



UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MEDICO VETERINARIE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
PRODUZIONI ANIMALI INNOVATIVE
E SOSTENIBILI

IL PROFILO DEGLI ACIDI GRASSI DEL LATTE COME CHIAVE DI LETTURA DELL'EFFICIENZA NUTRIZIONALE E GESTIONALE IN ALLEVAMENTO

Laureando

Raffaele Capiluppi

Relatore

Prof.ssa Elena Canelli

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

1. Introduzione.....	5
2. Revisione della letteratura.....	9
2.1 Biochimica degli acidi grassi nel latte.....	9
2.2 Relazione tra acidi grassi e stato energetico della bovina.....	10
2.3 Fattori gestionali che influenzano il profilo lipidico.....	12
2.4 Potenziale diagnostico del latte di massa.....	13
3. Materiali e Metodi.....	15
3.1 Selezione delle aziende.....	15
3.2 Campionamento del latte di massa e analisi del profilo degli acidi grassi.....	16
3.3 Raccolta dati aziendali.....	18
3.4 Analisi statistica.....	23
4. Risultati.....	26
4.1 Descrizione del campione.....	26
4.2 Distribuzione degli acidi grassi.....	33
4.3 Correlazione tra profilo lipidico e indici aziendali.....	45
5. Discussione.....	45
6. Conclusioni.....	51
Bibliografia.....	54

Abstract

Il profilo degli acidi grassi del latte rappresenta un potenziale indicatore non invasivo dello stato metabolico, nutrizionale e gestionale della bovina da latte. Gli acidi grassi si distinguono in tre classi in base all'origine metabolica: acidi grassi De novo (C4:0–C14:0 e parte del C16:0), sintetizzati dalla ghiandola mammaria a partire dai precursori della fermentazione ruminale; Mixed (C16:0 e C16:1), derivanti sia dalla neosintesi mammaria sia dal circolo ematico; Preformed (>C16:0), provenienti esclusivamente dalla dieta o dalla mobilizzazione delle riserve adipose.

L'obiettivo del presente studio è stato valutare la relazione tra il profilo degli acidi grassi del latte di massa e alcuni indicatori di efficienza gestionale, produttiva, riproduttiva, alimentare e sanitaria di allevamenti da latte, verificando il potenziale impiego dell'acidogramma come strumento di monitoraggio indiretto delle condizioni aziendali.

All'interno dello studio sperimentale sono state incluse trentotto (n=38) aziende zootecniche situate tra Emilia-Romagna e Lombardia, appartenenti a tre filiere: Grana Padano (n=14), Parmigiano Reggiano (n=13) e latte alimentare (n=11). Per ciascuna azienda è stato prelevato un campione di latte di massa e analizzato mediante gascromatografia dopo metilazione dei trigliceridi. Contestualmente, attraverso un questionario strutturato, sono stati raccolti dati relativi a cinque macroaree: gestione e benessere animale, produzione, indice alimentare, riproduzione e sanità. I parametri sono stati convertiti in indici sintetici con punteggio da -1 a 4. Le associazioni tra le frazioni lipidiche, considerate singolarmente e in combinazione, e gli indici delle diverse macroaree sono state valutate mediante correlazione di Spearman a due code.

Le frazioni De novo e Preformed non hanno mostrato correlazioni statisticamente significative con i parametri aziendali considerati ($p > 0,05$). Per la frazione De novo è stata tuttavia osservata una tendenza negativa con il parametro riproduttivo CR ($r = -0,3135$; $p = 0,0553$). La frazione Mixed ha evidenziato due correlazioni positive significative, rispettivamente con l'efficienza alimentare ($r = 0,3757$; $p = 0,0201$) e con l'incidenza di problematiche nel periodo di transizione ($r = 0,3770$; $p = 0,0196$). L'analisi della variabile categorica ordinale CAT PROFILO, costruita integrando le diverse combinazioni delle tre frazioni lipidiche, ha evidenziato il maggior numero di associazioni significative con gli indicatori aziendali considerati, suggerendo una maggiore capacità informativa del profilo combinato rispetto alle singole frazioni.

Nel complesso, i risultati indicano che l'integrazione delle diverse componenti dell'acidogramma può fornire informazioni complementari sulle condizioni gestionali, produttive e sanitarie dell'allevamento. Tuttavia, la natura correlazionale dello studio, la limitata numerosità campionaria e l'utilizzo di campioni di latte di massa non consentono di stabilire relazioni causali, né di attribuire all'acidogramma un valore diagnostico o predittivo definitivo. Ulteriori studi, basati su campioni individuali e su disegni longitudinali, saranno necessari per dimostrare il potenziale dell'acidogramma come strumento di monitoraggio preventivo del benessere e della gestione degli allevamenti da latte.

1. Introduzione

Negli allevamenti di bovine da latte, la crescente attenzione rivolta al benessere animale, parallelamente alla necessità di garantire elevati standard di qualità e sicurezza del latte, rende sempre più importante adottare strategie di gestione efficienti e orientate alla prevenzione. Il benessere, infatti, non rappresenta soltanto un obiettivo etico e gestionale, ma costituisce un elemento strettamente connesso alla salute degli animali, alle loro performance produttive e, più in generale, alla sostenibilità dell'allevamento (De Marchi et al., 2014).

Un adeguato livello di benessere rappresenta infatti una componente fondamentale dell'efficienza produttiva: condizioni di allevamento, alimentazione e stato sanitario favorevoli consentono agli animali di esprimere il proprio potenziale produttivo, mentre situazioni di stress, malattia o disagio possono compromettere la salute e ripercuotersi negativamente sulle performance e sulla qualità della produzione (von Keyserlingk et al., 2009).

In questo contesto, la gestione del benessere richiede un approccio sempre più tempestivo e proattivo, capace di individuare precocemente eventuali condizioni di disagio o alterazioni dello stato di salute. Diventa quindi fondamentale disporre di indicatori precoci e affidabili, in grado di evidenziare l'insorgenza di possibili problematiche prima che queste si manifestino in forma clinicamente evidente o producano conseguenze rilevanti sulla produzione e sulla qualità del latte. L'utilizzo di tali indicatori può consentire all'allevatore di intervenire sulle condizioni gestionali, ambientali e alimentari, modificabili, agendo sulle cause del problema, anziché limitarsi a intervenire quando il danno si è già verificato.

L'individuazione precoce delle alterazioni del benessere rappresenta pertanto un importante strumento per orientare le decisioni aziendali verso una gestione preventiva, permettendo di ridurre l'incidenza delle problematiche, migliorare le condizioni di vita degli animali e, allo stesso tempo, sostenere l'efficienza produttiva dell'allevamento. In quest'ottica, il monitoraggio del benessere attraverso indicatori precoci assume un ruolo centrale nel passaggio da una gestione prevalentemente reattiva a un modello predittivo e preventivo, nel quale il benessere della bovina diventa un vero e proprio punto chiave per la salute, la produttività e la sostenibilità dell'intero sistema di produzione del latte.

In questo contesto, la presente tesi si propone di valutare la possibilità di utilizzare l'acidogramma del latte come potenziale indicatore dello stato di benessere delle bovine da latte e, più in generale, dell'efficacia della gestione aziendale. In particolare, l'attenzione è

rivolta alla possibilità che i parametri ricavabili dall'acidogramma possano fornire informazioni utili a interpretare le condizioni ambientali, nutrizionali e sanitarie degli animali, contribuendo così a una valutazione più tempestiva e oggettiva del loro stato di benessere.

L'obiettivo generale è quindi verificare se l'acidogramma possa rappresentare un indice precoce e facilmente applicabile, capace di evidenziare eventuali alterazioni riconducibili a condizioni gestionali non ottimali, prima che queste si traducano in manifestazioni cliniche o in rilevanti perdite produttive. L'eventuale disponibilità di un simile indicatore potrebbe supportare l'allevatore nell'individuazione delle criticità e consentire interventi correttivi mirati, favorendo un approccio alla gestione del benessere sempre più orientato alla prevenzione piuttosto che alla correzione del problema a danno avvenuto.

La salute e lo stato metabolico delle vacche da latte hanno effetti profondi sulle prestazioni e sulla qualità del latte (Shahbazkia et al., 2010). Lo stato metabolico e la composizione del latte subiscono profondi cambiamenti nel corso della lattazione. Le deviazioni dall'omeostasi metabolica di una vacca da latte si manifestano con alterazioni corrispondenti nei fluidi corporei come sangue, urina, saliva e latte (Graef et al., 2021).

In particolare, il latte può fornire indicazioni non invasive sullo stato metabolico e di salute dell'animale. Queste indicazioni vengono fornite attraverso l'analisi dei costituenti, sia per il basso costo sia per la possibilità di fornire dati su ogni animale presente in allevamento.

La composizione del latte viene influenzata da diversi fattori, come la razza (e la selezione genetica), l'alimentazione, il periodo della lattazione, l'ordine di parto, il metabolismo, la salute e il management aziendale. Ad esempio, le vacche di razza Jersey hanno un contenuto di grassi nel latte maggiore rispetto alle vacche di razza Holstein (Jensen et al., 2012). Inoltre, anche all'interno della stessa razza ci possono essere differenze significative: vacche Holstein allevate in Nord America producono un latte con un minore contenuto di grasso e di proteine rispetto a quelle allevate nell'Europa occidentale (Miglior et al., 2006).

Dal punto di vista nutrizionale, un'alimentazione con fieno, semi oleosi e altre fonti di grassi alimentari aumenta il contenuto di grasso nel latte, mentre l'alimentazione a base di amido, insilati di mais e cereali può ridurne il contenuto (Kelly et al., 1998). All'inizio della lattazione, le vacche da latte presentano un aumento del carico metabolico, evidenziato dall'incremento delle concentrazioni di corpi chetonici. Questo fenomeno è attribuito al bilancio energetico negativo (NEB), il quale le rende più suscettibili a malattie infettive. Monitorare lo stato

metabolico della singola vacca fornisce una stima per l'intera mandria o meglio, per specifici gruppi di animali, in una particolare fase della lattazione. È quindi possibile anticipare le decisioni gestionali e migliorare lo stato di salute degli animali modificando la composizione della dieta (Gross and Bruckmaier, 2019).

I cambiamenti metabolici che avvengono durante il periodo di transizione sono fondamentali per la salute e la produttività delle vacche da latte. Nelle ultime settimane di gestazione, le vacche devono sostenere il rapido accrescimento fetale e prepararsi all'avvio della lattazione, attraverso il rimodellamento del tessuto ghiandolare mammario e la produzione di colostro. L'assunzione di sostanza secca (DMI), in genere, diminuisce tre settimane prima del parto nelle vacche da latte a causa dei cambiamenti endocrini intorno al peripartum che possono portare a stress fisiologico, perdita di appetito e riduzione dell'assunzione di mangime. Il bilancio energetico negativo inizia pochi giorni prima del parto e può persistere per 2-3 settimane a causa del forte aumento della domanda di energia associata alla lattazione. Questi eventi si riflettono su alcune componenti del latte, che fungono quindi da indicatori: gli acidi grassi non esterificati (NEFA) indicano la mobilitazione dei grassi corporei (Caixeta and Omontese, 2021); gli enzimi epatici quali AST, GGT e GLDH, sono utili per valutare la funzionalità epatica; il glucosio plasmatico riflette il metabolismo energetico; il BHBA (beta-idrossibutirrato), considerato uno dei principali indicatori di chetosi subclinica (McArt et al., 2012) e le proteine di fase acuta (APP), tra cui aptoglobina e sieroamiloide A, quali indicatori della risposta infiammatoria (Gross and Bruckmaier, 2019).

Seppur il loro utilizzo sia rimasto attuale, questi indicatori hanno vari limiti:

- Bassa sensibilità precoce: molte alterazioni metaboliche vengono rilevate quando il problema è clinicamente evidente (Wankhade et al., 2017);
- Scarsa specificità: ogni indicatore può essere alterato da condizioni differenti come stress, infezioni, nutrizione e ambiente;
- Elevata variabilità biologica: razza, età, stadio della lattazione, alimentazione, gestione dell'allevamento, stress;
- Misurazioni puntuali: i campionamenti ematici rappresentano un singolo momento di tempo, mentre il metabolismo bovino è altamente dinamico soprattutto nei periodi di transizione (Goldansaz et al., 2017);

- Scarsa integrazione dei dati: ogni parametro viene interpretato separatamente, questo rende complicato avere una visione sistemica dello stato fisiologico dell'animale (Goldansaz et al., 2017).

A differenza di questi indicatori, il profilo degli acidi grassi, in particolare dei De novo, dei Mixed e dei Preformed, consente non solo una valutazione quantitativa puntuale, ma anche l'analisi delle loro variazioni nel tempo, fornendo informazioni utili per caratterizzare e interpretare lo stato metabolico delle vacche da latte (Kay et al., 2005). Un'adeguata proporzione di acidi grassi De novo è associata a una maggior produzione di latte, a un incremento dei solidi e a migliori condizioni di efficienza energetica (Bosley et al., 2026). Al contrario, una riduzione dei De novo e un aumento della quota di Preformed sono frequentemente correlati a condizioni di bilancio energetico negativo, mobilitazione adiposa, stress, sovraffollamento, patologie di transizione e inefficienze gestionali (Bosley et al., 2026). Alla luce di queste evidenze, il profilo degli acidi grassi può rappresentare un potenziale biomarcatore integrato delle performance produttive e dello stato gestionale complessivo della stalla, ottenibile attraverso un semplice campionamento di latte.

L'obiettivo della seguente tesi è stato quello di valutare la relazione tra il profilo degli acidi grassi del latte (De novo, Mixed, Preformed) e l'efficienza nutrizionale, gestionale, produttiva e sanitaria di una selezione di stalle da latte, al fine di verificare se l'acidogramma del latte possa essere utilizzato come strumento diagnostico indiretto per individuare criticità gestionali e metaboliche a livello aziendale. In particolare, lo studio mira a:

- Correlare il profilo degli acidi grassi del latte con indici sintetici di gestione, produzione, efficienza alimentare e sanità;
- Valutare come specifiche inefficienze (sovraffollamento, ridotta ingestione, problemi di transizione, scarsa fertilità) si riflettano sulle diverse classi di acidi grassi.

2. Revisione della Letteratura

2.1 Biochimica degli acidi grassi nel latte

Il grasso nel latte bovino è composto per circa il 98% da trigliceridi, ciascuno costituito da una molecola di glicerolo esterificata a tre acidi grassi. Gli acidi grassi secreti nel latte non hanno tutti la stessa origine metabolica. Possono essere sintetizzati direttamente dalla ghiandola mammaria o provenire dal sangue, dopo essere stati prodotti in altri organi o assorbiti dalla dieta (Jensen, 2002).

Gli acidi grassi *De novo*, ovvero quelli con un numero di atomi di carbonio inferiore a 16, come il butirrico, vengono sintetizzati dalle cellule epiteliali della ghiandola mammaria durante la lattazione. Non derivano direttamente né dalla dieta, né dalle riserve adipose, ma vengono sintetizzati all'interno della mammella, utilizzando gli acidi grassi volatili prodotti nel rumine durante la fermentazione dei carboidrati alimentari (Benoit et al., 2024a). I carboidrati della dieta vengono ingeriti; avviene la fermentazione microbica nel rumine e si ha la produzione di acidi grassi volatili, in particolare acetato e butirrato. Il butirrato viene trasformato in beta-idrossibutirrato (BHB) e insieme all'acetato raggiunge la ghiandola mammaria attraverso il circolo sanguigno (Cozma et al., 2013). La sintesi degli acidi grassi *De novo* è responsabile della produzione di acidi grassi a catena corta e media per la produzione di latte (Benoit et al., 2024b). La loro sintesi avviene nelle cellule epiteliali secretorie degli alveoli mammari. La ghiandola mammaria è uno dei principali organi lipogenici durante la lattazione e possiede un'elevata attività enzimatica, la quale è coinvolta nella sintesi degli acidi grassi (Rudolph et al., 2010).

A differenza dei *De novo*, gli acidi grassi *Mixed* possono essere sintetizzati dalla ghiandola mammaria o captati dal sangue (Benoit et al., 2024b). Quando si parla di acidi grassi *Mixed*, si fa riferimento soprattutto all'acido palmitico, formato da sedici atomi di carbonio, la sua sintesi deriva in parte dalla ghiandola mammaria e in parte dalla circolazione sistemica (Benoit et al., 2024a).

