



Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie

Corso di Laurea Magistrale in Produzioni Animali Innovative e Sostenibili

# **Impatto di sistemi AMS e strumenti di zootecnia di precisione sulla gestione della mastite negli allevamenti di bovini da latte**

*Impact of AMS and Precision Livestock Farming on mastitis management in dairy cattle herds*

***Relatore:***

*Malacarne Massimo*

***Correlatore:***

*Soli Federica Manila*

***Laureando:***

*Verna Mattia*

***Anno Accademico 2022-2023***

# INDICE

<b>INDICE</b>	<b>2</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>3</b>
<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>6</b>
1.1 LA MASTITE BOVINA	6
1.1.1 Fattori collegati alla mastite	7
1.1.2 Effetti negativi sulla produzione lattiero-casearia	13
1.1.3 Mastite e benessere animale	15
1.1.4 Metodi di rilevazione della mastite in allevamento	17
1.2 LA ZOOTECNIA DI PRECISIONE	21
1.2.1 GEA DairyRobot R9500	24
1.2.2 GEA Cell counter DairyMilk M6850	28
1.2.3 Il software di gestione mandria GEA DairyPlan	30
<b>2. SCOPO</b>	<b>37</b>
<b>3. MATERIALI E METODI</b>	<b>38</b>
3.1 DESCRIZIONE DELL'AZIENDA	38
3.2 RACCOLTA DATI	40
3.2.1 Protocollo	41
3.3 ELABORAZIONE DEI DATI	44
3.4 ANALISI STATISTICA	45
<b>4. RISULTATI</b>	<b>46</b>
<b>5. DISCUSSIONE</b>	<b>48</b>
<b>6. CONCLUSIONI</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>53</b>

## ***ABSTRACT***

*With the increased specialization of livestock farms observed in recent decades, efforts have been made to maximize milk production and the reduction of costs associated with farm management. However, a worsening of reproductive parameters (longer calving-conception period, reduction of average lactations per cow and increased susceptibility to diseases) has been observed. Particularly for infectious diseases such as mastitis, there has been an increase in the frequency of this disease condition in high-producing cows over the years. Mastitis control in the dairy sector is crucial not only for farm economics, but also for animals. Proper animal management and new technologies (Precision Livestock Farming), can help to control and identify more mastitis cases. GEA Farming Technologies has developed the DairyMilk M6850 cell count sensor, which allows the number of somatic cells in milk to be assessed at quarter level. Our study aims to evaluate the reliability of this system by comparing the data processed by the sensor with those obtained through the use of the California Mastitis Test (CMT). The protocol used for data collection involved quarter milk sampling all animals at "day 0". CMT was done on the cows with the exception of cows in the colostrum stage. Subsequently, only cows showing at least one cell alarm on the GEA software were sampled with CMT during the experimental period. By analyzing the collected data related to cell alarms and comparing them with the CMT results, it was shown that the GEA DairyMilk M6850 has very good specificity (92%) and fair sensitivity (61.8%). In addition, conductivity data were analyzed by analysis of variance. This analysis confirms the ability of this parameter to recognize milk produced by a healthy quarter (CMT category N) from milk produced by mastitic one (CMT categories T, 1, 2 and 3). However, the system fails to differentiate the categories of CMT T and 1. To improve this value, further experimental studies could be carried out on the GEA sensor by going to modify the data collection protocol and make it more accurate. In addition, the protocol used could be extended to more farms at the same time so that the reliability of this instrument could be evaluated in different realities. This could also help us to understand the different impact of the sensor on realities that use different management methods and thus understand whether there are types of farms that are more suitable for implementing a system such as the GEA DairyMilk M6850.*

## PREMESSA

Nel corso dei decenni, gli allevamenti di bovine da latte in Italia hanno subito numerosi cambiamenti sia dal punto di vista gestionale che produttivo e riproduttivo. Il numero degli allevamenti è diminuito considerevolmente a differenza del numero totale di capi allevati, rimasto più o meno invariato. Ciò è dovuto ad una specializzazione delle aziende, che puntano ad una maggiore efficienza produttiva delle bovine. Questo cambiamento è accompagnato dall'innovazione tecnologica del settore zootecnico e dalla maggiore importanza data alla selezione genetica [Figura 1].

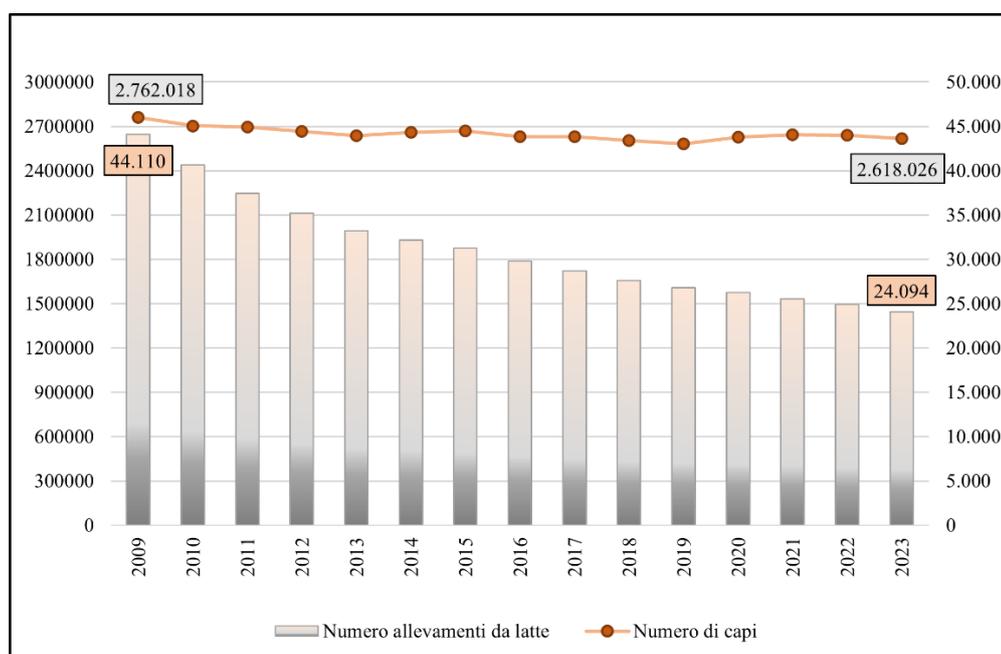


Figura 1 - Andamento del numero di allevamenti e capi bovini in Italia (rielaborato - Fonte: BDN).

Gli obiettivi sono principalmente legati alla massimizzazione della produzione di latte e alla riduzione dei costi fissi associati alla gestione; aspetti che rappresentano due delle voci più rilevanti nel bilancio aziendale. L'altra faccia della medaglia però, mostra un peggioramento dei parametri riproduttivi che non può essere sottovalutato. Dal 1970 ad oggi, sono variati molti parametri, come ad esempio l'allungamento del periodo parto-concepimento, la riduzione del numero di lattazioni medie per capo e la maggiore suscettibilità a stressor ambientali e patologie ad essi legate. In particolar modo per quanto riguarda patologie di origine infettiva come la mastite, si è assistito negli anni ad un aumento della frequenza di questa condizione patologica

nelle bovine ad alta produzione. Il controllo della mastite nel settore lattiero-caseario ha un'importanza cruciale non solo per l'economia delle aziende, ma anche per gli animali. Questa patologia, infatti, presenta numerose criticità quali il drastico calo delle produzioni, la diminuzione della qualità del latte unitamente ad una alterazione delle sue componenti, la riduzione del benessere animale delle bovine e, di conseguenza, l'aumento dei costi veterinari. In quest'ottica, la corretta gestione degli animali e l'utilizzo di nuove tecnologie (Precision Livestock Farming), può aiutare a controllare e/o a identificare precocemente un maggior numero di casi di mastite nelle aziende. Tra le numerose possibilità fornite agli allevatori, GEA Farming Technologies ha messo a punto il sensore conta cellule DairyMilk M6850, che consente di valutare il numero di cellule somatiche presenti nel latte appena munto e che dunque può aiutare ad individuare precocemente casi di mastite. Seppure si tratta di una tecnologia ancora poco diffusa sul territorio nazionale, è senza dubbio una valida scelta per le aziende che vogliono controllare i fenomeni mastitici. Con questo elaborato ci si pone l'obiettivo di valutare l'affidabilità di questo sistema, confrontando i dati elaborati dal sensore con quelli ottenuti tramite l'utilizzo del *California Mastitis Test (CMT)*.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 LA MASTITE BOVINA

La mastite è una delle malattie più comuni e diffuse che colpiscono il settore lattiero-caseario (Hussain R, 2012). Si tratta di un'inflammation a carico dell'apparato del tessuto mammario che solitamente si sviluppa sotto forma di risposta immunitaria nei confronti di un'invasione batterica del canale del capezzolo, ma anche come conseguenza di lesioni chimiche, meccaniche o da calore a carico della mammella. Essa può essere classificata in due tipologie principali: mastite clinica e mastite subclinica. La mastite clinica può poi essere ulteriormente suddivisa in mastite peracuta, acuta e subacuta a seconda della gravità della sintomatologia (Hurley & Theil, 2011). La gravità della mastite clinica è variabile e nella maggior parte dei casi, essa si presenta in forma lieve [*Tabella 1*].

Un caso di mastite clinica è di facile riconoscimento. Tra i sintomi troviamo arrossamento e infiammazione locale, dolore al tatto, perdita di appetito, aumento della temperatura corporea, riduzione della produzione di latte e cambiamenti nella sua composizione (De Vliegher & Sarne, 2012). La mastite subclinica invece, non comporta alcun cambiamento macroscopico evidenziabile della ghiandola mammaria e del latte e per tale motivo, risulta difficile individuarla in maniera precoce. Tra gli indicatori di mastite subclinica possiamo trovare l'aumento della popolazione batterica presente nel latte, la diminuzione della produzione di latte e il cambiamento della composizione e della qualità del latte (Bian et al., 2014). L'individuazione precoce della mastite subclinica è un tassello fondamentale per l'attuazione di strategie di controllo e gestione della mastite in allevamento (Hoque MN, 2015). La diagnosi di laboratorio è necessaria per l'isolamento e l'identificazione del patogeno coinvolto (Madouasse A, 2010). Un buon indicatore per l'individuazione della mastite subclinica è senza dubbio la conta delle cellule somatiche (SCC) – ovvero il numero di cellule somatiche per millilitro di latte – intesa come un'approssimazione della concentrazione di leucociti nel latte. Quando si instaura un'infezione intramammaria (IMI) il numero di leucociti per millilitro di latte (SCC) aumenta (Peter D. Constable, 2017). C'è un richiamo dal circolo a causa dal processo infiammatorio innescato dall'infezione. Si assiste tipicamente ad un aumento dei neutrofili. La SCC del latte è utilizzata come indicatore dello stato di salute della mammella poiché riflette la risposta infiammatoria ed è quindi un ottimo indizio della presenza di una IMI.

Tabella 1 - Frequenza e gravità dei casi di mastite (Ruegg, 2012)

Frequenza dei casi di mastite clinica	
Gravità della mastite	Casi di mastite (%)
Lieve	60 - 90
Moderata	10 - 30
Grave	5 - 20

Le mastiti possono poi essere suddivise in ascendenti e discendenti. Le prime sono sicuramente le più frequenti e sono causate da batteri che riescono a risalire nel canale del capezzolo e ad infettare il parenchima mammario. Le mastiti discendenti invece, sono causate dalla penetrazione nel parenchima mammario da parte di agenti patogeni provenienti dal circolo sistemico. Dunque, questa tipologia di mastite è conseguenza di una grave infezione sistemica ed è ben più rara rispetto alla tipologia ascendente.

### 1.1.1 Fattori collegati alla mastite

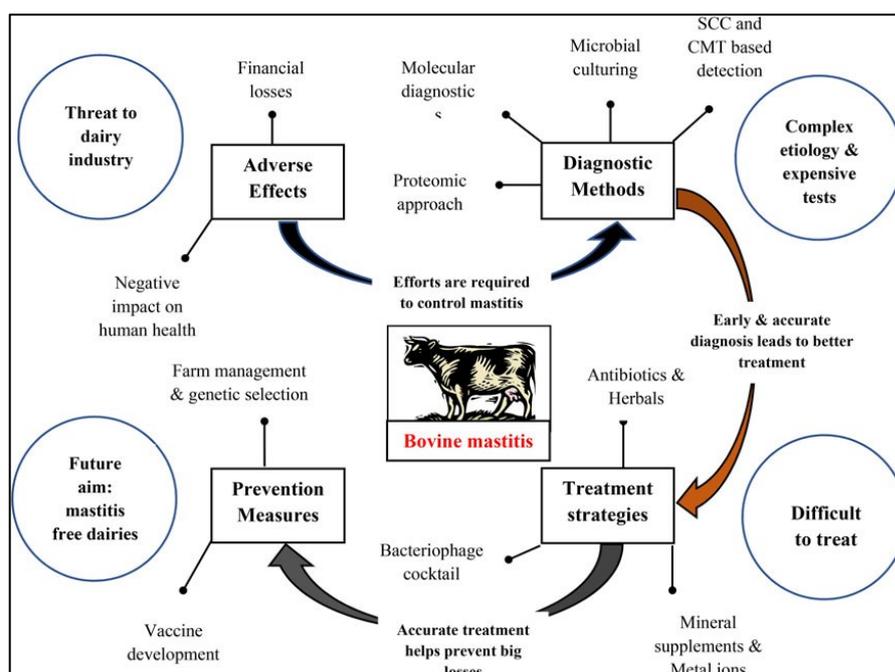


Figura 2 - Panoramica dei fattori collegati alla mastite (Aqeela Ashraf, 2019)

La mastite è una patologia infettiva multifattoriale legata a caratteristiche dell'animale quali razza, stadio di lattazione (vedi 1.1.2), livello produttivo, caratteristiche morfologiche e

alle condizioni di allevamento come igiene dell'allevamento, condizioni e manutenzione della mungitrice, corretta esecuzione della mungitura (Ballarini, 1994). Questi fattori influenzano direttamente o indirettamente una serie di parametri, tra cui ci sono sicuramente la produzione di latte e la sua composizione (*vedi 1.1.2*), ma anche parametri riproduttivi come l'intervallo parto-concepimento e il tasso di concepimento (Ahmadzadeha, 2009).

Inoltre, con il passare degli anni, assumono sempre più importanza i temi legati all'impatto ambientale e alla sostenibilità dell'allevamento bovino; si fa riferimento ovviamente alla produzione di gas a effetto serra (GHG) da parte degli animali. Durante i processi di digestione, i bovini producono ed emettono metano, anidride carbonica e ossido nitroso, che sono tra i più importanti GHG. La produzione di gas serra da parte dei bovini può variare a seconda di fattori come l'età, la razza e l'alimentazione. Tra questi fattori però, prende posto anche la mastite. Infatti, i risultati di uno studio mostrano un aumento medio della produzione di GHG in vacche con mastite clinica pari a 57,5 kg CO<sub>2</sub> eq/t FPCM (6,2%) rispetto alle vacche senza mastite clinica (Mostert P. F., 2019). Questo studio ed i suoi risultati, non fanno altro che sottolineare l'importanza della mastite all'interno di un'azienda di bovini da latte. L'individuazione precoce dei casi di mastite è fondamentale, dunque, non solo per evitare un calo nelle performance produttive e riproduttive, ma anche per contrastare l'impatto ambientale [Fig. 3].

*Tabella 2 - Emissioni medie di GHG per tonnellate di latte corretto per grasso e proteine, differenza media in termini di produzione di mangime, metano enterico, uso del suolo, oneri evitati e allevamento di manze extra (Mostert P. F., 2019).*

	No CM	CM	Difference
CO <sub>2</sub> <sup>1</sup>			
Feed production	192.8	199.3	6.5
LULuc	65.8	68.0	2.2
CH <sub>4</sub> <sup>1</sup>			
Feed production	2.7	2.8	0.1
Enteric fermentation	418.3	432.4	14.1
Manure	44.4	45.3	1.0
N <sub>2</sub> O <sup>1</sup>			
Feed production	143.7	148.6	4.9
Manure	44.8	46.6	1.8
Total before correction	912.4	943.0	30.6
Avoided burden <sup>2</sup>	-9.6	-12.0	-2.4
Rearing extra heifers <sup>3</sup>	18.6	48.0	29.3
Total after correction	921.5	979.0	57.5

Considerando ciò che è stato affermato fin ora, risulta necessario capire quali sono altri fattori e parametri collegati alla mastite che possono aiutarci nell'individuazione precoce di

questa patologia. Tra questi troviamo la conta delle cellule somatiche (SCC) e la conducibilità elettrica del latte. Per quanto riguarda le cellule somatiche, il loro andamento durante le fasi della lattazione è variabile. Nelle vacche in lattazione che non presentano mastite clinica o subclinica, la SCC è elevata subito dopo il parto. Successivamente diminuisce fino ad un minimo che si raggiunge attorno ai 50 giorni di lattazione (DIM) e aumentava nuovamente in modo progressivo verso la fine della lattazione (Y. de Haas, 2002). Per gli animali con mastite clinica (MC) e mastite subclinica (MSC), l'andamento delle cellule somatiche varia a seconda del microrganismo patogeno coinvolto. Inoltre, c'è una differenza tra manze e vacche pluripare, nelle quali i valori di SCC sono molto più elevati.

