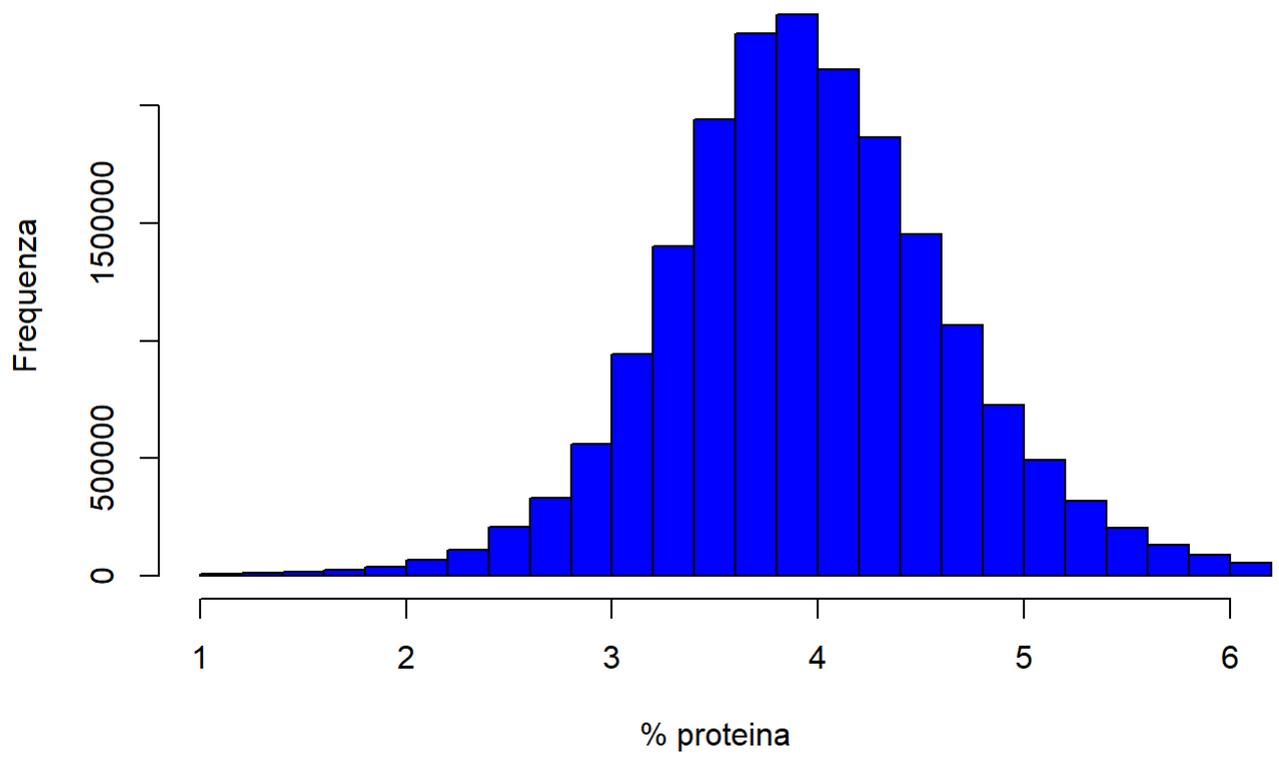
### distribuzione del Latte (dati partenza)



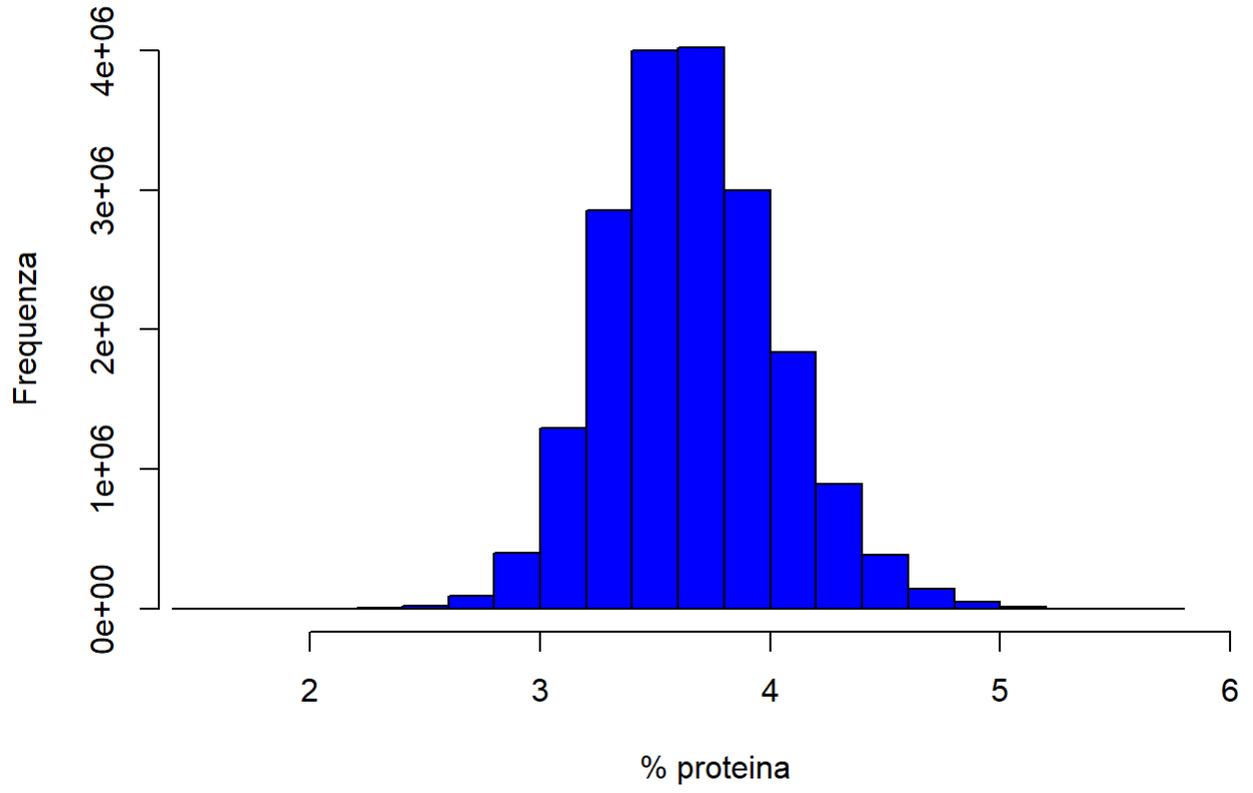
### distribuzione del % proteina (dati partenza))