I *Preformed* sono invece acidi grassi già sintetizzati in altre parti dell'organismo e trasportati al tessuto mammario attraverso il sangue. La ghiandola mammaria non li sintetizza, ma li incorpora direttamente nei trigliceridi del latte (Bauchart, 1993). Comprendono tutti gli acidi grassi a lunga catena con un numero di atomi di carbonio maggiore di sedici, come ad esempio lo stearico e l'oleico. La loro presenza è dovuta all'associazione ai lipidi alimentari e al tessuto

adiposo. I primi vengono digeriti nell'intestino, assorbiti dagli enterociti e trasportati nel sangue come lipoproteine (Cozma et al., 2013). Il tessuto adiposo viene mobilitato quando il fabbisogno energetico aumenta, come all'inizio della lattazione, andando incontro a lipolisi dei trigliceridi, con liberazione di acidi grassi non esterificati e glicerolo. Gli acidi grassi non esterificati penetrano nel circolo sanguigno e vengono captati dalla ghiandola mammaria per la sintesi del grasso nel latte (Palmquist and Harvatine, 2020a).

L'origine di questi acidi grassi riflette evidentemente lo stato metabolico dell'animale (Palmquist and Harvatine, 2020a). Un'elevata produzione di acidi grassi De novo indica una buona disponibilità di substrati derivanti dalla fermentazione ruminale e, generalmente, un adeguato stato metabolico dell'animale. Al contrario, un aumento degli acidi grassi Preformed è spesso associato a una maggiore mobilitazione delle riserve adipose, come avviene in condizioni di bilancio energetico negativo nelle bovine ad alta produzione durante le prime settimane di lattazione (Benoit et al., 2024a). Gli acidi grassi Mixed, invece, derivano dalla combinazione di acidi grassi sintetizzati de novo nella ghiandola mammaria e di acidi grassi preformati provenienti dalla dieta o dalla mobilitazione delle riserve corporee, rappresentando pertanto una componente intermedia che può contribuire a descrivere le variazioni dello stato metabolico dell'animale.

2.2 Relazione tra acidi grassi e stato energetico della bovina

Le vacche ad alta produzione sono state selezionate per produrre un'elevata quantità di latte, grazie alla loro efficienza nel mobilitare grasso e proteine, in modo tale da poter sostenere la produzione di latte, soprattutto nelle prime fasi della lattazione (Wathes et al., 2007). Questo si traduce però in una rapida perdita della condizione corporea, con conseguenti alterazioni a livello metabolico e ormonale, andando ad influenzare la fertilità della bovina (Pryce et al., 2001). Durante le fasi avanzate della gestazione e nelle prime fasi della lattazione, il fabbisogno nutrizionale per la crescita fetale e la sintesi del latte aumenta drasticamente e la vacca non è in grado di soddisfare queste richieste energetiche. La maggior parte delle vacche entra in un periodo di bilancio energetico negativo dal quale possono impiegare molte settimane per riprendersi (Taylor et al., 2004). Il periodo di transizione è la fase che comprende le tre settimane prima del parto e le tre settimane dopo il parto (Council et al., 2001). Questo periodo viene considerato il periodo più critico del ciclo produttivo della bovina da latte

soprattutto per una condizione di bilancio energetico negativo descritta prima; può compromettere la salute e avere effetti a catena sulla fertilità nei mesi successivi (Leblanc, 2010). La durata e la gravità delle conseguenze di questo periodo variano in base a fattori genetici, alla condizione corporea prima del parto, alla produzione di latte e alla dieta (Grummer, 1995). Durante questo periodo avviene una riduzione dell'ingestione dell'alimento, in particolare si verifica una riduzione dell'ingestione di sostanza secca che può raggiungere anche il 30% a ridosso del parto. La bovina si troverà in una condizione di stress metabolico, dato che le sue richieste, in questa fase, superano la capacità dell'organismo di mantenere l'equilibrio fisiologico. Per compensare il deficit energetico, la bovina utilizza le proprie riserve corporee, in modo particolare il tessuto adiposo. I trigliceridi, immagazzinati negli adipociti, vengono degradati attraverso lipolisi (Drackley, 1999). Questo processo viene regolato da modificazioni endocrine tipiche del post-parto come la diminuzione della concentrazione di insulina, l'aumento di ormoni lipolitici e lo sviluppo di una fisiologica insulino-resistenza periferica. Questi adattamenti consentono la mobilitazione rapida di lipidi di riserva per sostenere la lattazione (Drackley, 1999). Come conseguenza, si avrà però una mobilitazione del tessuto adiposo col rilascio nel sangue di acidi grassi non esterificati (NEFA) e glicerolo. produzione di NEFA rappresenta una fonte di energia alternativa, ma, se prodotti in eccesso, può aumentare il rischio di patologie metaboliche (Contreras et al., 2017). Un'ulteriore problematica è rappresentata dall'aumento della produzione di corpi chetonici, dovuto all'elevato afflusso di NEFA al fegato, la cui capacità ossidativa risulta insufficiente a metabolizzarli completamente, favorendone la conversione in beta-idrossibutirrato, acetoacetato e acetone. Il loro accumulo può portare a chetosi clinica o subclinica (White, 2015), o a steatosi epatica dato che il fegato della bovina esporta con limitata efficienza i trigliceridi, questi tendono ad accumularsi negli epatociti causando steatosi epatica. Questa patologia metabolica riduce l'efficienza del fegato e aumenta la predisposizione ad altre patologie del post-parto (Grummer, 1993). L'immunosoppressione rappresenta un ulteriore problema del periodo di transizione, è caratterizzata da una riduzione della funzionalità del sistema immunitario, che può aumentare la suscettibilità dell'animale alle infezioni e compromettere la capacità di risposta agli agenti patogeni. L'eccesso di NEFA e BHB, insieme allo stress ossidativo e all'infiammazione sistemica, compromette la risposta immunitaria,

aumentando la frequenza di mastiti, metriti, ritenzioni di placenta ed endometriti (Sordillo, 2016).

2.3 Fattori gestionali che influenzano il profilo lipidico

È noto che i fattori gestionali, quali l'alimentazione, la densità degli animali e le condizioni di allevamento, possono influenzare indirettamente il metabolismo lipidico. Di seguito verranno analizzati alcuni dei principali fattori gestionali, noti per influenzare, direttamente o indirettamente, la composizione del latte. Il sovraffollamento è uno dei principali fattori critici per il benessere animale. Si verifica quando il numero delle bovine è superiore alla capacità di stabulazione all'interno di una stalla o di una corsia, tenendo in considerazione il numero di cuccette, i posti in mangiatoia e gli abbeveratoi. Il sovraffollamento determina, tra le altre cose, una riduzione dell'ingestione di sostanza secca e un minor tempo dedicato al riposo (Cook and Nordlund, 2004).

Il comfort della bovina è molto importante e fa riferimento all'insieme delle condizioni ambientali che permettono all'animale di esprimere il proprio comportamento naturale. All'interno della categoria riguardante il comfort sono compresi: la qualità delle cuccette, la ventilazione, lo spazio a disposizione, la pavimentazione e lo stress. Il tempo ideale di riposo di una bovina è tra le 10 e le 14 ore al giorno, ed è fondamentale perché favorisce la ruminazione e la perfusione del sangue verso la ghiandola mammaria (Cook, 2020). Uno scarso comfort e, di conseguenza, uno scarso tempo di riposo si ripercuotono sulla diminuzione della ruminazione, della produzione di saliva e quindi riducono la capacità tampone nel rumine che potrebbe causare acidosi subclinica (Cook, 2020).

Un ulteriore fattore importante è la competizione alimentare. La competizione si instaura quando più animali devono contendersi uno spazio limitato in mangiatoia. Le bovine subordinate mangiano meno frequentemente, assumono una quantità maggiore di cibo più rapidamente e hanno un pH ruminale più variabile e meno costante (DeVries et al., 2004). La competizione e successivamente la selezione dell'alimento dipendono fortemente dal tipo di alimentazione e soprattutto dalla sua qualità.

La razione è il fattore di gestione con il maggior impatto sul profilo lipidico del latte. La qualità e il rapporto tra foraggio e concentrati determinano una produzione ruminale di acetato e butirrato se la dieta è ricca di fibra, mentre, un eccesso di concentrati determina una riduzione

del pH ruminale, un'alterazione della bioidrogenazione e una produzione di isomeri dell'acido linoleico coniugato (CLA) che inibiscono la sintesi del grasso nel latte (Palmquist and Harvatine, 2020b).

Il numero di mungiture e il sistema di mungitura sono ulteriori fattori che influenzano indirettamente il profilo lipidico, a causa degli effetti sul benessere animale, in particolare sulla salute della mammella (Hogeveen et al., 2001). L'aumento del numero di mungiture, ad esempio da due a tre, aumenta la produzione di latte, ma aumenta anche il rischio di accentuare il bilancio energetico negativo, favorendo la mobilitazione adiposa. La fase della mungitura è delicata e va eseguita nel migliore dei modi, allo scopo di preservare l'integrità della mammella, riducendo il rischio di mastite. A differenza dei sistemi di mungitura manuale o tradizionale, i robot di mungitura permettono all'animale di decidere quando essere munto, e rappresentano un'innovazione efficiente della mungitura, anche dal punto di vista del benessere (Halasa et al., 2007).

2.4 Potenziale diagnostico del latte di massa

Il profilo degli acidi grassi del latte di massa può essere usato come indicatore diagnostico della gestione aziendale. Gli acidi grassi del latte rappresentano, come già detto, un'impronta digitale dello stato nutrizionale e metabolico della bovina e possono variare sostanzialmente in base ai cambiamenti nei regimi alimentari e nelle pratiche di gestione (Mele et al., 2016).

Per cogliere le complesse relazioni tra gli acidi grassi, alcune ricerche hanno osservato che analizzare le variazioni simultanee in gruppi di acidi grassi è più efficiente rispetto ad un'analisi delle variazioni dei singoli acidi grassi (Palombo et al., 2020). Ad esempio, gli acidi grassi del latte sono attualmente utilizzati come biomarcatori di diversi modelli metabolici negli animali, come le emissioni di metano enterico, lo stato di chetosi e acidosi, l'efficienza alimentare e la mobilitazione dei lipidi. All'interno dello studio di Giannuzzi et al. (2022) si è utilizzato il profilo degli acidi grassi del latte di 297 vacche Holstein-Friesian in fase iniziale di lattazione come potenziale fonte di informazioni sullo stato metabolico. Gli obiettivi dello studio sono stati: estrarre variabili latenti dal profilo degli acidi grassi del latte, da utilizzare come fenotipi nuovi e più informativi per identificare le vie metaboliche specifiche degli acidi grassi; esplorare le associazioni tra le variabili e i vari indicatori dello stato metabolico, come ad esempio il body

condition score (BCS); identificare gruppi di acidi grassi correlati in modo funzionale per poter essere considerati degli indicatori di variazioni metaboliche.

Un ulteriore studio di Woolpert et al. (2016) ha valutato se la composizione degli acidi grassi del latte di massa fosse associata alle pratiche gestionali di allevamento. L'obiettivo è stato comprendere la relazione tra la gestione aziendale, la composizione della dieta e del latte, e le performance di lattazione in relazione al contenuto di acidi grassi De novo.

Per lo svolgimento dello studio sono stati presi in esame 430 allevamenti, classificati in base al contenuto di acidi grassi De novo in tre categorie: alto, medio e basso. I risultati indicavano che pratiche di gestione, quali una maggiore densità di stabulazione e una minore frequenza di alimentazione, erano correlate a un minore contenuto di acidi grassi De novo nel latte di massa. È stato osservato, inoltre, che gli allevamenti con un minor contenuto di acidi grassi De novo, producevano in media un minor quantitativo di grasso e di proteine per vacca al giorno. A livello alimentare, invece, una maggiore energia era correlata (anche se debolmente) a un minore contenuto di De novo.

3. Materiale e Metodi

3.1 Selezione delle aziende

All'interno di questo studio sperimentale sono state incluse trentotto aziende zootecniche con diversi livelli di efficienza produttiva, riproduttiva, gestionale e sanitaria, situate nel territorio compreso tra l'Emilia-Romagna e la Lombardia, in particolare, nelle province di Parma, Mantova, Reggio Emilia, Modena, Bologna e Ferrara (Tabella 1). Di queste aziende, 13 fanno parte della filiera del Parmigiano Reggiano, 14 del Grana Padano e 11 sono produttrici di latte alimentare.

Tabella 1- Codice azienda, Campo di Produzione, Provincia di Riferimento, Numero di Capi in Lattazione, Presenza Robot di Mungitura

<i>Codice Azienda</i>	<i>Campo di Produzione</i>	<i>Provincia di Riferimento</i>	<i>Numero di Capi in Lattazione</i>	<i>Presenza Robot Mungitura</i>
1	Grana Padano	Mantova	55	No
2	Grana Padano	Mantova	147	No
3	Grana Padano	Mantova	313	No
4	Grana Padano	Mantova	127	No
5	Grana Padano	Mantova	130	No
6	Grana Padano	Mantova	86	No
7	Grana Padano	Mantova	60	No
8	Grana Padano	Mantova	52	No
9	Grana Padano	Mantova	50	No
10	Grana Padano	Mantova	50	No
11	Grana Padano	Mantova	120	No
12	Grana Padano	Mantova	60	No
13	Grana Padano	Mantova	80	Si
14	Grana Padano	Mantova	247	No
15	Parmigiano Reggiano	Modena	160	No
16	Parmigiano Reggiano	Modena	90	si
17	Parmigiano Reggiano	Modena	120	No
18	Parmigiano Reggiano	Reggio Emilia	270	No
19	Parmigiano Reggiano	Reggio Emilia	115	No
20	Parmigiano Reggiano	Parma	300	No
21	Parmigiano Reggiano	Reggio Emilia	420	No
22	Parmigiano Reggiano	Reggio Emilia	380	No
23	Parmigiano Reggiano	Modena	360	No
24	Parmigiano Reggiano	Parma	215	No
25	Parmigiano Reggiano	Parma	350	No
26	Parmigiano Reggiano	Reggio Emilia	100	Si
27	Parmigiano Reggiano	Parma	340	No
28	Latte Alimentare	Modena	490	No

29	Latte Alimentare	Bologna	39	No
30	Latte Alimentare	Bologna	25	No
31	Latte Alimentare	Bologna	231	No
32	Latte Alimentare	Bologna	46	No
33	Latte Alimentare	Bologna	55	No
34	Latte Alimentare	Bologna	217	No
35	Latte Alimentare	Bologna	80	Si
36	Latte Alimentare	Bologna	14	No
37	Latte Alimentare	Bologna	101	No
38	Latte Alimentare	Bologna	65	No

3.2 Campionamento del latte di massa e analisi del profilo degli acidi grassi

Un campione di latte di massa è stato prelevato per ciascuna azienda appartenente alla filiera del Grana Padano e del latte alimentare, in modo tale che comprendesse entrambe le mungiture di tutti i capi o, in caso fosse presente un sistema di mungitura robotizzata, che comprendesse al suo interno tutti i capi presenti. Nelle aziende produttrici di Parmigiano Reggiano sono stati prelevati due campioni di latte di massa, uno al mattino e uno alla sera.

Tutti i campioni sono stati refrigerati e portati entro 48 ore dal prelievo al laboratorio di analisi di Dietetica e Qualità delle Produzioni dei Ruminanti (DQPR) del Dipartimento di Scienze Mediche Veterinarie dell'Università di Bologna della facoltà di Medicina Veterinaria ad Ozzano Emilia. I campioni sono stati identificati, associati ad un codice di riconoscimento, dopodiché sono stati portati a temperatura ambiente in agitazione (Climatic Hood 8100, Asal). Successivamente, per ogni campione, sono stati trasferiti 13-15 ml di latte all'interno di una provetta Falcon da 15 ml e centrifugati a 10.000 rpm per 30 minuti a 0 °C. Nel frattempo, è stato preparato il materiale occorrente per ogni campione: 1 vial per il Gascromatografo (GC), 1 provetta Eppendorf e 1 provetta in vetro da 10 ml con tappo a vite. La scelta delle vial in vetro è dovuta alla necessità di un materiale inerte, che evita che il solvente reagisca con la parete o rilasci delle impurità nel campione. Inoltre, la presenza di un tappo con foro centrale coperto da una morbida membrana consente al gascromatografo di prelevare in modo automatico una microquantità di liquido senza l'ingresso di aria.

Finita la prima centrifuga, è stato prelevato l'affioramento della fase solida (la panna) e inserito all'interno dell'Eppendorf corrispondente. Le provette Eppendorf sono poi state poste a bagnomaria a 37 °C per 10-15 minuti e successivamente centrifugate per 20 minuti a 14.000 rpm.