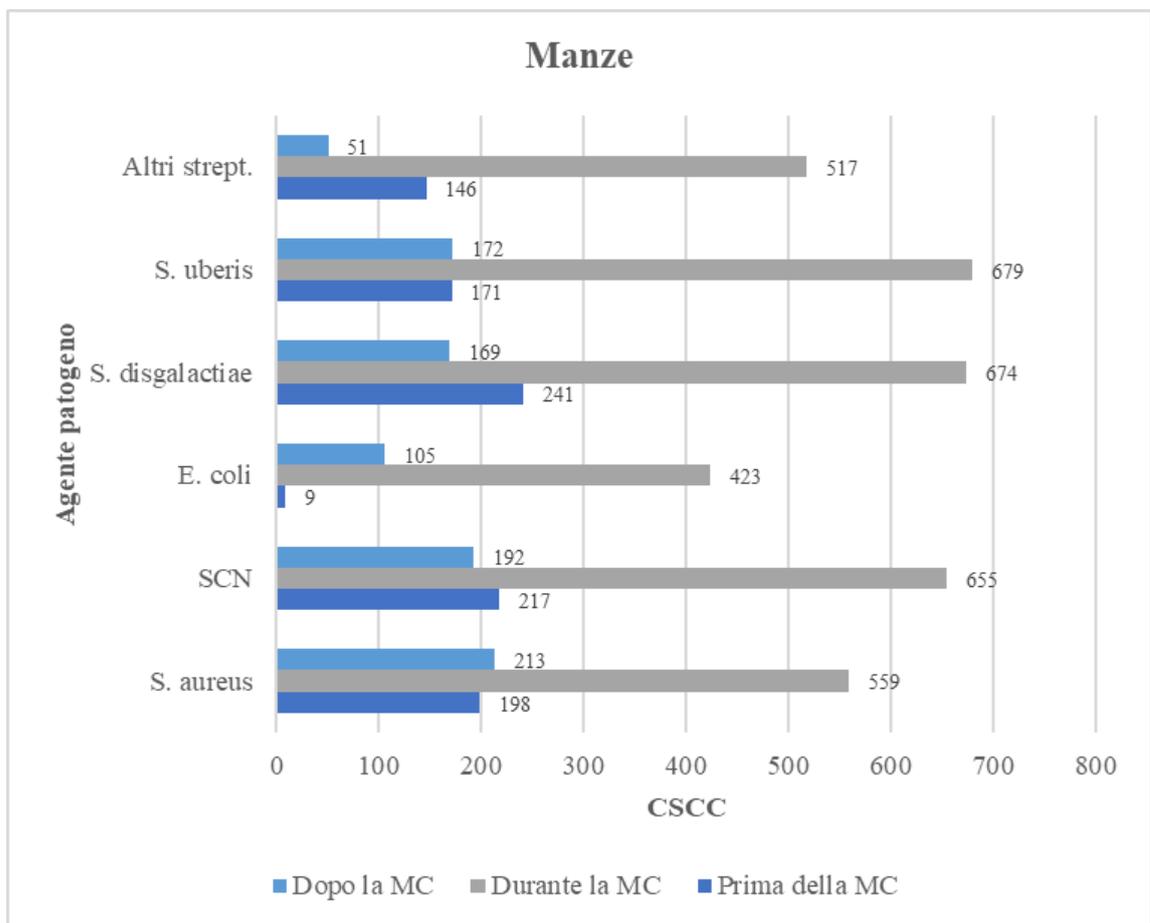


Figura 3 - Stima dei valori di SCC corretti da 150 a 21 gg prima di un caso di MC, 20 giorni prima e 20 giorni dopo un caso di MC e da 21 a 250 gg dopo un caso di MC nelle manze. Rielaborato da: (Y. de Haas, 2002)

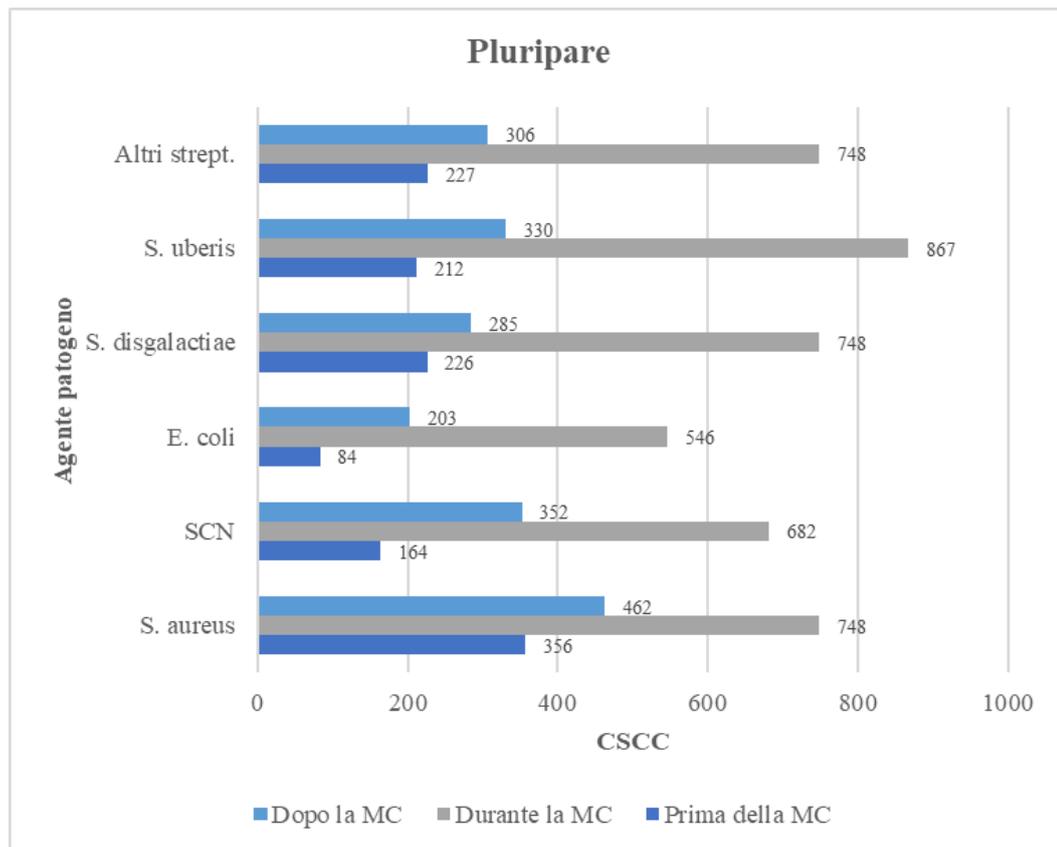


Figura 4 - Stima dei valori di SCC corretti da 150 a 21 gg prima di un caso di MC, 20 giorni prima e 20 giorni dopo un caso di MC e da 21 a 250 gg dopo un caso di MC nelle pluripare. Rielaborato da: (Y. de Haas, 2002)

Come detto in precedenza, oltre alla conta delle cellule somatiche, anche la conducibilità elettrica del latte rappresenta parametro importante da tenere sotto controllo. Essa è una misura della capacità del latte di condurre l'elettricità. Questa capacità è influenzata dalla presenza di ioni nel latte, che possono agire come conduttori di corrente elettrica. È una misura utilizzata nell'industria lattiero-casearia come indicatore della qualità del latte e della salute dell'animale. Quindi, anche lo scostamento della conducibilità elettrica del latte può essere utilizzato per prevedere casi di mastite (Milner, 1997).

La conducibilità elettrica di un latte a 25°C è compresa generalmente tra 4,0 e 5,5 mS/cm (Nielen M., 1992) ma, in presenza di una infiammazione della mammella, la composizione del latte cambia. Di conseguenza, la concentrazione di Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> presenti nel latte aumenta e la concentrazione di K<sup>+</sup> nel sangue diminuisce (Ogola, 2007). L'aumento della conducibilità elettrica è legato anche ai livelli di cellule somatiche presenti nel latte, come dimostrato anche da uno studio condotto sulla bufala mediterranea italiana, ed è anche il motivo

per il quale questo parametro può essere utilizzato come indicatore per l'individuazione della mastite bovina (Matera R., 2022).

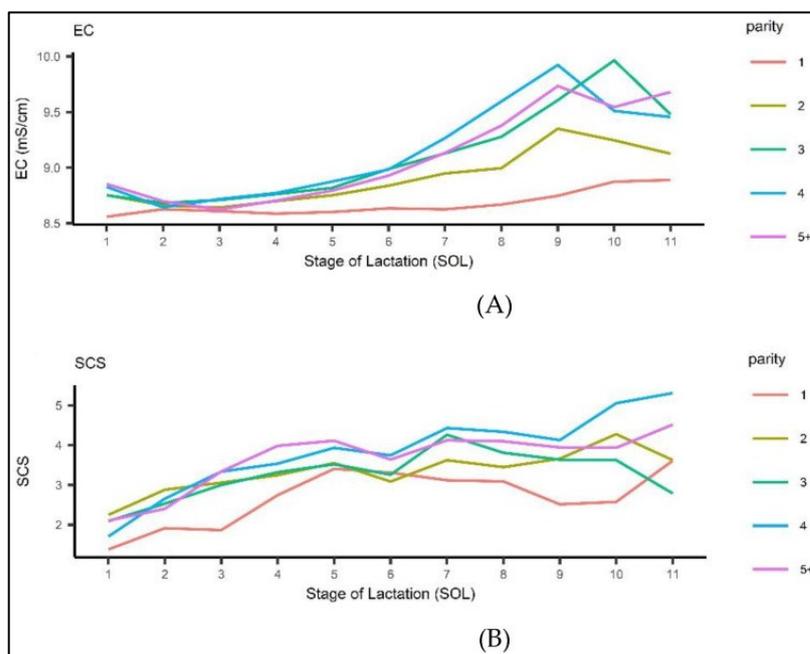


Figura 5 - Tendenza osservata in termini di conducibilità (A) e SCC (B) nella *Bufala mediterranea italiana* in base allo stadio di lattazione e al numero di parti (Matera R., 2022).

La conducibilità elettrica del latte, così come il quantitativo di cellule somatiche presenti nel latte, è collegata inevitabilmente anche alle condizioni del capezzolo e alla salute della mammella. La cura di capezzoli e mammella è fondamentale per avere un latte di qualità maggiore e per ridurre l'incidenza delle mastiti. Il canale del capezzolo è la prima linea di difesa della ghiandola mammaria. La cheratina che riveste il canale costituisce una barriera fisica e chimica contro la penetrazione dei batteri (Capuco, 1992). Per evitare o contenere l'ingresso di patogeni attraverso il canale del capezzolo è importante mantenere il capezzolo e le superfici a contatto con esso ben pulite. Un'igiene non sufficientemente accurata della sala di mungitura o delle cuccette può essere causa di infezione. Un impianto di mungitura che non viene sottoposto a pulizia e manutenzione adeguate è una delle fonti principali di infezione del canale del capezzolo.



*Figura 6 - Scarsa igiene degli ambienti di stalla (granlatte.it, 2019)*



*Figura 7 - Corretta igiene degli ambienti di stalla (granlatte.it, 2019)*

Quando l'igiene e la pulizia non sono ottimali, i batteri presenti nell'ambiente possono penetrare nel canale del capezzolo. Se l'infezione non viene eliminata tempestivamente, la carica batterica all'interno della ghiandola mammaria aumenta fino a danneggiare l'epitelio. Se l'infezione persiste, il numero di cellule somatiche nel latte aumenta e, contemporaneamente, il danno tissutale si aggrava. Gli alveoli della ghiandola iniziano a perdere la loro integrità strutturale e la barriera sangue-latte viene violata (Zhao X., 2008). In questa fase, il liquido extracellulare riesce a penetrare nella ghiandola e si mescola al latte. Iniziano a verificarsi delle modificazioni visibili nel latte e nella mammella. Questi possono includere gonfiore esterno, arrossamento della ghiandola, coagulazione e acquosità del latte. Per definizione, questo è l'inizio dei sintomi clinici (Zhao X., 2008).

### ***1.1.2 Effetti negativi sulla produzione lattiero-casearia***

La mastite è considerata la malattia più importante nel settore lattiero-caseario a livello mondiale (Hogeveen H, 2011). Gli allevatori ritengono che sia una delle ragioni principali della fluttuazione economica delle aziende e che essa possa mettere a rischio l'economia di intere nazioni (Pol & Ruegg, 2007). Le maggiori preoccupazioni dell'industria lattiero-casearia mondiale nei confronti della mastite sono legate alla sua grande diffusione e al sempre maggiore aumento dei costi per contrastarla (Seegers H, 2003). La riduzione della produzione di latte dovuta alla mastite comporta notevoli perdite finanziarie. Il calo della produzione di latte, inoltre, non è legato strettamente ad un singolo agente causale, ma dipende da una combinazione di fattori sia legati all'animale, sia all'ambiente in cui esso vive. L'entità della risposta infiammatoria dipende *in primis* dall'agente patogeno invadente e poi da fattori legati all'ospite come lo stadio di lattazione, l'età, lo stato immunitario della vacca, la genetica e lo stato nutrizionale (Harmon, 1994).

Come detto, può esserci una variabilità in termini di gravità e di risposta immunitaria legata all'agente patogeno in gioco. In un recente studio, le perdite finanziarie sono state confrontate per diversi agenti causali e si è concluso che le perdite non erano le stesse per tutti i patogeni (Heikkilä AM, 2018). *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* hanno causato maggiori danni in termini di riduzione della produzione di latte rispetto ad altri agenti patogeni. Patogeni minori, come il *Corynebacterium bovis* causano anch'essi effetti che non dovrebbero essere ignorati. In generale, la riduzione della produzione di latte in caso di mastite è dovuta al tipo di patogeno, allo stadio di lattazione, al momento dell'insorgenza della mastite e alla gravità dell'infezione (Heikkilä AM, 2018). È stato osservato che l'impatto della mastite può variare a seconda della fase della lattazione in cui si trova la vacca (Lescourret F, 1994). Nello studio di Lescourret, si nota che nei primi giorni di lattazione circa un terzo delle bovine analizzate non va incontro ad un marcato decremento della produzione di latte, mentre un terzo di bovine hanno un calo della produzione maggiore. Inoltre, circa il 7% dei casi di mastite analizzati è stato seguito dalla messa in asciutta dell'animale o dall'abbattimento dello stesso (*Tab. 2*) (Lescourret F, 1994).

*Tabella 3 - Caratteristiche dei quattro modelli di risposta alla perdita di produzione di latte legata alla mastite all'inizio della lattazione. A = nessuna risposta, B = diminuzione della produzione con ritorno ai valori di controllo dopo 5 settimane dalla mastite, C = diminuzione della produzione per >5 settimane e D = asciutta o abbattimento. (Lescourret, 1994)*

Response pattern <sup>1</sup>	A	B	C	D	All
<b>Cases</b>					
no.	89	54	93	19	255
%	35	21	36	7	100
Initial production, kg/d	19.0 <sup>a</sup>	21.8 <sup>b</sup>	22.2 <sup>b</sup>	19.5 <sup>ab</sup>	20.8
<b>Mastitis onset, % of rows</b>					
1. <1 wk	47	11	35	7	
2. ≥1 wk	23	31	38	8	
<b>Lactation, % of rows</b>					
1	48	14	26	12	
2	42	18	36	4	
≥3	24	27	43	7	
<b>Breed, % of rows</b>					
1. Montbéliarde	44	17	32	7	
2. French-Friesian	31	19	46	4	
3. Holstein	35	22	30	13	
4. 1 × 3	27	27	45	0	
5. 3 × 2	37	24	32	7	
<b>Milk loss, kg</b>					
$\bar{X}$	22	104	911	4698	
SD	25	57	574	1279	

Oltre al calo della produzione di latte, un'altra criticità è legata alle modificazioni a carico della composizione del latte. La mastite si accompagna ad un decremento delle percentuali di lattosio nel latte (5 - 10%), caseine, grasso (Fantini, 2009) e ad un aumento del pH del latte che raggiunge valori maggiori di 7. Il latte possiede la capacità di tamponare piccole variazioni di pH grazie alle proprietà anfotere delle proteine presenti al suo interno; in caso di mastite però, si assiste ad una modificazione del quantitativo di proteine presenti nel latte e dunque anche il potere tampone di queste cambia inevitabilmente. Al variare del potere tampone delle proteine, varia anche l'acidità (pH) del latte, fino a raggiungere valori superiori al range fisiologico compreso tra 6.6 e 6.8.

Come accennato pocanzi, si verifica una riduzione della sintesi dei principali componenti del latte, ovvero grasso, lattosio e proteine, che può portare a un cambiamento delle proporzioni relative di questi componenti nel latte. Questi cambiamenti hanno effetti diretti e indiretti sulle proprietà produttive del latte, spesso riducendo la resa, la qualità e la conservabilità del prodotto finale (K R Petrovskia, 2006). I prodotti finali, prodotti a partire da latte mastitico con una composizione alterata, potrebbero avere prezzi più bassi sul mercato e quindi ridurre il reddito dell'industria lattiero-casearia e degli allevatori. L'attuale sistema di determinazione dei prezzi del latte, infatti, si basa sulla quantità di grasso totale e proteine totali. Una minore concentrazione di questi due elementi nel latte mastitico porta ad un forte

deprezzamento del latte stesso. Se a queste perdite economiche si aggiungono le spese per il trattamento della mastite, la necessità di asciugare prima gli animali patologici e gli effetti sul benessere animale, ci si rende conto che il problema è ben più grande di quello che ci si può aspettare.

### ***1.1.3 Mastite e benessere animale***

“Il benessere è uno stato di perfetta integrità fisica e mentale in cui l’animale è in completa armonia con l’ambiente che lo circonda” (Hughes, 1976). Questa è una delle più citate definizioni di benessere animale e racchiude tutte le informazioni necessarie per capire cosa bisogna fare per garantire il benessere degli animali in allevamento. Nell’ambito delle mastiti, per far sì che una bovina da latte possa trovarsi in una situazione di benessere, è necessario garantire che l’ambiente di stalla rispetti una serie caratteristiche. *In primis* igiene e pulizia delle cuccette o delle lettiere, a seconda della tipologia di stabulazione utilizzata. Come già affermato in precedenza (vedi 1.1.1), un ambiente non sufficientemente igienico e pulito può essere causa di infezioni a carico della mammella e portare a casi di mastite. Questa condizione, non rappresenta soltanto una forma di scarso benessere, ma va contro anche ad un altro principio fondamentale, ovvero quello delle “Cinque libertà”.

