

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse
Naturali e Ambiente

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali

*L'uso del Robot di Mungitura negli allevamenti di
bovine da latte*

The use of fully automatic milking machine in dairy herds

Relatore

Prof. Mantovani Roberto

Laureanda: Marin Irene

Matricola n. 1034595

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

INDICE

Riassunto	5
Abstract	7
1. Introduzione	9
1.1 Storia e diffusione della mungitura automatizzata	9
1.2 Meccanismo di eiezione del latte e routine di mungitura	12
1.3 Principio di funzionamento della mungitura meccanica	13
1.4 Elementi caratterizzanti in un Robot di Mungitura	16
1.4.1 Sistema di riconoscimento e selezione delle bovine	16
1.4.2 Box di contenimento degli animali	20
1.4.3 Braccio robotizzato	22
1.4.4 Individuazione della posizione dei capezzoli	24
1.4.5 Pulizia e disinfezione dei capezzoli	27
1.4.6 Sistema di attacco dei prendicapezzoli	29
1.5 Caratteristiche di un Robot di Mungitura	31
1.5.1 Vantaggi per l'allevatore	32
1.5.2 Monitoraggio automatico dei parametri fisiologico – produttivi	34
1.5.3 Sanità della mammella e qualità del latte	35
1.5.4 Aumento della produzione	39
1.5.5 Adattabilità delle bovine	41
1.6 Influenza del Robot di Mungitura sulla trasformazione casearia	42

1.7	Valutazioni economiche	44
2.	Obiettivi	46
3.	Materiale e Metodi	47
3.1	Descrizione dell'azienda	47
3.2	Rilievo dei dati aziendali	48
3.3	Analisi effettuate	49
4.	Risultati e Discussione	50
5.	Conclusioni	58
6.	Bibliografia e Sitografia	60
	Ringraziamenti	63

Riassunto

I primi studi e ricerche sull'automazione integrale della stalla da latte risalgono alla fine degli anni '70; tuttavia, i primi robot di mungitura sono stati introdotti nel mercato nel 1992, anche se il numero di aziende di bovine da latte che decisero di adottare questo nuovo sistema di mungitura è aumentato significativamente solo a partire dal 1998.

Nelle aree in cui il lavoro è molto costoso e poco appagante, il robot di mungitura rappresenta una valida alternativa alla tradizionale sala di mungitura. L'introduzione della mungitura automatica ha avuto un largo impatto nelle aziende ed ha influenzato molti aspetti dell'allevamento da latte.

Con l'introduzione del robot, poiché la mungitura diventa volontaria per le bovine, si può riscontrare una grande variabilità negli intervalli di mungitura e un'alterazione nella gestione aziendale e nello stile di vita dell'allevatore.

I sistemi automatici di mungitura richiedono un maggior investimento rispetto ai sistemi convenzionali, ma aumentano la produzione di latte e migliorano le condizioni di lavoro per l'allevatore.

Caratteristica importante dei robot di mungitura è quella di essere associati ad un personal computer che con il suo software è in grado di comandare gli automatismi, di elaborare i dati dell'allevamento e di dialogare con l'allevatore fornendo informazioni utili alla gestione dell'azienda. L'interesse degli allevatori verso un'informazione sicura e tempestiva è senz'altro rilevante. Il computer, collegato all'impianto di mungitura, raccoglie una grande mole d'informazioni relativamente alle prestazioni dell'impianto e delle bovine, nonché sullo stato di salute delle stesse attraverso una serie di sistemi di rilevazione, il più diffuso dei quali è la conducibilità elettrica del latte.

Obiettivo di questo lavoro di tesi è stato proprio quello di raccogliere le innumerevoli informazioni che poteva offrire il robot, in particolare riguardo alla dinamica della produzione di latte e della conducibilità elettrica, per poter dimostrare come un allevatore possa essere costantemente aggiornato riguardo all'andamento della propria azienda.

Inizialmente si è deciso di analizzare la situazione generale delle 50 bovine che si prestavano ad essere munte con il robot nel periodo in cui ho frequentato l'azienda, in particolare le visite totali di mungitura ed il numero medio di mungiture giornaliere per ciascuna vacca. Da questa indagine è emerso che le bovine durante una lattazione si presentano al robot in media 841 volte, ma tale valore è correlato ad una deviazione

standard piuttosto elevata, poiché il numero massimo di visite arriva fino a 2055, mentre il numero medio di mungiture è risultato pari a 2,6, coerentemente con le aspettative del robot, dato che è mediamente suggerito di non eccedere alle 3 mungiture giornaliere. E' stato anche analizzato il numero totale di insuccessi di attacco del gruppo mungitore, per il quale è stato possibile ricavare un numero limitatissimo di casi, evidenza di come, in sostanza, siano molto pochi gli insuccessi.

Successivamente si è passati ad analizzare la dinamica della produzione di latte in funzione dei giorni di lattazione ed è emerso, come ci si aspettava, che le pluripare hanno una produzione maggiore e meno persistente nel tempo rispetto alle primipare, e che le bovine gravide verso la fine della lattazione, con l'avvicinarsi del parto, tendono a ridurla di più rispetto a quelle vuote. E' stato inoltre possibile osservare come le bovine più produttive rimangano vuote più facilmente in seguito, probabilmente, al maggior deficit energetico legato alla maggior produzione di latte.

Per quanto riguarda, invece, la conducibilità elettrica media, si è notato come questa si mantenga tendenzialmente costante intorno a valori di circa $70 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$, valore che rispecchia una buona situazione generale di salute mammaria.

In conclusione, dallo studio è emerso come la strada della robotizzazione possa rappresentare un'importante fonte d'informazioni utili all'allevatore, che può così concentrarsi maggiormente sulle dinamiche aziendali.

Abstract

The first studies and researches on the automation of the complete dairy barn date back to the late 70s; however, the first milking robot have been introduced in the market in 1992, even if the number of companies of dairy cows who decided to adopt this new milking system has increased significantly since 1998.

In areas where the work is very expensive and not very satisfying, the milking robot is a substantial alternative to traditional milking parlor. The introduction of automatic milking (AM) system has had a large impact on businesses and has influenced many aspects of dairy farming.

With the introduction of fully automatic milking machine, because milking becomes voluntary for cows, there is a large variation in milking intervals and an alteration in business management and in the life-style of the farmer.

The AM-systems require a higher investment than conventional milking systems, but increase milk yields and improve the farmer's working conditions.

An important feature of the AM-systems is to be associated to a personal computer that is able, through its software, to control the automatism, to process the breeding data and to communicate with the farmer providing useful information to the farm's management. The interest of farmers towards safe and timely information is indeed relevant. The computer, connected to the milking, collects a large amount of information regarding the functionality of the system and the cows' milk yield, as well as the individual state of health through a series of detections, the most widespread of which is the electrical conductivity of the milk.

The aim of this thesis was precisely to gather vast amounts of information that the AM-system could provide, in particular with regard to the dynamics of milk production and the electrical conductivity, to demonstrate how a farmer can be constantly updated about the performance of his farm.

Initially it was decided to analyze the general situation of the 50 cows that lent themselves to be milked by the AM-system during the period when I attended the farm, in particular the total milking visits and the average number of daily milking for each cow.

From this survey it was found that during a lactation the cows visit the AM-system in average 841 times, but this value is related to a standard deviation rather high, because the maximum number of visits reaches up to 2055, while the average number of milking was

equal to 2.6, consistently with the expectations of AM-system, since it's suggested to milk animal no more than 3 times per day. It was also analyzed the total number of failures of attachment of the milking unit, for which it has been possible to derive a reduced number of cases, evidence of how substantially the failures have been very few.

Then we moved to analyze the dynamics of milk production as a function of the days in milk and has emerged, as expected, that multiparous have an higher production and less persistent over time than the primiparous, and that pregnant cows in late lactation, i.e., approaching calving, tend to reduce the milk production more than the no pregnant ones. It was also possible to observe how the cows more productive do not conceive as easily as the less producer ones, probably as a consequence of the greater energy deficit linked to the higher milk production.

As regards the average electrical conductivity, it's noted as this will tend to keep constant approximately at around $70 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$, value that reflects a good overall mammary health.

In conclusion, from the study has emerged as the way of AM-systems may represent an important source of information for the farmer, so that he can focus more on business dynamics than un milking.

1. Introduzione

Il termine “Robot di Mungitura”, detto anche “Sistema Automatico di Mungitura” (AMS), si riferisce ad un sistema che automatizza tutte le operazioni del processo di mungitura e si assume la gestione della mandria come nella mungitura convenzionale attraverso un insieme di azioni manuali e meccaniche; al contrario però della mungitura convenzionale, dove l’uomo conduce le vacche alla sala di mungitura ad orari regolari, di solito due volte al giorno, la mungitura automatica pone l’attenzione sulla motivazione delle vacche ad essere munte in maniera volontaria diverse volte al giorno attraverso un sistema robotizzato senza la diretta supervisione dell’uomo.



1.1 Storia e diffusione della mungitura automatizzata

Gli AMS rappresentano una tecnologia di recente introduzione ed hanno una storia che risale alla fine degli anni Settanta quando, in Olanda, i ricercatori dell’istituto IMAG di Wageningen avviarono le prime prove sperimentali relative alla mungitura robotizzata, con lo scopo di ridurre i costi di produzione e migliorare le condizioni di lavoro degli allevatori; l’aumento dei costi di produzione, assieme alla riduzione dei prezzi del latte, ha, infatti, costretto gli allevatori ad incrementare la loro produttività oraria per operaio. Per alcuni anni, però, si trattò soltanto di idee e discussioni prevalentemente accademiche. Tali prove portarono, all’inizio degli anni Ottanta, alla messa a punto del primo prototipo di AMS; successivamente altri istituti di ricerca specializzati nel settore dell’ingegneria agraria e della zootecnia, in collaborazione con industrie operanti nel settore della meccanica, iniziarono a studiare e sviluppare questi sistemi automatici di mungitura. Quando la macchina mungitrice con il distacco automatico e lo spray disinfettante per capezzoli erano già entrati nell’uso comune, l’attacco automatico del gruppo di mungitura

divenne il fulcro degli studi europei; in quegli anni venivano avviati altri progetti in Germania, Gran Bretagna e, successivamente, in Francia. Nel nostro Paese, invece, le prime attività in argomento risalgono allo stesso periodo ma, operativamente, ci si attivò solo alla fine degli anni Ottanta quando nel Nord Europa già si cominciavano ad accumulare importanti esperienze di campo. Nonostante diversi prototipi dimostrassero già la sua capacità, ci volle una decade prima che la mungitura automatica diventasse una realtà affidabile e si integrasse completamente nella società. Questo percorso di innovazione tecnologica, intrapreso con una certa cautela, soprattutto da parte dei grandi produttori, ha subito nei primi anni Novanta una notevole accelerazione, fino a giungere all'industrializzazione dei prototipi ed alla presentazione, nel 1992, della prima vera proposta commerciale. Il primo AMS ad entrare sul mercato è della ditta olandese "Prolion", evoluzione del progetto iniziato dall'IMAG di Wageningen.

In quel periodo si creò un forte interesse sull'argomento, anche perché sembrava che questa tecnologia potesse aprire una nuova strada nella zootecnia delle bovine da latte; purtroppo, però, non andò così ed i primi impianti, prodotti da diverse ditte olandesi in concorrenza tra loro, incontrarono notevoli difficoltà, tanto da spingere alcuni allevatori al ripristino della mungitura in sala. Dopo un periodo di "stallo", verso la fine degli anni Novanta, l'avvento degli AMS di seconda generazione portò ad una maggiore affidabilità della mungitura robotizzata e ad una impennata delle vendite in tutta Europa.

In seguito all'introduzione del primo AMS, infatti, la sua adozione è cresciuta lentamente fino al 1998; da quel momento in poi, la mungitura automatica è aumentata significativamente, divenendo una tecnologia accettata sia in Olanda che in altri Paesi Europei, così come in Giappone e Nord America.

Prima dell'introduzione del robot di mungitura, nessun'altra nuova tecnologia aveva destato così tanto interesse ed aspettative nelle aziende di bovine da latte.

Nella società moderna si è successivamente diffusa la preoccupazione nei consumatori riguardo ai nuovi metodi di produzione, che includeva la sicurezza alimentare, oltre alle questioni etiche relative al benessere animale, la salute degli animali, le condizioni di allevamento e l'accesso al pascolo. A causa di una scarsa supervisione, la mungitura automatica ha sollevato una serie di questioni, che hanno portato ad un nuovo progetto di ricerca, iniziato alla fine del 2000 e basato sullo studio dei motivi determinanti dell'adozione dei sistemi automatici a livello aziendale, sulle implicazioni sociali, economiche ed ambientali, sul consenso sociale, sull'igiene durante la mungitura e sulla

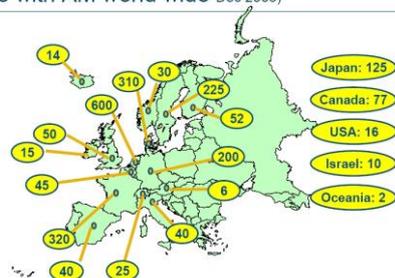
qualità del latte, sulla salute e sul benessere animale, e sulle operazioni aziendali, includendo la combinazione della mungitura automatica con il pascolo e i requisiti per i sistemi di informazione gestionale.

Ciò nonostante, alla fine del 2003, nel mondo più di 2200 aziende usavano uno o più robot per mungere le proprie bovine. Sebbene la maggior parte delle aziende fosse a gestione familiare, con un numero di box da mungitura variabile da 1 a 3, la più grande opera fatta in quel periodo includeva 20 box ed era localizzata in California (USA); ad opera conclusa, questa struttura comprende oggi 32 box suddivisi in 4 stalle interconnesse, ciascuna con un gruppo centrale costituito da 8 unità di mungitura automatica.

Oggi più dell'80% delle unità installate nel mondo sono localizzate nell'Europa nord-occidentale, in particolare in Olanda, Belgio, Francia, Germania, Danimarca e Svezia, e la mungitura automatica continua ad affermarsi sempre di più; si tratta, quindi, di una presenza cospicua, la cui importanza è ancora più evidente se si considera che dal 2000 al 2005 si è passati da meno di 1000 a più di 3500 AMS installati, con circa 700 unità/anno installate nel mondo.

In Italia, tuttavia, la prima macchina commerciale è stata installata nel 1997, anche se le Università di Udine e Milano già dal 1995 stavano lavorando ad un prototipo sperimentale. Nel nostro Paese gli AMS, probabilmente anche a causa delle prime fallimentari esperienze, non hanno ancora riscosso un elevato consenso, anche se negli ultimi anni, vuoi per il miglioramento del sistema, o per il maggior numero di ditte presenti sul nostro territorio, la diffusione degli AMS è decisamente aumentata, in particolare nel Nord Italia; attualmente in Italia si stima una presenza di circa 500 unità e un mercato potenziale di circa 40-50 stazioni di mungitura automatica per anno.

Farms with AM world wide Dec 2003)

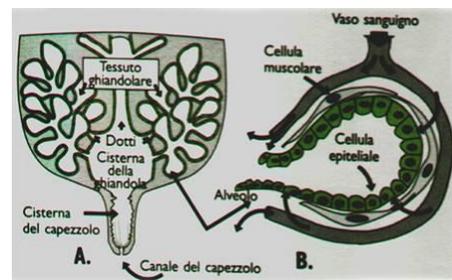


1.2 Meccanismo di eiezione del latte e routine di mungitura

Per comprendere il funzionamento delle macchine mungitrici è necessario fornire alcune nozioni in merito ai meccanismi fisiologici di emissione del latte. In primo luogo, bisogna tener presente che il latte nella mammella è presente in due forme:

- quella più facile da estrarre, contenuta nella cisterna del latte e nei dotti di maggior dimensione, che rappresentano uno spazio di immagazzinamento, è prontamente disponibile e fuoriesce dalla mammella in modo meccanico con la suzione o la mungitura;
- quella più difficile da estrarre, contenuta negli alveoli, necessita di uno stimolo neuro-ormonale per essere emessa.