Se il campione di latte è stato prelevato e trattato correttamente, si osserva in superficie una sostanza oleosa che rappresenta il grasso puro. Da questo strato di grasso puro, sono stati prelevati 50 μ l e inseriti in una provetta in vetro da 10 ml. Sotto cappa protettiva, alla provetta contenente i 50 μ l di grasso puro, sono stati aggiunti 2,5 ml di esano, mescolati attraverso un vortex per solubilizzare il grasso e successivamente, per convertire i trigliceridi in esteri metilici degli acidi grassi, sono stati aggiunti 100 μ l di sodio metossido 2M. Dopo un ulteriore passaggio in vortex, le provette sono state lasciate a riposo per 5 minuti, poi è stato aggiunto idrogenofosfato di sodio e nuovamente vortexate e centrifugate a 350 rpm per 4' a temperatura ambiente.

È stata successivamente recuperata la fase superiore e trasferita in vial GS. Le vials sono state poi inserite nel gascromatografo GC-2025 (Shimadzu) e i campioni sono stati analizzati dopo la lettura tramite software.

I vari campioni vengono presi uno per volta dall'autocampionatore e iniettati nel blocco split. L'iniettore viene scaldato a temperatura costante e il solvente e gli acidi grassi evaporano istantaneamente. Dato che il grasso del latte è molto concentrato, per saturare la colonna e il detector si attiva la modalità split. Una piccola frazione di vapore entra in colonna, mentre il resto viene espulso dall'uscita dello split. Questo macchinario è dotato di un sistema digitale di controllo, chiamato Advanced Flow Control, che consente di mantenere costante la velocità lineare del gas di trasporto (carrier), ovvero l'elio o l'idrogeno, compensando la variazione di pressione interna che si verifica quando il fornello si scalda. Il processo di separazione avviene all'interno della camera da forno; viene utilizzata una colonna capillare molto polare lunga 100 metri. Questa lunghezza è fondamentale per separare gli isomeri cis e trans. Il GS-2025 esegue una rampa di riscaldamento precisa per separare la miscela di acidi grassi. La partenza avviene a bassa temperatura, in modo da far uscire ed eluire senza perdite gli acidi grassi a catena corta, molto volatili. Dopodiché, il fornello aumenta la temperatura in modo graduale e i componenti eluiscono in ordine di punto di ebollizione e polarità. Infine, raggiunge la temperatura di 240°C per pulire la colonna e far uscire gli acidi grassi a lunga catena. A fine colonna, i componenti separati possono essere rilevati nel detector di ionizzazione a fiamma (FID). Il FID genera una fiammella alimentata da un flusso costante di idrogeno e aria. Quando uno estere metilico esce dalla colonna e cade nella fiamma, brucia producendo ioni di carbonio. A quel punto, un elettrodo posizionato sopra la fiamma raccoglie gli ioni e li converte

in una corrente elettrica. L'ampiezza del segnale elettrico è direttamente proporzionale alla quantità di carbonio (ovvero alla concentrazione di acido grasso) che sta bruciando in quel preciso istante. Infine, avviene l'elaborazione del cromatogramma attraverso il segnale inviato al software. Nel grafico che si forma, sono presenti nell'asse delle ascisse il tempo di ritenzione in minuti e nell'asse delle ordinate il segnale in millivolt (mV). Durante la fase di riconoscimento dei vari acidi grassi, il software mappa il tempo di uscita e, in base al minutaggio al quale appare il picco, si riconosce l'acido grasso. Il riconoscimento avviene confrontando le varie curve con degli standard di riconoscimento. Ad esempio, se un picco esce a 8 minuti, si tratta del C4:0; se invece esce a 22 minuti, rappresenta il C:16; e così via, confrontandolo con lo standard di calibrazione FAME analizzato in precedenza. Un'ulteriore funzione del software è quella di calcolare l'area sottesa a ciascun picco. Dopodiché, vengono applicati i fattori di correzione; questo perché gli acidi grassi a catena molto corta, come ad esempio il C4, rispondono al FID in modo diverso rispetto a quelli a catena lunga. Il software applica quindi i fattori di correzione per rettificare l'area del picco. Il risultato finale che si ottiene è la scheda percentuale normalizzata.

3.3 Raccolta dati aziendali

Contestualmente al campione del latte, per ognuna delle 38 aziende, sono stati raccolti dati relativi a cinque macroaree.

La prima macroarea riguarda i dati gestionali, come il numero di cuccette, il numero di posti in mangiatoia, la dimensione e il numero degli abbeveratoi, la ventilazione, la sala di mungitura e la tipologia di alimentazione. La seconda macroarea comprende i dati produttivi della mandria, come la media dei kg di latte prodotti e i titoli, ovvero le proteine, il grasso, il lattosio. La terza riguarda l'efficienza alimentare, e la quarta macroarea riguarda i dati riproduttivi: il tasso di rilevamento dei calori, il tasso di concepimento e il tasso di gravidanza. Infine, l'ultima macroarea raccoglie i dati sanitari, come il monitoraggio e la conta delle cellule somatiche, la gestione delle mastiti cliniche e subcliniche, i protocolli di vaccinazione e quelli applicati durante la fase di asciutta, e il monitoraggio delle patologie durante la fase di transizione.

La raccolta di tutti i dati sopra menzionati è stata fatta mediante intervista agli allevatori con la compilazione di un questionario (Tabella 2). Per rendere chiara la finalità di questo studio e del

questionario, è stata consegnata e discussa con gli allevatori una scheda informativa (Figura 1).

Tabella 2 – Questionario aziendale per la raccolta dei dati

SCHEDA PUNTEGGI ALLEVAMENTO	
Scala Valutazione	Punti
<i>Massimo</i>	4
<i>Buono</i>	3
<i>Base</i>	2
<i>Minimo</i>	1
<i>Assente / Non Conforme</i>	0
<i>Molto Negativo</i>	-1
DATI GESTIONALI E BENESSERE	Punti
1. Numero capi / Numero greppie e cuccette	
<i>Numero capi inferiore ai posti greppia/cuccette</i>	4
<i>Numero sufficiente</i>	3
<i>Numero capi superiore entro il 10%</i>	2
<i>Sovraffollamento oltre il 10%</i>	1
2. Abbeveratoi / Numero vacche	
<i>≥10 cm lineari/capo con riscaldamento</i>	4
<i>≥10 cm lineari/capo</i>	3
<i>5–10 cm lineari</i>	2
<i><5 cm lineari</i>	1
3. Ventilazione, benessere e comfort	
<i>≥9 m²/capo + ventilazione adeguata + cuccette pulite + spazzole</i>	4
<i>≥9 m²/capo + ventilazione non ottimale</i>	4
<i>≥9 m²/capo senza ventilazione</i>	3
<i><9 m²/capo</i>	-1
<i>Stalla chiusa con scarso ricircolo aria</i>	-1
4. Mungitura	
<i>Robot presenti</i>	4
<i>Sala dimensionata (7–10% animali/turno)</i>	4
<i>Sala attesa grande e ventilata</i>	3
<i>Sala ben dimensionata + attesa piccola</i>	2
<i>Sala non adeguata + attesa piccola</i>	1
5. Tipo di alimentazione	
<i>Carro unified + trincee ordinate</i>	4
<i>Carro unified + trincee non adeguate</i>	3

Tradizionale fieno-mangime controllato	2
Tradizionale con mangime ad libitum	1
DATI PRODUTTIVI	Punti
6. Produzione latte (media annua)	
>40 Kg	4
35–40 Kg	3
30–35 Kg	2
<30 Kg	1
7. Qualità latte – Proteine (g medi/giorno)	
>1400 g	4
1200–1399 g	3
1000–1199 g	2
<1000 g	1
8. Qualità latte – Grasso (g medi/giorno)	
>1900 g	4
1700–1899 g	3
1500–1699 g	2
<1500 g	1
9. Qualità latte – Lattosio	
>5% (≥4,86 g/100g)	4
4,99–4,90%	3
4,89–4,85%	2
4,84–4,70%	1
10. Cellule somatiche (media annua)	
<150.000	4
150.000–200.000	3
200.000–250.000	2
>250.000	1
DATI RIPRODUTTIVI	Punti
11. HDR (Tasso Rilevamento Calori)	
>70%	4
60–69%	3
50–59%	2
<50%	1
12. CR (Tasso di Concepimento)	
>60%	4
50–59%	3
40–49%	2
<40%	1
13. PR (Tasso di Gravidanza)	
>30%	4

25–29%	3
20–24%	2
<20%	1
14. Gestione protocolli riproduttivi	
<i>Protocollo Ovsynch consolidato</i>	4
<i>Nessun protocollo ma podometro/sistema monitoraggio</i>	3
<i>Monitoraggio manuale date</i>	2
<i>Fecondazione "a vista"</i>	1
DATI DI EFFICIENZA ALIMENTARE	Punti
(Kg latte / Kg sostanza secca ingerita)	
>1,50	4
1,30–1,49	3
1,20–1,29	2
<1,20	1
DATI SANITARI	Punti
15. Protocollo vaccinale	
<i>Protocollo completo lattazione + asciutta + vitelli + monitoraggio</i>	4
<i>Protocollo vaccinale presente</i>	3
<i>Solo IBR e BVD</i>	2
<i>Nessuna vaccinazione</i>	1
16. Gestione mastiti	
<i>3 protocolli completi (pre-post mungitura + asciutta + monitoraggio)</i>	4
<i>2 protocolli rispettati</i>	3
<i>1 protocollo</i>	2
<i>Nessun protocollo</i>	1
17. Gestione asciutta	
<i>Protocollo corretto + pre-parto + controllo transizione</i>	4
<i>Protocollo corretto + pre-parto</i>	3
<i>Protocollo corretto + gruppo unico</i>	2
<i>Protocollo corretto ma spazi insufficienti</i>	1
<i>Protocollo non corretto + spazi inadeguati</i>	0
18. Incidenza problematiche transizione	
<5%	4
5–10%	3
10–20%	2
>20%	1
<i>Assenza dato</i>	0

I parametri raccolti attraverso il questionario sono stati utilizzati per la costruzione di indici sintetici che rappresentino una fotografia dell'azienda. Gli indici considerati sono:

- Indice gestionale
- Indice produttivo e di efficienza alimentare
- Indice riproduttivo
- Indice sanitario e di transizione.

Ad ognuno di questi indici è stato assegnato un punteggio sulla base di classi prestabilite (Tabella 2). Dopodiché, gli indici sono stati normalizzati per consentire il confronto tra aziende diverse.

Figura 1 – Scheda informativa per l'allevatore

Scheda informativa per allevatore

Il profilo degli acidi grassi del latte come chiave di lettura dell'efficienza nutrizionale e gestionale in allevamento

Un progetto per valutare l'efficienza della stalla partendo dal profilo degli acidi grassi del latte.

Perché il progetto

Molte inefficienze di stalla (sovraffollamento, stress, bassa ingestione, problemi di transizione) non si vedono subito, ma riducono produzione, solidi e reddito.

Il profilo degli acidi grassi del latte è un indicatore oggettivo che aiuta a capire come sta davvero lavorando la mandria.

Cosa analizziamo

Dal latte di massa valutiamo:

- Acidi grassi De novo → ingestione ed efficienza
- Acidi grassi Mixed → alimentazione e metabolismo
- Acidi grassi Preformed → stress e mobilitazione

Come funziona

- ✓ Campionamento del latte di massa
- ✓ Raccolta di pochi dati aziendali (gestione, produzione, sanità)
- ✓ Nessun cambiamento alla routine di stalla

Cosa ottiene l'allevatore

- Valutazione oggettiva dell'azienda
- Individuazione di criticità gestionali
- Confronto con altre stalle
- Indicazioni pratiche per migliorare efficienza e benessere

Perché partecipare

Un semplice campione di latte può dire molto su come funziona la stalla, e ci aiuta a gestirla con più efficienza e a prendere decisioni basate su dati reali.

3.4 Analisi Statistica

L'analisi dei profili lipidici del latte e la loro associazione con i parametri aziendali, gestionali, nutrizionali, riproduttivi, produttivi e sanitari sono state eseguite utilizzando il test di correlazione non parametrico di Spearman a due code. Si tratta di un test non parametrico che valuta la relazione tra due variabili, trasformando i dati in graduatorie sia per la prima che per la seconda variabile, dopodiché calcola la correlazione tra queste due graduatorie (Siegel, 1957). Essendo questo un test a due code, si è verificata la presenza di una relazione tra due variabili in qualsiasi direzione, senza assumere a priori se la correlazione debba essere positiva

o negativa. La relazione può essere monotona crescente ($p > 0$) o monotona decrescente ($p < 0$). Il coefficiente p indica la forza della relazione (da -1 a +1), mentre il p -value indica l'affidabilità del valore. Se $p \geq 0,05$ (ns), significa che non c'è significatività statistica. Se $p < 0,05$ (*) significa che il risultato è significativo. Se $p < 0,01$ (**) significa che il risultato è molto significativo. Se $p < 0,001$ (***), il risultato è altamente significativo; se $p < 0,0001$ (****), estremamente significativo.

Per valutare se ci fossero delle correlazioni tra i parametri gestionali, riproduttivi e nutrizionali e le combinazioni più o meno positive dei valori degli acidi grassi, è stata costruita una variabile categorica ordinale, denominata categoria di profilo (CAT PROFILO).

Tale variabile è stata ottenuta combinando tra loro i livelli alto, medio o basso delle tre percentuali di acidi grassi considerate, De novo, Mixed e Preformed, sulla base della loro distribuzione. Ad ognuna delle possibili combinazioni dei tre livelli è stata assegnata una categoria compresa tra 1 e 8, secondo un criterio che riflette il grado di bontà del profilo, dal migliore al peggiore. È stata considerata condizione ottimale, corrispondente alla categoria più alta (8), quella in cui il valore di De novo risulta alto e il valore di Preformed risulta basso, in quanto indicativa di una maggiore capacità di sintesi endogena degli acidi grassi, rispetto all'apporto esogeno. Al contrario, sono state considerate condizioni critiche, corrispondenti a categorie più basse (1,2), quelle in cui il valore di De novo risulta basso e il valore di Preformed risulta alto. Le rimanenti combinazioni sono state ordinate lungo questo stesso gradiente, tenendo conto anche del livello della componente Mixed, individuando ulteriori categorie intermedie definite come buone, da monitorare e a rischio (*Tabella 3*).

Sulla base della combinazione presente per ciascun campione, è stata assegnata la categoria tra quelle sopra descritte, ottenendo così la variabile categoriale "CAT PROFILO", utilizzata nelle successive analisi statistiche.

Tabella 3 – Legenda delle possibili combinazioni tra diversi profili di acidi grassi (alto, medio, basso) e categoria associata

<i>Punteggio Valore di categoria</i>	<i>Categoria</i>	<i>De Novo</i>	<i>Mix</i>	<i>Preformed</i>
8	Ottimale	Alto	Medio	Basso
7	Buona	Alto	Alto	Basso
6	Buona	Alto	Alto	Medio
6	Buona	Alto	Medio	Medio
6	Buona	Alto	Basso	Medio
5	Da monitorare	Medio	Medio	Medio
5	Da monitorare	Medio	Alto	Basso
5	Da monitorare	Medio	Medio	Basso
4	A rischio	Medio	Alto	Medio
3	A rischio	Medio	Alto	Alto
3	A rischio	Basso	Alto	Medio
3	A rischio	Basso	Alto	Alto
3	A rischio	Medio	Basso	Alto
2	Critica	Basso	Medio	Alto
2	Critica	Basso	Medio	Medio
1	Critica	Basso	Basso	Alto

4. Risultati

4.1 Descrizione del campione

L'indagine ha coinvolto un campione complessivo di 38 (n=38) aziende aventi differenti orientamenti produttivi e gestionali. La popolazione analizzata presenta una marcata eterogeneità strutturale, rappresentativa delle diverse realtà produttive della filiera lattiero-casearia.

I campioni aziendali sono stati suddivisi in tre macrocategorie in base alla destinazione d'uso del latte prodotto. Su un totale di 38 aziende, 14 conferiscono latte per la produzione di Grana Padano (36,8%), 13 per la produzione di Parmigiano Reggiano (34,2%) e 11 per la produzione di latte alimentare (28,9%).