Le "Cinque Libertà" sono un insieme di principi sviluppati per promuovere il benessere e la protezione degli animali, in particolare degli animali da allevamento. Sono stati sviluppati in risposta a un rapporto del governo britannico del 1965 sull'allevamento del bestiame (Brambell, 1965) e sono stati formalizzati in un comunicato stampa del 1979 da parte del *Farm Animal Welfare Council* del Regno Unito. Queste libertà definiscono mirano a creare degli standard per un benessere animale accettabile in tutti i sistemi di allevamento, sia estensivo che intensivo (Farm Animal Welfare Council, 1979). Costituiscono un quadro logico e completo per l'analisi del benessere all'interno di qualsiasi sistema insieme ai passi e ai compromessi necessari per salvaguardare e migliorare il benessere entro i limiti adeguati di un'efficace industria zootecnica. Le cinque libertà sono (Farm Animal Welfare Council, 1979):

1. Libertà dalla fame, dalla sete e dalla malnutrizione.
2. Libertà dal disagio: ambiente confortevole e area di riposo.
3. Libertà dal dolore, dalle lesioni o dalle malattie: prevenzione o rapida diagnosi e trattamento delle lesioni e delle malattie.
4. Libertà di esprimere la maggior parte dei modelli comportamentali normali.

## 5. Libertà dalla paura.

La presenza in stalla di casi di mastite bovina va a contrastare la terza libertà fondamentale e per far sì che essa venga rispettata bisogna necessariamente ricorrere ad una diagnosi rapida e ad un trattamento mirato. In questo modo si può ridurre l'impatto sul benessere degli animali in stalla ed evitare conseguenze legate al mancato soddisfacimento di esso.

Molti tra allevatori e veterinari considerano i casi gravi di mastite come una delle condizioni più dolorose per le vacche da latte (Mainau, 2014). L'animale può mostrare segni visibili di dolore e disagio, tra cui depressione, diminuzione della produzione di latte, perdita di peso e posture anomale (Leslie KE, 2012). Tuttavia, è noto che le vacche possono provare dolore anche in casi lievi o moderati di mastite. Le vacche affette dalla patologia mostrano diversi comportamenti di malattia [Tabella 4] e questi possono variare a seconda della gravità della malattia. È stato osservato che gli animali con casi di mastite clinica moderata hanno frequenze cardiache, temperature rettali e frequenze respiratorie significativamente più elevate rispetto alle vacche con casi di mastite clinica lieve e alle vacche sane (Fitzpatrick JL, 2000). Il dolore può modificare il comportamento degli animali. In particolare, sebbene il tempo di riposo sia solitamente aumentato durante la malattia, le vacche affette da mastite mostrano una riduzione del tempo di riposo a causa del dolore alla mammella e questo ha importanti effetti negativi sul loro benessere e sulla produzione (Mainau, 2014).

*Tabella 4 - Indicatori del dolore causato dalla mastite nelle bovine da latte (Mainau, 2014).*

<b>Behavioural Indicators</b>	<b>Physiological and production indicators</b>
<i>Increased</i>	<i>Increased</i>
Restless during milking	Heart and respiratory rate
Hock-to-hock distance when standing	Acute phase proteins
	Rectal temperature
<i>Decreased</i>	<i>Decreased</i>
Time spent lying down	Milk yield and quality
Time spent eating	Dry matter intake
Rumination	
Self-grooming	

Oltre a ridurre la ruminazione, nei casi più gravi si può anche assistere alla diminuzione della motilità e contrattilità del rumine (Radostits, 2007), con conseguente interruzione della degradazione microbica dell'alimento ingerito. Le proteine di fase acuta (APP), come l'amiloide A sierica e l'aptoglobina, aumentano rapidamente nel siero e nel latte

durante la mastite ed è stato dimostrato che sono buoni indicatori di infezione, stress, infiammazione e dolore associati alla mastite. È stata dimostrata inoltre, una significativa iperalgesia secondaria nelle vacche che hanno avuto episodi clinici di mastite (Pyorala, 2002) ed è ormai accettato che la mastite sia associata all'iperalgisia, in particolare nei casi acuti e peracuti (J L Fitzpatrick, 2004). L'allodinia è stata dimostrata per circa 5 e 40 giorni in caso di mastite lieve e moderata, rispettivamente (J L Fitzpatrick, 2004). Pertanto, il trattamento di supporto in caso di mastite può essere un problema nel prossimo futuro, con conseguente aumento dei costi della mastite e mette in evidenza l'importanza di una diagnosi precoce.

#### ***1.1.4 Metodi di rilevazione della mastite in allevamento***

Nei paragrafi precedenti si è sottolineata l'importanza di diagnosticare precocemente un caso di mastite in quanto esso, se individuato nelle fasi iniziali, può essere potenzialmente risolto in maniera più efficace. Oltre alla ricerca dei sintomi clinici, occorre andare ad utilizzare dei metodi di rilevamento più precisi, siano essi diretti o indiretti, che possano aiutare ad individuare i casi di malattia subclinica. Come già detto in precedenza, il metodo più comunemente utilizzato per la diagnosi della mastite nei bovini da latte è la conta delle cellule somatiche. Il conteggio delle cellule somatiche può essere effettuato mediante numerazione diretta al microscopio con colorazione al blu di metilene. Tuttavia, questo metodo di conteggio diretto presenta molte limitazioni. L'altro metodo classico è il *California Mastitis Test* (CMT). Questo test si basa sul principio che, con l'aggiunta di un reagente, è possibile rilevare un numero elevato di cellule somatiche attraverso il rilascio di acido nucleico e altri costituenti che danno luogo alla formazione di un gel. Ciò nonostante, questo semplice metodo è soggetto a risultati che possono contenere falsi positivi e/o falsi negativi (Smolenski G, 2007). Inoltre, questi test non producono un risultato numerico, ma indicano solo se il punteggio è alto o basso (Viguiet C, 2009). Il metodo di esecuzione di questo test è stato descritto da Schalm e Noorlander nel 1957. Il reagente viene sviluppato mescolando un volume uguale di latte con una diluizione 1:1000 di lauriosolfato di sodio al 3% e bromocresolo. Si utilizza poi una particolare piastra costituita da 4 pozzetti separati, corrispondenti ciascuno ad uno dei 4 capezzoli della mammella. Viene prelevato qualche ml di latte dai capezzoli e la piastra viene inclinata delicatamente per pareggiare il livello di latte nei 4 pozzetti. A seguire si aggiunge il reagente e si mescola per circa 15 secondi. Dopo aver mescolato la soluzione si assegnano dei punteggi da N a 3 in base alle caratteristiche del gel viscoso che si forma [Figura 8 e 9]. Si assegna punteggio N (che equivale a 0) se non è osservabile nessuna reazione, punteggio T se

ci sono tracce di gel viscoso, 1 per una reazione debole, 2 per una evidente reazione che corrisponde a una netta positività e 3 per una forte positività (colore rosso acceso).



Figura 8 - California Mastitis Test.

<b>Legenda CMT</b>			
<b>Grado</b>	<b>Significato</b>	<b>Descrizione della reazione</b>	<b>Cellule/ml</b>
<b>N</b>	Negativo	La miscela rimane liquida e omogenea. Viene svuotata goccia a goccia.	< 200.000
<b>T</b>	Tracce	La miscela diventa leggermente viscosa. La reazione è reversibile e la viscosità tende a scomparire.	150.000 - 500.000
<b>1</b>	Leggermente positivo	La miscela diventa viscosa senza formare un gel al centro e la viscosità tende a persistere. La miscela addensata viene svuotata gradualmente.	400.000 - 1.500.000
<b>2</b>	Chiaramente positivo	Se la pietra ruota, tende a formarsi un gel al centro del pozzetto. Il gel resta sul fondo se si interrompe la rotazione. Se si versa la miscela, la massa gelatinosa cade e può lasciare liquido nel pozzetto.	800.000 - 5.000.000
<b>3</b>	Fortemente positivo	Al centro del pozzetto si forma un gel che non aderisce al bordo ma al fondo. Se si versa la miscela, la massa cade improvvisamente senza lasciare liquidi.	> 5.000.000

Figura 9 – Interpretazione dei punteggi del CMT.

I punteggi CMT e SCC hanno una buona sensibilità come predittori di infezione intramammaria (IMI), ma hanno una specificità molto scarsa (A.L. Bhutto, 2012). Questo significa che un'alta percentuale di quarti sarà identificata erroneamente come infetta. Studi condotti hanno riportato gradi variabili di sensibilità e specificità per i punteggi CMT e SCC. Eppure, le differenze nei punteggi potrebbero essere associate anche ad altri fattori, come l'età delle vacche e i fattori ambientali. Ad esempio, è stato dimostrato che i punteggi SCC possono essere influenzati dalla posizione del quarto, con i quarti posteriori che presentano un SCC più elevato rispetto ai quarti anteriori (Harmon R. , 1994) o i quarti destri che presentano un SCC più elevato rispetto ai quarti sinistri (Dhakal, 2006).

In aggiunta ai metodi “tradizionali”, esistono procedure alternative per il rilevamento della mastite nei bovini da latte. Con l'avvento della tecnologia nel campo della zootecnia, sono state sviluppate numerose tecniche che possono aiutare a tal scopo. Strumenti come la termografia a infrarossi (IRT), l'ecografia mammaria e l'emogasanalisi possono essere utili per caratterizzare le mastiti bovine, ma necessitano di essere ulteriormente sviluppate. L'IRT è un metodo non invasivo e rapido e può essere di grande utilità nell'individuazione precoce della mastite per una risposta ottimale al trattamento. Anche se si tratta di una misura indiretta, ha sensibilità, specificità e valori predittivi positivi e negativi relativamente buoni. Inoltre, è in grado di percepire le variazioni della temperatura della superficie cutanea in risposta ai diversi gradi di gravità dell'infezione della ghiandola mammaria (Tommasoni C., 2023). La valutazione ecografica della mammella si è dimostrata efficace nell'identificare la presenza di lesioni o alterazioni del parenchima mammario e del capezzolo. L'emogasanalisi fornirebbe parametri interessanti per valutare in azienda e in tempo reale le condizioni cliniche delle vacche affette. Resta la necessità di condurre studi aggiuntivi per stabilire parametri oggettivi di rilevamento e indici prognostici (Tommasoni C., 2023).

Tra le tecniche alternative per l'individuazione delle mastiti bovine, ricoprono un ruolo importante sensori e rilevatori associati a sistemi di mungitura automatizzata. Essi hanno sicuramente una maggior precisione nell'individuazione delle alterazioni a carico del parenchima mammario, ma sono soluzioni economicamente svantaggiose rispetto ai metodi cosiddetti tradizionali. Nonostante ciò, il settore zootecnico sta crescendo dal punto di vista tecnologico e grazie ai concetti di *Precision Livestock Farming* e Industria 4.0 si stanno mettendo a punto sistemi a supporto degli allevatori, tra i quali ci sono anche strumenti per valutare la presenza di mastite in stalla. Un esempio di metodologia che può essere utilizzata nei sistemi di mungitura robotizzati si basa sull'aumento della concentrazione di ioni sodio e cloruro e sul conseguente aumento della conducibilità elettrica nel latte mastitico.

Le alterazioni elettrolitiche del latte sono le prime a verificarsi in caso di mastite e il test è utile in tal senso (Peter D. Constable, 2017). La conducibilità elettrica è interessante come parametro perché misura l'effettiva entità del danno alla mammella piuttosto che la risposta della vacca al danno, come invece accade per la SCC. Tuttavia, una meta-analisi ha indicato che l'uso di una soglia assoluta per valutare la conducibilità non fornisce un quadro adeguato, poiché sia la sensibilità che la specificità del test sono basse. In aggiunta, in uno studio condotto in Sudafrica, il CMT è risultato più accurato nell'identificare i quarti con un'infezione intramammaria o una  $SCC > 200.000$  cellule/mL (Fosgate GT, 2013). Il metodo più comunemente utilizzato per misurare la conducibilità elettrica del latte è un dispositivo portatile con una tazza incorporata in cui viene spruzzato il latte (preferibilmente il primo latte). In uno studio sperimentale è stata indotta mastite clinica da *S. aureus* e *S. uberis*. Nel 90% dei casi essa è stata rilevata alla prima comparsa dei coaguli e nel 55% dei casi è stata rilevata fino a due mungiture prima della comparsa dei coaguli (Peter D. Constable, 2017). Ciò suggerisce che la mastite clinica associata a questi due principali agenti patogeni può essere rilevata più precocemente tramite valutazione della conducibilità elettrica che non aspettando che i mungitori rilevino visivamente cambiamenti nel latte.

Un'altra metodologia che può essere utilizzata è il test della NAGasi. Questo test si basa sulla misurazione dell'attività di un enzima associato alle cellule (N-acetil- $\beta$ -d-glucosaminidasi). La NAGasi è un enzima lisosomiale intracellulare derivato principalmente dalle cellule epiteliali mammarie danneggiate (Zhao X., 2008). Il test è adatto alla gestione rapida di un gran numero di campioni grazie alla sua facilità di automazione; può essere eseguito sul latte fresco ed essere letto nello stesso giorno. Però, poiché la maggior parte dell'attività della NAGasi è intracellulare, i campioni devono essere congelati e scongelati prima dell'analisi per indurre la massima attività della NAGasi. Questo test è considerato affidabile al pari della SCC nel predire lo stato di infezione di un quarto (N.I. Nielsen, 2005) (Chagunda MG, 2006). I livelli di NAGasi nel latte sono elevati all'inizio e alla fine della lattazione, come nel caso della conta cellulare e dunque, anche per questo i due test sono considerati affidabili allo stesso livello. L'SCC, l'attività dell'enzima NAGasi, la conducibilità elettrica e le concentrazioni di sodio,  $\alpha$ -1-antitripsina e lattosio sono risultati utili indicatori indiretti di infezione. Tra tutti però, la SCC è stata in grado di discriminare tra quarti infetti e quarti non infetti nelle vacche meglio degli altri test (Peter D. Constable, 2017).

Quando un'azienda utilizza sistemi AMS, può approcciare alla mastite tramite l'utilizzo di sensori per la valutazione della qualità del latte. Per valutare il funzionamento e l'affidabilità di questi sensori è importante portare l'attenzione su tre parametri: le prestazioni

in termini di sensibilità e specificità, la finestra temporale e la somiglianza dei dati studiati con i dati reali dell'azienda (Hogeveen H. , 2010). Un sistema di rilevamento della CM dovrebbe offrire almeno una sensibilità dell'80% e una specificità del 99% (ISO, 2007). A tal proposito, sembra che gli allevatori preferiscano una minore sensibilità ad una minore specificità (Mollenhorst, 2012). La finestra temporale non dovrebbe essere più lunga di 48 ore e le circostanze dello studio dovrebbero essere il più possibile simili a quelle dell'azienda agricola. In aggiunta, la valutazione di un sensore per il suo uso pratico può essere effettuata in un ambiente sperimentale o sulla base della raccolta di dati di routine in cui le segnalazioni fornite dal sensore vengono confrontate con il verificarsi di un evento determinato dallo standard di riferimento (gold standard) (Kamphuis, 2016). Negli ultimi anni, il numero di allevamenti con un sistema di mungitura automatica è aumentato notevolmente. Inoltre, poiché il numero di gruppi di mungitura in un AMS è molto inferiore rispetto a quello di una sala di mungitura convenzionale, anche i costi di applicazione dei sensori sono inferiori in un sistema automatico (Hogeveen H. , 2010). Nei decenni sono stati studiati numerosi sensori come metodi di rilevamento della mastite bovina. Un esempio è il sensore GEA DairyMilk M6850, un rivoluzionario strumento che potrebbe cambiare il modo di diagnosticare le mastiti in allevamento. In questo elaborato verrà analizzato il sensore e la sua affidabilità in termini di rilevamento precoce di casi di mastite.

## 1.2 LA ZOOTECCIA DI PRECISIONE

La Zootecnia di precisione, o Precision Livestock Farming (PLF), rappresenta un approccio innovativo all'allevamento del bestiame che utilizza tecnologie avanzate per monitorare, gestire e ottimizzare le operazioni nelle aziende. Questa disciplina è stata sviluppata negli anni per affrontare le sfide legate alla crescente domanda di prodotti di origine animale, all'efficienza delle risorse e alla sostenibilità nell'industria zootecnica. Nel corso dei decenni, la zootecnia a livello globale sta cambiando, passando da un ecosistema composto da tante piccole aziende con un numero limitato di capi ad uno scenario caratterizzato da una diminuzione del numero di aziende con il collaterale aumento del numero di capi per allevamento (Scrofani, 2023). Da questo concetto nasce una problematica, ovvero la maggiore difficoltà da parte delle aziende nel garantire tutti i bisogni e le necessità degli animali in stalla. Il numero crescente di capi per allevamento porta inevitabilmente a trasformazioni nella gestione aziendale. Non è un caso che sempre più spesso, soprattutto nelle grandi realtà, si attinga all'ausilio di apparecchiature di precisione e sistemi informatici quali lattometri, attivometri e flussometri

con lo scopo di rilevare calori, monitorare la produzione lattea, diagnosticare zoppie (Scrofani, 2023).

Il PLF rappresenta un cambiamento di paradigma nella gestione delle aziende zootecniche, in cui l'adozione di tecnologie avanzate consente la raccolta e l'analisi di un grande numero di dati dettagliati sugli animali, sull'ambiente e sui processi produttivi. Questi dati possono portare ad una migliore comprensione del comportamento degli animali, della loro salute e delle esigenze nutrizionali (Berckmans, 2014). La zootecnia di precisione si basa sull'uso di tecnologie avanzate, tra cui sensori, sistemi di monitoraggio remoto, analisi dei dati, intelligenza artificiale e sistemi di automazione. Tali tecnologie consentono agli allevatori di raccogliere dati in tempo reale sugli animali e utilizzare queste informazioni per prendere decisioni precise e ottimizzare la gestione del bestiame. Uno dei fattori che ha creato un maggior coinvolgimento degli allevatori a interessarsi dell'impiego della sensoristica nella gestione aziendale è la possibilità di migliorare l'efficienza dei processi produttivi, partendo dalla possibilità di prevedere con largo anticipo un problema a carico di un animale, potendo al contempo ridurre gli sprechi alla mangiatoia, gestendo al meglio la distribuzione degli alimenti negli orari giusti e nelle giuste quantità e qualità nutrizionali (Conterio, 2022). Con la zootecnia di precisione, l'allevatore è in grado di prendere con più tempestività alcune decisioni, migliorando in questo modo la produttività e la redditività del proprio allevamento (Gastaldo, 2016). Per quanto riguarda gli strumenti di zootecnia di precisione introdotti nell'attività produttiva, i più diffusi sono i sistemi informatici per la gestione della mandria (47,8%), seguiti dai sistemi per il monitoraggio dell'attività produttiva e riproduttiva della mandria (41,0%), sistemi deputati alla gestione in remoto dell'identificazione degli animali (29,9%) e i robot di mungitura (21,4%) (Istat.it, 2020).

