



UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie

Corso di Laurea in Medicina Veterinaria

**L'IMPATTO DELLA MUNGITURA AUTOMATIZZATA
SULLA CASEIFICAZIONE DEL PARMIGIANO REGGIANO**

**Effects of automated milking system on
cheesemaking of Parmigiano Reggiano cheese**

Relatore:

Prof. Andrea Summer

Correlatore:

Dott. Piero Franceschi

Laureando:

Matteo Piazza

N° matricola 216387

ANNO ACCADEMICO 2022 / 2023

Indice	pag.
Appendice	
Abstract	I
Riassunto	II
CAPITOLO 1: Introduzione	
1.1 La produzione del Parmigiano Reggiano	1
1.2 Qualità del latte per Parmigiano Reggiano	2
1.3 La mungitura e i sistemi di mungitura	14
CAPITOLO 2: Scopo della ricerca	
2 Scopo della ricerca	16
CAPITOLO 3: Materiali e metodi	
3.1 Disegno sperimentale e schema di campionamento	17
3.2 Metodi analitici	19
3.3 Analisi statistica dei dati	21
CAPITOLO 4: Risultati e discussione	
4.1 Influenza dell'AMS sulla qualità del latte di massa di allevamento	22
4.2 Influenza dell'AMS sulla qualità del latte in caldaia	25
4.3 Influenza dell'AMS sulla qualità del Parmigiano Reggiano	28
CAPITOLO 5: Conclusioni	
Conclusioni	31
Appendice	
Bibliografia	I

Abstract

Milking is one of the most important processes in the practice of cattle breeding as it plays a role of primary importance from both a health and management point of view.

In recent decades, milking systems in dairy cattle breeding have been strongly influenced by technological evolution; for a few decades now, automated milking systems (AMS) have also become a reality on Italian farms. This technology has also been spreading on Parmigiano Reggiano farms in recent years, however the milk intended for the production of Parmigiano Reggiano must respect certain standards dictated by the production specifications.

The introduction of a milking robot in a Parmigiano Reggiano farm poses some problems though, indeed, the production regulations set some limits on this new technology.

The aim of the research is therefore to study the effect of the milking system on the dairy characteristics of the milk, on the ripening process of Parmigiano Reggiano DOP.

The collection of samples was carried out on two farms with herds made up of a single breed, Italian Friesian cows.

On each of the two farms, half of the cows were milked with an automated milking system (AMS), while the other half were milked in a traditional milking system (ST).

For each farm, six inspections were simultaneously carried out, collecting two samples of whole milk from the morning milking, one from the milk cooling tank with AMS milking and the other one from the ST milking.

The two different samples of milk underwent two different to separate processing at the dairy.

The milk and boiler milk milked with the AMS system, compared to ST milk, a higher lactose content, a lower casein content, a higher titratable acidity value; it also showed a slower rennet clotting time.

Somatic cell counts showed differences between milk from the AMS and ST systems and was lower in the former milk than in the latter.

Nevertheless, the differences recorded between the chemical composition parameters of the milk were too small to determine significant differences on the potential cheese yield values and on the characteristics of the ripened cheese.

Riassunto

La mungitura è una delle operazioni più importanti nella pratica dell'allevamento bovino in quanto riveste un ruolo di primaria importanza sia dal punto di vista sanitario che gestionale.

I sistemi di mungitura nell'allevamento bovino da latte negli ultimi decenni sono stati fortemente influenzati dall'evoluzione tecnologica; ormai da qualche decennio gli impianti di mungitura automatizzata (AMS) sono diventati realtà anche negli allevamenti italiani.

Anche negli allevamenti di Parmigiano Reggiano si sta diffondendo in questi ultimi anni questa tecnologia anche se l'introduzione del robot di mungitura in un'azienda in zona Parmigiano Reggiano pone alcune problematiche. Infatti, il disciplinare di produzione pone alcuni limiti all'utilizzo dei sistemi AMS.

Lo scopo della ricerca è dunque quello di studiare l'effetto del sistema di mungitura sulle caratteristiche casearie del latte e sul processo di maturazione del Parmigiano Reggiano DOP.

La raccolta dei campioni è stata effettuata presso due allevamenti monorazza di vacche Frisone Italiane.

In ciascuno dei due allevamenti metà delle vacche è stata munta con un sistema di mungitura automatizzato (AMS), mentre l'altra metà è stata munta in una sala di mungitura tradizionale (ST).

Per ogni azienda sono stati svolti 6 sopralluoghi con la raccolta in parallelo due campioni di latte intero rappresentativi della mungitura del mattino, uno dalla cisterna di raffreddamento del latte con mungitura AMS e l'altro dalla mungitura ST.

Presso i rispettivi caseifici delle due aziende le 2 tipologie di latte sono state poi sottoposte a lavorazioni separate.

Il latte di allevamento e il latte in caldaia AMS, hanno mostrato, rispetto a quelli ST, un maggior contenuto di lattosio, un minor contenuto di caseina, un più elevato valore di acidità titolabile; Il latte di allevamento AMS, inoltre, ha mostrato un maggiore tempo di rassodamento del coagulo rispetto a quello ST.

Il conteggio delle cellule somatiche ha mostrato differenze tra il latte munto con sistema AMS e ST ed è risultato inferiore nel primo latte rispetto al secondo.

Infine, le differenze registrate tra i parametri di composizione chimica del latte sono risultate di entità troppo piccola per determinare differenze significative sui valori di resa potenziale in formaggio e sulle caratteristiche del formaggio stagionato.

1.1 La produzione del Parmigiano Reggiano

Il latte destinato alla produzione del Parmigiano Reggiano deve rispettare determinati parametri, questa condizione è essenziale per una buona riuscita del prodotto finale.

Come indicato dal disciplinare di produzione del Parmigiano Reggiano, il latte deve provenire da una zona delimitata affinché vengano mantenute quelle caratteristiche conferite dalle condizioni ambientali tipiche della zona di produzione (Summer et al 2014); l'alimentazione delle bovine deve essere controllata attentamente in modo tale che il latte preservi le caratteristiche tipiche che caratterizzano il prodotto finale.

La DOP Parmigiano Reggiano è un formaggio a pasta dura, cotta e a lenta maturazione, prodotto con latte crudo, parzialmente scremato, proveniente da vacche la cui alimentazione è costituita in larga parte da foraggi della zona d'origine (Council Regulation, 2016).

In linea generale il latte deve rispettare peculiari caratteristiche chimico-fisiche e strutturali, perfettamente collimanti con quelle tipiche che contraddistinguono il formaggio Parmigiano Reggiano (Pecorari e Mariani 1990),

Le principali sono:

- il contenuto di caseina mediamente elevato;
- caseine di tipo genetico potenzialmente favorevole;
- un buon contenuto di fosfato di calcio colloidale;
- un giusto grado di acidità titolabile;
- un moderato contenuto di cellule somatiche;
- un ottimale attitudine specifica alla coagulazione, intesa come buona reattività al caglio;
- elevata capacità di rassodamento della cagliata;
- idonea capacità di contrazione e di eliminazione del siero (Mariani et al 1997).

1.2 Qualità del latte per Parmigiano Reggiano

- Grasso, caseina e resa in formaggio:

Uno dei pilastri per una buona redditività dei caseifici è la resa casearia.

Per resa casearia si intende il quantitativo di formaggio prodotto per quantitativo di latte utilizzato.

Viene determinata da diversi fattori ma i più significativi sono la qualità del latte e la tecnica di trasformazione.

I parametri principali nel determinare la qualità del latte al fine della resa casearia sono la quantità di grassi e la quantità e qualità delle caseine (Pecorari e Mariani, 1990).

Le caseine sono fosfoproteine che si organizzano in micelle, le quali originano dalla aggregazione di subunità (submicelle), costituite dalle frazioni alfa-s1, alfa-s2, beta e kappa caseina, con il concorso del fosfato di calcio (Schmidt, 1981).

Nel latte si trovano in sospensione colloidale, e vanno a formare la massa caseosa, quindi il formaggio.

Le caseine sono caratterizzate da un elevato contenuto di prolina e fosfoserina. La caseina è una proteina che non presenta struttura secondaria in quanto l'assenza di alfa idrogeni non permette la stabilizzazione dell'alfa elica o del beta-foglietto e di conseguenza non permette la formazione della struttura secondaria. La formazione della suddetta struttura si interrompe quindi dove è presente il residuo di prolina.

Ciò comporta il fatto che non si venga a formare una struttura terziaria e questo conferisce alle caseine la stabilità termica.

La fosfoserina presenta un gruppo fosfato sulla serina che determina la chelazione del calcio ovvero è un aminoacido fosforilato.

Le caseine sono proteine idrofobiche ad eccezione della k-caseina. Questa sua particolarità è dovuta al fatto di essere una proteina glicosilata, ovvero presentante una frazione glucidica che le conferisce questa proprietà.

Questo fa in modo che la K-caseina si disponga all'esterno delle micelle così che queste restino in dispersione colloidale.