Nelle cisterne, in genere, si trova raccolto soltanto 1/20 del latte complessivamente prodotto durante l'intervallo tra due mungiture consecutive; la porzione maggiore, invece, si trova ancora allogata all'interno degli alveoli e può essere completamente rilasciata soltanto se la bovina viene adeguatamente

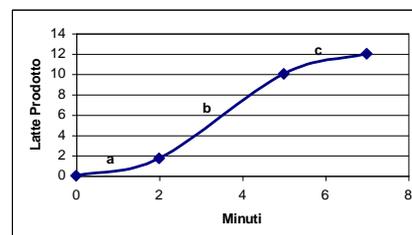


stimolata, grazie ad interventi esterni. La pulizia della mammella e il massaggio del capezzolo stimolano intensamente le vie nervose di quest'organo, determinando la formazione di impulsi nervosi che, attraverso il midollo spinale, raggiungono l'ipotalamo favorendo l'immissione dell'ossitocina nel circolo sanguigno da parte della neuroipofisi (lobo posteriore dell'ipofisi). Una volta a contatto con la ghiandola mammaria, l'ossitocina eccita le cellule a canestro della muscolatura liscia di ogni alveolo, che si contraggono in modo da spingere il latte entro i canalicoli alveolari fino alle cisterne. A questo punto, l'elevata pressione endomammaria e la contemporanea azione di mungitura che agisce dall'esterno provocano l'eiezione del latte dallo sfintere. Dalla stimolazione della mammella alla prima emissione del latte passano da 30 a 60 secondi; alla fine di questo periodo le operazioni di mungitura vera e propria dovrebbero iniziare per evitare che la scarica ossitocinica si esaurisca o risulti troppo bassa prima di avere estratto tutto il latte a disposizione.

Un secondo ormone, l'adrenalina, la cui emissione è provocata da interventi che incutono paura o dolore nell'animale, può bloccare a livello di mammella l'azione dell'ossitocina e, conseguentemente, la mungitura.

Da qui la necessità di mantenere nell'ambiente di mungitura condizioni di tranquillità e di non sottoporre la bovina a stress di alcun tipo. In condizioni normali, l'ossitocina dà luogo ad una generica curva di emissione del latte suddivisa in tre regioni caratterizzate da un flusso:

- a.* iniziale in forte incremento, generalmente per un periodo di breve durata;
- b.* costante ed elevato;
- c.* finale decrescente, legato alla fine dell'emissione ossitocinica.



In pratica, la maggior parte del latte (85-90%) viene emessa nella fase *b* a flusso costante. Solo un 5-10% viene, invece, prodotto nella fase *c* che, in termini di tempo, concorre a formare il 25% del totale. Il restante 5% del latte, quello residuo contenuto nei dotti e nella cisterna, viene rimosso durante la sgocciolatura.

Mediamente la fase di mungitura si esaurisce in 6 minuti, il che significa che un gruppo sta attaccato alla mammella circa 6,5 min.

Tuttavia, la variabilità di questo parametro è molto elevata: in linea generale in una mandria di media consistenza il 10% delle bovine presenta tempi di mungitura superiori a 10 min. Perciò, è necessario che durante la mungitura meccanica venga rispettata una certa sequenza di operazioni che viene definita "routine"; nei sistemi di mungitura robotizzata, questa è così suddivisa: all'entrata nel box di mungitura, la bovina viene identificata automaticamente e l'impianto di alimentazione inizia ad erogare la quantità programmata di mangime. Subito dopo la mammella viene lavata, stimolata ed asciugata, ed il primo latte viene eliminato; una volta che i singoli capezzoli sono stati individuati dal robot, è il momento dell'attacco. Dopo la mungitura, la rimozione dei preindicafezzoli avviene per singolo quarto e questi vengono poi lavati internamente ed esternamente. Il tutto termina con la disinfezione dei capezzoli mediante spray, e con l'apertura del cancello del box; la bovina può così raggiungere il resto della mandria.

1.3 Principio di funzionamento della mungitura meccanica

L'estrazione del latte con una mungitrice meccanica è molto simile al processo di suzione del vitello, che alterna l'azione di risucchio del latte dal capezzolo con pause finalizzate anche alla deglutizione del latte succhiato, le quali comportano una

momentanea sospensione della depressione esercitata sul capezzolo ed un movimento di massaggio.

Nella mungitura meccanica il latte viene fatto fuoriuscire dalla cisterna del capezzolo applicando una depressione discontinua, o vuoto parziale, alla parte distale dei capezzoli delle bovine, che determina l'apertura degli sfinteri.

La fuoriuscita del latte è provocata da una differenza di pressione tra interno ed esterno della mammella; nella mungitura meccanica, tuttavia, la differenza di pressione si ottiene mantenendo inalterata la pressione all'interno della mammella e generando il vuoto all'esterno. Con il termine “vuoto”, negli impianti di mungitura, si fa in genere riferimento ad una pressione il cui valore, esprimibile in termini sia assoluti che relativi, risulta essere inferiore a quello della pressione atmosferica; in altre parole, tutte quelle pressioni la cui intensità è compresa tra lo zero e la pressione atmosferica costituiscono ciò che si può chiamare la “regione del vuoto”.

Negli impianti di mungitura, la pressione d'esercizio si aggira comunemente attorno ai 58 kPa (Scala Assoluta). E' però consuetudine rappresentare tale pressione, utilizzando altre due scale di misura: una “Scala Relativa” ed una “Scala del Vuoto”, che non esprimono l'intensità assoluta della pressione, ma il suo scostamento da un valore di riferimento: la pressione atmosferica (100 kPa in Scala assoluta e 0 kPa in Scala relativa e del vuoto).

La differenza tra le due è solo nel segno, quindi, la pressione di 58 kPa si può esprimere anche come -42 kPa nella Scala Relativa o 42 kPa nella Scala del Vuoto.

Nella bovina, applicando al capezzolo un livello di vuoto paria a 42 kPa, lo sfintere si apre al massimo per 2 mm circa, consentendo il flusso di latte verso l'esterno. Il tutto avviene, nella macchina mungitrice, a livello di guaina e capezzolo. Quando si applica il prendicapezzolo, il capezzolo entra nella guaina per una certa lunghezza e la sua punta, trovandosi a contatto con il vuoto, tende a gonfiarsi, permettendo l'apertura dello sfintere e l'emissione del latte contenuto nella cisterna.

La velocità di deflusso dipende dalla differenza di pressione che si determina tra interno ed esterno della mammella. Durante la mungitura abbiamo all'interno della mammella una pressione superiore a quella atmosferica (5-8 kPa di pressione relativa); al di sotto dello sfintere, invece, la pressione relativa risulta pari a -42 kPa. La differenza di pressione causa, quindi, la fuoriuscita del latte, che viene raccolto dalla macchina.

Lasciare applicato costantemente il vuoto al capezzolo determina tuttavia un'eccessiva congestione nei tessuti della mammella, che provoca dolore, interruzione degli stimoli ormonali per l'emissione del latte e lacerazioni ai tessuti con la probabile insorgenza di infezioni, rendendo così impossibile un'efficiente esecuzione dell'operazione.

Per evitare tali inconvenienti è necessario che il vuoto venga ciclicamente interrotto, attraverso uno schiacciamento ritmico della guaina le cui pareti, avvicinandosi, permettono di ripristinare le condizioni di pressione atmosferica a livello dello sfintere (Figura 1). In tal modo, la circolazione sanguigna nel capezzolo riprende e lo stesso si decongestiona. Lo schiacciamento della guaina è determinato dall'immissione di aria nella camera di pulsazione esistente tra la stessa ed il portaguaina che, per differenza di pressione, provoca il cedimento delle pareti della guaina (fase di massaggio).

Successivamente, l'aspirazione attiva dell'aria contenuta nella camera di pulsazione comporta il ritorno della guaina alla posizione primitiva ed il contemporaneo reinstaurarsi delle condizioni di vuoto a livello dello sfintere (fase di mungitura).

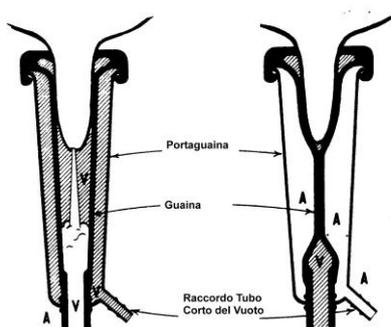


Figura 1. Fasi della mungitura meccanica: mungitura (a sinistra) e massaggio (a destra).
(A) pressione atmosferica; (V) vuoto di mungitura

Il compito della guaina, quindi, è quello di limitare il progredire della congestione e dell'edema nel capezzolo stesso provocati dalle forze generate dal vuoto di mungitura. In sostanza, la circolazione del sangue dipende dalla guaina che deve passare dalle condizioni di tensione proprie della fase di mungitura a quelle di rilassamento della fase di massaggio per potersi avvolgere il più possibile attorno alla punta del capezzolo ed interrompere l'azione del vuoto sulla punta stessa.

Dopo la fase di flusso massimo di emissione, verso il termine della mungitura, il prendicapezzolo, proprio a causa della riduzione di pressione all'interno della cisterna dovuta alla limitata quantità di latte presente, tende ad arrampicarsi verso l'attaccatura alla

mammella; quando ciò avviene si genera uno schiacciamento che chiude il dotto di collegamento tra la cisterna del capezzolo e quella della mammella ed impedisce l'ulteriore passaggio di latte tra le due.

Nel caso in cui la quantità di latte rimasta nella mammella sia limitata, non si verificano problemi in quanto la stessa verrà recuperata con la successiva mungitura; quando, invece, tale quantità è superiore, la fisiologia della bovina tende a limitare l'emissione degli ormoni che regolano la produzione di latte e si verifica un decremento nella curva di lattazione. Per tale ragione è necessario che, a fine mungitura, venga verificata la presenza di latte non munto nella mammella e, nel caso in cui questo ecceda la normale quantità, sia effettuata l'operazione di sgocciolatura; questa, è in genere effettuata attraverso una trazione meccanica del gruppo prendicapezzoli verso il basso, in modo da distendere le pareti della mammella e ripristinare il collegamento tra le cisterne della mammella e quelle del capezzolo.

1.4 Elementi caratterizzanti in un Robot di Mungitura

In un sistema robotizzato di mungitura possiamo distinguere come elementi caratterizzanti:

- sistema di riconoscimento e selezione delle bovine;
- box di contenimento;
- braccio robotizzato;
- sistema di individuazione della posizione dei capezzoli;
- sistema di lavaggio della mammella;
- sistema di attacco automatico del gruppo di mungitura.

1.4.1 Sistema di riconoscimento e selezione delle bovine

Il riconoscimento dell'animale all'ingresso della stazione di mungitura rappresenta una caratteristica fondamentale per una corretta gestione del sistema. È infatti possibile che un animale, per curiosità, o per ottenere l'alimento concentrato di cui è goloso, si presenti un numero eccessivo di volte al box di mungitura rallentando così l'efficienza dell'intero sistema. È quindi indispensabile definire a priori un numero massimo di mungiture per ogni animale.

La regolamentazione dell'accesso al robot può essere adattata alle esigenze individuali degli animali in funzione del livello produttivo e dello stadio di lattazione. In

tal modo le grandi produttrici di latte potranno disporre della stazione di mungitura un numero superiore di volte rispetto alle bovine meno produttive, potendo così esprimere al meglio le proprie potenzialità. Allo stesso modo l'asciutta può essere favorita da una graduale riduzione del numero di mungiture. In generale, la tendenza è quella di mungere 3 volte al giorno gli animali in piena lattazione e 2 volte quelli meno produttivi o a fine lattazione.

La soluzione a questo problema è stata affrontata in modo differente sia dal punto di vista dei criteri utilizzati per autorizzare la mungitura delle bovine, sia dei meccanismi per gestirne il traffico all'interno della stalla.

Dal punto di vista dei criteri, si possono individuare due soluzioni:

- la prima si basa su un intervallo di tempo minimo tra una mungitura e la successiva, che può essere automaticamente adattato al livello produttivo della bovina e allo stadio di lattazione;
- la seconda, invece, regola l'accesso sulla base della quantità di latte che si prevede possa essere prodotta dalla bovina durante la mungitura; il calcolo è abbastanza semplice ed utilizza la produzione giornaliera stimata ed il numero di ore trascorse dall'ultima mungitura.

Quest'ultimo metodo appare senza dubbio più efficace sia dal punto di vista dell'affidabilità e dell'adattabilità alle caratteristiche produttive di tutte le bovine, visto che quelle più produttive possono accedere anche più di 3 volte al giorno, sia dal punto di vista dell'efficienza del robot.

Anche in merito ai meccanismi che provvedono a consentire la mungitura o a respingere gli animali vengono proposte due soluzioni principali:

- “accesso regolato”: prevede la presenza di un box o di un corridoio di preselezione in cui l'animale può entrare liberamente; l'ingresso degli animali al box può essere favorito dalla somministrazione di una piccola quantità di concentrato con la sola funzione di invito. Dopo l'ingresso dell'animale avviene il riconoscimento automatico, mentre il cancello posteriore del box di preselezione viene chiuso; a questo punto il sistema dispone dei dati relativi allo stato produttivo della bovina e valuta se il tempo trascorso dalla mungitura precedente è sufficiente per poter concedere l'accesso alla stazione robotizzata. La parte anteriore del box di preselezione possiede due cancelli che permettono alla bovina, se accettata, di recarsi alla mungitura, oppure in caso di rifiuto, di tornare alla stalla.

- “accesso libero”: consente a tutti gli animali l’ingresso all’interno del box robotizzato, visto che sono liberi di muoversi all’interno della stalla in ogni direzione; la bovina viene riconosciuta solo dopo l’ingresso e, se rifiutata, si apre immediatamente il cancello di uscita sollecitando la stessa con una piccola scossa elettrica.

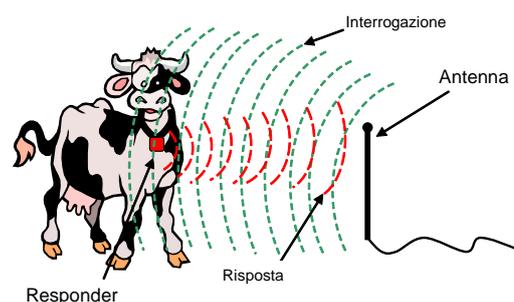
Tra le due soluzioni riportate, la prima, anche se più complessa, è senza dubbio più efficiente in quanto evita che il box robotizzato venga occupato, sia pure momentaneamente, da bovine solo di passaggio massimizzando quindi le ore di lavoro del robot.

Inoltre, è stato provato che, senza il richiamo dell'alimento, la stazione di mungitura non rappresenta un’attrazione sufficiente per gli animali; perciò, oggi l'orientamento prevalente è quello della frequentazione forzata, o semiforzata, che si ottiene posizionando la stazione robotizzata in passaggi obbligati fra zona di riposo e zona di alimentazione. Anche in tal modo esiste sempre una certa percentuale di animali pigri (5-10%) che faticano ad andare a farsi mungere e si presentano meno di 2 volte al giorno.

Sistemi di riconoscimento automatico degli animali: la caratteristica più rilevante dei sistemi di automazione degli allevamenti risiede nella possibilità di intervenire in modo mirato su ogni soggetto; ciò è possibile solo in presenza di sottosistemi in grado di riconoscere gli animali che, di volta in volta, interagiscono con gli automatismi.

I sistemi di riconoscimento automatico attualmente in commercio nel settore zootecnico sono basati sulla decodifica di onde elettromagnetiche inviate da un emettitore portato dall'animale e sono composti da:

- una parte fissa, composta da un trasmettitore-ricevitore, l’antenna, che emette in continuazione onde elettromagnetiche;
- una parte posizionata sull'animale, il responder, che viene attivata dalle onde elettromagnetiche emesse dall'antenna e invia, in risposta, un segnale a cui corrisponde un codice.



Tale sistema, oramai ampiamente collaudato e disponibile in una vasta gamma di tipologie, è conosciuto come “transponder”.

I primi sistemi di identificazione automatica commerciali risalgono alla prima metà degli anni '70 e il responder veniva generalmente applicato ad un collare.

La tecnologia dei sistemi di identificazione automatica si è, però, evoluta riducendo il numero e la dimensione dei componenti; in particolare, la microelettronica ha reso possibile la sostituzione di molti dei componenti elettronici con appositi chip. Ciò ha consentito, riducendo le dimensioni del responder, di passare da dispositivi da applicare al collo degli animali a chip miniaturizzati, incorporati in piastrine da apporre all'orecchio degli animali, fino agli attuali responder applicati sottocute.

In allevamento, i sistemi di riconoscimento automatico hanno, in generale, due tipologie di impiego. Nella prima tipologia, il transponder è parte integrante di un automatismo ed il suo compito è quello di fornire al sistema di controllo l'identità dell'animale. In questi sistemi l'antenna è generalmente fissa, installata all'interno della posta di mungitura o nei pressi di un passaggio obbligato per gli animali.

Il secondo campo di utilizzo, invece, è relativo alla registrazione di eventi, riguardanti lo stato di salute o la carriera riproduttiva dell'animale. In questo caso, il compito del sistema di riconoscimento automatico si riduce all'acquisizione, registrazione e visualizzazione del codice identificativo dell'animale. Si tratta, quindi, di transponder con antenna portatile che, avvicinata all'animale, consente di riconoscerlo con certezza eliminando le difficoltà e il rischio di errore presenti con il riconoscimento visivo del codice. Le successive operazioni di immissione e registrazione dei dati sono, però, a carico dell'operatore.