Tra gli strumenti di precisione più rivoluzionari vi sono sicuramente i sistemi di mungitura automatizzata (AMS) che consentono un primo monitoraggio quotidiano di aspetti quanti-qualitativi della produzione di latte. L'introduzione dei robot di mungitura nelle stalle ha rappresentato una delle innovazioni tecnologiche più significative nel settore agro-zootecnico degli ultimi decenni. La sua introduzione ha rivoluzionato il processo di mungitura delle bovine, rendendolo automatizzato, efficiente e meno dipendente dalla manodopera (zooassets.it, 2023). I sistemi di mungitura automatizzata possono aumentare la produzione di latte fino al 12%, ridurre la manodopera fino al 18% e contemporaneamente migliorare il benessere delle vacche, permettendo loro di scegliere quando essere munte (Jacobs & Siegford, 2012). Questi però, non sono gli unici vantaggi dei sistemi AMS. La salute e la produzione dei singoli animali possono essere monitorate in modo più minuzioso attraverso sensori e rilevatori che raccolgono i dati di

ogni mungitura. Ad esempio, un AMS consente all'allevatore di valutare aspetti della salute delle vacche come la SCC, il colore del latte e la conducibilità del latte a livello della mammella (Jacobs & Siegford, 2012). Possono essere installati numerosi sensori che permettono di analizzare una grande varietà di altri parametri quanti-qualitativi del latte:

- Quantità di latte prodotta;
- Temperatura del latte messa in correlazione con la temperatura corporea;
- Conducibilità elettrica con verifica dell'alterazione ionica del latte, basata in particolare sulle concentrazioni degli ioni cloro e sodio;
- Numero di cellule somatiche;
- Colore e densità del latte;
- Corpi chetonici nel latte;
- Variazioni del progesterone;
- Contenuto di grasso e proteine.

I sistemi AMS possono andare a considerare parametri come il peso della bovina, la durata della singola mungitura, il numero di rifiuti/fallimenti della mungitura, numero di mungiture giornaliere, quantità di mangime concentrato assunto dalla bovina in mungitura, tempi di attacco, etc (C.R.P.A., Giugno 2022). Utilizzando algoritmi computazionali, questi dati possono essere collegati a eventi di interesse e quindi essere convertiti in informazioni utili per la gestione dell'azienda. Per quanto riguarda la gestione della mastite, gli algoritmi mirano all'identificazione di una deviazione dalla normalità che potrebbe essere predittiva di mastite (Hogeveen H., 2021). I dati raccolti, dunque, consentono all'allevatore di accorgersi di piccoli cambiamenti nel benessere o nella produzione del singolo animale e di conseguenza di agire tempestivamente per correggere il problema.

Uno dei principali vantaggi di un sistema AMS consiste nella possibilità di controllare la frequenza di mungitura su base individuale e quindi adeguarsi al livello di produzione degli animali o a fasi specifiche della lattazione senza incorrere in errori gestionali (Hogeveen H. W., 2001) (Svennersten-Sjaunja, 2008). Diversi studi, inoltre, hanno riportato un aumento della produzione di latte che varia dal 2 al 12% nelle vacche munte più di due volte al giorno in sistemi AMS rispetto alle vacche che vengono munte soltanto due volte al giorno in sale di mungitura convenzionali (de Koning, 2002) (Wagner-Storch, 2003). Inoltre, rispetto alle vacche munte in sale di mungitura convenzionali, le vacche in AMS hanno più libertà di controllare le loro attività e i loro ritmi quotidiani e hanno maggiori possibilità e libertà di interagire con l'ambiente che le circonda. Relativamente a benessere e salute delle bovine, i maggiori benefici

si hanno a livello di problematiche mammarie, grazie allo stacco per quarti che elimina i rischi di sovra-mungitura, e al fatto che non è più necessario raccogliere tutte le vacche nella zona di attesa (C.R.P.A., Giugno 2022), spesso in situazioni ambientali molto precarie (sovraffollamento, tempi di attesa troppo lunghi, stress termico in estate ecc.).

La diffusione della digitalizzazione in zootecnia e dei servizi di Precision Livestock Farming nel settore agricolo richiede in ogni caso una adeguata formazione, che comporta conoscenze e competenze sull'uso e sul funzionamento dei sensori e sull'analisi dei dati. Risulta sempre più importante l'implementazione di sistemi avanzati a supporto dell'allevatore che possano aiutare a raccogliere regolarmente dati sulle condizioni ambientali, sui comportamenti dei singoli animali, sulla salute, sulla produttività e sulla qualità del latte. La possibilità di tenere sotto controllo quotidianamente questa vasta gamma di parametri comporta una serie di conseguenze positive che impattano sulla gestione aziendale, sui costi a carico dell'allevatore e sul benessere degli animali.

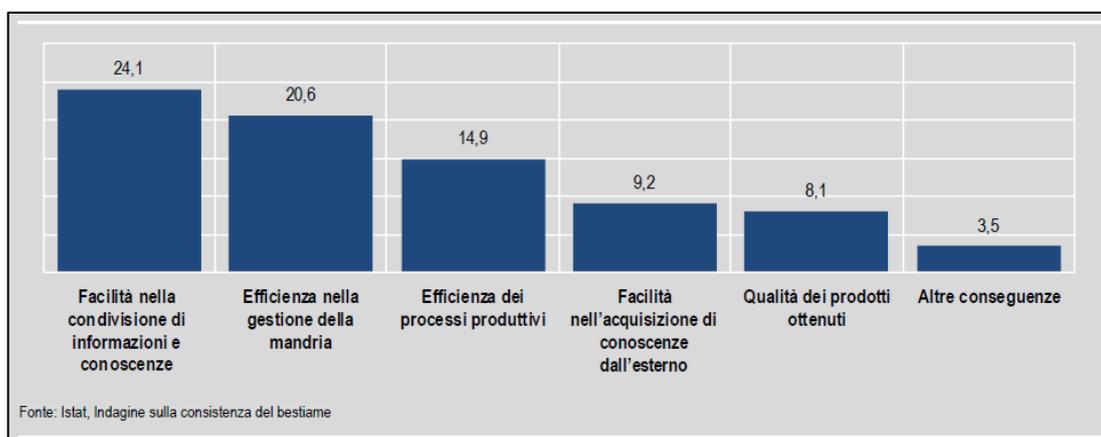


Figura 10 - Principali vantaggi derivanti dal processo di digitalizzazione e dall'uso di strumenti di precisione nelle aziende zootecniche (Istat.it, 2020).

### 1.2.1 GEA DairyRobot R9500

Visti i benefici dell'implementazione dei robot di mungitura, nel corso degli anni sono notevolmente aumentate le installazioni di questi ultimi. Gli ultimi dati relativi alla diffusione degli AMS parlano di oltre 25.000 unità installate. Si tratta quindi di una presenza cospicua la cui importanza è ancor più evidente se si considera che all'inizio del nuovo secolo gli AMS installati erano solo 1.000 (Vignone & Felice, 2017). In Italia, si stima una presenza attuale di oltre 500 unità e un mercato potenzialmente in crescita. Inizialmente l'introduzione nelle realtà

italiane è stata limitata da varie difficoltà e perplessità da parte degli allevatori, nonché dall'esigenza delle ditte produttrici di garantire un'assistenza tecnica tempestiva inclusa nel contratto di vendita. Superato l'ostacolo iniziale però, si è assistito ad un crescente interesse per questa tecnologia, come si evince dall'incremento delle vendite negli ultimi anni. L'ulteriore progresso tecnologico ha permesso di migliorare l'efficienza, di ridurre i costi iniziali d'investimento ed avere una maggiore efficienza dei servizi (Vignone & Felice, 2017).

Tra le numerose aziende che offrono sistemi tecnologici a supporto delle aziende zootecniche, la GEA Farm Technologies è una delle più blasonate e da oltre 20 anni propone robot di mungitura. Nel 2017 è stato sviluppato l'ultimo modello di robot che prende il nome di DairyRobot R9500, a sua volta ulteriormente ottimizzato nel 2021 [Figura 11]. Esso si prende cura in modo completamente automatico della qualità del latte e della condizione dei capezzoli garantendo tranquillità agli animali durante ogni mungitura. La collocazione del robot in stalla è molto flessibile e si può adattare tranquillamente ad ogni tipologia di struttura. Inoltre, è possibile installare il box in allevamenti con traffico di animali libero o guidato, a seconda delle esigenze dell'allevatore. Infatti, il design del modulo di mungitura del DairyRobot R9500 è compatto e innovativo e questo gli consente di essere molto versatile.



Figura 11 - Robot di mungitura GEA DairyRobot R9500 (GEA, GEA, 2023).

Una delle caratteristiche peculiari del robot GEA è quella di sfruttare la tecnologia “*In-Liner everything*” [Figura 12] che consente di unire tutte le fasi della mungitura in un unico attacco. Stimolazione, pulizia del capezzolo, mungitura e post-dipping vengono effettuate in sequenza all'interno della tettarella ed il tutto senza rischiare che il latte venga contaminato dai

prodotti utilizzati. La cosa ancor più importante è che questi processi vengono eseguiti sul singolo capezzolo. Ciò consente di analizzare e correggere eventuali problematiche legate ad un singolo quarto, senza dover compromettere la produzione degli altri tre, evitando di fatto fenomeni di contaminazione crociata. Una parte del processo preparatorio della tecnologia “*In-Liner Everything*” consiste nell’estrarre i primi getti di latte da ciascun capezzolo. Quindi il latte viene sottoposto ad una rigorosa procedura di valutazione tramite una serie di sensori che sostituiscono l’analisi visiva dell’operatore e coadiuvano il processo decisionale (bellucci.it, 2016). In questa fase, se il latte non supera il test di qualità verrà immediatamente scartato. Questo è un ottimo procedimento che può aiutare l’allevatore ad individuare fenomeni di mastite. È inoltre importante sottolineare che le misurazioni e i test vengono effettuati anche sul latte scartato. Ciò è utile per individuare casi di mastite che potrebbero essere trascurati se analizzati sul latte composito. Con il GEA DairyRobot R9500 è possibile scegliere di staccare il gruppo di mungitura per singolo quarto rimuovendo i prendicapezzoli nel momento migliore. I sensori monitorano il flusso del latte quarto per quarto e quando uno di questi raggiunge la soglia di stacco, il processo di mungitura di quel singolo capezzolo termina. Ciò significa meno stress per i capezzoli e soprattutto si scongiurano fenomeni di sovrampungitura. A questo punto viene uniformemente applicato il post-dipping e, una volta terminato, il capezzolo viene rilasciato (bellucci.it, 2016). La tecnologia “*In-Liner Everything*” assicura alle bovine un processo di mungitura regolare e confortevole, consente una raccolta del latte veloce e completa, protegge la mammella e garantisce la salute della stessa e inoltre, permette una prima analisi del latte.



Figura 12 - Tecnologia "In-line everything" (GEA, DairyRobot R9500, 2020).

Il robot di mungitura GEA è dotato di una vasta gamma di sensori che monitorano in tempo reale alcuni parametri qualitativi del latte in modo da garantire un processo di mungitura continuo e sano con produzione di latte con caratteristiche di alta qualità, sia dal punto di vista compositivo che dal punto di vista igienico.

Un primo sensore (kick-off sensor) entra in azione già prima del passaggio del latte ed ha la funzione di monitorare e rilevare eventuali ingressi di aria nella tettarella. Questi ingressi d'aria possono verificarsi nel caso in cui l'attacco del capezzolo non sia avvenuto correttamente oppure nel caso in cui il bossolo sia rimasto attaccato alla mammella e non abbia centrato il capezzolo. Per tale motivo questo sensore è fondamentale per valutare la buona riuscita dell'attacco del singolo capezzolo. Nel momento in cui si attiva il sensore kick-off (ad esempio se la vacca in mungitura scalcia colpendo il braccio del robot), il DairyRobot tenta un nuovo attacco basandosi su due parametri: quantità minima di latte per quarto e quantità minima di latte totale. Entrambi hanno una soglia massima da rispettare (rispettivamente 70% e 60%) e al di sopra della quale il robot non riattacca il gruppo. La valutazione viene effettuata sul singolo quarto, così come accade per il secondo sensore, ovvero il sensore di colore. Esso valuta attentamente il colore del latte al passaggio e scarta il latte che ha una colorazione non idonea, ad esempio associabile alla presenza di sangue. Il terzo sensore è il *Cell counter*, che analizzeremo nel dettaglio più avanti, ed infine c'è il sensore QHM<sup>2</sup>, che valuta conducibilità, temperatura, quantità di latte, flusso del latte e tempo di mungitura sul singolo quarto.

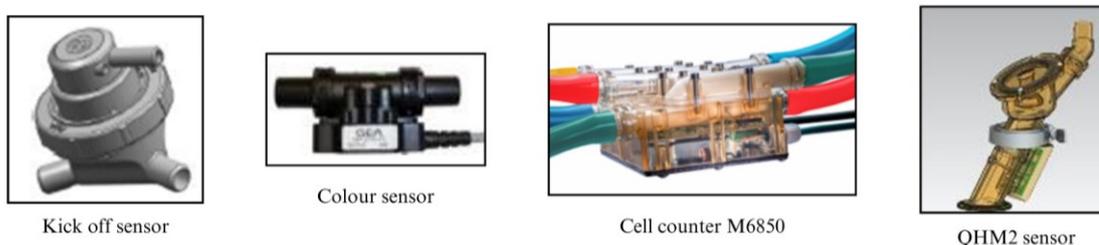
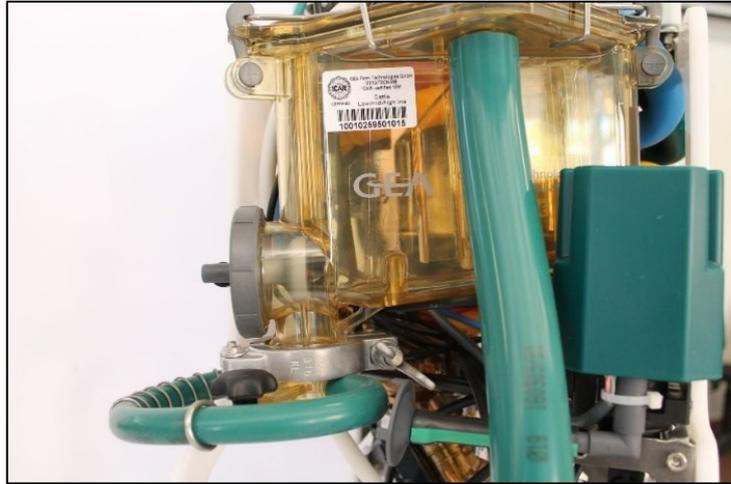


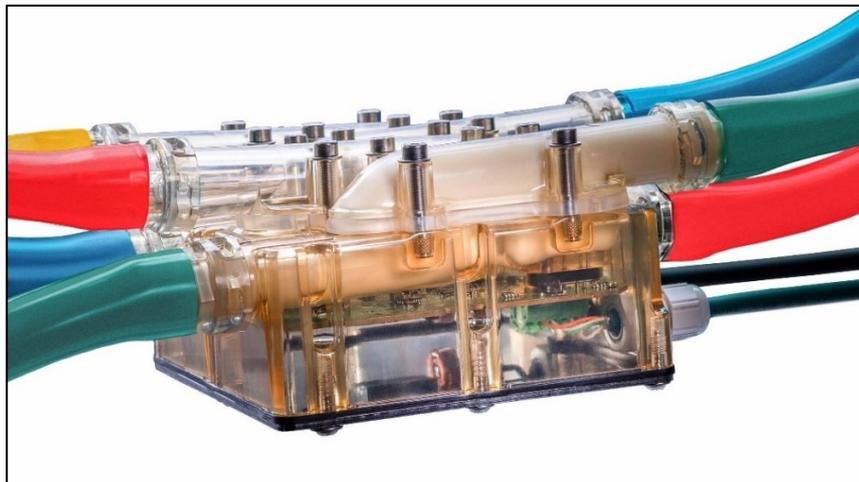
Figura 13 - Sensori implementati nel robot di mungitura per il controllo della qualità del latte.

A seguire, un ulteriore controllo viene effettuato sul latte. Esso viene convogliato in un piccolo contenitore, il GEA Metatron MB [Figura 14], certificato ICAR. Questo strumento ci permette di avere una valutazione, oltre che sul singolo quarto, anche sul latte totale.



*Figura 14 - GEA Metatron MB.*

### ***1.2.2 GEA Cell counter DairyMilk M6850***



*Figura 15 - Sensore contattelle GEA DairyMilk M6850.*

Tra gli aspetti più interessanti e importanti appena citati, la possibilità di monitorare la qualità del latte è senza dubbio in primo piano. Abbiamo già detto in precedenza che è importante controllare il livello di cellule somatiche nel latte per garantirne la qualità, oltre che lo stato ottimale di salute della mammella. Proprio a tal scopo è stato sviluppato un sensore in grado di analizzare in continuo e al passaggio il flusso di latte dei singoli quarti durante l'intero processo di mungitura. Si tratta del Cell counter DairyMilk M6850, uno strumento unico ed innovativo messo a punto dalla GEA per cercare di aiutare gli allevatori a rilevare problematiche

in modo precoce ed efficace. Esistono già in commercio diversi sensori per analizzare la composizione del latte, ma il GEA DairyMilk M6850 completa questo monitoraggio determinando le classi di cellule [Tabella 5] in ogni singolo quarto.

Tabella 5 - Classi di cellule del sensore M6850 GEA (GEA, GEA DairyMilk M6850, 2018).