A conferma del suddetto legame tra caseina e resa in formaggio vi sono diversi studi che confrontano i contenuti di caseina nel latte di diverse razze bovine. Da questi studi si evince che il latte ottenuto da vacche di razza Frisona, con il 2,38% di caseina, ha una

resa in formaggio di 9,67 Kg, invece il latte ottenuto da vacche di razza Jersey, che presenta una percentuale superiore di caseine, del 2,86 %, ha una resa di 11,33 Kg di formaggio per 100 kg di latte (Custer, 1979).

Le condizioni ambientali stagionali sono tra i fattori che più influenzano la composizione del latte, in quanto possono determinare significative variazioni nella composizione del latte stesso.

Le variazioni stagionali della composizione del latte coinvolgono anche il contenuto di caseine, questo si ripercuote sia sulla resa casearia che sulle capacità di coagulazione del latte.

Si può notare infatti che il contenuto di caseine tende a diminuire nei mesi primaverili mentre va ad aumentare durante i mesi autunnali, in conseguenza di ciò la resa casearia segue lo stesso andamento stagionale delle caseine (Summer et al 2014).

Un'altra variabile legata alla k-caseina che influisce sulla resa casearia è la percentuale di isoforma B presente.

Esistono infatti due varianti della K-caseina, la A e la B. Anche se differiscono tra loro solo per due amminoacidi su 169 totali questa piccola variazione genetica ha ripercussioni importanti sulla resa casearia del latte.

Da alcuni studi si evince che lattici con alte percentuali di K-caseina del tipo B hanno una resa migliore rispetto ai lattici con maggiori percentuali di K-caseina di tipo A.

Questo in quanto la K-caseina di tipo B ha una miglior reattività con il caglio e presenta una migliore attitudine alla formazione del coagulo e del reticolo, il quale tende quindi ad essere più compatto e più elastico (Franceschi et al 2020B).

Queste condizioni comportano meno perdite di caseine e grassi (Patel e Reuter, 1986) aumentando in questo modo la resa in formaggio e migliorandone la qualità. (Resmini et al 1982).

Per fare un esempio nella produzione di Parmigiano Reggiano, si registra una maggior produzione di +6 kg di formaggio per caldaia se si lavora latte contenente esclusivamente k-caseina B rispetto a latte con sola k-caseina A (Mariani et al., 2002).

Questa particolare caratteristica della caseina ha fatto sì che ormai da molti anni nella selezione genetica della razza Bruna Italiana la variante B della k-caseina sia entrata a far parte degli obiettivi di selezione.

In questo modo le frequenze genotipiche della k-caseina in questa razza sono andate via via modificandosi; ovvero si è assistito all'aumento della presenza di vacche con genotipo AB e BB, a scapito di quelle AA.

Un'elevata quantità di caseine oltre a migliorare la resa in formaggio influisce positivamente anche sulle caratteristiche reologiche del latte come la consistenza del coagulo (Van Hooydonk et al 1986).

Inoltre anche le proprietà funzionali del reticolo caseinico come l'elasticità, la permeabilità, l'omogeneità e la compattezza della massa caseosa vengono influenzate (Mora 1985).

A conferma di ciò, parecchi lavori dimostrano che se viene effettuata una diluizione del latte con siero o con ultrafiltrato questo determina una riduzione netta della consistenza del coagulo, mentre se si effettua un arricchimento in caseine, per aggiunta di sedimento da ultracentrifugazione o per ultrafiltrazione questo determina un incremento della consistenza del coagulo (Fox, 1969).

Le caseine assumono un ruolo di maggiore importanza rispetto ad esempio alla concentrazione degli ioni calcio o al pH per quanto riguarda la forza del coagulo (Walstra 1993).

Tuttavia se vengono superati certi livelli di caseina si ha un peggioramento della velocità di sineresi (Ramet e Weber 1980).

Il contenuto di caseina rappresenta sia il più importante criterio nella valutazione della qualità del latte da un punto di vista della sua resa industriale, che un parametro estremamente significativo ai fini della determinazione della qualità del formaggio con forti ripercussioni sulla resa commerciale (Pecorari et al 1995; Resmini et al 1982).

Durante la caseificazione il coagulo viene a formarsi da un reticolo di paracaseina che ingloba al suo interno globuli di grasso e siero. Questo influisce sulla resa casearia in quanto essa è direttamente collegata alla capacità del coagulo di inglobare e trattenere al suo interno grasso durante il processo di caseificazione (Franceschi et al 2020).

Anche il contenuto in grasso è soggetto a significative variazioni stagionali, in autunno il contenuto lipidico risulta essere in media più elevato (2,8 g/100 g) rispetto alle altre stagioni, e ciò ha un impatto significativo sulla resa.

Con l'aumentare della componente lipidica e della componente caseinica nel periodo autunnale non si sono registrate variazioni apprezzabili nel rapporto tra grasso e caseina. Il rapporto rimane invariato anche per le altre stagioni nonostante i contenuti di caseina e grasso siano più bassi (Formagioni et al 2004).

Per quanto riguarda il Parmigiano Reggiano si ottengono mediamente rese più elevate nei mesi autunnali, in particolare ad ottobre, mentre nei mesi di giugno, luglio e agosto si sono ottenute rese più basse (Pecorari e Mariani 1990).

In uno studio effettuato sul Grana Padano ciò viene confermato, anche in questa ricerca sono state riscontrate rese più elevate in ottobre e novembre mentre rese più basse nei mesi di luglio e agosto (Mariani et al 1997).

Uno studio più recente datato 2004 incentrato sulla caseificazione del Parmigiano Reggiano si misurano le rese a 24 ore e a 6 mesi; vengono sempre prese in considerazione le variazioni stagionali sulla resa in formaggio arrivando alle stesse conclusioni.

La resa del latte lavorato in autunno si è dimostrata maggiore rispetto a quella del latte lavorato in inverno e in primavera (Formagioni et al 2004).

Inoltre i latti che permettono coagulazioni migliori risultano anche più idonei a sopportare le sollecitazioni dei passaggi tecnologici della trasformazione del latte a Parmigiano Reggiano, questi trattengono meglio i globuli di grasso al loro interno e dando origine a minor perdite nel siero (Franceschi et al 2019).

Un altro aspetto molto importante è il contenuto di sali minerali del latte in quanto in grado di condizionare positivamente le caratteristiche di coagulazione presamica che a loro volta condizionano la resa casearia (Mariani, 1994).

Infatti, elevati contenuti di calcio e fosforo, condizionano positivamente l'acidità del latte, creando migliori condizioni per una più veloce reazione tra chimosina e caseina e ponendo le condizioni per una maggior velocità di aggregazione delle micelle di paracaseina (Mariani e Artoni, 1983; Mariani et al, 1989; Mariani et al, 1997).

Sebbene si siano registrate delle differenze nella resa attribuibili alle caratteristiche del latte sono state notate anche differenze importanti imputabili alla stagionatura, infatti si osservano maggiori decrementi di peso registrati nei prodotti ottenuti durante l'inverno e la primavera (9,39% e 9,48%), che presentano maggiori cali rispetto a quelli registrati nei mesi estivi e autunnali (8,54% e 8,73%) questo fenomeno è imputabile al

fatto che le forme prodotte nei mesi invernali e primavera hanno subito la prima fase della stagionatura nei mesi più caldi questo determina cali di peso maggiori.

Il calo della resa è stato ottenuto utilizzando le rese a 24 ore e a 6 mesi (Formagioni et al 2004).

- Cellule somatiche e qualità del latte:

E' noto come elevati valori di cellule somatiche hanno una influenza negativa sulla resa casearia. Questa diminuzione è dovuta allo stretto legame che vediamo tra la resa casearia ed il contenuto di caseina del latte (Verdier-Metz et al 2001; Politis et al 1988).

Questi due parametri sono inversamente proporzionali, ovvero solitamente all'aumentare del contenuto in cellule somatiche diminuisce il quantitativo di caseine (Franceschi et al 2009; Urech et al 2000).

Questo è imputabile principalmente ad una infiammazione della mammella questo comporta una diminuita capacità di sintesi proteica del tessuto mammario (Urech et al 2000; Shennan e Peaker 2000), ma anche per una maggiore proteolisi a carico della caseina da parte degli enzimi proteolitici (Somers et al 2003).

Nel Parmigiano Reggiano si è constatata una diminuzione nella resa casearia nella trasformazione del latte con più di 300.000 cellule/ml, rispetto a quello con meno di 300.000 cellule/ml (Summer et al 2015)

- Sali minerali e acidità del latte:

Circa la metà del fosforo e 2/3 del calcio contenuti nel latte sono parte integrante del complesso micellare.

Una parte sostanziale di questi due elementi è presente nel fosfato di calcio colloidale che risulta essere parte costituente delle micelle caseiniche (Schmidt, 1981).

Il fosfato di calcio colloidale attraverso un legame di natura elettrostatica con il fosforo esterificato alle caseine determina l'aggregazione delle sub micelle.

