



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

Scuola di Dottorato di Ricerca
Innovazione Tecnologica per le Scienze Agro-Alimentari e Ambientali
XXIV° CICLO



Soluzioni Tecnologiche Innovative e
Metodologie di Monitoraggio del
Comportamento per Migliorare
Efficienza Produttiva e Benessere di
Bovini da Latte

Gabriele Mattachini



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
Facoltà di Agraria

Scuola di Dottorato di Ricerca
Innovazione Tecnologica per le Scienze Agro-Alimentari e
Ambientali

Dipartimento di Ingegneria Agraria

Settore scientifico disciplinare AGR/10
XXIV° CICLO

TESI DI DOTTORATO DI RICERCA

**Soluzioni Tecnologiche Innovative e Metodologie di Monitoraggio del
Comportamento per Migliorare Efficienza Produttiva e Benessere di
Bovini da Latte**

Dottorando:
Dott. Gabriele Mattachini

Tutor: Prof. Giorgio Provolo

Coordinatore Scuola di Dottorato di Ricerca: Prof. Roberto Pretolani

ANNO ACCADEMICO 2010-2011

SOMMARIO

L'allevamento della bovina da latte si è fortemente evoluto negli ultimi anni con l'acquisizione di nuove conoscenze e la messa a punto di tecnologie innovative, con particolare attenzione al benessere e comfort animale. La struttura stabulativa, con le relative attrezzature ed impianti, e la gestione dell'allevamento sono diventati un vero e proprio fattore di produzione in grado di condizionare i risultati produttivi, sia in termini qualitativi che quantitativi. In questo ambito, lo studio del comportamento animale è ritenuto un indicatore essenziale per la valutazione dello stato di benessere in differenti tipi di stabulazione e per lo sviluppo di sistemi di allevamento che permettano di conciliare elevati livelli produttivi e benessere animale. Il dottorato di ricerca ha voluto approfondire alcuni aspetti relativi all'influenza delle strutture e di alcune modalità gestionali sul comfort delle bovine e l'efficienza produttiva dell'allevamento.

Le attività svolte durante il periodo di ricerca sono state orientate alla valutazione della risposta comportamentale di differenti gruppi di bovine da latte alle condizioni ambientali, agli aspetti strutturali e gestionali dell'allevamento e all'approfondimento di alcune metodologie e tecnologie di monitoraggio delle attività comportamentali delle bovine da latte. Nei diversi casi di studio presi in esame sono stati analizzati i possibili effetti della frequenza di distribuzione dell'alimento e delle condizioni ambientali, l'influenza della disposizione delle cuccette e degli spazi funzionali. Per questo scopo sono state messe a punto le metodologie di analisi, basate sulla videoregistrazione e la post analisi delle immagini, e sono stati validati e sviluppati alcuni dispositivi per il rilievo automatico del comportamento.

Le indicazioni emerse dalle sperimentazioni effettuate confermano che la variazione della frequenza di distribuzione dell'alimento sembra influenzare in modo limitato il tempo speso nelle diverse attività da parte degli animali come media giornaliera modificando, invece, la distribuzione delle attività nel corso della giornata. Inoltre è stato confermato come le variazioni di comportamento più significative derivino dalle condizioni microclimatiche della stalla, legate in particolar modo al THI, e dalla adeguatezza di spazi e a attrezzature interne. L'influenza della disposizione delle cuccette ha fornito interessanti indicazioni per i criteri di progettazione in considerazione al layout della zona di riposo con la finalità di incrementare il tempo in cui le bovine rimangono sdraiate per un miglior comfort e benessere degli animali. L'impostazione di un modello di simulazione con logica fuzzy ha permesso di fornire delle valutazioni, al momento in forma preliminare, per prevedere il comportamento degli animali in base alle condizioni strutturali. Questo strumento potrebbe consentire di verificare le ipotesi progettuali anche considerando il probabile comportamento delle bovine e supportare l'analisi di stalle esistenti per valutare le criticità riscontrate. Infine, le metodologie indagate, basate sulla videoregistrazione e la post analisi delle immagini, hanno confermato come le principali attività comportamentali di base delle bovine possono essere adeguatamente interpretate analizzando le immagini con frequenza oraria permettendo di ottenere una valutazione dettagliata del comportamento degli animali. Gli accelerometri e i dispositivi elettronici investigati hanno accuratamente misurato il comportamento confermando la validità dell'utilizzo di questi dispositivi. Inoltre, le metodologie e le tecnologie indagate hanno permesso di incrementare il livello di automazione del rilievo delle attività comportamentali.

Concludendo, i risultati ottenuti dalle diverse attività di ricerca hanno permesso di fornire indicazioni utili su criteri gestionali e progettuali a seconda delle diverse condizioni operative dell'allevamento, evidenziando l'importanza di questi aspetti nel contribuire a creare le condizioni ottimali al fine di realizzare strutture di stabulazione sempre più adeguate alle esigenze degli animali e rispettose del loro benessere.

ABSTRACT

Mattachini, G. 2011. Innovative Technology Solutions and Methodologies of Monitoring Behavior to Improve Production Efficiency and Welfare of Dairy Cow.

Dairy farms have greatly evolved in recent years with the acquisition of new knowledge and the development of innovative technologies, with particular consideration to animal welfare and comfort. The housing for dairy cows, with their equipment, facilities and farm management have become a real production factor that can affect the results of enterprise. In this context, the study of animal behavior is considered an important indicator for the evaluation of the welfare animal in different types of housing and for the development of farming systems that allow combining high levels of production and animal welfare. The purpose of this research was to explore some relevant aspects of the influence of dairy housing and operational conditions on the comfort of dairy cows and livestock production efficiency.

The activities performed during the research period were oriented to assess the behavioral reaction of different groups of dairy cows to environmental, structural and operational conditions and to evaluate several methodologies and technologies for monitoring the behavioral activities of dairy cows. In some of the case studies examined we analyzed the effects of feeding frequency and environmental conditions, and the influence of dimension and layout of functional spaces in free-stall housing. For this purpose, methods of analysis, based on video recording and post-image analysis have been developed. Moreover, some devices for automatic recording of behavior have been developed and validated.

The main results confirm that the feeding frequency seems to affect in limited way the time spent on the different daily behavioral activities (lying, standing, and feeding) of dairy cows, but, the distribution of activities throughout the day was modified. It has also been confirmed as the most significant changes in behavior arise from the environmental conditions, especially related to THI, and the adequacy of functional spaces layout. The influence of the rest area layout has provided valuable indications for the design criteria to increase the time that the cows are lying down and to improve comfort and welfare of animal. The development of a simulation model, based on fuzzy logic, has allowed providing an integrated assessment tool of design solutions for free-stall dairy cow barns. This tool could help to verify the design criteria also considering the behavior of dairy cows and support the analysis of existing housing to assess the critical structural factors. The methods investigated, based on video recording and image analysis, have confirmed that reliable estimates of the daily behavior of individual animals, or the average behavior of the herd, can be generated using hourly scan sampling interval. The data loggers investigated, based on accelerometer sensors, have accurately measured lying and standing behaviors in lactating dairy cows kept in a highly automated loose-housing barn, confirming the validity of use of these devices to improve awareness of cow comfort. Moreover, the methodologies and technologies investigated have improved the level of automation of recording of the behavioral activities.

In conclusion, the results obtained from the various research activities have provided useful information on criteria design and management operations in different farm conditions, highlighting the importance of these aspects in helping to create the optimum conditions to design dairy housing more appropriate to the needs of animals, improving their welfare.

Keywords: Dairy cow, Feeding frequency, Environmental conditions, Dairy housing, Behavior monitoring, Lying behavior.

Author's address: Gabriele Mattachini, Department of Agricultural Engineering, Università degli Studi di Milano, via Giovanni Celoria 2, 20133, Milan, Italy. E-mail: gabriele.mattachini@unimi.it

INDICE

<i>Premessa</i>	1
<i>Organizzazione della tesi</i>	3
1 INTRODUZIONE	5
1.1 Allevamento bovine da latte: situazione attuale, andamento e struttura degli allevamenti.....	5
1.2 Benessere e comfort della bovina da latte.....	6
1.3 Aspetti strutturali degli edifici zootecnici per le bovine da latte.....	8
<i>Zona di riposo</i>	9
<i>Sistema lettiera-compost</i>	12
<i>Zona d'alimentazione e corsie di passaggio</i>	13
1.4 Influenza dei parametri ambientali.....	13
<i>Temperatura</i>	13
<i>Umidità relativa</i>	14
<i>Temperature Humidity Index (THI)</i>	15
<i>Velocità dell'aria</i>	16
<i>Stress da caldo</i>	16
1.5 Soluzioni impiantistiche e costruttive per la difesa dal caldo e controllo ambientale.....	17
1.5.1 Tecniche di difesa di tipo passivo.....	17
<i>Isolamento termico</i>	18
<i>Ventilazione naturale</i>	18
<i>Pianta ed orientamento del fabbricato</i>	19
<i>Ombreggiamento</i>	19
<i>Materiali costruttivi per ricoveri zootecnici</i>	20
1.5.2 Tecniche di difesa di tipo attivo.....	20
<i>Ventilazione artificiale</i>	20
<i>Sistemi di raffrescamento</i>	21
1.6 Influenza della gestione dell'allevamento: l'alimentazione e la mungitura.....	22
<i>Sistema di mungitura volontario (VMS)</i>	25
<i>Sistemi automatici per la preparazione e distribuzione dell'alimento (AFS)</i>	25
1.7 Studio e analisi del comportamento.....	27
1.8 Metodologie e tecnologie per il monitoraggio degli animali: misura e valutazione del comportamento.....	28
<i>Metodologie di campionamento del comportamento</i>	29
<i>Analisi delle principali attività comportamentali</i>	32
<i>Tecniche di acquisizione, registrazione e osservazione del comportamento</i>	33
1.9 Monitoraggio automatico mediante dispositivi elettronici (Automatic Recording Device).....	35
<i>Accelerometri e Pedometri</i>	35
<i>Tecnologie innovative per la localizzazione dell'animale (RFID)</i>	36

2	OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	38
3	MATERIALI E METODI.....	39
3.1	Tecniche e sistemi di monitoraggio del comportamento e delle condizioni ambientali.....	39
	<i>Videoregistrazione.....</i>	39
	<i>Sistemi per il rilievo automatico del comportamento.....</i>	41
	<i>Fotocamere temporizzate.....</i>	43
	<i>Monitoraggio ambientale.....</i>	43
4.2	Metodologie di rilievo.....	44
	<i>Analisi del comportamento degli animali.....</i>	44
	<i>Indici comportamentali ed ambientali.....</i>	44
	<i>Dispositivi per il rilievo automatico del comportamento.....</i>	45
	<i>Produzione, sistema di mungitura automatizzato e ingestione della razione.....</i>	45
	<i>Disegni sperimentali.....</i>	46
	<i>Analisi statistica.....</i>	47
4	INFLUENZA DELLA GESTIONE DELL'ALLEVAMENTO.....	49
4.1	Influenza della frequenza di distribuzione (convenzionale) e delle condizioni ambientali sul comportamento di bovine da latte.....	49
	<i>Ingestione, produzione di latte e THI.....</i>	49
	<i>Comportamento delle bovine.....</i>	50
4.2	Effetti della frequenza di alimentazione sul comportamento di bovine da latte in un sistema di alimentazione (AFS) e di mungitura (AMS) automatizzato.....	53
	<i>Ingestione di Sostanza Secca.....</i>	53
	<i>Produzione di latte e utilizzazione del sistema di mungitura automatizzato.....</i>	54
	<i>Comportamento.....</i>	55
5	INFLUENZA DELLA STRUTTURA E CONDIZIONI AMBIENTALI.....	58
5.1	Effetto di differenti tipologie degli spazi funzionali.....	58
	<i>Effetto del numero di file di cuccette sul comportamento.....</i>	58
5.2	Sviluppo di un modello di simulazione per fornire indicazioni comparative sulle alternative costruttive per le stalle da latte.....	60
5.2.1	Introduzione.....	60
	<i>La logica fuzzy.....</i>	60
	<i>Gli insiemi fuzzy.....</i>	60
	<i>Relazioni linguistiche ed implicazioni.....</i>	61
	<i>Sistemi fuzzy.....</i>	61
5.2.2	Materiali e Metodi.....	61
	<i>Scelta degli input e degli output.....</i>	61
	<i>Funzioni d'appartenenza e regole.....</i>	62
	<i>Esecuzione e calibrazione del modello.....</i>	62
5.2.3	Risultati preliminari e discussione.....	62
6	METODOLOGIE E TECNOLOGIE DI MONITORAGGIO.....	65
6.1	Validazione dei sistemi per il monitoraggio automatico del comportamento.....	65

	<i>HOBO Pendant G Acceleration Data Logger, IceTag 2D e PedometerPlus Tag System</i>	65
6.2	Metodologia di campionamento del comportamento “Sampling Frequency”.....	67
	<i>Videoregistrazione e post-analisi delle immagini</i>	67
	<i>Sistemi per il rilievo automatico del comportamento</i>	68
7	DISCUSSIONE GENERALE	70
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	73
	Future ricerche.....	75
	BIBLIOGRAFIA	76
	RINGRAZIAMENTI	86
	Articolo I.....	87
	Articolo II.....	98
	Articolo III.....	115
	Articolo IV.....	125
	Articolo V.....	136
	Articolo VI.....	147

PREMESSA

L'allevamento della bovina da latte si è fortemente evoluto negli anni con l'acquisizione di nuove conoscenze e la messa a punto di tecnologie innovative. Negli ultimi anni l'evoluzione e l'innovazione sono state supportate da un significativo contributo da parte della ricerca, che ha affrontato molte problematiche dei diversi aspetti dell'allevamento (alimentazione, igienico-sanitari, ecc.). Sicuramente una delle tematiche di particolare attenzione negli ultimi anni è quella riferita al benessere e comfort animale. In questo ambito vengono considerati diversi aspetti dell'allevamento delle bovine. Un animale, infatti, viene considerato in un buono stato di benessere, se è sano, in condizioni di comfort, ben nutrito, sicuro, capace di esprimere un comportamento innato e in grado di reagire se è sottoposto a condizioni sgradevoli come il dolore e la paura (EFSA, 2009). La valutazione del benessere deve poter essere ottenuta in modo oggettivo. Per questo la ricerca si è orientata anche verso l'individuazione di opportuni indicatori del benessere degli animali, tra cui lo studio del comportamento.

Gli elementi strutturali che costituiscono il ricovero degli animali stabulati sono una delle componenti che contribuiscono a determinare il benessere degli animali. Infatti, non bisogna dimenticare che la funzione prioritaria delle strutture di stabulazione è di permettere all'animale di vivere nelle migliori condizioni ambientali possibili, anche perché la bovina da latte è in grado di estrinsecare le proprie potenzialità produttive solo se le vengono garantite le condizioni ambientali ottimali.

Negli ultimi decenni si è assistito a un notevole mutamento nella realizzazione delle strutture di stabulazione per bovini da latte in quanto si è passati dapprima dalla stabulazione fissa a quella libera e, successivamente, dalla lettiera permanente (peraltro ancora presente in molte aziende) alla zona di riposo a cuccette. Contemporaneamente la modifica del sistema di alimentazione con l'introduzione dell'unifeed ha portato a esigenze di spazio diverse per la corsia di alimentazione sia in termini di lunghezza (non è più necessaria la contemporaneità di tutti i capi) sia in termini di larghezza. L'incremento di produzione unitaria delle vacche da latte ha portato la produttività di questi allevamenti ai valori più alti, con le conseguenti maggiori esigenze e criticità per gli animali allevati. In questo processo evolutivo, le strutture di stabulazione, nel loro complesso sono state considerate come elementi poco significativi nel contribuire alla buona riuscita dell'allevamento. Spesso derivano da costruzioni riadattate e recuperate da fabbricati esistenti ed è frequente notare allevamenti con edifici realizzati in tempi successivi con criteri progettuali legati più alle disponibilità di aree edificabili in azienda che di reale funzionalità per gli animali.

Invece le strutture per bovini da latte possono avere una grande influenza sulle condizioni microclimatiche della zona di stabulazione. Il layout della zona di stabulazione, la disposizione degli spazi e loro ampiezza nelle diverse zone funzionali, possono influenzare il comportamento degli animali e ricoprono un ruolo di notevole importanza nel determinare il comportamento degli animali in relazione anche alle condizioni microclimatiche all'interno della struttura. Le vacche da latte sono, infatti, in grado di adattarsi ad un'ampia varietà di condizioni ambientali, ma ovviamente le migliori produzioni quali/quantitative si possono ottenere solo nella zona di neutralità termica, dove la bovina da latte esprime la massima produttività (Kadzere et al., 2002). Animali molto produttivi, in condizioni di clima caldo, esprimono performance produttive e riproduttive molto inferiori a quelle attese, quindi, le razze da latte europee ed americane caratterizzate da alta ingestione di alimenti e da produttività elevata sono particolarmente sensibili allo stress da caldo.

Progettare una stalla nuova o riadattare un fabbricato esistente significa non solo considerare le problematiche di carattere generale e alcuni degli aspetti funzionali ma individuare il rapporto ottimale animale/ambiente. Anche le stalle di recente realizzazione hanno spesso orientato maggiormente l'attenzione sugli aspetti funzionali, ottimizzando spazi e gestione della mandria, trascurando in molti casi alcuni principi delle condizioni ambientali. Peraltro, non vengono in generale fornite soluzioni a queste problematiche che coinvolgono pienamente l'aspetto progettuale

delle strutture di stabulazione. Quando vengono fornite informazioni in proposito, sono riferite ad aspetti specifici e non coinvolgono in modo organico la struttura. Spesso gli interventi proposti sono orientati a rimedi (introduzione di sistemi di raffrescamento o ventilazione) piuttosto che strutturali. Non ci sono, a esempio, delle indicazioni consolidate, recepite dalla Pubblica Amministrazione, sulle modalità di costruzione delle stalle in termini di altezza, pendenza delle falde del tetto, materiali da utilizzare, orientamento, ombreggiamento, presenza di frangivento, distanza tra fabbricati. Questo quadro di scarsa attenzione verso le strutture di allevamento rischia di vanificare l'efficacia di alcuni interventi strutturali che non essendo stati progettati o gestiti in modo adeguato portano a risultati insoddisfacenti.

Risulta, quindi, evidente l'opportunità di fornire indicazioni chiare sui criteri di progettazione di stalle di questo tipo e sulle modalità di intervento da adottare sulle strutture esistenti per mitigare lo stress degli animali, in conformità alle normative sul benessere animale e agli obiettivi di produttività dell'allevamento.

ORGANIZZAZIONE DELLA TESI

Il presente lavoro di Dottorato di ricerca è stato orientato allo studio della risposta comportamentale delle bovine a diverse condizioni strutturali e operative di stabulazione con particolare riferimento ai tempi dedicati dalle bovine al riposo e all'assunzione di alimento e all'approfondimento di alcune delle metodologie e tecnologie utilizzate nel monitoraggio, per la valutazione del comportamento di bovine da latte (figura I).

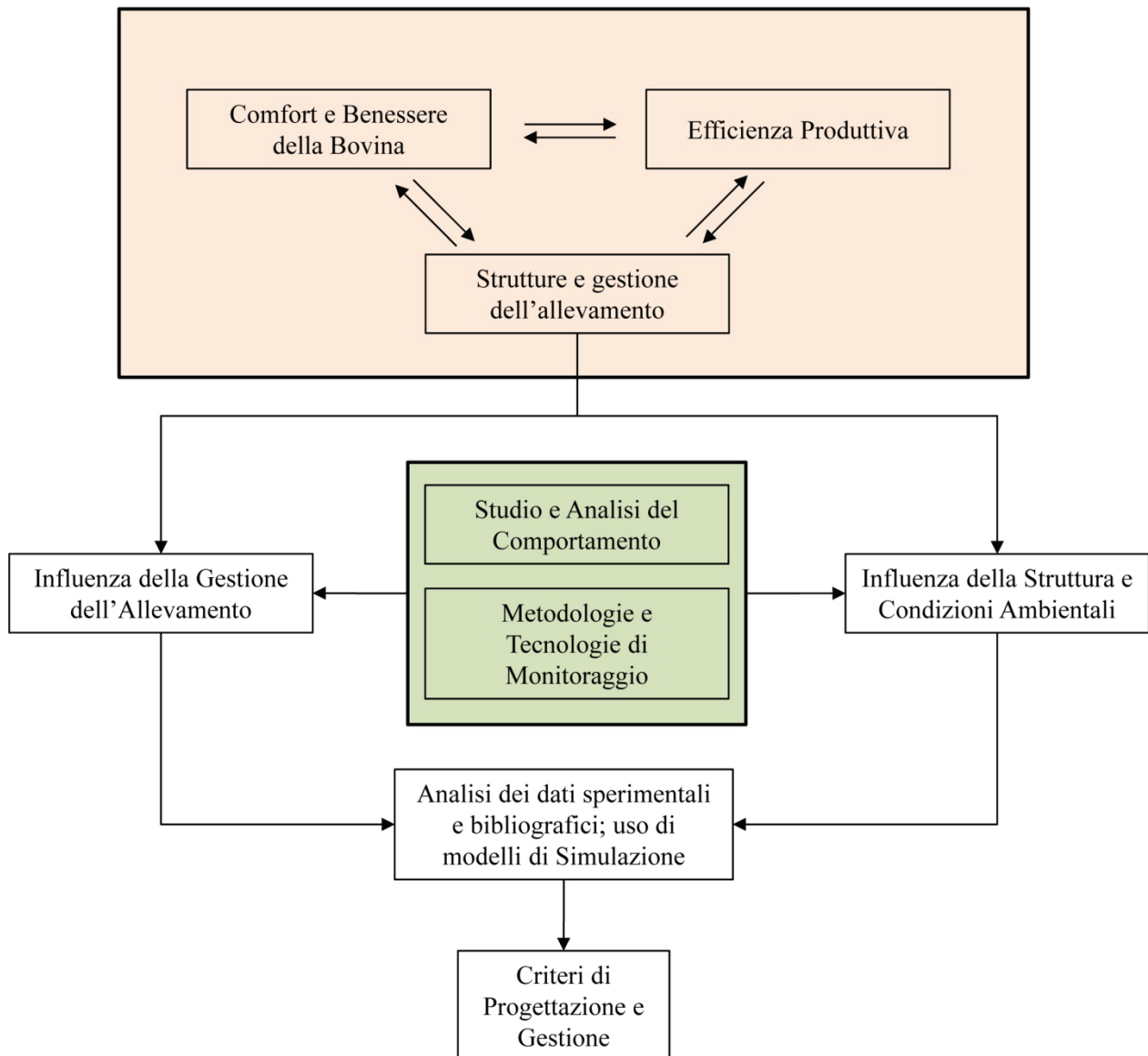


Figura I. Schematizzazione delle differenti attività di ricerca.

L'attività svolta può essere sintetizzata come segue:

- analisi delle metodologie di monitoraggio per la valutazione del comportamento di bovine da latte;
- analisi delle prestazioni di dispositivi elettronici per la registrazione automatica del comportamento degli animali;
- analisi dell'influenza della frequenza di distribuzione e delle condizioni ambientali (THI) sulla risposta comportamentale e produttiva delle bovine da latte;
- analisi dei risultati di indagini e studi sperimentali condotti in differenti condizioni di allevamento e ambientali;
- sviluppo di un modello di simulazione per fornire indicazioni comparative sulle alternative costruttive per le stalle da latte.

Sulla base dei risultati delle diverse attività svolte, l'elaborato finale del progetto di dottorato è stato strutturato in due parti: una generale con la finalità di dare un quadro organico delle differenti attività e dei risultati ottenuti in modo da sottolineare le metodologie e le tecnologie analizzate e la loro applicazione in casi studio sperimentali; una seconda parte più specifica costituita da una raccolta di lavori che rappresentano i prodotti delle ricerche svolte, pubblicati, presentati o prossimi alla presentazione su riviste peer reviewed. Gli articoli sono citati nel testo attraverso un numero romano identificativo.

- I. Mattachini, G., Riva, E., Provolo, G. (2011). The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing. *Applied Animal Behaviour Science* 129(1), 18-27. Doi:10.1016/j.applanim.2010.10.003.
- II. Mattachini, G., Riva, E., Bisaglia, C., Pompe, J. C. A. M., and Provolo, G. Methodology for quantifying the behavioral activity of dairy cows in freestall barns. Submitted to *Journal of Animal Science*.
- III. Mattachini, G., Antler, A., Riva, E., Arbel, A., Provolo, G. Automated measurement of lying behavior for improving heat detection, health and welfare monitoring in lactating dairy cows. Submitted to *Livestock Science*.
- IV. Riva, E., Mattachini, G., Bava, L., Sandrucci, A., Tamburini, A., Provolo, G. Influence of feed delivery frequency on behavioural activity of dairy cows in freestall barns. Manuscript (2011).
- V. Bava, L., Tamburini, A., Penati, C., Riva, E., Mattachini, G., Provolo, G., Sandrucci, A. Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems. Submitted to *Italian Journal of Animal Science*.
- VI. Mattachini, G., Pompe, J.C.A.M., Riva, E., Provolo, G. Effects of feeding frequency on the behavior patterns of dairy cows in an automatic feeding and milking system. Manuscript (2011).

1 INTRODUZIONE

1.1 Allevamento bovine da latte: situazione attuale, andamento e struttura degli allevamenti

Il sistema agro-alimentare lombardo è il più importante a livello italiano ed uno dei più rilevanti nel contesto europeo. L'elevata produttività dell'agricoltura lombarda si rispecchia nelle stime economiche provvisorie relative al 2010 che indicano che la produzione agricola lombarda contribuisce per l'1.7% al valore complessivo ai prezzi di base dell'UE a 27 stati, con differenze tra il valore delle produzioni vegetali ed animali (2.63%), portando il valore aggiunto agricolo lombardo all'1.72% sul totale UE (Pieri e Pretolani, 2011).

Nel 2010 la produzione agricola regionale calcolata ai prezzi di base (PPB), escluse la silvicoltura e la pesca e inclusi i servizi connessi e le attività secondarie, ha raggiunto un valore superiore ai 6.4 miliardi di euro. La Lombardia nel 2010 contribuiva per quasi il 14% al valore della produzione e per l'11.4% al valore aggiunto agricolo nazionale, restando la prima regione italiana relativamente alla branca agricoltura (Pieri e Pretolani, 2011).

La vocazione zootecnica della Lombardia si evidenzia dal contributo alla produzione agricola della produzione zootecnica, pari a circa il 60%, contro il 30% delle produzioni vegetali e il 10% dei servizi connessi e delle attività secondarie. Molto diverso è il quadro nazionale, dove la produzione vegetale, pari al 54.5% del totale, prevale su quella zootecnica (32.3%). Da tali differenze relative deriva un peso consistente della zootecnia lombarda, che produce quasi il 26% del valore dell'intero comparto nazionale, nella quale spicca l'elevato peso del latte vaccino che rappresenta il 36.3% dei complessivi prodotti nazionali in termini di PPB. La produzione a prezzi di base (PPB) degli allevamenti lombardi segna nel 2010 un leggero incremento (+ 0.2%); a tale aumento complessivo nel 2010 il comparto del latte contribuisce per un incremento dell'1.6%.

Secondo i risultati provvisori del 6° censimento generale dell'agricoltura 2010, risultano presenti in Lombardia circa 54,000 aziende agricole, pari al 3.3% del totale nazionale, in calo del 24.2% rispetto a dieci anni fa. La superficie agricola utilizzata (SAU), pari a 984,871 ettari (il 7.6% di quella italiana), ha subito un calo meno accentuato (-5.3% rispetto al 2000), determinando un incremento della SAU media aziendale del 25.8% e del 20% della superficie aziendale totale (SAT). Il 40% circa delle aziende agricole lombarde esercita un'attività di allevamento (22,270) contro il corrispondente 13% circa a livello nazionale. Fatta questa necessaria premessa, si osserva che in regione Lombardia risultano presenti quasi 15 mila aziende che allevano bovini, 600 in meno di un anno prima; di cui quasi 9 mila sono da considerarsi aziende da latte. Il numero medio di lattifere per azienda, pari a 71 nel 2009, è arrivato a 75 nel 2010. Gli oltre 1.55 milioni di bovini allevati in Lombardia costituiscono il 26.6% di quelli complessivamente presenti in Italia, percentuale che sale al 30.7% per le vacche da latte con 560 mila capi. L'importanza della zootecnia lombarda in ambito nazionale e comunitario si delinea in relazione al numero delle unità bovine adulte (UBA), che rappresentano il 28% di quelle italiane e il 2% di quelle comunitarie. Incisivo è anche il rapporto UBA/SAU, che vede una densità del patrimonio zootecnico 3.5 volte superiore rispetto al relativo parametro nazionale ed europeo (Pieri e Pretolani, 2011).

A partire dal 1990, il contributo del latte al valore prodotto dalla zootecnia lombarda mostra delle oscillazioni intorno a valori grossomodo costanti: all'inizio di quel decennio esso copre il 40% del valore complessivo e rimane intorno a questo peso, o poco sotto, anche nella seconda metà della prima decade del 2000, mostrando un massimo nel 2005 (quasi il 41%) e un minimo nel 2009 (con il 37.7%); il dato del 2010 è pari al 32.8% in recupero di mezzo punto percentuale rispetto all'anno

precedente. I termini quantitativi, la produzione di latte di vacca e di bufala dopo 5 anni di aumenti consecutivi ha conosciuto nel 2010 una lieve flessione; nell'arco di tempo 2004-2009, la variazione media annua è stata pari al +1.2%, mentre l'ultimo anno è stata del -0.2%. Poiché nella prima metà del decennio la produzione era stata piuttosto stagnante, nell'arco dei dieci anni si registra una variazione annua media del +0.54%; su un periodo ancora più ampio l'analisi mostra chiaramente una brusca impennata verso l'alto a cavallo tra gli anni ottanta e novanta, mentre successivamente le quantità oscillano attorno a livelli grossomodo costanti (Pieri e Pretolani, 2011).

Dai dati relativi agli allevamenti derivanti dal paragone tra i censimenti 2000 e 2010 si sono evidenziate dinamiche di estremo interesse. Anzitutto occorre osservare come la percentuale delle aziende lombarde con allevamento si sia ridotta in misura sensibile, dal 50% al 40% circa delle aziende totali, con una riduzione del 31.2% per gli allevamenti da latte (Pieri e Pretolani, 2011). Analizzando in dettaglio i dati si osserva come vi sia stata una significativa contrazione delle aziende, e più limitata dei capi, per gli allevamenti bovini, sia totali (-8.0%) che da latte (-2.0%), le cui dimensioni medie sono di assoluto rilievo.

1.2 Benessere e comfort della bovina da latte

Nel corso dell'evoluzione, ogni specie si è dotata di caratteristiche fisiche, fisiologiche e comportamentali adatte ad affrontare le difficoltà che potrebbe incontrare nel proprio ambiente di vita. I sistemi di adattamento che un animale mette in atto per meglio far fronte alle condizioni ambientali in cui si trova, determinano la cosiddetta fitness o stato di adattamento dell'individuo. Per poterlo definire bisogna però chiarire il significato da attribuire ai termini di stress e welfare che si riferiscono rispettivamente al processo che interviene nell'organismo quando i fattori ambientali hanno un effetto deleterio, ed allo stato fisiologico di un individuo valutato in funzione degli sforzi che fa per far fronte all'ambiente in cui si trova (*Broom, 1988*).

La definizione dello stato di "benessere degli animali di allevamento" costituisce una problematica di attualità nei paesi più sviluppati, dove le tecnologie di allevamento sempre più sofisticate e le esigenze produttive crescenti costringono gli animali a performance maggiori in condizioni sociali, ambientali, fisiologiche ed alimentari sempre più lontane da quelle "naturali".

Il benessere animale sta finalmente entrando nella cultura delle nostre stalle non più come un limite allo sviluppo ma come mezzo reale e concreto per l'ottenimento di produzioni di maggiore qualità e per la riduzione dello stress, principale limite allo sviluppo produttivo della vacca da latte.

La prima delle normative europee che, seppure senza menzionarlo, affronta il tema del benessere animale è stata la Convenzione europea sulla protezione degli animali da allevamento adottata a Strasburgo il 10 marzo 1976 e ratificata dall'Italia il 14 ottobre 1985 con la legge n. 629. Vi si legge tra l'altro che "Ogni animale deve beneficiare di un ricovero, di un'alimentazione e di cure che - tenuto conto della specie, del suo grado di sviluppo, d'adattamento e di addomesticamento - siano appropriate ai suoi bisogni fisiologici ed etologici conformemente all'esperienza acquisita ed alle conoscenze scientifiche".