Call count class	Cell count range (1,000 cells)
0	< 250
I	250-500
II	500-1,000
III	1,000-2,000
IV	> 2,000

Il DairyMilk M6850 sfrutta la tecnologia EPT (*Electrical Permittivity Threshold*) che misura i parametri fisici del latte e, attraverso l'utilizzo di logaritmi, assegna al termine una classe compresa tra 0 e 4, che rappresenta il livello di cellule somatiche presenti nel singolo quarto analizzato. Il sensore, dunque, effettua un conteggio preciso, costante ed automatico delle cellule nel latte, senza l'utilizzo di materiali di consumo come reagenti o altri prodotti chimici, garantendo così un'analisi sicura e soprattutto senza costi supplementari. Il monitoraggio dei singoli quarti permette di evitare errori dovuti alla diluizione che avverrebbe con l'analisi della produzione totale di latte. Con questo sistema si ha un'individuazione più affidabile del quarto infetto e dunque si può individuare un animale che presenta valori elevati anche su un unico quarto (GEA, GEA DairyMilk M6850, 2018).

<b>Original Milk yield (l)</b>	16,0			
<b>Quarter</b>	FL	FR	HL	HR
Cel count/ml	500.000	100.000	100.000	100.000
Milk yield %	10%	30%	30%	30%
Milk yield (l)	1,52	4,00	4,00	4,00
<b>Total milk yield (l)</b>	15,2			
<b>Total cell count/ml</b>	140.000			

Figura 16 - Esempio di effetto di diluizione: la conta totale delle cellule rimane in range accettabili e non vengono generati allarmi (GEA, GEA DairyMilk M6850, 2018).

<b>Original Milk yield (l)</b>	16,0			
Quarter	FL	FR	HL	HR
Cel count/ml	2.000.000	100.000	100.000	100.000
Milk yield %	10%	30%	30%	30%
Milk yield (l)	1,44	4,00	4,00	4,00
<b>Total milk yield (l)</b>	14,4			
<b>Total cell count/ml</b>	290.000			

Figura 17 – Esempio: con l'analisi della produzione totale in altri sistemi si genera un allarme solo se la conta delle cellule su un quarto arriva intorno a 2.000.000/ml (GEA, GEA DairyMilk M6850, 2018)

Nella *Figura 16* e nella *Figura 17* ci sono degli esempi che mostrano come, in alcuni sistemi dove viene analizzata la sola totalità del latte prodotto a campione, non viene generato nessun allarme riguardante il singolo quarto. Ciò accade proprio perché i valori di cellule somatiche rilevati nei singoli quarti, vengono poi trasformati in un valore medio calcolato in base alla concentrazione di cellule somatiche per ml di latte e alla % di latte prodotto dai quattro quarti. Tramite questo calcolo non si ottiene il vero valore di SCC e dunque può accadere che casi di mastite o problematiche legate ad un singolo capezzolo vengano ignorate.

È importante aggiungere che, dopo l'installazione del sensore, l'analisi tecnica richiede circa 10 mungiture per la calibrazione su ogni singola vacca. Durante questo periodo, i risultati devono essere verificati esaminando fisicamente l'animale. Si consiglia inoltre di consultare l'elenco delle vacche potenzialmente colpite presente sul software di gestione mandria almeno una volta al giorno e di ispezionare ogni singolo animale per garantire la pronta individuazione di eventuali animali infetti. In caso di individuazione di un animale sospetto o di un animale malato, è bene ricordare che il trattamento deve essere effettuato in consultazione con un veterinario e varia a seconda dello stadio di lattazione dell'animale, della gravità dell'infezione e della presenza di altre malattie. Poiché le valutazioni sopraddette sono effettuate anche sul latte antibiotato e scartato dal robot, si consente di minimizzare il tempo di trattamento e garantire il processo di guarigione, assicurando la produttività continua di una mandria sana.

### 1.2.3 Il software di gestione mandria GEA DairyPlan

Per l'analisi dei dati raccolti dal robot di mungitura, GEA fa riferimento ad un software di gestione mandria molto efficiente, ovvero il GEA DairyPlan C21.

Questo software aiuta l'allevatore a gestire la sua azienda e ha due scopi principali:

- Miglioramento della gestione della mandria grazie ad analisi precise sulla registrazione manuale o automatica dei dati. Tra questi sono compresi dati sulla mungitura, sull'alimentazione, sulla salute e sulla riproduzione (GEA, "Dairy Plan C21" herd management software, 2019).
- Automazione dei processi lavorativi per aumentare l'efficienza e ridurre il carico di lavoro. Il software funge da centro di controllo per la registrazione dei dati, per la gestione della mungitura, per i controlli sugli animali e per la gestione delle componenti aggiuntive installate in azienda.

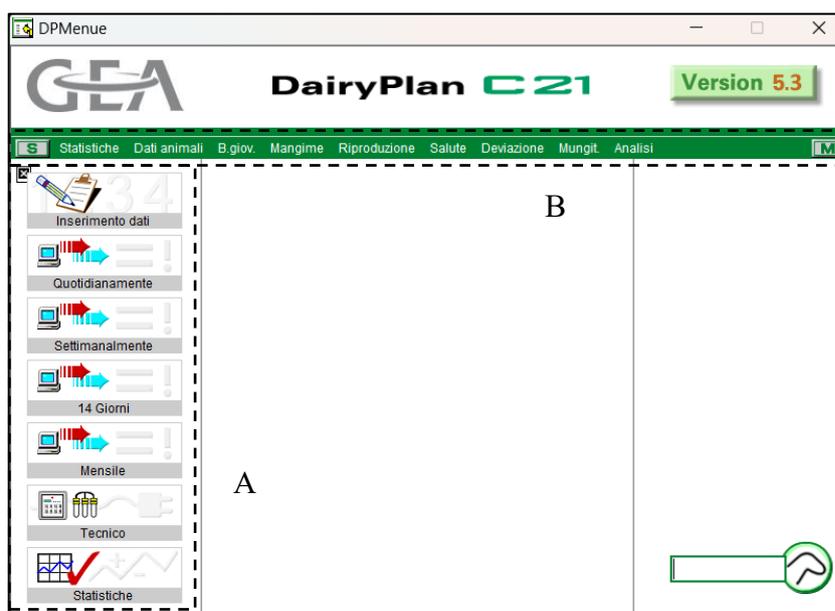


Figura 18 - Interfaccia del DairyPlan.

L'interfaccia del software è divisa in due aree [Figura 18]. L'area A mostra delle funzioni di base che sono più frequentemente utilizzate dall'allevatore (inserimento di dati, liste di monitoraggio, analisi dei dati relativi al sistema...), mentre l'area B presenta funzioni speciali che vengono utilizzate, generalmente, in modo occasionale. In questa area possono essere monitorati numerosi parametri relativi alla mungitura, alla salute, alla riproduzione e all'alimentazione degli animali. Tra tutte le funzioni presenti nel software, quella più consistente è legata ai dati degli animali. Questi dati vengono registrati automaticamente o manualmente e costituiscono la base per analisi e verifiche sugli animali e sulle loro prestazioni.

I dati possono essere utilizzati dall'allevatore per capire come poter cambiare o semplicemente migliorare la gestione aziendale.

Per ogni animale è possibile accedere ad una serie di informazioni in una finestra chiamata "DPSingle" nella quale sono presenti 3 sezioni principali e 4 funzioni aggiuntive [Figura 19]:

- 1) Informazioni anagrafiche sull'animale (numero dell'animale, matricola, stato dell'animale, gruppo di appartenenza);
- 2) Informazione sulla lattazione corrente (data dell'ultimo parto e dell'ultima fecondazione, i giorni di lattazione, il numero della lattazione, la data del prossimo parto previsto...);
- 3) Grafici riassuntivi relativi a dati di latte, conducibilità, attività e alimentazione, ciascuno dei quali presenta due soglie (valore atteso e valore di allarme);
- 4) Dettagli: con questa funzione si può accedere ad un ulteriore menu nel quale sono presenti tutti i dati più puntuali su quel singolo animale;
- 5) "DPTableGraph": permette di creare grafici accurati sulla base dei dati inseriti;
- 6) "DPVet": con questa funzione si possono inserire manualmente eventi legati all'animale (parto, fecondazione, cambio gruppo, malattie, trattamenti...);

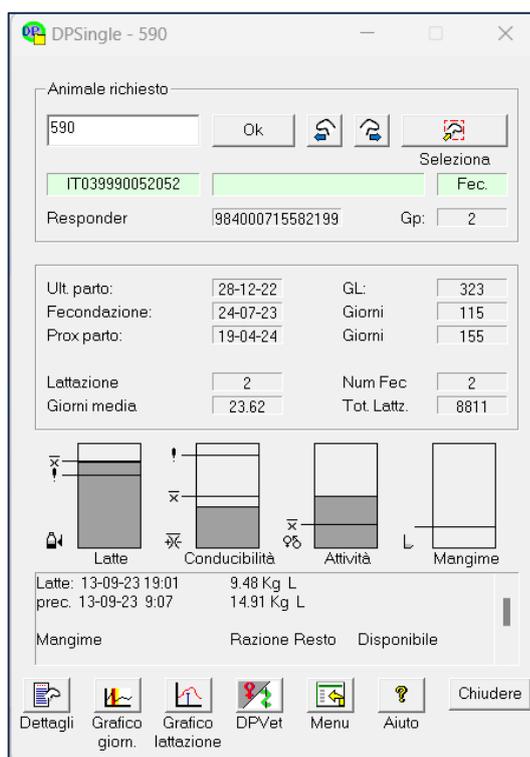


Figura 19 - Finestra DPSingle: sono indicate in questa scheda tutte le info che si possono trovare su un singolo animale (GEA, "Dairy Plan C21" herd management software, 2019).

Per tenere sotto controllo i dati è importante monitorare costantemente le liste generate dal DairyPlan (o create da zero dall'allevatore). Si tratta di liste di dati che forniscono una panoramica più o meno dettagliata dell'andamento della mandria in un determinato periodo di tempo. Ci sono liste che valutano le produzioni delle bovine, liste per valutare le prestazioni del robot di mungitura e anche liste dedicate al sensore GEA DairyMilk M6850. Queste in particolar modo ci interessano per capire lo stato di salute degli animali.

Le liste per monitorare i dati del GEA DairyMilk M6850 sono tre e forniscono informazioni relative agli allarmi generati dal sensore per tutti gli animali ad ogni mungitura. È possibile avere una panoramica di tutti gli allarmi tramite la lista "QuarterCellCount\_Alarms\_All" [Figura 20] oppure andare a valutare gli allarmi generati dal sensore in un range di tempo specifico (ad esempio negli ultimi 3 giorni) con la lista "QuarterCellCount\_Alarms". Se invece si vuole avere una panoramica delle mungiture negli ultimi 3 giorni non considerando solo gli animali in allarme, ma tutta la mandria, si può utilizzare la lista "QuarterCellCount\_3Days" [Figura 21].

Cell Count Results - All Alarms  
 Legend: 0 - 250 Class 0, 250 - 500 Class I, 500 - 1000 Classe II, 1000 - 2000 Class III, >2000 Classe IV

Cow Number	Date	Milking-- Time	-----Quarter RR-----		-----Quarter RL-----		-----Quarter FL-----		-----Quarter FR-----		Alarm in Quarter?
			Cell count Class	History	Cell count Class	History	Cell count Class	History	Cell count Class	History	
155	7-01-23	19:55	0	0	0	0	IV +++++	0 alarm	0	0	ALARM!!
	8-01-23	10:36	0	0	0	0	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
	8-01-23	19:49	0	0	0	0	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
	9-01-23	20:18	0	0	0	IV	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
	9-01-23	10:27	0	0	IV +++++	0 alarm	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
197	14-12-22	8:01	III +	0 alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	20-12-22	8:31	IV +++++	III alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	4-01-23	14:04	IV +++++	0 alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	5-01-23	13:26	IV +++++	IV alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	7-01-23	13:17	IV +++++	IV alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	8-01-23	21:57	IV +++++	IV alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	9-01-23	13:59	IV +++++	IV alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	16-01-23	14:42	IV +++++	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	20-01-23	23:37	III +	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	21-01-23	13:19	III +	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	21-01-23	22:14	III +	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	24-01-23	21:58	IV +++++	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	24-01-23	11:46	IV +++++	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	25-01-23	21:12	IV +++++	I alarm	I +	0	0	0	0	0	ALARM!!
	25-01-23	12:29	IV +++++	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	1-02-23	12:53	IV +++++	I alarm	0	I	0	0	0	0	ALARM!!
	1-02-23	22:48	IV +++++	I alarm	0	I	0	0	0	0	ALARM!!
	2-02-23	12:46	IV +++++	I alarm	0	I	0	0	0	0	ALARM!!
	4-02-23	22:08	III +	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	5-02-23	23:47	IV +++++	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
	5-02-23	13:11	IV +++++	I alarm	0	0	0	0	0	0	ALARM!!
209	22-12-22	18:12	0	0	0	0	IV +++++	I alarm	0	0	ALARM!!
	23-12-22	18:38	0	0	0	0	III +	I alarm	0	0	ALARM!!
	28-12-22	7:33	0	0	0	0	IV +++++	III alarm	0	0	ALARM!!
	29-12-22	8:35	0	0	IV +++++	0 alarm	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
	30-12-22	18:18	0	0	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
	4-01-23	15:24	III +	0 alarm	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	0	0	ALARM!!
	6-01-23	5:32	0	III	IV +++++	IV alarm	III +	IV	0	0	ALARM!!

Figura 20 - Lista QuarterCellCount\_Alarms\_All.

**Cell Count Results - Last 3 Days**  
 Legend 0 - 250 Class 0, 250 - 500 Class I, 500 - 1000 Classe II, 1000 - 2000 Class III, >2000 Classe IV

Cow Number	---Milking---		---Quarter RR---		---Quarter RL---		---Quarter FL---		---Quarter FR---		Alarm in Quarter?
	Date	Time	Cell count Class	History							
217	13-09-23	19:56	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13-09-23	8:05	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12-09-23	19:41	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12-09-23	8:01	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11-09-23	19:05	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11-09-23	7:58	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10-09-23	19:32	0	0	0	0	0	0	0	0	
	10-09-23	8:07	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9-09-23	18:28	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9-09-23	6:52	0	0	0	0	0	0	0	0	
222	14-09-23	3:43	IV +++++	IV alarm	0	IV	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	ALARM!!
	13-09-23	19:31	0	IV	0	IV	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	ALARM!!
	13-09-23	10:47	0	IV	0	IV	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	ALARM!!
	13-09-23	3:01	0	IV	0	IV	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	ALARM!!
	12-09-23	18:56	IV +++++	IV alarm	ALARM!!						
	12-09-23	10:31	IV +++++	IV alarm	ALARM!!						
	12-09-23	2:47	IV +++++	IV alarm	ALARM!!						
	11-09-23	18:41	IV +++++	IV alarm	ALARM!!						
	11-09-23	10:43	0	IV	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	ALARM!!
	11-09-23	1:56	0	IV	0	IV	IV +++++	IV alarm	IV +++++	IV alarm	ALARM!!
224	13-09-23	21:38	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13-09-23	9:33	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12-09-23	21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12-09-23	8:20	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11-09-23	10:32	0	0	0	0	0	0	0	IV	
	10-09-23	22:39	0	0	0	0	0	0	0	IV	
	10-09-23	9:37	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9-09-23	19:28	0	0	0	0	0	0	0	0	IV
	9-09-23	1:01	0	0	0	0	0	0	0	0	IV
	9-09-23	2:11	0	IV	0	0	0	0	0	0	0
228	14-09-23	1:44	0	IV	0	0	0	0	0	0	
	13-09-23	18:32	0	IV	0	0	0	0	0	0	
	13-09-23	16:22	0	IV	0	0	0	0	0	0	
	13-09-23	10:06	0	IV	0	0	0	0	0	0	

Figura 21 - Lista QuarterCellCount\_3Days per il monitoraggio di tutti gli animali munti negli ultimi 3 giorni.

Strutturalmente le liste sono molto simili tra loro ed entrambe seguono lo stesso principio per la generazione di un allarme relativo ad un animale. Nella parte superiore della lista è stata inserita una legenda in cui vengono indicate le classi di cellule calcolate secondo i parametri del sensore: Classe 0 da 0 a 250'000 cellule, Classe I da 250'000 a 500'000, Classe II da 500'000 a 1'000'000, Classe III da 1'000'000 a 2'000'000 e Classe IV oltre le 2'000'000 cellule. Per ognuno dei quattro quarti sono indicate la classe di cellule di appartenenza e uno storico. Se il conteggio cellulare di uno o più quarti aumenta di due classi rispetto al suo storico, verrà generato un allarme su quel/quei quarto. Anche se non dovesse verificarsi un aumento di classe, verrebbe sempre generato un allarme quando il conteggio delle cellule di uno o più quarti risulta essere nelle classi III o IV. Se la classe di conteggio delle cellule è 0 o I, l'animale non sarà incluso nell'elenco degli allarmi.

Alcuni animali compaiono ripetutamente nell'elenco degli allarmi. Questi mostrano un aumento prolungato (o cronico) della conta cellulare. Le cause potenziali sono un'infezione acuta da mastite che si è cronicizzata (ad es. infezione da *S. aureus* con ripetute fasi subcliniche) oppure una mastite subclinica che è diventata cronica. Per analizzare l'andamento di queste vacche, ma anche di quelle non croniche si possono visualizzare dei grafici realizzati sulla base dei dati e delle liste del DairyPlan. Tramite lo strumento "DPTTableGraph" possono essere creati e visualizzati numerosi e dettagliati grafici sia sulla conta cellulare che sulla conducibilità o attività degli animali.