Questo condiziona, entro certi limiti, anche la dimensione degli aggregati micellari; se il fosfato colloidale scende al di sotto di una certa soglia non si ha formazione di micelle.

Sia il calcio che il fosforo sono soggetti a variazioni stagionali, influenzando le caratteristiche reologiche della cagliata e quindi l'attitudine alla coagulazione.

Al contrario il contenuto di calcio totale non risulta particolarmente influenzato dalla stagione, le differenze più sostanziali riguardano il calcio solubile che è risultato maggiore in inverno rispetto all'estate e alla primavera.

Anche il caseinato di calcio (Ca^{2+} associato al fosforo proteico) ha mostrato variazioni stagionali significative, con picchi nei mesi autunnali, e questo è riconducibile all'andamento stagionale delle caseine.

Il calcio contenuto nel fosfato di calcio colloidale (calcio colloidale inorganico) ha avuto un andamento opposto al caseinato di calcio, cioè ha presentato valori più elevati nei mesi primaverili ed estivi e valori più bassi in autunno; quindi, si può dire che nel suo insieme il calcio colloidale non ha presentato variazioni significative (Formaggioni et al 2004).

Come il calcio, anche il fosforo totale non ha manifestato mutamenti rilevabili durante le diverse stagioni, ma in questo caso il fosforo solubile era più alto nei mesi primaverili e più basso nei mesi estivi.

Per quanto riguarda il fosforo legato alle caseine si sono registrati valori più elevati in autunno e anche in questo caso riconducibile alla maggior quantità di caseine nel medesimo periodo; mentre il fosforo del fosfato di calcio colloidale (P colloidale inorganico) era più basso in autunno e più alto in primavera e in estate.

Anche in questo caso, nel complesso le differenze stagionali che il fosforo colloidale ha mostrato non sono risultate significative (Formaggioni 2004).

Il calcio e il fosforo sono i principali responsabili assieme alla caseina dell'acidità naturale del latte. Elevate percentuali di calcio e di fosforo determinano un'acidità titolabile più alta (Franceschi et al 2020B);

Il contenuto di fosforo è correlato positivamente con il pH, andando nello specifico risulta particolarmente elevata la correlazione che vi è tra il contenuto di fosforo solubile e l'acidità del latte. Le variazioni stagionali, si ripercuotono anche sul pH e sull'acidità titolabile del latte.

Si è potuto registrare una riduzione in quelli invernali (3,12 °SH/50ml) mentre un aumento dell'acidità titolabile in corrispondenza dei mesi primaverili (3,33 °SH/50ml), mentre il pH ha presentato valori significativamente più bassi in inverno rispetto alle altre stagioni (Formaggioni et al 2004).

In una composizione naturale del latte come, ad esempio, un contenuto di caseina del 2,5-2,6% e il contenuto di fosforo solubile è del 0,045-0,047%, si può affermare che il loro contributo all'acidità naturale del latte risulta pressoché di pari entità.

Una alterazione dei quantitativi di caseine, di fosforo o di calcio nei lattini anomali fa in modo che questi risultino ipoacidi o iperacidi.

- 43% dei lattini ipoacidi sono caratterizzati da bassi quantitativi di caseine e fosforo
- 37% dei casi sono caratterizzati da bassi quantitativi di solo fosforo
- 20% dei casi vi è un ridotto quantitativo di sola caseina.

Risulta quindi che nella maggior parte dei casi è il fosforo ad influire maggiormente nella definizione dell'anomalia; e in particolare il fosforo solubile.

Molto spesso la carenza di fosforo è collegata ad un'elevata concentrazione di cloruri, questa correlazione risulta ancora più stretta se si considera il fosforo solubile.

Lo ione cloruro, infatti come altri ioni esercita un'influenza negativa sul processo di coagulazione presamica del latte. Questo perché: rallenta lo sviluppo della reazione primaria tra chimosina e k-caseina, riduce la velocità di aggregazione delle micelle di paracaseina e più in generale, interferisce sulla costruzione del reticolo caseinico diminuendo così la capacità di sineresi del coagulo.

Anche nei lattini iperacidi il fosforo è da ritenersi il principale responsabile, ma questa volta è l'eccesso a determinarne l'anomalia.

La concentrazione idrogenionica, e quindi il pH, del latte è strettamente correlata con il tempo di coagulazione: all'aumentare della prima diminuisce la seconda.

Questo si spiega in quanto all'aumentare dell'acidità titolabile migliora la capacità del caglio di reagire con le caseine, più precisamente con la k-caseina. Da alcuni studi si può notare come il pH normale del latte non risulta ottimale per l'attività enzimatica del caglio, infatti il pH normale del latte che si attesta su 6,66 e 6,72 mentre quello per un'ottimale attività della chimosina e degli altri enzimi costituenti il caglio è di circa 6,00-5,5.

Questo è dovuto al fatto che la concentrazione degli ioni idrogeno al pH 6,5 è più che doppia rispetto al pH di 6,7; ciò è alla base dell'effetto rilevante che hanno le variazioni di pH, anche se piccole, sulla velocità della reazione primaria (Garnier et al 1968).

Le variazioni sono di maggiore entità tanto più è alto il pH. Nel passaggio da pH 6,75 a pH 6,65, ad esempio, la reattività tra latte e caglio aumenta in misura considerevole,

per cui diminuirà in maniera tanto notevole anche il tempo di coagulazione, che si dimezzerà (Fox 1969).

Questo è il motivo alla base per l'aggiunta del siero innesto. L'acidificazione favorisce sia la prima fase della coagulazione ma anche la fase secondaria; si ha una riduzione della stabilità delle micelle in quanto avviene una neutralizzazione delle cariche in aggiunta si assiste alla liberazione degli ioni calcio dai relativi composti solubili e colloidali.

Al ridursi del pH aumenta la velocità di coagulazione, quindi la velocità di aggregazione delle micelle e in conseguenza di ciò anche la velocità di rassodamento del coagulo. Questo si ripercuote positivamente sulla consistenza finale della cagliata. Intorno a pH 6,0 – 6,2, però, a causa della demineralizzazione delle micelle, l'effetto viene meno e la forza del coagulo diminuisce in maniera considerevole (Ramet e Weber 1980).

Oltre a favorire la coagulazione, la concentrazione idrogenionica favorisce indirettamente anche la sineresi in quanto l'ottenimento del coagulo per via prevalentemente enzimatica è favorito da un basso pH perché rende l'azione del caglio più netta e provoca una parziale solubilizzazione dei sali di calcio.

Questo favorisce la formazione di legami secondari tra le micelle di paracaseina e i filamenti del reticolo, migliorando la capacità di contrazione, la permeabilità e in definitiva la sineresi con una migliore eliminazione del siero.

Quando si ha a che fare con latte che presenta valori elevati di pH (ipoacido), ovvero povero in caseine e/o fosforo, il ricorso a elevate quantità di sieroinnesto allo scopo di rettificare la scarsa attitudine alla coagulazione porta ad un'alterazione dell'equilibrio tra azione enzimatica e lattica, questo finisce per influire negativamente sulla capacità di contrazione del coagulo (Annibaldi 1961).

Questo di conseguenza si verifica una scarsa capacità di sineresi della massa caseosa (White e Davies 1958).

Le micelle subiscono un'azione meno prolungata nel tempo e meno intensa da parte del caglio, e un'azione lattica più acuta che porta ad una demineralizzazione delle micelle.

Ciò porta ad un peggioramento della struttura del reticolo caseinico che di conseguenza influisce negativamente sulla reologia della cagliata la quale risulterà meno elastica, cioè poco contrattile, fragile ed eccessivamente umida (Ramet e Weber 1980).

Il calcio ionico, favorisce la fase di aggregazione delle micelle in questo modo facilita una più rapida formazione del coagulo, che rassoda più rapidamente, garantendo una miglior consistenza finale (Malacarne et al 2014).

Da questo si evince come bassi valori di calcio ionico interferiscono negativamente sulla formazione del coagulo.

Anche il rapporto Ca/P nei lattici anomali risulta inibitore della coagulazione.

- Struttura della micella di caseina e coagulazione presamica:

Un requisito basilare per il latte destinato alla produzione di formaggi è l'attitudine alla coagulazione.

La maggior parte delle produzioni casearie nazionali si basa su una coagulazione di tipo misto. Ovvero una tipologia di coagulazione dovuta sia all'effetto del pH, sia all'azione degli enzimi.

L'acidificazione abbassa il pH, questo fa in modo che si abbia la protonazione dei gruppi fosfato. Questa reazione avviene sino ad un pH di 4.6, ovvero il punto isoelettrico delle caseine.

A questi valori di pH la carica degli aminoacidi risulta zero, si trovano in questo momento nella forma così detta zwitterionica, a queste condizioni le proteine prive di carica tendono a raggrupparsi e a formare legami ionici, formando in questo modo la cagliata.