Qualche anno più tardi si cominciò invece a parlare delle "cinque libertà" che devono essere garantite a tutti gli animali allevati. Nella loro più recente formulazione, del Farm Animal Welfare Council britannico (*FAWC, 1992*), dove ogni animale deve essere:

1. libero dalla fame e dalla sete - con un facile accesso all'acqua e una dieta che mantenga piena salute e vigore;
2. libero dal disagio e dalle condizioni climatiche avverse - con un ambiente appropriato che includa un riparo e una confortevole area di riposo;
3. libero dal dolore, dalle ferite e dalle malattie - attraverso la prevenzione e rapide diagnosi e trattamenti;

4. libero di esprimere un comportamento normale e naturale - mettendo a disposizione spazio sufficiente, attrezzature appropriate e la compagnia di animali della stessa specie;
5. libero dalla paura dall'angoscia e da stress eccessivo - assicurando condizioni e trattamenti che evitino la sofferenza mentale.

Nel corso dell'evoluzione gli animali si sono dotati di metodi fisiologici e comportamentali per affrontare le varie difficoltà che incontrano nel corso della loro vita. Poiché tutti gli animali si sono evoluti in questo modo e ogni specie è adatta in un modo particolare a un particolare ambiente, ogni definizione del benessere deve tener conto dell'ambiente, della fisiologia e del comportamento specifico dell'animale preso in considerazione. Quindi il benessere di un animale è una condizione intrinseca all'animale e non è un insieme di valori assegnati all'animale dagli umani.

Nel corso della loro vita, gli animali possono incontrare difficoltà che vanno dall'insignificante al rischio della vita. I singoli animali affrontano queste difficoltà con successo variabile, a seconda delle condizioni ambientali, fisiologiche e comportamentali in cui si trovano ad agire. Il risultato può andare dal migliore, che non ha alcun effetto avverso, al peggiore, che è la morte. Fra questi due estremi, il benessere animale può variare da molto buono a molto cattivo.

Il concetto di benessere animale è stato inteso diversamente dai ricercatori, che hanno sottolineato con pesi e accenti diversi le componenti fisiologiche e psicologiche di tale problematica. Secondo Broom e Johnson (1993), il benessere animale viene definito come "Lo stato di un individuo per quanto concerne i suoi tentativi di adattarsi all'ambiente". Da questa definizione scaturisce che il benessere è una variabile quantitativa, non qualitativa, che esistono cioè diversi livelli di benessere in rapporto alle condizioni ambientali date. In questo ambito può essere meglio compreso il concetto di stress come "Effetto ambientale su un individuo che sovraccarica i suoi sistemi di controllo e regolazione e riduce o sembra ridurre la sua efficienza. La riduzione di efficienza può essere compensata o portare a conseguenze dannose per l'individuo" (Broom e Johnson, 1993). Uno stimolo stressante può essere percepito come minaccia all'omeostasi metabolica; a ciò consegue l'organizzazione di una difesa biologica, che innesca una risposta biologica a livello neuro-endocrino e comportamentale; a tale risposta biologica seguono distinti cambiamenti di funzioni biologiche in diversi organi ed apparati; se non adeguatamente compensati, tali cambiamenti possono portare a stati pre-patologici ed infine a patologie clinicamente conclamate.

I termini "benessere" e "sofferenza" degli animali sono molto difficili da definire. Essendo infatti parole di uso corrente, tendono ad essere impiegate ampiamente da differenti categorie di persone che attribuiscono loro, di volta in volta, un diverso significato. I ricercatori invece vorrebbero dare a tali fenomeni una definizione precisa e non ambigua, alla quale attribuire un valore scientifico. La migliore valutazione di benessere o di sofferenza, considerati come opposti di una stessa condizione, può essere ottenuta solo tenendo conto di tutti i possibili indicatori disponibili come stato di salute, produttività, parametri fisiologici, biochimici e comportamentali (Duncan, 1981). La misurazione del benessere animale è quindi un problema difficile: gli indicatori da considerare sono molti e a volte possono contrastare tra loro, la concezione di benessere include valutazioni di carattere etico-morale difficilmente oggettivabili.

La letteratura scientifica riconosce tre tipi di approccio alla ricerca sul benessere animale (Duncan e Fraser, 1997):

1. l'approccio basato sul feeling, cioè sulle sensazioni soggettive degli animali. Parte dal presupposto che gli animali possono avere delle esperienze soggettive, quali stati affettivi ed emozioni, quindi possa percepire determinate situazioni come piacevoli o spiacevoli.

2. l'approccio funzionale basato sulle funzioni biologiche normali degli animali. Allo stato di benessere deve corrispondere un funzionamento normale dell'organismo e dei suoi sistemi biologici. Vengono valutati, ad esempio, lo stato di salute, la longevità, il successo riproduttivo. Alla base di tale modello vi è la teoria dello stress.

3. l'approccio naturale: gli animali dovrebbero vivere in un ambiente naturale che consenta loro di manifestare il proprio completo repertorio comportamentale. Risulta però spesso difficile identificare il significato di "ambiente naturale", in particolare per le specie domestiche dove sono intervenuti secoli, se non millenni, di selezione artificiale compiuta dall'uomo.

Indipendentemente dal tipo di approccio risulta utile, per valutare lo stato di benessere di un animale, servirsi di diversi indicatori che possano integrarsi e dare un quadro generale ed il più possibile obiettivo. In merito, si possono distinguere diversi tipi di indicatori legati a:

1. l'animale:

- indicatori fisiologici, biochimici e biofisici: livelli ormonali, frequenza cardiaca, attività del sistema immunitario;
- indicatori patologici: presenza di patologie manifeste o latenti;
- indicatori produttivi: accrescimento, mortalità, fertilità, fecondità;
- indicatori comportamentali: risposta a test comportamentali, grado di interazione sociale, presenza di stereotipie;

2. l'ambiente: idoneità delle strutture.

3. la gestione: grado di pulizia e manutenzione, applicazione di piani di profilassi.

4. il rapporto uomo-animale: quantità e qualità delle interazioni, grado di preparazione del personale.

In conclusione questa serie di indicatori, valutati nel loro complesso, possono fornirci delle valide indicazioni per valutare lo stato di benessere degli animali in allevamento.

1.3 Aspetti strutturali degli edifici zootecnici per le bovine da latte

Nel nostro Paese l'allevamento dei bovini da latte si è sviluppato e consolidato con tecniche che prevedono l'impiego di strutture in parte complesse per il ricovero degli animali (stabulazione confinata), a differenza di quanto è avvenuto in altri Paesi europei dove, per ragioni climatiche e pedologiche, si è invece potuto diffondere l'allevamento al pascolo. Le stalle italiane in questi ultimi 50 anni si sono progressivamente evolute, sulla scia dello sviluppo e dell'innovazione che hanno caratterizzato l'edilizia zootecnica europea e nordamericana. Fra le tappe più rilevanti di questo progresso si deve senz'altro ricordare il passaggio dalla stabulazione fissa alla stabulazione libera, con l'introduzione della mungitura in una sala apposita, anziché in stalla, e la suddivisione delle zone di stabulazione in differenti aree funzionali (riposo, alimentazione, esercizio), nelle quali i bovini sono liberi di muoversi.

Per il benessere delle bovine da latte i sistemi di stabulazione utilizzati e le strutture presenti in allevamento hanno un ruolo estremamente importante in quanto dovrebbero consentire ed garantire le "cinque libertà" ad ogni animale; cioè consentire un costante accesso all'alimento e all'acqua, di avere un'area di riposo confortevole e asciutta, un riparo in caso di cattivo tempo e spazio a sufficienza per muoversi e comportarsi secondo la normale gamma di comportamenti sociali specie-specifici. Fornire agli animali un ambiente completamente privo di stimoli stressori risulta impossibile da un punto di vista sia pratico che economico: tuttavia gli effetti negativi di strutture ed elementi climatici possono essere facilmente eliminati attraverso una progettazione e una gestione dell'allevamento in modo razionale. Ad esempio, è importante prestare la massima attenzione alle dimensioni delle aree stabulative, al tipo di lettiera e alla pavimentazione. In ogni caso, l'utilizzo di buon senso e l'applicazione delle conoscenze nel campo del comportamento animale avranno ricadute estremamente positive sia sulle bovine che sulle persone che lavorano in allevamento. Il benessere animale deve essere inteso come assenza di tutti gli elementi strutturali e gestionali dell'azienda che aumentano lo stress dell'animale (Campiotti, 2003); eliminando i fattori di stress dell'animale miglioreremo le sue condizioni di vita e si otterrà una maggiore produzione di latte e più a lungo nel tempo.

A prescindere dal sistema di stabulazione utilizzato l'aspetto fondamentale è fornire all'animale un'area che sia il più confortevole possibile, permettendo così alla bovina che possa rimanere in decubito per il tempo desiderato, ruminare ed alzarsi in modo normale. Per quanto riguarda gli aspetti strutturali, come riportato da Campiotti e Perkins (2001), il primo aspetto da considerare è come progettare la stalla, sia che si tratti di nuova costruzione che di ristrutturare una struttura già presente. È importante prevedere la durata che dovrà avere la stalla considerando anche il tipo di produzioni che avremo nel futuro; però bisogna avere la consapevolezza che non potranno durare all'infinito, perché la tecnologia migliora e le strutture divengono obsolete. È necessario capire i reali bisogni delle bovine, tenendo presente che un progetto di stalla errato aumenta lo stress sulla bovina.

Nella realtà padana è soprattutto la situazione estiva quella che pone i maggiori problemi rispetto al raggiungimento di idonei parametri climatici, per la difficoltà di trasferire all'ambiente esterno gli elevati apporti energetici di provenienza animale, ai quali si sommano i contributi aggiuntivi dell'irraggiamento solare. Poiché in tali situazioni estreme anche minimi incrementi dei parametri igrotermici possono influire in misura non trascurabile sulle prestazioni produttive, appare importante disporre di criteri progettuali utili a conseguire il miglior risultato possibile nel controllo delle condizioni ambientali. Per questo è necessario possedere una piena comprensione dei meccanismi e dei fattori che intervengono nella regolazione del clima interno.

Negli ultimi anni le indicazioni progettuali per le strutture di stabulazione delle bovine da latte hanno ridotto notevolmente le superfici scoperte e in genere, i paddock. Ciò ha ridotto gli spazi disponibili per la circolazione delle bovine all'interno della stalla, condizionandone gli spostamenti e la permanenza in alcune aree.

La presenza in allevamento di strutture che permettano una buona ed agevole gestione degli animali e la riduzione al minimo dello stress diventa quindi un punto chiave sia per il benessere degli animali che degli operatori aziendali.

Zona di riposo

Nel comparto bovino da latte, la stalla libera con zona di riposo a cuccette è indubbiamente la soluzione più diffusa ed è oggi quella più adottata sia nelle nuove realizzazioni, sia nelle ristrutturazioni (Rossi e Gastaldo, 2005). La caratteristica basilare della stalla a cuccette è il fatto che la zona di riposo è suddivisa in aree singole, ben delimitate, nelle quali ogni bovino può appartarsi per riposare. In pratica, rispetto alle tradizionali stalle a lettiera, la zona di riposo a cuccette prevede la netta separazione fra le aree destinate al riposo vero e proprio e quelle destinate agli spostamenti (corsia di smistamento e passaggi di collegamento intercalati alle cuccette). Tale fatto comporta un evidente miglioramento dello stato di pulizia della zona di riposo rispetto a quanto avviene nelle lettiere permanenti o inclinate; da ciò derivano migliori condizioni igienico-sanitarie per gli animali (Rossi e Gastaldo, 2005).

Le tipologie di stalla libera a cuccette si differenziano essenzialmente per la diversa disposizione planimetrica delle cuccette e delle aree di movimentazione della zona di riposo, oltretutto dal modo in cui la stessa zona di riposo si collega alla zona di alimentazione (figura 1.1). Un principio comune a tutte le soluzioni è di disporre le cuccette su una o più file fra loro parallele; nell'ambito di ciascuna fila le singole cuccette sono disposte con il loro asse maggiore perpendicolare all'asse longitudinale della fila, l'una adiacente all'altra.

La soluzione probabilmente più diffusa in Italia prevede una zona di riposo con due file di cuccette disposte "groppa a groppa" e una corsia di smistamento centrale; la corsia, larga 2.5-3 m, consente l'accesso degli animali alle cuccette di entrambi i lati. Il collegamento fra la zona di riposo e le altre aree della stalla (alimentazione, eventuale paddock) avviene mediante passaggi trasversali intercalati alle cuccette, della larghezza di 1-1.8 m. La disposizione "groppa a groppa" permette la realizzazione di una zona di riposo tranquilla, con ovvi vantaggi per il benessere degli animali (Gastaldo, 2011).

Una seconda tipologia, anch'essa sufficientemente diffusa, è quella che prevede due file di cuccette disposte "testa a testa"; in questo caso la corsia di smistamento, larga 2.2-2.5 m, è posta lateralmente e serve un'unica fila di cuccette, mentre l'altra fila è servita dalla corsia di alimentazione, che funge anche da smistamento (Gastaldo, 2011). Le cuccette contrapposte consentono un risparmio di spazio sulla lunghezza, ma nel complesso sono fatte in modo che la superficie della zona di riposo non cambia molto rispetto alla soluzione "groppa a groppa", perché è necessario aumentare la larghezza dei passaggi a esse intercalati, soprattutto quando si prevede l'installazione degli abbeveratoi.

Una soluzione che risulta dalla fusione degli schemi precedenti è quella con tre file di cuccette. In questo caso la fila centrale si accoppia con la fila esterna «groppa a groppa» e con la fila interna «testa a testa». Questa soluzione è particolarmente interessante quando si voglia inserire la zona di mungitura all'interno dello stesso edificio che ospita la stalla.

La soluzione con cuccette disposte su singola fila è sostanzialmente una «testa a testa» priva della fila esterna di cuccette; la zona di alimentazione, che è anche corsia di smistamento, ha un fronte alla mangiatoia eccedentario rispetto al numero di cuccette, sfruttabile per l'inserimento degli abbeveratoi e dei cancelli per l'accesso alle zone di alimentazione-riposo. Gli schemi proposti sono tutti caratterizzati dall'aver un singolo fronte alla mangiatoia e sono quindi adatti a stalle per bovini adulti con capienza fino a 140-150 capi.



Figura 1.1. Principali tipologie di stalle libere a cuccette per mandrie di medie dimensioni: A) due file groppa a groppa; B) due file testa a testa; C) due file testa a testa con corsia della paglia; D) tre file; E) una fila con cuccette di recupero; F) più file disposte perpendicolarmente all'asse longitudinale della stalla.

Per mandrie di grandi dimensioni è necessario ricorrere a soluzioni con due o più fronti mangiatoia, moltiplicando e/o mescolando in modo opportuno i diversi moduli. Risulta molto importante, quindi, l'assetto planimetrico del centro aziendale zootecnico al fine di limitare i tempi di movimentazione di animali, uomini e mezzi, ottimizzare l'occupazione di terreno agricolo, garantire l'adeguata ventilazione naturale dei ricoveri, favorire il convogliamento dei reflui zootecnici verso i punti di raccolta e stoccaggio, permettere eventuali futuri ampliamenti.

La cuccetta è un'area a pianta rettangolare, chiusa su tre lati e aperta sul quarto lato, destinata al riposo di un singolo bovino (figura 1.2); gli elementi di base che la caratterizzano sono i seguenti:

- superficie per il riposo: deve garantire benessere e igiene al soggetto ospitato e deve essere posta a una quota maggiore rispetto al pavimento della corsia di smistamento;
- battifianchi laterali: sono necessari per guidare l'animale nelle fasi d'ingresso e d'uscita e per proteggerlo durante il riposo;
- attrezzature di delimitazione anteriore: sono fondamentali per la corretta posizione del bovino in riposo, per l'igiene della cuccetta e per permettere movimenti naturali durante il passaggio dalla posizione di decubito alla stazione eretta.

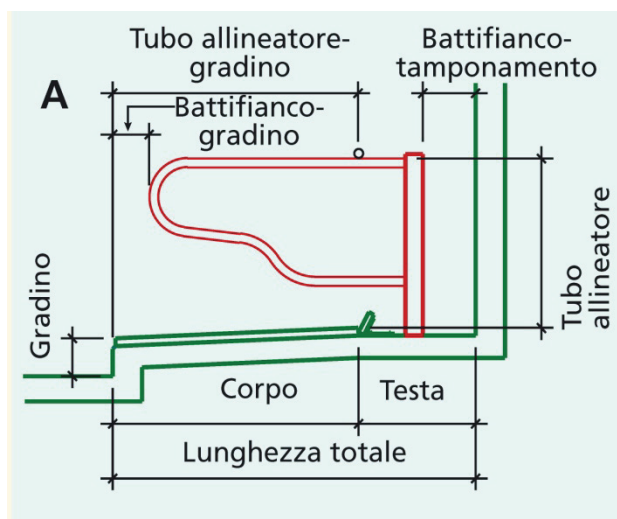


Figura 1.2. Schema di una cuccetta singola con pavimento pieno in pendenza, materassino sintetico e tamponamento anteriore: elementi di base.

Una cuccetta deve essere ben progettata e ben realizzata. La pratica corrente e l'esperienza di tanti allevatori e tecnici dimostrano che in molti casi si commettono errori nel dimensionamento e/o nella realizzazione di determinati particolari costruttivi; nelle situazioni peggiori le cuccette vengono scarsamente utilizzate dai bovini, che preferiscono riposare in altre zone della stalla (corsie di smistamento e di passaggio, zona di alimentazione), con effetti deleteri su benessere, performance produttive, igiene e stato di salute degli animali.

Nelle cuccette si distinguono essenzialmente due parti: la zona per il corpo dell'animale (ZC) e la zona per la testa (ZT). Nel caso di una bovina da latte pluripara del peso vivo di 700 kg, le due diverse zone hanno le seguenti misure (Gastaldo, 2011):

- cuccette a pavimento pieno disposte su fila singola: ZC di 1.72 m, ZT di 0.82 m con una lunghezza totale di 2.54 m;
- cuccette a pavimento pieno doppie o contrapposte: ZC di 1.72 m, ZT di 0.48 m con una lunghezza totale di 2.20 m;

- cuccette a buca disposte su fila singola: ZC di 1.72 m, ZT di 0.82 m, cordolo posteriore di 0.14 m con una lunghezza totale di 2.68 m;
- cuccette a buca doppie o contrapposte: ZC di 1.72 m, ZT di 0.48 m, cordolo posteriore di 0.14 m con una lunghezza totale di 2.34 m.

Gli elementi costruttivi che permettono di delimitare le due sezioni della cuccetta sono il tubo allineatore, posto di norma sul tubo superiore dei battifianchi, e il fermo a terra, posto sulla superficie della cuccetta. Entrambi i dispositivi di delimitazione hanno andamento perpendicolare all'asse principale della cuccetta e si sviluppano lungo tutta la fila.

Sistema lettiera-compost

La zona di riposo con lettiera-compost permanente (figura 1.3) è un sistema di conduzione tipico della stalla israeliana, con l'intera superficie interna, priva di cuccette, destinata a lettiera permanente, di facile gestione e con ottimi risultati sul benessere delle bovine.



Figura 1.3. Zona di riposo con lettiera-compost permanente (struttura sperimentale, ARO, Volcani Center, Bet Dagan, Israele)

Tale lettiera è costituita dalle sole deiezioni animali sulle quali passa un trattore con un attrezzo rivoltatore movimentando le deiezioni a una profondità media di 15 cm eseguendo, quindi, un arieggiamento. Con questa lavorazione il materiale viene stabilizzato e, oltre a costituire un comodo giaciglio, non va mai a imbrattare il pelo animale. La superficie corporea degli animali, infatti, si presenta particolarmente pulita e questo fatto è stato riscontrato in ogni stalla che ha scelto tale sistema di gestione della lettiera.

Il sistema israeliano di conduzione della stalla, che prevede che l'intera superficie interna di stalla, priva di cuccette, sia destinata a lettiera permanente, sta trovando sempre più allevatori interessati in diversi Paesi europei. Perché il sistema funzioni, però, deve essere massimo il rispetto per le operazioni di rivoltamento della lettiera e continua attenzione deve essere posta sulla qualità del letame-compost su cui camminano e riposano le bovine. Il letame deve, infatti, trovarsi in buone condizioni fermentative per non attaccarsi al pelo degli animali. L'impegno del rivoltare il letame obbliga una persona per un tempo variabile, a secondo della grandezza di stalla, da 15 a 45 minuti.

Zona d'alimentazione e corsie di passaggio

Nelle stalle per bovine da latte si possono distinguere le aree di stabulazione, destinate alla vita degli animali, e le aree di servizio (corsia di foraggiamento, zona di mungitura). Tra le prime, grande rilevanza ha la zona di alimentazione, la quale è presente in ogni tipologia di stalla libera e destinata principalmente ad ospitare gli animali durante la fase di alimentazione. Gli aspetti fondamentali da considerare per la zona di alimentazione sono il tipo di pavimento della corsia, strettamente connesso al sistema di allontanamento degli affluenti adottato, i parametri dimensionali della corsia, la tipologia di rastrelliere e lo spazio alla mangiatoia.

La pavimentazione della zona di alimentazione può essere piena o fessurata. Nel caso di pavimentazione piena il materiale comunemente usato è il calcestruzzo armato, preferibilmente trattato in superficie con solcature longitudinali e/o trasversali sia per limitarne la scivolosità, aumentando il benessere del piede della bovina, sia per migliorare la pulizia delle corsie. Di norma vengono eseguite rigature della corsia con un disegno a rombi, prevedendo anche una leggera pendenza trasversale (1-1.5%) verso l'asse centrale per favorire il drenaggio della frazione liquida delle deiezioni. Inoltre soprattutto nei casi in cui si possa sfruttare la pendenza naturale del terreno, i pavimenti delle corsie possono essere realizzati con pendenza longitudinale costante dello 0.5-1% verso la testata di uscita degli effluenti. Nel caso di sistemi di pulizia a ricircolo superficiale di liquami le pendenze longitudinali dei pavimenti devono essere almeno dell'ordine del 2-4% al fine di favorire la completa rimozione delle deiezioni. Nella pavimentazione fessurata, è buona norma prevedere il pavimento pieno per i primi 0.4-0.5 m adiacenti alla rastrelliera per offrire un appoggio più sicuro degli arti anteriori degli animali alla mangiatoia durante l'alimentazione. Negli ultimi anni è sempre più cresciuta l'installazione di pavimenti deformabili di gomma nelle corsie sia a pavimento pieno che fessurato.

Il dimensionamento in larghezza della zona di alimentazione deve tenere conto dello spazio occupato da un animale alla mangiatoia e di quello posteriore necessario al passaggio di uno o due animali in transito (complessivamente 3.5 m circa). Secondo la tipologia della zona di riposo adottata il dimensionamento della zona di alimentazione può variare da 4.0 a 4.5 m. Invece, lo sviluppo in lunghezza della zona di alimentazione è dimensionato sulla base della larghezza del fronte alla mangiatoia (0.68-0.73 m/capo), prevedendo un posto per ogni bovina nel caso di alimentazione contemporanea.

1.4 Influenza dei parametri ambientali

Lo stato di benessere dell'animale all'interno della struttura di stabulazione è fortemente connesso e condizionato dall'ambiente microclimatico, in altre parole dall'azione e dalla reciproca interazione dei diversi parametri climatici (temperatura, umidità, velocità del vento, radiazione e precipitazione) e ambientali (gas nocivi, polvere e luce). La potenzialità di un ambiente di poter scambiare calore con gli animali dipende notevolmente dalla sua abilità di accettare calore e vapore acqueo; infatti quando l'ambiente risulta ottimale, l'animale è in grado di esprimere al meglio le proprie potenzialità produttive e riproduttive, consentendo la massimizzazione dei risultati economici dell'allevamento.

Temperatura

La temperatura dell'aria è indubbiamente il fattore ambientale di tipo climatico più importante e maggiormente studiato. È stata dimostrata una sua azione diretta sulla produzione di latte, sul consumo di alimento, sull'accrescimento, sull'indice di conversione alimentare, sullo stato sanitario e su alcune caratteristiche attinenti alla sfera riproduttiva (Armstrong, 1994). L'azione di questo parametro è sempre legata a quella di altri fattori climatici che ne rafforzano o ne indeboliscono gli effetti, siano essi positivi o negativi per l'animale. La sola temperatura dell'aria non sempre è sufficiente ad identificare il livello termico dell'ambiente d'allevamento; infatti, a parità di temperatura dell'aria, le condizioni termiche nelle quali si vengono a trovare i bovini possono

essere molto diverse a seconda dell'entità delle perdite o delle assunzioni di calore per irraggiamento e in funzione dell'interazione con l'umidità (THI).

La situazione in cui si hanno le migliori performance produttive è la zona di neutralità termica o zona Termoneutrale (TNZ) cioè quella gamma di temperature in cui un animale non deve attivamente regolare la relativa temperatura corporea e dove la bovina da latte esprime la massima produttività (Kadzere et al., 2002). Generalmente il range della zona Termoneutrale limitata al relativo limite superiore dalla temperatura critica superiore (UCT) ed al relativo limite più basso dalla temperatura critica inferiore (LCT) dipende dalla età, specie, razza, metabolismo, composizione della dieta, stato di acclimatazione, produzione, tipo di stabulazione, tessuto di isolamento e dal comportamento dell'animale. Al di sopra della UCT l'incremento della temperatura corporea influisce negativamente sulle performance, riduce la produzione di latte e dà inizio allo stress da caldo (Kadzere et al., 2002). La temperatura critica superiore determina anche un incremento della sudorazione e della perdita d'acqua dalla respirazione, e un incremento della temperatura corporea (Berman et al. 1985). La determinazione della soglia critica di temperatura ambientale oltre la quale si verificano cali significativi nella produzione di latte è stato indagato da numerosi ricercatori.

I primi fondamentali studi sono stati condotti da Yeck e Stewart (1959), che hanno dato luogo ad un grafico che costituisce ancora oggi la base di ogni ragionamento sugli scambi di calore tra animale e ambiente. In tale ricerca la soglia critica di temperatura, a fini produttivi, risulta collocabile, per vacche di razza Frisona, attorno ai 21°C, con perdite realmente significative al di sopra dei 24°C. Berry et al. (1964), con prove di laboratorio a temperatura costante, hanno individuato un declino di produzione al disopra di 24°C in misura del 5% per ogni grado. Anche Baeta et al. (1987), con analoghe prove di laboratorio, hanno individuato una soglia critica attorno ai 24°C. Alle stesse conclusioni sono giunti pure Ravagnolo et al. (2000), ma con analisi condotte per più anni in una pluralità di allevamenti. Mc Dowell et al. (1976), sempre con indagini in allevamenti, hanno determinato un calo produttivo del 1.5% per grado, oltre i 20°C e fino a 30°C.

L'effetto della durata dell'esposizione a condizioni stressanti è stato in particolare analizzato da Broucek et al. (1998), i quali hanno riscontrato, con indagini di laboratorio a temperatura costante di 34°C, un peggioramento delle prestazioni progressivamente crescente durante i tre giorni di prova; Spiers et al. (2004) hanno riscontrato, un continuo peggioramento della produzione fino al quarto giorno di esposizione a temperatura costante di 34.5°C. I primi autori hanno stimato un calo del 4% per ogni giorno di esposizione; i secondi, un calo del 5% sempre per giorno.

E' stato dimostrato che l'effetto dell'esposizione ad alte temperature risulta, in parte o addirittura totalmente, mitigato dall'abbassamento dei valori che si verifica nel periodo notturno. I già citati Broucek et al. (1998) hanno osservato che simulando l'effetto giorno-notte, ossia alternando un periodo di 6 ore con temperatura a 34°C ed uno di 8 ore a 23°C, non si verificavano cali significativi di produzione. L'effetto mitigatore dello stress da caldo prodotto dalle più favorevoli condizioni notturne è stato osservato in diverse esperienze condotte in allevamento. In particolare Frazzi et al. (2003) hanno rilevato che se la temperatura notturna scende al di sotto di 18°C gli effetti negativi delle temperature diurne (fino a 33°C) risultano praticamente nulli.

Altri autori (Igono et al. 1992; Calamari et al., 1994) hanno sostanzialmente confermato questo risultato, ma solo se la temperatura media giornaliera non supera i 27°C. Berman (2005) ha considerato anche l'influenza del livello produttivo sulla temperatura critica superiore. Sviluppando un modello teorico volto a determinare una soglia di stress sulla base del ritmo respiratorio indotto ha concluso che vacche con produzione giornaliera di 45 kg di latte hanno una soglia critica più bassa di 5°C rispetto a vacche che producono 35 kg di latte al giorno.

Umidità relativa

L'effetto negativo delle alte temperature è indubbiamente aggravato se agli elevati livelli termici si associano elevati livelli di umidità relativa. Secondo Baeta et al. (1987), a 22°C si comincia ad

avvertire un effetto negativo sulla produzione quando i valori di umidità superano il 60%; dai 26°C in su, gli effetti negativi sulla produzione si manifestano già con tassi di umidità al di sopra del 40%, con una riduzione dell'ordine di 2 punti percentuali ogni 5% in più di umidità fino a circa 28°C e del 3% fra i 30 e i 34°C. Maust et al. (1972), suggerisce un tasso di umidità relativa del 70% come limite superiore compatibile con il comfort e le performance produttive di bovine da latte, risultati che sono supportati anche da studi più recenti (Khongdee et al., 2006), anche se in misura minore con un limite superiore del 60% di umidità relativa a 30 °C, in condizioni stabulative europee (Seedorf et al., 1998). In animali con elevata produzione di calore metabolico, lo stress da caldo si presenta quando l'umidità relativa è superiore a 75% con temperatura ambientale maggiore di 23°C (Bohmanova et al., 2007).

Temperature Humidity Index (THI)

L'azione combinata dei parametri temperatura e umidità relativa è stata largamente analizzata adottando l'indice THI (Bouraoui et al., 2002; West et al., 2003; St-Pierre et al., 2003; Calamari et al., 1994; Broucek et al., 1998; Igono et al., 1985 e 1992; Ravagnolo et al., 2000). Questo indice viene calcolato con formule diverse, sebbene, ognuna di esse si riferisca alla temperatura ed alla umidità relativa dell'aria. L'abilità dell'indice THI di rilevare lo stato di stress da caldo nelle bovine da latte dipende dal peso che viene dato, all'interno della formula, alla temperatura e all'umidità relativa e questo suggerisce che la scelta della formula di calcolo dovrebbe essere fatta in base alle condizioni climatiche nelle quali verrà applicata (Bohmanova et al., 2007).

In ogni caso, quale che sia la formula di calcolo (tabella 1.1) che si utilizzi, il valore di THI pari a 74 (figura 1.4) rappresenta la soglia al di sopra della quale si evidenziano cali di produzione di latte (Kadzere et al., 2002); Bouraoui et al. (2002) ha invece evidenziato una correlazione significativa tra il THI e la produzione di latte con un decremento di produzione di 0.41 kg per capo e per giorno per ogni punto di THI già al di sopra del valore di 69 mentre altri autori considerano il valore di 72 come soglia critica di stress (Armstrong, 1994; West, 2003).

Tabella 1.1. Differenti formule utilizzabili per il calcolo del Temperature Humidity Index (Bohmanova et al., 2007). Le formule per il calcolo del THI differiscono nella loro capacità di rilevare lo stress da caldo in base alla maggiore o minore importanza data all'umidità all'interno della formula di calcolo.

Formula THI	Fonte
$THI = (0.15 \times Tdb + 0.85 \times Twb) \times 1.8 + 32$	<i>Bianca, 1962</i>
$THI = (0.35 \times Tdb + 0.65 \times Twb) \times 1.8 + 32$	<i>Bianca, 1962</i>
$THI = [0.4 \times (Tdb + Twb)] \times 1.8 + 32 + 15$	<i>Thom, 1959</i>
$THI = (0.55 \times Tdb + 0.2 \times Tdp) \times 1.8 + 32 + 17.5$	<i>NRC, 1971</i>
$THI = (1.8 \times Tdb + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times Tdb - 26) = 0.81 \times Tdb + 0.143 \times RH) + 0.0099 \times RH \times Tdb + 46.3$	<i>NRC, 1971</i>
$THI = (Tdb + Twb) \times 0.72 + 40.6$	<i>NRC, 1971</i>
$THI = Tdb + 0.36 \times Tdp) + 41.2$	<i>Yousef, 1985</i>

Brown-Bradl et al. (2005) hanno utilizzato nella loro sperimentazione una classificazione del THI massimo giornaliero in quattro gruppi in relazione al valore raggiunto. Aharoni et al. (2005) ha confermato che l'effetto di alti valori di THI si ripercuote sul comportamento degli animali nel corso dell'intera giornata.

Al di sopra dei 25-26 °C l'incremento della temperatura influenza negativamente le performance, riducendo la produzione di latte e cambiando la composizione del latte, manifestando nella bovina lo stress da caldo (Berman et al., 1985).