In base alla posizione in cui vengono collocati i responder sull'animale, si possono distinguere diversi sistemi di riconoscimento:

- Collare: rappresenta la tipologia più diffusa e collaudata. Il responder è annegato in una pastiglia di plastica che viene applicata con una cinghia al collo dell'animale. La posizione del collare rende semplice e sicura l'identificazione degli animali con l'antenna.
- Braccialetto: un altro sistema molto diffuso prevede il posizionamento del responder al piede dell'animale; in questo caso, i responder possono essere dotati di un sensore e di memoria interna per la registrazione di dati, come il numero di passi, che

vengono trasmessi assieme al codice al momento dell'interrogazione e prendono il nome di pedometri.

- **Bottone auricolare:** il responder viene applicato all'orecchio degli animali. Generalmente è associato anche ad una targhetta per il riconoscimento visivo e presenta il vantaggio del basso costo, della semplicità di applicazione ed un ingombro ridotto; è, quindi, particolarmente adatto all'applicazione su animali di piccola taglia, anche se il rischio di perdita è elevato.
- **sottocute:** il responder viene iniettato sottocute per mezzo di un apposito strumento. Il punto di iniezione più adatto a questo tipo di applicazione è al di sotto della cartilagine scutiforme dell'orecchio, sia per la protezione agli urti, sia per la ridotta sensibilità della zona che rende l'applicazione relativamente indolore per l'animale. Il rischio di perdita è molto ridotto, ma sono stati rilevati problemi di rottura meccanica del responder. Un ulteriore inconveniente di questa soluzione è rappresentato dal maggior tempo necessario per il recupero del responder alla macellazione.

Un fattore molto importante, che può condizionare la lettura del codice, è la direzionalità dei segnali generati dall'antenna e dal responder, poiché interessano uno spazio ben definito; risulta, quindi, molto importante il posizionamento e l'orientamento dell'antenna al fine di garantire che l'animale venga riconosciuto in ogni caso.

1.4.2 Box di contenimento degli animali

Il box di mungitura e di contenimento degli animali è uno stallo automatizzato con funzioni di vincolamento, controllo della posizione ed alimentazione delle vacche; il vincolamento ed il posizionamento della vacca all'interno del box sono necessari per garantire al robot un'area di lavoro contenuta ed abbastanza definita, ma allo stesso tempo devono permettere libertà di movimento alle bovine per ovvi motivi di benessere animale. Dunque, una condizione essenziale per poter effettuare l'attacco automatico del gruppo di mungitura risiede proprio nella parziale limitazione dei movimenti e nella riduzione delle possibili posizioni che l'animale può assumere all'interno della stazione di mungitura.

La lunghezza degli animali è il fattore che più di altri può condizionare la posizione degli animali all'interno del box. A tal riguardo si sottolinea come, finora, i box siano stati messi a punto per la razza Frisona che presenta variazioni in lunghezza dell'ordine di 50 cm; ne deriva l'esigenza di una mobilità longitudinale per evitare difficoltà al robot nell'individuazione e nel raggiungimento dei capezzoli da parte del braccio robotizzato.

Nel caso di altre razze di taglia significativamente diversa, quali per esempio la Jersey, è necessario un ulteriore adattamento del box.

La funzione principale del box di mungitura è, quindi, quella di limitare il campo di posizionamento della mammella ad uno spazio più contenuto, al fine di permettere al braccio robotizzato di raggiungere con maggiore rapidità la zona di lavoro e di ridurre l'ampiezza dei movimenti in fase di attacco. A questo scopo, i robot di mungitura attualmente presenti sul mercato hanno utilizzato due approcci differenti per adattare la lunghezza del box alla lunghezza di ogni animale: il primo prevede il ricorso a dispositivi ed accorgimenti che riducono lo spazio fisico all'interno del box in funzione dell'animale presente al suo interno; il secondo approccio, più rispettoso delle esigenze degli animali, prevede l'utilizzo di dispositivi in grado di monitorare in continuo la posizione della bovina, adattandosi ad essa.

Nel primo caso, dopo l'ingresso della vacca, la tramoggia dell'autoalimentatore avanza verso l'animale riducendo la lunghezza del box ed adattandola alle dimensioni memorizzate per ciascun animale. A questo dispositivo può essere accompagnato un rialzo per le zampe anteriori che facilitano l'arretramento dell'animale e migliorano la visibilità della mammella e dell'area di lavoro del braccio in fase di attacco. Inoltre, alcune ditte hanno adottato altri sistemi di vincolamento che prevedono l'utilizzo, nella parte posteriore, di una particolare forma del piano di appoggio con due fossette laterali che obbligano l'animale a mantenere le zampe posteriori leggermente divaricate, facilitando l'accesso del braccio. Questa soluzione riduce ulteriormente le possibilità di movimento della bovina e, in modo particolare, il rischio di danneggiamento del robot in seguito a calci o comportamenti indesiderati dell'animale. È importante, però, sottolineare che il raggiungimento di tali obiettivi non deve in ogni caso trascurare il fatto che il presentarsi volontariamente degli animali al box di mungitura dipende strettamente dal modo in cui gli stessi si sentono trattati. Un sufficiente grado di comfort, il benessere della bovina e l'assenza di stress sono condizioni fondamentali per un rapido adattamento degli animali al nuovo sistema di mungitura e per assicurare la frequentazione volontaria delle stazioni e una corretta emissione del latte.

Il massimo rispetto delle esigenze animali è garantito negli AMS più recenti che non prevedono alcun tipo di svincolamento e la posizione della bovina è continuamente monitorata da sensori ad ultrasuoni o da più banali tastatori che comunicano al robot la

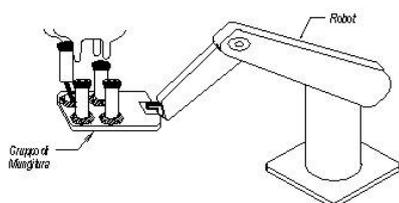
posizione longitudinale della bovina all'interno del box. Sicuramente questa è la strada che già si è affermata e che ancor più si svilupperà nel futuro.

1.4.3 Braccio robotizzato

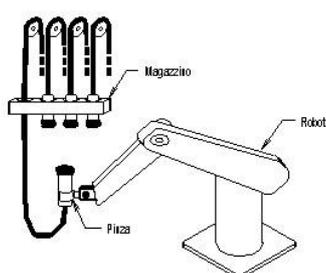
Il braccio robotizzato è stato per decenni il principale elemento su cui si è basato lo studio del robot di mungitura. Esso è costituito da una combinazione di assi e di giunzioni che, azionati da un particolare sistema di controllo, provvedono alla movimentazione del gruppo di mungitura; ciò gli permette di adattarsi a qualsiasi vacca e a qualsiasi conformazione mammaria, grazie alla sua capacità di compiere movimenti completi e dettagliati, potendo disegnare una sfera nello spazio.

Sugli impianti robotizzati in commercio possiamo riscontrare due diverse procedure di movimentazione e di attacco dei prendicapezzoli:

- attacco in stretta successione dei quattro prendicapezzoli montati sulla porzione terminale del braccio, detto anche “end-effector”;



- attacco individuale dei singoli prendicapezzoli prelevati da un magazzino porta utensili esterno, posto lateralmente al box di mungitura.



Il primo sistema presenta il vantaggio di essere più semplice perché tutti e quattro i prendicapezzoli, essendo parte del robot, sono già posizionati sotto la mammella e, quindi, l'attacco avviene in tempi contenuti, e la mappatura della mammella da parte del sistema di individuazione dei capezzoli risulta facilitata.

Nel secondo caso, invece, i prendicapezzoli sono separati dal robot e i vantaggi sono legati alle minori masse da movimentare, ma i tempi di attacco sono inevitabilmente più lunghi per il maggior lavoro a cui sono sottoposti, non solo il robot, ma anche il sistema di visione che, ogni volta, deve riorientarsi per individuare il capezzolo interessato. Inoltre, in quest'ultimo caso, il braccio robotizzato, svincolato dal gruppo di mungitura, può essere previsto per lo spostamento ad altri box dove può ripetere l'operazione di attacco su altre bovine.

Si possono poi individuare, fondamentalmente, tre tipi di bracci robotizzati, suddivisibili in funzione dei movimenti che il robot è in grado di compiere:

- a coordinate cartesiane: includono tre assi rettilinei le cui traiettorie consentono di raggiungere tutti i punti all'interno di un determinato volume rappresentato da un parallelepipedo;
- a coordinate cilindriche: le aree di lavoro del braccio, composto da giunzioni rotative, sono comprese all'interno di un cilindro;
- a coordinate sferiche: le aree di lavoro del braccio, composto da giunzioni sferiche, si trovano all'interno di una sfera.

La prima tipologia è semplice, affidabile e poco costosa, mentre le altre due sono più flessibili nelle traiettorie, ma ciò non toglie che anche i bracci cartesiani svolgano egregiamente la loro funzione.

In commercio si possono trovare tutte e tre le tipologie sopraindicate anche se il sistema di tipo cartesiano è stato un po' abbandonato.

Le principali caratteristiche che il braccio robotizzato deve possedere sono l'affidabilità e la robustezza.

Per quanto riguarda l'affidabilità, il robot è una nuova tecnologia, perciò per la sua diffusione è indispensabile prevedere una serie di accorgimenti che gli consentano di affrontare a lungo e senza danni l'ambiente di allevamento; perciò molto importanti sono anche le precauzioni da adottare per evitare che il robot possa essere danneggiato. La robustezza è la capacità di sopportare urti o sovraccarichi improvvisi; durante le operazioni di mungitura possono, infatti, verificarsi eventi imprevedibili tra cui, i più pericolosi per il robot, sono rappresentati dai calci della bovina o, in caso estremo, dalla sua caduta.

I sistemi di sicurezza adottati, per evitare che il robot possa essere danneggiato durante le operazioni di mungitura, si distinguono in sistemi di protezione di tipo attivo,

che riguardano il sistema di controllo, o tipo passivo, se sono basati sulla struttura del robot.

Nel primo caso il robot viene programmato in modo tale da riconoscere eventuali situazioni di pericolo per poter attuare procedure di protezione o di fuga. Ad esempio, uno dei robot attualmente in commercio è dotato di un sensore di pressione situato sul piano di appoggio di una delle due zampe posteriori. Quando l'animale è irrequieto, il sistema di controllo rileva, attraverso il sensore, il continuo sollevamento della zampa. Questo comportamento attiva una fase di sosta all'esterno del box durante la quale il robot attende che l'animale si calmi; se, invece, l'animale non si calma, viene fatto uscire dal box per evitare di impegnare inutilmente e troppo a lungo il robot.

Per quanto riguarda le protezioni di tipo passivo, si tratta principalmente di accorgimenti che riguardano la struttura del braccio robotizzato; sono state adottate soluzioni di diverso tipo che possono tuttavia coesistere sulla stessa macchina. Da un lato, il robot può essere dotato di una struttura meccanica particolarmente robusta, in grado di sostenere eventuali scontri con la bovina; un altro genere di protezione passiva prevede invece la presenza di uno o più giunti elastici sul braccio robotizzato ed è la soluzione più utilizzata. Questi giunti sono studiati e dimensionati in modo da cedere se sollecitati da una forza esterna, quale un calcio o il peso dell'animale. Il cedimento del giunto produce un movimento passivo che fa assumere al braccio robotizzato una posizione di difesa, come l'appoggio sul fondo, l'allontanamento dall'animale o l'uscita dal box.

1.4.4 Individuazione della posizione dei capezzoli

I sistemi di visione per l'individuazione della posizione dei capezzoli costituiscono il sistema più sofisticato da cui dipendono in gran parte la velocità, la precisione e l'affidabilità del robot che essi guidano durante la fase preliminare di avvicinamento all'animale e di attacco del gruppo di mungitura; devono, quindi, essere in grado di individuare la posizione della mammella rispetto al sistema di riferimento del robot e la posizione dei singoli capezzoli, oltre a seguire i movimenti dell'animale ed i conseguenti spostamenti dei capezzoli.

Ciò ha portato, nella maggior parte dei robot realizzati, alla suddivisione in due fasi dell'operazione di individuazione della posizione dei capezzoli: localizzazione grossolana ed individuazione ed inseguimento fine.

La prima operazione ha lo scopo di determinare la posizione della mammella al fine di consentire l'avvicinamento rapido del manipolatore alla zona di lavoro; tale localizzazione costituisce la prima interazione tra il robot e l'animale.

Da quanto detto, segue l'esigenza di effettuare una seconda localizzazione, denominata "fine", che ha lo scopo di rilevare la posizione dei singoli capezzoli con una precisione sufficiente alla guida del braccio per l'inserimento del capezzolo nell'imboccatura della guaina.

Le due fasi descritte fanno generalmente riferimento a due sistemi sensoristici separati ma interdipendenti, i cui sensori veri e propri possono essere collocati sul box, generalmente per la localizzazione grossolana, o direttamente sull'estremità del robot, sia per l'avvicinamento grossolano che per il posizionamento fine del prendicapezzolo.

I sistemi di individuazione ed inseguimento, cui oggi fanno ricorso le varie ditte produttrici di robot di mungitura, utilizzano i seguenti sensori:

- tattili: sono sensori costantemente in contatto con una o più parti dell'animale, costituiti da un braccio o un pannello cedevole il cui output è proporzionale allo spostamento impresso ad un'asta mobile. In tal modo, viene trasmessa all'unità di controllo del robot la posizione dell'individuo rispetto al box da cui, con una certa approssimazione, è possibile risalire alla posizione della mammella; lo stesso sistema può controllare gli eventuali spostamenti dell'animale anche durante la mungitura. La tecnologia è estremamente semplice, affidabile e di costo contenuto, ma la precisione è inevitabilmente limitata, per cui questo tipo di sensore può essere impiegato solo per la fase di avvicinamento grossolano.
- ultrasuoni: sono basati sul calcolo della distanza tra il sensore ed un oggetto che riflette l'impulso ultrasonico prodotto dall'emettitore, in funzione del tempo intercorso tra l'emissione dell'impulso stesso e la ricezione. Sono utilizzati sensori rotanti, che consentono di controllare la posizione angolare istantanea, in modo da poter costruire una mappa degli oggetti che si trovano intorno al sensore. La tecnologia dell'ultrasuono è sicuramente efficace, affidabile, e di costo contenuto; tali sensori, infatti, sono particolarmente robusti e resistenti ad ambienti di lavoro ostili, quali la stalla. Perciò, gli ultrasuoni presentano caratteristiche consone con le esigenze dei robot di mungitura, che li utilizzano sia per l'individuazione grossolana della mammella, sia nei sistemi di individuazione fine ed inseguimento dei capezzoli. I sensori ad ultrasuoni, tuttavia, presentano in questo ambito una ridotta velocità di

risposta ed una scarsa precisione, dovute rispettivamente alla velocità di propagazione del segnale ultrasonico e all'ampiezza del cono di emissione del segnale.

- laser infrarosso a triangolazione: il principio di funzionamento di questi sensori si basa sulla riflessione del raggio laser quando questo colpisce un oggetto. Il raggio riflesso perviene ad un sensore ottico in grado di valutare l'angolo di riflessione e, quindi, la distanza dell'oggetto. Affinché la lettura non sia influenzata dal colore del capezzolo, il raggio emesso è di tipo infrarosso. Nei robot di mungitura il sensore laser viene fatto oscillare su un determinato angolo, ricostruendo, analogamente con quanto visto per i sensori ad ultrasuoni, la mappatura degli oggetti presenti nell'angolo di scansione. In generale, i sensori laser utilizzati nell'ambito della mungitura robotizzata, presentano tempi di risposta molto ridotti, che consentono di seguire in tempo reale i movimenti del capezzolo, ed una precisione molto elevata, che può arrivare al centesimo di mm. Tuttavia, i sensori ottici sono sensibili ai depositi di sporcizia e di umidità, perciò l'emettitore e il ricevitore devono essere sempre mantenuti puliti, altrimenti si riduce sensibilmente la precisione del sistema di individuazione.
- telecamera e laser: si tratta di sistemi che abbinano una telecamera digitale ad un emettitore laser, basati sull'elaborazione dell'immagine generata. I limiti della telecamera sono dovuti all'esigenza di illuminazione del capezzolo; per questo la telecamera viene associata ad un emettitore laser che provvede ad illuminarlo. L'individuazione dell'esatta  posizione viene effettuata con triangolazione dei segnali. Così come i laser, questi sistemi rientrano nella categoria dei sensori ottici; è quindi opportuno prevedere efficaci sistemi di protezione e di pulizia automatica delle superfici ottiche e, in tutti i casi, interventi giornalieri di controllo da parte dell'allevatore. Oggi, questo sistema viene usato dai robot di ultima generazione, poiché è considerato come il più efficace.
- matrice ottica: sulla superficie interna di un supporto a "U" o ad anello vengono montati una serie di emettitori luminosi (LED) e di ricevitori. Il capezzolo, quando intercetta la matrice di raggi generati dai LED, rappresenta un ostacolo che viene

individuato in base alla posizione dei ricevitori, oscurati dall'ombra proiettata dal capezzolo stesso. Sensori di questo tipo appartengono esclusivamente ai sistemi di individuazione fine del capezzolo; devono, quindi, essere sempre associati ad un sistema di individuazione grossolana, in grado di portare il capezzolo all'interno della matrice. Si tratta di sensori sicuramente veloci, precisi ed economici, anche se caratterizzati da un ingombro elevato e da un'area di lavoro molto ristretta all'interno del supporto. Furono molto usati nelle prime fasi di sviluppo degli AMS, ma oggi sono stati praticamente abbandonati.