Durante la caseificazione del Parmigiano Reggiano al fine di abbassare il pH, per ottenere l'effetto sopra descritto, viene aggiunto il siero-innesto, una coltura naturale di fermenti lattici ricavata dall'acidificazione spontanea del siero residuo della lavorazione del giorno precedente.

La K-caseina va a formare il substrato della prima fase della coagulazione presamica, in quanto il legame tra l'amminoacido 105 (fenilalanina) e l'amminoacido 106 (metionina) della K-caseina risulta sensibile all'azione della chimosina contenuta nel caglio.

La rottura di questo legame della catena amminoacidica dà inizio alla coagulazione presamica.

Si creano in questo modo due porzioni: il glicomacropetide, che rappresenta la porzione della K-caseina idrofila, che per questa sua caratteristica rimane libera nel siero e la paracaseina la quale risulta essere la frazione idrofoba della k-caseina che in presenza di calcio e fosforo si aggrega, separandosi dal siero, e insieme alle altre caseine forma il coagulo (Malacarne et al 2014).

Per la produzione del Parmigiano Reggiano l'aggiunta del solo caglio di vitello provoca la coagulazione presamica.

Maggiori quantità di k-caseina determinano dimensioni minori delle micelle. Anche come già accennato il tipo genetico della k-caseina influenza la coagulazione, in quanto è stato dimostrato che la k-caseina di tipo B determina micelle caseiniche di dimensioni più piccole e una maggior reattività al caglio, questo fa in modo che si abbia una miglior attitudine alla formazione del coagulo, il cui reticolo tende ad essere più compatto e più elastico rispetto a quello ottenuto con K-caseina di tipo A (Franceschi et al 2020B).

Il latte con beta-caseina B tende a coagulare in tempi leggermente inferiori rispetto a quello di tipo beta-caseina A, questo ha effetti importanti sulla velocità di formazione del coagulo e di conseguenza anche sulla sua consistenza (Mariani et al 1997).

Si può quindi affermare che la K-caseina di tipo B e la beta-caseina di tipo B determinano una maggiore velocità di aggregazione delle micelle di paracaseina, questo rende quindi leggermente più rapido il tempo di rassodamento del coagulo.

Oltre all'azione enzimatica del caglio e quella acidificante del siero innesto si aggiunge la temperatura, essa ha un'influenza indiretta sulla coagulazione in quanto migliora l'azione enzimatica.

Nel caso del Parmigiano Reggiano si ha una coagulazione di tipo misto ma ad accentuato carattere presamico; in queste condizioni il complesso micellare tende a mantenere inalterate le sue proprietà. Queste sue proprietà sono alla base di buona parte delle caratteristiche reologiche della cagliata come ad esempio la sua contrattilità in fase di cottura compresa quella della massa caseosa, nonché il rendimento della trasformazione casearia (Mariani e Pecorari 1990).

L'attitudine del latte alla coagulazione può in senso lato essere intesa anche come: tempo di coagulazione, velocità di formazione del coagulo, consistenza, permeabilità e contrattilità della cagliata. Di conseguenza viene modificata la capacità e velocità di sineresi.

I maggiori contenuti di calcio (117,64 vs 113,64 vs 110,75 mg/100g) e fosforo (95,52 vs 90,96 vs 88,47 mg/100g) dei latti ad ottimale e discreta coagulazione presamica rispetto a quelli a coagulazione mediocre, hanno condizionato positivamente l'acidità del latte, creando le condizioni per una più veloce reazione tra chimosina e caseina e formazione del coagulo.

Il minore tempo di rassodamento e i più elevati valori di consistenza del coagulo, resistenza alla compressione (30,88 vs 31,94 vs 46,23g) e al taglio (70,00 vs 63,06 vs 46,23 g) dei latti a coagulazione ottimale e discreta, rispetto a quelli a coagulazione mediocre li rendono latti maggiormente resistenti alle sollecitazioni causate dai passaggi tecnologici dovuti alla trasformazione casearia.

Questo fa in modo che si abbiano minori perdite relative di grasso nel siero e maggior resa (8,63 vs 8,45 vs 8,02 kg/100kg) Franceschi et al (2022).

Il latte con un'ottimale capacità di coagulazione presamica, dà origine a coaguli con migliori proprietà reologiche, dotati di un'ottimale capacità di sineresi, con ripercussioni positive sull'andamento della trasformazione casearia ed una conseguente migliore qualità del formaggio. (Malacarne et al 2014).

Al contrario, si osserva come i coaguli ottenuti dal latte con scarsa attitudine alla coagulazione presamica risultano essere più friabili e più suscettibili alle perdite di lavorazione durante i passaggi tecnologici in caldaia (Franceschi et al 2019).

Questi latti spesso risultando caratterizzati da una scarsa capacità di sineresi, presentano un drenaggio del siero incompleto e non omogeneo, questo comporta un aumento dell'insorgenza di difetti nel formaggio, sia durante le fasi iniziali che tardive della maturazione (Summer et al 2015).

L'esame lattodinamografico (LDG) è uno dei metodi più diffusi e affidabili per analizzare la capacità di coagulazione presamica del latte (Malacarne et al 2014).

Questa tecnica esamina il cambiamento di viscosità in un campione di latte durante la formazione del gel indotta dal caglio.

Il risultato dell'analisi LDG è un diagramma a forma di campana dal quale è possibile ricavare i tre principali parametri di coagulazione presamica:

- il tempo di coagulazione, ovvero il tempo che passa dall'aggiunta del caglio all'inizio della formazione della campana (larghezza campana 2mm);

- il tempo di rassodamento del coagulo, rappresentato dal tempo che impiega la campana a raggiungere una larghezza di 20mm);
- la consistenza del coagulo, rappresentato dalla larghezza della campana, che viene misurata dopo 30 minuti dall'aggiunta del caglio.

Come detto in precedenza le variazioni stagionali influiscono sulle caratteristiche del latte e di conseguenza si osserva anche una variazione del tempo di coagulazione del tempo di rassodamento e consistenza del coagulo.

Questi parametri sono risultati peggiori durante i mesi estivi mentre valori migliori si sono registrati in primavera, soprattutto per quanto riguarda il tempo di coagulazione e la consistenza del coagulo.

Anche le proprietà reologiche hanno manifestato variazioni; ad esempio la resistenza alla compressione è risultata più bassa nei mesi estivi invece la resistenza al taglio è risultata migliore nei mesi primaverili.

1.3 La mungitura e i sistemi di mungitura

Una delle operazioni più critiche nelle stalle di bovine che producono latte destinato alla trasformazione in Parmigiano Reggiano resta la mungitura (Summer et al 2014).

La mungitura è un'operazione che vincola fortemente l'organizzazione aziendale in quanto assorbe la maggiore quantità di manodopera legata alle operazioni di stalla (Jacobs e Siegford, 2012; De Marchi et al, 2017).

La mungitura, infatti, viene eseguita in orari poco consoni e disagiati ad una normale vita sociale degli operatori; inoltre, oggigiorno, l'esigenza di manodopera specializzata per la mungitura spesso si scontra con la scarsa propensione a svolgere questo tipo di attività da parte delle persone (Summer et al 2014; De Marchi et al, 2017).

L'innovazione tecnologica, negli ultimi anni ha proposto soluzioni nuove nel settore lattiero-caseario, sia per quanto riguarda la produzione del latte, sia per quanto concerne alla sua trasformazione.

Tuttavia, l'introduzione del robot di mungitura in un'azienda produttrice di latte per Parmigiano Reggiano pone maggiori problemi rispetto ad altre realtà a causa della necessità di rispettare quanto indicato dal Disciplinare di Produzione, in particolare riguardo alle 2 mungiture giornaliere e al rispetto del tempo massimo di mungitura, (Council Regulation, 2016).

Il Disciplinare, infatti, impone che le bovine debbano essere munte due volte al giorno, alla sera e al mattino. Inoltre impone che il tempo di ognuna delle due mungiture sia al massimo di 7 ore da quando iniziano le operazioni di mungitura a quando il latte arriva in caseificio. Inoltre un altro obbligo è che la temperatura di raffreddamento del latte alla stalla non possa scendere al di sotto dei 18 °C (Council Regulation, 2016).

Sotto questo punto di vista, l'uso di sistemi di mungitura automatici può influenzare sia le proprietà chimico-fisiche (De Marchi et al, 2017) che la composizione chimica del latte (Klungel et al 2000).

Questi cambiamenti si osservano principalmente in una diminuzione del contenuto di grasso del latte e del contenuto di caseina (Jacobs e Siegford, 2012), che a sua volta potrebbe influenzare negativamente sia la resa casearia (Formaggioni et al, 2015) sia l'efficienza di caseificazione (Franceschi et al, 2019).

Un altro aspetto che alcuni studi hanno preso in considerazione è l'effetto del sistema di mungitura sul contenuto di cellule somatiche del latte.