T (°C)	umidità relativa (%)													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
20	62	63	63	64	65	65	66	66	66	67	67	67	68	
21	63	64	65	65	66	66	67	67	68	68	68	69	69	
22	65	65	ASSENZA DI STRESS				68	69	69	69	70	70	71	
23	66	67	ASSENZA DI STRESS				70	70	70	71	71	72	72	
24	67	68	69	ASSENZA DI STRESS				71	71	71	72	72	73	73
25	68	69	70	71	71	72	72	73	73	73	74	74	75	
26	70	71	71	72	73	73	74	74	74	75	75	76	76	
27	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	77	
28	72	73	74	75	75	STRESS MODERATO				77	78	78	79	
29	74	75	75	76	77	STRESS MODERATO				78	79	80	80	
30	75	76	77	77	78	STRESS MODERATO				80	80	81	81	
31	76	77	78	79	79	80	80	81	81	82	82	82	83	
32	78	78	79	80	80	81	82	82	82	83	83	84	84	
33	79	80	81	81	82	82	83	STRESS ELEVATO				85	85	85
34	80	81	82	83	83	84	84	STRESS ELEVATO				86	86	87
35	82	82	83	84	84	85	86	STRESS ELEVATO				87	88	88
36	83	84	84	85	86	86	87	87	88	88	89	89	89	
37	84	85	86	87	87	88	88	89	89	90	90	90	91	
38	85	86	87	88	88	89	90	90	91	91	ESTREMO PERICOLO			
39	87	88	88	89	90	90	91	91	92	92	ESTREMO PERICOLO			
40	88	89	90	90	91	92	92	93	93	94	ESTREMO PERICOLO			

Figura 1.4. Valori di THI in relazione alla temperatura e umidità dell'aria con l'indicazione dello stato di stress termico nelle bovine in lattazione (ASABE, 2006).

Velocità dell'aria

La principale funzione delle correnti d'aria è di provocare, incontrando il corpo dell'animale, un aumento della dispersione di calore per convezione (ASHRAE, 1966). Vari studi hanno preso in considerazione l'importante parametro della velocità dell'aria (Baeta et al., 1987; Frazzi et al., 1998; Calamari et al., 1994; Berman, 2004).

Prove condotte da Frazzi et al. (2000) in condizioni di temperatura che raggiungevano i 31-32°C, hanno evidenziato che una ventilazione meccanica capace di assicurare una velocità dell'aria a livello animale di almeno 0.5 m/s determina una minor perdita di latte dovuta all'effetto dello stress da caldo, oltre a positivi effetti sulla qualità. Berman et al. (1985), facendo indagini in allevamento, hanno stabilito che fino a 24°C la temperatura rettale non è influenzata dalla temperatura o dalla velocità dell'aria, mentre cresce di 0.02°C/kg di latte negli animali con produzione superiore a 24 kg/giorno. In un intervallo fra 26 e 36°C l'incremento della temperatura rettale risulta dimezzato in vacche esposte ad una velocità dell'aria di 1.5 m/s rispetto alla velocità naturale di 0.5 m/s.

Gli effetti della velocità dell'aria sugli animali sono strettamente legati al livello della temperatura ambientale. In situazioni invernali sono preferibili velocità molto basse, onde evitare d'indurre nell'animale un aumento della dispersione di calore; mentre, in condizioni estive, una maggiore velocità dell'aria, fino a 4.5 m/s, è senz'altro favorevole, in quanto accelera l'evaporazione cutanea e la dispersione di calore da parte degli animali (Rossi et al., 2002).

Stress da caldo

Il periodo estivo è caratterizzato nelle lattifere da una condizione di stress che implica notevoli cali nella quantità e qualità del latte prodotto, tanto più evidente quanto più produttive sono le bovine da latte (Bourauoui et al. 2002, Kadzere et al. 2002). Le vacche da latte caratterizzate da alte prestazioni sono gli animali maggiormente sensibili allo stress da caldo (Coppock et al., 1982), per la loro alta

produttività e per la difficoltà che incontrano nell'eliminazione del calore aggiuntivo prodotto (incremento metabolico) con l'ingestione di alimenti.

Lo stress da caldo si manifesta quando le condizioni ambientali determinano un'effettiva variazione della temperatura ambientale che si alza al di sopra della zona termoneutrale (comfort) dell'animale causando un abbassamento della produzione di latte, un abbassamento della percentuale di grasso e proteine, un aumento delle cellule somatiche, un notevole allungamento dell'interparto (anche a causa della maggiore mortalità embrionale), un aumento dei problemi sanitari oltre ad un incremento della mortalità neonatale. La gravità dello stress termico dipende dal valore del THI, dalla durata dell'esposizione al caldo e dallo stato di adattamento dell'animale.

In condizioni di caldo eccessivo la bovina attiva una serie di funzioni che tendono ad aumentare la dispersione di calore: aumento della frequenza respiratoria, sudorazione, aumento dell'ingestione di acqua; ed altre che tendono a ridurre la produzione di calore endogeno, quali: riduzione del consumo di alimento, riduzione dell'attività metabolica, ecc.; al fine di limitare l'aumento della temperatura corporea. L'attivazione delle suddette funzioni e l'ipertermia corporea sono fondamentalmente responsabili degli effetti negativi che il caldo esercita sullo stato metabolico e nutrizionale, sull'efficienza produttiva, sulla performance produttiva e sullo stato di benessere e di salute della bovina da latte.

L'effetto dello stress da caldo può essere accentuato dalla durata del periodo caldo e dalla permanenza durante la notte delle condizioni di stress. Sembrerebbe, infatti, che un periodo fresco notturno consenta agli animali di tollerare alte temperature durante il giorno.

Lo stress da caldo nelle bovine in lattazione tende a ridurre l'ingestione della sostanza secca, il pH ruminale e la secrezione di saliva con una conseguente riduzione dell'attività masticatoria (West, 2003; West et al., 2003; Abeni, 2009). In aggiunta, lo stress da caldo è un fattore importante che contribuisce alla bassa fertilità delle bovine da latte (De Rensis and Scaramuzzi, 2003), limita l'attività e incrementa il tasso respiratorio (West, 2003).

Tra gli effetti dell'incremento della temperatura vengono segnalati anche modifiche comportamentali quali la tendenza a rimanere in piedi quando la temperatura aumenta e, di conseguenza aumenta la temperatura corporea (Hillman et al., 2005). Alcune esperienze hanno evidenziato tale correlazione rilevando il comportamento degli animali mediante la definizione di indici di comportamentali (Overton et al., 2002; Cook et al., 2007).

1.5 Soluzioni impiantistiche e costruttive per la difesa dal caldo e controllo ambientale

La struttura stabulativa, con le relative attrezzature ed impianti, diventa un vero e proprio fattore di produzione in grado di condizionare i risultati produttivi, sia in termini qualitativi che quantitativi, dal quale non si può prescindere se non si vogliono compromettere i risultati economici dell'allevamento. Il controllo ambientale estivo si attua attraverso l'adozione di soluzioni tecnico-costruttive che consentano, da un lato, di limitare il flusso di energia entrante e, dall'altro, di eliminare l'energia prodotta in eccesso all'interno del ricovero.

1.5.1 Tecniche di difesa di tipo passivo

Si considerano di tipo passivo quegli interventi, relativi ai materiali costruttivi ed alla conformazione e disposizione dell'involucro edilizio, finalizzati alla riduzione dell'effetto delle variazioni delle condizioni climatiche esterne su quelle interne.

Isolamento termico

Capacità che hanno gli elementi di tamponamento e la copertura del ricovero di limitare gli scambi di calore tra l'interno e l'esterno; per tale motivo esso occupa una posizione di primo piano nella riduzione dell'effetto delle variazioni della temperatura esterna e della radiazione solare sulla temperatura interna. Un aspetto correlato all'isolamento, o meglio con la dinamica degli scambi di calore tra interno ed esterno, è l'inerzia termica, vale a dire la capacità degli elementi costitutivi dell'involucro edilizio di immagazzinare calore ad una certa temperatura e di cederlo a temperature più basse. Tale caratteristica dipende soprattutto dal peso della costruzione: in presenza di pareti e di coperture pesanti sarà più facile mantenere costanti le temperature interne, anche con condizioni esterne notevolmente variabili. Tale azione è tanto più accentuata quanto maggiore è l'escursione termica giornaliera (D'Archivio, 2007).

Con il progredire delle tecniche costruttive c'è stata la diffusione dell'impiego di materiali isolanti per la coibentazione di pareti e copertura con il compito di contenimento e di protezione dell'ambiente interno dalle avverse condizioni atmosferiche (pareti di tamponamento). Si definiscono, convenzionalmente, isolanti quei materiali il cui coefficiente di conducibilità termica (λ) è inferiore a $0.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, dotati quindi di una resistenza particolarmente elevata al passaggio del calore, proprietà conferita dalla struttura porosa (D'Archivio, 2007). L'impiego di isolanti termici consente, perciò, di limitare la trasmissione del calore attraverso pareti e copertura, riducendo le dispersioni termiche nel periodo invernale e contenendo il surriscaldamento dei locali nel periodo estivo.

Le superfici maggiormente esposte alla radiazione solare riguardano le coperture che possono rappresentare anche l'unico elemento di chiusura del fabbricato destinato all'allevamento zootecnico. La frazione di energia solare captata dal materiale di copertura dipende dalle caratteristiche radiometriche della sua superficie esterna, in particolare dalla riflessività. La riflessività di una superficie ad una fissata lunghezza d'onda è definita come rapporto tra il flusso di energia riflesso e il flusso di energia incidente alla stessa lunghezza d'onda. La riflessione della radiazione da parte di una superficie di un corpo dipende da numerosi fattori tra i quali il colore, la composizione dei materiali, le proprietà elettriche e il tipo di superficie. Un'opportuna scelta della riflessività dei materiali costruttivi può dunque contribuire ad ottenere condizioni ambientali idonee consentendo inoltre significativi risparmi energetici (Vox e Scarascia Mugnozza, 2005).

La riduzione dell'incremento di temperatura interna dovuto alla radiazione solare nel periodo estivo può essere anche ottenuta utilizzando materiali di copertura capaci, oltre che di riflettere, di rimettere sotto altra forma l'energia radiante del sole prima che essa penetri all'interno dei fabbricati zootecnici (Bendahl e Bretz, 1997). Tale meccanismo di dispersione di energia si realizza nel caso di utilizzo di materiali caratterizzati da elevata emissività (Yarbrough e Anderson, 1997).

Risulta quindi opportuno pensare a una nuova e più complessa modellazione degli scambi termici degli edifici che sappia tener conto di tutti i fattori e fenomeni individuati e consenta di ottimizzare le prestazioni rispetto alle diverse situazioni geografiche ed anche rispetto alla variabilità, giornaliera e stagionale, delle condizioni climatiche (Liberati e Zappavigna, 2004).

Ventilazione naturale

La ventilazione rappresenta sicuramente il più importante intervento finalizzato alla creazione ed al mantenimento di un ambiente idoneo alla vita ed al benessere degli animali, nonché alla durata dei materiali edili, delle attrezzature e degli impianti tecnologici presenti nel ricovero. Nel periodo estivo il ricambio deve soddisfare essenzialmente il benessere termico dell'animale, allontanando dal ricovero il calore prodotto dagli animali e quello apportato principalmente ad opera della radiazione solare. La ventilazione naturale è una tecnica semplice ed economica nella quale si sfrutta la forza ascensionale termica dell'aria, il cosiddetto effetto camino, e i movimenti dell'aria causati da vento e brezza, il cosiddetto effetto vento.

L'effetto camino è determinato dalla differenza di densità tra l'aria in entrata, più fresca, e quella in uscita, più calda: si genera una circolazione dell'aria la cui entità risulta direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno, alla differenza di altezza tra le bocche di entrata e quelle di uscita dell'aria ed all'altezza del camino. L'effetto camino è particolarmente evidente qualora ci sia un notevole dislivello tra l'ingresso e l'uscita dell'aria. Per tale motivo, è bene collocare le aperture di uscita nei punti più alti possibile (al colmo del tetto) e quelle di entrata piuttosto in basso sulle pareti (di regola queste coincidono con le finestre): ne consegue che la ventilazione naturale con "effetto camino" darà risultati migliori in edifici con tetto a notevole pendenza (25-30%) rispetto a quelli con tetto piano o poco inclinato. L'effetto vento si produce semplicemente attraverso finestre contrapposte, sfruttando la forza del vento che si incanala attraverso le aperture di aerazione ricavate nel perimetro della struttura: tale fenomeno ha una notevole importanza, sia per l'azione diretta (aria che penetra nel fabbricato) sia che per quella indiretta (aspirazione dell'aria dall'esterno per la depressione creata in prossimità delle finestrate di colmo).

La portata effettiva di ventilazione risulta dalla combinazione dei due effetti "vento" e "camino". Ovviamente è importante che l'orientamento e la localizzazione del ricovero ed il controllo delle aperture consentano di sfruttare in modo sinergico le due forze naturali. La ventilazione naturale è in ogni caso poco controllabile e soggetta, nell'arco della giornata, a notevoli variazioni dovute al mutare dei venti ed al variare della temperatura esterna.

Pianta ed orientamento del fabbricato

L'orientamento riveste un ruolo molto importante nel determinare le condizioni microclimatiche presenti all'interno del ricovero e deve essere studiato attentamente caso per caso. Dall'orientamento dipendono anche le condizioni d'illuminazione e temperatura all'interno dell'edificio durante la giornata o dell'anno. Per un corretto orientamento della stalla è necessario tener conto dei seguenti elementi: protezione contro i venti dominanti, soleggiamento ottimale dell'edificio, posizione in relazione agli altri edifici esistenti e agli ostacoli naturali che potrebbero creare correnti d'aria (effetto corridoio).

In via generale, per edifici di pianta rettangolare e di sezione simmetrica, l'orientamento più efficace sarebbe quello con asse maggiore allineato est-ovest; infatti, questa dislocazione permette di limitare l'esposizione alla radiazione solare degli elementi di chiusura e, quindi, il surriscaldamento del ricovero, e favorire la ventilazione naturale al suo interno per la differenza di temperatura delle due pareti lunghe.

Per una scelta puntuale dell'orientamento si deve tuttavia tenere conto della sagoma dell'edificio e, soprattutto, della distribuzione degli animali e delle funzioni da svolgere al suo interno (Zappavigna e Liberati, 2004). Un altro aspetto importante da considerare per un corretto orientamento del fabbricato durante la fase di progettazione è la collocazione degli altri edifici del centro aziendale; la presenza di ostacoli rilevanti tra la stalla e la direzione da cui il vento dominante proviene può determinare un effetto frangivento non desiderato, con rallentamento del vento stesso e conseguente riduzione della portata di ventilazione nell'ambiente d'allevamento.

Ombreggiamento

Un orientamento ottimale permette di limitare l'esposizione alla radiazione solare degli elementi di chiusura (tamponamenti, serramenti, coperture); tale esposizione può essere limitata non solo dalla coibentazione della copertura, ma anche dalla predisposizione di opportuni ombreggiamenti per le strutture del ricovero e per le aree esterne scoperte (West, 2003). È stato stimato che l'incremento di calore totale può essere ridotto dal 30 fino al 50% con una buona progettazione dell'ombreggiamento del ricovero (Bond e Kelly, 1955), e che l'ombreggiamento è uno dei metodi più semplice ed economico per minimizzare il calore derivante dalla radiazione solare (West, 2003). Le bovine che si trovano in un ambiente ombreggiato, rispetto a bovine non ombreggiate, hanno

una bassa temperatura rettale (38,9-39,4 °C), un ridotto tasso respiratorio e un incremento dal 10% al 19% della produzione di latte (Roman-Ponce et al., 1977; Schneider et al., 1984; Collier et al., 1981). I parametri essenziali da tenere in considerazione durante la progettazione di elementi ombreggianti sono: l'orientamento, la disposizione spaziale, l'altezza, la ventilazione, la struttura di copertura e la posizione degli abbeveratoi e della mangiatoia (Buffington et al., 1983).

Gli elementi o strutture ombreggianti possono essere permanenti oppure mobili. Le strutture mobili offrono alcuni vantaggi rispetto alle strutture permanenti come la possibilità di poter essere spostate a seconda delle esigenze ma offrono minore protezione nei confronti della radiazione solare e hanno una minore longevità (Bucklin et al., 1991).

Materiali costruttivi per ricoveri zootecnici

Insieme con la temperatura dell'aria esterna il fattore determinante per l'instaurarsi di elevate temperature interne è l'elevata quantità di radiazione solare che investe le superfici esterne degli allevamenti e che si trasferisce per conduzione e convezione nell'ambiente interno con uno certo sfasamento temporale. Una tecnica che consente la riduzione di tale apporto di energia è legata all'utilizzo di superfici esterne che riflettano o riemettano sotto altra forma l'energia solare prima che possa penetrare negli strati interni delle superfici di chiusura. Questo può essere ottenuto con superfici esterne che presentino particolari capacità di riflettere la radiazione o comunque di riemetterla sotto altra forma; tale capacità delle superfici è normalmente quantificata mediante le proprietà radiometriche delle superfici quali la riflessività e l'emissività.

Le superfici maggiormente esposte alla radiazione solare riguardano le coperture, che possono rappresentare anche l'unico elemento di chiusura del fabbricato destinato all'allevamento zootecnico. La frazione di energia solare captata dal materiale di copertura dipende dalle caratteristiche radiometriche della sua superficie esterna, in particolare dalla riflessività. La riflessività di una superficie ad una fissata lunghezza d'onda è definita come rapporto tra il flusso di energia riflesso e il flusso di energia incidente alla stessa lunghezza d'onda. La riflessione della radiazione da parte di una superficie di un corpo dipende da numerosi fattori tra i quali il colore, la composizione dei materiali, le proprietà elettriche e il tipo di superficie. Un'opportuna scelta della riflessività dei materiali costruttivi può dunque contribuire ad ottenere condizioni ambientali idonee (Vox e Scarascia Mugnozza, 2005).

1.5.2 Tecniche di difesa di tipo attivo

Il ricorso a sistemi di difesa di tipo passivo, pur essendo la base indispensabile per la realizzazione di ricoveri termicamente confortevoli, non sempre consente di ottenere un ambiente microclimatico accettabile, per cui è spesso necessario il ricorso ad interventi di tipo attivo: essi prevedono l'utilizzo di attrezzature e impianti, più o meno complessi, in grado di modificare alcuni parametri microclimatici correlati al comfort termico dell'animale, come la velocità dell'aria, l'umidità relativa e la temperatura, così da favorire la dispersione del calore da parte degli animali.

Ventilazione artificiale

La ventilazione artificiale è una soluzione impiantistica che permette il mantenimento di condizioni microclimatiche ben definite e, soprattutto, la eliminazione di sbalzi termici, all'interno della zona di stabulazione, allo scopo di garantire il positivo risultato dell'allevamento. L'incremento della velocità dell'aria a livello dell'animale favorisce la dispersione di calore da parte dell'animale stesso. Per contro, si ha un consumo di energia elettrica. La convenienza legata all'adozione di questo sistema deve essere quindi dalla maggior produttività degli animali in relazione alle migliori condizioni ambientali e di comfort ottenibili nel ricovero e all'incremento del benessere animale (Calegari, 2000; Frazzi et al., 2000).

Nelle stalle a stabulazione libera l'area di attesa della mungitura e la zona di alimentazione sono i punti critici in cui è prioritaria l'installazione dei ventilatori: ciò al fine di limitare lo stress termico durante le operazioni di mungitura e di favorire al massimo l'assunzione degli alimenti. In particolare, lungo la zona di alimentazione si consiglia l'installazione di ventilatori assiali di elevata portata, del diametro di 0.9-1.2 m, disposti in linea a una distanza reciproca di 9-12 m e con inclinazione di 15-30° verso l'area pavimentata sottostante il ventilatore successivo; ciò produce un flusso d'aria continuo che dalla testata più fresca della stalla (Nord-Est) si dirige verso la testata più calda, investendo gli animali ad una velocità di circa 3 m/s. Già ad una velocità di 0.5-1 m/s la ventilazione artificiale fa sentire i suoi effetti positivi (Frazzi et al., 1998); mentre altri autori indicano valori ottimali fra i 2 e i 3 m/s (Turner, 1992).

Sistemi di raffrescamento

La semplice ventilazione artificiale permette di migliorare sensibilmente le condizioni di comfort termico degli animali; tuttavia, quando la temperatura dell'aria si fa prossima a quella corporea l'effetto si riduce sensibilmente, sino a diventare addirittura negativo nel caso di temperature molto elevate. In questi casi può essere utile abbinare alla ventilazione artificiale un sistema di raffrescamento evaporativo dell'aria (cooling by air) o direttamente dell'animale (cooling by surface). Sostanzialmente, il principio fisico alla base dei due sistemi di raffrescamento è lo stesso, cioè quello della trasformazione di calore sensibile in calore latente; la differenza sostanziale è rappresentata dal fatto che, mentre il cooling by air determina l'abbassamento della temperatura ambiente, con conseguente aumento della dispersione di calore in forma sensibile da parte dell'animale, il cooling by surface permette la perdita di grandi quantitativi di calore in forma latente.

Cooling by air. In questo caso il controllo delle alte temperature estive si può ottenere facendo evaporare dell'acqua nell'aria di rinnovo, in modo che questa, fornendo il calore sensibile necessario all'evaporazione, riduca la sua temperatura: si tratta di un fenomeno che avviene senza flussi di energia, con sostituzione di una quota di calore sensibile con una di calore latente, per cui l'aria che va a contatto con gli animali è più fresca di quella esterna, anche se più umida. È evidente che la diminuzione di temperatura sarà tanto maggiore quanto minore è l'umidità dell'aria trattata, per cui anche in zone, come la pianura padana, in cui le alte temperature estive sono spesso accompagnate da elevata umidità relativa, tale sistema può essere convenientemente utilizzato nelle ore più calde della giornata, nelle quali l'umidità relativa si abbassa sensibilmente, con valori attorno al 50%. Gli impianti preposti all'attuazione del cooling by air sono piuttosto semplici: nel caso di ventilazione in estrazione si utilizzano in genere sistemi Pad-and-Fan (pannelli di materiale poroso tenuti costantemente umidi da una corrente d'acqua in ricircolo) applicati alla bocca di entrata dell'aria (CIGR, 2006); se l'impianto è in pressione, si può far passare l'aria in entrata attraverso dei nebulizzatori (Fogging system), i quali polverizzano l'acqua per facilitarne l'evaporazione. Tali trattamenti permettono di ridurre la temperatura interna anche di 3-4°C, consentendo agli animali di smaltire una maggior quota di calore sensibile, senza modificare in maniera significativa la dispersione di calore latente. Queste tipologie di impianti sono molto diffusi, ad esempio, nel settore avicolo, ma recentemente sono utilizzati anche per i bovini da latte, in particolar modo in paesi con clima mediterraneo caldo secco come Israele (CIGR, 2006).

Lo schema di funzionamento di questi sistemi di raffrescamento è riportato in figura 1.5 in due differenti condizioni: con ventilazione forzata (a) e in condizioni di ventilazione naturale (b).

Cooling by surface. Tecnica basata sul raffrescamento diretto dell'animale (Sprinkling), condizione che si ottiene bagnando direttamente l'animale con acqua per poi sottoporlo a ventilazione artificiale al fine di esaltarne le perdite di calore in forma latente. Secondo Gebremedhin et al. (2000) la quantità di calore che una vacca da latte riesce a disperdere attraverso la bagnatura sarebbe di dieci volte superiore a quella consentita dal cooling by air. Gli ugelli o irrigatori sono in genere posti in linea in corrispondenza della rastrelliera della mangiatoia, provvedendo all'aspirazione di acqua

sulle bovine e sull'intera superficie della zona di alimentazione, cosicché l'evaporazione dell'acqua provoca un abbassamento di temperatura della cute dell'animale e della pavimentazione.

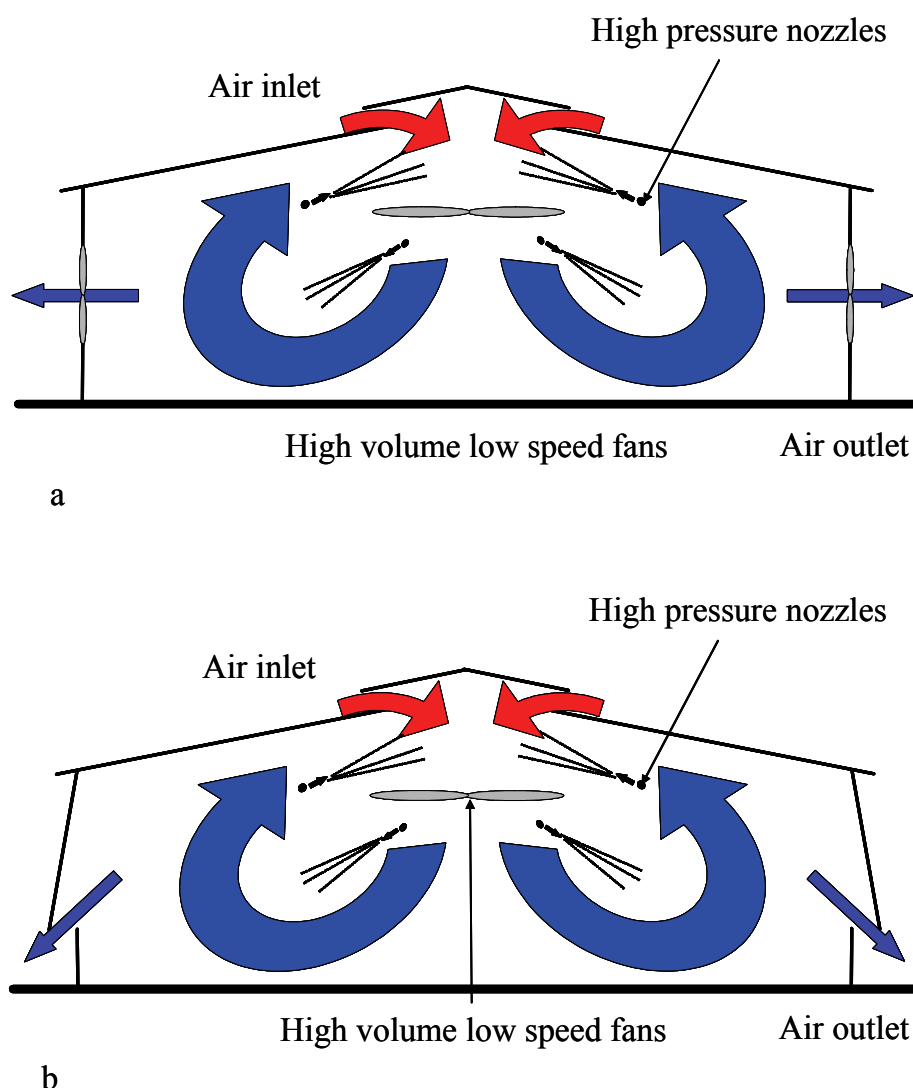


Figura 1.5. Rappresentazione schematica del principio di funzionamento del sistema di raffreddamento con nebulizzazione: (a) ventilazione forzata e (b) ventilazione naturale (CIGR, 2006).

1.6 Influenza della gestione dell'allevamento: l'alimentazione e la mungitura

Negli ultimi anni le indicazioni progettuali per le strutture di stabulazione delle bovine da latte hanno ridotto notevolmente le superfici scoperte e in genere, i paddock. Ciò ha ridotto gli spazi disponibili per la circolazione delle bovine all'interno della stalla, condizionandone gli spostamenti e la permanenza in alcune aree. Questa riduzione degli spazi disponibili ha influenzato anche la gestione dell'allevamento e in particolar modo alcune operazioni gestionali come la mungitura e l'alimentazione. Interessanti, a questo proposito, alcune esperienze come quella di Mentink e Cook (2006) che hanno valutato l'effetto della disponibilità di spazio in zona di alimentazione sulle modalità di assunzione dell'alimento, concludendo che un diverso layout della stalla e la disponibilità di posti in rastrelliera si riflettono in una modifica del comportamento degli animali e

delle modalità di assunzione dell'alimento. La criticità di questi aspetti è sicuramente più rilevante quando si introducono sistemi di automazione di alcune operazioni come la mungitura robotizzata e la preparazione e distribuzione dell'alimento con sistemi automatici (AFS). In questa condizione, infatti, i flussi delle bovine e i tempi di permanenza nelle varie zone della stalla risultano uno degli aspetti ancora da approfondire per ottimizzare le prestazioni dei diversi sistemi impiegati, come confermato dai numerosi studi sull'argomento recentemente condotti (Melin et al., 2005; Choinière & Lemay, 2007; Oostra et al., 2005; Pastell et al., 2005).

L'interesse crescente per il cosiddetto "comportamento alimentare" delle bovine da latte, definito come l'insieme di tutti quei fattori che caratterizzano l'assunzione degli alimenti nel corso della giornata, è motivato soprattutto dalla convinzione che la sua gestione possa migliorare l'ingestione della sostanza secca, che viene considerato uno dei maggiori fattori di limitazione alla piena estrinsecazione delle potenzialità produttive degli animali allevati.

Fattori dipendenti dagli animali, altri di tipo manageriale e altri ancora legati alle caratteristiche della razione e degli alimenti influenzano l'ingestione di sostanza secca e il comportamento alimentare degli animali. Per quanto riguarda i fattori intrinseci, animali più produttivi mostrano una ingestione di sostanza secca più alta e un comportamento alimentare più intenso ed aggressivo rispetto ad animali meno produttivi.

I fattori estrinseci sono molteplici e comprendono tutti quegli aspetti che possono essere, in parte, ottimizzabili dall'allevatore. Tra i fattori estrinseci più significativi c'è la gestione dei gruppi: se eccessivamente numerosi ed eterogenei al loro interno possono, infatti, influenzare negativamente il comportamento alimentare e il consumo di alimenti. Premesso che per qualsiasi azienda zootecnica il sistema di alimentazione deve essere finalizzato a favorire un comportamento alimentare intenso, specialmente nelle vacche da latte, vale la pena di precisare che idonei sistemi di allevamento ed un adeguato management assicurano un normale comportamento alimentare, con miglioramento del comfort e del benessere degli animali. Per esempio, l'accesso all'alimento durante i periodi della giornata nei quali l'animale vuole mangiare, come l'uscita dalla sala mungitura, stimola una maggiore attività alimentare. Allo stesso modo, un'adeguata strategia di gruppo può ridurre la competizione alla mangiatoia e migliorare l'ingestione di alimento. Il comportamento alimentare e l'ingestione di sostanza secca sono però fortemente influenzati anche da fattori che dipendono dall'animale e dalle condizioni ambientali, in particolare dallo stress da caldo.

Durante i periodi particolarmente caldi dovrebbero essere utilizzate strategie alimentari che stimolino l'ingestione di sostanza secca negli animali (aumento delle somministrazioni al giorno, anche 6 - 8 volte; somministrazione di alimento fresco, atta a stimolare l'ingestione nelle vacche da latte). Risultati positivi si potrebbero, inoltre, avere somministrando gli alimenti in punti particolarmente freschi della stalla o appena dopo la mungitura, dove più intensa è l'attività alimentare degli animali.

Nell'allevamento delle bovine da latte, è pratica comune distribuire la razione alimentare giornaliera una o due volte al giorno (soprattutto durante il periodo estivo) con l'obiettivo di ridurre al minimo il costo della manodopera impiegata per la preparazione e la distribuzione dell'alimento. Tuttavia, negli ultimi anni sono stati sviluppati dei sistemi robotizzati in grado di automatizzare completamente l'alimentazione con distribuzione della razione più frequente e un impiego di manodopera veramente limitato. Questi sistemi robotizzati richiedono però un investimento piuttosto oneroso e tuttora in Italia sono ancora in una fase sperimentale.

La distribuzione degli alimenti nel corso della giornata può influenzare significativamente il comportamento degli animali. L'effetto della frequenza di distribuzione della razione alimentare giornaliera sulle prestazioni delle bovine da latte è stato esaminato in molti studi. In una revisione di 35 differenti studi, Gibson (1984) ha concluso che l'aumento della frequenza di alimentazione a 4 o più volte al giorno, rispetto a una o due volte al giorno, ha determinato un aumento della percentuale di grasso del latte in media del 7.3% e un aumento della produzione di latte del 2.7%. Negli studi esaminati, tuttavia, la tecnica di alimentazione utilizzata (alimentazione con concentrati

e foraggi separati) rispetto alla tecnica unifeed non consente di applicare direttamente i risultati alla situazione attuale con bovine ad alta produzione e TMR. Ricerche più recenti con tecniche di alimentazione basate sul TMR hanno dato però risultati variabili. Secondo Shabi et al. (1999) e Le Liboux e Peyraud (1999), aumentando il numero delle distribuzioni da 1-2, a 4-6 si aumenta l'ingestione della S.S. della razione, ma non si hanno effetti sulla produzione di latte. Contrariamente a questi risultati, in uno studio di Phillips e Rind (2001), l'ingestione della S.S. e la produzione di latte sono stati superiori con un'unica distribuzione giornaliera rispetto a 4 distribuzioni al giorno. Phillips e Rind (2001) hanno concluso che frequenti distribuzioni possano agitare le bovine e ridurre la produzione di latte.