Tutte le diverse tecnologie impiegate nell'individuazione dei capezzoli garantiscono complessivamente risultati soddisfacenti, anche se risultano più avvantaggiati i sistemi che effettuano l'attacco continuando a controllare la posizione dei capezzoli, piuttosto che sulla base di una mappatura effettuata anche pochi istanti prima. E' doveroso notare come la tecnologia basata sulla telecamera, che fino all'inizio degli anni '90 non era praticabile per gli elevati tempi di elaborazione, sia oggi la più efficace.

1.4.5 Pulizia e disinfezione dei capezzoli

Le strutture per la pulizia dei capezzoli e la separazione del latte anormale sono incorporate nel robot di mungitura e l'adattamento di schemi convenzionali di pulizia e di sistemi di raffreddamento sono necessari per permettere una mungitura continua.

Il lavaggio della mammella rappresenta un'operazione importantissima per un impianto di mungitura robotizzato. La maggiore fonte di contaminazione batterica del latte, infatti, deriva principalmente dalla mammella e dai capezzoli. Recenti studi condotti sulle cause di aumento della carica batterica nel latte di massa, hanno evidenziato come gran parte di essa sia attribuibile alla presenza di batteri patogeni nella mammella, la cui contaminazione deriva soprattutto dalla lettiera e dalle generali condizioni di stabulazione. Quando l'animale si presenta al box di mungitura non è possibile valutare le condizioni di pulizia della mammella; mancando ogni controllo visivo da parte del mungitore, è quindi indispensabile che il robot intervenga con dispositivi automatici di lavaggio e disinfezione.

In funzione dei diversi bracci robotizzati impiegati, anche i sistemi di pulizia dei capezzoli sono stati modulati in modo diverso.

Il sistema più innovativo, che si adatta alla movimentazione individuale del singolo prendicapezzolo, è stato elaborato con il fine di risolvere contemporaneamente il problema del lavaggio della mammella e della separazione dei primi getti di latte. Il sistema prevede

l'utilizzo di un prendicapezzolo speciale, dotato di iniettori, nella testa della guaina che, prima dell'attacco del gruppo di mungitura vero e proprio, viene prelevato dal braccio robotizzato e utilizzato per lavare, uno dopo l'altro, i quattro capezzoli.

L'operazione di lavaggio prevede l'attacco del prendicapezzolo alla mammella e l'iniezione di getti d'acqua calda a 35-38° C e di aria a temperatura ambiente dalla sommità della guaina, che provocano un turbine al suo interno; in tal modo, l'acqua lambisce e lava il capezzolo e viene evacuata assieme ai primi getti di latte, attraverso una linea separata dal circuito del latte. Questa situazione, oltre ad assolvere la primaria funzione di pulizia della superficie del capezzolo, contribuisce anche alla funzione di massaggio. Al termine del lavaggio e della premungitura, il capezzolo viene asciugato con un getto d'aria a temperatura ambiente; l'operazione viene, quindi, ripetuta in successione su tutti i capezzoli prima di procedere all'attacco dei prendicapezzoli di mungitura. Inoltre, il prendicapezzolo di lavaggio viene risciacquato con acqua, sia internamente sia esternamente, dopo ogni trattamento e dopo ciascuna mungitura.

Esiste anche un sistema analogo, in cui i prendicapezzoli di lavaggio possono essere utilizzati anche per la mungitura e, in questo caso, non si tratta di un prendicapezzolo a parte, ma direttamente dei quattro prendicapezzoli di mungitura.

Il sistema più “convenzionale”, che ha i quattro prendicapezzoli riuniti in un unico supporto all'estremità del braccio, invece, prevede l'utilizzo di una o due spazzole controrotanti che, portate sotto la mammella, provvedono alla pulizia dei capezzoli prima della mungitura, poiché non permette di gestire il lavaggio dei capezzoli attraverso l'uso di un quinto prendicapezzolo fondamentalmente per motivi di ingombro e di interferenza con il sistema di visione. L'azione delle spazzole è normalmente accompagnata da spruzzi di acqua calda. La fase finale del lavaggio viene effettuata spazzolando a secco la mammella per favorirne l'asciugatura. Le spazzole vengono lavate dopo ogni ciclo di lavoro con una soluzione di acqua e detergente ed asciugate attraverso la rotazione delle stesse.



Il numero dei trattamenti sui singoli capezzoli è programmabile dall'utente da un minimo di zero ad un valore massimo di quattro, mentre il tempo di spazzolatura di ogni capezzolo è mediamente di 5 secondi; anche l'altezza delle spazzole è regolabile e

permette di adattare sia l'azione detergente che quella di massaggio delle spazzole alla lunghezza dei capezzoli. Nei sistemi a spazzole non è normalmente prevista l'asciugatura della superficie dei capezzoli.

Entrambi i sistemi presentano vantaggi e svantaggi: il sistema a prendicapezzolo singolo garantisce una miglior pulizia rispetto alle spazzole, in quanto si ha l'immersione totale del capezzolo durante il lavaggio, cosa che non avviene con il sistema a spazzole; quest'ultimo, però, risulta più efficace nella stimolazione tattile del capezzolo per la messa del latte, in quanto l'azione fisica della spazzola mima più efficacemente l'effetto della mano del mungitore.

Inoltre, tutti i sistemi robotizzati, al termine della mungitura, prevedono il “post dipping”, ossia l'irrorazione dei quattro capezzoli con una soluzione disinfettante.

1.4.6 Sistema di attacco dei prendicapezzoli

Il sistema di attacco dei prendicapezzoli rappresenta la “mano del robot”. Si tratta di un automatismo situato all'estremità del braccio robotizzato che provvede alla movimentazione dei prendicapezzoli per l'attacco ed, eventualmente, allo stacco del gruppo di mungitura.

Nelle fasi di attacco, è importante tener presente il rispetto del tempo di attesa fra la stimolazione del capezzolo e l'attacco del gruppo; infatti, così come nella mungitura tradizionale, anche nel robot dovrebbero passare almeno 60 secondi fra i due eventi. A tal fine è quindi importante verificare che i tempi impostati per le diverse fasi rispettino questo requisito.

In generale è possibile distinguere sistemi di attacco in cui i quattro prendicapezzoli sono completamente indipendenti, prelevati e manovrati dall'end-effector del robot, e sistemi in cui è presente un vero e proprio gruppo di mungitura automatizzato, in cui i prendicapezzoli sono parte integrante dell'end-effector.

Prendicapezzoli completamente indipendenti: in questo caso, i prendicapezzoli si trovano, in posizione di riposo, in un magazzino esterno al box. Dopo l'ingresso dell'animale, il robot estrae il primo prendicapezzolo, con relative tubazioni del latte e del vuoto, e lo porta in prossimità della mammella per l'attacco al capezzolo. Dopo l'attacco, il robot abbandona il prendicapezzolo, che rimane attaccato alla mammella grazie all'aspirazione esercitata dal vuoto dell'impianto di mungitura, per ritornare al magazzino e

prelevare il prendicapezzolo successivo. Ogni prendicapezzolo rimane vincolato al magazzino tramite un dispositivo di recupero, operante attraverso la trazione delle tubazioni del latte e del vuoto.

Il termine della mungitura viene segnalato da un sensore di flusso, che interrompe il vuoto ai prendicapezzoli, e questi vengono richiamati in posizione nel magazzino dal riavvolgimento dei tubi del latte e del vuoto.

Una caratteristica qualificante di questi sistemi è rappresentata dall'estrema semplicità del braccio robotizzato e del sistema di attacco costituito essenzialmente da una pinza per il prelievo dei prendicapezzoli. Dal punto di vista operativo, invece, tali sistemi presentano una maggiore lentezza nella fase di attacco dei prendicapezzoli, dovuta principalmente ai quattro percorsi di ingresso e di uscita dal box che il robot deve effettuare per completare l'operazione di attacco.

E' possibile fare una distinzione tra sistemi in cui nel magazzino i prendicapezzoli si trovano in posizione capovolta e sistemi in cui gli stessi si trovano già in posizione di mungitura. Nel primo caso, lo stacco ed il recupero dei prendicapezzoli è senza dubbio più agevole, poiché si riduce il rischio di annodamento dei tubi e la possibilità di caduta a terra dei prendicapezzoli, ma durante la mungitura, il latte deve effettuare un lungo percorso in salita, con possibili ripercussioni sulla qualità della stessa. Nel secondo caso, invece, il percorso del latte è sempre in discesa e la mungitura si svolge in condizioni più favorevoli, anche se il rischio di annodamento delle tubazioni durante lo stacco e di caduta a terra dei prendicapezzoli risulta più elevato.

Prendicapezzoli integrati nell'end-effector: Il gruppo di mungitura automatizzato può essere parte integrante del braccio robotizzato oppure prelevato dal robot solo per la fase di attacco. In quest'ultimo caso il robot può abbandonare il gruppo durante la mungitura e trasferirsi verso altri box.

I prendicapezzoli sono già disposti in quadrilatero e vengono attaccati in successione partendo da uno dei capezzoli posteriori. Tale soluzione supera in gran parte i problemi riscontrati con il prelievo dei prendicapezzoli dall'esterno del box; infatti, il gruppo di mungitura, fungendo da supporto per prendicapezzoli durante l'operazione di attacco, fa sì che questi si trovino tutti nei pressi della mammella, riducendo i movimenti nel passaggio da un capezzolo all'altro.

Questa configurazione offre, inoltre, la possibilità di posizionare il collettore del latte nei pressi dei prendicapezzoli, consentendo di mantenere la lunghezza dei tubi corti del latte entro valori accettabili e garantendo quindi il mantenimento di condizioni ottimali di mungitura. Tuttavia, l'integrazione tra il gruppo di mungitura e l'end-effector rende questi dispositivi particolarmente complessi e pesanti; per questo motivo, anche se hanno già raggiunto un accettabile livello di affidabilità, suscitano ancora una certa diffidenza nell'allevatore.

1.5 Caratteristiche di un Robot di Mungitura

La riduzione del lavoro, una miglior vita sociale per gli allevatori e l'aumento della produzione di latte, dovuto ad una mungitura più frequente, rappresentano importanti benefici della mungitura automatica. L'adozione di un sistema di mungitura robotizzato, infatti, modifica diversi aspetti della gestione dell'allevamento, alterando sia la natura che l'organizzazione del lavoro. Ciò permette al robot di effettuare la mungitura senza la presenza dell'uomo, svolgendo il suo compito con precisione e osservando scrupolosamente le istruzioni impartite dal programma. La mungitura diventa, quindi, non più un'operazione da eseguire ad intervalli regolari, due o tre volte al giorno, bensì un momento scelto liberamente dagli animali; le bovine possono così recarsi ad ogni ora del giorno e della notte alla stazione di mungitura robotizzata, posta all'interno della stalla.

Le principali caratteristiche che un robot mungitore deve possedere per soddisfare le esigenze degli allevatori sono:

- rispetto per gli animali: un robot, esattamente come un mungitore, deve trattare bene gli animali sia per principio etico, sia per garantire l'approccio volontario degli animali al robot;
- robustezza e affidabilità, come condizione necessaria per l'esecuzione corretta di un elevato numero di mungiture senza il controllo dell'uomo. Una bassa affidabilità comporterebbe la certezza di un danno economico inaccettabile per l'allevatore;
- adattabilità ad ambienti ostili: l'ambiente di stalla, infatti, presenta condizioni di lavoro decisamente sfavorevoli in quanto sporczia, umidità ed elevate escursioni termiche sono inevitabilmente presenti in stalla;
- effettuare la localizzazione dei capezzoli ed il posizionamento del gruppo di mungitura in un tempo compatibile con la normale durata della mungitura;

- avere un costo di investimento e di gestione compatibile con le caratteristiche economiche dell'allevamento da latte;
- disporre di un sistema evoluto di autodiagnostica che evidenzia i componenti che presentano anomalie, per garantire facili e veloci interventi di manutenzione e riparazione.

L'innovazione del robot di mungitura, quindi, permette di ottenere il massimo vantaggio, sollevando l'uomo dalla routine quotidiana della doppia mungitura e dalla rigidità dei turni di lavoro e, allo stesso tempo, assicura il rispetto delle norme qualitative e sanitarie. In secondo luogo, riducendo la movimentazione forzata degli animali, consente loro di scegliere il momento della mungitura in modo più naturale e congeniale, potendo così raggiungere un ulteriore miglioramento delle loro condizioni di benessere.

Nell'ambito aziendale, inoltre, tale possibilità consente di estrinsecare le maggiori potenzialità produttive possedute da gran parte dei soggetti oggi allevati, garantendo livelli produttivi superiori di un 15% o più, secondo i rilievi e le esperienze acquisite dagli zootecnici.

1.5.1 Vantaggi per l'allevatore

L'introduzione del robot di mungitura in azienda comporta una radicale trasformazione nella tipologia e nelle tempistiche di lavoro per l'allevatore.

Certamente uno degli aspetti che rende questo sistema di sicuro interesse per l'allevatore è rappresentato dalla possibilità per lo stesso di essere sollevato dalla quotidiana routine di mungitura, tempo che può così dedicare ad altre attività aziendali, quali i lavori dei terreni, la preparazione della miscelata Unifeed e, cosa molto importante, la cura dei piedi. D'altra parte, le motivazioni che stimolano gli allevatori verso questa tecnologia sono varie e vanno dal miglioramento della qualità della vita, al miglioramento della qualità del lavoro, alla riduzione dell'impiego di lavoro esterno alla famiglia.

Nonostante ciò, la mungitura robotizzata non elimina il lavoro in stalla e neppure completamente quello di mungitura, ma lo razionalizza, svincolando il lavoratore dalla rigidità degli orari di mungitura e dal prolungato contatto con gli animali.

Cambia l'approccio da parte dell'allevatore: se l'allevatore pensa che il robot sostituisca la presenza dell'uomo in stalla commette un grave errore e, dopo poco tempo, si accorgerà che la sua è stata una scelta perdente.

Subito dopo l'installazione della macchina, durante la fase di avvio del sistema, tuttavia, si deve prevedere un periodo di transizione di circa 15 giorni, in cui la presenza costante dell'allevatore è necessaria per l'istruzione della mandria ai nuovi percorsi ed alla differente procedura di mungitura; altri 15 giorni sono sufficienti per arrivare ad una movimentazione spontanea e costante degli animali verso il robot.

Terminato l'adattamento, l'allevatore può prendere visione in tempo reale di quanto si sta verificando nella stalla recandosi alla sala comandi; in questo modo egli è in grado di organizzare e pianificare le attività da svolgere, riducendo la sua presenza in stalla e migliorando la qualità della propria vita.

Considerando una mandria di circa 60 bovine, nel caso della mungitura tradizionale è stato stimato un tempo medio di circa 2 ore per mungitura; con il sistema automatico, invece, circa un'ora al giorno viene utilizzata per il controllo della mandria e l'eventuale accompagnamento di qualche animale al box di mungitura e lo stesso tempo dev'essere dedicato alla manutenzione quotidiana ed alla pulizia della macchina e dei locali annessi. Il robot di mungitura, perciò, ha permesso di ridurre il lavoro di oltre 2 ore al giorno. Inoltre, mentre con la mungitura tradizionale l'orario d'inizio della giornata lavorativa era fissato circa alle 5, con il robot si è spostato attorno alle 7 del mattino, con indubbi vantaggi per quanto riguarda le esigenze famigliari e sociali dell'operatore.

È però importante sottolineare che il lavoro è diversamente distribuito nell'arco della giornata e gli interventi al robot possono essere effettuati secondo le necessità in modo flessibile, riducendo quelli notturni solo ai casi di eventi anomali e straordinari determinati dal blocco di funzionamento della macchina.

Inoltre, un altro aspetto non trascurabile è rappresentato dal miglioramento della redditività dell'allevamento, perché l'allevatore può dedicare le proprie energie ed il proprio tempo ad attività più orientate alla gestione ed al controllo del processo operativo aziendale nel suo insieme con vantaggi per l'intera azienda zootecnica.