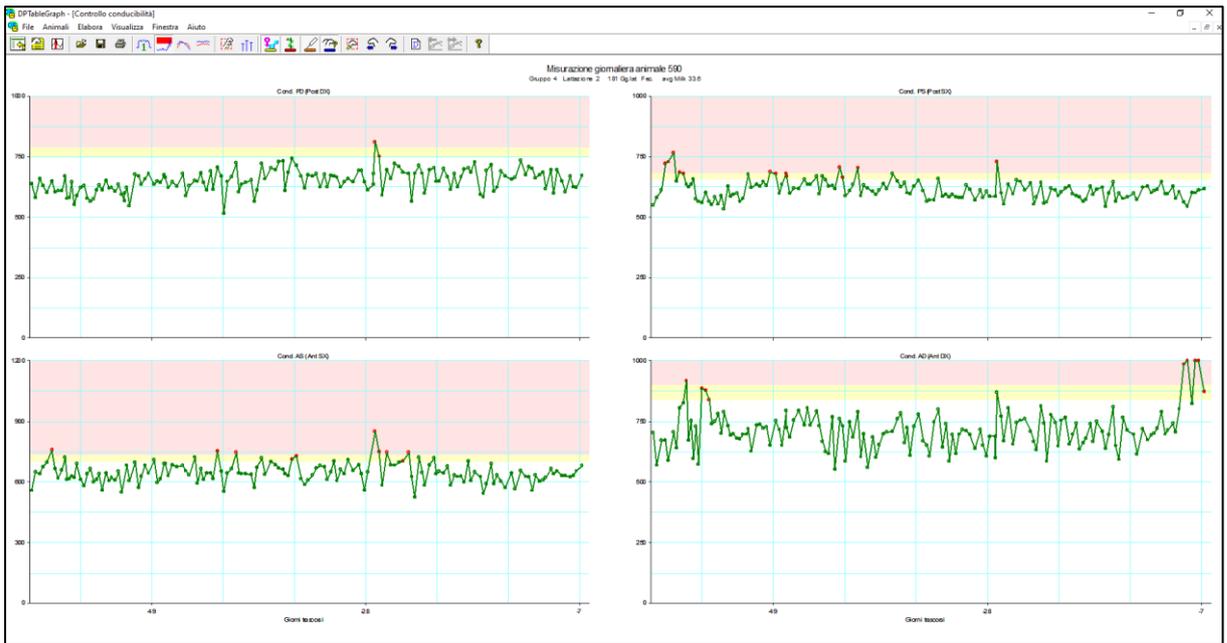


Figura 22 - Grafico per la valutazione della conducibilità per quarto.

Nella *Figura 22* si può osservare un quadro abbastanza esplicativo della situazione di questa bovina. La linea gialla indica la soglia al di sopra della quale scatta un allarme per la conducibilità ed infatti, per ogni quarto, i punti rossi al di sopra della linea gialla corrispondono ad un allarme.

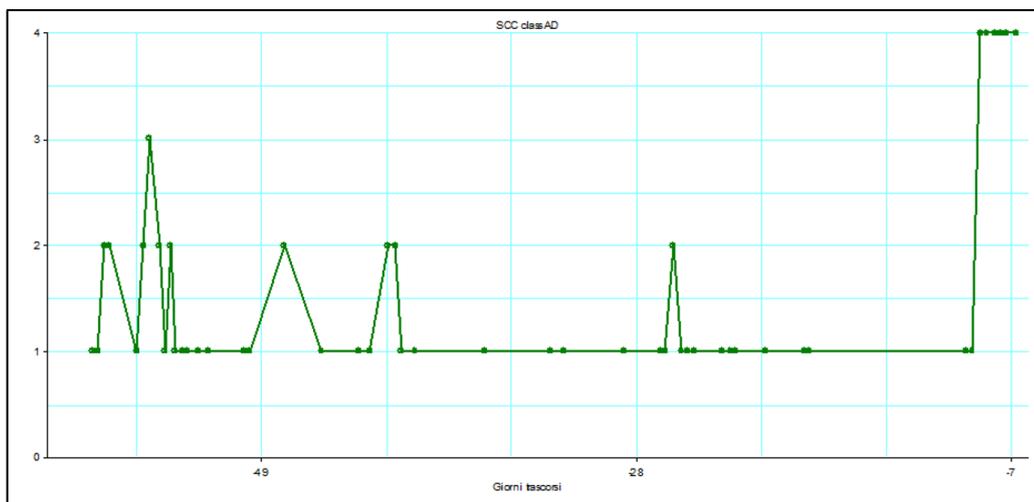


Figura 23 - Grafico per il monitoraggio della SCC per un quarto.

Nell'esempio della *Figura 23* invece, viene mostrato il grafico relativo alla SCC per quarto. In questo caso specifico viene mostrato il quarto anteriore destro di questa bovina con

l'andamento in termini di SCC. Sull'asse delle ordinate sono indicate le classi di cellule e sull'asse delle ascisse i giorni trascorsi.

Grazie a liste e grafici, il DairyPlan consente di avere una visualizzazione molto chiara di ciò che sta accadendo all'interno dell'azienda. Facendo riferimento ai dati e ai grafici e osservando più precisamente alcuni animali, l'allevatore può prendere coscienza dello stato dei suoi bovini ed eventualmente decidere di effettuare modifiche e azioni migliorative sia per quanto riguarda le operazioni in stalla che per quanto riguarda mungitura, alimentazione e benessere degli animali.

## **2. SCOPO**

Lo scopo dell'elaborato di tesi è quello di valutare l'affidabilità del sistema GEA DairyMilk M6850, confrontando i dati elaborati dal sensore relativi ad allarmi cellule e conducibilità del latte con quelli ottenuti tramite l'utilizzo del *California Mastitis Test (CMT)*, uno dei principali metodi di riferimento per la diagnosi di mastite nei bovini da latte.

### 3. MATERIALI E METODI

Tutti i dati sono stati raccolti nel periodo successivo all'alluvione che ha colpito la provincia di Ravenna a metà maggio. Il progetto di ricerca è stato sviluppato durante il periodo di tirocinio presso l'azienda "Bellucci Orlando & C. s.r.l." assieme al reparto tecnico di GEA Italia.

#### 3.1 DESCRIZIONE DELL'AZIENDA

Per rispondere alla domanda sperimentale occorre individuare una azienda che, oltre ad avere in stalla il GEA DairyRobot R9500, avesse installato il sensore GEA DairyMilk M6850. La scelta è ricaduta sull'Azienda Agricola Fucci Giacomo Caseificio Boschetto Vecchio, situata in via Coronella 155 a Conselice, provincia di Ravenna. Si tratta di una piccola realtà a conduzione familiare con circa 140 capi totali, di cui 60 circa in produzione (circa 40 durante il periodo della prova sperimentale). La maggior parte delle vacche sono di razza Frisona con una percentuale inferiore di meticce, Pezzate Rosse e Jersey.

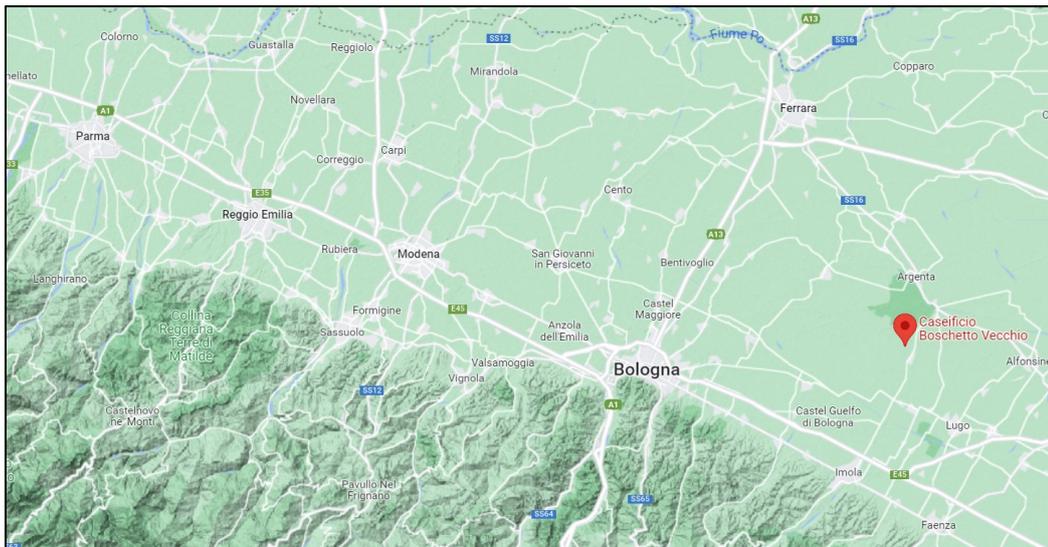


Figura 24 - Geolocalizzazione dell'azienda.

Nonostante l'azienda non rientri nel territorio di produzione del Parmigiano Reggiano, per l'alimentazione degli animali viene utilizzato mangime certificato dal Consorzio del Parmigiano Reggiano e foraggi di produzione propria (ad esclusione del periodo

immediatamente successivo all'alluvione). La razione con carro unifeed viene distribuita 2 volte al giorno. Inoltre, secondo dati del 2019 la quasi totalità della mandria (96%) è stata selezionata per latte A2A2. Gli animali sono situati su lettiera permanente ed hanno accesso al robot tramite un sistema a traffico guidato che presenta un cancello di preselezione all'ingresso della sala d'attesa. All'uscita dal robot di mungitura, le bovine passano attraverso un altro cancello deviatore che le smista in stalla o nel box infermeria. Nei seguenti grafici sono indicate alcune caratteristiche generali dell'azienda [Figura 25 e 26 e Tabella 6].

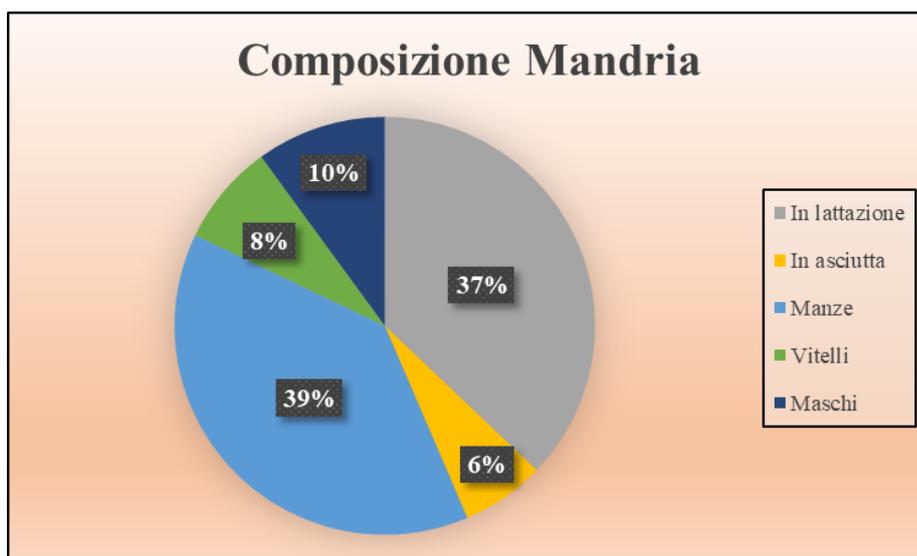


Figura 25 - Composizione della mandria in analisi.

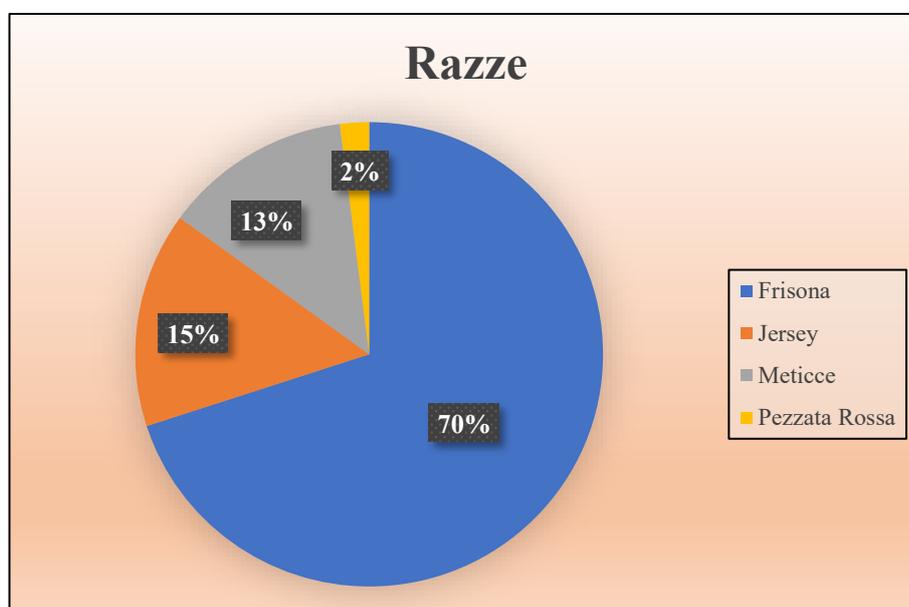


Figura 26 - Distribuzione delle razze all'interno dell'azienda.

Tabella 6 - Alcune informazioni generali sulla mandria in esame.

<b>Gruppo</b>	<b>Interv. min. di mungitura (h)</b>	<b>Animali per gruppo</b>	<b>Media latte giornaliero (Kg/d)</b>	<b>Numero mung. giornaliere</b>	<b>DIM</b>
1	10:30	15	14,7	1,99	340
2	09:00	8	21,2	2,17	307
3	07:00	16	23,5	2,70	146
4	05:30	4	32,0	2,99	156
5	04:30	5	37,6	3,46	103
<b>Totale</b>		<b>48</b>	<b>22,5</b>	<b>2,49</b>	<b>230</b>

### 3.2 RACCOLTA DATI

Il periodo di sperimentazione e raccolta dei dati è iniziato il 3 agosto 2023 e si è concluso il 4 settembre 2023. Durante tutto il periodo di raccolta dei dati sono stato aiutato dall'allevatore e da una tirocinante esterna. Si è scelto un periodo di circa un mese, in corrispondenza di due controlli funzionali da parte dell'A.R.A. (Associazione Regionale Allevatori). Tutti i campioni di latte analizzati sono stati prelevati dagli stessi 3 operatori durante il periodo indicato. Il robot di mungitura utilizzato dall'azienda e dal quale sono stati prelevati tutti i dati necessari per l'analisi statistica è il GEA DairyRobot R9500 dotato di sensore contacellule GEA DairyMilk M6850. Per l'esecuzione del *California Mastitis Test* è stato utilizzato il kit CMT della X-SPURT e "GEA Reagent N" come reagente.



Figura 27 - Kit e reagente utilizzato per eseguire il CMT.

Nel corso del mese di agosto 2023, sono stati raccolti campioni di tutti e quattro i quarti dalle vacche per le quali il sistema AMS segnalava, durante la mungitura, un allarme cellule (valore stimato superiore a 250.000 cellule/ml) in almeno uno dei quattro quarti mammari. Per gli stessi quarti campionati, si è proceduto a registrare i dati di conducibilità elettrica. In totale, sono stati raccolti 1338 campioni di latte di singolo quarto. Su tutti i campioni, infine, è stato effettuato il California Mastitis Test (CMT).

### 3.2.1 Protocollo

Il protocollo utilizzato per la raccolta dei dati prende spunto dalle linee guida fornite da GEA, con alcune modifiche apportate da noi assieme all'allevatore, in modo da non stravolgere la routine aziendale, rimanendo comunque fedeli alla procedura operativa fornita da GEA.

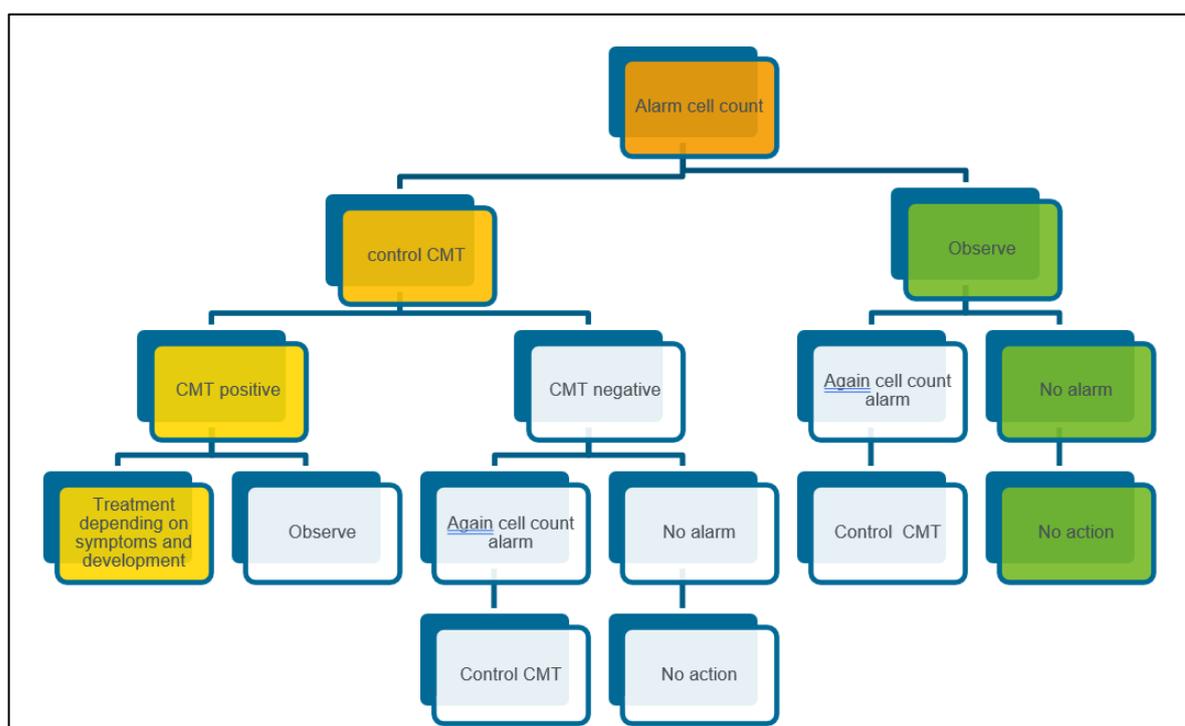


Figura 28 - Linee guida GEA sulle modalità operative nel caso in cui una vacca risulti in allarme nella lista.