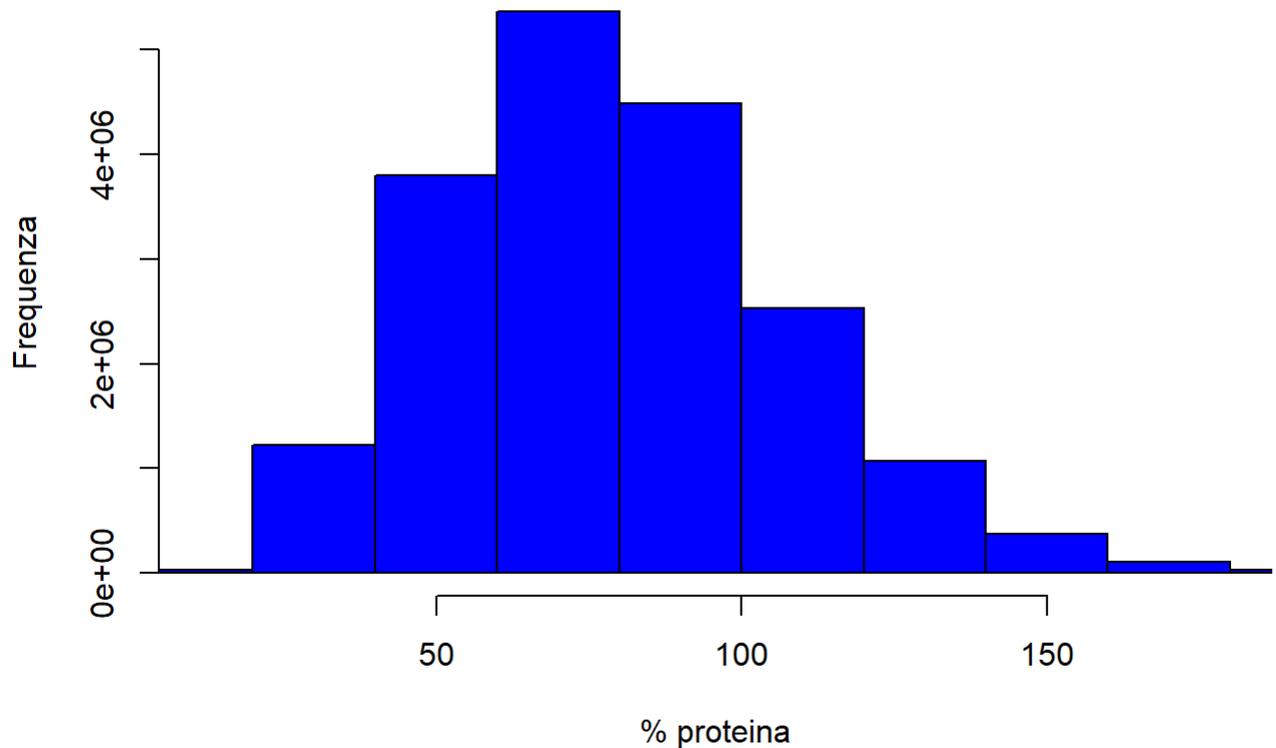
### distribuzione del % grasso (dati partenza))



### distribuzione del NEI (dati partenza)



## distribuzione del dMEO (dati partenza)



### PROCEDO CON EDITING

TENGONO SOLO GLI ULTIMI 10 ANNI DI DATI TRA 2014 E 2023 TENGO GLI ALLEVAMENTI/ANNO CON ALMENO 200 CONTROLLI

```
print(paste("numero di Allevamenti nel dati inziali ",dim(n_herd)[1]))
## [1] "numero di Allevamenti nel dati inziali 16282"
latte <- subset(latte, latte$anno>2013 & latte$anno<2024 )

allevamenti <- as.data.frame(table(latte$herd, latte$anno))

##### da definire quanti controlli per anno llevantamento minimo
alle_edit <- subset(allevamenti,allevamenti$Freq > 200,select=c("Var1","Var2"))
names(alle_edit) <- c("herd","anno")

#alle_edit <- as.data.frame(unique(alle_edit$Var1))
#alle_edit <- setNames(alle_edit, "herd")

controlli <- merge(latte,alle_edit,by.x=c("herd","anno"),by.y=c("herd","anno"),all.x=FALSE,all.y=FALSE)
```

```

controlli$salle_anno <- interaction(controlli$herd,controlli$anno)

controlli$fat_anno = substring(controlli$fattone,1,1)
controlli$nlatt = substring(controlli$fattone,2,2)
controlli$eta = substring(controlli$fattone,3,5)
controlli$cdim = substring(controlli$fattone,6,8)
controlli$cgrav = substring(controlli$fattone,9,10)

controlli$cgrav <- gsub("04", "05", controlli$cgrav)
controlli$cgrav <- gsub("03", "04", controlli$cgrav)
controlli$cgrav <- gsub("02", "03", controlli$cgrav)
controlli$cgrav <- gsub("01", "02", controlli$cgrav)
controlli$cgrav <- gsub("00", "01", controlli$cgrav)
#

controlli$renum_matr1 <- as.numeric(factor(controlli$matr1))
controlli$renum_alle_anno <- as.numeric(factor(controlli$salle_anno))

out <- controlli[, c("renum_matr1", "renum_alle_anno", "nlatt","eta","cdim","cgrav","d
MEO","nei","latk_feno","alle_anno")]

write.fwf(out, file = "R:/tesisti/enrico_campara/dati_per_stima.csv", width = c(10, 10
, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 20), justify = "left")

n_matr <- as.data.frame(unique(controlli$matr1))
print(paste("numero di vacche nel dataframe finale",dim(n_matr)[1]))
## [1] "numero di vacche nel dataframe finale 92917"
n_herd <- as.data.frame(unique(controlli$herd))
print(paste("numero di vacche nel dataframe finale",dim(n_herd)[1]))
## [1] "numero di vacche nel dataframe finale 715"

```

- **faccio alcune statistiche sui file che vanno in input alla stima dell'effetto allevamento**

```

n_matr <- as.data.frame(unique(controlli$matr1))
print(paste("numero di vacche nel dataframe finale",dim(n_matr)[1]))
## [1] "numero di vacche nel dataframe finale 92917"
n_herd <- as.data.frame(unique(controlli$herd))
print(paste("numero di vacche nel dataframe finale",dim(n_herd)[1]))
## [1] "numero di vacche nel dataframe finale 715"
# Esegui il conteggio dei valori univoci di 'herd' per ogni 'anno'
risultato <- aggregate(herd ~ anno, data = controlli, function(x) length(unique(x)))

```

```

# Rinomina le colonne del risultato per chiarezza
colnames(risultato) <- c("anno", "numero_herd")

# Visualizza il risultato
print(risultato)
##      anno numero_herd
## 1  2014          485
## 2  2015          471
## 3  2016          430
## 4  2017          418
## 5  2018          406
## 6  2019          389
## 7  2020          377
## 8  2021          422
## 9  2022          387
## 10 2023          364

controlli$test <- 1
# Esegui il conteggio dei valori univoci di 'herd' per ogni 'anno'
risultato <- aggregate(test ~ anno, data = controlli, function(x) length(x))

# Rinomina le colonne del risultato per chiarezza
colnames(risultato) <- c("anno", "numero_controlli")

# Visualizza il risultato
print(risultato)
##      anno numero_controlli
## 1  2014          179870
## 2  2015          173796
## 3  2016          162453
## 4  2017          160359
## 5  2018          157776
## 6  2019          149908
## 7  2020          143611
## 8  2021          163888
## 9  2022          151724
## 10 2023          142081