Attraverso la somministrazione del questionario tecnico per la valutazione aziendale, è stato attribuito a ciascuna azienda un punteggio totale, derivante dall'analisi combinata di quattro macroaree relative alla gestione aziendale (*Tabella 4*). Questi sono la gestione e il benessere animale, i dati produttivi e riproduttivi, l'efficienza alimentare e lo stato sanitario. Il punteggio totale dell'intero campione ha registrato un valore medio di 47,76, con una mediana di 49,50 e un intervallo compreso tra un minimo di 26 e un massimo di 73, evidenziando un'ampia variabilità tra le realtà esaminate. Analizzando la distribuzione per tipologia aziendale, emergono delle differenze sostanziali. Si nota infatti che le aziende produttrici di Parmigiano Reggiano hanno mostrato una media di punteggio più elevata (54,77), con una mediana di 58, spaziando da un punteggio minimo di 33 a un punteggio massimo di 73. Il fatto che sia presente una media di punteggio superiore rispetto a quella generale denota la presenza di aziende molto ben strutturate e all'avanguardia sotto tutti i punti di vista. Inoltre, l'elevata variabilità è un fattore che denota l'esistenza di aziende tradizionali sia sotto l'aspetto dell'alimentazione sia a livello gestionale e riproduttivo. Per quanto riguarda le aziende produttrici di Grana Padano, la media è di 48,64, la mediana di 49,5, il minimo di 41 e il massimo di 55. Questo denota una minore variabilità all'interno del campione, indicando un elevato livello di standardizzazione nelle pratiche gestionali e di alimentazione. Le aziende produttrici di latte alimentare sono state quelle che hanno avuto un punteggio medio complessivo inferiore rispetto alle due tipologie precedenti. La media è di 38,36 con una mediana di 36, spaziando da un minimo di 26 a un massimo di 59. Questo, come per le aziende che producono Parmigiano Reggiano, denota un'elevata variabilità a livello tecnologico e gestionale.

Tabella 4 – Punteggio per i diversi indici derivante dalla raccolta dati delle singole aziende

DATI GESTIONALI E DI BENESSERE

Azienda	N capi / N cuccette e greppie	Abbeveratoi / N vacche	Ventilazione, benessere comfort	Mungitura	Tipo di alimentazione
1	4	3	4	2	2
2	2	2	-1	3	4
3	3	2	-1	3	4
4	3	2	-1	3	4
5	3	2	-1	3	4
6	2	2	-1	3	3
7	4	3	4	3	4
8	2	2	-1	3	4
9	3	2	-1	1	4
10	3	2	-1	3	4
11	3	2	-1	3	4
12	3	2	-1	2	4
13	3	2	-1	4	4
14	3	2	-1	3	4
15	2	3	4	3	4
16	2	4	4	4	4
17	4	3	4	4	4
18	3	3	4	3	4
19	3	3	4	4	4
20	2	2	4	4	4
21	2	2	4	4	4
22	3	4	4	4	4
23	2	4	4	4	4
24	2	2	4	4	4
25	2	2	-1	1	2
26	3	4	4	4	2
27	4	4	4	4	4
28	4	3	4	4	4
29	4	1	-1	4	2
30	3	3	-1	4	4
31	2	3	4	4	4
32	2	3	3	4	4
33	3	4	3	4	4
34	2	3	-1	4	4
35	2	3	4	4	4
36	4	3	4	4	2
37	1	2	-1	4	4
38	4	1	-1	4	4

DATI PRODUTTIVI

Azienda	Produzione latte (media annua)	Proteine (g medi / giorno)	Grasso (g medi/ giorno)	Lattosio	Cellule somatiche (media annua)
1	2	3	2	3	4
2	3	3	2	3	3
3	4	4	2	1	2
4	2	1	1	3	3
5	3	3	2	2	2
6	4	1	1	3	3
7	1	1	1	2	3
8	1	1	4	3	3
9	1	1	1	2	4
10	1	1	1	2	1
11	3	3	1	3	1
12	1	1	1	3	2
13	2	2	1	3	1
14	2	2	1	3	3
15	2	2	1	1	2
16	3	3	1	1	4
17	2	2	1	3	2
18	4	4	2	2	2
19	3	3	1	2	3
20	3	4	1	2	3
21	3	3	2	3	3
22	3	3	1	1	1
23	1	1	1	2	3
24	4	4	3	4	4
25	3	3	1	2	1
26	2	2	1	1	2
27	3	3	3	2	1
28	1	1	1	1	2
29	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1
31	4	4	3	3	1
32	1	3	1	4	3
33	1	1	1	1	1
34	3	3	2	3	2
35	3	4	2	1	1
36	1	1	1	1	1
37	2	2	1	3	2
38	1	1	1	1	2

DATI RIPRODUTTIVI

Azienda	HDR	CR	PR	Gestione protocolli
1	3	3	4	2
2	4	4	4	3
3	4	4	4	3
4	3	3	3	3
5	4	4	4	3
6	3	3	3	2
7	3	3	3	2
8	3	3	2	3
9	3	3	3	2
10	3	3	3	2
11	4	4	4	3
12	3	3	3	2
13	4	4	4	3
14	4	4	4	3
15	3	2	3	3
16	2	3	3	2
17	4	2	4	4
18	4	3	4	4
19	3	1	2	4
20	4	2	4	4
21	3	2	4	4
22	4	1	3	4
23	0	0	0	3
24	4	3	4	4
25	4	2	4	4
26	2	3	3	2
27	2	2	3	4
28	0	0	0	3
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	4	2	4	3
32	0	0	0	2
33	0	0	0	0
34	3	2	4	3
35	1	4	4	3
36	0	0	0	0
37	0	0	0	3
38	0	0	0	0

DATI EFFICIENZA ALIMENTARE

Azienda	Kg latte / Kg sostanza secca ingerita
1	3
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3
7	3
8	2
9	3
10	3
11	3
12	3
13	3
14	3
15	2
16	3
17	0
18	3
19	3
20	3
21	4
22	3
23	0
24	4
25	3
26	2
27	3
28	0
29	1
30	1
31	1
32	1
33	1
34	3
35	3
36	1
37	3
38	1

DATI SANITARI

Azienda	Protocollo vaccinale	Gestione mastiti	Gestione asciutta	Incidenza problematiche transizione
1	2	2	1	4
2	3	2	4	4
3	3	2	4	4
4	2	2	4	4
5	3	2	4	4
6	2	2	3	3
7	2	2	3	3
8	2	2	3	3
9	2	2	3	3
10	2	2	3	3
11	2	2	3	3
12	2	2	3	3
13	2	2	3	3
14	3	2	4	3
15	4	4	3	1
16	3	4	2	1
17	1	2	2	1
18	2	4	3	1
19	4	4	3	1
20	4	4	4	4
21	4	4	4	3
22	4	4	4	3
23	3	4	4	1
24	4	4	4	4
25	4	4	4	4
26	2	3	1	1
27	4	4	4	4
28	3	4	4	1
29	3	4	3	1
30	1	2	3	1
31	3	3	3	4
32	1	1	3	1
33	1	1	0	1
34	4	3	4	4
35	3	4	4	4
36	1	1	3	3
37	1	1	4	4
38	1	2	0	4

SOMMA DEI PUNTI DELLE CINQUE MACROAREE

Azienda	PUNTEGGIO TOTALE
1	53
2	55
3	55
4	48
5	54
6	45
7	50
8	45
9	42
10	41
11	50
12	42
13	49
14	52
15	49
16	55
17	42
18	59
19	55
20	64
21	66
22	58
23	39
24	73
25	61
26	33
27	58
28	40
29	27
30	26
31	59
32	37
33	27
34	55
35	58
36	31
37	36
38	26

4.2 Distribuzione degli acidi grassi

Per la lettura dell'acidogramma (*Tabella 5*) si considerano: gli acidi grassi De novo, quelli compresi tra il C4:0 e il C14:0 e parte del C16:0; gli acidi grassi Mixed, il C16:0 e il C16:1; gli acidi grassi Preformed, quelli > C16:0.

In tutte le 38 aziende analizzate, la distribuzione percentuale delle tre classi rispecchia i dati fisiologici del latte bovino, anche se è presente una variabilità tra le aziende (*Tabella 6*). Gli acidi grassi De novo oscillano tra un minimo del 21,7% e un massimo del 29,2%; i Mixed variano tra il 27,2% e il 36,8%. Gli acidi grassi Preformed hanno un intervallo compreso tra un minimo del 35,8% e un massimo del 49,4%.

Tabella 5 – Acidogramma di ogni azienda campionata (A=azienda)

A	C4	C6	C8	C10	C10- 1c9	C11	C12	C13iso	C12- 1c11	C13	C14iso	C14	C15iso	C15ante	C14- 1c9	C15
1	4,382	2,201	1,073	2,188	0,209	0,057	2,176	0,030	0,380	0,060	0,081	9,326	0,191	0,398	0,788	0,307
2	4,022	2,426	1,298	3,143	0,283	0,120	3,490	0,081	0,104	0,184	0,040	12,139	0,140	0,358	1,182	1,549
3	4,167	2,067	1,002	2,187	0,205	0,024	2,284	0,040	0,048	0,079	0,049	9,641	0,149	0,366	0,865	0,853
4	4,083	1,932	0,948	2,032	0,193	0,034	2,142	0,047	0,068	0,064	0,040	9,847	0,162	0,371	1,124	0,868
5	4,229	2,177	1,055	2,246	0,199	0,052	2,300	0,035	0,061	0,096	0,056	9,517	0,148	0,297	0,907	0,928
6	4,073	2,153	1,095	2,456	0,209	0,052	2,581	0,030	0,055	0,098	0,096	11,195	0,177	0,392	0,938	1,098
7	4,284	2,250	1,062	2,289	0,234	0,024	2,322	0,060	0,060	0,061	0,117	10,690	0,250	0,484	0,964	0,953
8	4,023	2,269	1,207	2,833	0,230	0,054	2,966	0,066	0,065	0,109	0,073	11,734	0,210	0,484	0,887	1,141
9	4,445	2,202	1,047	2,308	0,224	0,018	2,399	0,042	0,048	0,056	0,124	11,282	0,223	0,422	1,015	0,917
10	4,118	2,325	1,181	2,670	0,272	0,058	2,839	0,050	0,071	0,101	0,048	11,138	0,241	0,482	1,076	1,199
11	3,860	1,825	0,935	2,086	0,186	0,050	2,142	0,042	0,051	0,084	0,055	9,675	0,156	0,364	0,932	1,043
12	3,931	2,200	1,109	2,557	0,253	0,072	2,725	0,039	0,057	0,145	0,055	11,473	0,148	0,378	1,118	1,426
13	3,918	2,070	1,042	2,405	0,182	0,053	2,476	0,051	0,063	0,102	0,040	10,554	0,138	0,427	0,970	1,104
14	4,379	2,274	1,167	2,495	0,206	0,046	2,534	0,046	0,050	0,092	0,069	10,326	0,141	0,365	0,924	0,933
15	3,930	2,073	1,002	2,257	0,188	0,034	2,332	0,025	0,048	0,076	0,085	10,227	0,216	0,419	0,813	0,970
16	3,995	2,169	1,136	2,510	0,219	0,029	2,622	0,022	0,062	0,081	0,178	12,030	0,260	0,555	1,005	1,099
17	3,799	2,103	1,134	2,621	0,182	0,043	2,722	0,018	0,056	0,105	0,090	10,898	0,214	0,445	0,730	1,075
18	3,706	2,197	1,217	2,809	0,215	0,051	2,935	0,017	0,069	0,097	0,075	10,959	0,208	0,418	0,851	0,962
19	3,255	2,006	1,130	2,785	0,224	0,096	3,039	0,069	0,083	0,152	0,053	11,381	0,180	0,407	1,095	1,353
20	2,991	1,906	1,135	2,992	0,233	0,158	3,550	0,084	0,104	0,239	0,049	12,175	0,162	0,397	1,170	1,880
21	3,638	2,206	1,224	2,916	0,252	0,087	3,147	0,067	0,086	0,142	0,069	11,299	0,186	0,423	1,010	1,249
22	3,389	2,254	1,252	2,943	0,240	0,073	3,134	0,060	0,078	0,131	0,093	11,658	0,177	0,429	0,932	1,150
23	3,981	2,173	1,182	2,612	0,208	0,035	2,704	0,056	0,057	0,092	0,136	11,344	0,264	0,528	0,807	1,058
24	3,808	2,111	1,071	2,420	0,190	0,050	2,467	0,037	0,058	0,100	0,068	10,230	0,169	0,399	0,898	0,965
25	3,590	2,151	1,169	2,825	0,233	0,071	3,095	0,066	0,083	0,126	0,081	11,713	0,182	0,453	1,038	1,242
26	3,450	2,292	1,239	2,758	0,241	0,061	2,877	0,068	0,070	0,110	0,116	11,845	0,249	0,599	1,008	1,337
27	3,210	1,894	1,028	2,574	0,211	0,083	2,854	0,061	0,078	0,155	0,069	11,409	0,180	0,376	1,076	1,339
28	4,084	2,288	1,184	2,606	0,227	0,032	2,712	0,039	0,060	0,087	0,116	11,671	0,206	0,436	0,897	0,981

29	4,120	2,333	1,261	2,912	0,275	0,073	3,145	0,068	0,492	0,143	0,063	11,751	0,163	0,412	1,093	1,304
30	4,255	2,078	0,981	2,032	0,171	nd	2,079	0,071	0,048	0,057	0,195	9,857	0,396	0,596	0,764	1,130
31	3,950	2,208	1,146	2,548	0,209	0,051	2,642	0,076	0,049	0,101	0,082	10,809	0,164	0,397	0,869	1,083
32	4,046	2,391	1,260	2,785	0,283	0,033	2,991	0,030	0,081	0,083	0,151	11,976	0,211	0,543	1,136	1,172
33	4,676	2,352	1,148	2,308	0,245	0,030	2,409	0,097	0,057	0,075	0,110	10,942	0,302	0,619	1,010	1,069
34	4,414	2,297	1,171	2,445	0,204	0,042	2,431	0,054	0,040	0,052	0,061	10,076	0,145	0,415	0,767	0,749
35	4,244	2,211	1,114	2,416	0,253	0,022	2,620	0,106	0,065	0,066	0,154	11,670	0,329	0,607	1,026	1,087
36	3,971	1,929	0,890	1,767	0,183	0,016	1,878	0,084	0,032	0,050	0,185	9,912	0,441	0,712	0,815	1,387
37	4,353	2,402	1,228	2,724	0,254	0,078	2,881	0,053	0,069	0,128	0,053	11,472	0,130	0,406	1,053	1,354
38	4,166	2,306	1,120	2,608	0,257	0,042	2,885	0,101	0,071	0,099	0,097	12,114	0,250	0,471	1,136	1,261
A	C16iso	C16	C16-1t8	C16-1t9	C17iso	C16-1c9	C17ante	C17	C17-1c10	C18	C18-1t6-8	C18-1t9	C18-1t10	C18-1t11	C18-1c9	
1	0,176	32,433	0,016	0,039	0,158	1,640	0,160	0,312	0,375	8,617	0,183	0,168	0,245	0,972	20,504	
2	0,127	32,856	0,050	0,056	0,165	1,918	0,214	0,340	0,199	6,160	0,031	0,025	0,294	0,549	16,138	
3	0,141	32,746	0,017	0,035	0,115	1,799	0,171	0,333	0,156	7,169	0,182	0,162	0,512	0,641	19,971	
4	0,157	25,729	0,041	0,046	0,145	1,904	0,239	0,417	0,247	7,640	0,443	0,355	1,723	1,203	23,996	
5	0,155	33,454	nd	nd	0,136	2,019	0,152	0,307	0,171	7,568	0,086	0,031	0,525	0,327	20,171	
6	0,231	29,773	0,015	0,029	0,137	1,625	0,178	0,361	0,197	8,288	0,270	0,184	0,546	1,086	20,596	
7	0,258	27,764	0,015	0,052	0,137	1,536	0,272	0,430	0,254	8,752	0,230	0,149	0,383	1,217	22,411	
8	0,224	29,169	0,011	0,030	0,134	1,478	0,244	0,430	0,202	8,599	0,030	0,024	0,192	0,594	20,200	
9	0,306	32,105	0,024	0,047	0,113	1,667	0,211	0,393	0,204	7,989	0,125	0,058	0,185	0,859	20,300	
10	0,204	31,019	0,020	0,030	0,164	1,895	0,291	0,453	0,248	6,880	0,085	0,109	0,329	0,484	20,846	
11	0,149	31,614	0,025	0,029	0,148	1,883	0,198	0,348	0,220	7,470	0,067	0,032	0,302	0,494	22,093	
12	0,142	31,685	0,037	0,037	0,095	1,638	0,208	0,338	0,216	7,298	0,039	0,034	0,268	0,557	18,806	
13	0,138	31,520	0,027	0,044	0,132	1,666	0,246	0,417	0,181	7,255	0,249	0,321	0,697	1,112	19,042	
14	0,186	31,337	0,015	0,027	0,134	1,680	0,199	0,327	0,161	7,644	0,243	0,230	0,675	0,792	20,132	
15	0,196	30,226	0,024	0,024	0,157	1,538	0,241	0,404	0,225	10,270	0,202	0,221	0,273	0,674	24,603	
16	0,309	29,313	0,036	0,054	0,135	1,554	0,255	0,450	0,223	9,287	0,237	0,197	0,355	1,568	22,285	
17	0,222	29,126	0,020	0,038	0,150	1,602	0,256	0,454	0,270	9,527	0,205	0,176	0,394	1,111	23,561	
18	0,167	28,419	0,021	0,033	0,139	1,412	0,251	0,386	0,186	9,894	0,214	0,195	0,393	0,999	22,760	
19	0,177	31,611	0,021	0,030	0,125	1,900	0,256	0,389	0,238	7,506	0,217	0,196	0,527	0,667	22,102	
20	0,175	31,221	0,012	0,020	0,162	2,058	0,230	0,378	0,310	6,404	0,169	0,162	0,666	0,411	20,903	
21	0,170	33,634	nd	nd	0,123	1,766	0,232	0,373	0,198	7,542	0,143	0,138	0,324	0,559	20,015	
22	0,183	29,430	0,014	0,026	0,149	1,548	0,200	0,351	0,188	8,902	0,301	0,224	0,420	0,609	23,068	
23	0,282	26,328	0,020	0,033	0,147	1,222	0,258	0,421	0,167	11,228	0,239	0,211	0,411	1,162	24,099	
24	0,152	28,261	0,027	0,044	0,130	1,543	0,265	0,375	0,178	10,556	0,323	0,293	0,606	1,128	24,272	
25	0,189	33,712	0,025	0,031	0,170	1,873	0,237	0,421	0,233	7,510	0,074	0,101	0,264	0,452	20,852	
26	0,233	30,518	0,029	0,043	0,125	1,649	0,225	0,465	0,237	8,053	0,210	0,193	0,388	1,474	20,365	
27	0,189	31,318	0,019	0,022	0,143	1,956	0,201	0,365	0,247	7,840	0,229	0,198	0,784	0,638	22,472	
28	0,235	30,894	0,016	0,027	0,107	1,419	0,189	0,353	0,181	9,922	0,248	0,219	0,374	0,884	22,125	
29	0,170	31,303	0,012	0,022	0,213	1,828	0,273	0,402	0,280	6,697	0,021	0,013	0,175	0,444	18,047	
30	0,403	25,603	nd	nd	0,201	1,495	0,432	0,576	0,318	9,488	0,060	0,089	0,133	0,751	24,686	
31	0,225	25,696	0,015	0,018	0,120	1,322	0,283	0,360	0,179	10,008	0,140	0,158	0,352	0,616	22,176	
32	0,284	30,508	0,014	0,034	0,135	1,669	0,299	0,423	0,202	7,087	0,062	0,088	0,165	0,771	18,803	
33	0,290	26,957	0,017	0,040	0,141	1,176	0,350	0,511	0,186	10,013	0,242	0,179	0,345	1,128	21,578	
34	0,190	28,217	0,005	0,025	0,149	1,481	0,270	0,440	0,220	9,083	0,221	0,158	0,429	0,847	22,596	