I risultati variano da ricerche che mostrano che l'uso di sistemi di mungitura automatizzati non produce cambiamenti, altri studi invece raggiungono la conclusione che il sistema di mungitura automatizzato porta ad una diminuzione della conta delle cellule somatiche nel latte munto (Klungel et al 2000; Jacobs e Siegford 2012), e altri ancora riportano aumenti del numero di cellule somatiche del latte (Kruip et al 2002; Hovinen et al 2009).

Le cellule somatiche del latte sono uno dei parametri principali che definiscono la sua qualità del latte e in particolare per la produzione di Parmigiano Reggiano (Summer et al 2014).

L'aumento delle cellule somatiche, infatti, è correlato ad un peggioramento delle proprietà fisico-chimiche del latte (Franceschi et al 2009), ad una diminuzione del contenuto di caseina (Urech et al. 1999; Somers et al 2003).

In alcuni casi questi risultano tali da comportare la diminuzione della resa in formaggio (Summer et al 2015).

2 Scopo della ricerca

I sistemi di mungitura nell'allevamento bovino da latte negli ultimi decenni sono stati fortemente influenzati dall'evoluzione tecnologica.

L'efficienza e la produttività oraria sempre più elevate sono alcuni degli obiettivi di questa innovazione, con la proposta di tipologie di impianti sempre più efficienti e performanti.

Questo è stato possibile anche grazie all'adozione di sistemi di rilevazione, acquisizione ed elaborazione automatica delle informazioni, questo ha certamente modificato in modo significativo le mansioni della manodopera impiegata in azienda.

La mungitura è comunque per sua natura un'operazione fortemente vincolante per l'organizzazione aziendale. La produzione di latte è continua nelle 24 ore e richiede l'intervento umano spesso in orari disagiati e vincolanti nella routine giornaliera, l'esigenza di manodopera specializzata per la mungitura spesso si scontra con la scarsa propensione a svolgere questo tipo di attività.

Tuttavia la mungitura rappresenta un momento fondamentale per il monitoraggio della situazione produttiva e sanitaria degli animali.

Ormai da qualche decennio gli impianti di mungitura automatizzata sono diventati realtà anche negli allevamenti italiani, nel Nord Italia soprattutto si è potuta osservare una loro crescente diffusione.

Anche per gli allevamenti del Parmigiano Reggiano sta crescendo in questi ultimi tempi l'interesse nei confronti di queste tecnologie; maggiore concorrenza sul mercato ha portato anche ad una progressiva diminuzione dei prezzi rendendo l'impiego di queste tecnologie più competitivo e sostenibile per le aziende.

Tuttavia l'introduzione del robot di mungitura in un'azienda in zona Parmigiano Reggiano pone alcune problematiche. Il disciplinare di produzione pone alcuni limiti a questa nuova tecnologia, ovvero: mantenere un numero massimo di 2 mungiture al giorno, tempo massimo di mungitura, temperatura di conservazione del latte in stalla e un tempo massimo per la consegna del latte in caseificio.

Quindi, questa ricerca, ha lo scopo di studiare l'effetto del sistema di mungitura sulle caratteristiche casearie del latte e sul processo di maturazione del Parmigiano Reggiano DOP.

3 Materiali e metodi

3.1 Disegno sperimentale e schema di campionamento

La ricerca è stata condotta operando presso due allevamenti con mandrie composte da una singola razza ovvero vacche Frisone Italiane produttrici di latte destinato alla trasformazione in Parmigiano Reggiano.

In ciascuno dei due allevamenti metà delle vacche è stata munta con un sistema di mungitura automatizzato (AMS), mentre l'altra metà è stata munta in una sala di mungitura tradizionale (ST).

Nella prima azienda (A) circa 80 vacche in mungitura sono state munte per metà con il sistema di mungitura automatizzato Astronaut A5, della Lely e l'altra metà, in una sala di mungitura tradizionale a spina di pesce.

Invece nella seconda azienda (B) circa 160 vacche in mungitura sono state munte per metà con il sistema di mungitura automatizzato Merlin 2, della Fullwood, mentre l'altra metà, è stata munta in una sala di mungitura tradizionale a pettine.

Un giorno alla settimana, per un periodo di sei settimane, da marzo ad aprile, in ciascuno dei due allevamenti, durante la mungitura della mattina, sono state prodotte due diverse masse di latte, una dalla tesi AMS e l'altra da quella ST.

Per ogni azienda, quindi, durante ognuno dei 6 sopralluoghi, sono stati raccolti in parallelo due campioni di latte intero, rappresentativi della mungitura del mattino, uno dalla cisterna di raffreddamento del latte delle vacche munte con AMS, l'altro dalla cisterna di raffreddamento del latte delle vacche munte in ST.

Presso il caseificio dove conferivano le due aziende le 2 tipologie di latte sono state poi sottoposte a lavorazioni separate.

Inoltre presso il caseificio facente riferimento all'azienda A è stato prelevato anche il latte in caldaia di controllo proveniente dalle altre aziende conferenti.

Le forme ottenute dalle lavorazioni separate sono rimaste in caseificio, adeguatamente contrassegnate, fino a stagionatura completa.

I campionamenti del latte fatti a cadenza settimanale, come schematizzato nelle Tabelle 1 e 2 sono stati i seguenti:

- azienda A, alla stalla, 2 campioni di latte crudo:
 - uno dal tank AMS;
 - uno da tank sala di mungitura.
- azienda B, alla stalla, 2 campioni di latte crudo:
 - un campione di latte crudo dal tank AMS;
 - uno da tank sala di mungitura.
- azienda A, in caseificio, 3 campioni di latte di caldaia:
 - uno con latte munto da AMS;
 - uno con latte munto in sala di mungitura;
 - uno con latte da un'altra azienda conferente al caseificio.
- azienda B, in caseificio, 2 campioni di latte di caldaia:
 - uno con latte munto da AMS;
 - uno con latte munto in sala di mungitura;

Tabella 1: Schema raccolta campioni presso l'azienda ed il caseificio A.

	Azienda A		Caseificio azienda A		
	Tank AMS	Tank Sala	Caldaia AMS	Caldaia Sala	Caldaia controllo
1° settimana	X	X	X	X	X
2° settimana	X	X	X	X	X
3° settimana	X	X	X	X	X
4° settimana	X	X	X	X	X
5° settimana	X	X	X	X	X
6° settimana	X	X	X	X	X

Tabella 2: Schema raccolta campioni presso l'azienda ed il caseificio B.

	Azienda B		Caseificio azienda B	
	Tank AMS	Tank Sala	Caldaia AMS	Caldaia Sala
1° settimana	X	X	X	X
2° settimana	X	X	X	X
3° settimana	X	X	X	X
4° settimana	X	X	X	X
5° settimana	X	X	X	X
6° settimana	X	X	X	X

3.2 Metodi analitici**- Analisi effettuate sul latte**

Il latte è stato caratterizzato dal punto di vista chimico, fisico-chimico e igienico-sanitario.

Su tutti i campioni di latte raccolti sono stati determinati:

- Lattosio e grasso e urea
- N totale, N solubile pH 4.6 ed N solubile in acido tricloroacetico (TCA)
- Sostanza secca e ceneri
- Acidità titolabile e pH
- Conteggio delle somatiche
- Proprietà di coagulazione presamica
- Cellule somatiche

Mentre sul latte intero di massa di allevamento è stata determinata anche la conta microbica totale.

L'Azoto totale (TN) (Norma AOAC 991.20, 2005), azoto solubile pH 4,6 (NCN) (Norma AOAC 998.05, 2005), azoto non proteico (NPN) (Norma AOAC 991.21, 2005) sono stati determinati mediante metodo Kjeldahl rispettivamente su latte, siero acido a pH 4,6 e su filtrato dopo trattamento con TCA al 120 g/L; da cui sono stati calcolati i valori di: N della caseina ($CN = TN - NCN$), proteina grezza ($TN \times 6,38 / 1000$), caseina ($CN \times 6,38 / 1000$), indice di caseina ($CN \times 100 / TN$), sieroproteina grezza ($NCN \times 6,38 / 1000$) $NPN \times 6,38$ ($TN \times 6,38 / 1000$) e proteina vera ($(TN - NPN) \times 6,38 / 1000$).

La sostanza secca e le ceneri sono state ottenute per essiccazione in stufa del latte a 102°C (Norma ISO 6731, 2010) e per calcinazione in muffola del latte e del siero ultrafiltrato a 530°C (Standard FIL-IDF 27, 1964).

L'acidità titolabile è stata determinata per titolazione con NaOH 0,25N secondo Soxhlet-Henkel (norma ISO 22113, 2021).

Sui campioni di latte, inoltre, sono state determinati anche i contenuti di lattosio, grasso ed urea mediante letture nel medio infrarosso con apparecchio Milko-Scan FT6000 (Standard FIL-IDF 141, 2013).

Le cellule somatiche sono state, invece, determinate con metodo fluoro-optometrico (norma ISO 13366-2, 2006).

Conta microbica totale, con metodo a citometria a flusso mediante BactoScan (Grappin et al 1985).