La struttura stabulativa può modificare il comportamento alimentare delle bovine da latte (Albright e Arave, 1997) e quindi alterare l'effetto della frequenza di somministrazione sulle performance delle bovine. E' stato anche dimostrato che il comportamento alimentare di bovine ad alta produzione è sostanzialmente differente dal comportamento di bovine a bassa-media produzione (Grant e Albright, 2000), quindi la capacità produttiva della bovina può influenzare la sua risposta a diverse frequenze di distribuzione della razione giornaliera. Secondo Mäntysaari et al. (2006) l'aumento della frequenza di distribuzione giornaliera (da 1 a 5) non ha dato effetti ne sulla produzione ne sulla composizione del latte, ma le bovine alimentate con una sola distribuzione giornaliera hanno fatto registrare un consumo maggiore di razione rispetto alle bovine alimentate con 5 distribuzioni. La più elevata ingestione di S.S. tenderebbe a ridurre la conversione di energia e proteine mentre sulla base delle osservazioni del comportamento alimentare sembrerebbe che frequenti distribuzioni possono incrementare lo stato di agitazione delle bovine riducendo il tempo di riposo in cuccetta.

Fino ad oggi un notevole numero di ricerche è stato incentrato sul miglioramento dell'ingestione di sostanza secca delle bovine in lattazione, modificando la composizione nutritiva della razione alimentare. Tuttavia, l'ingestione di sostanza secca di bovine da latte in lattazione è influenzata anche dal comportamento alimentare, che è modulato da fattori ambientali, gestionali, dallo stato di salute, e dalle interazioni sociali (Grant e Albright, 2000). La distribuzione dell'alimento e il ritorno dalla mungitura stimola l'attività alimentare delle bovine (De Vries et al. 2003a), in particolare è stato ulteriormente dimostrato che la distribuzione dell'alimento e l'operazione gestionale che ha il maggiore impatto sulle bovine da latte in termini di stimolo all'assunzione della razione (DeVries et al., 2005). L'aumento della frequenza di distribuzione della razione consente alle bovine di incrementare il tempo giornaliero dedicato all'alimentazione e la sua ripartizione durante la giornata; inoltre migliora l'accesso all'alimento fresco a tutte le bovine riducendo potenzialmente la variazione in termini qualitativi della razione consumata dagli animali (DeVries et al., 2005).

Con l'incremento della frequenza di distribuzione dell'alimento è stata ottenuta, nel caso delle bovine subordinate, anche una riduzione del fenomeno di allontanamento dalla mangiatoia, quindi un migliore accesso all'alimento, in particolare con alimento fresco. Le bovine da latte hanno la tendenza di selezionare l'alimento; infatti, le bovine che per prime visitano la mangiatoia assumono gli alimenti più appetibili e più ricchi rispetto alle bovine che vanno in mangiatoia più tardi. Secondo De Vries et al. (2005) aumentando la frequenza della distribuzione da una a due somministrazioni giornaliere si ottiene una riduzione della selezione dell'alimento. Quindi, alimentando più volte durante il giorno si riduce la variazione in termini di tempo speso in alimentazione e la qualità della razione ingerita dalle bovine.

Promuovere l'assunzione di alimento nelle bovine da latte in lattazione è un fattore critico in termini di miglioramento della produzione di latte, della salute e la condizione del corpo dell'animale (Grant e Albright, 1995). Grant e Albright (2000) esaminando gran parte della letteratura presente hanno concluso che i fattori gestionali come le strategie di raggruppamento degli animali, la progettazione del sistema di alimentazione ed attrezzature/macchinari, la composizione e le caratteristiche fisiche della razione, così come le gerarchie sociali all'interno della mandria e la concorrenza per l'alimento e l'acqua influenzano tutti il comportamento alimentare degli animali allevati.

Sistema di mungitura volontario (VMS)

Le gerarchie sociali degli animali sono molto importanti quando la disponibilità dell'alimento o dell'acqua diventano un fattore limitante o soggetto a restrizioni. Queste limitazioni possono essere sia di natura spaziale (accesso alla mangiatoia) che temporale. Normalmente gli animali dominanti hanno accesso senza ostacoli alle risorse limitate, mentre gli animali subordinati non possono raggiungerle o sono allontanati. Quando in una struttura stabulativa si usa il sistema di mungitura robotizzata la zona di alimentazione diventa per gli animali allevati una risorsa soggetta a restrizioni, anche in relazione alla tipologia di traffico utilizzata. Quindi gli effetti sul comportamento alimentare che possono essere previsti dipenderanno dalla posizione sociale di ogni animale all'interno della mandria (Harms e Wendl, 2005). Secondo Harms e Wendl (2005) riducendo l'accesso alla zona di alimentazione convertendo il traffico da libero a guidato si incrementa la differenza, in termini di accessibilità all'alimento, tra le bovine dominanti e quelle subordinate.

L'introduzione del sistema di mungitura robotizzata non solo ha portato un regime di mungitura totalmente nuovo e innovativo ma ha predisposto anche un nuovo sistema di alimentazione per le bovine da latte (Melin et al., 2005).

Sistemi automatici per la preparazione e distribuzione dell'alimento (AFS)

Le modalità di alimentazione delle bovine da latte assumono un ruolo di grande importanza negli allevamenti moderni sia per gli aspetti economici implicati che per quelli tecnologici. Infatti, i costi degli alimenti zootecnici e le crescenti quantità utilizzate annualmente in allevamenti di dimensioni sempre più grandi, obbligano ad un loro utilizzo sempre più efficiente. Recentemente, sono stati sviluppati dei sistemi automatici (Automatic Feeding Systems o AFS) in grado di preparare e distribuire razioni unifeed con un intervento limitato da parte dell'operatore. Questi sistemi sono basati sia su tecnologie già esistenti ed utilizzate per distribuire automaticamente singoli ingredienti (concentrati, insilati, fieni), sia su concetti totalmente innovativi.

Uno degli aspetti emergenti più interessanti riguarda l'inserimento dei sistemi automatici per l'unifeed sia in stalle esistenti che nuove facendo emergere inedite possibilità di progettazione degli edifici e degli stoccaggi.

Uno degli aspetti che maggiormente caratterizza un sistema automatico per l'unifeed è la possibilità di aumentare la frequenza di preparazione/distribuzione della razione da 1 fino a 15 volte al giorno. Questa modalità operativa sembra produrre uno stimolo all'attività di assunzione di cibo da parte delle bovine le quali sono già naturalmente predisposte ad effettuare numerosi piccoli pasti giornalieri. Ad esempio, recentissime ricerche su bovine da latte hanno fatto registrare una frequenza di 7-9 pasti al giorno, con una durata di ogni singolo pasto di 36-38 minuti ed un quantitativo di razione consumata per pasto di 2.0-3.5 kg (Azizi et al., 2009). Questi risultati, nella pratica, sono fortemente influenzati dalle modalità di gestione dell'allevatore. Altre ricerche, ad esempio, chiariscono che la frequenza di distribuzione dell'unifeed può ridurre la competizione alimentare tra gli animali e la quantità di scarto lasciato in mangiatoia (DeVries et al., 2005; Mantysaari et al., 2006; Oostra et al., 2005; Pompe et al., 2007).

Questi risultati fanno intuire inedite possibilità progettuali per gli edifici zootecnici che dovranno essere in grado di integrare diversi sistemi automatici come quello di mungitura, di alimentazione, di pulizia, di attività o riposo, di rilevamento dei calori, ecc.

I sistemi automatici di distribuzione e preparazione dell'unifeed possono essere distinti in base alla possibilità di alimentare gli animali individualmente o per gruppi. L'unifeed individuale è stato sviluppato per alimentare le singole bovine con razioni calibrate individualmente in base alla produzione di latte di ciascuna. Un prototipo di questo sistema oggi sviluppato e non in commercio è l'Atlantis di Lely concepito per operare in sinergia con i robot di mungitura. Il sistema prepara la razione quando la vacca si presenta in mangiatoia e le fornisce una piccola quantità di unifeed per

ogni pasto (circa 1 kg) per fare in modo che l'animale consumi tutto l'alimento evitando la selezione degli ingredienti più appetiti e l'eventuale scarto. Nei sistemi per gruppi (figura 1.6), gli animali sono alimentati con razioni bilanciate per gruppi anche molto piccoli di animali anche in combinazione con auto-alimentatori (sia in stalla che in sala/box di mungitura) per pervenire ad un'alimentazione il più possibile "di precisione". In questo caso possiamo distinguere i modelli proposti sulla base del modo di distribuzione (stazionario o mobile) oppure in base al modo di preparazione della razione (miscelatori fissi o mobili).



Figure 1.6. Sistema automatico di distribuzione e preparazione dell'unifeed per gruppi mobile con vagone distributore e miscelatore su rotaia.

Le tipologie dei sistemi automatici per l'unifeed possono essere rappresentate schematicamente come in figura 1.7 (Bisaglia et al., 2010).

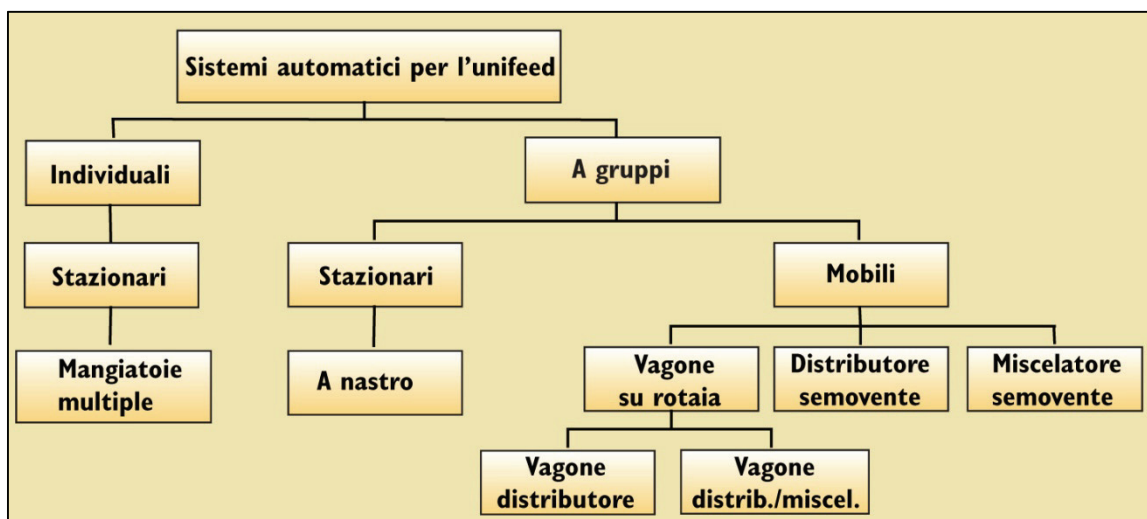


Figure 1.7. Schema delle principali tipologie di sistemi automatici per l'alimentazione fino ad oggi sviluppate (Bisaglia et al., 2010).

Uno degli aspetti che maggiormente caratterizzano i sistemi automatici per l'unifeed riguarda la possibilità di aumentare la frequenza di distribuzione in modo da gestire l'ingestione di alimento, stimolare l'attività delle bovine, ridurre lo scarto in mangiatoia e adattare il volume di razione da distribuire alle dimensioni del gruppo di animali. Nel caso della tecnica convenzionale il razionamento avviene con 1-2 distribuzioni al giorno intervallate da un numero variabile (3-5, nel maggior numero di casi) di riavvicinamenti della razione in mangiatoia. Questa prassi, da un punto di vista gestionale, non si discosta molto dalle più tradizionali tecniche di alimentazione ad libitum, in cui gli animali dispongono di un quantitativo decrescente di alimento nelle 24 ore e dove l'allevatore ha ben poche possibilità di intervenire sul ritmo di assunzione del cibo. Nel caso della distribuzione automatizzata con AFS, è possibile ripartire la razione giornaliera in più distribuzioni con alcuni risultati inediti. In tal caso, la minor quantità distribuita ad ogni foraggiata può indurre gli animali a ridurre la selezione degli ingredienti, portandoli a consumare l'intero quantitativo offerto con poco scarto. Tale strategia può prevedere delle varianti grazie alla possibilità di allungare l'intervallo di distribuzione nelle ore più calde (ad esempio ogni 4-5 ore) oppure riducendo i quantitativi preparati nelle ore notturne (8-10% della quantità giornaliera), agendo sulle impostazioni del sistema.

I sistemi automatici per la preparazione dell'unifeed (Afs) costituiscono la più recente e inedita possibilità tecnologica per supportare gli allevatori nel gestire il razionamento delle mandrie. Diverse soluzioni tecniche sono già oggi disponibili ed altre sono in fase di sviluppo molto avanzato. Le strategie di alimentazione evidenziate anche in alcuni allevamenti nordeuropei consentono di intravedere molteplici benefici, anche se, ulteriori ricerche sono necessarie per stabilire linee guida per la progettazione di stalle completamente automatiche (alimentazione, mungitura, pulizia), per valutare gli effetti sul benessere e sul comportamento delle bovine.

1.7 Studio e analisi del comportamento

Lo studio del comportamento animale è ritenuto essenziale per la valutazione dello stato di benessere in differenti tipi di stabulazione e per lo sviluppo di sistemi di allevamento che permettano di conciliare elevati livelli produttivi e benessere animale (Haley et al., 2001). Il comportamento è sempre più usato come indicatore del comfort animale (Cook et al., 2005) e in particolare, il tempo che la bovina da latte trascorre a riposo e altri parametri legati al riposo (lateralità, frequenza e durata dei periodi di riposo) sono stati individuati come misure sensibili del comfort della cuccetta e della struttura (Haley et al., 2000) e sono utili indicatori di benessere degli animali (Fregonesi e Leaver, 2001).

Con il passaggio alla stabulazione libera e con la concentrazione degli allevamenti si è modificata la relazione uomo/animale riducendo così il tempo dedicato all'osservazione diretta del comportamento degli animali. Inoltre al progresso genetico non sempre ha fatto seguito un adeguato progresso della gestione. Di fatto l'elevata produttività, ha comportato, per l'animale, una potenziale maggiore reattività agli stress ed effetti indesiderati su salute e riproduzione e l'impossibilità di poter manifestare i loro comportamenti basilari: le condizioni di allevamento, infatti, sono molto diverse da quelle naturali nelle quali si sono evoluti.

Da molti studi emerge chiaramente che un animale ha bisogno di estrinsecare, ogni giorno, alcune attività comportamentali di base, dedicando a ciascuna di esse un numero di ore che sia conforme alle sue esigenze fisiologiche. La distribuzione delle varie attività nell'arco della giornata costituisce il bilancio del tempo, tecnicamente definito "Time budget" dell'animale.

Nel caso della bovina da latte, la progettazione e layout della stalla (Drissler et al., 2005; Fregonesi et al., 2007b; Tucker et al., 2003), la gestione dell'alimentazione e della mungitura (DeVries and von Keyserlingk, 2005; Overton et al., 2002), le modalità di gestione dei gruppi e la densità dell'allevamento (Fregonesi et al., 2007a), le dimensioni, la configurazione e la posizione delle cuccette (Tucker et al., 2004, 2006; Wagner-Storch et al., 2003) e la tipologia di pavimentazione

(Fregonesi et al., 2004) condizionano il comportamento degli animali che, entro certi limiti di variabilità ambientale, sono in grado di ridistribuire in maniera equilibrata le proprie attività.

Nella tabella 1.2 vengono riportati alcuni valori di tempo che le bovine da latte in lattazione occupano nelle diverse attività comportamentali giornaliere. Sommando il tempo dedicato alle attività fondamentali, come il riposo e l'alimentazione, si copre una buona parte della giornata.

Quando i fattori esterni impongono una deviazione dall'ordinario Time budget della mandria oltre certi limiti, ne possono derivare conseguenze negative sul piano della salute, del benessere animale e della produttività della mandria (Grant e Albright, 2000).

Se il bilancio tra le ore giornaliere di riposo ritenute necessarie e quelle realmente disponibili per gli animali diventa negativo, si hanno ripercussioni negative sul livello di produzione. I vantaggi riconosciuti del riposo in decubito sono: una più efficace ruminazione, un risparmio del carico degli arti (specie i posteriori che devono sostenere anche il peso della mammella), un aumento del flusso di sangue alla ghiandola mammaria e un aumento dell'assunzione di alimento. Ciascuno di questi fattori contribuisce, seppure in misura diversa, a un incremento della produzione giornaliera di latte (Grant e Albright, 2000).

Tabella 1.2. Tempi delle diverse attività di vacche in stabulazione libera (Speroni e Federici, 2006)

Attività	Ore/giorno	Fonte
	3-5	Grant e Albright (2000)
Alimentazione	4,1-6,5	Metz (1974); citato da Albright e Arawe (1997)
	5,5	Matzke (2003); citato da Grant (2005)
	6,5	Albright (1993)
Riposo	12-14	Grant e Albright (2000)
	11,8-14,1	Matzke (2003); citato da Grant (2005)
	8	Albright (1993)
Ruminazione	11,54	Dechamps et al. (1989)
	7-10	Grant e Albright (2000)
	7,7-9,6	Metz (1974); citato da Albright e Arawe (1997)
Interazioni sociali	8	Albright (1993)
	2-3	Grant e Albright (2000)
Assunzione di acqua	0.30	Grant e Albright (2000)
Mungitura e altre operazioni di stalla	2.5-3.5	Grant e Albright (2000)

Il comportamento delle bovine è fortemente influenzato anche dalle condizioni ambientali, in particolare dalle condizioni di stress termico, e dalle malattie podali che condizionano il tempo che le bovine dedicano al riposo e l'inattività in piedi (Cook et al., 2007). In aggiunta a fattori di tipo ambientale e a fattori legati alla gestione dell'allevamento, il riposo delle bovine da latte è influenzato anche da fattori sociali e di gerarchia della mandria, dai livelli produttivi e dallo stato generale di salute della bovina (Fregonesi and Leaver, 2001; Walker et al., 2008).

1.8 Metodologie e tecnologie per il monitoraggio degli animali: misura e valutazione del comportamento

Come in ogni altro settore della ricerca scientifica anche nello studio del comportamento animale l'indagine tende a individuare quali sono i fattori che causano un determinato fenomeno, a dare una "spiegazione" di un certo effetto o, più in generale, a rispondere ai perché che si pongono alla nostra mente quando guardiamo od osserviamo con occhio critico un determinato susseguirsi di eventi. E ovvio che prima ancora di porsi la domanda del perché, occorre porsi la domanda sul

“come” si estrinseca un atto comportamentale. La descrizione delle caratteristiche di ogni comportamento deve rispettare i criteri dell'indagine scientifica e deve seguire una metodologia condivisa e accettata dalla comunità dei ricercatori del settore affinché possa definirsi oggettiva e riproducibile. L'osservazione è un processo selettivo e si differenzia dal semplice guardare perché lo sguardo dell'osservatore è guidato dalle ipotesi che egli ha formulato e mira a ottenere le informazioni ritenute utili e necessarie per confermarla. Di conseguenza l'osservazione non è di per sé obiettiva se non viene condotta secondo procedure controllate, cioè sistematiche, ripetibili e comunicabili. I punti fondamentali dell'osservazione comportamentale sono rappresentati dalla descrizione analitica e non soggettiva dei comportamenti osservati (non condizionata dalle interpretazioni e dalle inferenze dell'osservatore). Ogni ricerca ha inizio con la descrizione e la classificazione dei fenomeni che ci si propone di studiare. Una specie animale che vive in condizioni ambientali e sociali naturali esprime caratteristiche comportamentali che sono considerate quelle normali cui fare riferimento e che sono studiate utilizzando la conoscenza che gli animali manifestano come “patterns” comportamentali. Tali schemi (patterns), elementi elementari delle categorie comportamentali, sono caratterizzati dalla costanza della loro forma e dell'intervallo fra le diverse fasi che li costituiscono.

In generale, lo studio del comportamento prevede una serie di passi tra loro collegati più o meno nella sequenza in cui saranno descritti ed elencati successivamente. Per un maggior approfondimento, altri autori come Lehner (1996) forniscono una descrizione molto più completa della metodologia di ricerca. La sequenza delle operazioni necessarie in molti studi di comportamento è mostrata in figura 1.8.

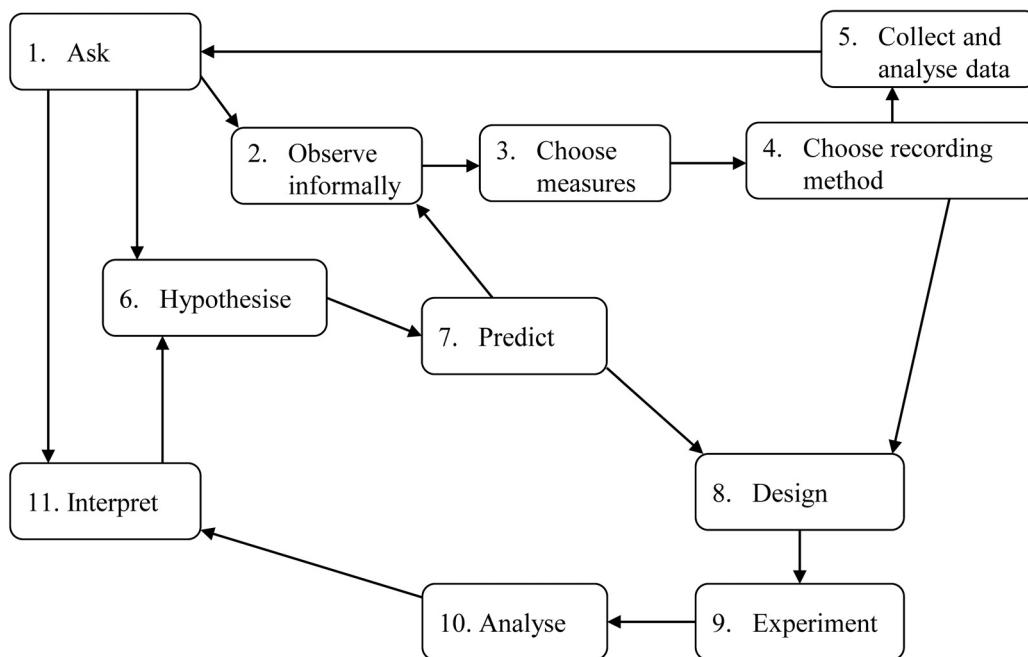


Figura 1.8. Modello dei principali passi coinvolti nelle ricerche di analisi del comportamento animale (Martin e Bateson, 2007).

Metodologie di campionamento del comportamento

In una ricerca comportamentale è sempre importante definire quanti e quali soggetti osservare e con quali modalità vanno svolte le osservazioni (Lehner, 1992). È ovvio che, idealmente, la soluzione migliore sia quella che permette di osservare il maggior numero di animali con il maggior livello di

precisione, ma sicuramente in pratica dovremo cercare di mettere in atto il miglior compromesso possibile, compatibilmente con le risorse umane ed economiche che abbiamo a disposizione per realizzare le osservazioni (Albertini et al., 2008). Inoltre, occorre sempre avere ben chiaro l'obiettivo che si vuole raggiungere. Ad esempio, relativamente a quanti animali osservare, è bene tenere presente che, per studiare i ritmi di attività e la sincronia di comportamenti intra e interspecifici, è utile osservare tutti gli animali presenti nel gruppo. Se la finalità della ricerca è invece quella di analizzare più nel dettaglio alcuni comportamenti specifici, allora potrebbe essere conveniente incentrare l'attenzione su un soggetto alla volta, che in questo caso prende il nome di "focal animal", oppure, nel caso in cui ad esempio il comportamento da analizzare coinvolga contemporaneamente più di un soggetto, può essere osservato un gruppo di animali "focal group sampling" (Albertini et al., 2008; Lehner, 1987 e 1992; Martin e Bateson, 2007). Tale tecnica funziona bene per osservare comportamenti che avvengono troppo velocemente per essere rilevati in molti animali contemporaneamente, poiché l'osservazione di un soggetto alla volta permette di soffermarsi su ogni dettaglio. Sarà comunque necessario annotare tutte le caratteristiche note dell'animale focale, quali sesso ed età dell'individuo e, se possibile, anche la sua identità. L'osservazione di animali focali è inoltre utile quando l'interesse è rivolto verso molti comportamenti contemporaneamente. Oltre a decidere chi osservare, sarà necessario decidere anche con che tempi effettuare le osservazioni. È possibile preferire osservazioni "ad libitum", cioè basate su un'osservazione generale di tutti gli eventi, senza alcun limite o schema prefissato. I dati raccolti in tale modo sono però generalmente poco codificabili e, quindi, presentano dei problemi nella fase di elaborazione. Questo metodo viene pertanto utilizzato più che altro nelle fasi iniziali descrittive, per specie e comportamenti poco conosciuti, per formulare o affinare domande specifiche o nel caso di studi pilota. Più utilizzato è invece il metodo che si basa sull'osservazione continua (continuous recording) di un determinato comportamento (o comportamenti) tutte le volte che questo si verifica. Questo metodo permette di raccogliere una notevole quantità di dati completi e accurati, a patto che l'osservatore limiti il numero degli animali e dei comportamenti da osservare. In caso contrario, il metodo si rivela esageratamente impegnativo, e ciò può facilmente portare a una perdita di precisione (Vasilatos e Wangsness, 1980). Uno dei principali vantaggi dell'osservazione continua è dato dalla possibilità di registrare con precisione sia la frequenza sia la durata dei comportamenti considerati. Inoltre, tale tecnica permette anche di risalire alla successione temporale degli eventi, e si rivela pertanto utile per l'analisi di sequenze comportamentali. Infine, è da notare che questo metodo è l'unico applicabile nel caso di eventi che si verificano raramente o che hanno una durata molto breve, e che verrebbero quindi facilmente persi nel caso di un'osservazione a tempo campionato (Albertini et al., 2008; Lehner, 1987 e 1992; Martin e Bateson, 2007). L'osservazione a tempo campionato (time sampling) è invece molto utile quando è necessario osservare molti individui contemporaneamente e viene quindi spesso usata per l'osservazione di gruppi di animali. Essa può essere realizzata attraverso differenti modalità. La più semplice è nota come one/zero sampling (1/0) e prevede la registrazione della presenza (1) o dell'assenza (0) di un determinato comportamento in un intervallo di tempo prestabilito (intervallo campione). Al termine dell'osservazione, si sommano i valori riportati e si ottiene un numero che non indica la vera e propria frequenza con cui il comportamento si è manifestato, ma solo tutti gli intervalli di tempo in cui esso si è manifestato (Albertini et al., 2008; Lehner, 1987 e 1992; Martin e Bateson, 2007). Benché molto semplice da applicare, questo metodo è poco usato, in quanto risulta poco accurato. Presenta però il vantaggio di permettere l'osservazione di molti animali e di molti comportamenti e inoltre, data la semplicità di esecuzione e di interpretazione (si tratta solo di rilevare la presenza/assenza di un determinato comportamento), risente poco dell'effetto dell'osservatore e presenta, quindi, un elevato livello di affidabilità/ripetibilità. Un'altra modalità di osservazione del time sampling è il cosiddetto campionamento istantaneo (instantaneous sampling, IS) o campionamento a scansione (scan sampling). Esso consiste nel registrare il comportamento di un animale focale (nel caso del campionamento istantaneo) o di un gruppo di animali (nel caso del

campionamento a scansione) in un determinato momento, definito come "punto campione" (Albertini et al., 2008; Lehner, 1987 e 1992; Martin e Bateson, 2007). In pratica, si tratta di "fotografare" a intervalli di tempo prefissati il comportamento del/i soggetto/i da osservare. Il principale vantaggio di questo metodo è quello di permettere l'osservazione contemporanea di molti animali e di molti comportamenti. È quindi valido per lo studio dei ritmi di attività e della sincronia dei comportamenti in gruppi di animali anche abbastanza numerosi. E però ovvio che, più aumentano il numero di soggetti da osservare e il livello di dettaglio dei comportamenti da registrare, maggiore sarà la difficoltà di esecuzione delle osservazioni, e si può giungere anche a una perdita di affidabilità dei dati raccolti. È importante sottolineare che anche questo metodo, così come il one/zero sampling, non fornisce né la durata, né la frequenza dei comportamenti osservati, né, tanto meno, la loro sequenza di manifestazione, ma può darci solo un'idea della ripartizione percentuale del tempo dedicato alle diverse attività. Questa idea sarà tanto più precisa quanto più ravvicinati sono i punti campione (Albertini et al., 2008). Risulta quindi evidente l'importanza di definire in modo corretto la durata degli intervalli tra i punti campione (Mitlohner, 2001). Essi devono essere abbastanza ravvicinati da permettere una stima realistica della percentuale di tempo dedicato alle varie attività, cercando però di contenere il più possibile il dispendio di energie da dedicare all'osservazione. Per definire la durata degli intervalli e pertanto necessario effettuare delle osservazioni preliminari sia con osservazione continua sia a tempo campionato e confrontare i risultati. Occorre inoltre tenere presente che la durata dell'intervallo sarà condizionata dal tipo di comportamento che ci interessa osservare. Ad esempio, quando si analizzano comportamenti di stato, come la stazione o differenti posture di decubito, gli intervalli possono essere abbastanza ampi mentre quando si osservano comportamenti di durata breve, quali il movimento (camminata) o l'abbeverata, gli intervalli di campionamento dovranno necessariamente essere più ravvicinati, per non rischiare di perdere la manifestazione dell'evento. Nel caso in cui si desiderino osservare più animali contemporaneamente, o anche nel caso di osservazioni su animali focali, può essere richiesta l'identificazione individuale dei soggetti. Potrà dunque essere necessario marcare i soggetti per renderli individualmente riconoscibili anche a distanza. La marcatura può essere effettuata in modo permanente (ad esempio, con marche auricolari, collari, tatuaggi, anelli alle zampe, ecc.) o non permanente (con coloranti o, nel caso di animali con mantello di colore scuro, con sostanze decoloranti).

Tutti i metodi di osservazione descritti, schematizzati per semplicità nella figura 1.9, richiedono, nella fase iniziale, una scelta dei comportamenti da osservare, che varieranno in funzione dell'obiettivo della ricerca.

Qualunque sia il metodo di osservazione prescelto, è sempre indispensabile effettuare delle sessioni preliminari di osservazione per varie ragioni. Innanzi tutto, anche se possiamo già avere un'idea del comportamento dei soggetti che stiamo per osservare, bisogna verificare in campo quali sono quelli che essi manifestano, ed eventualmente ridefinire le categorie comportamentali (Albertini et al., 2008; Lehner, 1987). Inoltre, le osservazioni preliminari sono molto utili per il training degli osservatori, soprattutto nel caso in cui le osservazioni debbano poi essere condotte da più persone: in questo caso, è infatti fondamentale che ci sia una buona concordanza tra gli osservatori, cioè che tutti interpretino e definiscano i comportamenti nello stesso modo. Un'altra ragione per cui le osservazioni preliminari sono utili è che, nel caso di osservazioni dirette, le sessioni preliminari danno agli animali la possibilità di abituarsi alla presenza degli osservatori, che potrebbe altrimenti influenzare l'affidabilità dei dati raccolti (Albertini et al., 2008).

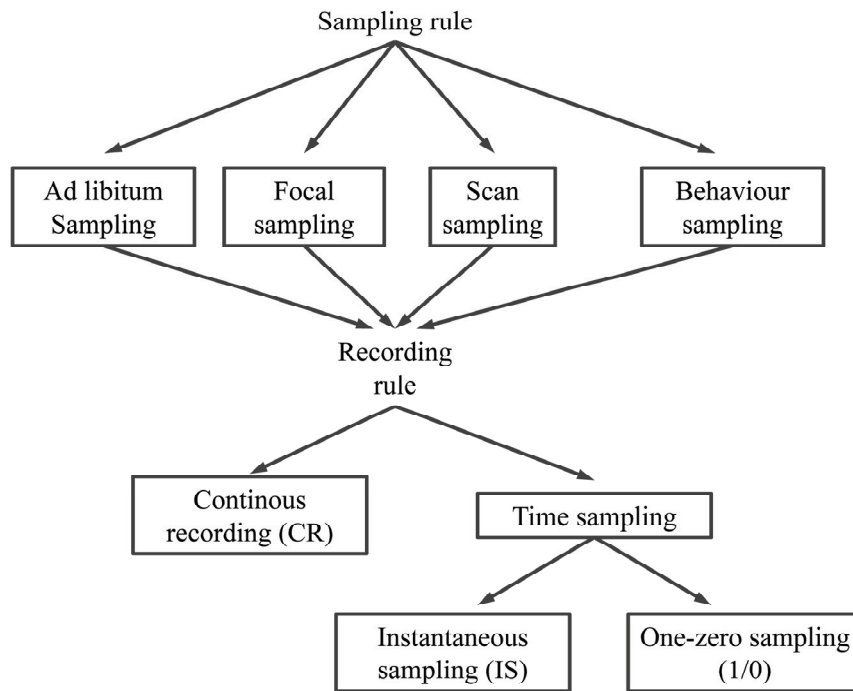


Figura 1.9. Schema di gerarchia delle regole di campionamento (per determinare quale/i animali monitorare e quando) e delle regole di rilevazione del comportamento animale (come rilevare il comportamento) secondo Martin e Bateson, 2007 e Lehner, 1992.