Al “giorno 0”, in data 3 agosto 2023, sono state campionate tutte le bovine con preleva-campioni ufficiale GEA in uso presso A.R.A. per successiva analisi nei giorni seguenti in laboratorio accreditato (campione senza distinzione del singolo quarto). Contestualmente è

stato eseguito il CMT su tutti gli animali campionati senza alcuna distinzione (sono state ignorate solo le bovine che in quella data erano in fase di colostro).

Dopo questo primo campionamento si è proseguita la raccolta eseguendo il CMT solo su quegli animali che, durante il periodo della prova, sono risultati in allarme nella lista del DairyPlan “QuarterCellCount\_Alarms\_All” personalizzata dall’allevatore [Figura 29]. Tutti i giorni alle ore 14:00 sono stati presi in carico i dati dalla lista ed è stato eseguito il CMT sugli animali che risultavano in allarme. In funzione dei risultati ottenuti, della quantità di latte sul singolo quarto, dei tempi intercorsi tra una mungitura e l’altra, si è scelto come agire.

Monitoraggio salute singoli quarti  
 Legenda Cellule: 0 - 250 Classe 0, 250 - 500 Classe I, 500 - 1000 Classe II, 1000 - 2000 Classe III, >2000 Classe IV  
 Legenda Conducibilità: +++ Incremento ultimi 3 valori rispetto alla media tra 10-19%, ++++ Incremento ultimi 3 valori rispetto alla media oltre il 20%

Fascia	DDM	Latte/Sicco		Mungitura		Quarto I				Quarto II				Quarto III				Quarto IV																
		Att.	Dev. +/-	Data	Ora	Kg	Kg	Cell.	Storico	Cond.	Storico	Kg	Cell.	Storico	Cond.	Storico	Kg	Cell.	Storico	Cond.	Storico	Kg	Cell.	Storico	Cond.	Storico								
624	241	25.1	4.6	12-07-23	21:02	5.94	1.22	IV ++++	0	ALLARME!	1064	ok	760	1.24	IV ++++	0	ALLARME!	995	ok	765	1.43	IV ++++	0	ALLARME!	814	ok	621	1.13	IV ++++	0	ALLARME!	896	ok	621
623	251	23.2	-1.5	23-09-23	5:47	12.41	3.70	IV ++++	0	ALLARME!	859	ok	663	3.43	IV ++++	0	ALLARME!	735	ok	663	2.59	IV ++++	0	ALLARME!	735	ok	649	2.69	IV ++++	0	ALLARME!	763	ok	697
618	302	21.4	3.0	2-09-23	19:16	6.76	1.37	0	0	749	ok	644	2.11	0	0	728	ok	654	1.56	IV ++++	0	ALLARME!	782	ok	663	1.43	IV ++++	0	ALLARME!	795	ok	679		
617	288	23.8	2.6	18-09-23	8:10	10.15	2.95	0	0	581	ok	569	2.53	IV ++++	0	ALLARME!	909	ok	744	2.01	0	0	541	ok	523	1.97	0	0	546	ok	550			
				19-09-23	0:46	9.03	2.84	0	0	574	ok	562	2.44	IV ++++	IV	ALLARME!	993	ok	864	2.05	0	0	519	ok	509	1.69	0	0	563	ok	545			
				19-09-23	10:39	9.94	2.84	0	0	601	ok	543	1.73	IV ++++	IV	ALLARME!	995	ok	915	1.73	0	0	570	ok	531	1.42	0	0	543	ok	546			
				19-09-23	22:22	7.94	2.13	0	0	591	ok	570	2.17	IV ++++	IV	ALLARME!	929	ok	893	1.39	0	0	557	ok	536	1.31	0	0	553	ok	545			
615	340	16.7	-3.0	17-06-23	17:20	9.14	2.82	0	0	549	ok	523	1.42	IV ++++	0	ALLARME!	792	ok	664	2.39	0	0	492	----	491	2.40	0	0	510	----	513			
				18-09-23	12:01	10.11	2.36	0	0	474	ok	509	1.81	IV ++++	0	ALLARME!	1059	ok	730	2.28	0	0	605	ok	534	2.43	0	0	639	ok	579			
				18-09-23	16:13	0.45	0.09	0	0	487	ok	510	0.15	IV ++++	IV	ALLARME!	1144	ok	929	0.17	0	0	487	ok	493	0.09	0	0	364	ok	445			
				19-09-23	19:32	0.34	0.05	0	0	333	ok	415	0.45	IV ++++	IV	ALLARME!	1240	ok	1043	0.14	0	0	415	ok	409	0.04	0	0	140	ok	445			
				19-09-23	20:00	0.33	0.20	III +++	0	ALLARME!	419	ok	411	0.30	IV ++++	IV	ALLARME!	1056	ok	978	0.11	0	0	372	ok	409	0.08	0	0	290	ok	445		
				19-09-23	21:30	0.09	0.00	0	III	419	ok	411	0.37	IV ++++	IV	ALLARME!	100	ok	832	0.00	0	0	372	ok	409	0.01	0	0	290	ok	445			
				20-09-23	8:36	0.08	0.00	0	III	419	ok	411	0.16	IV ++++	IV	ALLARME!	472	ok	409	0.01	0	0	372	ok	409	0.00	0	0	290	ok	445			
				20-09-23	19:58	1.19	1.04	IV ++++	III	ALLARME!	503	ok	447	0.27	IV ++++	IV	ALLARME!	1147	ok	922	0.51	IV ++++	0	ALLARME!	682	ok	538	0.35	IV ++++	0	ALLARME!	510	ok	475
				20-09-23	19:07	0.33	0.05	0	IV	372	ok	447	0.18	IV ++++	IV	ALLARME!	1105	ok	922	0.21	III +++	IV	519	ok	524	0.10	0	IV	343	ok	475			
				20-09-23	22:53	0.09	0.12	IV ++++	IV	ALLARME!	365	ok	447	0.33	IV ++++	IV	ALLARME!	893	ok	747	0.19	IV ++++	IV	ALLARME!	469	ok	452	0.00	0	IV	245	ok	475	
				21-09-23	9:44	2.70	1.16	IV ++++	IV	ALLARME!	569	ok	497	0.26	IV ++++	IV	ALLARME!	1180	ok	955	0.30	IV ++++	IV	ALLARME!	717	ok	572	0.86	IV ++++	IV	ALLARME!	594	ok	522
				21-09-23	16:26	2.44	0.89	IV ++++	IV	ALLARME!	600	ok	535	0.16	IV ++++	IV	ALLARME!	1121	ok	992	0.87	IV ++++	IV	ALLARME!	715	ok	629	0.85	IV ++++	IV	ALLARME!	605	ok	593

Figura 29 - Lista personalizzata per il monitoraggio degli allarmi.

L'allevatore ha utilizzato due prodotti come terapia alternativa a quella antibiotica (pre-mastite). Si tratta di FLUMAST-L e FLUMAST ROSA della GreenVet [Figura 30], due miscele a base di oli essenziali ed estratti vegetali da applicare in caso di SCC elevata e infiammazioni della mammella. La scelta è ricaduta sul FLUMAST-L quando si sono verificate queste due condizioni:

- L'animale risultava in allarme sulla lista del software;
- Il CMT mostrava risultato pari a T o 1.

Si è scelto di utilizzare il FLUMAST ROSA quando si sono verificate queste condizioni:

- A seguito dell'applicazione di FLUMAST-L l'animale risultava ancora in allarme sulla lista del software;
- Il CMT mostrava risultato pari a T o 1;
- In caso di vacche "recidive" che non riuscivano a superare l'infezione.

Se anche con il FLUMAST ROSA l'animale rimaneva in allarme nella lista del software, generalmente si procedeva con la somministrazione dell'antibiotico. Rispetto allo schema di partenza, dunque, la decisione di trattare o non trattare, anche in presenza di CMT positivo, è stata presa dall'allevatore in funzione di:

- Gravità (punteggio CMT)
- Pulizia della mammella
- Quantitativo di latte sul singolo quarto
- Giorni di lattazione: andando avanti con la lattazione la mammella inizia ad essere più "stanca" e quindi più suscettibile.
- Tempi tra due mungiture consecutive: prima di effettuare un trattamento, è importante valutare l'intervallo tra due mungiture successive poiché, se un animale ha un intervallo tra due mungiture più lungo rispetto alla sua media, potrebbe risultare in allarme. Ciò non significa che ci sia davvero un problema, ma potrebbe essere aumentata la SCC a causa del maggior tempo di permanenza del latte nella mammella (proliferazione batterica). Alla mungitura successiva all'allarme, molto spesso il problema non si verifica. Se invece l'allarme persiste, si effettua il trattamento.



Figura 30 - Prodotti GreenVet per il trattamento della mastite utilizzati dall'allevatore.

### 3.3 ELABORAZIONE DEI DATI

Prima dell'analisi statistica vera e propria, è stata necessaria una pre-elaborazione dei dati utilizzando il programma Excel. L'obiettivo di questa pre-elaborazione era quello di unire in un'unica scheda i dati relativi agli allarmi rilevati dal GEA DairyMilk M6850, ai CMT effettuati e ai valori di conducibilità elettrica del latte per ogni quarto.

<i>Nr</i>	<i>Data</i>	<i>Ora</i>	<i>Quarto</i>	<i>CMT</i>	<i>Conducibilità</i>	<i>Allarmi</i>	
594	04/08/2023	17:48	<i>AS</i>	3	557		
594	04/08/2023	17:48	<i>AD</i>	N	390		
594	04/08/2023	17:48	<i>PS</i>	N	509		
594	04/08/2023	17:48	<i>PD</i>	T	598	X	
471	05/08/2023	20:54	<i>AS</i>	N	656		
471	05/08/2023	20:54	<i>AD</i>	N	629		
471	05/08/2023	20:54	<i>PS</i>	N	584		
471	05/08/2023	20:54	<i>PD</i>	T	1166	X	
534	05/08/2023	06:14	<i>AS</i>	N	697		
534	05/08/2023	06:14	<i>AD</i>	N	696		
534	05/08/2023	06:14	<i>PS</i>	2	1105	X	
534	05/08/2023	06:14	<i>PD</i>	T	970		
564	05/08/2023	05:56	<i>AS</i>	N	585		
564	05/08/2023	05:56	<i>AD</i>	T	961	X	
564	05/08/2023	05:56	<i>PS</i>	N	636		
564	05/08/2023	05:56	<i>PD</i>	N	601		
582	05/08/2023	01:28	<i>AS</i>	3	1099	X	
582	05/08/2023	01:28	<i>AD</i>	N	623		
582	05/08/2023	01:28	<i>PS</i>	N	613		
582	05/08/2023	01:28	<i>PD</i>	T	760		

Figura 31 - Dati pre-elaborati in Excel per l'analisi statistica.

Nella *Figura 31* viene illustrata una sezione di tabella nella quale sono indicati per ogni animale, da sinistra verso destra, il numero dell'animale, la data dell'allarme, l'ora dell'allarme, l'identificazione del quarto, il punteggio del CMT per quel quarto (*vedi paragrafo 1.1.4*), i valori di conducibilità per quel quarto e gli allarmi divisi per quarto. I dati sono stati poi ordinati per data e ora. Dopo aver pre-elaborato i dati relativi a tutti gli animali campionati si è proceduto all'analisi statistica.

### 3.4 ANALISI STATISTICA

I dati di conducibilità sono stati analizzati per mezzo di analisi della varianza univariata, utilizzato come fattore fisso il risultato del CMT (5 livelli: uno per ciascuna delle categorie N, T, 1, 2 e 3).

## 4. RISULTATI

La distribuzione dei campioni di singolo quarto in rapporto alla classificazione CMT e alla presenza o meno di allarme cellule è riportato in *Tabella 7*.

*Tabella 7 - Distribuzione dei campioni in rapporto alla classificazione CMT e alla presenza di allarme cellule.*

	Allarme cellule		
	No	Si	
CMT	Conteggio	Conteggio	Totali
N	566	49	615
T	152	84	236
1	69	57	126
2	40	130	170
3	15	176	191
<b>Totali</b>	842	496	1338

I campioni risultati negativi al CMT sono stati 615 (il 46% dei campioni totali). Di questi, il 92% (pari a 566 campioni) non ha generato alcun allarme cellule durante la mungitura. Tale percentuale corrisponde al valore di specificità, cioè al rapporto tra il numero di campioni privi di allarme e il numero di campioni con valori di CMT pari a N. In sintesi, si può affermare che un latte di quarto con CMT negativo (N), nel 92% dei casi non genera nessun allarme cellule (percentuale di falsi positivi pari al 8%). Secondo quanto riportato da EFSA, valori di specificità superiori al 70% sono da considerarsi ottimi.

Per sensibilità invece, si intende il numero di campioni con esito del CMT positivo (categorie T, 1, 2, 3: 723 campioni) che ha generato un allarme cellule (447 campioni). In sintesi, potremmo definirla come la capacità del sistema di rilevare realmente un latte con CMT positivo. Il valore complessivo ottenuto è risultato pari al 61,8%. Si tratta di un valore da considerarsi discreto. Nell'ambito delle singole categorie del *California Mastitis Test*, i valori di sensibilità sono i seguenti: categoria T, 36%; categoria 1, 45%; categoria 2, 76%; categoria 3, 92%. Appare evidente come la sensibilità del sistema di rilevamento allarme cellule sia migliorata significativamente con l'aggravarsi del grado di infiammazione mammaria rilevato

con il CMT. Tuttavia, occorre precisare un limite importante per la rilevazione della sensibilità legato allo schema di campionamento. In effetti, il protocollo utilizzato ha escluso dalla determinazione del grado CMT le vacche che non presentavano allarme cellule in nessuno dei quattro quarti. Pertanto, il valore del numero di quarti con CMT positivi (categorie T, 1, 2, 3) potrebbe essere sottostimato.

Sui campioni raccolti durante il periodo di sperimentazione è stata rilevata anche la conducibilità elettrica (il sensore usa l'Unità Metatron anziché i mS/cm; 1 Unità Metatron corrisponde a circa 6 mS/cm). Nella *Tabella 8* sono mostrati i valori di conducibilità dei campioni in rapporto al grado CMT rilevato.

*Tabella 8 - Rapporto tra i valori di conducibilità e il grado CMT rilevato.  
(a, b, c: Valori medi con lettere differenti sono diversi per  $p < 0,05$ ).*

	<b>Conducibilità elettrica (Unità Metatron)</b>	
<b><i>CMT</i></b>	<b><i>Media</i></b>	<b><i>ES</i></b>
N	614,05a	6,66
T	668,49b	10,89
1	670,87b	14,40
2	809,08c	12,42
3	913,18d	11,61

Passando all'analisi dei dati relativi alla conducibilità elettrica del latte, invece, essa risulta essere un ottimo parametro per differenziare animali con CMT negativo o positivo. Infatti, la conducibilità permette di distinguere un quarto sano (N) da uno infiammato (T, 1, 2, 3) e, ad eccezioni delle categorie T e 1, tutte le altre categorie sono statisticamente diverse tra loro. Questo dato è molto significativo e conferma la bontà di questo parametro nel differenziare le diverse categorie di CMT.

## 5. DISCUSSIONE

L'individuazione della mastite è fondamentale per il processo decisionale dell'allevatore. In primo luogo, gli animali ammalati devono essere identificati per essere trattati o per osservarne da vicino l'evoluzione clinica (Bausewein, Mansfeld, Doherr, Harms, & Sorge, 2022). Oltre alla ricerca dei sintomi clinici, occorre utilizzare dei metodi di rilevamento più precisi, che possano aiutare ad individuare i casi in cui la malattia si presenta in forma subclinica, decisamente più difficile da individuare. L'individuazione precoce della mastite subclinica, dunque, è un tassello fondamentale per l'attuazione di strategie di controllo e gestione della mastite in allevamento (Hoque MN, 2015). Per farlo, sono state sviluppate numerose tecnologie che sono ancora oggi in fase di evoluzione e ottimizzazione. Il tutto per cercare di supportare gli allevatori nella gestione di questa malattia, considerata la più importante nel settore lattiero-caseario a livello mondiale (Hogeveen H, 2011).

Per considerare l'effettivo funzionamento di un sensore, sistema di rilevamento o test diagnostico bisogna valutare due parametri fondamentali, ovvero sensibilità e specificità. Entrambi questi valori devono rientrare in dei limiti minimi al di sotto dei quali uno strumento non è considerato affidabile. La sensibilità misura la capacità di un sistema di rilevamento di identificare correttamente i casi positivi. In altre parole, rappresenta la proporzione di veri positivi (casi in cui il sistema ha correttamente rilevato la presenza di un evento) rispetto al totale dei positivi presenti. La specificità invece, misura la capacità di un sistema di rilevamento di identificare correttamente i casi negativi. Rappresenta la proporzione di veri negativi (casi in cui il sistema ha correttamente indicato l'assenza di un evento) rispetto al totale dei negativi presenti. Nell'ambito dell'individuazione di casi di mastite in aziende dotate di AMS, entrambi questi due parametri sono cruciali e per tale motivo è importante valutare i sistemi di rilevamento automatici anche in termini di specificità e sensibilità.

Dal punto di vista della specificità, intesa come la proporzione di soggetti realmente sani che sono identificati come tali dal sistema di rilevamento, il sensore GEA risulta essere un ottimo strumento per l'individuazione degli animali sani. Per quanto riguarda il valore di sensibilità, inteso come la proporzione di soggetti realmente malati identificati come tali dal sistema di rilevamento, il valore rilevato è da considerarsi discreto. Inoltre, bisogna precisare che, con l'aumentare della gravità della mastite rilevata tramite CMT, aumenta anche la sensibilità del sensore.