35	0,341	31,678	nd	nd	0,181	1,577	0,392	0,524	0,251	6,830	0,106	0,116	0,179	0,479	20,321
36	0,282	28,620	0,018	0,060	0,210	1,481	0,568	0,634	0,396	9,118	0,155	0,123	0,154	1,313	22,887
37	0,152	32,711	0,014	0,018	0,126	1,687	0,250	0,382	0,232	7,489	0,079	0,085	0,276	0,532	18,950
38	0,210	34,921	0,009	0,022	0,142	1,689	0,314	0,396	0,222	7,207	0,057	0,065	0,130	0,477	17,309

A	C18-1c11	C18-1c12	C18-1c13	C18-2t9t12	C18-2cc	C18-3n3	CLA9-11ct	CLA10-12tc	C20-3n3	C20-4n6	C23	C24-1c15	C22-4n6	C22-5n6	C22-5n3
1	0,676	0,239	0,032	0,071	2,149	0,468	0,473	0,085	1,203	0,134	0,038	3,707	0,253	0,091	0,052
2	0,830	0,305	0,028	0,127	1,636	0,285	0,310	0,050	1,307	0,171	0,030	4,115	0,256	0,160	0,032
3	0,796	0,377	0,029	0,086	2,524	0,278	0,325	0,116	1,350	0,195	0,059	4,744	0,294	0,222	0,036
4	1,055	0,670	0,074	0,356	2,539	0,366	0,664	0,088	1,239	0,174	nd	3,864	0,228	0,191	0,039
5	0,824	0,233	0,050	0,048	2,232	0,130	0,173	0,094	1,280	0,179	0,049	4,572	0,261	0,219	nd
6	0,885	0,596	0,035	0,154	1,603	0,382	0,481	0,090	1,191	0,162	0,037	3,529	0,191	0,113	0,048
7	0,670	0,331	0,043	0,178	2,106	0,566	0,549	0,080	1,186	0,136	0,041	3,509	0,198	0,167	0,079
8	0,744	0,311	0,058	0,130	2,126	0,461	0,328	0,133	1,251	0,197	0,039	3,749	0,174	0,096	0,053
9	0,529	0,299	0,038	0,164	1,344	0,271	0,447	0,090	1,141	0,136	0,045	3,567	0,186	0,135	0,052
10	0,784	0,383	0,059	0,181	1,839	0,371	0,294	0,085	1,017	0,222	0,041	3,260	0,173	0,102	0,056
11	0,993	0,350	0,072	0,117	2,720	0,486	0,315	0,102	1,190	0,182	0,058	4,207	0,193	0,178	0,057
12	0,919	0,419	0,044	0,110	2,009	0,330	0,350	0,112	1,374	0,195	0,038	4,291	0,217	0,162	0,056
13	0,795	0,349	0,049	0,109	2,269	0,425	0,583	0,106	1,338	0,191	0,062	4,344	0,228	0,193	0,057
14	0,881	0,538	0,051	0,090	2,707	0,603	0,421	0,130	0,866	0,187	nd	3,187	0,155	0,105	0,061
15	0,848	0,240	0,066	0,115	2,239	0,615	0,297	0,133	0,150	0,044	nd	0,681	nd	nd	0,061
16	0,705	0,375	0,035	0,114	2,102	0,599	0,820	0,116	0,076	0,160	nd	0,352	nd	nd	0,083
17	1,065	0,348	0,075	0,236	2,754	0,778	0,397	0,108	0,110	0,178	nd	0,488	nd	nd	0,106
18	0,913	0,463	0,045	0,352	3,842	0,856	0,425	0,156	0,072	0,197	nd	0,311	nd	nd	0,095
19	1,011	0,368	0,062	0,151	2,999	0,488	0,318	0,150	0,170	0,226	0,013	0,661	0,032	0,026	0,082
20	1,185	0,399	0,062	0,190	3,512	0,607	0,296	0,151	0,125	0,258	0,016	0,447	0,020	0,016	0,090
21	0,832	0,285	0,033	0,136	3,347	0,635	0,336	0,156	0,136	0,229	0,018	0,575	0,019	0,012	0,080
22	0,871	0,316	0,036	0,136	2,997	0,538	0,291	0,136	0,154	0,227	0,017	0,540	nd	nd	0,077
23	0,821	0,406	0,039	0,151	3,168	0,520	0,569	0,160	0,086	0,217	0,020	0,300	0,002	nd	0,068
24	0,854	0,502	0,049	0,157	3,172	0,437	0,457	0,138	0,127	0,191	0,014	0,485	0,029	0,032	0,061
25	0,710	0,262	0,053	0,123	2,911	0,445	0,313	0,143	0,062	0,223	0,015	0,262	0,013	nd	0,069
26	0,796	0,359	0,048	0,139	2,892	0,947	0,825	0,120	0,192	0,178	0,027	0,572	0,033	0,015	0,092
27	1,070	0,421	0,047	0,149	3,291	0,556	0,429	0,138	0,073	0,213	nd	0,286	0,020	0,005	0,075
28	0,793	0,601	0,065	0,153	2,251	0,433	0,330	0,106	0,026	0,163	nd	0,165	0,020	nd	0,058
29	0,763	0,232	0,045	0,102	2,236	0,526	0,292	0,128	1,252	0,185	0,066	3,502	0,288	0,114	0,057
30	0,678	0,172	0,046	0,085	1,791	0,761	0,399	0,150	1,475	0,228	0,062	4,138	0,303	0,151	0,114
31	0,967	0,414	0,037	0,087	3,426	0,869	0,318	0,145	1,264	0,206	0,062	3,366	0,226	0,109	0,059
32	0,662	0,210	0,030	0,107	1,854	0,618	0,498	0,090	1,287	0,166	0,036	3,797	0,254	0,137	0,068
33	0,501	0,207	0,030	0,148	1,476	0,499	0,571	0,078	1,263	0,149	0,055	3,677	0,232	0,106	0,042
34	0,786	0,377	0,068	0,103	3,318	0,471	0,350	0,126	0,936	0,234	0,019	2,966	0,229	0,110	0,029
35	0,523	0,148	0,034	0,199	1,942	0,533	0,295	0,096	1,088	0,173	0,041	3,389	0,234	0,109	0,070
36	0,769	0,078	0,044	0,112	1,623	1,227	0,654	0,091	0,963	0,235	nd	3,086	0,248	0,086	0,197
37	0,830	0,374	0,042	0,144	1,907	0,580	0,325	0,094	0,829	0,185	0,025	2,580	0,183	0,107	0,060
38	0,540	0,224	0,044	0,159	1,216	0,510	0,305	0,068	0,984	0,157	0,041	3,098	0,231	0,092	0,061

Tabella 6 – Suddivisione in % di acidi grassi De novo, Mixed e Preformed per ogni azienda campionata

<i>Azienda</i>	<i>De Novo (%)</i>	<i>Mixed (%)</i>	<i>Preformed (%)</i>
1	23,090	32,007	44,364
2	26,057	31,266	42,445
3	24,502	31,008	44,481
4	25,198	30,053	44,728
5	25,369	33,739	40,920
6	26,787	33,488	39,608
7	26,144	35,571	38,335
8	29,239	31,200	42,505
9	25,387	27,885	46,718
10	23,508	30,026	46,365
11	26,242	35,829	37,797
12	26,134	32,472	41,154
13	24,702	33,504	41,786
14	26,001	32,591	41,389
15	22,949	34,305	42,260
16	28,513	35,007	35,806
17	22,659	34,739	42,210
18	22,552	27,876	49,355
19	22,931	35,628	41,193
20	25,030	31,673	43,007
21	24,418	29,624	45,760
22	26,515	30,912	42,334
23	25,211	34,148	40,444
24	25,947	33,169	40,681
25	21,923	33,700	44,154
26	25,735	33,539	40,436
27	23,925	33,394	42,418
28	24,608	33,244	41,958
29	27,731	33,336	38,233
30	22,588	27,500	49,408
31	24,739	27,276	47,593
32	27,247	32,509	39,772
33	25,459	28,481	45,699
34	24,055	29,917	45,845
35	25,966	33,596	40,277
36	21,713	30,461	47,512
37	26,748	34,582	38,558
38	27,001	36,851	36,031

A partire dai valori percentuali di acidi grassi De novo, Mixed e Preformed ottenuti per ciascun campione analizzato, è stata applicata la categorizzazione CAT secondo i criteri descritti nei Materiali e Metodi.

I risultati dell'attribuzione del punteggio e della relativa categoria per ciascun campione sono riportati in *Tabella 7*. Come si può osservare, la distribuzione dei campioni tra le diverse categorie evidenzia una variabilità considerevole nei profili degli acidi grassi, con campioni classificati lungo l'intero gradiente, da quelli con un profilo ottimale, caratterizzati da valori alti di De novo e bassi di Preformed, a quelli con un profilo critico, in cui si osserva la situazione opposta. Le categorie intermedie, buona, da monitorare e a rischio, raccolgono la parte più ampia dei campioni, riflettendo la complessità e l'eterogeneità dei profili osservati nel dataset analizzato. Infatti, all'interno della categoria ottimale sono presenti due aziende produttrici di latte alimentare e un'azienda produttrice di latte per Parmigiano Reggiano. Nella categoria buona, sono presenti due aziende che producono latte per Grana Padano, tre che producono latte alimentare e sei che producono latte per Parmigiano Reggiano. All'interno della categoria da monitorare, sono presenti quattro aziende produttrici di latte per Grana Padano, una di Parmigiano Reggiano e due di latte alimentare. Infine, nella categoria a rischio, sono presenti nella prima categoria quattro aziende che producono latte per il Grana Padano, tre per il Consorzio del Parmigiano Reggiano e due per la produzione di latte alimentare; e nella categoria critica, invece, due aziende fanno parte del Consorzio del Parmigiano Reggiano, tre di quello del Grana Padano e tre che producono latte alimentare.

Tabella 7 – Classificazioni dei campioni

N azienda	De Novo (%)	Livello De Novo	Misti (%)	Livello Misti	Preformati (%)	Livello Preformati	Categoria valore (1-8)	Categoria
27	26,144%	Alto	35,571%	Alto	38,335%	Basso	7	Buona
21	26,242%	Alto	35,829%	Alto	37,797%	Basso	7	Buona
2	28,513%	Alto	35,007%	Alto	35,806%	Basso	7	Buona
37	26,748%	Alto	34,582%	Alto	38,558%	Basso	7	Buona
38	27,001%	Alto	36,851%	Alto	36,031%	Basso	7	Buona
26	26,057%	Alto	31,266%	Medio	42,445%	Medio	6	Buona
17	29,239%	Alto	31,200%	Medio	42,505%	Medio	6	Buona
25	26,134%	Alto	32,472%	Medio	41,154%	Medio	6	Buona
28	26,001%	Alto	32,591%	Medio	41,389%	Medio	6	Buona
19	26,787%	Alto	33,488%	Medio	39,608%	Basso	8	Ottimale
29	27,731%	Alto	33,336%	Medio	38,233%	Basso	8	Ottimale
32	27,247%	Alto	32,509%	Medio	39,772%	Basso	8	Ottimale
8	26,515%	Alto	30,912%	Basso	42,334%	Medio	6	Buona
23	24,702%	Medio	33,504%	Alto	41,786%	Medio	4	A rischio
16	25,369%	Medio	33,739%	Alto	40,920%	Basso	5	Da monitorare
9	25,211%	Medio	34,148%	Alto	40,444%	Basso	5	Da monitorare
12	25,735%	Medio	33,539%	Alto	40,436%	Basso	5	Da monitorare

35	25,966%	Medio	33,596%	Alto	40,277%	Basso	5	Da monitorare
6	25,030%	Medio	31,673%	Medio	43,007%	Medio	5	Da monitorare
14	24,608%	Medio	33,244%	Medio	41,958%	Medio	5	Da monitorare
10	25,947%	Medio	33,169%	Medio	40,681%	Basso	5	Da monitorare
20	24,502%	Medio	31,008%	Basso	44,481%	Alto	3	A rischio
18	25,198%	Medio	30,053%	Basso	44,728%	Alto	3	A rischio
24	25,387%	Medio	27,885%	Basso	46,718%	Alto	3	A rischio
31	24,739%	Medio	27,276%	Basso	47,593%	Alto	3	A rischio
33	25,459%	Medio	28,481%	Basso	45,699%	Alto	3	A rischio
11	21,923%	Basso	33,700%	Alto	44,154%	Alto	3	A rischio
1	22,949%	Basso	34,305%	Alto	42,260%	Medio	3	A rischio
3	22,659%	Basso	34,739%	Alto	42,210%	Medio	3	A rischio
5	22,931%	Basso	35,628%	Alto	41,193%	Medio	3	A rischio
15	23,090%	Basso	32,007%	Medio	44,364%	Alto	2	Critica
13	23,925%	Basso	33,394%	Medio	42,418%	Medio	2	Critica
22	23,508%	Basso	30,026%	Basso	46,365%	Alto	1	Critica
4	22,552%	Basso	27,876%	Basso	49,355%	Alto	1	Critica
7	24,418%	Basso	29,624%	Basso	45,760%	Alto	1	Critica
30	22,588%	Basso	27,500%	Basso	49,408%	Alto	1	Critica
34	24,055%	Basso	29,917%	Basso	45,845%	Alto	1	Critica
36	21,713%	Basso	30,461%	Basso	47,512%	Alto	1	Critica

4.3 Correlazione tra Profilo Lipidico e Indici Aziendali

L'analisi generale della matrice di correlazione di Spearman mostra l'assenza di relazioni statisticamente significative tra i livelli degli acidi grassi De novo dei 38 campioni analizzati e le variabili gestionali, riproduttive, produttive, sanitarie ed alimentari (*Tabella 8*).