Analisi delle principali attività comportamentali

È sempre indispensabile, prima di iniziare le osservazioni, definire i comportamenti da analizzare e catalogarli all'interno di categorie ben distinte l'una dall'altra. Tale operazione può sembrare molto semplice, ma spesso è richiesta l'osservazione di azioni complesse e la loro descrizione richiede pertanto l'uso di un linguaggio chiaro e il più oggettivo possibile. Questo è importantissimo per rendere le osservazioni ripetibili anche da altri che volessero realizzare esperimenti simili a quello proposto in altre situazioni, al fine di ottenere risultati confrontabili (Albertini et al., 2008). Le categorie vanno scelte in modo appropriato e possono comprendere comportamenti molto generali o molto dettagliati. Ad esempio, un animale sdraiato può essere descritto all'interno dell'unica categoria "riposo" se, per ipotesi, stiamo effettuando uno studio sui ritmi di alimentazione; se, invece, il nostro studio è finalizzato ad analizzare il comportamento di riposo in relazione allo spazio disponibile o al comfort della cuccetta (dimensioni, lettiera, ecc.), lo stesso comportamento potrà essere descritto con maggior dettaglio, specificando se si tratta di decubito laterale, decubito con gli arti posteriori sporgenti, ecc. Ovviamente, se si utilizzano descrizioni generali, è indispensabile specificare bene tutti i pattern di comportamento che vi sono inclusi. Ogni categoria deve essere definita in modo chiaro, esauriente e inequivocabile. Il numero di categorie deve essere sufficiente a descrivere dettagliatamente il problema, ma va limitato al minimo indispensabile per mantenere una buona attendibilità. L'uso di categorie comportamentali, soprattutto se associate a delle sigle, facilita il lavoro di osservazione, in quanto l'annotazione di una sigla che corrisponde a una ben definita categoria è molto più facile e veloce della descrizione estesa di quanto stiamo osservando. L'importante è però sempre tenere nota con precisione della descrizione di ciascuna categoria, in modo da ricordare bene quanto era stato definito, nel momento in cui si andranno ad analizzare i dati o si vorrà ripetere l'esperimento. Nella definizione delle categorie comportamentali, bisogna precisare l'eventuale presenza di comportamenti mutualmente esclusivi. Ad esempio, se un animale è in decubito, non può essere in stazione e per pertanto questi due comportamenti sono

mutualmente esclusivi; un animale e in stazione può però svolgere contemporaneamente altre attività, quali ad esempio l'alimentazione, la toelettatura, l'allerta o l'esplorazione, quindi in questo caso il comportamento di stazione non esclude gli altri comportamenti.

La stima del numero di bovine occupate in una determinata attività viene eseguita rilevando la posizione di ogni animale all'interno della zona di stabulazione e associando quella posizione con una precisa attività. Questo tipo di rilevamento permette di acquisire per ogni giorno una serie di dati che esprimono la variazione del comportamento del gruppo di bovine durante la giornata.

Le categorie comportamentali più utilizzate per le ricerche di valutazione del benessere e del comfort delle bovine da latte posso essere suddivise nelle seguenti tipologie di attività (Overton et al., 2003):

- il riposo o decubito in cuccetta, dove le bovine sono sdraiate con tutti i 4 arti all'interno della cuccetta, identificando la posizione e l'utilizzazione corretta della cuccetta (figura 1.10a);
- l'alimentazione e l'abbeverata, cioè quando le bovine si stanno o alimentando in mangiatoia, o abbeverando negli appositi abbeveratoi (figura 1.10b);
- l'inattività in piedi, cioè quando non stanno svolgendo alcuna attività stazionando o nella corsia di alimentazione o nella corsia di smistamento (figura 1.10c);



Figura 1.10. Principali tipologie di attività comportamentali utilizzate per l'analisi del comportamento delle bovine: a) riposo; b) in alimentazione; c) inattività in piedi.

Oltre a queste 3 attività principali durante l'analisi o l'osservazione del comportamento possono essere rilevati anche altri comportamenti da parte delle bovine come sottocategorie delle principali attività comportamentali a secondo degli obiettivi della ricerca. Ad esempio lo stazionamento all'interno della cuccetta con tutti 4 gli arti (Idle-standing; Cook et al., 2005), o con solamente gli arti anteriori (perching; Overton et al., 2003), oppure ancora il decubito in cuccetta con posteriore sporgente (overhang) o nella corsia di alimentazione e nei passaggi (lying in passageway).

Tecniche di acquisizione, registrazione e osservazione del comportamento

La scelta della tecnica o della strumentazione da utilizzare per l'osservazione del comportamento ha conseguenze importanti per il tipo di dati comportamentali che possono essere raccolti e per le tecniche di campionamento che possono essere utilizzate. Le differenti tipologie di metodi o tecniche per la registrazione del comportamento possono essere suddivise in osservazioni dirette (check list, scheda di osservazione, ecc.) o indirette (videoregistrazione, fotocamere) al fine di ridurre l'effetto dell'osservatore sul comportamento degli animali (Martin e Bateson, 2007; Albertini et al., 2008). Oltre al vantaggio di ridurre l'effetto dell'osservatore, le osservazioni indirette, rispetto a quelle condotte direttamente dall'osservatore, presentano il vantaggio di permettere la

registrazione di una grande quantità di dati, che possono essere successivamente rivisti e rianalizzati mediante la post-analisi delle immagini o dei filmati; inoltre, sono molto utili nel caso in cui sia necessario effettuare osservazioni per tempi molto prolungati, in quanto non obbligano l'operatore a lavorare ininterrottamente per ore (in quanto possono essere poi analizzate con tempi e modi a discrezione dell'operatore). Le osservazioni indirette sono anche indicate nel caso in cui si vogliano osservare azioni molto rapide (che possono ad esempio, essere riviste in dettaglio al rallentatore) o complesse, e sono molto adatte per l'analisi di sequenze comportamentali. Per contro, come vedremo, in alcuni casi le videoregistrazioni non permettono di riprendere nel dettaglio alcuni comportamenti.

La videoregistrazione del comportamento (figura 1.11) può essere realizzata mediante videocamere manuali oppure mediante sistemi automatici, basati sull'uso di telecamere, che derivano dall'adattamento di materiale utilizzato nei sistemi di videosorveglianza. Le videocamere manuali sono normalmente dotate di audio e permettono generalmente una buona visione dei dettagli; la durata delle riprese era, fino a poco tempo fa, limitata ad alcune ore, e il loro impiego richiedeva quindi, per la sostituzione delle videocassette, una presenza costante dell'operatore. Oggi, con le videocamere digitali dotate di memorie di massa al loro interno (hard disk), è possibile registrare ininterrottamente per molte ore senza alcuna interruzione per la sostituzione delle videocassette. I sistemi automatici sono più complessi e possono essere composti da vari elementi, che di solito sono rappresentati da una o più telecamere collegate a un videoregistratore time-lapse (in grado cioè di effettuare riprese a tempo campionato, permettendo così di prolungare la durata delle registrazioni a diversi giorni, senza necessità di intervento diretto da parte dell'operatore). A questi elementi, si possono aggiungere dei monitor, dei proiettori a infrarossi per permettere le riprese in notturna senza alterare i ritmi di comportamento ed eventualmente dei timer da collegare ai proiettori e/o al videoregistratore, per realizzare le riprese solo nei periodi desiderati. Possono essere impiegati inoltre dei digitalizzatori di immagini, che permettono di registrare e visualizzare contemporaneamente sullo stesso monitor le immagini provenienti da diverse telecamere.



Figura 1.11. Utilizzo della videoregistrazione per il monitoraggio del comportamento in una struttura per bovine da latte.

Il vantaggio principale di questi sistemi è di permettere la ripresa degli animali 24 ore su 24, senza necessità di alcun intervento diretto, e quindi riducendo al minimo l'effetto dell'osservatore (Albertini et al., 2008). Un altro vantaggio è rappresentato dal fatto che, potendo registrare contemporaneamente immagini provenienti da più telecamere, è possibile osservare in continuo gli spostamenti degli animali, anche se essi si spostano da un ambiente all'altro (ad esempio, dall'interno all'esterno di un box). Sia che le osservazioni siano realizzate in modo diretto, sia che siano videoregistrate, i dati possono essere inseriti in apposite schede di rilevamento, oppure possono essere archiviati direttamente su supporto informatico mediante l'uso di software specifici, che possono essere personalizzati per procedere a osservazioni su singoli animali o su gruppi di animali con varie modalità di rilevamento (osservazione continua o a scansione). Il vantaggio di questi software è di risparmiare il lavoro di trasferimento dati dalle schede cartacee al database informatizzato per procedere all'elaborazione statistica e di ridurre quindi anche la possibilità di errore durante il trasferimento.

Recentemente software aggiornati per le analisi comportamentali (EthoVision XT 7.0., Noldus Information Technology, 2009) consentono il rilievo semiautomatico del comportamento degli animali, demandando l'identificazione di ogni specifico capo all'utilizzatore finale, permettendo così un'ulteriore risparmio di tempo e lavoro dedicato all'analisi delle immagini.

1.9 Monitoraggio automatico mediante dispositivi elettronici (Automatic Recording Device)

Accelerometri e Pedometri

In questi ultimi anni si è potuto assistere a una notevole evoluzione delle tecnologie e delle metodologie di monitoraggio a distanza applicate ai più disparati settori operativi e di ricerca. Fra gli altri campi applicativi queste tecniche stanno rivelando una particolare idoneità negli studi orientati a sviluppare le conoscenze inerenti il mondo animale tanto che numerose ricerche condotte in Italia e all'estero hanno dimostrato le notevoli potenzialità e utilità del monitoraggio a distanza in vari campi applicativi. Occorre però rilevare che pur essendo dimostrata in termini generali la versatilità, l'efficacia e la notevole potenzialità di tali tecnologie, rimane ancora da compiere un notevole lavoro sperimentale per individuare le più opportune procedure operative ed apportare i necessari adeguamenti che consentano l'applicazione a settori operativi ben definiti. È necessario cioè selezionare, individuare, adeguare e definire le attrezzature più indicate attraverso prove sperimentali e definire le procedure operative più idonee a rispondere a specifiche esigenze.

Il continuo progresso tecnologico relativo a questo settore, si è rivolto principalmente a risolvere le limitazioni strumentali e ha offerto necessariamente stimoli per la progettazione di strumenti sempre più affidabili e adattabili, nel peso e nelle dimensioni, a qualsiasi specie animale. L'evoluzione della tecnologia ha reso disponibile a costi irrisori dispositivi che sono in grado di misurare le accelerazioni su tre assi (accelerometri). Applicando uno di questi accelerometri sull'arto (anteriore o posteriore) di una bovina, è possibile ottenere la posizione dell'arto (orizzontale, verticale, inclinato) e se la bovina è ferma o in movimento (figura 1.12). La registrazione di questo valore e la successiva analisi consente quindi di ottenere, in automatico, il tempo trascorso dalla bovina in piedi, senza camminare e il tempo che la bovina dedica al riposo in cuccetta con la possibilità di conoscere anche tutte le caratteristiche del riposo (lateralità del riposo, frequenza dei periodi di riposo e loro durata).



Figura 1.12. Dispositivo per il rilievo del tempo trascorso dalla bovina sdraiata e in piedi, montato sull'arto posteriore destro.

Questi dispositivi elettronici possono quindi fornire un'indicazione precisa e molto utile sul comportamento della bovina e in particolare il comportamento del riposo (Müller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; O'Driscoll et al., 2008; Darr and Epperson, 2009; Robert et al., 2009), ma hanno alcuni limiti. Per esempio, dal segnale registrato non è possibile distinguere l'animale quando è in mangiatoia o in abbeverata rispetto a quando è inattivo in corridoio (alimentazione da inattività in piedi) limitando l'uso di questi sistemi al monitoraggio di solo una o due attività comportamentali (Munksgaard et al., 2005).

Tecnologie innovative per la localizzazione dell'animale (RFID)

Negli ultimi anni, il forte sviluppo dell'elettronica ha portato a un'evoluzione delle procedure impiegate nel monitoraggio degli animali. Grazie alle tecnologie RFID (Radio Frequency Identification) e ad altre tecnologie wireless, il processo di identificazione degli animali o di localizzazione di aree di studio specifiche è diventato sempre più preciso e automatico.

Il promettente potenziale di queste metodologie di monitoraggio, localizzazione e identificazione del bestiame basate sulla tecnologia RFID ha determinato, in ugual modo, un forte interesse nei confronti dell'industria e della ricerca. In letteratura sono presenti numerosi lavori e studi sulla possibilità di utilizzare queste nuove tecnologie e in particolare quella RFID per l'identificazione, la localizzazione e il monitoraggio degli animali allevati in condizioni stabulative (Trevharten e Michael, 2008; Ng et al., 2005; Eradus e Jansen, 1999; Bass et al., 2008; Bowling et al., 2008; Caja et al., 2005; Collin et al., 2002; Voulodimos et al., 2010; Shanahana et al., 2009; Barbari et al., 2008), fornendo in modo più o meno dettagliato analisi dei benefici, metodologie di funzionamento raccolta, archiviazione e gestione delle informazioni all'interno del sistema allevamento.

Il sistema, in generale, è composto da un Tag o Trasponder RFID e da un reader RFID; il reader ha la funzione di leggere le informazioni contenute nel Tag, che è composto da un chip con memoria e da un'antenna. Esistono Tag passivi, privi di batteria e funzionanti solo se sufficientemente vicini ad impulsi elettromagnetici inseriti in collari, orecchini o sottocute, che permettono l'individuazione univoca degli animali quando questi sostano in prossimità di un punto o di una zona oggetto di studio. Il sistema basato sulla tecnologia passiva RFID è stato applicato recentemente e con successo a sistemi di bagnatura individuale dei suini (Barbari, 2009) ed a gruppi di bovine in prossimità di aree di alimentazione o di altre aree funzionali (Eigenberg et al., 2005).

I Tag attivi rappresentano un sistema più interessante rispetto ai Tag passivi per lo studio del comportamento degli animali (Barbari et al., 2008). I Tag attivi sono dotati di un sistema di alimentazione ed inviano continuamente impulsi che possono essere ricevuti da lettori. Il sistema

consente di raccogliere dati in formato digitale sulla posizione di ciascun animale, ma non fornisce informazioni sulle attività che esso sta svolgendo. I Tag attivi vengono usati in due differenti sistemi: il Sistema Real Time Location (RTLS) e il sistema marker. Il RTLS è la combinazione di dispositivi wireless (antenne e hub) e di un software real time che rileva con continuità la posizione in tempo reale degli animali dotati di Tag attivi. Il sistema marker, invece, oltre all'uso di Tag attivi collocati sul corpo dell'animale, richiede marker di posizione dislocati in diversi punti di interesse all'interno dell'ambiente di allevamento e lettori che trasmettono e ricevono dati sino a 100 metri di distanza. Ogni lettore garantisce l'identificazione di un elevato numero di Tag collocati simultaneamente all'interno dell'area di controllo. Per talune di queste tecnologie le applicazioni relative al monitoraggio animale risultano di particolare interesse e potrebbero fornire informazioni indispensabili per individuare o affinare tecniche di allevamento sempre più sostenibili nella scelta delle modalità gestionali e delle soluzioni strutturali e impiantistiche più adeguate.

2 OBIETTIVI DELLA RICERCA

L'obiettivo generale del dottorato di ricerca è di fornire delle indicazioni sui criteri progettuali delle strutture stabulative allo scopo di migliorare il comfort e il benessere delle bovine e l'efficienza produttiva dell'allevamento. In dettaglio, si vuole fornire un contributo conoscitivo dell'influenza degli aspetti strutturali (dimensionamento e disposizione degli spazi funzionali), delle condizioni ambientali (stress da caldo) e della gestione dell'allevamento (alimentazione e mungitura) sul comportamento di bovine da latte che consenta di aumentare i tempi di riposo e ridurre quelli in cui gli animali sono inattivi in piedi, garantendo un'assunzione di alimento adeguata al livello produttivo. Nell'ambito delle diverse attività di ricerca è stato previsto anche lo studio, e la validazione di alcune metodologie e/o di tecnologie innovative utilizzabili per il monitoraggio e la valutazione del comportamento delle bovine da latte. La messa a punto di queste metodologie e tecnologie di monitoraggio sono state finalizzate a fornire, con un elevato grado di accuratezza e precisione, informazioni relative ai tempi dedicati dalle bovine alle diverse attività comportamentali aumentando il grado di automazione del rilievo e riducendo il lavoro di analisi dei dati.

3 MATERIALI E METODI

Le attività svolte durante il periodo di ricerca, possono per semplicità essere suddivise in due linee di ricerca:

- Valutazione del comportamento in relazione alle condizioni ambientali e gestionali (IV, V, e VI).
- Metodologie e tecnologie di monitoraggio delle attività comportamentali delle bovine da latte (I, II, e III);

Per quanto riguarda le metodologie e tecnologie di monitoraggio sono stati analizzati differenti aspetti tra cui l'utilizzo di alcuni indici comportamentali, le metodologie di analisi, basate sulla videoregistrazione e la post analisi delle immagini, con particolare attenzione alle frequenze di scansione e gli intervalli di campionamento, e alla validazione di alcuni dispositivi per il rilievo automatico del comportamento. Le differenti metodologie e tecnologie analizzate sono state utilizzate nella valutazione del comportamento in relazione a differenti condizioni ambientali (THI) e gestionali (frequenza di distribuzione dell'alimento e mungitura). Nei diversi casi studi presi in esame sono stati analizzati i possibili effetti della frequenza di distribuzione dell'alimento (tradizionale e automatizzato) e delle condizioni ambientali sul comportamento, produzione, ingestione e relazione con le principali operazioni gestionali dell'allevamento tra cui il sistema automatico di mungitura.

Nel seguente capitolo è riportato un sommario delle principali attrezzature, apparecchiature e dispositivi elettronici e metodologie che sono state utilizzate nelle diverse attività di ricerca.

3.1 Tecniche e sistemi di monitoraggio del comportamento e delle condizioni ambientali

Videoregistrazione

In quasi tutti gli articoli è stata utilizzata come tecnica di monitoraggio del comportamento la videoregistrazione. Il sistema di videoregistrazione (figura 3.1) è stato utilizzato come metodo per misurare il comportamento degli animali in diverse condizioni sperimentali per fornire indicazioni sulla gestione dell'alimentazione (articoli IV, V e VI), per la messa a punto di una metodologia di rilievo dei dati comportamentali (articolo I) e come metodo di confronto per la validazione di sistemi automatici del rilievo del comportamento (articolo II e III).

Il sistema di videoregistrazione (figura 3.2) utilizzato per le diverse prove sperimentali è composto generalmente da telecamere professionali a colori o b/n, dotate di contenitore di protezione e obiettivo varifocale da 4 a 9 mm, posizionate sui pilastri della struttura o sulle travi della copertura dai 3 ai 5 m al di sopra del piano di calpestio in modo da dominare l'intera superficie adibita a stabulazione delle bovine.

Le telecamere sono collegate, mediante una rete di cavi video e per l'alimentazione, a una scheda di acquisizione video inserita in un personal computer in grado di trasformare il segnale analogico in digitale per la successiva memorizzazione su hard disk.



Figura 3.1. Sistema di videoregistrazione installato in una stalla a stabulazione libera a cuccette.

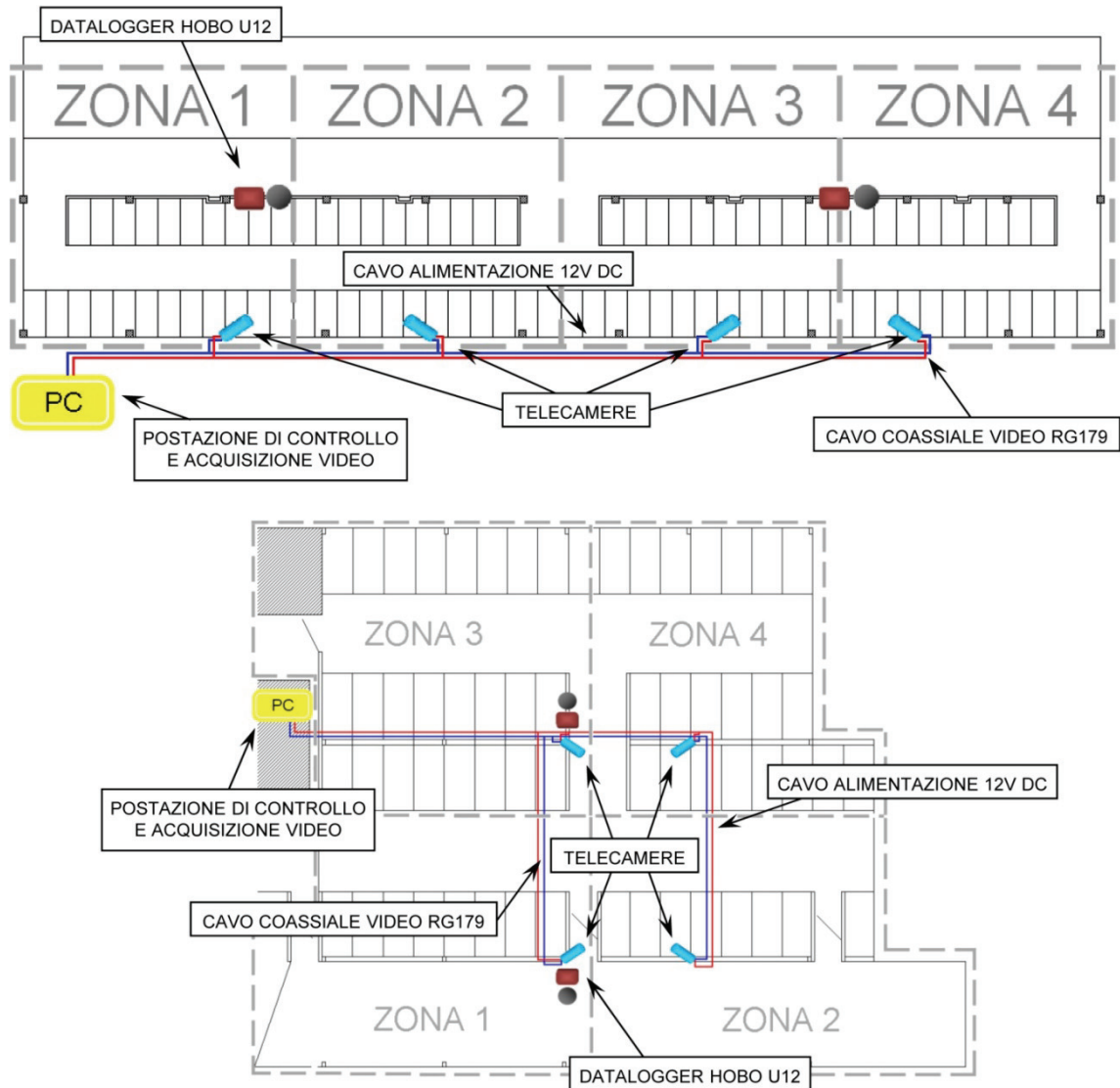


Figura 3.2. Schemi del sistema di monitoraggio in due differenti strutture stabulative (articolo IV e V).

La videoregistrazione digitale è stata impostata, grazie all'apposito software di controllo a una frequenza di acquisizione di un fotogramma al secondo. Tale valore è stato scelto come compromesso tra la possibilità mantenere una buona comprensione dei movimenti degli animali e la mole di informazioni da memorizzare.

Sistemi per il rilievo automatico del comportamento

Sono stati utilizzati 3 diverse tipologie di dispositivi per il rilievo automatico del comportamento. Negli articoli II e III i dispositivi utilizzati sono stati validati mentre nell'articolo VI sono stati utilizzati come metodo per misurare il comportamento degli animali.

I dispositivi utilizzati sono stati: HOB0® Pendant G Acceleration Data Logger (Onset Computer Corporation); IceTag™ 2D (IceTag 2.004, IceRobotics); PedometerPlus™ Tag (S.A.E., Afikim).

HOB0® Pendant G Acceleration Data Logger

L'HOB0 Pendant G (figura 3.3) è un data logger impermeabile integrato con un accelerometro tri-assiale che può registrare fino a circa 21.800 accelerazioni sull'asse x, y, e z. Il data logger utilizza un accelerometro interno a tre assi con un intervallo massimo di ± 3 g basato sulla tecnologia dei sensori al silicio. I dispositivi sono stati fissati all'arto posteriore sinistro delle bovine all'altezza del garretto con il supporto di una benda elastica autoadesiva (Vet-flex), in una posizione tale che l'asse x è quasi perpendicolare al terreno quando l'animale è fermo in posizione eretta (figura 3.3).



Figura 3.3. HOB0 Pendant G Acceleration Data Logger e installazione del dispositivo sull'arto posteriore della bovina.

I data logger HOB0 utilizzano un modulo base ottico con interfaccia USB per il trasferimento dei dati al personal computer. I dati trasferiti sono stati gestiti dal software Onset HOB0ware che converte ogni singola lettura dell'accelerazione in gradi di inclinazione e in seguito li esporta in un foglio di calcolo di Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA).

IceTag™ 2D

L'IceTag 2D (figura 3.4) è un dispositivo elettronico dotato di un accelerometro biassiale che permette di misurare e registrare l'attività degli animali.

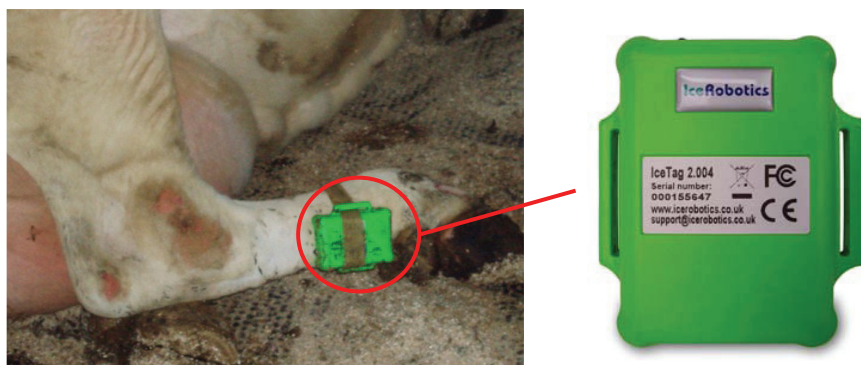


Figura 3.4. IceTag 2D e posizione del dispositivo sull'arto posteriore della bovina.

Questo dispositivo è in grado di misurare per ogni animale il tempo sdraiato (% lying), il tempo in piedi (% standing), il movimento (% active) e il numero di passi sulla base di 8 registrazioni al secondo. L'IceTag 2D è dotato di una custodia rigida in plastica impermeabile progettata per resistere alle condizioni di allevamento e di un cinturino con fibbia di acciaio che permette di posizionare il dispositivo sull'arto posteriore destro dell'animale all'altezza del garretto. I dati registrati dal dispositivo sono stati trasferiti dalla memoria interna a un personal computer mediante un apposito cavo USB e il software IceTagAnalyser (version 2.009, IceRobotics, Edinburgh, UK) e successivamente esportati in un foglio di calcolo di Excel 2007 (Microsoft Corp., Redmond, WA).

PedometerPlus™ Tag

Il PedometerPlus Tag (figura 3.5) è un dispositivo elettronico basato su un accelerometro che permette di registrare e misurare l'attività dell'animale sulla base dell'angolo d'inclinazione dell'arto monitorato. Dai dati registrati dal sensore, il dispositivo calcola i seguenti parametri comportamentali: l'attività (Activity, number of steps), il tempo a riposo (rest time), il tasso giornaliero di riposo (Rest ratio, percentuale che la bovina spende a riposo rispetto al tempo totale), la durata media di del periodo si di riposo (average lying duration, lying time/lying bout), e il tasso dell'attività giornaliera (restlessness ratio, rapporto tra l'attività e il riposo). Il dispositivo ha una custodia rigida in plastica progettata per resistere all'ambiente estremo dell'allevamento e viene posizionato sulla parte laterale dell'arto posteriore o anteriore per mezzo di un cinturino. I dati riguardanti le attività registrate sono trasmessi tramite antenne dedicate ed elaborati dal software di controllo e gestione del sistema (Afifarm).



Figura 3.5. PedometerPlus Tag e posizione del dispositivo sull'arto posteriore della bovina.

Fotocamere temporizzate

Le fotocamere temporizzate sono fotocamere digitali a basso costo, controllate da un circuito a microprocessore, che permette di effettuare scatti a intervalli di tempo prefissati. La macchina fotografica (figura 3.6), alimentata con 2 batterie non ricaricabili, è stata posta all'interno di una scatola di protezione, e collegata a un circuito funzionante con 3 batterie ricaricabili ni-mh (2300 mah). Il circuito è stato programmato per accendere la macchina fotografica, effettuare una fotografia, salvarla e spegnere lo strumento. Queste operazioni avvengono in circa 30 secondi. Attraverso gli switch del circuito di controllo della fotocamera si può impostare la macchina digitale per effettuare degli scatti ogni 10, 15, 30 e 60 minuti; ed è anche possibile impostare il periodo di monitoraggio escludendo il periodo notturno (periodi selezionabili: 0h-24h, 2h-22h, 4h-20h e 6h-18h). Le fotocamere, con sensore immagine di tipo 2.1 Megapixel CMOS, sono state impostate con una risoluzione di 1600x1200, come compromesso tra qualità e dimensione per il salvataggio sulla memoria interna. Durante le prove le fotocamere sono state installate in modo da inquadrare la zona di stabulazione da due punti opposti della struttura e consentire che l'unione delle loro foto scattate nel medesimo istante fornisca il quadro complessivo della stalla.



Figura 3.6. Fotocamera temporizzata con esempio di installazione in una struttura stabulativa.

Monitoraggio ambientale

In tutte le prove è sempre stato realizzato il monitoraggio delle condizioni ambientali (figura 4.2), in particolare per la misura della temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e dell'umidità relativa (%) per calcolare il THI come indice di valutazione delle condizioni interne all'edificio di stabulazione. I parametri climatici sono stati misurati con dei data logger (HOBO U12, Temp/RH/Light/External Data Logger) posizionati tra le file delle cuccette e nella corsia di alimentazione ad una altezza di circa 2 m (figura 3.7), con la registrazione dei dati climatici impostata con una frequenza di 15-30 minuti.



Figura 3.7. HOBO U12, Temp/RH/Light/External Data Logger per il monitoraggio delle condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa) con relativo supporto per l'installazione all'interno della struttura.

3.2 Metodologie di rilievo

Analisi del comportamento degli animali

L'analisi preliminare dei dati di videoregistrazione (articoli I, II, IV e V) è consistita nella visualizzazione dei filmati con un apposito software di videosorveglianza (huperDVR 2400 v.2.0, Huper Laboratories Co., Ltd.) e nella valutazione del numero di bovine impegnate nelle diverse attività (in alimentazione, in riposo, inattive in piedi). La stima del numero di bovine occupate in una determinata attività viene eseguita rilevando la posizione di ogni animale all'interno della zona di stabulazione e associando quella posizione con una precisa attività (figura 4.8). Questo tipo di rilevamento permette di acquisire per ogni giorno una serie di dati che esprimono la variazione del comportamento del gruppo di bovine durante la giornata.

Oltre a queste attività principali durante l'analisi del comportamento sono stati rilevati anche altri comportamenti da parte delle bovine come ad esempio lo stazionamento all'interno della cuccetta con tutte le quattro zampe oppure il Perching, quando le bovine hanno le zampe anteriori in cuccetta e quelle posteriori in corsia (Overton et al., 2003). I dati ottenuti da questa analisi sono stati utilizzati per calcolare i diversi indici comportamentali che esprimono la variazione del comportamento del gruppo di bovine durante la giornata.