Secondo le norme ISO, un sistema di rilevamento della CM dovrebbe offrire almeno una sensibilità dell'80% e una specificità del 99% (ISO, 2007). Tuttavia, diversi produttori di sistemi AMS hanno approcci per rilevare la mastite in azienda con tassi di rilevamento (sensibilità) compresi tra il 31% e il 78% e tassi di corretta esclusione (specificità) tra il 79% e il 97% (Bausewein, Mansfeld, Doherr, Harms, & Sorge, 2022). Il sensore GEA DairyMilk M6850, dunque, rientra perfettamente nei due range indicati dallo studio di Bausewein et al. (2022) e per tale motivo risulta essere un buon sensore per la rivelazione delle mastiti. Tuttavia, occorre precisare che in questo nostro studio è presente un limite importante per quanto riguarda la rilevazione della sensibilità, dovuto al protocollo utilizzato per la raccolta dei dati. In effetti, il protocollo ha escluso dalla determinazione del *California Mastitis Test* quelle vacche che non presentavano in nessun quarto mammario almeno un allarme cellule. Pertanto, il valore del numero di quarti con CMT positivi (categorie T, 1, 2, 3) potrebbe essere sottostimato.

Passiamo ora ad analizzare l'altro parametro preso in considerazione dalla nostra prova, ovvero la conducibilità elettrica del latte. Anch'esso è considerato un parametro da tenere sotto controllo in caso di mastite, nonostante la SCC sia comunque il parametro maggiormente utilizzato. La conducibilità elettrica di un latte a 25°C è compresa generalmente tra 4,0 e 5,5 mS/cm (Nielen M., 1992) ma, in presenza di una infiammazione della mammella, la composizione del latte cambia. Dall'analisi dei dati relativi alla conducibilità elettrica del latte, è stata osservata una importante differenza tra animali con CMT negativo (N) e animali con CMT positivo (T, 1, 2, 3). Si può quindi affermare che esiste una capacità statisticamente significativa da parte del parametro della conducibilità elettrica nel differenziare animali sani (N) da animali realmente ammalati (T, 1, 2, 3). Per quel che riguarda invece la differenziazione tra le categorie con CMT positivo, è stata osservata una differenza statisticamente significativa tra i gradi 2 e 3 con i gradi T e 1 [Tabella 8], che conferma l'utilità del parametro conducibilità nel rilevare la mastite nei casi più gravi. Il sistema, tuttavia, non riesce a differenziare le categorie T e 1, il che fa pensare che il sensore possa avere delle difficoltà nel differenziare queste due categorie. In effetti, può accadere che un valore intermedio tra queste due classi venga erroneamente collocato in uno piuttosto che nell'altro. Importante però sottolineare due aspetti. Il primo è relativo *California Mastitis Test*. Infatti, i risultati del CMT sono in buona parte soggetti ad interpretazione soggettiva da parte dall'operatore che osserva il campione. Nonostante nel nostro studio gli operatori fossero 3, questo aspetto potrebbe aver influito sulla valutazione finale di una parte dei campioni. L'altro aspetto da sottolineare è relativo alla variabilità del parametro di conducibilità elettrica del latte. Infatti, esso è un parametro altamente incostante. La conducibilità elettrica del latte varia da vacca a vacca e può variare da

quarto a quarto in funzione di alimentazione, stato dell'animale, fase di lattazione, età, razza, genetica e composizione del latte. Considerando la vasta gamma di parametri in gioco, è impossibile riuscire a definire con precisione quali siano i limiti di conducibilità per i quali si parla di mastite. GEA indica il valore di 6,5 mS/cm. Secondo le linee guida di GEA, al di sopra di tale valore il rischio di avere un aumento di cellule somatiche è più che triplicato.

## 6. CONCLUSIONI

L'obiettivo del nostro studio era quello di valutare l'affidabilità del sistema GEA DairyMilk M6850, confrontando i dati degli allarmi elaborati dal sensore con quelli ottenuti tramite l'utilizzo del *California Mastitis Test (CMT)*, ovvero uno dei principali metodi di riferimento per la diagnosi di mastite nei bovini da latte. Dopo aver analizzato i dati relativi agli allarmi cellule, il sensore risulta essere uno strumento dotato di una ottima specificità ma non di una altrettanto buona sensibilità. Possiede quindi una grande capacità di identificare i soggetti realmente sani e una minor capacità di individuare i soggetti realmente ammalati. Per migliorare questo valore si potrebbe pensare di effettuare ulteriori studi sperimentali sul sensore GEA andando a modificare o cambiare il protocollo di raccolta dei dati e renderlo più accurato. Si potrebbe in aggiunta estendere il protocollo utilizzato a più aziende contemporaneamente in modo da poter valutare l'affidabilità di questo strumento in diverse realtà. Ciò potrebbe aiutarci a capire anche il diverso impatto del sensore su realtà che utilizzano differenti metodi di gestione aziendale e dunque comprendere se ci sono tipologie di aziende più adatte all'implementazione di un sistema come il GEA DairyMilk M6850.

Un ragionamento differente si può fare per quanto riguarda il parametro della conducibilità del latte, il quale è risultato essere molto utile per la differenziazione dei soggetti sani (N) da quelli malati (T, 1, 2, 3) e anche nella differenziazione delle mastiti più gravi (gradi 2 e 3 del CMT) da quelle meno gravi (T e 1). Nonostante la conducibilità sia un parametro altamente variabile, possiamo affermare che, per quanto riguarda il seguente studio, si tratta di un parametro affidabile per la diagnosi di mastite.

In generale, bisogna ottimizzare sempre più questa tipologia di strumenti di rilevazione in termini di sensibilità e specificità, in modo tale da migliorare la gestione della mastite, così diffusa e pericolosa per tutto il settore. Una sensibilità elevata in questo contesto è essenziale per assicurare che il sistema di rilevamento sia in grado di identificare correttamente gli animali affetti da mastite, consentendo all'allevatore di intervenire tempestivamente. Allo stesso tempo però, una buona sensibilità è fondamentale per evitare trattamenti non necessari e per garantire l'efficienza della gestione del bestiame.

Proprio quest'ultimo passaggio è importante da sottolineare se pensiamo alla potenziale riduzione nell'utilizzo di antibiotici e altri farmaci che si potrebbe ottenere con un sistema come il sensore GEA DairyMilk M6850. L'individuazione della mastite in maniera precoce, nei suoi stadi iniziali, può consentire all'allevatore di utilizzare trattamenti che non

prevedano necessariamente l'uso di antibiotici, che come tutti noi sappiamo sono fin troppo presenti nelle routine di molte aziende. Inoltre, il metodo utilizzato dall'Azienda Agricola Fucci Giacomo Caseificio Boschetto Vecchio per controllare questa patologia è un modello da seguire se vi vuole ridurre gradualmente l'utilizzo di antibiotici. Esistono in commercio numerosi prodotti che posso essere utilizzati in supporto o in sostituzione dei classici antibiotici e che possono contrastare la mastite, se identificata in modo precoce.

Dunque, la direzione delle grandi aziende produttrici dovrebbe essere proprio quella dell'ottimizzazione dei sistemi di rilevamento delle patologie come la mastite. Se si riuscissero ad individuare precocemente questo tipo di malattie, si potrebbe contribuire a ridurre drasticamente l'impatto economico, ambientale e sociale che viene spesso additato al settore zootecnico.

## BIBLIOGRAFIA

- (2020, Novembre 11). Tratto da Allevatori TOP:  
<https://www.allevatori.top/tecnologia/2020/11/11/dairyrobot-r9500-lrsquoevoluzione-di-gea-monobox/60>
- A.L. Bhutto, R. M. (2012). California mastitis test scores as indicators of subclinical intramammary infections at the end of lactation in dairy cows. *Research in Veterinary Science* 92, 13 - 17.
- Ahmadzadeha, A. (2009). Effect of clinical mastitis and other diseases on reproductive performance of Holstein cows. *Animal Reproduction Science* 112.
- Aqeela Ashraf, a. M. (2019). Causes, types, etiological agents, prevalence, diagnosis, treatment, prevention, effects on human health and future aspects of bovine mastitis. *Animal Health Research Review*.
- Ballarini, G. (1994). *Malattie della bocina da latte ad alta produzione*. Bologna: Edagricole.
- Bausewein, M., Mansfeld, R., Doherr, M., Harms, J., & Sorge, U. (2022). Sensitivity and Specificity for the Detection of Clinical Mastitis by Automatic Milking Systems in Bavarian Dairy Herds. *Animals*, 12-2131.
- bellucci.it. (2016). *GEA In-Liner Everything*. Tratto da bellucci.it:  
<https://www.bellucci.it/prodotto-gea/gea-in-liner-everythings/>
- Berckmans, D. (2014). Precision Livestock Farming Technologies for Welfare Management in Intensive Livestock Systems. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz* 33.1.
- Bian et al. (2014). Identification of diagnostic protein markers of subclinical mastitis in bovine whey using comparative proteomics. *Bullettin of the Veterinary Institute in Pulawy* 58.
- Brambell, R. (1965). *Rapporto del comitato tecnico per indagare sul benessere degli animali tenuti in sistemi di allevamento intensivo di bestiame*. Londra.
- C.R.P.A., C. R. (Giugno 2022). *Benessere animale, biosicurezza e innovazione tecnologica nei diversi sistemi d'allevamento per i bovini da latte e da carne*.
- Capuco, A. V. (1992). Increased susceptibility to intramammary infection following removal of teat canal keratin. *Journal of Dairy Science* 75.

- Chagunda MG, L. T. (2006). L-lactate dehydrogenase and N-acetyl-beta-D-glucosaminidase activities in bovine milk as indicators of non-specific mastitis. *The journal of Dairy research*.
- Conterio, M. (2022). Digitalizzazione nella zootecnia di precisione, a tutela di animali e allevatori. *TECH4FUTURE*. Tratto da TECH4FUTURE.
- de Koning, K. Y. (2002). Automatic milking experience and development in Europe. *First North America Conference on Robotic Milking*. Toronto: Wageningen Academic Publishers.
- De Vliegher, & Sarne. (2012). Mastitis in dairy heifers: nature of the disease, potential impact, prevention, and control. *Journal of Dairy Science* 95, 1025–1040.
- Dhakal, I. (2006). Normal somatic cell count and subclinical mastitis in Murrah buffaloes. *Journal Veterinary Medicine B Infectious Diseases and Veterinary Public Health* 53.
- Fantini, A. (2009, Maggio). "Le variazioni del lattosio nel latte". Tratto da ruminantia.it: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ruminantia.it/wp-content/uploads/2016/05/LE-VARIAZIONI-DEL-LATTOSIO-NEL-LATTE.pdf
- Farm Animal Welfare Council. (1979, Dicembre 5). Tratto da https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20121007104210/http://www.fawc.org.uk/pdf/fivefreedoms1979.pdf
- Fitzpatrick JL, N. A. (2000). *Objective measurement of pain and inflammation in dairy cows with clinical mastitis*. Breckenridge (CO).
- Fosgate GT, e. a. (2013). Sensitivity and specificity of a hand-held milk electrical conductivity meter compared to the California mastitis test for mastitis in dairy cattle. *The Veterinary Journal* 196, 98-102.
- Gastaldo, A. (2016, Maggio 3). Tratto da ruminantia.it: https://www.ruminantia.it/zootecnia-di-precisione-negli-allevamenti-bovini-da-latte/
- GEA. (2018, Luglio). *GEA DairyMilk M6850*. Tratto da Product and service information.
- GEA. (2019, Novembre 1). "Dairy Plan C21" herd management software. Tratto da GEA.
- GEA. (2020, Luglio). *DairyRobot R9500*. Tratto da GEA: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gea.com/it/binaries/dairyrobot-r9500-automated-robotic-milking-it\_tcm39-51429.pdf

- GEA. (2023). Tratto da GEA: <https://www.gea.com/it/products/milking-farming-barn/dairyrobot-automated-milking/dairyrobot-r9500-robotic-milking-system.jsp>
- granlatte.it. (2019). Tratto da granlatte.it: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.granlatte.it/media/documenti/granlatte\\_www/BENESSERE\\_ANIMALE\\_INCONTRI\\_FORMATIVI.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.granlatte.it/media/documenti/granlatte_www/BENESSERE_ANIMALE_INCONTRI_FORMATIVI.pdf)
- Harmon. (1994). Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *Journal of Dairy Science*.
- Harmon, R. (1994). Mastitis and genetic evaluation for somatic cell count. *Journal of Dairy Science* 77.
- Heikkilä AM, L. E. (2018). Pathogen-specific production losses in bovine mastitis. *Journal of Dairy Science*.
- Hogeveen H, P. S. (2011). Current Status and Future Challenges in Mastitis Research. *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the National Mastitis Council*. Virginia Beach.
- Hogeveen H., I. C. (2021). Novel ways to use sensor data to improve mastitis management. *Research*, 11317-11332.
- Hogeveen, H. (2010). Sensors and clinical mastitis--the quest for the perfect alert. *Sensors (Basel)*, 7991-8009.
- Hogeveen, H. W. (2001). Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livestock Production Science*.
- Hoque MN, D. Z. (2015). Different screening tests and milk somatic cell count for the prevalence of subclinical bovine mastitis in Bangladesh. *Tropical Animal Health and Production*.
- Hurley, W., & Theil, P. (2011). Perspectives on immunoglobulins in colostrum and milk. *Nutrients*.
- Hussain R, J. M. (2012). Changes in some biochemical parameters and somatic cell counts in the milk of buffalo and cattle suffering. *Pakistan Veterinary Journal*.
- ISO. (2007). *Automatic milking installations—Requirements and testing*. Tratto da ISO.org: <https://www.iso.org/standard/35593.html>

- Istat.it. (2020). *LA DIFFUSIONE DELLE TECNOLOGIE NELLE AZIENDE ZOOTECNICHE*.
- J L Fitzpatrick, A. M. (2004). Inflammation and pain. In R. W. A H Andrews, *Bovine medicine – Diseases and husbandry of cattle*. Oxford: Blackwell Science.
- Jacobs, J., & Siegford, J. (2012). *Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare*. East Lansing.
- K R Petrovskia, M. T. (2006). A review of the factors affecting the costs of bovine mastitis . *Journal of the South African Veterinary Association*, 77.
- Kamphuis, C. B. (2016). Field validation of protocols developed to evaluate in-line mastitis detection systems. *Journal of Dairy Science* 99, 1619–1631.
- Lescourret F, C. J. (1994). Modeling the Impact of Mastitis on Milk Production by Dairy Cows. *Journal of Dairy Science Vol. 77*.
- Leslie KE, P.-W. C. (2012). Assessment and management of pain in dairy cows with clinical mastitis. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*.
- Madouasse A, H. J. (2010). Somatic cell count dynamics in a large sample of dairy herds in England and Wales. *Preventive Veterinary Medicine* 96.
- Mainau, T. M. (2014, Settembre). *WELFARE ISSUES RELATED TO MASTITIS IN DAIRY COWS*. Tratto da [www.fawec.org:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fawec.org/media/com\\_lazypdf/pdf/fs10-en.pdf](http://www.fawec.org:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fawec.org/media/com_lazypdf/pdf/fs10-en.pdf)
- Matera R., G. D. (2022). Relationship among Milk Conductivity, Production Traits, and Somatic Cell Score in the Italian Mediterranean Buffalo. *Animals (Basel)*.
- Milner, P. P. (1997). The Effects of Early Antibiotic Treatment Following Diagnosis of Mastitis Detected by a Change in the Electrical Conductivity of Milk. *Journal of Dairy Science*, 80.
- Mollenhorst, H. L. (2012). Mastitis alert preferences of farmers milking with automatic milking systems. *Journal of Dairy Science* 95, 2523-2530.
- Mostert P. F., B. E. (2019). Estimating the impact of clinical mastitis in dairy cows on greenhouse gas emissions using a dynamic stochastic simulation model: a case study. *The Animal Consortium*.

- N.I. Nielsen, T. L. (2005). Quarter Health, Milking Interval, and Sampling Time During Milking Affect the Concentration of Milk Constituents. *Journal of Dairy Science*, 88, 3186-3200.
- Nielsen M., D. H. (1992). Electrical Conductivity of Milk: Measurement, Modifiers and Meta Analysis of Mastitis Detection Performance. *Journal of Dairy Science* 75.
- Ogola, H. S. (2007). Effect of mastitis on raw milk compositional quality. *Journal of Veterinary Science*, 8.
- Peter D. Constable, K. W. (2017). Disease of the mammary gland. In K. W. Peter D. Constable, *Veterinary Medicine* (p. 19904-2001). W.B. Saunders.
- Pol, M., & Ruegg, P. (2007). Treatment practices and quantification of antimicrobial drug usage in conventional and organic dairy farms in Wisconsin. *Journal of Dairy Science*.
- Pyorala, S. (2002). New strategies to prevent mastitis. *Reproduction in Domestic Animals*.
- Radostits, O. G. (2007). *Veterinary Medicine, 10th edition*. Philadelphia: Saunders Ltd.
- Ruegg, P. (2012). Mastitis in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*.
- Scrofani, G. (2023, Febbraio 15). Tratto da ruminantia.it: <https://www.ruminantia.it/precision-livestock-farming-la-percezione-di-allevatori-e-consumatori/>
- Seegers H, F. C. (2003). Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Veterinary Research*.
- Smolenski G, H. S.-S. (2007). Characterisation of host defence proteins in milk using a proteomic approach. *Journal of Proteome Research* 6.
- Svennersten-Sjaunja, K. M. (2008). Pros and cons of automatic milking in Europe. *Journal of Animal Science*, 86.
- Tommasoni C., F. E. (2023). Mastitis in Dairy Cattle: On-Farm Diagnostics and Future Perspectives. *Animals*.
- Vignone, O., & Felice, M. D. (2017, Agosto 21). Evoluzione dei sistemi di mungitura – Parte II. *Ruminantia mese*.
- Viguiet C, A. S. (2009). Mastitis detection: current trends and future perspectives. *Trends in Biotechnology* 27.

- Wagner-Storch, A. M. (2003). Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus and automatic milking system. *Journal of Dairy Science*, 86.
- Y. de Haas, H. W. (2002). The Effect of Pathogen-Specific Clinical Mastitis on the Lactation Curve for Somatic Cell Count. *Journal of Dairy Science Vol. 85*.
- Zhao X., L. P. (2008). Mammary tissue damage during bovine mastitis: Causes and control. *Journal of Animal Science*.
- zooassets.it. (2023, Settembre 11). Tratto da zooassets.it: <https://www.zooassets.it/robot-dimungitura-utilizzo-vantaggi-criticita/>