Tabella 8 – Correlazione tra acidi grassi De novo e indici aziendali

Variabile	r (Spearman)	p	Significatività
N capi / N cuccette e greppie	-0,107	0,5236	ns
Abbeveratoi / N vacche	-0,109	0,5141	ns
Ventilazione, benessere confort	0,03	0,86	ns
Mungitura	0,243	0,1417	ns
Tipo di alimentazione	0,004	0,9803	ns
Produzione latte (media annua)	-0,131	0,433	ns
Proteine (g medi / giorno)	0,002	0,9902	ns
Grasso (g medi/ giorno)	-0,028	0,8697	ns
Lattosio	-0,105	0,5298	ns
Cellule somatiche (media annua)	0,055	0,7409	ns
HDR	-0,229	0,1676	ns
CR	-0,314	0,0553	ns
PR	-0,255	0,1217	ns
Gestione protocolli	0,062	0,7104	ns
Kg latte / Kg sostanza secca ingerita	-0,091	0,5876	ns
Protocollo vaccinale	0,117	0,4859	ns
Gestione mastiti	0,233	0,1596	ns
Gestione asciutta	0,039	0,8144	ns
Incidenza problematiche transizione	-0,097	0,562	ns

Spearman r è il coefficiente di correlazione di Spearman che valuta la forza e la direzione di una relazione tra due variabili, r è il coefficiente di correlazione compreso tra -1 e +1, IC 95% è l'intervallo di confidenza, P value è p, P (two – tailed) è il valore di p a due code, P value summary è la sintesi del valore p (ns = non significativo, * è $p < 0,05$, ** è $p < 0,01$, *** è $p < 0,001$, **** è $p < 0,0001$), Exact or approximate P value indica se il valore è esatto o approssimato, Significant (alpha = 0,05) indicato la risposta binaria si / no sulla significatività del test con la soglia di 0,05, Number of XY Pairs indica la numerosità campionaria. A differenza degli acidi grassi De novo, l'analisi delle

correlazioni relative alla quota degli acidi grassi Mixed ha evidenziato due correlazioni statisticamente significative (Tabella 9). La prima riguarda l'incidenza delle problematiche durante il periodo di transizione. Si tratta di una correlazione moderata ($r = 0,3770$, $p = 0,0196$). La seconda correlazione significativa è anche questa moderata e positiva ($r = 0,3757$, $p = 0,0201$) e riguarda l'efficienza alimentare (kg di / kg di sostanza secca ingerita).

Tabella 9 – Correlazione tra acidi grassi Mixed e indici aziendali

Variabile	r (Spearman)	p	Significatività
N capi / N cuccette e greppie	0,052	0,7574	ns
Abbeveratoi / N vacche	-0,301	0,0661	ns
Ventilazione, benessere confort	-0,192	0,2474	ns
Mungitura	-0,151	0,3665	ns
Tipo di alimentazione	0,049	0,769	ns
Produzione latte (media annua)	0,14	0,4013	ns
Proteine (g medi / giorno)	0,231	0,1632	ns
Grasso (g medi/ giorno)	0,124	0,4596	ns
Lattosio	0,002	0,989	ns
Cellule somatiche (media annua)	0,04	0,8124	ns
HDR	0,087	0,6036	ns
CR	0,262	0,1124	ns
PR	0,216	0,1929	ns
Gestione protocolli	0,116	0,4894	ns
Kg latte / Kg sostanza secca ingerita	0,376	0,0201	*
Protocollo vaccinale	0,168	0,3136	ns
Gestione mastiti	-0,008	0,9641	ns
Gestione asciutta	0,167	0,3176	ns
Incidenza problematiche transizione	0,377	0,0196	*

Spearman r è il coefficiente di correlazione di Spearman che valuta la forza e la direzione di una relazione tra due variabili, r è il coefficiente di correlazione compreso tra -1 e +1, IC 95% è l'intervallo di confidenza, P value è p, P (two – tailed) è il valore di p a due code, P value summary è la sintesi del valore p (ns = non significativo, * è p < 0,05, ** è p < 0,01, *** è p < 0,001, **** è p < 0,0001, Exact or approximate P value indica se il valore è esatto o approssimato, Significant (alpha = 0,05) indicato la risposta binaria si / no sulla significatività del test con la soglia di 0,05, Number of XY Pairs indica la numerosità campionaria.

L'analisi generale della matrice di correlazione di Spearman mostra l'assenza di relazioni statisticamente significative tra i livelli degli acidi grassi Preformed dei 38 campioni analizzati e le variabili gestionali, riproduttive, produttive, sanitarie ed alimentari (Tabella 10).

Tabella 10 – Correlazione tra acidi grassi Preformed e indici aziendali

Variabile	r (Spearman)	p	Significatività
N capi / N cuccette e greppie	0,035	0,8337	ns
Abbeveratoi / N vacche	0,303	0,0645	ns
Ventilazione, benessere confort	0,19	0,2536	ns
Mungitura	0,03	0,8577	ns
Tipo di alimentazione	-0,021	0,8992	ns
Produzione latte (media annua)	0,057	0,7344	ns
Proteine (g medi / giorno)	-0,107	0,5241	ns
Grasso (g medi/ giorno)	-0,027	0,8716	ns
Lattosio	0,03	0,8571	ns
Cellule somatiche (media annua)	-0,056	0,7378	ns
HDR	0,117	0,4844	ns
CR	-0,051	0,7614	ns
PR	0,002	0,9906	ns
Gestione protocolli	-0,027	0,8701	ns
Kg latte / Kg sostanza secca ingerita	-0,2	0,2281	ns
Protocollo vaccinale	-0,14	0,4022	ns
Gestione mastiti	-0,074	0,6603	ns
Gestione asciutta	-0,128	0,4451	ns
Incidenza problematiche transizione	-0,192	0,2473	ns

Spearman r è il coefficiente di correlazione di Spearman che valuta la forza e la direzione di una relazione tra due variabili, r è il coefficiente di correlazione compreso tra -1 e +1, IC 95% è l'intervallo di confidenza, P value è p, P (two – tailed) è il valore di p a due code, P value summary è la sintesi del valore p (ns = non significativo, * è p < 0,05, ** è p < 0,01, *** è p < 0,001, **** è p < 0,0001, Exact or approximate P value indica se il valore è esatto o approssimato, Significant (alpha = 0,05) indicato la risposta binaria si / no sulla significatività del test con la soglia di 0,05, Number of XY Pairs indica la numerosità campionaria.

La variabile CAT PROFILO è una variabile ottenuta categorizzando tutte le possibili combinazioni emerse dai tre profili lipidici delle 38 aziende. L'analisi della correlazione tra variabile CAT PROFILO e indici aziendali ha mostrato che valori più alti (quindi associati a una combinazione migliore) sono soprattutto associati a una migliore gestione aziendale (*Tabella 11*), in particolare:

Gestione protocolli: $r = 0,602$; Gestione mastiti: $r = 0,602$; Protocollo vaccinale: $r = 0,495$; Ventilazione/benessere/comfort: $r = 0,453$; Produzione latte: $r = 0,425$; HDR: $r = 0,379$.

Tabella 11 – Correlazione tra CAT PROFILO e indici aziendali

<i>Variabile</i>	<i>r (Spearman)</i>	<i>p</i>	<i>Significatività</i>
Produzione latte (media annua)	0,425	0,0078	**
Proteine (g medi/giorno)	0,317	0,0523	ns (borderline)
Grasso	0,097	0,5618	ns
Lattosio	-0,04	0,8116	ns
Cellule somatiche	0,331	0,0423	*
HDR	0,379	0,0188	*
CR	0,123	0,4625	ns
PR	0,26	0,1153	ns
Gestione protocolli	0,602	<0,0001	****
Gestione mastiti	0,602	<0,0001	****
Protocollo vaccinale	0,495	0,0016	**
Ventilazione, benessere, comfort	0,453	0,0043	**
Kg latte / Kg s.s. ingerita	0,269	0,1022	ns
N capi / N cuccette-greppie	-0,086	0,6086	ns
Abbeveratoi / N vacche	0,206	0,215	ns
Tipo di alimentazione	-0,09	0,5924	ns
Mungitura	-0,117	0,486	ns
Gestione asciutta	0,11	0,511	ns
Incidenza problematiche transizione	-0,179	0,2811	ns

Spearman *r* è il coefficiente di correlazione di Spearman che valuta la forza e la direzione di una relazione tra due variabili, *r* è il coefficiente di correlazione compreso tra -1 e +1, IC 95% è l'intervallo di confidenza, *P value* è *p*, *P (two – tailed)* è il valore di *p* a due code, *P value summary* è la sintesi del valore *p* (*ns* = non significativo, * è *p* < 0,05, ** è *p* < 0,01, *** è *p* < 0,001, **** è *p* < 0,0001, Exact or approximate *P value* indica se il valore è esatto o approssimato, Significant (alpha = 0,05) indicato la risposta binaria sì / no sulla significatività del test con la soglia di 0,05, Number of XY Pairs indica la numerosità campionaria.

Come si è potuto osservare dall'analisi statistica, non in tutti i profili degli acidi grassi sono state osservate delle correlazioni significative con gli indici aziendali.

Per quanto riguarda gli acidi grassi De novo non sono state osservate correlazioni significative.

In particolare, per quanto riguarda i parametri produttivi, sono state evidenziate delle relazioni di entità molto debole e prive di significatività a livello statistico (*p* > 0,05 in tutti i casi). Tuttavia, è stato possibile osservare alcune tendenze e raggruppamenti di interesse pratico. Ad esempio, l'area in cui i legami sono più solidi è quella dell'efficienza riproduttiva. Si osserva una tendenza negativa su tutti i principali indicatori, ovvero il tasso di concepimento (*r* = -0,3135, *p* = 0,0553), tasso di gravidanza (*r* = -0,2554, *p* = 0,1217) e tasso di rilevamento dei calori, (*r* = -0,2285, *p* = 0,1676). Oltre all'efficienza riproduttiva, si sono osservate delle deboli correlazioni positive nella parte di management e di sanità, in particolare per la mungitura (*r* = 0,2429, *p* = 0,1417) e la gestione delle mastiti (*r* = 0,2328, *p* = 0,1596). Ulteriori parametri di interesse

zootecnico riguardano i dati produttivi, per i quali non ci sono state correlazioni significative a livello statistico. Infatti, nel dato riguardante la produzione di latte (media annuale) si può osservare una correlazione negativa molto debole ($r = -0,1310$, $p = 0,4330$). Nello specifico, a livello di titoli, quindi grasso, proteine e lattosio, non si è osservata nessuna minima correlazione.

A differenza dei De novo, la frazione dei Mixed evidenzia una generale, anche se debole e non significativa, tendenza positiva verso le performance produttive. Nella produzione di latte (media annua) si osserva una correlazione positiva debole ($r = 0,140$, $p = 0,401$). Per quanto riguarda i titoli, si registrano delle correlazioni positive deboli a livello delle proteine ($r = 0,231$, $p = 0,163$) e del grasso ($r = 0,124$, $p = 0,460$), mentre per il lattosio sono assenti anche minime correlazioni. Anche per i dati riproduttivi, la frazione dei Mixed ribalta la tendenza negativa osservata per i De novo. Si registrano infatti tendenze positive deboli per il tasso di concepimento ($r = 0,262$, $p = 0,112$), per il tasso di gravidanza ($r = 0,216$, $p = 0,604$) e anche per il tasso di rilevamento dei calori ($r = 0,087$, $p = 0,604$), seppur quest'ultima sia molto debole.

Se prendiamo in considerazione il profilo dei Preformed, le correlazioni con i dati produttivi e riproduttivi non sono significative. La relazione tra Preformed e produzione media di latte annua risulta praticamente nulla e lievemente positiva ($r = 0,0569$, $p = 0,7344$). Anche gli indicatori relativi alla composizione del latte mostrano correlazioni molto deboli e non significative. La correlazione con il contenuto di proteine è negativa e molto debole ($r = -0,1066$, $p = 0,5241$), mentre quella con il grasso è praticamente inesistente ($r = -0,0271$, $p = 0,8716$). Analogamente avviene con il lattosio, il quale presenta una correlazione quasi nulla e lievemente positiva ($r = 0,0302$, $p = 0,8571$). Pertanto, non è possibile osservare un effetto evidente dei Preformed sui parametri produttivi. Per quanto riguarda i parametri riproduttivi, le correlazioni con HDR, CR e PR sono anch'esse molto basse e non statisticamente significative. L'HDR presenta una correlazione positiva debole ($r = 0,1170$, $p = 0,4844$), mentre il CR mostra una correlazione negativa praticamente trascurabile ($r = -0,0509$, $p = 0,7614$). La correlazione con il PR invece è vicina al valore nullo ($r = 0,0020$, $p = 0,9906$). Nel complesso, è possibile dire che i risultati indicano l'assenza di un legame lineare rilevante tra il profilo dei Preformed e i parametri produttivi e riproduttivi delle aziende analizzate.

La variabile CAT PROFILO presenta associazioni differenti con i parametri produttivi, riproduttivi e gestionali analizzati.

Per quanto riguarda i parametri produttivi, la produzione media annua di latte mostra una correlazione positiva moderata e statisticamente significativa con CAT PROFILO ($r = 0,425$; $p = 0,0078$). Anche il contenuto di proteine presenta una correlazione positiva moderata, seppur non statisticamente significativa ($r = 0,317$; $p = 0,0523$). Al contrario, il contenuto di grasso ($r = 0,097$; $p = 0,5618$) e lattosio ($r = -0,040$; $p = 0,8116$) non mostrano associazioni statisticamente significative con la variabile CAT PROFILO.

Per quanto riguarda i parametri riproduttivi, il tasso di rilevamento dei calori (HDR) presenta una correlazione positiva moderata e statisticamente significativa ($r = 0,379$; $p = 0,0188$). Diversamente, il PR ($r = 0,260$; $p = 0,1153$) e il CR ($r = 0,123$; $p = 0,4625$) mostrano correlazioni positive ma deboli e non statisticamente significative.

Un elemento particolarmente interessante emerge dall'analisi degli indici gestionali e sanitari, per i quali sono state osservate le associazioni più marcate con la variabile CAT PROFILO. La gestione dei protocolli e la gestione delle mastiti presentano entrambe una correlazione positiva forte e statisticamente significativa ($r = 0,602$; $p < 0,0001$). Analogamente, l'applicazione di un protocollo vaccinale mostra una correlazione positiva moderata ($r = 0,495$; $p = 0,0016$), mentre gli aspetti relativi a ventilazione, benessere e comfort evidenziano una correlazione positiva moderata ($r = 0,453$; $p = 0,0043$). Un risultato che merita una particolare attenzione riguarda invece il parametro delle cellule somatiche, che presenta una correlazione positiva, seppur debole-moderata, con CAT PROFILO ($r = 0,331$; $p = 0,0423$).

Per quanto riguarda gli altri parametri analizzati, non sono state evidenziate correlazioni statisticamente significative con CAT PROFILO. In particolare, non emergono associazioni significative con il rapporto tra kg di latte e kg di sostanza secca ingerita ($r = 0,269$; $p = 0,1022$), con il PR e il CR, con il rapporto tra numero di capi e numero di cuccette/greppie ($r = -0,086$; $p = 0,6086$), con il rapporto tra numero di abbeveratoi e numero di vacche ($r = 0,206$; $p = 0,2150$), con il tipo di alimentazione ($r = -0,090$; $p = 0,5924$), con la mungitura ($r = -0,117$; $p = 0,4860$), con la gestione dell'asciutta ($r = 0,110$; $p = 0,5110$), con l'incidenza delle problematiche di transizione ($r = -0,179$; $p = 0,2811$) e con il lattosio.