Partendo dai valori di caseina e grasso è stata calcolata la resa casearia potenziale dei lattici in caldaia AMS, ST e CC secondo la formula proposta da Formaggioni et al (2015). La formula che è stata applicata è la seguente:

$$RCP = (1,709 \times \text{caseina}) + (1,230 \times \text{grasso}) + 0,509$$

Dove:

- RCP = resa casearia potenziale espressa in kg di formaggio dopo 24 ore dall'estrazione dalla caldaia per 100 kg di latte trasformato;
- caseina = contenuto di caseina del latte in caldaia espresso in grammi di caseina per 100 g di latte;
- grasso = contenuto di grasso del latte in caldaia espresso in grammi di grasso per 100 g di latte.

Infine i parametri lattodinamografici sono stati determinati con Lattodinamografo Formagraph (Annibaldi et al 1977).

Da cui si è ricavato i valori di:

- r = tempo di coagulazione;
- k_{20} = tempo di rassodamento;
- a_{30} = consistenza del coagulo misurata a 30 min dall'aggiunta del caglio.

- Analisi effettuate sul formaggio

Sul formaggio stagionato 15-19 mesi sono state effettuate le seguenti analisi:

- Frazionamento chimico dell'azoto:
- N totale
- N solubile pH 4.4

L'analisi sulle frazioni azotate sono state effettuate secondo la metodica riportata da Gripon et al (1975). Più precisamente: azoto totale (TN), azoto solubile pH 4,4 (NS) mediante Kjeldahl; da cui, Proteina grezza ($TN \times 6,38$) e coefficiente di maturazione ($NS \times 100 / TN$).

La sostanza secca e le ceneri sono state ottenute per essiccazione in stufa del formaggio a 102 °C e per calcinazione in muffola a 530 °C.

A partite dalle ceneri riprese con acido cloridrico e debitamente diluite, sono stati determinati i contenuti dei sali minerali (calcio, magnesio, sodio, potassio e fosforo).

Calcio, magnesio, sodio e potassio sono stati determinati mediante spettrofotometria di Assorbimento Atomico 1100B (Anon.1982).

Il fosforo, invece, è stato determinato mediante metodo colorimetrico proposto da Allen (1940).

3.3 Analisi statistica dei dati

I dati così ottenuti sono stati sottoposti ad ANOVA utilizzando il software SPSS 27.0, e le medie stimate sono state calcolate utilizzando il seguente modello gerarchico:

$$y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + A_k + \varepsilon_{ijkl}$$

Dove:

y_{ijkl} = variabile dipendente

μ = valore medio

T_i = tipo mungitura (2 livelli: AMS o ST), $i = 1, 2$

P_j = prova (6 livelli: un campionamento alla settimana per 6 settimane), $j = 1,6$

A_k = allevamento entro prova (8 livelli)

ε_{ijkl} = errore residuo

Infine, la significatività delle differenze stata saggiata mediante il test di Bonferroni.

4 risultati e discussione**4.1 Influenza dell'AMS sulla qualità del latte di massa di allevamento**

Nella tabella 3 sono riportate le medie stimate dei parametri di composizione chimica, delle proprietà fisico-chimiche e di coagulazione presamica e parametri igienico-sanitari del latte intero di allevamento munto con sistema automatizzato (AMS) ed in sala di mungitura tradizionale (ST).

I contenuti di proteina grezza, sieroproteina, caseina e proteina vera sono risultati significativamente maggiori nel latte ST rispetto a quello AMS (con $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$ $P \leq 0,01$, $P \leq 0,01$ rispettivamente).

Al contrario per quello che riguarda il contenuto di caseina è risultato più basso nel latte AMS rispetto al latte ST (con $P \leq 0,05$).

Tra i parametri di coagulazione presamica soltanto il tempo di rassodamento del coagulo ha mostrato differenze statisticamente significative tra il latte AMS e il latte ST (con $P \leq 0,05$) ed ha mostrato valori più elevati, quindi meno favorevoli alla trasformazione in Parmigiano Reggiano, nel latte munto con AMS rispetto a quello munto con ST.

Infine i contenuti di cellule somatiche e lattosio sono risultati significativamente minore il primo e maggiore il secondo nel latte AMS rispetto a quello ST (Con $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$ rispettivamente).

IL latte ST si è caratterizzato, rispetto a quello AMS per un maggiore contenuto di ceneri ($P \leq 0,001$).

I contenuti di grasso del latte munto con AMS e ST (3,84 e 3,89 g/100g rispettivamente), sono risultati in linea con quanto riportato in letteratura da Summer et al., che in una ricerca condotta nel 2014, riporta per il latte prodotto da bovine di razza Frisone Italiana allevate nella zona di produzione del Parmigiano Reggiano il valore medio pari a 3,82 g/100g.

Anche il contenuto di proteina grezza nel latte munto con AMS e nel latte ST (3,31 e 3,59 g/100g rispettivamente) è risultato basso nel primo ed elevato nel secondo se paragonati con quanto riportato in letteratura da Summer et al. (2014) che riporta il valore medio pari a 3,45 g/100g.

Oltre al contenuto di proteina grezza anche quello della caseina ha fatto registrare valori più elevati nel latte del gruppo ST rispetto a quello AMS (2,78 vs 2,57 g/100g).

In questo caso è da rilevare che il valore della caseina del latte AMS è da considerarsi nella norma se paragonato a quanto riportato in letteratura per il latte di bovine di razza Frisona Italiana.

Ad esempio Franceschi et al., (2020) in un recente lavoro sul latte di bovine di razza Frisona e Bruna Italiana riporta come contenuto medio di caseina nel latte intero di bovine di razza Frisona il valore di 2,53 g/100g).

L'elevata differenza tra i valori di proteina grezza e casina tra il latte AMS e quello ST è da attribuire alla diversa composizione delle mandrie dei due gruppi.

I più elevati valori di caseina del latte del gruppo ST rispetto a quelli del gruppo AMS, non hanno, tuttavia, condizionato in modo significativo i parametri fisico-chimici del latte.

Infatti entrambi i valori sia del pH (6,69 vs 6,70 rispettivamente) che dell'acidità titolabile (3,53 vs 3,52 °SH/50ml rispettivamente) non hanno mostrato differenze statisticamente significative.

Questo dato è confermato dalle più o meno uguali proprietà di coagulazione presamica. Infatti il tempo di coagulazione e la consistenza del coagulo, non hanno mostrato differenze statisticamente significative tra le medie, mentre il tempo di rassodamento, pur risultando differente presenta una differenza tra i valori medi inferiore al minuto, quindi di entità potenzialmente trascurabile.

Il contenuto di cellule somatiche del latte intero è risultato mediamente pari a 152.545 cellule/ml nel latte del gruppo AMS e 248.364 cellule/ml in quello del gruppo ST.

Entrambi i valori medi sono da considerarsi nella norma in quanto ben al di sotto delle 400'000 cellule/ml.

Entrambi i valori risultano al di sotto del limite delle 300 mila cellule/ml limite al di sopra del quale inizia la riduzione della resa casearia, come riportato da Summer et al. (2015).

Il basso valore delle cellule somatiche del latte del gruppo AMS trova conferma negli elevati valori del lattosio (5,01 g/100g).

Tabella 3. Composizione chimica, proprietà fisico-chimiche e di coagulazione presamica e parametri igienico-sanitari del latte intero di allevamento munto con sistema automatizzato (AMS) ed in sala di mungitura tradizionale (ST).

		AMS (n ¹ =12)	ST (n ¹ =12)	ES ²	p ³
Sostanza secca	g/100g	13,00	13,11	0,11	NS
Lattosio	g/100g	5,01	4,88	0,01	***
Grasso	g/100g	3,84	3,89	0,05	NS
Proteina grezza	g/100g	3,31	3,59	0,04	**
Sieroproteina	g/100g	0,74	0,81	0,01	***
Caseina	g/100g	2,57	2,78	0,03	**
indice caseina	%	77,60	77,43	0,05	*
NPNx6,38	g/100g	0,13	0,13	0,01	NS
Proteina vera	g/100g	3,18	3,46	0,04	**
Urea	mg/100ml	22,35	22,63	0,28	NS
Ceneri	g/100g	0,73	0,74	0,01	***
pH	Valore	6,70	6,69	0,01	NS
Acidità titolabile	°SH/50ml	3,52	3,53	0,04	NS
Tempo coagulazione	Minuti	19,57	19,64	0,42	NS
Tempo rassodamento	Minuti	3,18	2,59	0,10	**
Consistenza del coagulo	Millimetri	36,13	39,73	1,37	NS
Cellule somatiche	Cellule/ml	152545	248364	15202	**
Conta microbica totale	UFC/ml	33417	22366	9690	NS

¹ Numero dei campioni

² Errore standard

³ Valore di P: NS. P>0,05; * P≤0,05; ** P≤0,01; *** P≤0,001

4.2 Influenza dell'AMS sulla qualità del latte in caldaia

Nella tabella 4 sono riportate le medie stimate dei parametri di composizione chimica, delle proprietà fisico-chimiche e di coagulazione presamica e parametri igienico-sanitari del latte in caldaia ottenuto dal latte di allevamento munto con sistema automatizzato (AMS) ed in sala di mungitura tradizionale (ST) e quello della caldaia di controllo (CC).