Tutto ciò, tuttavia, dipende da un corretto ed efficiente inserimento di questa tecnologia in azienda, cioè da una serie di vincoli costituiti da dimensione aziendale, dimensione della mandria, livello produttivo, qualità del latte e destinazione del prodotto finale.

L'interesse per un miglioramento della qualità della vita si riscontra soprattutto nelle imprese dove il conduttore munge in prima persona e intende sollevarsi da questa routine di lavoro così onerosa dal punto di vista degli orari e dell'ambiente di lavoro. Nelle aziende

più grandi con salariati, invece, la valutazione di convenienza è più strettamente legata al ritorno economico dell'investimento, ovvero a fattori connessi con l'economia aziendale.

Certo è che l'inserimento di questa tecnologia nell'azienda da latte, per le sue caratteristiche di modernizzazione delle tecniche di gestione aziendale e per la miglior qualità del lavoro che è in grado di offrire, può costituire un freno all'abbandono dell'attività zootecnica da parte dei giovani.

1.5.2 Monitoraggio automatico dei parametri fisiologico – produttivi

I sistemi fin qui presentati sono normalmente associati a un personal computer che con il suo software è in grado di comandare gli automatismi, di elaborare i dati dell'allevamento e di dialogare con l'allevatore fornendo informazioni utili alla gestione dell'azienda.

L'interesse degli allevatori verso un'informazione sicura e tempestiva è senz'altro rilevante. Il computer, collegato all'impianto di mungitura, raccoglie una grande mole d'informazioni relativamente alle prestazioni dell'impianto (passaggio delle bovine nel box di mungitura, tempi di mungitura, numero di mungiture giornaliere, operazioni di lavaggio) e alle prestazioni delle bovine (produzione di latte per singolo quarto, caratteristiche compositive del latte) nonché sullo stato di salute delle stesse attraverso una serie di sistemi di rilevazione, il più diffuso dei quali è la conducibilità elettrica del latte.

Gli allevatori vengono, quindi, messi in condizione di intervenire sin dai primi momenti in cui si verifica un evento anomalo, come un cambiamento del livello produttivo, estro o malattia, senza dovere con ciò effettuare continue analisi e/o controlli visivi sugli animali. Il robot, infatti, oltre a compiere l'operazione di attacco del gruppo mungitore, deve effettuare un vero e proprio controllo continuo degli animali e del loro prodotto, tramite il monitoraggio di opportuni parametri, allo scopo di individuare ed isolare quelli che presentano anomalie.

Con il robot di mungitura le bovine possono essere molto più seguite e controllate, visto che il computer segnala quando c'è un animale che non si presenta alla stazione di mungitura o ci va in ritardo rispetto alle sue abitudini e che, perciò, potrebbe essere malato.

Oggi, tali sistemi si basano sulla misurazione e sulla valutazione automatica di parametri fisici legati direttamente o indirettamente agli stati fisiologici e sanitari da monitorare, quali l'insorgenza di estri e stati mastitici, ma in un prossimo futuro potranno essere valutati numerosi altri aspetti della salute animale.

Individuazione dei calori: La corretta e tempestiva individuazione dell'estro rappresenta un fattore determinante per un'efficiente gestione dell'allevamento bovino. Il mancato riconoscimento dei calori ed il conseguente allungamento del periodo di interparto comportano una sensibile perdita economica da parte dell'allevatore, dovuta principalmente ad una riduzione della produttività della bovina ed alla necessità di prevedere una maggiore rimonta.

Il metodo più tradizionale per l'identificazione delle bovine in estro é rappresentato dall'osservazione visiva del comportamento. Uno dei principali sintomi dell'estro si individua, infatti, nei tentativi di monta su altre vacche, irrequietezza ed un sostanziale incremento dell'attività motoria. É evidente come il controllo visivo degli animali, al fine di individuare i soggetti in calore, richieda un notevole dispendio di tempo e risulta tanto meno preciso quanto più é grande la mandria.

I dispositivi per il rilievo automatico dell'attività motoria possono sostituire l'osservazione diretta del comportamento degli animali e prendono il nome di "attivometri". Possono essere sia legati al collo della bovina, sia applicati alla zampa e, in quest'ultimo caso, prendono il nome di pedometri.

Si tratta di sistemi elettronici, dotati di una batteria interna e di un dispositivo elettronico sensibile ai movimenti della bovina; ad ogni passo della bovina, viene implementata la memoria interna del dispositivo. Il dato finale viene poi trasmesso contestualmente al codice identificativo della bovina; perciò, anche in questo caso, il dispositivo è associato ad un sistema di riconoscimento automatico degli animali.

Il computer, confrontando la media produttiva delle rilevazioni fatte nei 10 giorni precedenti, segnala le bovine che evidenziano un improvviso calo di prestazione e deviazioni significative rispetto alla media o il fatto che la bovina si sottoponga a mungiture brevi e frequenti. Sta poi all'allevatore valutare l'attendibilità della segnalazione ed eventualmente procedere con la fecondazione.

1.5.3 Sanità della mammella e qualità del latte

La mastite rappresenta la malattia che si rileva con maggior frequenza negli allevamenti di bovine da latte. L'infezione mastitica comporta una consistente perdita economica per l'allevatore, sia per la ridotta produttività della bovina, sia per il costo immediato da sostenere per le cure necessarie.

Circa il 70% di queste perdite vengono attribuite alle alterazioni quali-quantitative della produzione di latte in corso di mastiti subcliniche, patologie solo in parte diagnosticate. Tali forme, non riconosciute tempestivamente, provocano danni al tessuto ghiandolare della mammella compromettendo le caratteristiche organolettiche del latte, pregiudicandone sia l'utilizzazione e la trasformazione casearia, sia la carriera produttiva dell'animale.

Il controllo visivo e la salute della mammella sono anch'essi, almeno in parte, sorvegliati dai sistemi automatici. La sanitizzazione della mammella rappresenta uno dei punti critici nell'operazione di mungitura; una sequenza operativa ottimale nelle fasi di pulizia e disinfezione è fondamentale per bloccare un'eventuale diffusione di germi patogeni. Diverse sperimentazioni hanno confermato che i sistemi automatici di mungitura non determinano un aumento del numero di mastiti e di cellule somatiche, e non hanno nemmeno un impatto negativo sulle condizioni del tessuto del capezzolo, anzi migliorano le condizioni dello sfintere. Ciò suggerisce che la mungitura per quarto individuale ed il basso livello di vuoto hanno un impatto positivo su questa importante area della ghiandola mammaria, diminuendo soprattutto il rischio d'infezioni.

Nonostante ciò, si ritiene sia molto importante partire bene e l'introduzione di animali sani con meno di 200.000 cellule somatiche/ml è una delle condizioni fondamentali che l'allevatore deve osservare per ottenere buoni risultati; inoltre, è necessaria una corretta gestione della lettiera e della pulizia degli ambienti di stabulazione, in quanto i metodi automatizzati di pulizia sono applicati in modo standard a tutti i soggetti, per cui è importante che il livello medio di pulizia dei capezzoli sia elevato ed uniforme nella mandria.

E', quindi, consigliabile risanare l'azienda prima di acquistare un robot, poiché con questa nuova tecnologia non si risolvono automaticamente i problemi gestionali, ma al contrario si potrebbe verificare una maggior diffusione di mastiti di carattere infettivo se nella mandria sono presenti animali portatori di batteri potenzialmente patogeni. Infatti, in una situazione sanitaria non ottimale o compromessa, mungiture troppo frequenti inducono un maggiore stress a livello di capezzolo e, se l'animale ospita dei patogeni, può più facilmente contrarre una mastite.

I risultati di indagini che sono state fatte sulla salute della mammella hanno confermato che il robot di mungitura non ha, in generale, effetto negativo sulla qualità del latte, sulla frequenza di infezioni e sullo stato del tessuto del capezzolo. Tuttavia, l'elevata

frequenza di mungitura (oltre le 3 mungiture giornaliere) può essere causa di un maltrattamento della mammella, i cui capezzoli possono risultare più stressati e congestionati. Ciò accade, in particolare, negli ultimi stadi di lattazione e nei soggetti che richiedono tempi di mungitura elevati. Al superamento dei 300 giorni di lattazione, infatti, le alterazioni dello stato del capezzolo divengono più evidenti, con un conseguente aumento della frequenza di infezioni mammarie. Inoltre, la contaminazione da patogeni non viene necessariamente eliminata dai sistemi attualmente in uso per la disinfezione del gruppo di mungitura.

La mancata osservazione visiva del latte di premungitura può risultare fortemente penalizzante se non viene adottato un rigoroso protocollo di controllo e verifica del sistema di rilevazione automatica delle mastiti.

Lo studio dei sistemi automatici per l'individuazione della mastite è iniziato parallelamente ai primi studi sulla robotizzazione della mungitura. In merito, sono state indagate tecnologie come la conducibilità elettrica, la citofluorimetria, la spettroscopia nell'infrarosso (NIRS); tra queste la conducibilità elettrica è apparsa fin dall'inizio la più semplice da applicare.

Esistono molti studi che dimostrano la relazione tra conducibilità elettrica del latte e stato di salute della mammella; su questa base sono stati realizzati i primi sistemi di individuazione automatica della mastite installati su robot di mungitura. La registrazione della conducibilità elettrica del latte è in grado di mettere in evidenza infezioni della mammella e, in particolare, la presenza di mastiti subcliniche, segnalando l'alterazione della composizione ionica del latte a causa dell'insorgenza di mastiti, o più in generale di uno stato patologico a livello mammario; in caso di mastite, infatti, l'incremento del contenuto di sali nel latte, sotto forma di ioni cloro, sodio e bicarbonato, e la riduzione del potassio, determinano un aumento della conducibilità elettrica, che viene segnalata dal sistema informatico del robot. La conducibilità elettrica del latte viene rilevata con un'unica coppia di elettrodi situata all'interno della camera di misura del lattometro. Il sistema registra un valore di conducibilità per ogni mungitura; il dato raccolto rappresenta, quindi, la media della conducibilità elettrica dei quattro quarti. L'interpretazione si basa sull'incremento di conducibilità del latte rispetto alla media dei valori rilevati nelle dieci mungiture precedenti. Qualora la differenza calcolata risulti superiore al valore soglia impostato, l'animale viene segnalato ed è essenziale che tutti i soggetti che presentano questo tipo di allerta vengano separati, ma va ricordato che la variazione della

conducibilità elettrica può essere dovuta anche ad altri fattori; perciò, oltre ad assicurarsi che non ci siano alterazioni evidenti del latte, è bene eseguire la conta delle cellule somatiche di ogni singolo quarto, impiegando il “California Test” o, se disponibile, il sistema automatizzato di conta delle cellule che è presente nei robot di ultima generazione. La rilevazione della conducibilità elettrica nel corso della mungitura permette dunque all'allevatore di effettuare diagnosi tempestive, che dovranno poi essere confermate a livello veterinario.

La qualità del latte è una questione critica negli allevamenti di bovine da latte, poiché i sistemi di pagamento del latte sono basati su di essa ed i consumatori si aspettano un alto livello di qualità e di sicurezza nei prodotti che acquistano.

I sistemi di mungitura automatica sono in grado di compiere un'accurata identificazione di ciascuna bovina, lasciando poche possibilità di errore da parte dell'uomo; in questo modo, quindi, accresce potenzialmente la sicurezza e la qualità alimentare.

Sebbene i robot usino gli stessi principi di funzionamento della mungitura tradizionale, sono state riscontrate maggiori differenze per quanto riguarda la composizione del latte. Dai risultati di indagini svolte in Europa e nel Nord America è emerso che, aumentando la frequenza di mungitura, si è ridotta la percentuale sia di grasso che di proteine ed è, invece, aumentato il livello di acidi grassi liberi.

Ultimamente sono stati messi a punto e installati nuovi sistemi per l'analisi del latte: si tratta di sistemi ottici basati sull'analisi del colore, in grado di valutare, oltre alla quantità ed alla qualità del latte prodotto, anche lo stato di salute della mammella.

Tuttavia, è ancora necessaria una messa a punto dei sistemi di individuazione delle mastiti. E' stato riscontrato, infatti, che questi sistemi in campo sono poco sensibili e, in alcuni casi, hanno difficoltà ad individuare anche mastiti cliniche. Si ritiene che il problema dell'individuazione automatica della mastite debba essere affrontato in modo più cosciente, soprattutto da parte dell'allevatore, che non deve assumere un ruolo passivo di fronte al robot, aspettandosi segnalazioni sicure ed indicazioni precise sugli interventi da effettuare. In un allevamento automatizzato, l'imprenditore dev'essere in grado di istruire il robot sulle modalità di segnalazione delle mastiti attraverso un'opportuna impostazione dei parametri che regolano il funzionamento del sistema.

1.5.4 Aumento della produzione

Oltre all'aumento di qualità e sanità del latte, nei sistemi automatici è riconosciuto un incremento produttivo giornaliero per capo. Infatti, uno degli aspetti più rilevanti, ai fini del successo della mungitura automatica e che ne giustifica la convenienza all'acquisto, è rappresentato dal maggior numero di mungiture giornaliere a cui si sottopongono le bovine. E' noto che il passaggio da due a tre mungiture giornaliere, nel sistema tradizionale, determina un aumento della produzione di latte. Questo fenomeno è stato osservato anche con la mungitura automatizzata, in funzione sia del numero di mungiture medio che dell'intervallo di mungitura.

Un aspetto che dev'essere preso in considerazione è la costanza degli intervalli di mungitura, che influenzano sia la quantità del latte che la sua qualità; in un sistema di mungitura robotizzato la sequenza di tre mungiture giornaliere può verificarsi con intervallo breve tra le prime due, seguite da un intervallo molto lungo per la terza, o con intervalli regolari di circa 8 ore. Ricerche in merito hanno evidenziato che la riduzione del grado di secrezione dovuta ad un prolungamento occasionale dell'intervallo di mungitura viene compensata facilmente se l'intervallo successivo è più corto, ma se i ritardi si verificano non occasionalmente è inevitabile una riduzione della produzione. In media, però, un buon robot riesce ad eseguire 2,8-3 mungiture per capo/giorno e l'aumento produttivo medio delle bovine grazie ad una terza mungitura può essere stimato tra il 10 e il 15%.

Tuttavia, per evitare l'insorgere di mastiti, il numero medio di mungiture/capo al giorno dev'essere maggiore a 2,5; è anche importante ricordare che per le vacche fresche ad alta produzione, il numero di mungiture giornaliere necessarie è almeno 4. Inoltre, per ottenere un numero di mungiture idoneo è importante che il robot sia posizionato in modo da essere ben visibile e facilmente raggiungibile dalle vacche: questo richiede che vi sia uno spazio adeguato attorno al robot per garantire un facile accesso. Nel caso si utilizzino più robot, è essenziale posizionarli in modo che non vi siano incroci fra i loro percorsi di entrata e di uscita. Gli studi più recenti hanno, infatti, dimostrato che la libera circolazione degli animali migliora il benessere ed aumenta la produzione di latte, in particolare nei soggetti più timorosi come le primipare.

L'aumento delle prestazioni degli animali, in particolare per quelli freschi e più produttivi, è stato riscontrato dopo un adeguato periodo di adattamento.

Generalmente, una volta che le bovine si sono abituate alla nuova tecnica, le produzioni aumentano, ma in modo piuttosto variabile, soprattutto in funzione delle capacità gestionali dell'allevatore.

Poiché il numero delle mungiture giornaliere è direttamente correlato al livello produttivo delle singole bovine, l'alta produzione di una mandria diventa elemento fortemente favorente il buon funzionamento del robot ed il suo miglior sfruttamento: più la mandria produce, più passaggi nel robot di mungitura ed accessi alla zona di alimentazione si avranno, con possibile aumento della produzione. Il risultato produttivo è legato, infatti, alla frequenza ed alla regolarità con cui le vacche si recano al box di mungitura.

Per incrementare il numero dei passaggi rivestono grande importanza, pertanto, alcuni aspetti manageriali, tra i quali le cure podali e la somministrazione, con l'autoalimentatore in dotazione al robot, di mangimi concentrati molto appetibili. Per quanto riguarda le patologie podali, in presenza del robot di mungitura la ridotta capacità di movimento dei soggetti zoppi può avere un impatto fortemente negativo e portare allo sviluppo di mastiti acute, con una conseguente riduzione della produzione; in particolare, vanno corretti i difetti strutturali che aumentano l'incidenza delle zoppie, quali pavimentazioni delle corsie e comfort delle cuccette, e tenuti sotto controllo i fattori di rischio gestionali, in particolare la tipologia di alimenti impiegati nella razione.