```

- **FACCIO GIRARE IL MODELLO MISTO**

**togli intestazione a dati\_per\_stima.csv e salvalo nel cartella Stima\_dMEO**

**mix99i.exe mix99.clm > mix99i.log**

**mix99s.exe -S > mix99s.log**

il modello utilizzato è dMEO =nlatt eta cdim cgrav matr1 alle\_anno

```
matr1 alle_anno sono inseritei come random
```

- **Adesso leggo la stima dell'effetto animale e lo classo in quantili per anno di nascita entro allevamento**

```
larghezze_colonne <- c(11, 10, 13)

# Leggi il file a formato fisso
solution <- read.fwf("R:/tesisti/enrico_campara/Stima_dMEO/Solr01", widths = larghezze_colonne)
names(solution) <- c("renum_matr1", "freq", "stima")

animali=controlli[, c("matr1", "renum_matr1")]

# Eliminare righe duplicate
animali <- animali %>% distinct()

effetto_animal=merge(solution,animali,by="renum_matr1")

ped <- read.csv("i:/indici2/r&s/pubblica/pednord1.csv", sep=";", header=TRUE, encoding="UTF-16LE", quote="", colClasses = col_types)
## Warning in read.table(file = file, header = header, sep = sep, quote = quote, :
## non esistono tutti i nomi di colonna in 'colClasses'
ped$anno_nasc=substring(ped$nasc_data,7,10)
ped=ped[, c("matr1", "anno_nasc", "prou_sogg")]

effetto_animal=merge(effetto_animal,ped,by="matr1")

effetto_animal <- effetto_animal %>%
  group_by(anno_nasc,prou_sogg) %>%
  mutate(quantile_matr = ntile(stima, 4)) # suddivide in 4 quantili

table(effetto_animal$anno_nasc,effetto_animal$quantile_matr)
##
```

```
##           1     2     3     4
##  1997     1     0     0     0
##  1998     1     0     0     0
##  1999     3     2     2     2
##  2000     7     7     7     7
##  2001    17    17    17    16
##  2002    44    44    43    43
##  2003    79    79    78    78
##  2004   153   152   152   152
##  2005   273   272   272   271
##  2006   432   430   430   430
##  2007   690   688   687   686
##  2008  1009  1002  1001  1001
##  2009  1275  1264  1263  1261
##  2010  1558  1535  1535  1534
##  2011  1899  1841  1836  1836
##  2012  1909  1815  1798  1794
##  2013  1957  1812  1772  1761
##  2014  1978  1781  1693  1661
##  2015  1998  1783  1681  1607
##  2016  1975  1786  1658  1558
##  2017  1892  1731  1600  1492
##  2018  1927  1749  1629  1526
##  2019  1775  1597  1481  1365
##  2020  1557  1412  1294  1190
##  2021   782   653   576   495
##  2022     2     0     0     0
```

- **calcola la media per quantile del valore fenotipico**

```
media_feno <- merge(controlli,effetto_animal,by="matr1")

out_media_feno <- aggregate(latk_feno ~ anno_nasc + quantile_matr, data = media_feno,
function(x) mean(x))

tabella_medie <- out_media_feno %>%

  pivot_wider(

    names_from = quantile_matr, # Le colonne da creare
    values_from = latk_feno      # I valori da utilizzare
  )

colnames(tabella_medie) <- c("anno", "medie fenotipica latte kg")

# Visualizza il risultato
```

```

print(tabella_medie)
## # A tibble: 26 × 5
##   anno `medie fenotipica latte kg` ` ` ` ` ` `
##   <chr> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 1997 23.2 NA NA NA
## 2 1998 18.4 NA NA NA
## 3 1999 20.9 14.7 22.2 26.8
## 4 2000 21.0 22.3 23.2 26.5
## 5 2001 18.3 21.7 24.1 26.8
## 6 2002 20.2 23.1 24.0 27.5
## 7 2003 20.7 23.3 25.1 28.9
## 8 2004 21.9 23.5 25.2 30.2
## 9 2005 22.2 24.2 27.0 31.5
## 10 2006 22.2 24.8 27.6 31.6
## 11 2007 22.7 24.7 27.3 32.4
## 12 2008 22.6 25.2 27.7 32.1
## 13 2009 23.0 25.7 27.9 32.5
## 14 2010 23.1 25.3 27.8 32.2
## 15 2011 23.0 25.3 27.2 31.3
## 16 2012 23.4 25.2 27.3 31.1
## 17 2013 24.1 25.7 27.4 31.3
## 18 2014 24.6 26.2 27.8 31.3
## 19 2015 24.9 26.5 28.1 31.6
## 20 2016 24.9 26.9 28.2 31.4
## 21 2017 24.8 27.0 28.3 31.1
## 22 2018 24.7 26.5 28.3 31.0
## 23 2019 23.9 25.9 27.7 30.0
## 24 2020 22.6 24.8 26.4 28.8
## 25 2021 21.7 24.3 26.1 28.5
## 26 2022 26 NA NA NA

out_media_feno <- aggregate(dMEO ~ anno_nasc + quantile_matr, data = media_feno, function(x) mean(x))

tabella_medie <- out_media_feno %>%
  pivot_wider(
    names_from = quantile_matr, # Le colonne da creare
    values_from = dMEO # I valori da utilizzare
  )

colnames(tabella_medie) <- c("anno", "medie fenotipica dMEO")

```

```

# Visualizza il risultato
print(tabella_medie)
## # A tibble: 26 × 5
##   anno `medie fenotipica dMEO`   `   `   `   `
##   <chr>          <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 1997           92.4  NA    NA    NA
## 2 1998           70.8  NA    NA    NA
## 3 1999           69.9  52.2  87.3  92.5
## 4 2000           78.5  79.3  84.1  93.7
## 5 2001           65.6  76.4  88.5  100.
## 6 2002           74.4  83.6  87.5  102.
## 7 2003           74.0  84.5  90.4  106.
## 8 2004           80.1  85.8  92.4  111.
## 9 2005           81.0  88.9  98.6  117.
## 10 2006          81.1  91.1  102.  118.
## 11 2007          83.2  91.5  101.  121.
## 12 2008          83.6  93.1  103.  121.
## 13 2009          85.0  94.9  104.  122.
## 14 2010          85.6  94.3  104.  122.
## 15 2011          85.6  93.8  102.  118.
## 16 2012          87.4  94.1  102.  117.
## 17 2013          90.2  96.1  103.  119.
## 18 2014          91.9  98.3  104.  118.
## 19 2015          93.2  99.5  106.  119.
## 20 2016          93.6  101.  106.  119.
## 21 2017          93.2  102.  107.  118.
## 22 2018          93.1  100.  107.  118.
## 23 2019          90.2  98.1  105.  114.
## 24 2020          84.8  93.4  99.8  109.
## 25 2021          80.4  89.9  97.1  107.
## 26 2022          91.9  NA    NA    NA