5. Discussione

In un'azienda zootecnica, il latte di massa è una fotografia che va ben oltre il suo valore commerciale: la composizione del latte racconta infatti di come le bovine stanno digerendo la razione, di come stanno attraverso il periodo del parto e di quanto l'ambiente in cui vivono le sostenga o le penalizzi. Il profilo degli acidi grassi del latte rappresenta, in questo senso, un potenziale indicatore dello stato metabolico e nutrizionale della bovina e può fornire informazioni utili per il monitoraggio delle condizioni della mandria. Alcuni studi della Cornell University, hanno dimostrato che la quota di acidi grassi De novo spiega da sola una parte rilevante della variabilità del grasso e della proteina vera del latte, al punto da poter proporre valori di riferimento associati a una composizione del latte favorevole: mandrie Holstein che superano 0,85 g di De novo per 100 g di latte tendono a mantenere un grasso superiore al 3,75% e una proteina vera superiore al 3,10% (Barbano, 2017; Barbano et al., 2018). Lo stesso gruppo di ricerca ha inoltre collegato concentrazioni più basse di De novo, in situazioni di sovraffollamento, a minore frequenza di distribuzione dell'unifeed e/o ridotto spazio in mangiatoia (Woolpert et al., 2016). Sottolineando come il profilo degli acidi grassi del latte possa riflettere, almeno in parte, le condizioni nutrizionali e gestionali che influenzano l'ambiente ruminale e l'ingestione. I lipidi nel latte bovino derivano da tre distinte vie metaboliche, ognuna di queste legata a specifici processi fisiologici dell'animale (Bauman and Griinari, 2003). Gli acidi grassi sintetizzati direttamente dal tessuto mammario sono i De novo, i quali comprendono gli acidi grassi a corta catena e a media catena (C4 : 0 – C14 : 0 e parte del C16 : 0). La sintesi dei De novo viene condizionata dalla funzionalità del rumine, dall'equilibrio della razione, dall'ingestione di sostanza e da fattori gestionali (Woolpert et al., 2016).

Un'ulteriore tipologia di acidi grassi riguarda i Preformed. Sono acidi grassi a lunga catena (> C16 : 0), la loro sintesi deriva dall'assorbimento dei lipidi provenienti dalla dieta o dalla mobilizzazione dei tessuti adiposi di riserva durante le fasi di bilancio energetico negativo (Benoit et al., 2024b).

L'ultimo gruppo riguarda gli acidi grassi Mixed (C16 : 0, C16 : 1), i quali rappresentano la quota intermedia proveniente sia da una neosintesi mammaria sia dal pool ematico circolante (Palmquist and Harvatine, 2020b).

Nel presente studio, non per tutti i profili degli acidi grassi sono state osservate delle correlazioni significative con gli indici aziendali.

Per quanto riguarda gli acidi grassi De novo non sono state osservate correlazioni significative. In particolare, per quanto riguarda i parametri produttivi, sono state evidenziate delle relazioni di entità molto debole e prive di significatività a livello statistico ($p > 0,05$ in tutti i casi). Tuttavia, è stato possibile osservare alcune tendenze e raggruppamenti di interesse pratico. Ad esempio, l'area in cui i legami sono più solidi è quella dell'efficienza riproduttiva. Si è osservata una tendenza negativa su tutti i principali indicatori, ovvero il tasso di concepimento ($r = -0,3135$, $p = 0,0553$), il tasso di gravidanza ($r = -0,2554$, $p = 0,1217$) e tasso di rilevamento dei calori ($r = -0,2285$, $p = 0,1676$). Oltre all'efficienza riproduttiva, si sono osservate delle deboli correlazioni positive nella parte di management e di sanità, in particolare per la mungitura ($r = 0,2429$, $p = 0,1417$) e la gestione delle mastiti ($r = 0,2328$, $p = 0,1596$). Per i dati produttivi, per i quali non ci sono state correlazioni significative a livello statistico. A differenza dei De novo, la frazione dei Mixed evidenzia una generale, anche se debole e non significativa, tendenza positiva verso le performance produttive. Nella produzione di latte (media annua) si osserva una correlazione positiva debole ($r = 0,140$, $p = 0,401$). Per quanto riguarda i titoli, si registrano delle correlazioni positive deboli a livello delle proteine ($r = 0,231$, $p = 0,163$) e del grasso ($r = 0,124$, $p = 0,460$), mentre per il lattosio sono assenti anche minime correlazioni. Anche per i dati riproduttivi, la frazione dei Mixed ribalta la tendenza negativa osservata per i De novo. Si registrano infatti tendenze positive deboli per il tasso di concepimento ($r = 0,262$, $p = 0,112$), per il tasso di gravidanza ($r = 0,216$, $p = 0,192$) e anche per il tasso di rilevamento dei calori ($r = 0,087$, $p = 0,604$), seppur quest'ultima sia molto debole.

Se prendiamo in considerazione il profilo dei Preformed, le correlazioni con i dati produttivi e riproduttivi non sono significative. La relazione tra Preformed e produzione media di latte annua risulta praticamente nulla e lievemente positiva ($r = 0,0569$, $p = 0,7344$). Anche gli indicatori relativi alla composizione del latte mostrano correlazioni molto deboli e non significative. La correlazione con il contenuto di proteine è negativa e molto debole ($r = -0,1066$, $p = 0,5241$), mentre quella con il grasso è praticamente inesistente ($r = -0,0271$, $p = 0,8716$). Analogamente avviene con il lattosio, il quale presenta una correlazione quasi nulla e lievemente positiva ($r = 0,0302$, $p = 0,8571$). Pertanto, non è possibile osservare un effetto evidente dei Preformed sui parametri produttivi. Per quanto riguarda i parametri riproduttivi,

le correlazioni con HDR, CR e PR sono anch'esse molto basse e non statisticamente significative. L'HDR presenta una correlazione positiva debole ($r = 0,1170$, $p = 0,4844$), mentre il CR mostra una correlazione negativa praticamente trascurabile ($r = -0,0509$, $p = 0,7614$). La correlazione con il PR invece è vicina al valore nullo ($r = 0,0020$, $p = 0,9906$). Nel complesso, è possibile dire che i risultati indicano l'assenza di un legame lineare rilevante tra il profilo dei Preformed e i parametri produttivi e riproduttivi delle aziende analizzate.

L'assenza di correlazioni significative per gli acidi grassi De novo va in contrasto con quanto riportato nello studio di (Woolpert et al. (2016), condotto su allevamenti commerciali del nord-est degli Stati Uniti, che ha evidenziato che una maggiore concentrazione di acidi grassi De novo nel latte di massa era associata a pratiche gestionali favorevoli, tra cui una minore densità di stabulazione e, in alcuni sistemi di allevamento, una maggiore frequenza di distribuzione dell'alimento. Risultati analoghi si sono verificati in indagini condotte in allevamenti lombardi nell'ambito di programmi di precision feeding, all'interno dei quali la percentuale di acidi grassi De novo era correlata positivamente alla disponibilità di spazio in mangiatoia e alla gestione della corsia di alimentazione. L'assenza di significatività per la correlazione con gli acidi grassi De novo rilevata nel presente studio non deve essere interpretata come assenza di effetto biologico, ma può trovare spiegazione nelle caratteristiche metodologiche del dataset. Deve essere, infatti, considerata la natura aggregata del dato (latte di massa) utilizzato come campione. La concentrazione di De novo e Preformed nella singola bovina è fortemente condizionata da diversi fattori individuali come i giorni di lattazione, il body condition score e il bilancio energetico individuale (Giannuzzi et al., 2022b).

A differenza dei De novo, i Preformed presentano un andamento temporale che ricalca la curva del bilancio energetico negativo, con picchi nei primissimi giorni post-parto dovuti all'elevata lipomolizzazione delle riserve di grasso a fronte della ridotta ingestione di alimento. Nel latte di massa, la produzione di latte delle vacche fresche viene diluita dalla quota maggioritaria di bovine a metà o a fine lattazione. Un'ulteriore motivazione per spiegare l'assenza di significatività può essere individuata nella potenza statistica e nell'ampiezza del campione. La limitata dimensione campionaria riduce la potenza statistica dello studio e rende più difficile identificare associazioni di entità moderata, aumentando il rischio di risultati non significativi anche in presenza di una possibile associazione biologica.

La tendenza osservata tra la quota di Preformed e la disponibilità di abbeveratoi per vacca, pur non raggiungendo la significatività statistica, è biologicamente plausibile, poiché una ridotta disponibilità di acqua può compromettere l'ingestione di sostanza secca e, indirettamente, l'equilibrio energetico dell'animale, favorendo la mobilitazione delle riserve lipidiche e un maggiore contributo degli acidi grassi preformati al grasso del latte. A differenza delle precedenti categorie di acidi grassi, nella categoria dei Mixed si sono osservate due correlazioni positive e statisticamente significative. La prima riguarda l'efficienza alimentare (kg di latte / kg di sostanza secca ingerita): $r = 0,3757$ e $p = 0,0201$. La seconda è l'incidenza di problematiche in fase di transizione: $r = 0,3770$ e $p = 0,0196$. L'associazione positiva osservata tra la frazione Mixed e l'efficienza alimentare suggerisce una possibile relazione tra questa componente del profilo lipidico e le performance alimentari aziendali (migliore efficienza di conversione della razione); tuttavia, considerata la duplice origine degli acidi grassi Mixed, tale associazione non consente di attribuire un significato fisiologico univoco all'aumento di questa frazione. L'associazione osservata con le problematiche di transizione può essere interpretata alla luce della duplice origine degli acidi grassi Mixed, in particolare del C16:0, che può derivare sia dalla sintesi mammaria, sia dall'apporto di acidi grassi Preformed sia dalla mobilitazione delle riserve corporee. Durante la fase di transizione, il bilancio energetico negativo porta a una maggiore mobilitazione delle riserve corporee (Piantoni et al., 2013). Tale risultato deve tuttavia essere interpretato con cautela, poiché, come già detto, la natura aggregata del dato non consente di stabilire un rapporto causale tra alterazioni della transizione e variazioni della frazione Mixed. Poiché la quota dei Mixed condivide sia la neosintesi mammaria sia la via ematica, la sua interpretazione biologica risulta fisiologicamente complessa e meno univoca rispetto alle altre frazioni lipidiche (Woolpert et al., 2016). Per questo motivo, il suo comportamento andrebbe letto insieme a quello delle altre due categorie, piuttosto che isolatamente.

L'analisi più informativa del presente studio riguarda la variabile CAT PROFILO, ottenuta categorizzando le combinazioni degli acidogrammi, che rappresenta il parametro con il maggior numero di associazioni statisticamente significative.

Nel complesso, i risultati ottenuti delineano un quadro nel quale la variabile CAT PROFILO sembra essere maggiormente associata alla qualità della gestione aziendale e sanitaria, che a singoli indicatori produttivi o riproduttivi. I valori migliori di CAT PROFILO, corrispondenti alle

migliori combinazioni dei profili di acidi grassi, risultano infatti associati soprattutto a una migliore gestione dei protocolli, delle mastiti e della vaccinazione, oltre che a condizioni più favorevoli di ventilazione, benessere e comfort. Parallelamente, si osserva una relazione positiva tra CAT PROFILO e la produzione media annua di latte e con l'HDR, suggerendo che una gestione complessivamente più strutturata possa accompagnarsi anche a migliori performance in alcuni ambiti produttivi e riproduttivi. Tale correlazione con la produzione media annua di latte ($r = 0,425$; $p = 0,0078$), pur risultando significativa, è però inferiore rispetto a quelle osservate per alcuni parametri gestionali e sanitari. Questo potrebbe indicare che CAT PROFILO non sia semplicemente espressione di una maggiore produttività, ma possa riflettere una condizione gestionale complessiva, nella quale gli aspetti produttivi sono integrati con quelli sanitari, preventivi e di benessere animale. Un dato da attenzionare riguarda invece il parametro cellule somatiche, che presenta una correlazione positiva, seppur debole-moderata, con CAT PROFILO ($r = 0,331$; $p = 0,0423$). Considerando che valori elevati di cellule somatiche sono generalmente associati a una maggiore problematicità sanitaria a livello mammario, tale associazione sembra in apparente contrasto con il quadro complessivo emerso dall'analisi. Questo risultato deve pertanto essere interpretato con cautela, l'associazione osservata potrebbe infatti essere influenzata da ulteriori fattori aziendali, dalla distribuzione dei dati nel campione o dalla presenza di variabili confondenti non considerate nell'analisi.

In sintesi, i risultati ottenuti e in particolare quelli ottenuti dall'analisi della variabile categorica CAT PROFILO, sono compatibili con l'ipotesi che alcune combinazioni del profilo lipidico possano essere indicative di condizioni gestionali meno favorevoli.

Quando la gestione sanitaria, ovvero il controllo delle mastiti, i protocolli vaccinali, e il comfort dell'ambiente di stabulazione, quindi la ventilazione, la riduzione dello stress termico e lo spazio a disposizione per ogni singolo capo sono carenti, la stabilità metabolica dell'animale e la funzionalità mammaria vengono compromesse. Il risultato ottenuto trova invece un interessante parallelismo con Franceschini e collaboratori (Franceschini et al., 2025), che hanno applicato un approccio di clustering gerarchico a oltre 770.000 campioni di latte di massa, identificando sette pattern del profilo degli acidi grassi associati a differenti condizioni di gestione e a potenziali criticità metaboliche. Tale approccio supporta l'interesse verso l'interpretazione combinata di più componenti del profilo lipidico, piuttosto che della

valutazione isolata delle singole frazioni. Nel dataset considerato in questo studio, la combinazione delle tre frazioni lipidiche in un'unica categoria sintetica sembra fornire informazioni complementari rispetto alla valutazione delle singole frazioni prese isolatamente, in linea con l'interesse recentemente mostrato dalla letteratura verso l'interpretazione integrata dei profili degli acidi grassi. È tuttavia importante sottolineare che le correlazioni ottenute per la variabile categorica non consentono di stabilire un rapporto di causalità. Le associazioni osservate indicano infatti che le variabili tendono a variare concordemente, ma non permettono di stabilire se un miglioramento degli aspetti gestionali determini direttamente un incremento di CAT PROFILO o se, al contrario, siano altri fattori aziendali a influenzare contemporaneamente le variabili considerate. Inoltre, la numerosità del campione, pari a 38 osservazioni, rappresenta un ulteriore elemento da considerare nell'interpretazione dei risultati. Le evidenze ottenute devono pertanto essere considerate come indicative delle tendenze presenti nel campione analizzato e potranno essere ulteriormente approfondite attraverso studi condotti su un numero maggiore di allevamenti e mediante analisi multivariate, capaci di tenere conto simultaneamente dei diversi fattori che possono influenzare il profilo aziendale. Un ulteriore elemento da considerare riguarda la natura sintetica della variabile CAT PROFILO. Il maggior numero di associazioni statisticamente significative osservato per questa variabile rispetto alle singole frazioni lipidiche non implica necessariamente una maggiore capacità biologica intrinseca di CAT PROFILO, ma potrebbe riflettere il fatto che la classificazione integra simultaneamente informazioni provenienti dalle diverse componenti del profilo degli acidi grassi. In questo senso, la variabile CAT PROFILO potrebbe rappresentare uno strumento descrittivo complementare, capace di evidenziare pattern complessivi che risultano meno evidenti quando le singole frazioni vengono analizzate separatamente.

Il monitoraggio nel tempo delle variazioni del profilo degli acidi grassi potrebbe inoltre offrire un'opportunità per identificare precocemente eventuali variazioni delle condizioni della mandria, aspetto che merita ulteriori approfondimenti mediante studi longitudinali.

6. Conclusioni

Nel complesso, il presente studio evidenzia come il profilo degli acidi grassi del latte di massa possa rappresentare uno strumento di interesse per il monitoraggio delle condizioni produttive, metaboliche, sanitarie e gestionali degli allevamenti da latte. In particolare, sebbene le singole frazioni De novo e Preformed non abbiano mostrato, nel campione analizzato, associazioni statisticamente significative con la maggior parte dei parametri aziendali considerati, verosimilmente anche in relazione alla natura aggregata del dato e alla limitata numerosità campionaria, la frazione Mixed e, soprattutto, l'indice sintetico CAT PROFILO hanno evidenziato alcune associazioni significative con alcuni dei parametri analizzati. L'integrazione delle diverse componenti del profilo lipidico sembra pertanto fornire informazioni complementari rispetto alla valutazione delle singole frazioni considerate isolatamente. I risultati ottenuti trovano alcuni punti di contatto con quanto riportato in letteratura da Woolpert et al. (2016, 2017) e, più recentemente, da Franceschini et al. (2025), pur con alcune differenze da tenere presenti. Gli studi di Woolpert et al. hanno evidenziato una relazione tra la concentrazione degli acidi grassi De novo nel latte di massa e alcune condizioni di gestione dell'allevamento; nel presente studio tale relazione non ha raggiunto la significatività statistica per la frazione De novo, una discrepanza già discussa e verosimilmente riconducibile alla natura aggregata del dato e alla ridotta numerosità campionaria. Il principio generale di un legame tra profilo lipidico e condizioni di gestione trova comunque riscontro nei risultati ottenuti per la frazione Mixed e, soprattutto, per la variabile CAT PROFILO. Più recentemente, Franceschini et al. (2025), attraverso un approccio di clustering applicato a un ampio database di campioni di latte di massa, hanno identificato differenti pattern del profilo lipidico associati a condizioni gestionali favorevoli o a potenziali criticità. Tali evidenze supportano l'interesse verso un'interpretazione integrata dell'acidogramma, nella quale la combinazione di più frazioni lipidiche possa contribuire a descrivere in maniera più articolata le condizioni dell'allevamento.