Per quanto riguarda l'alimentazione, invece, al fine di ottimizzare il flusso degli animali verso il robot, sono state sperimentate diverse strategie gestionali, ma la tecnica più efficace si è rivelata essere la distribuzione di mangime al momento della mungitura. La bovina, infatti, deve imparare a recarsi alla stazione di mungitura senza timore, per poi farvi successivamente ritorno invogliata dalla possibilità di ricevere il concentrato dispensato dall'autoalimentatore.

Inoltre, l'utilizzo di tecniche già consolidate di riconoscimento degli animali e di distribuzione degli alimenti concentrati ha consentito il raggiungimento di un duplice obiettivo: riconoscere un premio all'animale che si presenta al box di mungitura e, allo stesso tempo, differenziare la somministrazione degli alimenti in funzione della produttività del singolo animale. Pertanto, una strategia alimentare vincente per migliorare il flusso delle bovine al robot potrebbe essere quella di agire sia sulla quantità di prodotto somministrato, sia sull'impiego di sostanze appetizzanti per rendere il concentrato più appetibile.

Secondo alcuni studi effettuati, la produttività per addetto in una stalla tradizionale con buone attrezzature è di circa 500.000 litri di latte l'anno; i costruttori sostengono che con lo stesso monte ore i robot gestiscono fino ad un milione e mezzo di litri. Dunque, a parità di ore di lavoro umano, il robot ha una produttività tripla rispetto alla stalla con mungitura tradizionale.

1.5.5 Adattabilità delle bovine

Un altro aspetto rilevante nella scelta del robot è l'idoneità degli animali. Una delle maggiori preoccupazioni degli allevatori è l'elevato tasso di scarto delle bovine che mal si adattano al nuovo sistema di mungitura; infatti, la percentuale di animali da eliminare può incidere fortemente sui risultati economici dell'installazione di un robot. In particolare, le perplessità riguardano la conformazione della mammella.

Dopo anni di indagine sulle stalle che utilizzano robot di mungitura, si può affermare che le caratteristiche della mammella di bovine di razza Frisona o Bruna Alpina sono particolarmente adatte alla mungitura robotizzata e gli animali da eliminare, poiché presentano problemi legati alla mammella, rappresentano una percentuale molto limitata (circa 3%), a volte anche nulla, mentre soltanto un altro 5% di animali presenta difficoltà di attacco dei capezzoli, senza però la necessità di dover essere eliminati. Perciò, circa tre quarti degli animali vengono munti senza alcuna difficoltà. Questi risultati sono stati ottenuti grazie anche al miglioramento nel funzionamento dei sensori per il riconoscimento dei capezzoli.

Da alcune indagini è emerso che i caratteri morfologici più importanti da tenere in considerazione sono:

- posizione dei capezzoli posteriori e loro vicinanza, soprattutto se scuri;
- inclinazione dei capezzoli, in particolare se molto divergenti (circa 45°);
- simmetria e inclinazione della mammella;
- distanza della punta del capezzolo più basso da terra (ottimale sopra i 35 cm);
- lunghezza dei capezzoli (> 3 cm);
- diametro dei capezzoli (compreso tra 1,5 e 5 cm).

I primi tre caratteri morfologici sono da tenere in particolare considerazione perché, quando ci si avvicina alle condizioni minime potrebbero verificarsi maggiori probabilità di attacchi incompleti, determinando l'eliminazione degli animali dal gruppo (Figura 2).

Un'ulteriore selezione dev'essere effettuata sulla base del comportamento animale. Le vacche, infatti, praticano il self-milking: in altre parole sono libere di frequentare o meno la stazione di mungitura robotizzata; dovranno pertanto essere eliminati quei soggetti che si presentano con una frequenza insufficiente.

In definitiva, se nel recente passato si considerava di dover eliminare percentuali dell'ordine del 10-15% a seconda della tecnologia impiegata, e sulla base di considerazioni morfologiche, oggi non più del 5% dei soggetti viene scartato nel passaggio dalla mungitura convenzionale a quella robotizzata e, per lo più, a causa del comportamento animale.

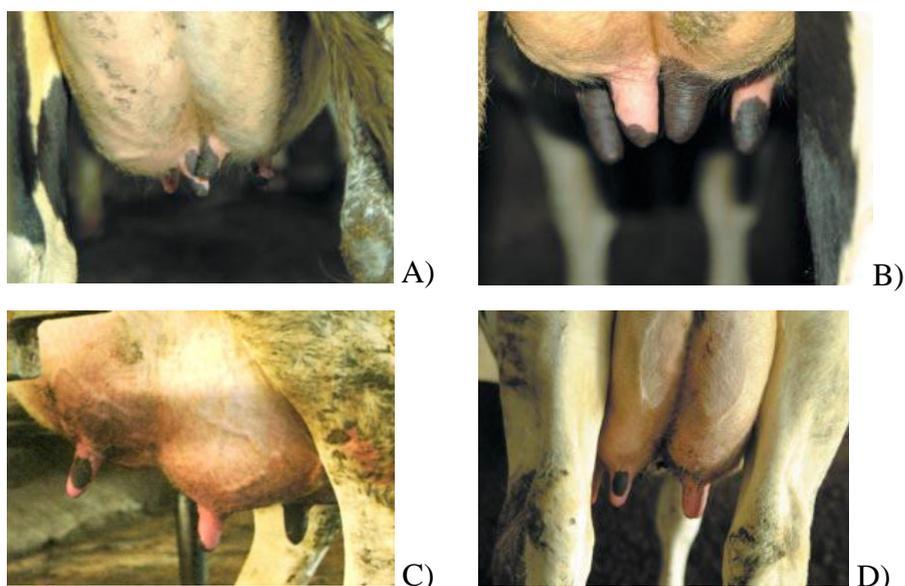


Figura 2. *Idoneità delle bovine da latte al sistema di mungitura robotizzato. Conformazione della mammella: A e B poco adatte; C adatta; D molto adatta.*

1.6 Influenza del robot di mungitura sulla trasformazione casearia

Bisogna anche tenere in considerazione il fatto che in Italia il latte bovino è in buona parte destinato alla trasformazione di prodotti tipici. In particolare, le due produzioni casearie principali in Italia, Parmigiano Reggiano e Grana Padano, limitano fortemente l'impiego del robot di mungitura. Tuttavia il progresso non si ferma, le esigenze cambiano e gli allevatori continuano a far pressione affinché i disciplinari divengano meno restrittivi. Se il Grana Padano ha sostanzialmente liberalizzato l'uso del robot, mantenendo il solo vincolo della doppia mungitura, anche il Consorzio del Parmigiano Reggiano potrebbe presto allargare le maglie del disciplinare.

Il robot di mungitura, infatti, rappresenta una tecnologia estremamente interessante, su cui i consorzi di tutela stanno ragionando per capire se, nel pieno rispetto di quanto prevedono i disciplinari di produzione, esistano le condizioni per un suo maggiore inserimento all'interno delle stalle. Questa tecnologia può essere un'opportunità interessante nel momento in cui si riesca a realizzare il giusto equilibrio tra innovazione e pieno rispetto di quanto previsto dai disciplinari. Le nuove tecnologie destinate ad un miglior management dell'allevamento e gli effetti della robotizzazione sulla qualità e sull'attitudine alla trasformazione del latte sono sicuramente fra i primi aspetti da considerare.

Sebbene le posizioni dei due enti siano diverse, entrambi concordano nel limitare a due il numero massimo di mungiture ammesse in un giorno. Il che non sarebbe un grande problema, dal momento che un allevatore può facilmente stabilire quante volte un animale può essere munto; dopodiché sarà respinto dal robot. Il vero nodo, in realtà, sono i tempi di mungitura e qui le posizioni dei due consorzi si differenziano.

Il Consorzio del Parmigiano Reggiano è l'ente con la posizione più rigida in materia, perché il suo disciplinare prevede non solo la doppia mungitura con doppia consegna del latte, ma anche una durata massima per le operazioni: quattro ore per la mungitura e due per la consegna al caseificio. Questo limite si scontra con il principio fondamentale della mungitura automatica, che è di lasciare alla vacca la libertà di farsi mungere quando preferisce.

L'unico vincolo posto dal disciplinare del Grana Padano, invece, è quello della doppia mungitura giornaliera, perciò la sostanziale libertà sui tempi di mungitura, lascia più spazio di manovra agli allevatori e questo spiega il maggior numero di impianti attivi nel territorio di produzione del Grana Padano.

Al di là dell'aspetto normativo, ci sono alcuni elementi che vanno chiariti prima che si possa ritenere che sia possibile produrre formaggi cotti a lunga conservazione con latte ottenuto con robot di mungitura; ci si riferisce in particolare alla dimensione dei globuli di grasso e alla loro composizione.

Gli effetti della terza mungitura, conseguenti all'introduzione del robot, sembrano ridurre il contenuto di grasso nel latte.

L'azienda costruttrice Lely ha brevettato una pompa a membrana per il trasporto del latte, in grado di mantenere intatti i globuli di grasso. Infatti, la percentuale e la qualità del grasso, nei processi di caseificazione, influenzano le proprietà della scrematura del latte,

che rappresenta il primo passaggio nella produzione dei formaggi a lunga stagionatura. I globuli di maggiori dimensioni affiorano più velocemente rispetto ai globuli più piccoli, perciò è importante che vengano mantenuti intatti durante la mungitura.

Per quanto riguarda la qualità del latte prodotto, il robot mostra un effetto negativo nella composizione, ma manifesta anche effetti positivi, quali la resistenza del coagulo, che fanno ben sperare per un possibile utilizzo ai fini della produzione casearia. Una buona coagulazione, infatti, è data dalla percentuale e dalla qualità delle proteine.

Se, pertanto, sul versante del latte alimentare e della produzione di formaggi freschi non si registrano controindicazioni, sul versante della produzione di formaggi a media e lunga stagionatura sono, invece, necessari ulteriori studi per sgomberare il campo da dubbi o possibili fraintendimenti.

1.7 Valutazioni economiche

L'introduzione di una nuova tecnologia, come spesso accade, pone l'imprenditore di fronte ad alcune valutazioni. Tra queste, le prime che l'allevatore deve fare, ancor prima dell'installazione della macchina riguardano:

- la sistemazione più idonea dei fabbricati esistenti o la costruzione di una stalla nuova;
- le prestazioni future degli animali;
- l'idoneità dei propri animali alla mungitura robotizzata;
- la qualità del latte e la sanità degli animali;
- il lavoro dedicato al funzionamento della macchina;
- i costi d'installazione e la convenienza economica.

L'aspetto economico legato all'acquisto ed alla gestione della macchina non è affatto di poco peso. Si tratta infatti di cifre attorno ai 150.000 euro per un robot che può occuparsi di 60/70 vacche al giorno, vale a dire una spesa di circa 2.000 euro per capo, ma bisogna valutare anche il risparmio sul costo della manodopera. Se un allevatore deve assumere un operaio, dovrà confrontare sia il costo di ammortamento della macchina che il costo annuale della manodopera, che è comunque richiesta per le operazioni di controllo e di manutenzione ordinaria. Generalmente, un robot ha una vita media di 10 anni, perciò su di lui peseranno circa 15.000 euro di ammortamento annuo.

Al fine di una corretta valutazione servirebbe analizzare coerentemente quali sono le motivazioni per cui si decide di acquistare un robot.

La domanda spesso ricorrente quando si deve rinnovare l'impianto di mungitura è se sia più conveniente la sala tradizionale o il robot. Valutando l'aspetto economico, dall'acquisto alla gestione della macchina robotizzata, il costo è generalmente superiore rispetto a quello dell'installazione di una sala tradizionale, calcolata per lo stesso numero di vacche munte; bisogna però considerare che con la mungitura robotizzata si hanno diversi benefici, tra cui: un aumento produttivo medio delle bovine, una riduzione delle mastiti in seguito a distrazione da parte del mungitore non sempre qualificato, un intervento immediato in presenza di incremento delle cellule somatiche monitorato dal robot, ed una riduzione dei costi di manodopera relativi alla mungitura. Tutto ciò giustifica la convenienza nell'installazione di un sistema di mungitura robotizzato, poiché si avrà un introito maggiore grazie all'incremento produttivo ed al risparmio sulle spese sanitarie dovuto alla maggior sanità della mammella e della vacca in generale.

Inoltre, migliorando man mano l'evoluzione tecnologica e l'affidabilità globale dei robot di mungitura, la convenienza delle tradizionali sale di mungitura sarà sempre minore e favorirà la diffusione dei primi. Poiché si risparmia sulla sempre più carente manodopera, il benessere e la sanità animale sono maggiormente garantiti e la qualità del latte non ne risente.

In definitiva, l'acquisto di un robot di mungitura dev'essere attentamente valutato sulla base delle specifiche caratteristiche tecniche e gestionali dell'azienda.

2. Obiettivi

Una delle grandi innovazioni dei sistemi automatici di mungitura è stata quella di fornire in tempo reale innumerevoli informazioni riguardo alle prestazioni sia dell'impianto di mungitura, sia delle bovine, migliorando così l'efficienza gestionale delle aziende zootecniche.

Sulla base di quanto detto, l'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato quello di esaminare la dinamica della produzione del latte e della conducibilità elettrica dello stesso, rilevata dal software di monitoraggio del robot di mungitura, presente nell'azienda di bovine da latte "Az. Agr. Frasson Andrea" di Mirano (VE).

In particolare, si è voluto analizzare:

- quante volte le bovine fanno mediamente visita al robot durante una lattazione;
- il numero medio di mungiture giornaliere;
- il numero totale di insuccessi di attacco dei prendicapezzoli;
- le curve di lattazione differenziali per ordine di parto e per stato di gravidanza (bovine gravide o vuote);
- la conducibilità media del latte per ogni mungitura analizzando anche l'andamento rispetto all'ordine di parto e allo stato di gravidanza.

3. Materiale e Metodi

3.1 Descrizione dell'azienda

I dati utilizzati nell'elaborato sono stati forniti dal Sig. Frasson Andrea, proprietario dell'azienda di bovine da latte nella quale ho svolto l'attività di tirocinio.

L'azienda agricola si dedica alla produzione di latte da destinare ai caseifici della zona, oltre che alla produzione di foraggi per reimpiego aziendale, e consta di circa 200 animali di razza Frisona, tra vacche in lattazione, bovine in asciutta, giovane bestiame da rimonta e vitelli. Attualmente tutte le bovine, ad eccezione di quelle in asciutta ed in infermeria, vengono munte mediante due robot di mungitura, il secondo installato nei primi giorni di Giugno 2014 nello spazio che occupava precedentemente la vecchia sala di mungitura. Tuttavia, nel periodo in cui frequentavo l'azienda come tirocinante era presente un solo robot, che mungeva 50 bovine, mentre le restanti venivano munte con il tradizionale sistema di mungitura. I due gruppi di bovine munte manualmente o dal robot, pur essendo posizionate all'interno della stessa stalla, rimanevano suddivise in due gruppi ben distinti attraverso l'uso di normali cancelli divisori. La stalla delle vacche in lattazione è del tipo a cuccette, con la zona di riposo costituita da materassini sintetici; la pavimentazione è piena e le deiezioni vengono asportate tramite raschiatori meccanici automatici a farfalla azionati da 2 a 3 volte al giorno; le bovine in asciutta vengono invece ad essere presenti in un unico box multiplo su lettiera permanente in ambiente separato rispetto alla stalla principale.



Per le vacche munte automaticamente l'accesso al robot è libero, anche se collocato in posizione tale da forzare il passaggio delle vacche verso la corsia di alimentazione. In ogni caso la mungitura automatica non può avvenire prima di sei ore dalla precedente.

I robot presenti in azienda appartengono al modello "Astronaut A4" della ditta costruttrice Lely, perciò presentano il sistema dell'end-effector sulla porzione terminale del

braccio robotizzato, con sistema di visione dei capezzoli a telecamera e laser; per quanto riguarda, invece, la pulizia dei capezzoli, il robot è dotato di due spazzole controrotanti, tipiche dei sistemi a quattro prendicapezzoli riuniti. Inoltre, il responder è inserito nel collare di ciascuna bovina.

3.2 Rilievo dei dati aziendali

I dati utilizzati nel lavoro di tesi sono stati raccolti dal software del computer collegato al robot di mungitura, prendendo in considerazione il database delle 50 bovine che si prestavano ad essere munte al robot nel periodo in cui frequentavo l'azienda.

I dati ricavati da ciascuna bovina erano riferiti ad un periodo compreso tra l'ultimo parto di ognuna e la data in cui è terminata la raccolta dei dati (luglio 2014).

Le informazioni catalogate erano numerose, perciò inizialmente sono state effettuate le seguenti eliminazioni: numero di responder, numero di riferimento del robot, resa prevista da ciascuna visita di mungitura e conta cellulare per capezzolo, poiché mancava il dispositivo atto a rilevarla; le informazioni che, invece, sono state mantenute per l'analisi dei dati sono state: numero aziendale dell'animale, data del parto, gruppo di appartenenza (primipare o pluripare), numero di lattazione, stato riproduttivo (gravida o vuota), data e ora di ciascuna visita al robot, insuccessi di mungitura, resa di mungitura e conducibilità elettrica di ciascun quarto mammario, con rispettive indicazioni di eventuali alterazioni.