```

- **calcola la media per quantile della stima dell'effetto dMEO**

```

risultato <- aggregate(stima ~ anno_nasc + quantile_matr, data = effetto_animal, function(x) mean(x))

tabella_finale <- risultato %>%
  pivot_wider(

```

```

names_from = quantile_matr, # Le colonne da creare
values_from = stima        # I valori da utilizzare
)

# Rinomina le colonne del risultato per chiarezza
colnames(tabella_finale) <- c("anno", "effetto_medio")

# Visualizza il risultato
print(tabella_finale)
## # A tibble: 26 × 5
##   anno effetto_medio   `   `   `
##   <chr>      <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 1997      -11.7  NA    NA    NA
## 2 1998       7.60  NA    NA    NA
## 3 1999     -27.8 -12.3  1.47  14.0
## 4 2000     -17.9  -9.75 -4.49  6.65
## 5 2001     -22.9 -10.6  -3.71  6.98
## 6 2002     -20.9  -9.51 -1.78  9.02
## 7 2003     -18.0  -7.20  0.0714 13.5
## 8 2004     -19.2  -5.68  2.61  15.3
## 9 2005     -16.3  -4.12  4.01  16.4
## 10 2006     -16.2  -3.18  5.19  17.6
## 11 2007     -16.9  -4.32  4.11  17.7
## 12 2008     -17.5  -4.40  3.87  16.9
## 13 2009     -16.3  -3.87  3.86  16.5
## 14 2010     -15.7  -3.48  4.20  16.3
## 15 2011     -14.1  -3.17  3.96  14.8
## 16 2012     -13.6  -3.43  3.16  13.7
## 17 2013     -13.1  -3.20  3.67  14.4
## 18 2014     -12.0  -2.39  3.75  14.1
## 19 2015     -11.6  -2.07  4.43  14.9
## 20 2016     -11.7  -1.83  4.66  14.7
## 21 2017     -12.2  -1.66  4.92  14.7
## 22 2018     -11.9  -1.40  5.58  15.4
## 23 2019     -12.0  -2.06  4.99  14.3
## 24 2020     -13.6  -3.60  3.28  12.7
## 25 2021     -16.1  -8.16 -1.63  6.51
## 26 2022     -10.3  NA    NA    NA

fertilita <- read.csv("D:/indici/input/ferty_data.csv", sep=";", header=TRUE, encoding="
UTF-16LE", quote="", colClasses = col_types)

```

```
## Warning in read.table(file = file, header = header, sep = sep, quote = quote, :
## non esistono tutti i nomi di colonna in 'colClasses'

fertilita <- subset(fertilita, fertilita$interparto != -1 | fertilita$CR != -1 , select
=c("matr1", "ord_p", "aux_tenu", "anno", "stagio", "interparto", "CR", "stagione"))

dati_ferty<- merge(fertilita, effetto_animal, by="matr1")
```

- **LETTURA DELL'EFFETTO ALLEVAMENTO E CALCOLO I QUANTILI PER ANNO DI CONTROLLO**

```
##### qui provo aggiungere anche il qunatile del herd
larghezze_colonne <- c(11, 10, 13)

# Leggi il file a formato fisso
solution <- read.fwf("R:/tesisti/enrico_campara/Stima_dMEO/Solr02", widths = larghezze
_colonne)
names(solution) <- c("renum_alle_anno", "freq", "stima")

herd=controlli[, c("alle_anno", "renum_alle_anno")]

# Eliminare righe duplicate
herd <- herd %>% distinct()

effetto_herd=merge(solution, herd, by="renum_alle_anno")

effetto_herd <- separate(effetto_herd, alle_anno, into = c("alle", "anno"), sep = "\\."
")

effetto_herd <- subset(effetto_herd, effetto_herd$anno!="2024" )

effetto_herd <- effetto_herd %>%
  group_by(anno) %>%
  mutate(quantile_herd = ntile(stima, 4)) # suddivide in 4 quantili

table(effetto_herd$quantile_herd, effetto_herd$anno)
##
##      2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023
## 1  122  118  108  105  102   98   95  106   97   91
## 2  121  118  108  105  102   97   94  106   97   91
## 3  121  118  107  104  101   97   94  105   97   91
```

```
## 4 121 117 107 104 101 97 94 105 96 91
```

- **SCRIVO LA MEDIA FENOTIPICA PER CLASSE ALLEVAMENTO PER ANNO DI CONTROLLO**

```
media_feno <- merge(controlli,effetto_herd,by.x=c("herd","anno"),by.y=c("alle","anno")
)

out_media_feno <- aggregate(latk_feno ~ anno + quantile_herd, data = media_feno, funct
ion(x) mean(x))

tabella_medie <- out_media_feno %>%

  pivot_wider(

    names_from = quantile_herd, # Le colonne da creare

    values_from = latk_feno      # I valori da utilizzare

  )

colnames(tabella_medie) <- c("anno", "medie fenotipica latte kg")

# Visualizza il risultato
print(tabella_medie)

## # A tibble: 10 × 5
##   anno `medie fenotipica latte kg`  ` `  ` `  ` `
##   <dbl>                <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 2014                20.6 24.9 26.8 30.1
## 2 2015                21.0 24.9 27.1 30.4
## 3 2016                21.4 25.6 28.0 30.8
## 4 2017                21.5 25.9 28.1 31.0
## 5 2018                21.9 26.3 28.7 31.4
## 6 2019                21.5 25.7 28.4 31.4
## 7 2020                22.4 26.6 28.8 32.2
## 8 2021                22.5 27.0 29.2 32.6
## 9 2022                22.5 26.6 29.0 32.1
## 10 2023               22.6 26.4 28.9 31.9

media_feno <- merge(controlli,effetto_herd,by.x=c("herd","anno"),by.y=c("alle","anno")
)

out_media_feno <- aggregate(dMEO ~ anno + quantile_herd, data = media_feno, function(x
) mean(x))

tabella_medie <- out_media_feno %>%

  pivot_wider(

    names_from = quantile_herd, # Le colonne da creare

    values_from = dMEO          # I valori da utilizzare

  )

colnames(tabella_medie) <- c("anno", "medie fenotipica dMEO")
```

```

# Visualizza il risultato
print(tabella_medie)
## # A tibble: 10 × 5
##   anno `medie fenotipica dMEO`  ` `  ` `  ` `
##   <dbl>          <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 2014          74.9  91.8  99.6  113.
## 2 2015          76.4  92.5 101.   114.
## 3 2016          78.9  95.3 105.   117.
## 4 2017          79.4  96.7 106.   118.
## 5 2018          80.4  98.1 108.   120.
## 6 2019          78.6  96.1 107.   119.
## 7 2020          82.4  99.3 108.   123.
## 8 2021          83.3 102.   110.   125.
## 9 2022          83.5  99.6 109.   122.
## 10 2023          83.5  99.0 109.   122.