La base di tempo (frequenza di scansione) da utilizzare per l'analisi dei filmati per estrapolare il comportamento degli animali è stata analizzata da diversi autori e in particolare da Mitlohner et al. (2001). Sulla base delle esperienze presenti in bibliografia, nell'articolo I, il comportamento è stato analizzato con una frequenza base di acquisizione di 10 minuti, rilevando le attività degli animali con diverse frequenze di acquisizione, ogni 10, 20, 30, 60 e 120 minuti. Sulla base di queste esperienze, nelle successive sperimentazioni (articoli IV e V), l'analisi del comportamento giornaliero delle bovine è stata effettuata con una frequenza di acquisizione oraria. Invece, nell'articolo II, per confrontare diverse metodologie di rilievo del comportamento è stata utilizzata la metodologia dell'osservazione continua (continuous recording).

Indici comportamentali ed ambientali

Per l'analisi del comportamento degli animali sono stati utilizzati alcuni indici usati comunemente anche in letteratura come il CLI, SUI, CSI, SPI e CFI (articoli I, IV e V). Il CLI (Cow Lying Index) e il SUI (Stall Usage Index) rappresentano due indici di comfort per valutare il benessere delle bovine ed sono legati al numero delle bovine in cuccetta (Cook et al., 2005; Overton et al., 2002). Il CSI (Cow Stress Index) e il SPI (Stall Perching Index) sono stati utilizzati per valutare il grado di

stress dei bovini considerando i capi in piedi e in perching, rispettivamente (Cook et al., 2005). Infine, negli articoli IV e V è stata valutata anche la propensione delle bovine ad alimentarsi con l'indice CFI (Cow Feeding Index).

Di seguito sono riportate le formule di calcolo degli indici comportamentali descritti in precedenza:

$$\text{Cow Lying Index (CLI)} = \frac{\text{Numero di bovine in cuccetta}}{\text{Numero totale di bovine}}$$

$$\text{Stall Using Index (SUI)} = \frac{\text{Numero di bovine in cuccetta}}{N. \text{ totale} - (\text{bovine in mangiat/abbever} + \text{mungitura})}$$

$$\text{Cow Stress Index (CSI)} = \frac{\text{Numero di bovine in piedi}}{\text{Numero totale di bovine}}$$

$$\text{Stall Perching Index (SPI)} = \frac{\text{Numero di bovine in Perching}}{\text{Numero totale di bovine}}$$

$$\text{Cow Feeding Index (CFI)} = \frac{\text{Numero di bovine in alimentazione (mangiat/abbever)}}{\text{Numero totale di bovine}}$$

Per valutare in modo sintetico le condizioni ambientali è stato utilizzato il Temperature Humidity Index (THI), indice frequentemente utilizzato in letteratura che prende in considerazione la temperatura e l'umidità dell'aria. Per determinare il THI, è stata utilizzata la seguente equazione:

$$THI = t_{ba} + 0.36 t_{pr} + 41.2 \text{ (Yousef, 1985)}$$

dove t_{ba} = temperatura del bulbo asciutto (°C) e t_{pr} = temperatura del punto di rugiada (°C).

Dispositivi per il rilievo automatico del comportamento

I dati registrati dai dispositivi per il rilievo automatico del comportamento sono stati utilizzati per calcolare diversi parametri di valutazione del comportamento individuale giornaliero delle bovine (articoli II, III e VI). Negli studi sono stati misurati i seguenti parametri: il tempo a riposo (lying time, h/d) che quantifica il numero di ore che l'animale spende a riposo giornalmente; la lateralità del riposo (lying right/left, h/d); il tempo in piedi (standing time, h/d); il numero di volte al giorno che l'animale si alza e si sdraia in cuccetta (number of lying bouts, number/d); la durata media, minima e massima di ogni evento di riposo (the average, minimum and maximum lengths of lying bouts, min/bout); il numero dei passi giornalieri (number of steps, number/d); e il tempo che viene speso dalla bovina in attività (activity, h/d). Le unità di misura utilizzate per esprimere i diversi parametri sono state selezionate con l'obiettivo di poter confrontare i valori ottenuti con quelli presenti in bibliografia.

Produzione, sistema di mungitura automatizzato e ingestione della razione

Per valutare l'influenza della gestione dell'alimentazione (articoli IV, V e VI) e in particolare dell'effetto della frequenza di distribuzione della razione, oltre all'analisi delle attività comportamentali (riposo, inattività in piedi e alimentazione), sono stati presi in considerazione anche i parametri legati alla produttività (DeVries et al., 2005; Mantysaari et al., 2006), al sistema di mungitura volontaria (Oostra et al., 2005; Pompe et al., 2007; Belle et al., 2011) e ai differenti aspetti dell'ingestione della razione (DeVries et al., 2005; Mantysaari et al., 2006). In particolare,

gli effetti sulla produttività delle bovine è stata valutata in base alla produzione di latte (kg/d) e all'efficienza produttiva (dairy efficiency), cioè il rapporto tra la produzione di latte e il livello di ingestione; gli effetti della variazione della frequenza sull'utilizzo del sistema di mungitura automatizzato da parte delle bovine, invece, sono stati stimati analizzando la frequenza (n/d) e la durata (min/mungitura) delle mungiture giornaliere, la frequenza dei rifiuti del sistema (n/d) e la percentuale oraria o giornaliera di utilizzazione del sistema automatico di mungitura. L'influenza sull'ingestione della razione è stata analizzata determinando anche l'ingestione della sostanza secca dei gruppi di bovine monitorati (DMI, kg/d) e delle altre frazioni che compongono la razione (proteine grezze, kg/d; grassi, kg/d; NDF, kg/d; ADF, kg/d; ADL, kg/d). I dati che si riferiscono alla produzione e al robot di mungitura sono stati acquisiti dal software di gestione del sistema di mungitura volontaria (DeLaval DelPro™, VMS), mentre le analisi chimiche della razione e degli avanzi sono state ottenute con analisi di laboratorio e analisi al NIR.

Disegni sperimentali

I disegni sperimentali utilizzati nelle diverse attività di ricerca sull'influenza della frequenza di distribuzione dell'alimento sono stati scelti in base agli schemi sperimentali utilizzati in bibliografia in studi simili (DeVries et al., 2005; Mantysaari et al., 2006) e riadattati secondo gli obiettivi e gli aspetti organizzativi, gestionali e logistici di ciascuna prova sperimentale. In linea generale, il disegno sperimentale di base ha previsto l'alternanza tra i differenti trattamenti (frequenza di somministrazione) con un periodo di adattamento prima di ogni nuova condizione e la ripetizione della prova in due differenti periodi.

Di seguito sono stati descritti i disegni sperimentali delle due differenti prove sull'influenza della distribuzione. Nell'attività di ricerca con distribuzione convenzionale dell'alimento il comportamento degli animali è stato monitorato in due strutture per un periodo di ventuno giorni ripetuto in differenti condizioni termiche (termoneutrale e stress termico) allo scopo di analizzare anche l'effetto delle condizioni ambientali e l'interazione con la gestione dell'alimentazione sul comportamento delle bovine. La metodica sperimentale ha previsto una settimana di monitoraggio della situazione esistente, una settimana di adattamento al nuovo trattamento con variazione della frequenza di distribuzione (aumento di una distribuzione) e un'ultima settimana di prova con il nuovo trattamento seguita da un periodo con il ritorno alle condizioni iniziali. In totale la sperimentazione ha previsto quattro trattamenti suddivisi in due differenti livelli, un primo livello che riguarda le condizioni ambientali in cui si sono svolte le prove e un secondo livello che riguarda la variazione della frequenza di distribuzione dell'alimento e la sua gestione (figura 3.8).

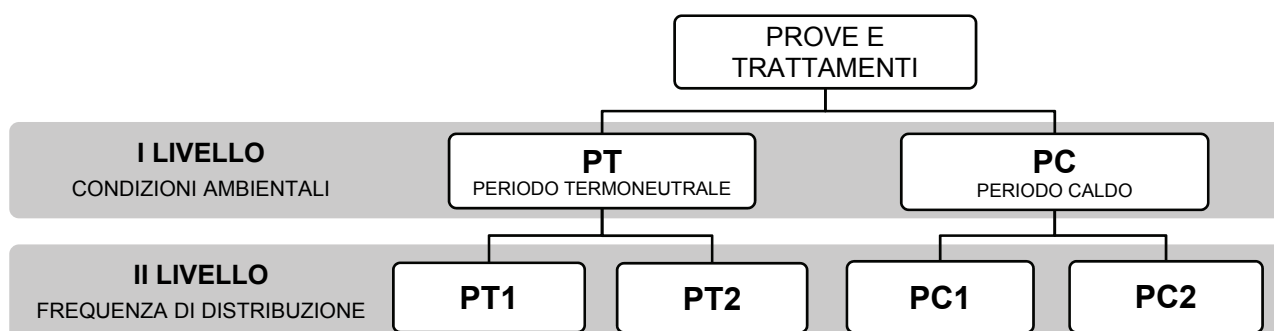


Figura 3.8. Rappresentazione schematica (tipo organigramma) della prova sperimentale con distribuzione dell'alimento convenzionale (articolo IV e V).

Nella prova di ricerca in condizioni di gestione automatizzata dell'alimentazione (articolo VI) sono state monitorate due differenti strutture nelle quali sono state messe a confronto elevate frequenze di somministrazione (11× vs. 6× e 9× vs. 6×). In questo caso, la prova sperimentale (tabella 3.1) ha previsto, per ciascuna struttura, 2 trattamenti con differente frequenza di distribuzione replicati in due diversi periodi (dicembre e gennaio) ma con simili condizioni ambientali. Ogni periodo sperimentale consisteva in un fase di 3 giorni di adattamento seguita da 4 giorni di monitoraggio del comportamento, per ogni trattamento. Le prove sperimentali sono state eseguite nello stesso momento in entrambe le strutture stabulative. In totale, tra fase di adattamento e di monitoraggio, le prove sono durate 25 giorni (11 giorni a dicembre e 14 giorni a gennaio).

Tabella 3.1. Schema sperimentale in condizioni gestionali automatizzate (articolo VI).

Strutture\Periodo	I			II			
	A	adatt.	B	adatt.	B	adatt.	A
Struttura (a)	4 giorni	3 giorni	4 giorni	3 giorni	4 giorni	3 giorni	4 giorni
Struttura (b)	4 giorni	3 giorni	4 giorni	3 giorni	4 giorni	3 giorni	4 giorni

A = Alta frequenza di distribuzione (cond. iniziale), B = Bassa frequenza di distribuzione (variazione), adatt. = Periodo di adattamento, a/b =due strutture

Anche per quanto riguarda le metodologie e tecnologie di rilievo e analisi del comportamento indagate nelle diverse attività di ricerca, sono stati seguiti disegni sperimentali già utilizzati in precedenti studi (Mitlohner et al., 2001, Ito et al., 2009; Ledgerwood et al. 2010, O'driscoll et al., 2008; Trénel et al., 2009). Nella messa a punto della frequenza di acquisizione per il rilievo del comportamento degli animali con la videoregistrazione e con i dispositivi elettronici sono state messe a confronto differenti frequenze di scansione. Le frequenze di scansione individuate per l'analisi del comportamento sono state selezionate in relazione agli obiettivi dell'attività di ricerca, alle metodologie utilizzate per il rilievo del comportamento (dispositivi elettronici o osservazione diretta) e in base anche alla tipologia delle attività comportamentali e al dettaglio del rilievo (indici comportamentali o time budget). Nel caso della videoregistrazione per rilevare l'attività delle bovine sono stati utilizzati gli indici comportamentali ottenuti con diverse frequenze di acquisizione (10, 20, 30, 60 e 120 minuti) che sono stati poi confrontati tra di loro per analizzare le differenze tra le frequenze prese in considerazione. Invece, per ottimizzare la scelta degli intervalli di campionamento per ottenere stime affidabili del comportamento giornaliero delle bovine con i dispositivi elettronici sono stati selezionati e confrontati tra di loro 10 intervalli di campionamento differenti: 1 secondo, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, e 60 min.

Infine, per valutare la capacità e l'accuratezza dei sistemi per il rilievo automatico del comportamento di misurare le attività comportamentali e la loro precisione sono stati confrontati tra di loro i dati comportamentali ottenuti dai dispositivi indagati (HOBO Pendant G Acceleration Data Logger e IceTag 2D) e dall'osservazione continua del comportamento ottenuto dalla videoregistrazione o confrontando tra di loro i dati comportamentali ottenuti da dispositivi elettronici differenti (PedometerPlus Tag e HOBO Pendant G Acceleration Data Logger).

Analisi statistica

I dati raccolti nelle diverse sperimentazioni sono stati analizzati ed elaborati utilizzando i pacchetti statistici di SAS 8.2 (SAS Institute Inc, 2004) e PASW Statistics 18 (SPSS Inc., 2009). Le statistiche descrittive usate per caratterizzare le distribuzioni delle differenti variabili negli studi sono state definite mediante le procedure di SAS MEANS e FREQ. La relazione tra due variabili è

stata analizzata con la correlazione (Pearson product Correlations, proc CORR di SAS) e la regressione lineare (proc REG di SAS). Le variabili non normalmente distribuite prima di essere utilizzate ai test statistici parametrici sono state normalizzate attraverso trasformazione. Le differenze tra i diversi trattamenti nelle prove sono state analizzate con l'ANOVA usando il modello lineare generalizzato (proc GLM di SAS). L'analisi in componenti principali (PCA, proc PRINCOMP di SAS) è stata usata per studiare le relazioni tra diverse variabili quantitative (articolo V). La corrispondenza e l'accuratezza dei dispositivi per il rilievo automatico del comportamento sono state analizzate con la tabella di contingenza 2×2 (proc FREQ di SAS). I risultati riportati come statisticamente significativi al di sotto del livello di significatività di $P < 0.10$ ($P < 0.05$; $P < 0.01$; $P < 0.001$).

4 INFLUENZA DELLA GESTIONE DELL'ALLEVAMENTO

In questo capitolo sono stati descritti sinteticamente i principali risultati ottenuti dalle attività di ricerca sull'influenza della frequenza di distribuzione della razione alimentare in condizioni differenti di automazione delle operazioni gestionali (mungitura e alimentazione). Un maggiore dettaglio dei risultati e delle discussioni sono riportati negli articoli IV, V e VI.

4.1 Influenza della frequenza di distribuzione (convenzionale) e delle condizioni ambientali sul comportamento di bovine da latte

Ingestione, produzione di latte e THI

Nell'azienda con il sistema di mungitura convenzionale (tabella 4.1) l'ingestione di sostanza secca da parte degli animali nel periodo caldo è stata più bassa dell'8.1% ($P < 0.001$) rispetto al periodo temperato, in accordo con i risultati riportati da altri autori (Kadzere *et al.*, 2002; West *et al.*, 2003), mentre le condizioni ambientali non hanno avuto un effetto significativo sulla produzione di latte.

Tabella 4.1. Effetto del periodo e della frequenza di distribuzione sulla produzione di latte, ingestione di sostanza secca e THI nell'azienda con sistema di mungitura convenzionale.

Period	Cool period		Hot period		SEM	Period	P	
	2	3	2	3			Feeding freq.	S *F
Daily feeding frequency	2	3	2	3				
THI	58.4	57.8	71.9	74.3	0.647	< 0.001	0.163	0.019
DMI, kg/d	23.3	22.5	20.3	21.8	0.352	< 0.001	0.271	0.004
Milk yield, kg/d	26.9	27.1	26.8	27.7	0.226	0.250	0.012	0.191
Dairy efficiency	1.14	1.21	1.31	1.28	0.018	< 0.001	0.372	0.016

SEM = errore standard della media; Dairy efficiency = produzione di latte (kg/d)/ ingestione sostanza secca (kg/d).

Nell'azienda con il sistema di mungitura automatizzato sia l'ingestione, sia la produzione di latte sono state influenzate dal periodo (tabella 4.2), con valori più bassi durante il periodo caldo rispetto al temperato (8.3% e 17%, rispettivamente).

La variazione della frequenza di distribuzione non ha avuto alcun effetto significativo sull'ingestione della sostanza secca (DeVries *et al.*, 2005; Nocek and Braund, 1985; Robles *et al.*, 2007) in entrambe le aziende, mentre è risultata significativa sulla produzione di latte, con un incremento della produzione all'aumentare del numero di distribuzioni (Nocek and Braund, 1985).

La frequenza di distribuzioni non ha mostrato alcun effetto sulla frequenza di mungitura del sistema di mungitura automatizzato, confermando i risultati riportati da Oostra *et al.* (2005) in condizioni di traffico forzato.

La diversa risposta allo stress da caldo in termini di produzione di latte nelle due aziende monitorate potrebbe essere in parte spiegato dai differenti livelli produttivi e dal differente numero di lattazioni delle bovine, presenti nelle due aziende al momento delle 2 prove effettuate. Infatti, come riportato da Kadzere *et al.* (2002), le bovine da latte ad alta produzione possono andare incontro agli effetti

dello stress da caldo molto prima delle bovine a bassa produzione per far fronte al maggiore incremento del calore metabolico prodotto.

Tabella 4.2. Effetto del periodo e della frequenza di distribuzione sulla produzione di latte, ingestione di sostanza secca e THI nell'azienda con sistema di mungitura automatizzato (AMS).

Period	Cool period		Hot period		SEM	Period	P	
	1	2	1	2			Feeding freq.	S *F
Daily feeding frequency								
THI	60.3	66.4	73.3	71.4	0.575	< 0.001	0.001	< 0.001
DMI, kg/d	20.5	20.8	18.5	19.4	0.675	0.009	0.322	0.615
Milk yield, kg/d	32.5	33.1	26.3	28.2	0.316	< 0.001	< 0.001	0.043
Dairy efficiency	1.59	1.61	1.42	1.46	0.055	0.004	0.515	0.830
Milking frequency, n/d	2.53	2.48	2.39	2.35	0.040	0.002	0.265	0.910

SEM = errore standard della media; Dairy efficiency = produzione di latte (kg/d)/ ingestione sostanza secca (kg/d).

Inoltre, l'effetto dello stress da caldo sembra essere maggiore nelle bovine pluripare rispetto alle primipare: Holter et al. (1997) ha riportato come durante il periodo caldo la riduzione dell'ingestione di sostanza secca è stata del 22% nelle bovine pluripare e solamente del 6% per le primipare.

Comportamento delle bovine

Tra le attività comportamentali monitorate (figura 4.1) in entrambe le aziende, le condizioni ambientali (effetto periodo, THI) hanno influenzato in modo significativo le bovine in riposo (CLI) e le bovine in piedi (CSI), ma non il numero delle bovine in alimentazione (CFI). In particolare, il CLI è stato significativamente più basso durante il periodo caldo rispetto a quello temperato in entrambe le aziende. Questi risultati sono in accordo con Zahner et al. (2004) che hanno osservato una diminuzione della durata del riposo all'aumentare del THI. Al contrario il CSI è risultato più alto durante il periodo caldo rispetto a quello temperato. Risultati simili sono stati ottenuti anche da Cook et al. (2007) che hanno osservato un tempo maggiore trascorso in piedi da parte delle bovine durante la stagione calda. Questo è dovuto al fatto che le bovine in lattazione hanno grande difficoltà a disperdere il calore in eccesso in condizioni caldo e umide (West, 2003).

La riduzione del riposo può esporre gli animali anche ad un maggiore rischio da parte delle bovine a contrarre zoppie (Cook et al., 2007). Nonostante la significativa riduzione dell'ingestione della razione durante il periodo caldo nei due allevamenti, l'affluenza delle bovine in mangiatoia (CFI) non è stata influenzata. Gli indici comportamentali giornalieri non hanno evidenziato alcuna influenza della frequenza di distribuzione dell'alimento in entrambe le aziende.

L'effetto significativo delle condizioni ambientali sul comportamento delle bovine, in particolare dello stress da caldo durante il periodo caldo, è stato messo in evidenza anche dal confronto del "Time Budget" tra i due differenti periodi di prova (figura 4.2). Si può notare come, in entrambe le aziende, durante periodo caldo rispetto al periodo temperato aumenti in modo significativo il tempo che le bovine spendono in piedi inattive a svantaggio del tempo dedicato al riposo. Durante il periodo caldo il tempo in piedi aumenta di 1.6 e 1.2 ore, rispettivamente nelle due aziende mentre il tempo a riposo si riduce da 12.9 a 11.2 ore, nel caso dell'azienda con sistema di mungitura convenzionale, e da 12.5 a 11.2 ore nell'azienda con il robot di mungitura. Invece, non è stato evidenziato da parte delle bovine un cambiamento nel tempo dedicato all'alimentazione.

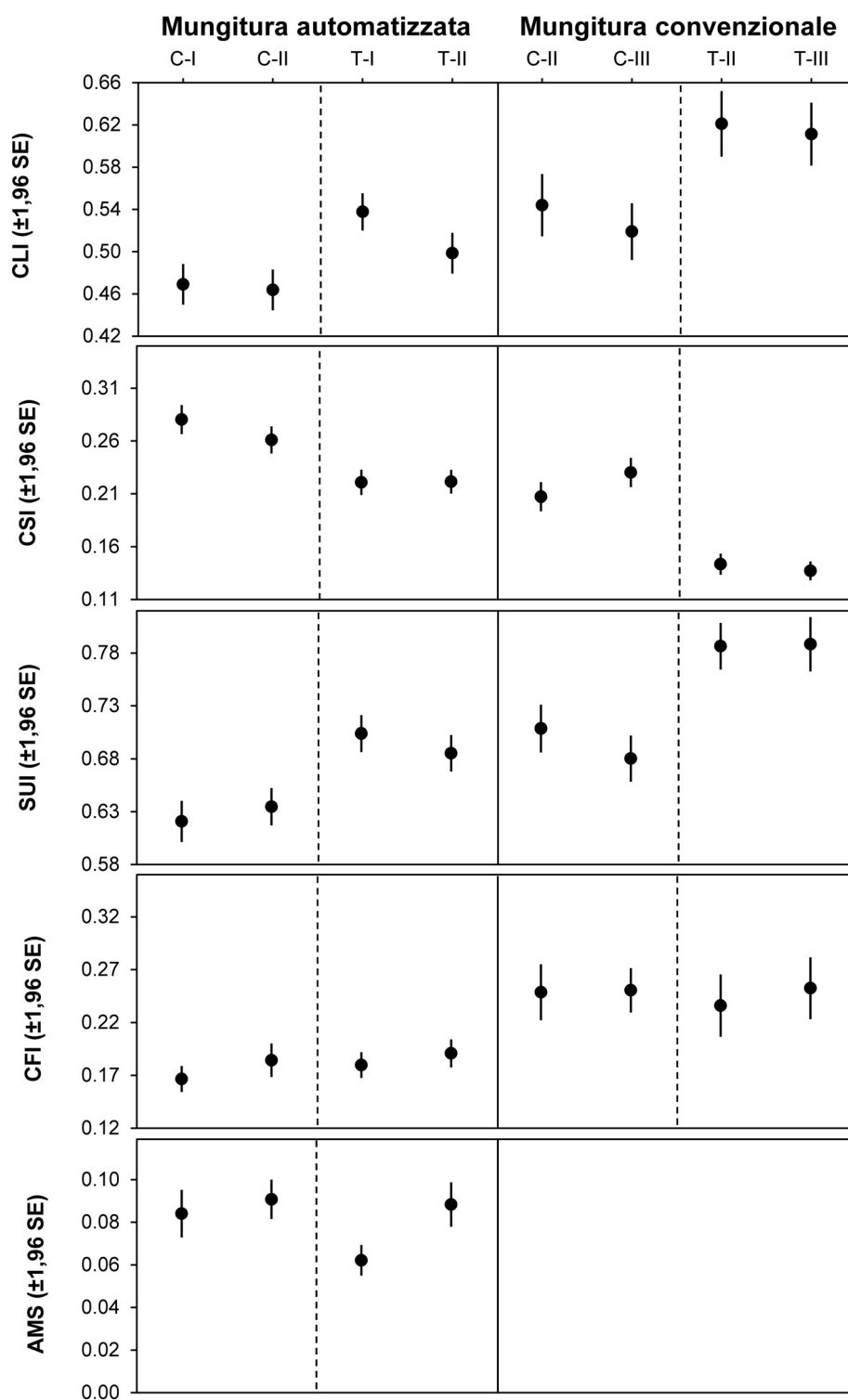


Figura 4.1. Indici giornalieri medi calcolati per le due frequenze di distribuzione ($1\times$ vs $2\times$ e $2\times$ vs $3\times$) e nei due differenti periodi termici (temperato e caldo) in entrambe le aziende. Le barre verticali indicano la variabilità espressa come 1.96 volte l'errore standard della media.

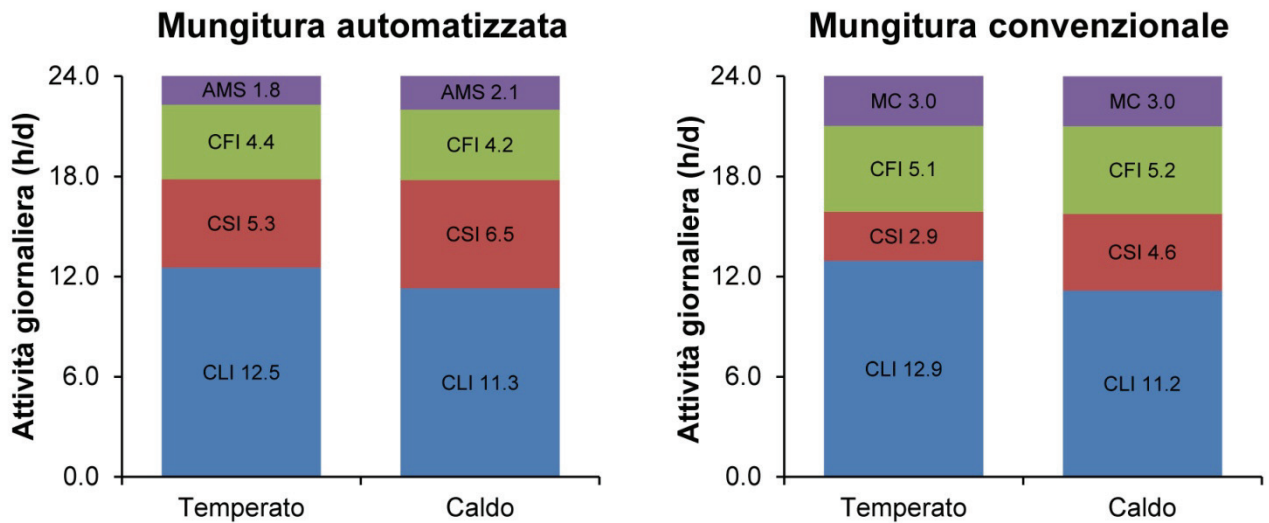


Figura 4.2. Confronto del “Time Budget” tra i due periodi monitorati (caldo e temperato) delle due aziende monitorate (AMS = tempo in mungitura automatizzata + sala d’attesa, CFI = tempo in alimentazione, CSI = tempo in piedi inattive, CLI = tempo a riposo, MC = tempo in mungitura convenzionale).

Il confronto tra i diversi andamenti giornalieri medi degli indici comportamentali (figura 4.3) ha messo in evidenza, soprattutto nell’azienda con sistema di mungitura automatizzata, come l’incremento della frequenza di distribuzione possa influenzare il comportamento delle bovine durante la giornata e in particolare alcune ore o periodi del giorno senza però influenzare in modo significativo il tempo complessivo dedicato alle diverse attività. A differenza del periodo temperato, nel periodo caldo, in condizioni di stress termico, è messo in evidenza un effetto significativo della seconda distribuzione sul CSI. Infatti, durante il periodo della giornata interessato dalla seconda somministrazione dell’alimento, le bovine tendono a rimanere meno in piedi ed andare o in mangiatoia o in mungitura. Questo risultato permette di mantenere dei valori di CSI, e quindi di bovine in piedi inattive, molto simili a quelli registrati nel periodo temperato. Lo stesso fenomeno viene anche evidenziato dal CFI con un aumento degli animali in alimentazione a partire dall’avvicinamento dell’alimento che precede la seconda distribuzione. Questi risultati hanno dimostrato come è possibile in certe condizioni utilizzare la gestione dell’alimentazione, e in particolare la frequenza delle somministrazioni al fine di ridurre l’effetto negativo dello stress da caldo sul comportamento delle bovine durante il periodo caldo.

L’influenza della frequenza di somministrazione sull’andamento giornaliero medio del comportamento è stato più significativo nell’azienda con robot di mungitura rispetto all’azienda con sistema convenzionale. Questo risultato può essere spiegato dall’incremento del 100% (passaggio da 1 somministrazione a 2 somministrazioni) del numero di somministrazioni nell’azienda con robot rispetto al 50% (passaggio da 2 somministrazione a 3 somministrazioni) in quella convenzionale. Inoltre, l’andamento giornaliero viene anche fortemente influenzato dal tempo in cui vengono effettuate le somministrazioni del alimento e dalla distanza, in termini di tempo, dalla mungitura (DeVries and von Keyserlingk, 2005) e dalle precedenti somministrazioni.

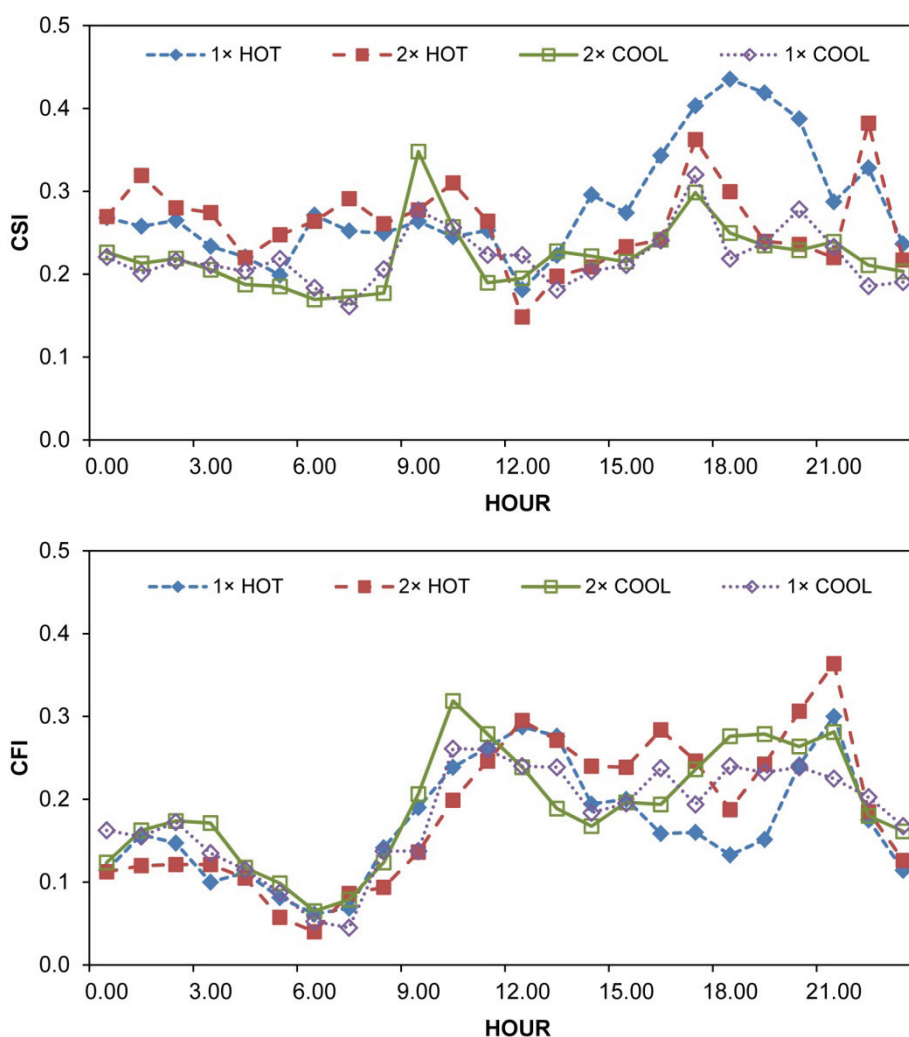


Figura 4.3. Andamenti giornalieri medi di alcuni indici comportamentali (CSI e CFI) nell'azienda con sistema di mungitura automatizzato durante le 4 differenti tipologie di prova (1 somministrazione, periodo temperato; 2 somministrazioni, periodo temperato; 1 somministrazione, periodo caldo; 2 somministrazioni, periodo caldo).

4.2 Effetti della frequenza di alimentazione sul comportamento di bovine da latte in un sistema di alimentazione (AFS) e di mungitura (AMS) automatizzato

In questa attività di ricerca, svolta in due aziende olandesi con la collaborazione della Wageningen University (Farm Technology Group), è stata analizzata l'influenza della frequenza di somministrazione della razione in condizioni operative e gestionali dell'allevamento altamente automatizzate mediante l'utilizzo di sistemi automatici di distribuzione e preparazione dell'unifeed e sistemi automatici di mungitura. Sono stati analizzati i principali effetti sul comportamento delle bovine con particolare attenzione al tempo dedicato al riposo, sulla produzione, sull'ingestione della razione e sull'utilizzo del sistema automatico di mungitura.