Di seguito si riportano delle statistiche descrittive inerenti le bovine esaminate.

Animali	No.	Lattazione		Gravide	% Gravide
		Minimo	Massimo		
Vacche Totali	50	21	356	32	64%
- Primipare	18	28	343	8	44%
- Pluripare	32	18	363	24	75%

Tabella 1. *Situazione generale delle bovine esaminate.*

Come si può osservare dalla Tabella 1, su 50 vacche, 18 erano primipare e 32 pluripare, con un numero massimo di parti pari a 6. Sul totale delle vacche prese in esame il 64% risultano gravide nel periodo considerato. Le primipare sono state inserite mediamente nel robot dopo i primi 28 giorni di lattazione, mentre le pluripare sono state introdotte prima, a circa 18 giorni dal parto; questo dato medio per ordine di parto evidenzia le maggiori difficoltà di adattamento al robot di alcune giovani bovine al primo parto rispetto alle pluripare. Mediamente la lattazione si è conclusa per le vacche esaminate

a 356 giorni dal parto. È da rilevare come, però, alcune bovine abbiano realmente terminato la lattazione e siano state regolarmente messe in asciutta, ma altre per varie ragioni (vendita al macello o decesso) abbiano interrotto prima la lattazione. Altre, infine, quelle non gravide e sottoposte ad una lattazione estesa, hanno continuato a fornire informazioni per una durata ben superiore ai 356 giorni.

3.3 Analisi effettuate

Una prima analisi riguardava il numero di visite totali al robot di mungitura; inizialmente è stato considerato il numero totale relativo a ciascuna bovina, successivamente, invece, è stata determinata la media totale e la media per primipare e pluripare, ed il numero di insuccessi di attacco al robot.

Lo stesso discorso è stato fatto per il numero medio di mungiture al giorno, calcolando in tal caso anche la deviazione standard oltre al dato medio.

Si è poi proceduto con l'analisi della variabilità dei precedenti parametri, in seguito alla distinzione tra bovine gravide e bovine vuote.

Successivamente si è passati allo studio della dinamica di lattazione, prendendo in considerazione i giorni di lattazione e i Kg di latte prodotti al giorno per ciascuna bovina; in questo caso sono stati eliminati gli insuccessi di attacco, poiché, date le minime quantità di latte prodotto (spesso nulle), questi valori andavano ad interferire con la reale produzione di latte. Si sono così ottenute le curve di lattazione delle primipare e delle pluripare, sia gravide che vuote, mediando le informazioni relative ad almeno 5 bovine munte nel corso dello stesso giorno di lattazione (o distanza dal parto).

Per quanto riguarda, invece, l'analisi della conducibilità elettrica del latte, è stata considerata la media dei valori ottenuti per ciascun giorno di lattazione, con la condizione che ci fossero sempre almeno 5 bovine utili per poter ottenere un valore medio. Nell'elaborazione sono stati scartati i dati relativi ad anomalie, casi di mastiti, latte acquoso o presenza di sangue nel latte, che comunque erano in numero complessivamente molto limitato. Come nelle analisi precedenti, anche in questo caso, è stata fatta la distinzione tra primipare e pluripare, tra bovine gravide e vuote, mediando i dati per giorno di lattazione.

4. Risultati e Discussione

Panoramica generale sulla mungitura

Analizzando la Tabella 2, inerente alle visite al robot ed agli insuccessi di attacco, è emerso come le bovine durante una lattazione si presentano all'impianto con un numero di volte medio pari a 841; tuttavia, questo valore è correlato ad una deviazione standard elevatissima, poiché alcune di esse frequentano meno il robot ed altre, invece, arrivano fino ad un massimo di 2055 visite totali nel corso della lattazione.

Il risultato sopraindicato può essere spiegato dal fatto che alcune bovine presenti avevano lattazione estesa, ovvero di 16-18 mesi.

Visite al Robot					
Animali	Media	d.s.	Minimo	Massimo	Insuccessi totali
Tutte le Vacche	841	400	270	2055	34
- Primipare	778	240	435	1228	14
- Pluripare	876	466	270	2055	20

Tabella 2. *Visite al Robot di mungitura e insuccessi di attacco dei prendicapezzoli.*

Nella Figura 3, le visite totali al robot sono state distinte per categorie: primipare e pluripare, e tra bovine gravide e vuote; dal grafico si può notare come, a fronte di una pur notevole variabilità, tra le bovine gravide, le pluripare abbiano effettuato un numero maggiore di visite al robot (947) rispetto alle primipare (838), mentre per le bovine vuote la situazione si inverte, mostrando un maggior numero di visite per le primipare rispetto alle pluripare, anche se la differenza non è elevata (730 per le prime e 665 per le seconde).

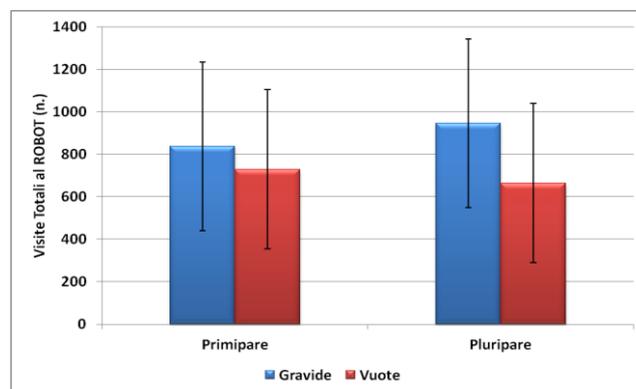


Figura 3. *Distribuzione delle visite totali al robot distinta per categorie.*

Una possibile spiegazione di questo andamento può essere ricercata nel fatto che in prima lattazione le bovine che risultano vuote hanno comunque una potenziale maggior

lunghezza della lattazione, mentre le pluripare, in quanto più anziane e meno produttive, possono abbreviare la durata della lattazione ed essere eliminate o vendute.

La Figura 4, invece, documenta gli insuccessi di attacco del gruppo mungitore alla mammella delle bovine. Come si può notare anche nella Tabella 2, è emerso che su 34 insuccessi totali, 14 sono attribuibili alle primipare e 20 alle pluripare. Per quanto riguarda le primipare, quelle vuote hanno un numero maggiore di insuccessi (10) rispetto alle gravide che ne hanno soltanto 4, mentre tra le pluripare la situazione si inverte nuovamente con 4 insuccessi per le vuote e 16 per le gravide. Poiché gli insuccessi sono comunque in numero molto ridotto rispetto alle visite totali al robot, può essere che i risultati ottenuti siano puramente casuali, dal momento che non è stato possibile ricavare alcuna conclusione definitiva su questo aspetto.

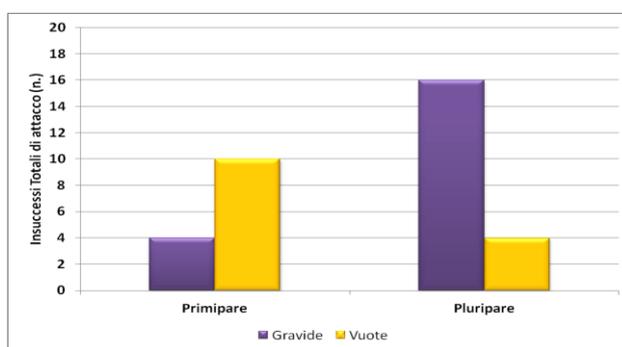


Figura 4. Numero di insuccessi totali di attacco al gruppo mungitore.

L'analisi del numero medio di mungiture per vacca al giorno è riportata in Tabella 3, dove si può notare come l'introduzione del robot di mungitura abbia portato in media ad un aumento del numero di mungiture, salito dalle tradizionali 2 mungiture/d con l'uso della sala, ad una media di 2,6 con l'impiego del robot.

Animali	Numero Mungiture			
	Media	d.s.	Minimo	Massimo
Tutte le Vacche	2,6	0,5	1	4
- Primipare	2,5	0,4	2	3
- Pluripare	2,6	0,5	1	4

Tabella 3. Numero medio di mungiture per vacca al giorno.

Va considerato tuttavia, rispetto al dato medio, che alcune bovine vanno a farsi mungere anche 4 volte al giorno, soprattutto se si tratta di vacche pluripare e di bovine particolarmente produttive. Le primipare infatti arrivano a fare un massimo di 3 mungiture

giornaliere, valore che comunque rispecchia le aspettative del robot per quanto riguarda l'aumento della produzione in seguito ad un maggior numero di mungiture.

Come si può osservare in Figura 5, però, non sono emerse grandi differenze tra le diverse categorie per il numero medio di mungiture giornaliere; primipare e pluripare hanno infatti esibito un numero pressoché uguale di mungiture medie giornaliere (2,5 e 2,6, rispettivamente), anche se la variabilità è risultata più alta per le pluripare (Tabella 3) e per le bovine gravide. Le pluripare vuote sono comunque arrivate ad un numero medio giornaliero di mungiture di 2,8/d, mentre le primipare vuote si sono fermate a 2,55 mungiture/d.

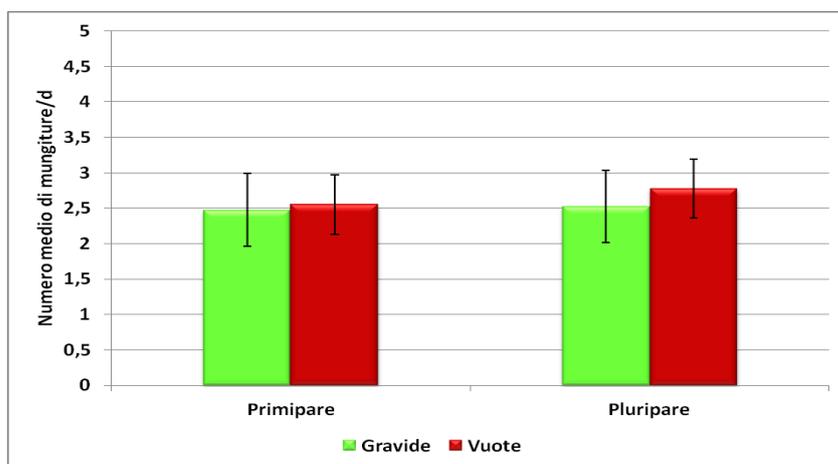


Figura 5. Grafico del numero medio di mungiture/d suddiviso per categorie.

I valori ottenuti rispecchiano pienamente le condizioni ideali di mungitura del robot descritte nell'introduzione del lavoro di tesi (Capitolo 1.5.4), secondo cui, per evitare l'insorgere di mastiti, il numero medio di mungiture/capo al giorno dev'essere maggiore a 2,5 e per le vacche fresche ad alta produzione, il numero di mungiture giornaliere necessarie è almeno di 4.

Analisi della dinamica della produzione di latte in una lattazione

Uno dei due obiettivi principali di questo elaborato è stato quello di dimostrare come sia possibile studiare l'andamento della produzione di latte, avendo a disposizione le innumerevoli informazioni che può offrire un robot di mungitura all'allevatore.

Com'è noto, la produzione di latte inizia a pochi giorni di distanza dal parto e tende ad aumentare fino al raggiungimento del cosiddetto "picco" di produzione, per poi decrescere gradualmente, terminando con la messa in asciutta dell'animale.

In Figura 6 è stata riportata la produzione di latte giornaliera media che è stato possibile estrapolare dalle vacche munte automaticamente; la dinamica di produzione del latte in funzione dei giorni di lattazione ha permesso di evidenziare nette differenze tra l'andamento della lattazione delle primipare rispetto alle pluripare, anche se nei limiti attesi. Come si può notare dal grafico, le pluripare nella prima parte della lattazione hanno una produzione media superiore rispetto alle primipare, con un picco massimo di 36,5 kg di latte al 43° giorno di lattazione. Le primipare, invece, presentano la massima produzione (34,4 kg/d) leggermente prima, al 35° giorno di lattazione, ma subito dopo questa calano più rapidamente rispetto alle pluripare che presentano, quindi, una minor persistenza subito dopo il picco di lattazione. Soprattutto dalla seconda metà di lattazione in poi, la situazione di differente dinamica della lattazione si accentua, con le pluripare che tendono a ridurre più velocemente la produzione, mentre le primipare tendono a mantenerla più costante fino alla fine della lattazione.

I risultati ottenuti, dunque, si sono dimostrati perfettamente in linea con quelli attesi. Particolarmente interessante è risultata la differenza produttiva tra i diversi ordini di parto, con le primipare che hanno prodotto in media 105,4 quintali di latte nell'arco del periodo considerato, contro il 110,3 delle pluripare. Una differenza, come evidenziato dal grafico, tutto sommato modesta, indice dell'ormai alto livello di capacità produttiva che caratterizza le bovine al primo parto rispetto ai parti successivi.

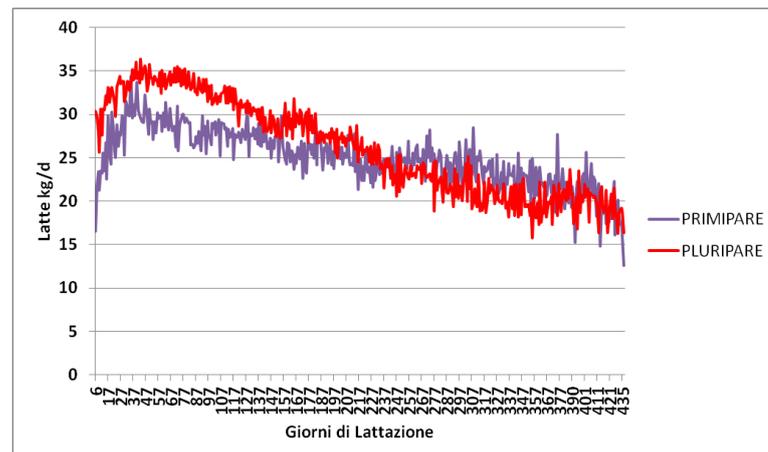


Figura 6. Curve di lattazione: andamento della produzione di latte in kg/d suddivisa per primipare e pluripare.

Nella Figura 7, invece, è stata confrontata la curva di lattazione delle bovine gravide con quella delle bovine vuote. Inizialmente non si notano differenze sostanziali, poiché è

molto raro che le bovine possano rimanere gravide prima del picco di lattazione, a meno di due mesi dal parto precedente, nel periodo che corrisponde al puerperio bovino.

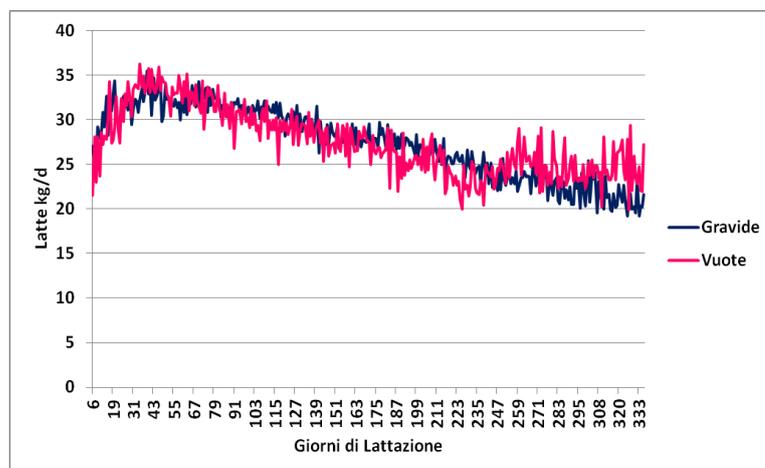


Figura 7. Curve di lattazione: andamento della produzione di latte in kg/d suddivisa per bovine gravide e bovine vuote.

Successivamente, da metà lattazione in poi si può osservare come le bovine non gravide mantengano una produzione piuttosto elevata, mentre quelle gravide tendono a ridurla verso l'approssimarsi del parto successivo; tuttavia, i dati al 300° giorno di lattazione si riferiscono a valori di produzione ancora alti (20 kg/d) rispetto a quelli tipici di fine lattazione, perciò è probabile che l'asciutta avvenga in momenti più distanti nel tempo. Infatti, nel nostro caso, tra le vacche che sono state messe in asciutta durante il periodo di raccolta dei dati, 7 erano pluripare e terminavano la lattazione con una media di 486 giorni, mentre 5 erano primipare e la terminavano a circa 366 giorni.

Nella Figura 8, sono rappresentati i grafici relativi alla produzione media delle primipare e delle pluripare, entrambe suddivise in gravide e vuote.