```

- **SCRIVO LA MEDIA DELL'EFFETTO STIMATO DEL dMEO PER CLASSE ALLEVAMENTO**

```

risultato <- aggregate(stima ~ anno + quantile_herd, data = effetto_herd, function(x)
mean(x))

tabella_finale <- risultato %>%
  pivot_wider(
    names_from = quantile_herd, # Le colonne da creare
    values_from = stima         # I valori da utilizzare
  )

# Rinomina le colonne del risultato per chiarezza
colnames(tabella_finale) <- c("anno", "effetto_medio")

# Visualizza il risultato
print(tabella_finale)
## # A tibble: 10 × 5
##   anno effetto_medio  ` `  ` `  ` `
##   <chr>          <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 2014          -24.4 -8.46  -0.194  13.7
## 2 2015          -23.1 -8.03   0.988  14.7
## 3 2016          -20.5 -5.05   4.15   16.9
## 4 2017          -20.3 -4.59   5.14   18.3
## 5 2018          -19.8 -2.79   6.74   18.4

```

```
## 6 2019          -21.3 -5.03    6.68   19.1
## 7 2020          -18.5 -1.71    7.26   21.7
## 8 2021          -17.6 -0.0426  9.90   24.3
## 9 2022          -18.9 -1.98    8.43   22.8
## 10 2023         -18.1 -2.33    8.87   24.3
```

- **UNISCO LA STIMA EFFETTO DELLA CLASSE ANIMALE E LA CLASSE ALLEVAMENTO PER INTERPARTO**

```
dati_ferty<- merge(dati_ferty,effetto_herd,by.y=c("alle","anno"),by.x=c("aux_tenu","a
nno"))

dati_ferty$renum_matr1 <- as.numeric(factor(dati_ferty$matr1))

dati_ferty$ord_p <- as.factor(dati_ferty$ord_p)

dati_ferty$anno_nasc <- as.factor(dati_ferty$anno_nasc)
dati_ferty$anno <- as.factor(dati_ferty$anno)

dati_ferty$quantile_matr <- as.factor(dati_ferty$quantile_matr)
dati_ferty$quantile_herd <- as.factor(dati_ferty$quantile_herd)

db_inter <- subset(dati_ferty, dati_ferty$interparto>1)
db_inter$ord_p <- as.numeric(as.character(db_inter$ord_p))
db_inter$ord_p[db_inter$ord_p > 6] <- 6
db_inter$ord_p <- as.factor(db_inter$ord_p)

# Esegui l'ANOVA

modello <- aov(interparto ~ ord_p + anno + quantile_matr + quantile_herd + quantile_he
rd*quantile_matr, data = db_inter)

# Visualizza i risultati dell'ANOVA
summary(modello)

##              Df    Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## ord_p          5  2414833  482967 108.523 < 2e-16 ***
## anno           9  1493663  165963  37.292 < 2e-16 ***
## quantile_matr  3  3671618 1223873 275.005 < 2e-16 ***
## quantile_herd  3    99967   33322   7.488 5.23e-05 ***
## quantile_matr:quantile_herd  9    26691    2966   0.666    0.74
## Residuals    126375 562414311    4450
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

lsmeans_ord_p <- emmeans(modello, ~ ord_p)
```

```

print(lsmeans_ord_p)
##   ord_p emmean      SE      df lower.CL upper.CL
##   1      408.8 0.3233 126375    408.2    409.5
##   2      412.9 0.3698 126375    412.1    413.6
##   3      415.6 0.4472 126375    414.7    416.4
##   4      418.0 0.5713 126375    416.9    419.2
##   5      420.5 0.7725 126375    419.0    422.0
##   6      423.7 0.8711 126375    422.0    425.4
##
## Results are averaged over the levels of: anno, quantile_matr, quantile_herd
## Confidence level used: 0.95
contrast_ord_p <- contrast(lsmeans_ord_p, method = "pairwise")
print(contrast_ord_p)
##   contrast      estimate      SE      df t.ratio p.value
##   ord_p1 - ord_p2     -4.02 0.486 126375  -8.269 <.0001
##   ord_p1 - ord_p3     -6.74 0.548 126375 -12.308 <.0001
##   ord_p1 - ord_p4     -9.22 0.653 126375 -14.114 <.0001
##   ord_p1 - ord_p5    -11.68 0.835 126375 -13.984 <.0001
##   ord_p1 - ord_p6    -14.86 0.927 126375 -16.019 <.0001
##   ord_p2 - ord_p3     -2.72 0.576 126375  -4.721 <.0001
##   ord_p2 - ord_p4     -5.20 0.677 126375  -7.673 <.0001
##   ord_p2 - ord_p5     -7.66 0.854 126375  -8.967 <.0001
##   ord_p2 - ord_p6    -10.83 0.944 126375 -11.471 <.0001
##   ord_p3 - ord_p4     -2.48 0.722 126375  -3.427 0.0080
##   ord_p3 - ord_p5     -4.94 0.890 126375  -5.547 <.0001
##   ord_p3 - ord_p6     -8.11 0.977 126375  -8.303 <.0001
##   ord_p4 - ord_p5     -2.46 0.958 126375  -2.570 0.1048
##   ord_p4 - ord_p6     -5.64 1.040 126375  -5.423 <.0001
##   ord_p5 - ord_p6     -3.17 1.162 126375  -2.732 0.0692
##
## Results are averaged over the levels of: anno, quantile_matr, quantile_herd
## P value adjustment: tukey method for comparing a family of 6 estimates
lsmeans_anno <- emmeans(modello, ~ anno)
print(lsmeans_anno)
##   anno emmean      SE      df lower.CL upper.CL
##   2014  415.7 0.5838 126375    414.5    416.8
##   2015  418.6 0.5879 126375    417.5    419.8
##   2016  416.5 0.5987 126375    415.3    417.7
##   2017  416.0 0.6037 126375    414.8    417.2
##   2018  417.3 0.6064 126375    416.1    418.5