Ingestione di Sostanza Secca

I livelli e la variazione di ingestione di sostanza secca e dei vari nutrienti tra le diverse frequenze di somministrazione dell'alimento e tra i 2 differenti periodi in entrambe le aziende studio sono riportati nella tabella 4.3. In entrambe le aziende non sono state evidenziate differenze significative nell'ingestione di sostanza secca tra le diverse frequenze. Confrontando i periodi o repliche, invece,

si può osservare una riduzione di 0.75 kg/giorno dell'ingestione della sostanza secca nell'azienda A (13.8 vs. 13.0 kg/giorno per bovina in dicembre e in gennaio, rispettivamente; $P < 0.05$).

Tabella 4.3. Ingestione della sostanza secca e dei principali nutrienti delle bovine alimentate con differenti frequenze di distribuzione, in entrambe le strutture monitorate.

	December		January		SEM	P	Effect	
	11×	6×	6×	11×			F	P × F
Farm A								
DM, kg/d	13.8	13.8	12.9	13.1	0.33	*	NS	NS
CP, kg/d	1.92	1.70	1.71	1.74	0.098	NS	NS	NS
Ether extract, kg/d	0.52	0.47	0.43	0.46	0.013	***	**	NS
NDF, kg/d	6.09	5.89	5.57	5.99	0.179	NS	NS	NS
ADF, kg/d	3.60	3.49	3.41	3.67	0.125	NS	NS	NS
ADL, kg/d	0.29	0.29	0.21	0.26	0.015	**	NS	NS
Farm B	9×	6×	9×	6×				
DM, kg/d	15.3	15.8	15.7	15.9	0.34	NS	NS	NS
CP, kg/d	1.95	2.01	2.16	2.17	0.042	***	NS	NS
Ether extract, kg/d	0.49	0.51	0.52	0.53	0.019	NS	NS	NS
NDF, kg/d	6.30	6.52	6.31	6.40	0.165	NS	NS	NS
ADF, kg/d	3.55	3.67	3.62	3.67	0.090	NS	NS	NS
ADL, kg/d	0.33	0.33	0.28	0.28	0.009	***	NS	NS

NS = nonsignificant; † $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Questo risultato, anche se non direttamente, è comunque da attribuire all'effetto della frequenza di somministrazione in quanto nella azienda A il periodo prima della replica di gennaio è stata mantenuta la bassa frequenza di somministrazione (6×) come un lungo periodo di adattamento. La riduzione della frequenza di somministrazione ha motivato maggiormente le bovine ad assumere più concentrati nel robot di mungitura e nei distributori automatici di concentrato riducendo così il tempo speso in mangiatoia e l'ingestione di sostanza secca. Questo fenomeno è risultato anche legato alla progettazione della corsia di alimentazione con un numero limitato di poste in mangiatoia che in condizioni di un limitato numero di somministrazioni giornaliere non ha consentito a tutti gli animali di alimentarsi in mangiatoia durante la somministrazione della razione e quindi di cercare l'alimento (concentrato) nei distributori e nel robot di mungitura.

Produzione di latte e utilizzazione del sistema di mungitura automatizzato

Nell'azienda A, l'effetto della frequenza di somministrazione della razione, ha evidenziato una tendenza a una maggiore produzione di latte quando le bovine sono state alimentate con una bassa frequenza di distribuzione ($P < 0.10$). La produzione media di latte è stata di 31.4 e 32.2 kg/giorno per bovina, con 11× e 6× somministrazioni, rispettivamente.

La figura 4.4 evidenzia l'effetto della frequenza di distribuzione sulle visite giornaliere al sistema di mungitura automatizzato (numero di mungiture e numero di rifiuti). Con 6 somministrazioni giornaliere della razione il numero di bovine rifiutate dal sistema di mungitura è risultato maggiore per gran parte della giornata, ma in particolare durante la seconda parte del giorno (pomeriggio, sera e notte). La differenza del numero di rifiuti tra le due frequenze è risultato significativo solamente in due ore del giorno: alle 13.00 e alle 22.00. Per quanto riguarda il numero di mungiture, a livello orario non sono state trovate differenze significative tra le due frequenze (6× vs 11×) ad eccezione

delle 14.00, ma a livello di numero medio giornaliero di mungiture l'effetto della frequenza è risultato significativo ($P < 0.01$).

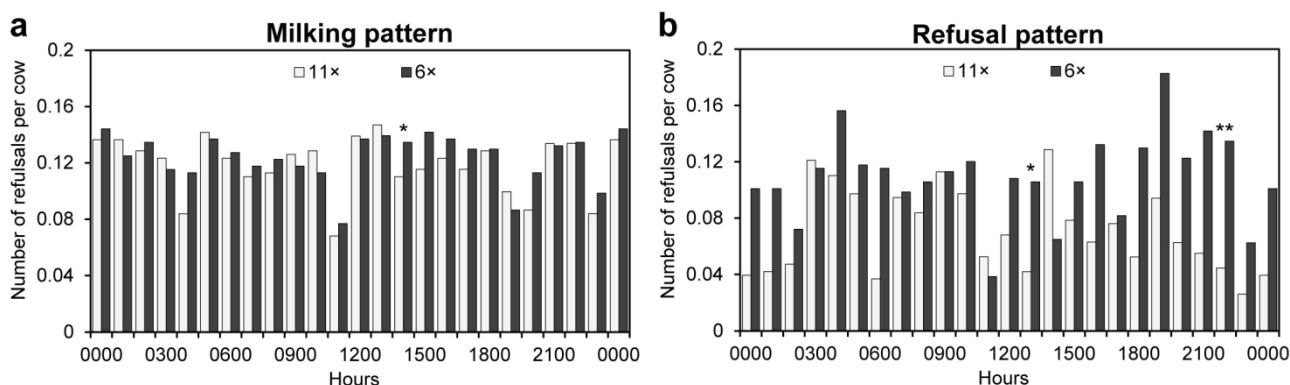


Figura 4.4. Numero medio orario di mungiture e di rifiuti per bovina. Le differenze significative sono indicate con **($P < 0.01$) and *($P < 0.05$).

Riducendo il numero di somministrazioni, in condizioni di un limitato numero di poste in mangiatoia (azienda A), stimola le bovine a trovare altre fonti dove potersi alimentare incrementando il numero di visite nel sistema di mungitura e nei distributori di concentrati.

Comportamento

Nella figura 4.5 viene confrontata la percentuale di bovine a riposo durante la giornata alimentate con le due differenti frequenze di somministrazioni, in entrambe le aziende. Si può notare, in particolare nell'azienda A, come l'effetto delle frequenze di alimentazione modifichi in modo significativo l'andamento del riposo delle bovine. Quando le bovine sono state alimentate con 6 somministrazioni, hanno evidenziato 6 periodi ben distinti di riposo in confronto all'andamento del riposo con 11 somministrazioni. Infatti, rispetto alle 11 somministrazioni, l'andamento del riposo con le 6 somministrazioni segue perfettamente il tempo in cui vengono effettuate le distribuzioni della razione. Nell'azienda B, passando dalle 9 alle 6 somministrazioni giornaliere, non sono state evidenziate particolari differenze nell'andamento del riposo nell'arco delle 24 ore.

Considerando il tempo medio di riposo giornaliero delle bovine, è stato un effetto del periodo in entrambe le aziende ma particolarmente evidente nell'azienda A (1.2 h/d, $P < 0.01$). L'effetto del periodo sul comportamento del riposo in entrambe le aziende può essere spiegato dalla differenza dello stadio di lattazione (Bewley et al., 2010; Chaplin and Munksgaard, 2001) dovuta al tempo trascorso tra i due periodi monitorati, ma nell'azienda A, il maggiore incremento del tempo a riposo può essere spiegato anche dall'effetto della riduzione della frequenza di somministrazione della razione da 11 a 6 volte al giorno. Le bovine alimentate meno frequentemente sono meno motivate ad andare in mangiatoia ad alimentarsi ed hanno così a disposizione più tempo da dedicare al riposo.

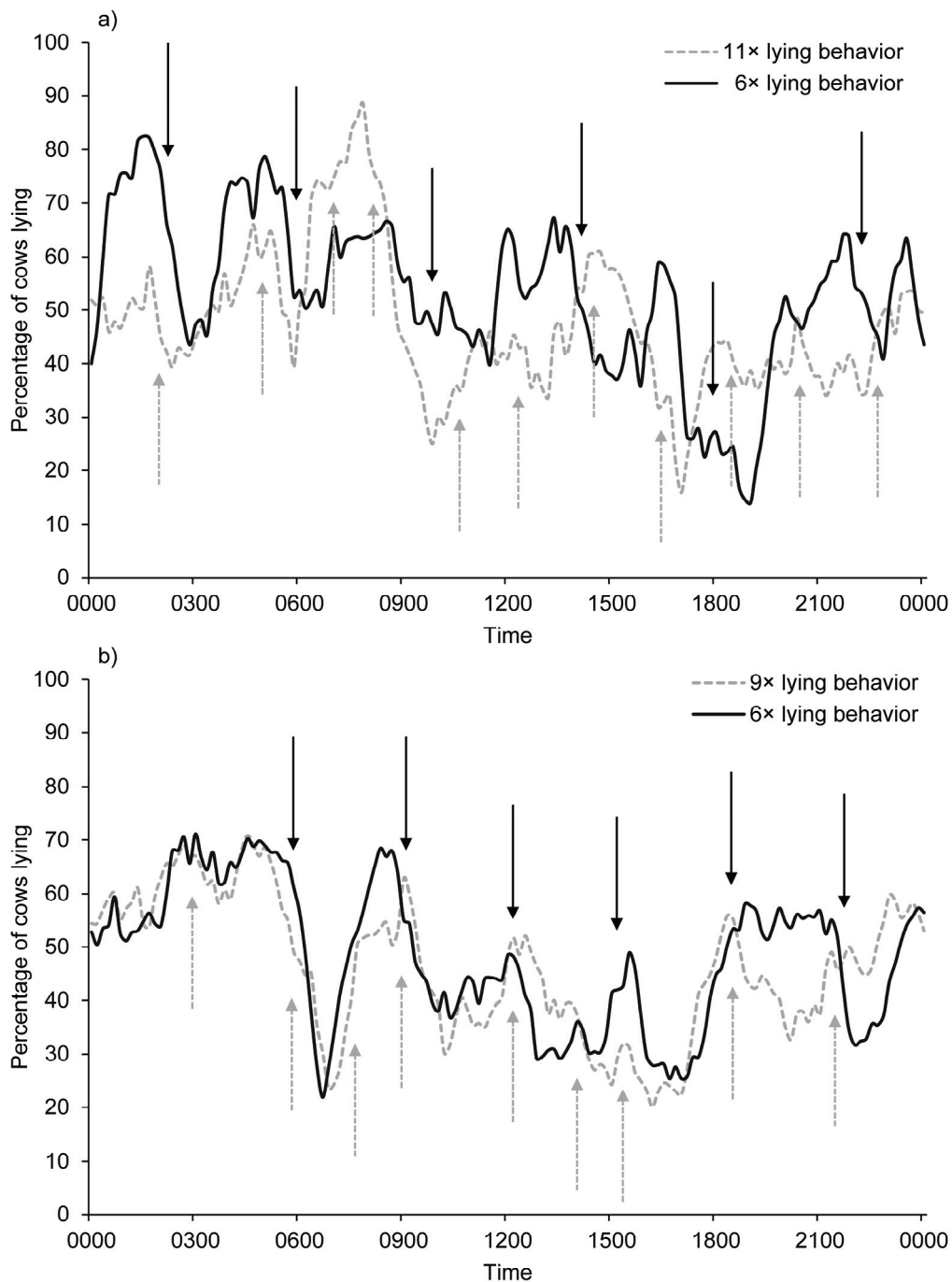


Figura 4.5. Percentuale di bovine a riposo nelle 24 ore in a) bovine alimentate 11 volte al giorno e 6 volte al giorno e b) bovine alimentate 9 volte al giorno e 6 volte al giorno. L'andamento giornaliero del riposo è stato ottenuto dalla media dei dati di 4 giorni per trattamento e per periodo e dal monitoraggio di 34 bovine mediante dispositivi elettronici. Le frecce indicano il numero e l'orario delle distribuzioni dell'alimento per ogni trattamento.

L'effetto della frequenza sul numero e sulla durata dei periodi di riposo è stato maggiore nell'azienda A rispetto alla B (figura 4.6). In particolare, la bassa frequenza di somministrazione (6×) ha avuto una maggiore influenza sui periodi di riposo con una lunghezza inferiore ai 100 minuti.

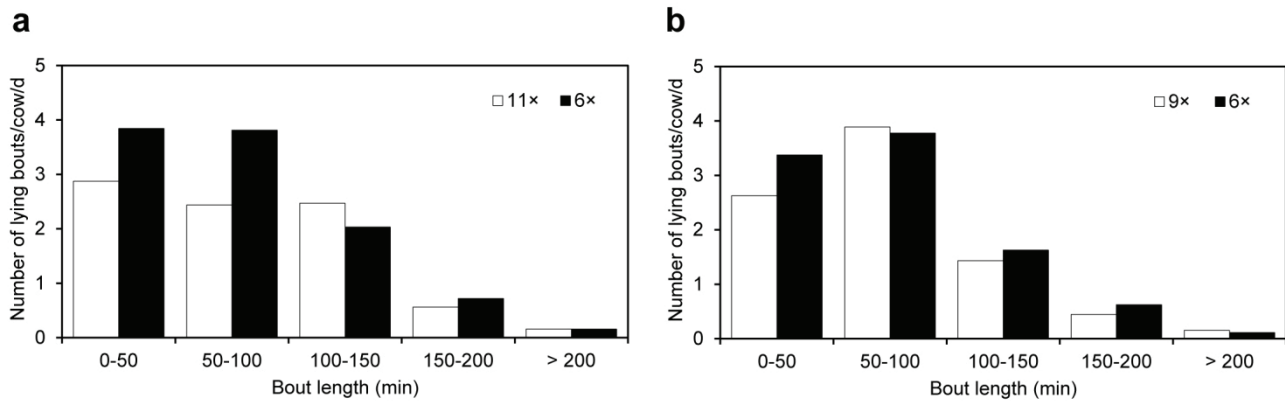


Figura 4.6. Distribuzione della durata dei periodi di riposo con differenti frequenze di distribuzione della razione, in entrambe le strutture monitorate.

5 INFLUENZA DELLA STRUTTURA E CONDIZIONI AMBIENTALI

In questo capitolo sono stati descritti sinteticamente i principali risultati ottenuti dalle attività di ricerca sull'influenza degli aspetti strutturali (dimensionamento e disposizione degli spazi funzionali) e delle condizioni ambientali (THI) sulle principali attività comportamentali delle bovine da latte. All'interno dello stesso ambito di ricerca, si è voluto predisporre un modello di simulazione che consentisse di fornire delle indicazioni sul comportamento delle bovine nel corso della giornata espresso come tempo speso nelle diverse attività (a riposo, in piedi, in alimentazione o abbeverata).

5.1 Effetto di differenti tipologie degli spazi funzionali

Questa attività di ricerca è stata mirata a valutare l'effetto di differenti tipologie di zone di riposo (numero di file di cuccette: 1, 2 e 3 file) e condizioni ambientali (periodo temperato e caldo) sul comportamento degli animali e sul loro movimento in relazione alla differente posizione delle cuccette all'interno della zona di riposo al fine di ottenere indicazioni progettuali sugli spazi necessari a garantire lo svolgimento ottimale delle diverse attività funzionali da parte delle bovine.

Effetto del numero di file di cuccette sul comportamento

I risultati hanno evidenziato che l'uso delle cuccette da parte degli animali non impegnati in altre attività (alimentazione, abbeverata; SUI) nel periodo temperato aumenta dal 64% delle bovine nella stalla con una fila di cuccette al 72% per quella intermedia fino all'81% per quella con tre file (figura 5.1).

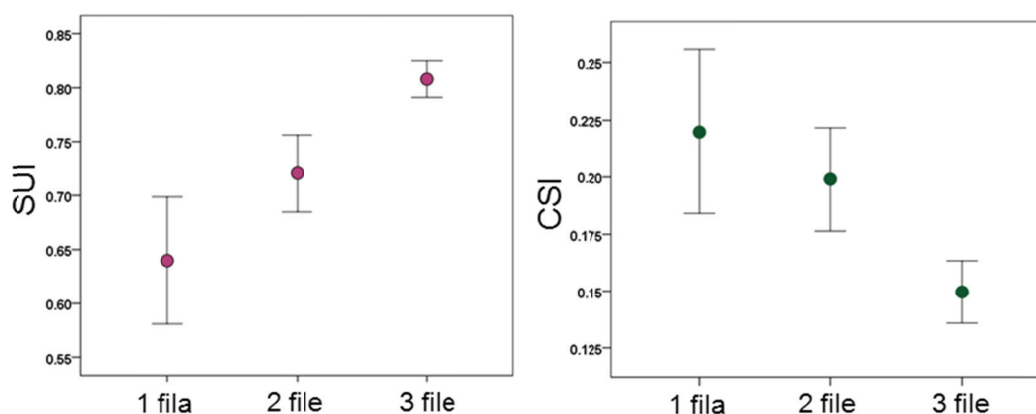


Figura 5.1. Indici comportamentali giornalieri medi del periodo di monitoraggio (SUI = Stall Usage Index, CSI = Cow Stress Index) ottenuti per ogni tipologia di zona di riposo (1 fila di cuccette, 2 file di cuccette, e 3 file di cuccette). Le barre verticali indicano la variabilità espressa come due volte l'errore standard della media.

Un maggiore utilizzo delle cuccette da parte delle bovine viene evidenziato se si prende in considerazione gli animali in piedi (CSI). Infatti, la struttura con un'unica fila di cuccette risulta la tipologia in cui le bovine tendono a rimanere più tempo in piedi, con una percentuale del 22%, mentre nella tipologia con tre file di cuccette la percentuale di bovine in piedi cala fino al 15%. Se si considera, invece, il tempo mediamente utilizzato dalle bovine per l'alimentazione, nella stalla con una fila risulta decisamente più elevato (34%) rispetto alle altre due tipologie con 2 e 3 file di cuccette (27 e 23%, rispettivamente).

Per analizzare la correlazione tra comportamento animale e condizioni ambientali nelle tre differenti tipologie sono stati anche elaborati i dati in funzione dell'indice THI, calcolando le medie dei valori per classi di THI e ottenendo così dei trend di comportamento generali per ogni tipologia. Osservando la figura 5.2, si nota come all'aumentare delle classi di THI diminuisca la percentuale di bovine in cuccetta. Inoltre mettendo a confronto le tre diverse tipologie (1, 2 e 3 file di cuccette) si può notare come si ripresenta la stessa tendenza delle bovine ad occupare maggiormente le cuccette nella struttura con 3 file di cuccette rispetto alla tipologia con un'unica fila.

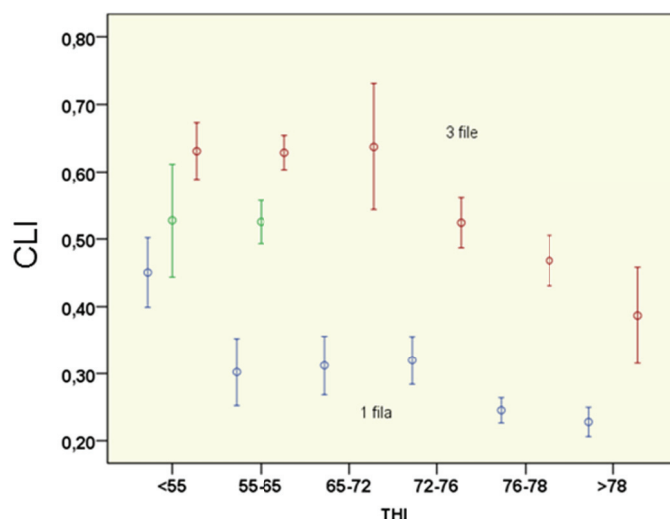


Figura 5.2. Andamento delle bovine in cuccetta (CLI) nelle tre differenti tipologie di file di cuccette (1 fila, 2 file, 3 file) espressa come media per classi di THI. Le barre verticali indicano la variabilità espressa come due volte l'errore standard della media.

I risultati ottenuti sembrano confermare che un aumento del numero di file di cuccette consenta agli animali di distribuirsi in modo più agevole nella struttura. Infatti, la possibilità di avere lo stesso numero di cuccette ma distribuito su più file permette agli animali di poter dedicare un tempo maggiore al riposo riducendo così il tempo in piedi. Questo andamento viene confermato anche dal comportamento delle bovine registrato durante il periodo caldo nel quale un maggior numero di file di cuccette sembrerebbe diminuire o in qualche modo alleviare le problematiche dello stress da caldo rispetto ad una struttura con un'unica fila di cuccette. Ovviamente questi risultati devono tener conto delle diverse caratteristiche tra le stalle e delle cuccette (tipologia, numero, ecc.), ma anche delle diverse operazioni gestionali, come la mungitura e l'alimentazione. Comunque, i risultati conseguiti possono rappresentare un'interessante indicazione per i criteri di progettazione delle stalle per bovine da latte. Inoltre, questa attività sperimentale ha ulteriormente confermato l'utilità dell'analisi del comportamento degli animali come strumento e/o parametro di valutazione del comfort e del benessere delle strutture per bovini da latte.

5.2 Sviluppo di un modello di simulazione per fornire indicazioni comparative sulle alternative costruttive per le stalle da latte

Nell'ambito di diverse attività di ricerca, si è voluto predisporre un modello di simulazione che, utilizzando come dati di partenza delle valutazioni di stalle, consentisse di fornire un'indicazione sul comportamento delle bovine nel corso della giornata espresso come tempo speso nelle diverse attività (a riposo, in piedi, in alimentazione o abbeverata).

L'approccio che si è voluto utilizzare è quello della logica fuzzy, che è già stato utilizzato da alcuni autori per realizzare modelli relativi a vari parametri nell'allevamento di bovini. Un'esperienza riguarda la predizione dello stress da caldo nei bovini da carne misurando il tasso di respirazione in differenti condizioni climatiche e di genotipo (Brown-Brandl et al., 2003). Sono stati confrontati 4 modelli (due di regressione multipla, e due sistemi di inferenza fuzzy). I risultati hanno mostrato che il sistema di inferenza fuzzy Sugeno tipo era leggermente migliore. Liberati e Zappavigna (2009) giudicano promettente il modello basato sulla logica fuzzy applicato al controllo automatizzato dei sistemi di mungitura. Infatti questo modello, confrontato con un modello statistico (LDA) si è rilevato migliore nella predizione di anomalie in anticipo e quindi indicato per la diagnosi precoce.

5.2.1 Introduzione

La logica fuzzy

La logica fuzzy è un approccio linguistico-matematico molto adatto a descrivere lo stato ed i mutamenti delle grandezze analogiche, ed ha costituito un valido approccio per la modellistica ed il ragionamento approssimativo su fenomeni sui quali sono ben note conoscenze di tipo qualitativo (vago), senza ricorrere a rigorose leggi ed equazioni derivanti dalle conoscenze della fisica ma che spesso sono sconosciute o vengono ignorate in quanto il reale beneficio dell'applicarle non giustifica l'elevato sforzo necessario per ricavarle.

Ad esempio considerando una serie di tre classi di temperature (Bassa, Media e Alta) la classificazione della temperatura può essere espressa da una stringa di tre Bit (BInary digIT), ognuno dei quali esprime la verità con la quale la temperatura appartiene alla corrispondente classe: una temperatura sotto la prima soglia di bassa sarà associata alla stringa [1, 0, 0], viceversa per una temperatura media si avrà [0, 1, 0] e per una alta [0, 0, 1]. Nel caso fuzzy i Bit vengono rimpiazzati da valori (detti Fit = Fuzzy digIT) che variano con continuità da zero ad uno perché così viene espressa la misura di verità degli enunciati, ovvero il grado di appartenenza dei valori di temperatura alle varie classi. La stessa temperatura può quindi appartenere contemporaneamente a varie classi, con gradi di verità differenti: ad esempio [0,4 0,6 0] per una temperatura medio-bassa o [0 0,4 0,6] per una medio alta. Si intuisce subito come la descrizione della realtà sia migliore.

All'aumentare della precisione necessaria occorre premiare la natura fuzzy delle cose ed, in quanto portatori di maggiore contenuto informativo i Fit sono decisamente migliori dei Bit. Questo è il principale motivo per cui gli approcci fuzzy aumentano il "QI" delle macchine rendendo i sistemi di automazione più vicini al modo di ragionare umano.

La tolleranza all'imprecisione della logica fuzzy ci consente di manipolare la vaghezza della realtà e la sua non linearità attraverso una scrittura matematica formale che ne permette una rappresentazione numerica. Con la logica fuzzy è possibile fare delle deduzioni anche quando la conoscenza da cui si parte è imprecisa o vaga.

Gli insiemi fuzzy

Un insieme F è fuzzy se l'appartenenza di un elemento ad esso può essere espressa da un numero reale compreso tra zero e uno. La funzione che esprime tale grado di appartenenza viene detta

appunto funzione di appartenenza. Tra le funzioni di appartenenza le più utilizzate sono quelle di forma triangolare o trapezoidale, ma possono essere anche logistiche e gaussiane.

Relazioni linguistiche ed implicazioni

Il linguaggio della logica fuzzy si rivela un rigoroso supporto formale per la rappresentazione della conoscenza ed il ragionamento attraverso proposizioni vaghe, una specie di “calcolare con le parole” che diventa sempre più efficace all’aumentare della complessità del sistema sulla quale si applica, mentre diminuisce la nostra capacità di effettuare dichiarazioni precise su di esso. I sistemi fuzzy hanno trovato vasta applicazione come sistemi esperti di supervisione e controllo ove la conoscenza viene espressa in forma linguistica riprendendo le relazioni qualitative normalmente note ed utilizzate dall’operatore umano. I suoi impieghi si sono rivelati utili specialmente quando la descrizione di un processo da controllare è di difficile sintesi a causa di mancanza di dati o di forti non linearità e/o quando sono disponibili solo dati imprecisi ed incompleti mentre le conoscenze sono solo empiriche e qualitative.

Sistemi fuzzy

Generalmente lo schema tipico di un sistema fuzzy prevede che alcune grandezze fisiche vengano “fuzzyficate” secondo certe predefinite funzioni di appartenenza allo scopo di derivarne una rappresentazione fuzzy; quindi queste vengono elaborate in base ad una base di regole (del tipo IF, THEN) allo scopo di determinare la forma fuzzy della variabile di uscita del ragionamento, infine questa viene “defuzzyficata” allo scopo di ricavare un valore numerico deterministico da assegnare alla variabile di uscita.

La “fuzzyficazione” è il procedimento attraverso il quale le variabili di ingresso vengono convertite in misure fuzzy della loro appartenenza a determinate classi come bassa, media, alta. Tale conversione da grandezze deterministiche a fuzzy viene effettuata attraverso le funzioni di appartenenza predefinite per quelle classi.

Il cuore di un ragionamento fuzzy è costituito da una serie di preposizioni del tipo IF (situazione) THEN (azione) che costituiscono il valore che deve avere l’uscita dell’algoritmo a fronte di una certa combinazione dei suoi ingressi. Tali enunciati vengono detti regole ed il loro insieme, che costituisce la “base delle regole” rappresenta la codifica di tutte le conoscenze che abbiamo sul comportamento del sistema (Veronesi e Visioli, 2003).

5.2.2 Materiali e metodi

Il sistema di controllo è stato sviluppato utilizzando come supporto informatico il Toolbox Fuzzy Logic del software Matlab.

La prima operazione necessaria alla costruzione del modello è stata la scelta dei parametri di input e di output, a cui è seguita la definizione delle funzioni di appartenenza per ogni parametro individuato. Infine sono state definite le regole che mettono in relazione i parametri di input tra loro e con i parametri di output in modo da evidenziare determinate condizioni del digestore e la modifica necessaria da apportare alla sua alimentazione per il mantenimento o il ripristino delle condizioni ottimali.

Scelta degli input e degli output

La prima operazione svolta è stata la scelta dei parametri di input e output del modello, che ha seguito il percorso tracciato dall’obiettivo di questo lavoro, cioè quello di fondare il sistema di controllo su parametri facilmente rilevabili in condizione operative, basandosi, per quanto possibile sulle esperienze svolte sulla valutazione delle stalle.

I parametri di input scelti sono:

THI: rappresentativo delle condizioni climatiche a cui sono soggetti gli animali.

Comodità: questo valore deriva dal valore derivante da un sistema di punteggio che prende in considerazione alcuni aspetti della struttura di stabulazione che possono influenzare il comportamento degli animali (cucette, raffrescamento, acqua d'abbeverata, corsie, disponibilità di posti e sovraffollamento, pavimentazione).

Ventilazione: questo parametro rappresenta un indicatore dell'effetto della struttura sulle condizioni microclimatiche interne. L'indice di funzionalità della ventilazione è ottenuto tramite attribuzione di punteggi alle caratteristiche della struttura che influenzano maggiormente la portata d'aria per ventilazione naturale (pendenza del tetto, altezza, ostacoli, orientamento, cupolino).

Il valore viene ottenuto dalla seguente relazione empirica:

$$IV=(1-(100-os)/200).(1-(100-or)/600).(1-(100-c)/100).(p+h).co.(1-100-i).(1-(100-la)/200)$$

Dove IV è l'indice di ventilazione e gli altri termini sono: altezza (h), pendenza (p), ostacoli (os), orientamento (or), cupolino (c), coibentazione (co), inerzia (i), larghezza (la).

Gestione: valore che tiene conto dell'intervento gestionale con particolare riferimento a quelle operazioni che inducono gli animali ad abbandonare la posizione di riposo (mungiture, avvicinamenti dell'alimento).

Come parametro di output è stato scelto l'indice di comportamento relativo alla percentuale di animali in cuccetta rispetto al totale degli animali che non si stanno alimentando o abbeverando.

Funzioni d'appartenenza e regole

Dopo aver scelto i parametri da utilizzare, questi devono essere fuzzyficati attraverso la costruzione, per ogni parametro, di funzioni d'appartenenza. Le funzioni d'appartenenza scelte per gli input sono tre e hanno forma triangolare, tranne che per il THI che ha utilizzato 4 funzioni, sempre triangolari. Le funzioni e i valori che definiscono l'intervallo di ognuna di esse, sono stati definiti in base alle conoscenze acquisite da precedenti sperimentazioni.

Per quanto riguarda le funzioni di appartenenza per la variabile in uscita sono stati considerati 8 valori con funzione triangolare. La defuzzificazione è eseguita con il metodo del centroide.

Le regole sono state ricavate dalle esperienze svolte e dalla bibliografia consultata. Si è cercato di ipotizzare l'effetto combinato dei quattro parametri di input sul comportamento degli animali.

Esecuzione e calibrazione del modello

Il modello fuzzy realizzato è stato inserito in un modulo Simulink di Matlab ed è stato utilizzato predisponendo come dati di input sulla base dei dati raccolti nell'ambito del progetto STABULA (Provolo et al., 2007): "Criteri di progettazione delle strutture di stabulazione negli allevamenti di bovini da latte lombarde", finanziato dalla Regione Lombardia nell'ambito del Piano per la ricerca e sviluppo 2004-2006.

5.2.3 Risultati preliminari e discussione

Il modello ottenuto ha consentito di stimare con una buona precisione il comportamento delle bovine. Ad esempio, per quanto riguarda la percentuali di animali sdraiati in cuccetta rispetto a quelli totali, se non impegnati in altre attività (SUI), i valori forniti da modello risultano avere un coefficiente di determinazione di $R^2 = 0.73$ con il set di training e di $R^2 = 0.60$ con quello di validazione (figura 5.3).

La figura 5.4 mostra l'istogramma dell'importanza delle 4 variabili di input utilizzate nel modello, espresse come percentuale di importanza relativa che ogni variabile di input ha contribuito alla determinazione dell'output. Si può notare come tutti i 4 input hanno un'influenza più o meno simile con una maggiore rilevanza dell'input comodità (28%), mentre la variabile gestione è risultata quella che incide di meno (21%) nella determinazione dell'output. La graduatoria, in base

all'incidenza sulla determinazione dell'output, delle 4 variabili di input sembra essere più che ragionevole.