Come i rispettivi contenuti del latte di allevamento, anche i contenuti di proteina grezza, sieroproteina, caseina e proteina vera del latte in caldaia sono risultati significativamente maggiori nel latte ST rispetto a quello AMS, tutti con $P \leq 0,001$.

Anche il contenuto di grasso del latte in caldaia ottenuto dal latte ST è risultato più elevato rispetto a quello del latte in caldaia ottenuto dal latte di allevamento AMS sempre con $P \leq 0,001$.

Al contrario i contenuti di cellule somatiche e lattosio sono risultati significativamente minore il primo e maggiore il secondo nel latte in caldaia ottenuto dal latte di allevamento munto con AMS rispetto a quello ST (con $P \leq 0,01$ e $P \leq 0,001$ rispettivamente).

Il latte ST si è caratterizzato, rispetto a quello AMS per un maggiore contenuto di ceneri ($P \leq 0,001$).

Il contenuto di grasso del latte in caldaia AMS e del latte ST (3,12 e 3,27 g/100g rispettivamente), sono risultati entrambi elevati se paragonati a quello del latte in caldaia CC (2,83 g/100g).

Gli elevati contenuti di grasso dei latti in caldaia AMS ed ST hanno influenzato i rispettivi valori del rapporto grasso/caseina (1,21 e 1,19 unità rispettivamente), risultati anch'essi più elevati rispetto a quello del latte in caldaia CC (1,11 unità).

Nella produzione del Parmigiano Reggiano il valore ottimale rapporto grasso caseina del latte in caldaia varia tra circa 1 e 1,1 (Summer et al., 2015) di conseguenza i valori di entrambi i latti in caldaia AMS e del latte ST sono da ritenersi molto elevati.

La caseina, che assieme al grasso rappresenta la vera e propria materia prima del formaggio, è risultata più elevata nel latte in caldaia SI rispetto a quello AMS.

In questo caso, dal confronto con il contenuto di caseina del latte CC, appare evidente e confermato quanto detto per il contenuto di caseina del latte munto alla stalla, ovvero che è il latte ST a presentare valori di caseina da considerarsi elevati

mentre quello AMS è da ritenersi nella norma in quanto in linea sia con quello del latte CC e sia con quelli riportati in letteratura, valore medio di caseina per il latte in caldaia quello di 2,52 g/100g come ad esempio da Summer et al. (2015).

La resa casearia potenziale, stimata a partire dai contenuti di caseina e grasso del latte in caldaia è riferita a 24 ore dall'estrazione del formaggio dalla caldaia; essa ha mostrato differenze significative tra le medie dei gruppi AMS, ST e CC con $P \leq 0,001$.

Infine, la resa casearia potenziale è risultata maggiore nel latte ST rispetto a quello AMS (9,25 vs 8,77 kg/100kg rispettivamente).

Entrambi i valori sono da ritenersi elevati sia se paragonati alla resa stimata del latte in caldaia CC (8,33 kg/100kg) sia se paragonati ai valori di resa realmente misurata presenti in bibliografia. Summer et al. (2015), ad esempio, riporta valori di resa misurata a 24 ore dall'estrazione del formaggio dalla caldaia di circa 8,5 kg/100kg sia per i latti con meno di 200 mila cellule/ml che per quelli con meno di 300 mila cellule/ml.

Tabella 4. Composizione chimica, proprietà fisico-chimiche e di coagulazione presamica e parametri igienico-sanitari del latte in caldaia ottenuto dal latte munto con sistema automatizzato (AMS), in sala di mungitura tradizionale (ST) e del latte in caldaia di controllo (CC).

		AMS (n ¹ =12)		ST (n ¹ =12)		CC (n ¹ =6)		p ³			
		Media	ES ²	Media	ES ²	Media	ES ²				
Sostanza secca	g/100g	12,35	0,06	b	12,58	0,06	b	11,90	0,10	a	***
Lattosio	g/100g	4,97	0,01	b	4,88	0,01	a	5,02	0,02	b	***
Grasso	g/100g	3,12	0,03	b	3,27	0,03	c	2,83	0,04	a	***
Proteina grezza	g/100g	3,34	0,03	a	3,56	0,03	b	3,28	0,05	a	***
Sieroproteina	g/100g	0,75	0,01	a	0,80	0,01	b	0,74	0,01	a	***
Caseina	g/100g	2,59	0,03	a	2,76	0,03	b	2,54	0,04	a	***
indice caseina	%	77,58	0,05		77,50	0,05		77,54	0,08		NS
NPNx6,38	g/100g	0,12	0,01		0,13	0,01		0,13	0,01		NS
Proteina vera	g/100g	3,21	0,04	a	3,44	0,04	b	3,15	0,06	a	***
Rapporto grasso:caseina	valore	1,21	0,01	b	1,19	0,01	b	1,11	0,01	a	***
Urea	mg/100ml	21,81	0,61		21,82	0,61		21,20	0,97		NS
Ceneri	g/100g	0,73	0,01	a	0,74	0,01	b	0,73	0,01	a	**
pH	Valore	6,70	0,01		6,71	0,01		6,71	0,01		NS
Acidità titolabile	°SH/50ml	3,44	0,02		3,51	0,02		3,46	0,04		NS
Tempo coagulazione	Minuti	20,92	0,21		20,77	0,21		21,41	0,34		NS
Tempo rassodamento	Minuti	3,45	0,11		3,27	0,11		3,53	0,15		NS
Consistenza del coagulo	Millimetri	33,38	0,79		35,11	0,79		31,66	1,25		NS
Cellule somatiche	Cellule/ml	102667	8446	a	158500	8446	b	80833	13355	a	**
Resa potenziale ⁴	kg/100kg	8,77	0,07	b	9,25	0,07	c	8,33	0,12	a	***

¹ Numero dei campioni

² Errore standard

³ Valore di P: NS. P>0,05; ** P≤0,01; *** P≤0,001; a, b, c differenti per P≤0,05

⁴ Calcolata con la formula: Resa casearia potenziale = (1,709 x caseina)+(1,230 x grasso)+0,509

4.3 Influenza dell'AMS sulla qualità del Parmigiano Reggiano

Nella tabella 5 sono riportate le medie stimate dei parametri di composizione chimica, del Parmigiano Reggiano, stagionato tra i 15 e i 19 mesi, ottenuto dal latte di allevamento munto con sistema automatizzato (AMS) ed in sala di mungitura tradizionale (ST) e quello della caldaia di controllo (CC).

Soltanto il contenuto di magnesio ha fatto registrare differenze statisticamente significative tra il formaggio AMS, ST e CC; con $P \leq 0,05$ nel formaggio tal quale, e con $P \leq 0,05$, nel residuo secco del formaggio stagionato.

Il contenuto di magnesio, in particolare, è risultato più elevato nel Parmigiano Reggiano AMS e ST rispetto a quello CC sia nel formaggio stagionato 6 mesi (30,49 vs 30,63 vs 27,95 mg/100g di formaggio rispettivamente con $P \leq 0,05$) che in quello stagionato 15-19 mesi (31,75 vs 31,96 vs 29,60 mg/100g di formaggio rispettivamente con $P \leq 0,05$).

In questo caso è importante far notare che i principali parametri di composizione chimica quali i contenuti di proteina grezza, umidità e sale non hanno mostrato differenze statisticamente significative tra il Parmigiano Reggiano AMS e formaggio ST rispetto a quello CC. Sia nel formaggio stagionato 6 mesi che in quello stagionato 15-19 mesi.

In particolare, nel formaggio stagionato 15-19 mesi, i valori di proteina grezza sono risultati pari a 29,99 vs 30,18 vs 31,04 g/100g per le tesi AMS, ST e CC, rispettivamente.

Quelli dell'umidità sono risultati pari a 31,82 vs 31,44 vs 31,57 g/100g per le tesi AMS, ST e CC, rispettivamente.

Questi valori risultano in linea con Pecorari et al. (1997), che riporta valori medi di proteina grezza e umidità, per Parmigiano Reggiano stagionato 16 mesi, pari a 31,99 e 32,21 g/100g di formaggio, rispettivamente.

Più recentemente Malacarne et al. (2006), indica una umidità per il Parmigiano-Reggiano stagionato 18 mesi valori attorno al 32%.

I valori del contenuto di sale nel formaggio stagionato 15-19 mesi sono risultati pari a 1,70 vs 1,71 vs 1,68 g/100g per le tesi AMS, ST e CC, rispettivamente.

Questi valori risultano in linea se paragonati con quanto riportato da Cerri et al. (1997), che indica per il Parmigiano Reggiano stagionato 18 mesi valori medi che variano da 1,30 a 1,61 g/100g.