```

```

## 2019 419.0 0.6121 126375 417.8 420.2
## 2020 418.4 0.6047 126375 417.2 419.6
## 2021 418.0 0.5960 126375 416.8 419.2
## 2022 421.1 0.6159 126375 419.9 422.3
## 2023 405.3 0.7965 126375 403.7 406.8
##
## Results are averaged over the levels of: ord_p, quantile_matr, quantile_herd
## Confidence level used: 0.95
contrast_anno <- contrast(lsmeans_anno, method = "pairwise")
print(" frequenza degli ordini di parto")
## [1] " frequenza degli ordini di parto"
print(table(db_inter$ord_p))
##
## 1 2 3 4 5 6
## 43663 33121 22507 13739 7486 5889
print(" frequenza degli anni di parto")
## [1] " frequenza degli anni di parto"
print(table(db_inter$anno))
##
## 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023
## 14049 13831 13341 13108 12962 12672 13069 13474 12554 7345
lsmeans_quantile_class <- emmeans(modello, ~ quantile_matr)
## NOTE: Results may be misleading due to involvement in interactions
print(lsmeans_quantile_class)
## quantile_matr emmean SE df lower.CL upper.CL
## 1 409.3 0.4071 126375 408.5 410.1
## 2 414.2 0.4029 126375 413.4 415.0
## 3 418.5 0.4062 126375 417.7 419.3
## 4 424.3 0.4318 126375 423.5 425.2
##
## Results are averaged over the levels of: ord_p, anno, quantile_herd
## Confidence level used: 0.95
contrast_quantile_class <- contrast(lsmeans_quantile_class, method = "pairwise")
print(contrast_quantile_class)
## contrast estimate SE df t.ratio p.value
## quantile_matr1 - quantile_matr2 -4.98 0.529 126375 -9.408 <.0001
## quantile_matr1 - quantile_matr3 -9.28 0.533 126375 -17.414 <.0001
## quantile_matr1 - quantile_matr4 -15.05 0.552 126375 -27.283 <.0001
## quantile_matr2 - quantile_matr3 -4.30 0.528 126375 -8.154 <.0001
## quantile_matr2 - quantile_matr4 -10.07 0.546 126375 -18.441 <.0001

```

```

## quantile_matr3 - quantile_matr4    -5.76 0.549 126375 -10.506 <.0001
##
## Results are averaged over the levels of: ord_p, anno, quantile_herd
## P value adjustment: tukey method for comparing a family of 4 estimates
lsmeans_quantile_class <- emmeans(modello, ~ quantile_herd)
## NOTE: Results may be misleading due to involvement in interactions
print(lsmeans_quantile_class)
##   quantile_herd emmean      SE      df lower.CL upper.CL
## 1                417.2 0.4458 126375    416.4    418.1
## 2                416.7 0.4159 126375    415.9    417.5
## 3                415.1 0.3924 126375    414.4    415.9
## 4                417.3 0.3921 126375    416.5    418.1
##
## Results are averaged over the levels of: ord_p, anno, quantile_matr
## Confidence level used: 0.95
contrast_quantile_class <- contrast(lsmeans_quantile_class, method = "pairwise")
print(contrast_quantile_class)
##   contrast                estimate      SE      df t.ratio p.value
## quantile_herd1 - quantile_herd2    0.5578 0.573 126375    0.973 0.7648
## quantile_herd1 - quantile_herd3    2.0915 0.554 126375    3.772 0.0009
## quantile_herd1 - quantile_herd4   -0.0583 0.551 126375   -0.106 0.9996
## quantile_herd2 - quantile_herd3    1.5337 0.528 126375    2.907 0.0191
## quantile_herd2 - quantile_herd4   -0.6161 0.524 126375   -1.176 0.6423
## quantile_herd3 - quantile_herd4   -2.1498 0.503 126375   -4.273 0.0001
##
## Results are averaged over the levels of: ord_p, anno, quantile_matr
## P value adjustment: tukey method for comparing a family of 4 estimates
lsmeans_quantile_class <- emmeans(modello, ~ quantile_herd*quantile_matr)
print(lsmeans_quantile_class)
##   quantile_herd quantile_matr emmean      SE      df lower.CL upper.CL
## 1                1                409.3 0.8148 126375    407.7    410.9
## 2                1                408.7 0.7933 126375    407.1    410.2
## 3                1                408.3 0.7475 126375    406.8    409.7
## 4                1                410.8 0.7199 126375    409.4    412.2
## 1                2                415.0 0.7829 126375    413.5    416.6
## 2                2                414.2 0.7722 126375    412.7    415.7
## 3                2                413.2 0.7304 126375    411.8    414.6
## 4                2                414.5 0.7473 126375    413.1    416.0
## 1                3                419.1 0.8133 126375    417.5    420.7
## 2                3                419.1 0.7739 126375    417.6    420.6

```

```
## 3      3      416.9 0.7301 126375    415.5    418.4
## 4      3      419.0 0.7469 126375    417.5    420.4
## 1      4      425.5 0.9999 126375    423.6    427.5
## 2      4      424.7 0.8143 126375    423.1    426.3
## 3      4      422.2 0.7306 126375    420.7    423.6
## 4      4      424.8 0.6871 126375    423.5    426.2
##
## Results are averaged over the levels of: ord_p, anno
## Confidence level used: 0.95
```

## Appendice di Analisi: Tabelle e Grafici Aggiuntivi

**Tabella 1. Allevamenti e controlli /anno**

<b>anno</b>	<b>numero_herd</b>	<b>numero_controlli</b>
2014	485	179870
2015	471	173796
2016	430	162453
2017	418	160359
2018	406	157776
2019	389	149908
2020	377	143611
2021	422	163888
2022	387	151724
2023	364	142081
Somma	4149	1585466
Media	415	158547

**Tabella 2. Numerosità quantili/anno di nascita**

<b>Anno Nascita</b>	<b>Quantile 1</b>	<b>Quantile 2</b>	<b>Quantile 3</b>	<b>Quantile 4</b>
1997	1	0	0	0
1998	1	0	0	0
1999	3	2	2	2
2000	7	7	7	7
2001	17	17	17	16
2002	44	44	43	43
2003	79	79	78	78
2004	153	152	152	152
2005	273	272	272	271
2006	432	430	430	430
2007	690	688	687	686
2008	1009	1002	1001	1001
2009	1275	1264	1263	1261
2010	1558	1535	1535	1534
2011	1899	1841	1836	1836
2012	1909	1815	1798	1794
2013	1957	1812	1772	1761
2014	1978	1781	1693	1661
2015	1998	1783	1681	1607
2016	1975	1786	1658	1558