Alla luce dei risultati ottenuti nel presente studio e negli studi sopracitati, lo studio dell'acidogramma del latte può rappresentare un approccio di interesse nella valutazione del benessere delle bovine da latte. La possibilità di mettere in relazione le caratteristiche dell'acidogramma con aspetti legati alla gestione ambientale, nutrizionale e sanitaria dell'allevamento suggerisce infatti che questo strumento possa fornire informazioni

complementari sullo stato della mandria e sulle condizioni che possono influenzarne il benessere. Tuttavia, la natura correlazionale del presente studio non consente di stabilire rapporti causali tra le caratteristiche dell'acidogramma e i parametri aziendali analizzati, né di attribuire al profilo lipidico un valore diagnostico o predittivo definitivo.

In quest'ottica, l'acidogramma potrebbe assumere un ruolo non soltanto descrittivo, ma anche di supporto al monitoraggio e all'identificazione precoce di situazioni gestionali potenzialmente critiche. La possibilità di individuare variazioni del profilo lipidico nel tempo potrebbe infatti contribuire a evidenziare cambiamenti nelle condizioni della mandria prima che questi si traducano in alterazioni produttive o sanitarie evidenti. Il passaggio da un approccio prevalentemente reattivo a uno maggiormente preventivo rappresenta pertanto una prospettiva applicativa di particolare interesse, che dovrà tuttavia essere verificata attraverso studi longitudinali.

Lo studio dell'acidogramma si inserisce pertanto nella prospettiva di una gestione del benessere sempre più integrata, nella quale salute, nutrizione, ambiente e produzione vengono considerati come componenti strettamente interconnesse. Sebbene siano necessari ulteriori approfondimenti per definire con maggiore precisione il valore biologico dei singoli parametri e la loro capacità di identificare specifiche condizioni di rischio, i risultati ottenuti indicano che l'acidogramma del latte rappresenta uno strumento promettente per il monitoraggio del benessere delle bovine da latte e delle variazioni associate alla gestione aziendale.

Gli studi futuri dovranno prevedere un ampliamento della dimensione campionaria, al fine di aumentare la robustezza dei risultati e consentire una valutazione più approfondita delle relazioni tra acidogramma e condizioni di benessere. Sarà inoltre importante procedere alla raccolta e all'analisi di campioni individuali per singola bovina, associando ciascun campione alle specifiche caratteristiche dell'animale e ai principali fattori individuali che possono influenzare la composizione del latte. Particolare attenzione dovrà essere dedicata anche allo stadio di lattazione al momento del campionamento, così da poter considerare l'eventuale influenza delle diverse fasi della lattazione sui parametri dell'acidogramma. L'integrazione di queste informazioni permetterà di ottenere una lettura più precisa dei dati e di distinguere le variazioni legate alle caratteristiche individuali e fisiologiche dell'animale da quelle potenzialmente riconducibili alle condizioni di gestione, nutrizione, ambiente e stato sanitario.

Sarà inoltre fondamentale adottare un disegno longitudinale, attraverso campionamenti ripetuti nel tempo, per verificare se le variazioni dell'acidogramma possano effettivamente precedere e contribuire a identificare precocemente specifiche condizioni di rischio. Tali approfondimenti potranno consentire di definire con maggiore accuratezza il potenziale dell'acidogramma del latte come strumento di monitoraggio e supporto alla gestione preventiva del benessere delle bovine da latte.

7. Bibliografia

- Barbano, D.M., 2017. Automated on-farm milk component testing for precision management of feeding, reproduction, and health. *Large Dairy Herd Manag.* 3rd Ed DK Beede Ed Am. Dairy Sci. Assoc.
- Barbano, D.M., Dann, H., Melilli, C., Grant, R., 2018. Milk analysis for dairy herd management: Today and in the future, in: *College Administration and Conference Speakers & Staff.* p. 103.
- Bauchart, D., 1993. Lipid Absorption and Transport in Ruminants. *J. Dairy Sci.* 76, 3864–3881. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77728-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77728-0)
- Bauman, D.E., Griinari, J.M., 2003. Nutritional Regulation of Milk Fat Synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23, 203–227. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408>
- Benoit, A.C., dos Santos Neto, J.M., Lock, A.L., 2024a. Mammary gland responses to altering the supply of de novo fatty acid substrates and preformed fatty acids on the yields of milk components and milk fatty acids. *J. Dairy Sci.* 107, 10653–10666. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24982>
- Benoit, A.C., dos Santos Neto, J.M., Lock, A.L., 2024b. Mammary gland responses to altering the supply of de novo fatty acid substrates and preformed fatty acids on the yields of milk components and milk fatty acids. *J. Dairy Sci.* 107, 10653–10666. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24982>
- Bobbo, T., Penasa, M., Cassandro, M., 2020. Genetic Parameters of Bovine Milk Fatty Acid Profile, Yield, Composition, Total and Differential Somatic Cell Count. *Animals* 10, 2406. <https://doi.org/10.3390/ani10122406>
- Bosley, K.M., Hansen, L.B., Heins, B.J., 2026. Milk fatty acids of pure Holstein cows compared with Holstein, Montbéliarde, and Viking Red crossbred cows in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 109, 4248–4262. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-27641>
- Cabrera, V.E., 2014a. Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. *animal* 8, 211–221. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000512>
- Cabrera, V.E., 2014b. Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. *animal* 8, 211–221. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000512>
- Caixeta, L.S., Omontese, B.O., 2021. Monitoring and Improving the Metabolic Health of Dairy Cows during the Transition Period. *Animals* 11, 352. <https://doi.org/10.3390/ani11020352>

- Cecchinato, A., Macciotta, N.P.P., Mele, M., Tagliapietra, F., Schiavon, S., Bittante, G., Pegolo, S., 2019. Genetic and genomic analyses of latent variables related to the milk fatty acid profile, milk composition, and udder health in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102, 5254–5265. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15867>
- Contreras, G.A., Strieder-Barboza, C., Raphael, W., 2017. Adipose tissue lipolysis and remodeling during the transition period of dairy cows. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8, 41. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0174-4>
- Cook, N.B., 2020. *Symposium review*: The impact of management and facilities on cow culling rates. *J. Dairy Sci.* 103, 3846–3855. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17140>
- Cook, N.B., Nordlund, K.V., 2004. Behavioral needs of the transition cow and considerations for special needs facility design. *Vet. Clin. Food Anim. Pract.* 20, 495–520. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.011>
- Council, N.R., Resources, B. on A. and N., Nutrition, C. on A., Nutrition, S. on D.C., 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001*. National Academies Press.
- Cozma, A., Miere, D., Filip, L., Andrei, S., Banc, R., Loghin, F., 2013. A Review of the Metabolic Origins of Milk Fatty Acids. *Not. Sci. Biol.* 5, 270–274.
- De Marchi, M., Toffanin, V., Cassandro, M., Penasa, M., 2014. *Invited review*: Mid-infrared spectroscopy as phenotyping tool for milk traits¹. *J. Dairy Sci.* 97, 1171–1186. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6799>
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2004. Effect of Feeding Space on the Inter-Cow Distance, Aggression, and Feeding Behavior of Free-Stall Housed Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 87, 1432–1438. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73293-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73293-2)
- Drackley, J.K., 1999. Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259–2273. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3)
- Franceschini, S., Fastré, C., Nickmilder, C., Santschi, D.E., Warner, D., Bahadi, M., Bertozzi, C., Veselko, D., Dehareng, F., Gengler, N., Soyeurt, H., 2025. Detection of Dairy Herd Management Issues Using Fatty Acid Profiles Predicted by Mid-Infrared Spectrometry. *Animals* 15, 1575. <https://doi.org/10.3390/ani15111575>
- Giannuzzi, D., Toscano, A., Pegolo, S., Gallo, L., Tagliapietra, F., Mele, M., Minuti, A., Trevisi, E., Ajmone Marsan, P., Schiavon, S., Cecchinato, A., 2022a. Associations between Milk Fatty Acid

Profile and Body Condition Score, Ultrasound Hepatic Measurements and Blood Metabolites in Holstein Cows. *Animals* 12, 1202. <https://doi.org/10.3390/ani12091202>

Giannuzzi, D., Toscano, A., Pegolo, S., Gallo, L., Tagliapietra, F., Mele, M., Minuti, A., Trevisi, E., Ajmone Marsan, P., Schiavon, S., Cecchinato, A., 2022b. Associations between Milk Fatty Acid Profile and Body Condition Score, Ultrasound Hepatic Measurements and Blood Metabolites in Holstein Cows. *Animals* 12, 1202. <https://doi.org/10.3390/ani12091202>

Goldansaz, S.A., Guo, A.C., Sajed, T., Steele, M.A., Plastow, G.S., Wishart, D.S., 2017. Livestock metabolomics and the livestock metabolome: A systematic review. *PLOS ONE* 12, e0177675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177675>

Graef, G.M., Kerwin, A.L., Ferro, L.N., Ordaz-Puga, S., Ryan, C.M., Westhoff, T.A., Barbano, D.M., Glosson, K.M., Zanzalari, K.P., Chapman, J.D., 2021. Effect of prepartum DCAD strategy and level of dietary calcium on postpartum calcium status and performance of multiparous holstein cows.

Gross, J.J., Bruckmaier, R.M., 2019. Review: Metabolic challenges in lactating dairy cows and their assessment via established and novel indicators in milk. *animal* 13, s75–s81. <https://doi.org/10.1017/S175173111800349X>

Grummer, R.R., 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J. Anim. Sci.* 73, 2820–2833. <https://doi.org/10.2527/1995.7392820x>

Grummer, R.R., 1993. Etiology of Lipid-Related Metabolic Disorders in Periparturient Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76, 3882–3896. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77729-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77729-2)

Halasa, T., Huijps, K., Østerås, O., Hogeveen, H., 2007. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Vet. Q.* 29, 18–31. <https://doi.org/10.1080/01652176.2007.9695224>

Hogeveen, H., Huijps, K., Lam, T., 2011. Economic aspects of mastitis: New developments. *N. Z. Vet. J.* 59, 16–23. <https://doi.org/10.1080/00480169.2011.547165>

Hogeveen, H., Ouweltjes, W., de Koning, C.J.A.M., Stelwagen, K., 2001. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livest. Prod. Sci., Interaction between Research and Innovation* 72, 157–167. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00276-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00276-7)

Jensen, H.B., Poulsen, N.A., Andersen, K.K., Hammershøj, M., Poulsen, H.D., Larsen, L.B., 2012. Distinct composition of bovine milk from Jersey and Holstein-Friesian cows with good, poor,

or noncoagulation properties as reflected in protein genetic variants and isoforms. *J. Dairy Sci.* 95, 6905–6917. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5675>

Jensen, R.G., 2002. The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000. *J. Dairy Sci.* 85, 295–350. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74079-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74079-4)

Kay, J.K., Weber, W.J., Moore, C.E., Bauman, D.E., Hansen, L.B., Chester-Jones, H., Crooker, B.A., Baumgard, L.H., 2005. Effects of Week of Lactation and Genetic Selection for Milk Yield on Milk Fatty Acid Composition in Holstein Cows*. *J. Dairy Sci.* 88, 3886–3893. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73074-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73074-5)

Kelly, M.L., Berry, J.R., Dwyer, D.A., Griinari, J.M., Chouinard, P.Y., Van Amburgh, M.E., Bauman, D.E., 1998. Dietary Fatty Acid Sources Affect Conjugated Linoleic Acid Concentrations in Milk from Lactating Dairy Cows¹²³. *J. Nutr.* 128, 881–885. <https://doi.org/10.1093/jn/128.5.881>

Leblanc, S., 2010. Monitoring Metabolic Health of Dairy Cattle in the Transition Period. *J. Reprod. Dev.* 56, S29–S35. <https://doi.org/10.1262/jrd.1056S29>

McArt, J.A.A., Nydam, D.V., Overton, M.W., 2015. Hyperketonemia in early lactation dairy cattle: A deterministic estimate of component and total cost per case. *J. Dairy Sci.* 98, 2043–2054. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8740>

Mele, M., Macciotta, N.P.P., Cecchinato, A., Conte, G., Schiavon, S., Bittante, G., 2016. Multivariate factor analysis of detailed milk fatty acid profile: Effects of dairy system, feeding, herd, parity, and stage of lactation. *J. Dairy Sci.* 99, 9820–9833. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11451>

Miglior, F., Sewalem, A., Jamrozik, J., Lefebvre, D.M., Moore, R.K., 2006. Analysis of Milk Urea Nitrogen and Lactose and Their Effect on Longevity in Canadian Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 89, 4886–4894. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72537-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72537-1)

Palmquist, D.L., Harvatine, K.J., 2020a. Origin of Fatty Acids and Influence of Nutritional Factors on Milk Fat, in: *Advanced Dairy Chemistry*. Springer International Publishing, pp. 33–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48686-0_2

Palmquist, D.L., Harvatine, K.J., 2020b. Origin of Fatty Acids and Influence of Nutritional Factors on Milk Fat, in: McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., O’Mahony, J.A. (Eds.), *Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*. Springer International Publishing, Cham, pp. 33–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48686-0_2

Palombo, V., Conte, G., Mele, M., Macciotta, N.P.P., Stefanon, B., Marsan, P.A., D'Andrea, M., 2020. Use of multivariate factor analysis of detailed milk fatty acid profile to perform a genome-wide association study in Italian Simmental and Italian Holstein. *J. Appl. Genet.* 61, 451–463. <https://doi.org/10.1007/s13353-020-00568-2>

Piantoni, P., Lock, A.L., Allen, M.S., 2013. Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 96, 7143–7154. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6680>

Pryce, J.E., Coffey, M.P., Simm, G., 2001. The Relationship Between Body Condition Score and Reproductive Performance. *J. Dairy Sci.* 84, 1508–1515. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70184-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70184-1)

Rudolph, M.C., Monks, J., Burns, V., Phistry, M., Marians, R., Foote, M.R., Bauman, D.E., Anderson, S.M., Neville, M.C., 2010. Sterol regulatory element binding protein and dietary lipid regulation of fatty acid synthesis in the mammary epithelium. *Am. J. Physiol. - Endocrinol. Metab.* 299, E918–E927. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00376.2010>

Shahbazkia, H.R., Aminlari, M., Tavasoli, A., Mohamadnia, A.R., Cravador, A., 2010. Associations among milk production traits and glycosylated haemoglobin in dairy cattle; importance of lactose synthesis potential. *Vet. Res. Commun.* 34, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11259-009-9324-2>

Siegel, S., 1957. Nonparametric Statistics. *Am. Stat.* 11, 13–19. <https://doi.org/10.1080/00031305.1957.10501091>

Sordillo, L.M., 2016. Nutritional strategies to optimize dairy cattle immunity1. *J. Dairy Sci.* 99, 4967–4982. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10354>

St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schnitkey, G., 2003. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries1. *J. Dairy Sci., Electronic Supplement* 86, E52–E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)

Taylor, V.J., Beever, D.E., Wathes, D.C., 2004. Physiological Adaptations to Milk Production that Affect the Fertility of High Yielding Dairy Cows. *BSAP Occas. Publ.* 29, 37–71. <https://doi.org/10.1017/S0263967X00040040>

von Keyserlingk, M.A.G., Rushen, J., de Passillé, A.M., Weary, D.M., 2009. *Invited review*: The welfare of dairy cattle—Key concepts and the role of science. *J. Dairy Sci.* 92, 4101–4111. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2326>

- Wankhade, P.R., Manimaran, A., Kumaresan, A., Jeyakumar, S., Ramesha, K.P., Sejian, V., Rajendran, D., Varghese, M.R., 2017. Metabolic and immunological changes in transition dairy cows: A review. *Vet. World* 10, 1367–1377. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1367-1377>
- Wathes, D.C., Fenwick, M., Cheng, Z., Bourne, N., Llewellyn, S., Morris, D.G., Kenny, D., Murphy, J., Fitzpatrick, R., 2007. Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology, Proceedings of the International Conference on Farm Animal Reproduction* 68, S232–S241. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.006>
- White, H.M., 2015. The Role of TCA Cycle Anaplerosis in Ketosis and Fatty Liver in Periparturient Dairy Cows. *Animals* 5, 793–802. <https://doi.org/10.3390/ani5030384>
- Woolpert, M.E., Dann, H.M., Cotanch, K.W., Melilli, C., Chase, L.E., Grant, R.J., Barbano, D.M., 2016. Management, nutrition, and lactation performance are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on northeastern US dairy farms. *J. Dairy Sci.* 99, 8486–8497. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10998>