Infine, i valori del coefficiente di maturazione sono risultati mediamente pari al 29,96 vs 30,18 vs 31,04 %, nei formaggi stagionati 15-19 mesi AMS, ST e CC rispettivamente.

Questi valori risultano in linea con quanto riportato da Pecorari et al. (1997) e da Malacarne et al (2006), che indicano per il Parmigiano Reggiano stagionato 16 mesi e 18 mesi valori medi del 29,02% e del 31% circa, rispettivamente.

Tabella 5. Composizione chimica del formaggio stagionato (15-19 mesi), ottenuto dal latte munto con sistema automatizzato (AMS), in sala di mungitura tradizionale (ST) e del latte in caldaia di controllo (CC)

		AMS (n ¹ =11)		ST (n ¹ =12)		CC (n ¹ =6)		P ³
		Media	ES ²	Media	ES ²	Media	ES ²	
Sostanza secca	g/100g	68,18	0,14	68,56	0,16	68,43	0,23	NS
Umidità	g/100g	31,82	0,14	31,44	0,16	31,57	0,23	NS
Valori espressi su 100g di formaggio tal quale								
N totale	g/100g	4,700	0,014	4,731	0,016	4,865	0,023	NS
N solubile pH 4,4	g/100g	1,410	0,015	1,417	0,016	1,414	0,023	NS
Proteina grezza	g/100g	29,99	0,09	30,18	0,10	31,04	0,15	NS
Coeff. Maturazione	%	29,96	0,27	29,89	0,30	28,98	0,43	NS
Ceneri	g/100g	4,31	0,07	4,33	0,08	4,57	0,11	NS
Fosforo	mg/100g	631,49	2,96	633,01	3,22	627,27	4,73	NS
Calcio	mg/100g	1011,01	5,31	1006,86	5,77	1034,33	8,47	NS
Magnesio	mg/100g	31,75	0,63 b	31,96	0,68 b	29,60	1,00 a *	
Sodio	mg/100g	668,68	3,67	674,26	3,99	660,84	5,85	NS
Patassio	mg/100g	150,51	1,24	150,13	1,35	152,52	1,98	NS
Sale NaCl	g/100g	1,70	0,01	1,71	0,01	1,68	0,02	NS
Valori espressi su 100g di sostanza secca								
Proteina grezza	g/100g	43,99	0,15	44,02	0,16	45,35	0,24	NS
Ceneri	g/100g	6,32	0,10	6,31	0,11	6,68	0,16	NS
Fosforo	mg/100g	926,26	3,69	923,17	4,02	916,57	5,89	NS
Calcio	mg/100g	1483,07	9,54	1468,39	10,37	1511,23	15,22	NS
Magnesio	mg/100g	46,57	0,88 b	46,60	0,96 b	43,25	1,41 a *	
Sodio	mg/100g	980,81	5,67	983,38	6,17	965,65	9,05	NS
Patassio	mg/100g	220,75	1,75	218,94	1,90	222,86	2,79	NS
Sale NaCl	g/100g	2,49	0,01	2,50	0,02	2,46	0,02	NS

¹ Numero dei campioni

² Errore standard

³ Valore di P: NS. P>0,05; * P≤0,05; a, b differenti per P≤0,05

5 Conclusioni

In conclusione, si può quindi affermare che il sistema di mungitura influenza la composizione chimica e le proprietà fisico-chimiche del latte.

Il latte di allevamento e il latte in caldaia AMS, hanno mostrato, rispetto a quelli ST, un maggior contenuto di lattosio, un minor contenuto di caseina, un più elevato valore di acidità titolabile; Il latte di allevamento AMS, inoltre, ha mostrato un maggiore tempo di rassodamento del coagulo rispetto a quello ST.

Il conteggio delle cellule somatiche ha mostrato differenze tra il latte munto con sistema AMS e ST ed è risultato inferiore nel primo latte rispetto al secondo.

Le differenze registrate tra i parametri di composizione chimica del latte, tuttavia, sebbene statisticamente significative, sono risultate di entità troppo piccola per determinare differenze significative sui valori di resa potenziale in formaggio.

Allo stesso modo, le differenze nelle caratteristiche chimiche del latte non sono state sufficienti per influenzare in modo apprezzabile le caratteristiche del formaggio stagionato.

Il forte impatto dei passaggi tecnologici durante la trasformazione del latte in Parmigiano Reggiano probabilmente sono alla base dell'attenuazione di queste differenze riscontrate.

Questi passaggi tecnologici tendono infatti a ridurre l'effetto della variabilità che presenta il latte destinato alla lavorazione.

BIBLIOGRAFIA

Allen R.J.L. (1940). The estimation of phosphorus. *Biochem J.*, 34, 858-865. Helios Gamma UV/Visible Spectrophotometer (Thermo Spectronic, Rochester, NY 14625, USA).

Annibaldi S., Ferri G., Mora R. (1977). *Nuovi orientamenti nella valutazione tecnica del latte: tipizzazione lattodinamografica*. *Sci. Tecn. Latt.-Cas.*, 28, 115-126.

Anonymous (1982) Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Bodenseewerk Perkin-Elmer & Co GmbH, Überlingen, Germany.

Biggs D.A. (1978). *Instrumental infrared estimation of fat, protein and lactose in milk: collaborative study*. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 61, 1015-1034.

Grappin, R., Dasen, A., Favenec, P., 1985. *Rapid automatic counting of bacteria in raw milk using the Bactoscan*. *Lait*, 65, 123-147.

Cooke DR, McSweeney PLH (2014). The influence of alkaline earth metal equilibria on the rheological properties of rennet-induced skim milk gels. *Dairy Science and Technology* 94 341-357.

Gripon JC, Desmazeaud MJ, Le Bars D, Bergère JL (1975). *Study of the role of microorganisms and enzymes in cheese ripening. Influence of commercial pressure* 55 502-516.

Gustavsson F, Glantz M, Buitenhuis AJ, Lindmark-Månsson H, Stålhammar H, Andrén A, Paulsson M (2014) Factors influencing chymosin-induced gelation of milk from individual dairy cows: Major effects of casein micelle size and calcium. *International Dairy Journal* 39 201-208.

Jensen HB, Poulsen NA, Andersen KK, Hammershøj M, Poulsen HD, Larsen LB (2012) Distinct composition of bovine milk from Jersey and Holstein-Friesian cows with good, poor, or noncoagulation properties as reflected in protein genetic variants and isoforms. *Journal of Dairy Science* 95 6905-6917.

Formaggioni P, Summer A, Malacarne M, Franceschi P, Mucchetti G (2015) Italian and Italian-style hard cooked cheeses: predictive formulas for Parmigiano-Reggiano 24 h cheese yield. *International Dairy Journal* 51 52-58.

Franceschi P, Malacarne M, Faccia M, Rossoni A, Santus E, Formaggioni P, Summer A (2020). New insights of cheese yield capacity between Italian Brown and Italian Friesian milks in the production of high moisture mozzarella. *Food Technology and Biotechnology* 58 91-97.

ISO 6731:2010 (2010) Milk, cream and evaporated milk determination of total solids content. International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland.

ISO 6731:2010. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation; FIL-IDF international standard 1964 number 27 Determination of ash content of processed cheese product. Square Vergote 1040 Brussels (BG).

Malacarne M, Franceschi P, Formaggioni P, Sandri S, Mariani P, Summer A (2014) Influence of micellar calcium and phosphorus on rennet coagulation properties of cows milk. *Journal of Dairy Research* 81 129-136.

Mariani P, Summer A, Formaggioni P, Malacarne M, Battistotti B (2001) Remarks about the main dairy-technological requisites of milk for grana cheese production. *Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia* 52 49-91.

Schmidt-Madsen P. (1975). *Fluoro-opto-electronic cell-counting on milk*. *J. Dairy Res.*, 42, 227-239.

Summer A, Franceschi P, Formaggioni P, Malacarne M (2015) Influence of milk somatic cell content on Parmigiano-Reggiano cheese yield. *Journal Dairy Research* 82 222–227.

Summer A, Franceschi P, Formaggioni P, Malacarne M (2014) Characteristics of raw milk produced by free-stall or tie-stall cattle herds in the Parmigiano-Reggiano cheese production area. *Dairy Science and Technology* 94 581-590.

Tedeschi G, Malacarne M, Tosi F, Sandri S (2010) Osservazioni sull'andamento delle principali caratteristiche casearie del latte per Parmigiano-Reggiano dal 2004 al 2008. *Scienza e Tecnica Lattiero- Casearia* 61 29-45.

Toffanin V, De Marchi M, Lopez-Villalobos N, Cassandro M (2015) Effectiveness of mid-infrared spectroscopy for prediction of the contents of calcium and phosphorus, and titratable acidity of milk and their relationship with milk quality and coagulation properties. *International Dairy Journal* 41 68-73.

Udabage P, Mc Kinnon IR, Augustin MA (2001) Effects of mineral salts and calcium chelating agents on the gelation of renneted skim milk. *Journal of Dairy Science* 84 1569-1575.