**Tabella 3. Media fenotipica latte kg/quantile**

<b>Anno nascita</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
1997	23,2			
1998	18,4			
1999	20,9	14,7	22,2	26,8
2000	21	22,3	23,2	26,5
2001	18,3	21,7	24,1	26,8
2002	20,2	23,1	24	27,5
2003	20,7	23,3	25,1	28,9
2004	21,9	23,5	25,2	30,2
2005	22,2	24,2	27	31,5
2006	22,2	24,8	27,6	31,6
2007	22,7	24,7	27,3	32,4
2008	22,6	25,2	27,7	32,1
2009	23	25,7	27,9	32,5
2010	23,1	25,3	27,8	32,2
2011	23	25,3	27,2	31,3
2012	23,4	25,2	27,3	31,1
2013	24,1	25,7	27,4	31,3
2014	24,6	26,2	27,8	31,3
2015	24,9	26,5	28,1	31,6
2016	24,9	26,9	28,2	31,4
2017	24,8	27	28,3	31,1
2018	24,7	26,5	28,3	31
2019	23,9	25,9	27,7	30
2020	22,6	24,8	26,4	28,8
2021	21,7	24,3	26,1	28,5
2022	26			

**Tabella 4. Media fenotipica dMEO/quantile**

<b>Anno nascita</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
1997	92,4			
1998	70,8			
1999	69,9	52,2	87,3	92,5
2000	78,5	79,3	84,1	93,7
2001	65,6	76,4	88,5	100
2002	74,4	83,6	87,5	102
2003	74	84,5	90,4	106
2004	80,1	85,8	92,4	111
2005	81	88,9	98,6	117
2006	81,1	91,1	102	118
2007	83,2	91,5	101	121
2008	83,6	93,1	103	121
2009	85	94,9	104	122
2010	85,6	94,3	104	122
2011	85,6	93,8	102	118
2012	87,4	94,1	102	117
2013	90,2	96,1	103	119
2014	91,9	98,3	104	118
2015	93,2	99,5	106	119
2016	93,6	101	106	119
2017	93,2	102	107	118
2018	93,1	100	107	118
2019	90,2	98,1	105	114
2020	84,8	93,4	99,8	109
2021	80,4	89,9	97,1	107
2022	91,9			

**Tabella 5. Effetto dMEO/quantile del valore fenotipico**

<b>ANNO/EFFETTO MEDIO</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
1997	-11,7	NA	NA	NA
1998	7,6	NA	NA	NA
1999	-27,8	-12,3	1,47	14
2000	-17,9	-9,75	-4,49	6,65
2001	-22,9	-10,6	-3,71	6,98
2002	-20,9	-9,51	-1,78	9,02
2003	-18	-7,2	0,0714	13,5
2004	-19,2	-5,68	2,61	15,3
2005	-16,3	-4,12	4,01	16,4
2006	-16,2	-3,18	5,19	17,6
2007	-16,9	-4,32	4,11	17,7
2008	-17,5	-4,4	3,87	16,9
2009	-16,3	-3,87	3,86	16,5
2010	-15,7	-3,48	4,2	16,3
2011	-14,1	-3,17	3,96	14,8
2012	-13,6	-3,43	3,16	13,7
2013	-13,1	-3,2	3,67	14,4
2014	-12	-2,39	3,75	14,1
2015	-11,6	-2,07	4,43	14,9
2016	-11,7	-1,83	4,66	14,7
2017	-12,2	-1,66	4,92	14,7
2018	-11,9	-1,4	5,58	15,4
2019	-12	-2,06	4,99	14,3
2020	-13,6	-3,6	3,28	12,7
2021	-16,1	-8,16	-1,63	6,51
2022	-10,3	NA	NA	NA

**Tabella 6. Media fenotipica dMEO/quantile allevamento**

<b>Anno controllo</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
<b>2014</b>	74,9	91,8	99,6	113
<b>2015</b>	76,4	92,5	101	114
<b>2016</b>	78,9	95,3	105	117
<b>2017</b>	79,4	96,7	106	118
<b>2018</b>	80,4	98,1	108	120
<b>2019</b>	78,6	96,1	107	119
<b>2020</b>	82,4	99,3	108	123
<b>2021</b>	83,3	102	110	125
<b>2022</b>	83,5	99,6	109	122
<b>2023</b>	83,5	99	109	122

**Tabella 7. Effetto medio dMEO/quantile allevamento**

<b>Anno controllo</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
<b>2014</b>	-24,4	-8,46	-0,194	13,7
<b>2015</b>	-23,1	-8,03	0,988	14,7
<b>2016</b>	-20,5	-5,05	4,15	16,9
<b>2017</b>	-20,3	-4,59	5,14	18,3
<b>2018</b>	-19,8	-2,79	6,74	18,4
<b>2019</b>	-21,3	-5,03	6,68	19,1
<b>2020</b>	-18,5	-1,71	7,26	21,7
<b>2021</b>	-17,6	-0,0426	9,9	24,3
<b>2022</b>	-18,9	-1,98	8,43	22,8
<b>2023</b>	-18,1	-2,33	8,87	24,3

### 13. Bibliografia

- **Anarb.** Home. (n.d.). Retrieved August 15, 2022, from <http://www.anarb.it/>
- **Anarb.** Disciplinare Tecnico Performance Test. (n.d.). Retrieved August 24, 2022, from <http://www.anarb.it/portfolio/disciplinare-tecnico-performance-test/>
- **Anarb.** Centro Genetico. (n.d.). Retrieved August 24, 2022, from <http://www.anarb.it/servizi-2/centro-genetico/>
- **Analisi del Programma di prove di progenie nella Razza Bruna.** (n.d.). Retrieved August 14, 2022, from [http://www.anarb.it/wp-content/uploads/2018/06/Rossoni\\_Tesi-di-diploma.pdf](http://www.anarb.it/wp-content/uploads/2018/06/Rossoni_Tesi-di-diploma.pdf)
- **Multiple Linear Regression (2nd edition)** Mark Tranmer, Jen Murphy. Retrieved July 6, 2022, from <https://hummedia.manchester.ac.uk/institutes/cmist/archive-publications/working-papers/2020/multiple-linear-regression.pdf>
- **O'Brien, C. M.** (2009). Introduction to Scientific Programming and Simulation Using R by Owen Jones, Robert Maillardet, Andrew Robinson. *International Statistical Review*, 77(3), 471–471. [https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2009.00095\\_8.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2009.00095_8.x)
- **PERFORMANCE-TEST nella Razza Bruna: Aspetti Riproduttivi.** (n.d.). Retrieved August 6, 2022, from [http://www.anarb.it/wp-content/uploads/2018/06/Testa\\_tesi\\_triennio.pdf](http://www.anarb.it/wp-content/uploads/2018/06/Testa_tesi_triennio.pdf)
- **Performance Testing of Beef Cattle - North Dakota State University.** (n.d.). Retrieved August 8, 2022, from <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/17244/AS-781-1982.pdf?sequence=1>
- **R Language Definition.** (n.d.). Retrieved August 23, 2022, from <https://cran.r-project.org/doc/manuals/R-lang.html>
- **Sbarra, F., Zotto, R. D., & Mantovani, R.** (1970, January 1). A Survey on Cattle Performance Testing Centres in Italy. *Semantic Scholar*. Retrieved August 10, 2022, from <https://www.semanticscholar.org/paper/A-survey-on-Cattle-Performance-Testing-Centres-in-Sbarra-Zotto/71a2b0d9e8e14a602196df043aafd1469ab460ac>
- **South Dakota State University Open Prairie: Open Public Research Access.** (n.d.). Retrieved August 3, 2022, from [https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2341&context=extension\\_fact](https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2341&context=extension_fact)