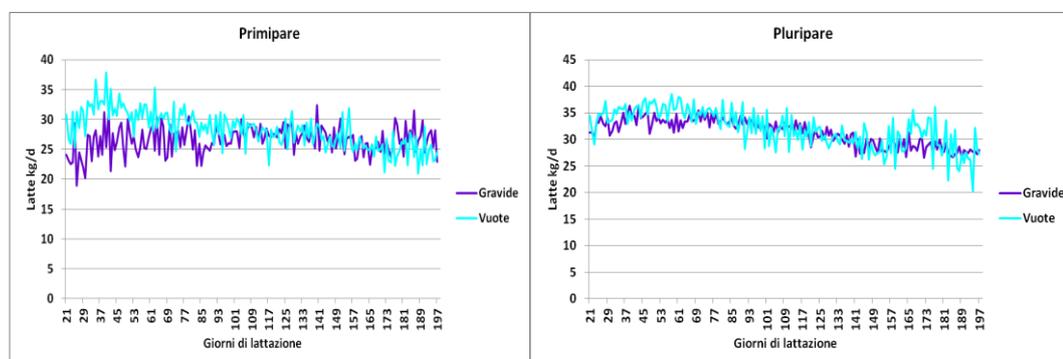


Figura 8. Dinamica della produzione di latte per bovine gravide e vuote, suddivisa per primipare e pluripare.

Specialmente nel grafico relativo alle primipare, appare evidente come le bovine più produttive rimangano vuote più facilmente; ciò può essere dovuto ad un maggior deficit energetico in apertura di lattazione. Com'è stato studiato, infatti, dalla fine della gravidanza al picco di lattazione i fabbisogni energetici, proteici e minerali aumentano notevolmente per sostenere la produzione latte e si ha un'intensa mobilitazione di nutrienti; nel caso in cui l'input alimentare non sia sufficiente a compensare l'output produttivo si va incontro a deficit energetico, con conseguente perdita di condizione corporea che prolunga la fase di anestro post-partum, riducendo così l'efficienza riproduttiva della bovina.

Analisi della conducibilità elettrica del latte

Altro obiettivo di questo elaborato è stata l'analisi di trend della conducibilità elettrica del latte in funzione dei giorni di lattazione. Essa, infatti, rappresenta un elemento molto importante nei sistemi automatici di mungitura poiché, venendo a mancare il controllo visivo del latte al momento della mungitura, segnala all'allevatore la situazione di salute delle mammelle.

Durante l'elaborazione dei dati sono stati eliminati i valori di conducibilità delle bovine che manifestavano palesi anomalie che avrebbero portato ad una distorsione dei risultati finali.

Dal grafico in Figura 9, relativo alla conducibilità media del latte nelle primipare e nelle pluripare, si può osservare come la conducibilità sia tendenzialmente costante e si aggiri attorno ai $70-75 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$ per le pluripare, mentre per le primipare è leggermente più bassa ($65-70 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$), con cali ad inizio e fine lattazione che arrivano fino a $57 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$.

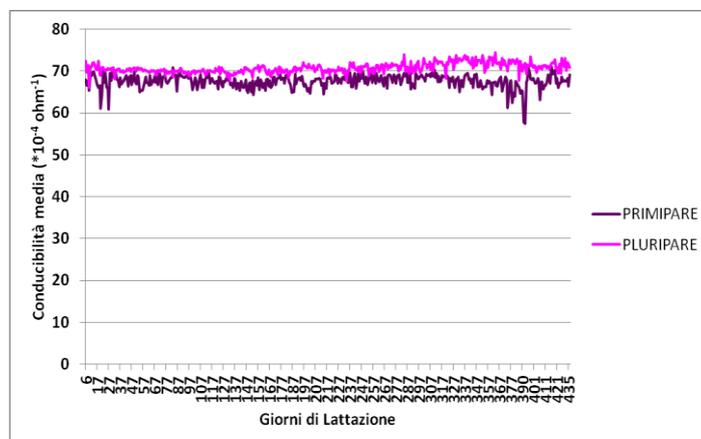


Figura 9. Andamento della conducibilità media del latte in primipare e pluripare.

Il risultato ottenuto, però, non dev'essere visto come una minor salute della mammella delle pluripare rispetto a quella delle primipare, poiché i valori ottenuti per entrambi i gruppi non si discostano di molto e rappresentano in entrambi i casi una buona condizione di salute mammaria. Infatti, nei pochi casi di mastite riscontrati durante l'analisi dei dati, la conducibilità elettrica arrivava a valori superiori ai $120 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$.

La Figura 10, invece, mostra l'andamento della conducibilità elettrica media suddivisa per stato riproduttivo; anche in questo caso non si sono riscontrate sostanziali differenze, nonostante alla fine della lattazione le bovine vuote tendano ad avere una conducibilità leggermente più bassa, rispetto a quelle gravide. Anche questo fatto rappresenta un elemento atteso se si pensa che mediamente l'aumento di cellule somatiche nel latte tende ad aumentare progressivamente con l'avvicinarsi dell'asciutta, evento questo più prossimo alle bovine gravide piuttosto che a quelle vuote.

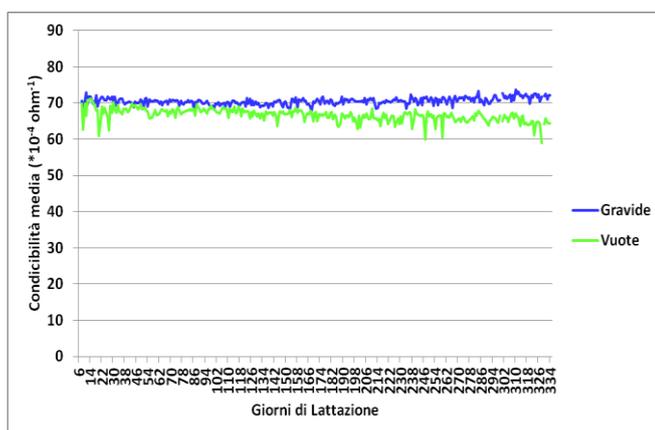


Figura 10. *Andamento della conducibilità media del latte in bovine gravide e vuote.*

Infine, nella Figura 11 è stato fatto un confronto, analogo a quello compiuto per la produzione di latte, analizzando i trend per ordine di parto e stato di gravidanza. Dai due grafici si può notare come per le primipare ci sia una maggior variabilità della conducibilità elettrica rispetto alle pluripare nel corso della lattazione.

Tra i gruppi non sono però emersi valori fuori scala e in tutti i casi, come già evidenziato in precedenza, la qualità del latte è risultata molto alta sotto l'aspetto igienico-sanitario.

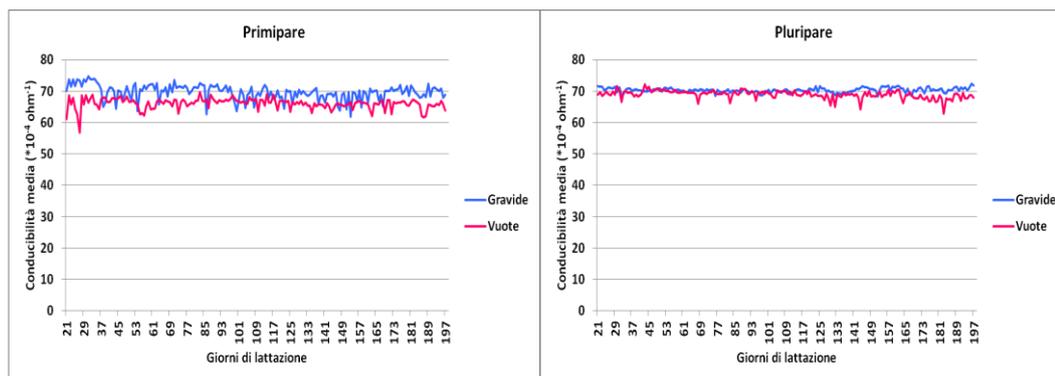


Figura 11. Confronto tra la conducibilità media del latte in primipare e pluripare, in funzione dello stato riproduttivo.

5. Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha avuto lo scopo di analizzare accuratamente alcune delle innumerevoli informazioni che può offrire un robot di mungitura, per poter dimostrare come sia possibile avere il controllo dell'andamento dell'azienda in ogni momento in cui l'allevatore lo desidera. Nello specifico, dal lavoro è emerso che:

- Le bovine durante una lattazione si presentano in media 841 volte all'impianto, ma questo valore è legato ad una variabilità molto elevata, poiché alcune di esse frequentano meno il robot ed altre, invece, arrivano fino ad un massimo di 2055 visite nell'intera lattazione, sicuramente di tipo "esteso" in questo caso.
- Gli insuccessi di mungitura sono apparsi nettamente maggiori per le pluripare gravide, ma a causa del basso numero di dati ricavati per questo parametro non è stato possibile trarre spiegazioni definitive.
- Il numero medio di mungiture giornaliere per vacca è risultato pressoché uguale tra primipare e pluripare (2,5 vs. 2,6, rispettivamente); anche questa variabile ha raggiunto il valore medio di 2,8 mungiture/d per le pluripare vuote, generalmente più produttive. I valori ottenuti, dunque, rispecchiano pienamente le condizioni di mungitura tipiche della mungitura automatizzata.
- Le curve di lattazione ricavate dall'analisi della produzione di latte hanno dimostrato, coerentemente con quanto atteso, come le pluripare hanno picco più alto ma minor persistenza della lattazione rispetto alle primipare che, tuttavia, nella prima parte della lattazione presentano una minor produzione. Dalla seconda metà della lattazione in poi, la situazione vede le bovine pluripare che tendono a ridurre più velocemente la produzione, mentre le primipare tendono a mantenerla piuttosto costante fino alla fine della lattazione. Particolarmente interessante è risultato il minimo divario produttivo complessivo riscontrato tra primipare e pluripare (circa 5 quintali di latte). Considerando lo stato riproduttivo, invece, si riscontra un calo significativo di produzione verso la fine della lattazione per le bovine gravide che si approssimano al parto, mentre le bovine vuote continuano a mantenere una produzione costante. Inoltre, dalle curve di lattazione è stato possibile osservare come le vacche più produttive rimangano vuote più facilmente in seguito ad un maggior deficit energetico.

- La conducibilità elettrica media del latte non ha mostrato notevoli differenze né tra primipare e pluripare né tra bovine gravide e bovine vuote; i valori medi si sono aggirati sui $60-70 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-1}$, rappresentando così una buona condizione generale di salute mammaria ed un ottimo livello igienico-sanitario per il latte prodotto.

6. Bibliografia e Sitografia

- Abeni F., Cappelletti M., Migliorati L., Pirlo G., Speroni M. 2004. Robot di mungitura, produzione e qualità del latte: l'esperienza di Porcellasco. Quaderni della ricerca n.32, Regione Lombardia.
- Abeni F., Degano L., Giangiaco R., Speroni M., Pirlo G. 2003. Robotic milking and milk quality: effects on the cheese-making properties of milk. ITAL.J.ANIM.SCI. Vol. 2: 301-312.
- Amadei A. 2005. Il robot di mungitura? Una scelta che rifarei. Dossier robot di mungitura n.11, IZETA.
- Bartolini R. 2013. La nuova stalla da latte: per una zootecnia innovativa e sostenibile. Edagricole.
- Billon P., Tournaire F., 2002. Impact of automatic milking systems on milk quality and farm management: the French experience. Proc. 1st North Am. Conf. on Robot Milking, Toronto, Canada. Wageningen Pers. V: 59-63.
- Bruckmaier R.M., Macuhova J., Meyer H.H.D., 2001. Specific aspects of milk ejection in robotic milking: a review. Liv. Prod. Sci. 72:169-176.
- Casirani G., Binda E., Piccinini R., Zeconi A. 2002. La valutazione dell'impatto di un sistema volontario di mungitura sulla sanità della mammella. 1° Congresso Nazionale, Mastitis Council Italia.
- Davis S.R., Farr V.C., Copeman P.J.A., Carruthers V.R., Knight C.H., Stelwagen K., 1998. Partitioning of milk accumulation between cisternal and alveolar compartments of the bovine udder: relationship to production loss during once daily milking. J. Dairy Res. 65:1-8.
- Dewhurst R.J., Knight C.H., 1994. Relationship between milk storage characteristics and the short-term response of dairy cows to thrice-daily milking. Anim. Prod. 58:181-187.

- Everitt B., Ekman T., Gyllensward M., 2002. Monitoring milk quality and udder health in Swedish AMS herds. Proc. 1st North Am. Conf. On Robot Milking, Toronto, Canada. Wageningen Pers. V: 72-75.
- Fioretti M., Abeni F., Tondo A., Speroni M., Cappelletti M., Aleandri R., 2003. Relationships between the milking interval and the ratios among milk components with and automatic milking system. It. J. Anim. Sci. 2: 317 (abstr.).
- Gastaldo A. 2004. Robot di mungitura, tecnologia giovane ma promettente. Dossier robot di mungitura n.21, IZETA.
- Gisi D.D., Depeters E.J., Pelissier C.L., 1986. Three times daily milking in California dairy herds. J. Dairy Sci. 69:863-868.
- Gottschalk A., Rosenberger E., Mager A., Kummer W. 1988. La mungitura: il latte dalla mammella alla vasca di raccolta. Edagricole.
- Hogeveen H., Ouweltjes W., De Koning C.J.A.M., Stelwagen K., 2001. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. Liv. Prod. Sci. 72:157-167.
- Klei L.R., Lynch J.M., Barbano D.M., Oltenacu P.A., Lednor A.J., Bandler D.K., 1997. Influence of milking three times a day on milk quality. J. Dairy Sci. 80:427-436.
- Klungel G.H., Slaghuis B.A., Hogeveen H., 2000. The effect of the introduction of automatic milking systems on milk quality. J. Dairy Sci. 83:1998-2003.
- http://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=Yibi3IMyz-gC&oi=fnd&pg=PA27&dq=automatic+milking+machine&ots=5uEjk6LyY0&sig=_sMt7hW_GfZQFIZPoequDkzh1cw#v=onepage&q=automatic%20milking%20machine&f=false
- <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:57fOr60d-0MJ:users.unimi.it/~lzzmsm/ROBOT%2520DI%2520MUNGITURA%2520E%2520AUTOMAZIONE%2520DELLA%2520STALLA%2520DA%2520LATTE.doc+&cd=3&hl=it&ct=clnk&gl=it&client=firefox-a>

- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8BO85dTrgewJ:www.novagricoltura.com/con-il-robot-di-mungitura-fino-al-13-di-latte/0,1254,105_ART_6778,00.html+&cd=6&hl=it&ct=clnk&gl=it&client=firefox-a
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aiz_9TVQlb0J:www.lavoro.regione.lombardia.it/shared/ccurl/1004/171/AL_20090412_1759_rdm_informatore_agrario_AGR_MS.pdf+&cd=5&hl=it&ct=clnk&gl=it&client=firefox-a
- <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:F4ssoqDErmEJ:www.lavoro.regione.lombardia.it/shared/ccurl/824/95/SCHEDA%2520ROBOT.pdf+&cd=4&hl=it&ct=clnk&gl=it&client=firefox-a>
- <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ivMjAEjrFeAJ:users.unimi.it/~lzzmsm/DispensaLazzari.doc+&cd=2&hl=it&ct=clnk&gl=it&client=firefox-a>
- http://www.agricoltura24.com/igiene-e-prevenzione-mastiti-ci-pensa-il-robot-di-mungitura/0,1254,26_ART_3239,00.html
- <http://www.automaticmilking.nl/>
- <http://www.mastitalia.org/mastitalia/assets/pdfs/Casirani%20Robot.pdf>
- <http://www.mondolatte.it/index.php/gestione-aziendale/116-analisi-delle-curve-di-lattazione-prima-parte>
- www.apatrento.com/allevatore/allevatore2013-05.pdf

Ringraziamenti

- Ai miei genitori, per l'essermi sempre stati accanto ed avermi sostenuto con amore in questo mio percorso di vita.
- Agli zii Annalisa e Luca, per essersi sempre interessati dei miei studi e non avermi mai fatto mancare il sostegno morale.
- Al Prof. Roberto Mantovani, per la disponibilità e l'attenzione dimostratemi durante la stesura della tesi.
- Al Sig. Frasson Andrea, per avermi concesso di svolgere l'attività di tirocinio all'interno della propria azienda, mettendomi a disposizione i dati che sono stati utilizzati in questo lavoro.
- Ai miei compagni di Università, in particolare alle due "Betoneghe" (Irene e Sofia), che mi hanno fatto trascorrere momenti bellissimi, condividendo con me sia gioie che delusioni.
- Per ultimo, ma non in ordine d'importanza, al mio ragazzo Michele, per aver portato tanta pazienza nei momenti di studio intenso e avermi incoraggiato a non mollare mai di fronte alle difficoltà.