- **The Comprehensive R Archive Network.** (n.d.). Retrieved August 6, 2022, from <https://cran.rstudio.com/>
- **Genetic parameters for fertility traits assessed in herds divergent in milk energy output in Holstein-Friesian, Brown Swiss, and Simmental cattle.** Journal of Dairy Science. Elsevier. Martinez-Castillero, M., Toledo-Alvarado, H., (2020). [Genetic parameters for fertility traits assessed in herds divergent in milk energy output in Holstein-Friesian, Brown Swiss, and Simmental cattle - ScienceDirect](#)
- **Articoli : rivista “ Razza Bruna”.**
- **Normande, Montbeliarde, and Scandinavian Red. J. Dairy Sci.** 89:4944–4951. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72545-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72545-0).
- Huang, C., I. Misztal, S. Tsuruta, and T. J. Lawlor. 2007. **Methodology of evaluation for female fertility. Interbull Bull.** 37:156–160. LeBlanc, S. 2010. **Assessing the association of the level of milk production with reproductive performance in dairy cattle. J. Reprod. Dev.** 56(Suppl.):S1–S7. <https://doi.org/10.1262/jrd.1056S01>.
- **Factors of a noninfectious nature affecting fertility after artificial insemination in lactating dairy cows.** López-Gatius, F. 2012. A review. *Theriogenology* 77:1029–1041. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.10.014>.
- **Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? J. Dairy Sci.** Lucy, M. C. 2001. 84:1277–1293. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70158-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70158-0)
- **Fertility traits of purebred Holsteins and 2- and 3-breed crossbred heifers and cows obtained from Swedish Red, Montbéliarde, and Brown Swiss sires. J. Dairy Sci.** Malchiodi, F., A. Cecchinato, and G. Bittante. 2014. 97:7916–7926. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8156>.
- **Reproductive status of Holstein and Jersey cows in the United States. J. Dairy Sci.** Nilforooshan, M. A., J. H. Jakobsen, F. W. Fikse, B. Berglund, and H. Jorjani. 2009. **International genetic evaluations of fertility traits using multi-trait MACE. Interbull Bull.** 39:99–102. Norman, H. D., J. R. Wright, S. M. Hubbard, R. H. Miller, and J. L. Hutchison. 2009. 92:3517–3528. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1768>.
- **Modelling impacts of performance on the probability of reproducing, and thereby on productive lifespan, allow prediction of lifetime efficiency in dairy cows.** Phuong, H. N., P. Blavy, O. Martin, P. Schmidely, and N. C. Friggens. 2016 *Animal* 10:106–116. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001718>.

- **Fertility in the high-producing dairy cow.** *Livest. Prod. Sci.* Pryce, J. E., M. D. Royal, P. C. Garnsworthy, and I. L. Mao. 2004. 86:125–135. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00145-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00145-3).
- **Breed of cow and herd productivity affect milk composition and modeling of coagulation, curd firming and syneresis.** *J. Dairy Sci.* Stocco, G., C. Cipolat-Gotet, T. Bobbo, A. Cecchinato, and G. Bittante. 2017 100:129–145. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11662>.
- **Dairy systems in mountainous areas: Farm animal biodiversity, milk production and destination, and land use.** *Livest. Sci.* E. Marchiori, G. Cocca, M. Penasa, M. Ramanzin, and G. Bittante. 2013. 158:157–168. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.09.011>.
- **Genetic parameters for fertility of dairy heifers and cows at different parities and relationships with production traits in first lactation.** *J. Dairy Sci.* Tiezzi, F., C. Maltecca, A. Cecchinato, M. Penasa, and G. Bittante. 2012. 95:7355–7362. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5775>.
- **Thin and fat cows, and the nonlinear genetic relationship between body condition score and fertility.** *J. Dairy Sci.* Tiezzi, F., C. Maltecca, A. Cecchinato, M. Penasa, and G. Bittante. 2013. 96:6730–6741. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6863>.
- **Genetic analysis of fertility in the Italian Brown Swiss population using different models and trait definitions.** *J. Dairy Sci.* Tiezzi, F., C. Maltecca, M. Penasa, A. Cecchinato, Y. M. Chang, and G. Bittante. 2011. 94:6162–6172. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4661>.
- **Development of a national genetic evaluation for cow fertility.** *J. Dairy Sci.* VanRaden, P. M., A. H. Sanders, M. E. Tooker, R. H. Miller, H. D. Norman, M. T. Kuhn, and G. R. Wiggans. 2004. 87:2285–2292. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70049-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70049-1).
- **Event-time analysis of reproductive traits of dairy heifers.** *J. Dairy Sci.* Vargas, B., T. Van Der Lende, M. Baaijen, and J. A. Van Arendonk. 1998. 81:2881–2889. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75848-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75848-5).
- **A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows.** *Anim. Reprod. Sci.* Walsh, S. W., E. J. Williams, and A. C. O. Evans. 2011. 123:127–138. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001>.
- **Results of a producer survey regarding crossbreeding on US dairy farms.** *J. Dairy Sci.* Weigel, K. A., and K. A. Barlass. 2003. 86:4148–4154. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74029-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74029-6)

## **14. Ringraziamenti**

Desidero esprimere la mia gratitudine al Prof. Alessio Cecchinato, per la guida attenta e il supporto prezioso che mi ha offerto durante la fase più cruciale del mio percorso accademico.

Un sincero ringraziamento va al Dott. Attilio Rossoni, correlatore di tesi, per il suo costante sostegno, i consigli indispensabili e la collaborazione che ha reso possibile la realizzazione di questo lavoro.

Ringrazio l'Associazione Nazionale Allevatori razza Bruna per avermi accolto in un ambiente stimolante e dinamico, offrendo l'opportunità di confrontarmi con nuove sfide e acquisire un'esperienza di grande valore per il mio futuro professionale.

Un ringraziamento speciale ai miei colleghi, che sono stati un pilastro fondamentale durante questo percorso, permettendomi di conciliare gli impegni accademici con le attività lavorative quotidiane.

Ai miei genitori e a mia sorella va la mia più profonda gratitudine per il loro supporto incondizionato e per gli insegnamenti che mi hanno dato: senza di loro non sarei la persona che sono oggi. Ogni mio traguardo è anche il loro.

Infine, dedico un pensiero a mio nonno, la figura più importante della mia vita, che con il suo amore e il suo esempio ha contribuito in modo incalcolabile a ciò che sono diventato. Anche se oggi non può essere qui con me, sono certo che sarebbe orgoglioso di questo risultato. Senza di lui, tutto questo non sarebbe stato possibile.