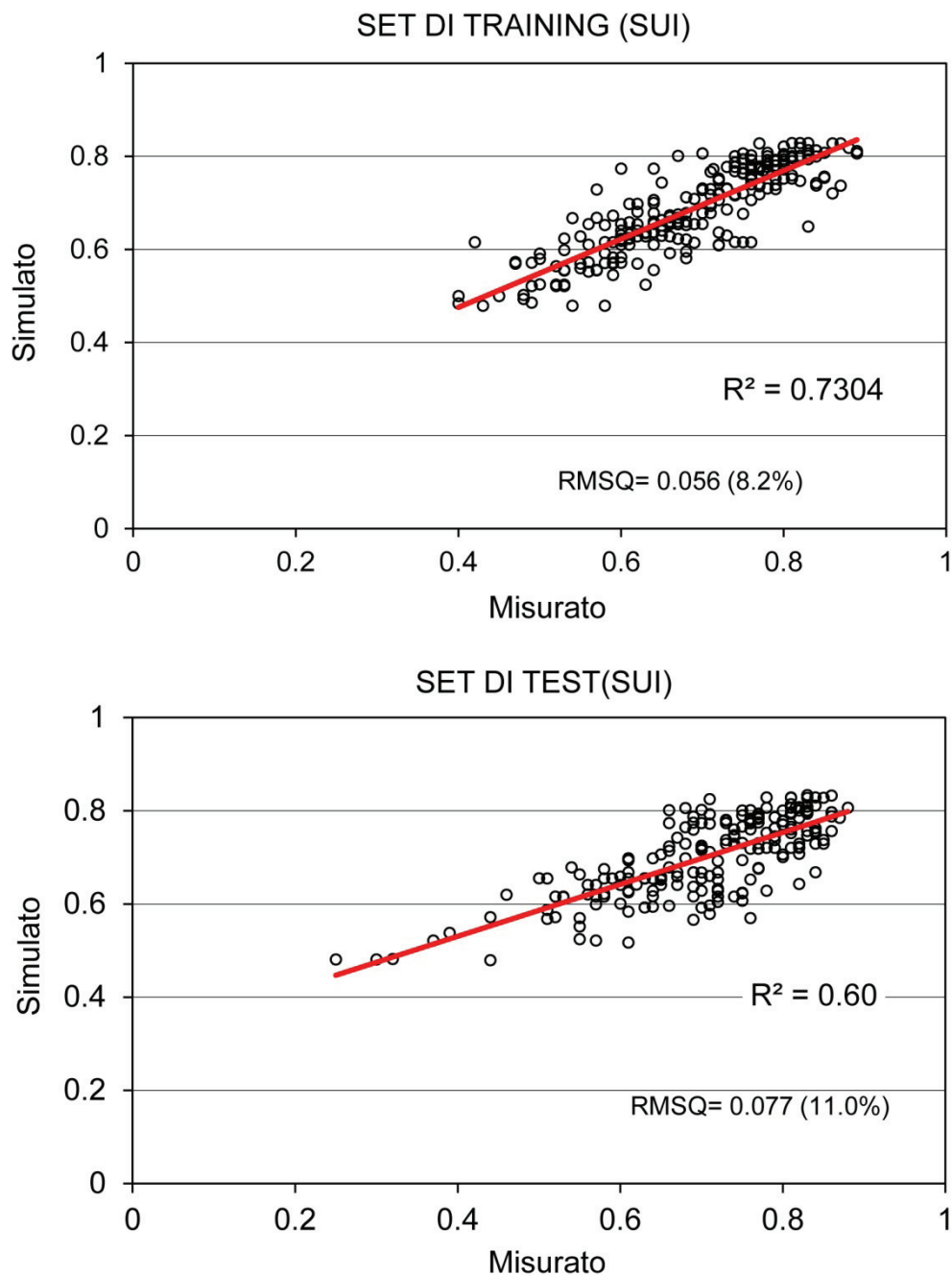


Figura 5.3. Correlazione tra i valori simulati, forniti dal modello, e quelli misurati, ottenuti dai dati di input, dell'uso delle cuccette da parte degli animali non impegnati in altre attività (alimentazione, abbeverata; SUI) per quanto riguarda sia il set di training che di test.

L'utilizzo di questo modello di simulazione consente quindi di fornire un'indicazione sull'efficienza della struttura di stabulazione dal punto di vista funzionale e il suo effetto sul comportamento degli animali al variare delle condizioni climatiche. Risulta perciò un interessante

strumento a supporto della progettazione e della valutazione delle stalle in relazione a una componente del benessere delle bovine e la produttività dell'allevamento.

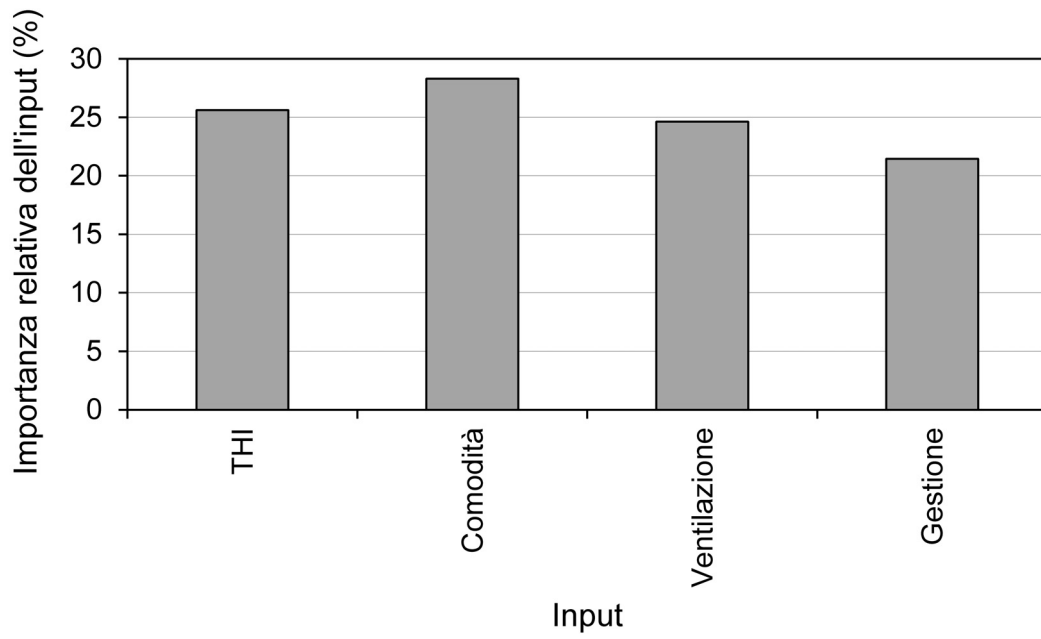


Figura 5.4. Influenza (espressa in % sul totale) dei diversi input utilizzati nel modello.

6 METODOLOGIE E TECNOLOGIE DI MONITORAGGIO

In questo capitolo sono stati descritti sinteticamente i principali risultati ottenuti dalle attività di ricerca sulle metodologie e tecnologie di monitoraggio del comportamento orientate all'analisi, validazione e sviluppo di alcuni dispositivi elettronici per il rilievo automatico delle attività comportamentali di bovine da latte e alla messa a punto delle metodologie di campionamento riguardante gli intervalli di scansione di analisi del comportamento monitorato mediante osservazione diretta (videoregistrazione) e dispositivi elettronici. Un maggiore dettaglio dei risultati e delle discussioni sono riportati negli articoli I, II e III.

6.1 Validazione dei sistemi per il monitoraggio automatico del comportamento

HOBO Pendant G Acceleration Data Logger, IceTag 2D e PedometerPlus Tag System

I dispositivi automatici di registrazione del comportamento indagati hanno dimostrato di misurare accuratamente il riposo e il comportamento in piedi delle bovine in lattazione.

L'IceTag 2D e l'HOBO Pendant G Data Logger hanno evidenziato un'alta capacità di identificare correttamente sia il riposo in cuccetta che l'inattività in piedi delle bovine monitorate, con una probabilità che il comportamento rilevato, rispetto alla videoregistrazione, corrisponda al vero prossima al 100%. Al contrario, il movimento delle bovine non è stato adeguatamente monitorato dall'IceTag. Rispetto al riposo e all'inattività in piedi la probabilità che il movimento, rilevato dal data logger IceTag corrisponda al vero è stata bassa, attestandosi attorno al 25-30%. Anche, il PedometerPlus Tag ha mostrato una stretta correlazione del tempo a riposo ($R^2 = 0.987$; $P < 0,001$) e della frequenza dei periodi del riposo ($R^2 = 0.866$; $P < 0,001$) ottenuti con l'HOBO Pendant G Acceleration Data Logger (figura 6.2).

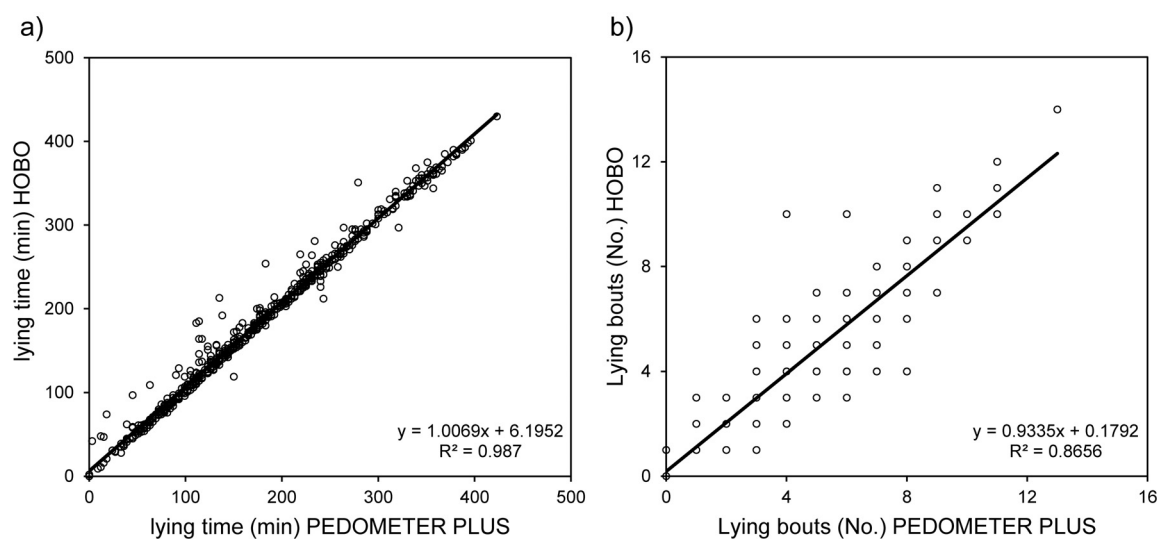


Figura 6.2. Correlazione tra Pedometer Plus e HOBO Pendant G Data Logger con equazione e coefficiente (R^2) della regressione lineare; a) correlazione tra il tempo speso a riposo (lying time) misurato come min/sezione di mungitura, b) correlazione tra numero di periodi di riposo.

Un esempio di confronto tra i dati comportamentali ottenuti dall'analisi delle registrazioni video e dei dati registrati dai dispositivi automatici è stato riportato in figura 6.1. In questa figura possono essere facilmente distinguibili i periodi di riposo della bovina alternati dai periodi d'inattività in piedi.

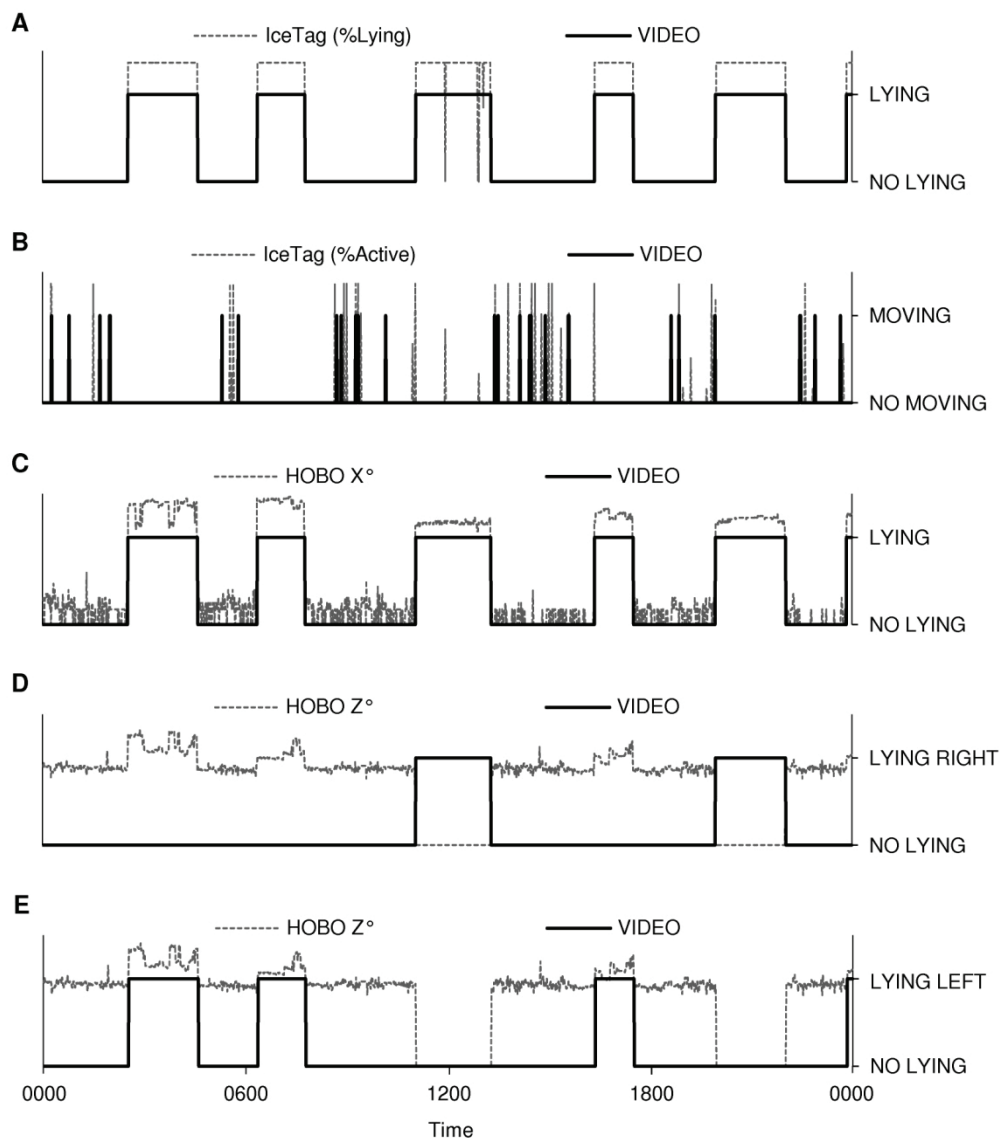


Figura 6.1. Schema giornaliero comportamentale di una bovina da latte durante il periodo di prova ottenuto mediante monitoraggio con la videoregistrazione, HOBO Pendant G Data Logger, e IceTag 2D.

I risultati ottenuti da queste attività di ricerca hanno confermato la validità dell'utilizzo di questi dispositivi per monitorare il comportamento delle bovine da latte, riducendo il tempo e il lavoro (time and labour-saving) di elaborazione e post-analisi dei dati registrati incrementando così il livello di automazione dell'analisi delle attività comportamentali. I dispositivi elettronici basati su accelerometri tri-assiali possono descrivere accuratamente anche la lateralità del riposo, come già dimostrato da Ledgerwood et al. (2010). La possibilità di misurare in modo automatico anche questo aspetto del riposo può chiarire il ruolo della lateralità come indicatore di comfort delle cuccette e della zona di riposo di una struttura stabulativa ed essere utile per valutare il benessere

dei bovini da latte, in particolare quando esistono condizioni non confortevoli o di disagio (Tucker et al., 2009). Purtroppo, questi dispositivi non riescono a misurare altri comportamenti importanti come l'alimentazione, i diversi aspetti dell'inattività in piedi (Idle-standing e Perching) e la localizzazione dell'animale all'interno della struttura che può essere invece monitorata dal sistema di videoregistrazione. Comunque i vantaggi forniti da queste tecnologie e l'integrazione con altri dispositivi basati su differenti tecnologie (GPS o RFID) possono essere utilizzati allo scopo di sviluppare un sistema automatico di gestione del bestiame per un efficace monitoraggio e controllo del benessere degli animali nei moderni allevamenti.

6.2 Metodologia di campionamento del comportamento “Sampling Frequency”

Videoregistrazione e post-analisi delle immagini

Osservando gli indici comportamentali (CLI, SUI, CSI) giornalieri medi della settimana calcolati con diverse frequenze di scansione (figura 6.3) si può notare come sia indifferente, per estrapolare alcuni comportamenti degli animali, utilizzare periodi di scansione limitati, come 10 e 20 minuti, oppure periodi di scansione più ampi come 30 e 60 minuti.

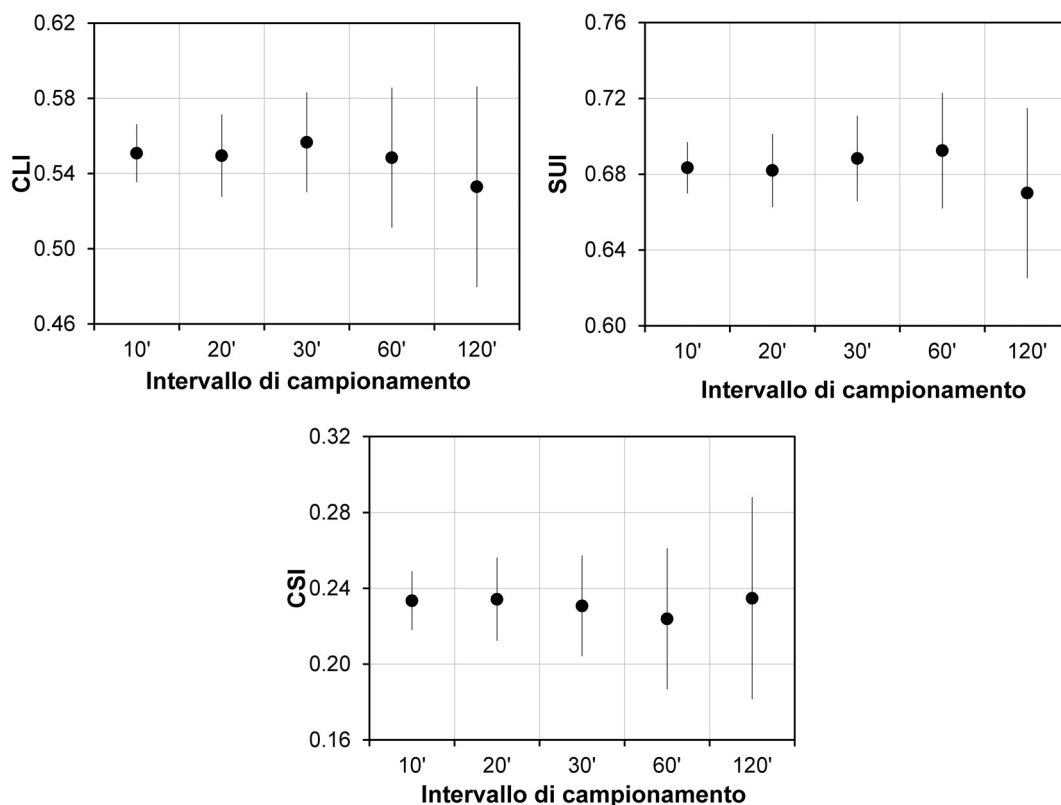


Figura 6.3. Indici comportamentali giornalieri medi della settimana (CLI = Cow Lying Index, SUI = Stall Usage Index, CSI = Cow Stress Index) calcolati con diverse frequenze di scansione (10, 20, 30, 60 e 120 minuti). Le barre verticali indicano la variabilità espressa come due volte l'errore standard della media.

Infatti, in tutti gli indici le diverse frequenze utilizzate, ci forniscono la stessa informazione con l'unica differenza che all'aumentare del periodo di scansione aumenta in relazione anche la variabilità espressa dall'errore standard e quindi si riducono lievemente l'accuratezza e l'attendibilità della stima. Utilizzare, invece, un periodo di scansione di 120 minuti può dare, per

alcuni comportamenti come il riposo, risultati differenti e una minore accuratezza e attendibilità della stima rispetto alle altre frequenze di scansione.

La stretta relazione tra le diverse frequenze di scansione messa in evidenza dal confronto grafico viene confermata anche dall'analisi della correlazione tra gli indici di comportamento degli animali (tabella 6.1). Infatti, la frequenza di analisi oraria ha fornito risultati fortemente correlati a quelli ottenuti con frequenze di scansione maggiore (10, 20 e 30 minuti) con coefficienti di correlazione lineare altamente significativi ($P < 0.01$) e superiori a 0.9 per tutti gli indici utilizzati nell'analisi. Per quanto riguarda il periodo di scansione di 120 minuti i bassi coefficienti di correlazione lineare ottenuti ci indicano che periodi di scansione superiori a 60 minuti non sono adatti ad estrapolare il comportamento degli animali.

Tabella 6.1. Valori del coefficiente di correlazione (r) tra gli indici di comportamento degli animali calcolati con diverse frequenze di scansione (10, 20, 30, 60 e 120 minuti).

	Indici comportamentali											
	CLI				SUI				CSI			
	10	20	30	60	10	20	30	60	10	20	30	60
20	0.952**	-	-	-	0.970**	-	-	-	0.956**	-	-	-
30	0.958**	0.841*	-	-	0.953**	0.891**	-	-	0.939**	0.873*	-	-
60	0.966**	0.900**	0.957**	-	0.907**	0.858**	0.962**	-	0.989**	0.964**	0.940**	-
120	0.591	0.436	0.653	0.747	0.711	0.663	0.833*	0.905**	0.720	0.649	0.881**	0.756*

N= 35 observations (7 days×5 scan samples).

* $P < 0.05$

** $P < 0.01$

Questi risultati hanno evidenziato come le attività comportamentali degli animali come il riposo, l'alimentazione e l'inattività in piedi possono essere adeguatamente interpretati analizzando le immagini con frequenza oraria confermando i risultati riportati in bibliografia in particolare le esperienze di Mitlohner et al. (2001) e di Overton et al. (2002 e 2003).

La metodologia di indagine utilizzata, basata sulla videoregistrazione e la post analisi delle immagini, ha consentito di ottenere una valutazione dettagliata del comportamento degli animali nel corso della giornata, ma nello stesso tempo ha richiesto un notevole impegno di risorse nella analisi a posteriori delle immagini per determinare la posizione degli animali all'interno del ricovero. A questo proposito, la base di tempo e gli intervalli di monitoraggio individuati per l'analisi delle attività hanno aumentato sensibilmente il grado di automazione del rilievo riducendo il lavoro di post-analisi delle immagini e il numero di dati da elaborare.

Sistemi per il rilievo automatico del comportamento

Nelle attività di ricerca, in cui è stata analizzata l'accuratezza e la precisione dei sistemi o dispositivi elettronici di monitorare le attività comportamentali degli animali, è stata effettuata anche un'analisi sulle frequenze o intervalli di scansione che possono essere utilizzate per il rilievo del comportamento.

L'accuratezza dei diversi intervalli di campionamento sulla valutazione delle diverse attività comportamentali è stata analizzata confrontando le medie calcolate partendo da differenti frequenze di scansione (1 secondo e 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, e 60 minuti). Frequenze di scansione maggiori di 2 minuti hanno prodotto risultati simili per il tempo che la bovina durante la giornata dedica al riposo o in piedi ma non per gli altri parametri del riposo come la frequenza e la durata del singolo periodo del riposo. Un intervallo di campionamento di 2 minuti rispetto ad un intervallo di 1 secondo è risultato molto accurato nel misurare il riposo ($P > 0.980$), ma è stato meno preciso a

misurare la struttura del comportamento ($P < 0.480$). Per questi parametri comportamentali (struttura del riposo), lunghi intervalli di campionamento (10, 15, 30 e 60 min) hanno fatto registrare differenze significative ($P < 0.01$).

Intervalli di campionamento di durata relativamente breve (da 1 a 30 minuti) sono accurati e precisi per misurare la quantità di tempo trascorso a riposo, in accordo con precedenti studi effettuati su bovini da carne (Mitlöhner et al., 2001) e da latte (Mattachini et al., 2011). Sulla base di questi risultati, una frequenza di scansione inferiore ai 2 minuti permette ai dispositivi basati su sensore accelerometrico di poter misurare il comportamento del riposo (tempo, frequenza e durata) in modo accurato e preciso.

7 DISCUSSIONE GENERALE

Le principali attività di ricerca descritte all'interno di questa tesi di Dottorato di ricerca sono state orientate alla valutazione della risposta comportamentale di differenti gruppi di bovine da latte a diverse condizioni strutturali, ambientali e operative di stabulazione con particolare riferimento ai tempi dedicati dalle bovine al riposo, all'inattività in piedi e all'assunzione di alimento. In particolare i risultati ottenuti dai diversi aspetti analizzati sono stati finalizzati a fornire indicazioni progettuali sugli spazi (dimensionamento e disposizione) necessari a garantire lo svolgimento ottimale delle diverse attività funzionali da parte delle bovine, e per evidenziare gli aspetti gestionali (alimentazione e mungitura) che possono interagire con il risultato produttivo e il benessere degli animali.

Le attività svolte nell'ambito del progetto di ricerca PRIN 2007 "Soluzioni tecniche innovative per migliorare efficienza produttiva e benessere animale nella stabulazione di bovini da latte", hanno confermato come le variazioni di comportamento più significative derivino dalle condizioni microclimatiche della stalla, legate in particolar modo al THI, e dalla adeguatezza di spazi e a attrezzature interne. Le indicazioni emerse dalle sperimentazioni effettuate confermano che la variazione della frequenza di distribuzione dell'alimento sembra influenzare in modo limitato il tempo speso nelle diverse attività da parte degli animali come media giornaliera. La diversa frequenza di distribuzione ha invece alterato la distribuzione delle attività nel corso della giornata. In particolare, nell'azienda con sistema di mungitura automatizzato, l'aumento della frequenza di distribuzione ha comportato una maggiore tendenza degli animali a passare attraverso il sistema di mungitura per accedere alla mangiatoia rilevando come la gestione dell'alimentazione può modificare anche l'utilizzo del sistema di mungitura da parte degli animali. Di contro, i risultati ottenuti suggeriscono che il numero crescente di distribuzioni può aumentare l'assunzione di sostanza secca e la produzione del latte. Naturalmente, in allevamenti in cui le operazioni di alimentazione non sono automatizzate, l'allevatore deve valutare attentamente se il maggior costo di una distribuzione supplementare è compensato da un aumento del reddito derivante dalla maggior produzione di latte. Inoltre, l'aumento della frequenza di alimentazione durante il periodo caldo può rappresentare un'utile strategia di mitigazione dello stress da caldo moderato al fine di ridurre gli effetti negativi sulla produzione di latte.

L'influenza della disposizione delle cuccette in zona di riposo sul comportamento delle bovine ha fornito anche indicazioni utili sui criteri di progettazione con la finalità di incrementare il tempo a riposo delle bovine e una migliore gestione delle diverse attività comportamentali per un miglior comfort e benessere degli animali. Per questi motivi il comportamento delle bovine può essere un interessante parametro gestionale e da tenere sotto controllo per valutare le condizioni dell'allevamento.

Una delle attività previste ha avuto lo scopo di individuare una modalità oggettiva, quale un modello di simulazione, per prevedere gli effetti delle scelte progettuali (caratteristiche strutturali e disposizione degli spazi) della struttura di stabulazione prevedendo il comportamento delle bovine, inteso sempre come tempo speso nelle diverse attività e in particolare riferendosi al tempo di riposo in cuccetta, sulla base delle caratteristiche strutturali della stalla, della tipologia e dimensioni delle cuccette e degli spazi funzionali, delle modalità con cui viene gestita la stalla, tenendo conto delle condizioni ambientali esterne. Il modello ottenuto ha consentito di stimare con una buona precisione il comportamento delle bovine e di fornire un'indicazione sull'efficienza della struttura di

stabulazione dal punto di vista funzionale e il suo effetto sul comportamento degli animali al variare delle condizioni climatiche.

Recentemente lo sviluppo di sistemi automatici innovativi per la preparazione e la distribuzione della razione hanno permesso di intravedere nuove prospettive nell'ambito della gestione dell'alimentazione della bovina da latte, dall'organizzazione del lavoro, alle interazioni con gli altri sistemi automatici, come quello di mungitura, fino alla razionalizzazione del comportamento e del benessere degli animali. Uno degli aspetti che maggiormente caratterizzano questi sistemi automatici riguarda la possibilità di regolare la frequenza di distribuzione in modo da gestire l'ingestione di alimento e stimolare l'attività delle bovine.

Alla luce di questi aspetti innovativi e al sempre maggiore utilizzo di questi sistemi nei paesi nord europei (particolarmente in Olanda) si è voluto indagare l'effetto di elevate frequenze di somministrazione sul comportamento di bovine in lattazione, in particolar modo sul riposo, e le interazioni con gli altri sistemi automatici presenti (mungitura automatizzata). I risultati ottenuti in queste condizioni operative hanno in parte confermato i risultati ottenuti nelle esperienze condotte con sistemi convenzionali. Oltre a variazioni significative sulla produzione di latte e sull'ingestione di sostanza secca, la frequenza di distribuzione influenza in modo significativo il tempo dedicato dalle bovine al riposo e modifica il modello comportamentale di utilizzo degli altri sistemi come la mungitura. Questi sistemi automatici costituiscono la più recente e inedita possibilità tecnologica per supportare gli allevatori nel gestire il razionamento dell'allevamento. Le strategie di alimentazione evidenziate anche in alcuni allevamenti nordeuropei consentono di intravedere molteplici benefici, anche se ulteriori ricerche sono necessarie per stabilire linee guida e criteri progettuali per la progettazione di stalle completamente automatizzate (alimentazione, mungitura, pulizia) e valutare gli effetti sul benessere e sul comportamento delle bovine.

Nell'ambito dell'attività di ricerca svolta, sono stati approfonditi diversi aspetti relativi alle metodologie e tecnologie utilizzate per il monitoraggio delle attività comportamentali per la valutazione del comfort e del benessere di bovine da latte in diverse condizioni d'allevamento ed ambientali. Lo studio del comportamento animale è ritenuto essenziale per la valutazione dello stato di benessere in differenti tipi di stabulazione e per lo sviluppo di sistemi di allevamento che permettano di conciliare elevati livelli produttivi e benessere animale. Le ricerche effettuate hanno permesso di individuare possibili soluzioni in grado di migliorare il livello di automazione di analisi del comportamento e di fornire, con un elevato grado di accuratezza e precisione, informazioni essenziali per mettere in evidenza potenzialità e limiti di tecniche di gestione dell'allevamento, per individuare i punti critici, per definire le migliori soluzioni da adottare, per fornire cioè tutte quelle informazioni occorrenti a individuare criteri progettuali e regole operative basate su considerazioni oggettive e attentamente verificate.

Ogni metodologia di campionamento del comportamento ha specifici punti di forza e di debolezza, e deve essere accuratamente selezionata in base agli obiettivi dello studio, ed in particolare al comportamento che deve essere esaminato. Le metodologie indagate, basate sulla videoregistrazione e la post analisi delle immagini, consentono di ottenere una valutazione dettagliata del comportamento degli animali nel corso della giornata come è stato dimostrato anche nell'ambito di questa ricerca, ma nello stesso tempo ha richiesto un notevole impegno di risorse nella fase analisi. I risultati ottenuti confermano come le principali attività comportamentali di base delle bovine possono essere adeguatamente interpretate analizzando le immagini con frequenza oraria aumentando sensibilmente il grado di automazione del rilievo riducendo il lavoro di post-analisi delle immagini e la quantità di dati da analizzare. Individuare una precisa metodologia di rilievo per ottenere un valore giornaliero rappresentativo del comportamento delle bovine è stato utile per ridurre la quantità di filmati da analizzare e per ottenere un risparmio di tempo e di risorse non solo per le attività indagate nell'ambito di questo dottorato di ricerca ma anche per successive

sperimentazioni e attività di valutazione del comportamento. Rimangono alcuni elementi limitanti per un approccio di questo tipo legati alla necessità di installazioni all'interno degli edifici zootecnici, con problemi di protezione dalle condizioni ambientali e di frequente manutenzione. Un altro aspetto che rende questo tipo di sperimentazione particolarmente onerosa in termini di risorse umane riguarda l'analisi a posteriori del comportamento degli animali che non può essere, allo stato attuale della tecnologia, facilmente automatizzata. Peraltro, alcune esperienze hanno già messo in evidenza la prospettiva di una maggiore automazione del rilievo sia della posizione degli animali all'interno della stalla, sia delle attività che stanno svolgendo.

Le esperienze che prevedono la valutazione del comportamento degli animali prevedono l'utilizzo di videocamere o di fotocamere con successiva analisi manuale delle immagini. Come già spiegato in precedenza, questo tipo di strumentazione può fornire risultati molto dettagliati sull'attività degli animali, ma richiede un notevole impegno nell'analisi a posteriori delle immagini. Per questo motivo, in alternativa alla videoregistrazione, sono state indagate tecnologie innovative in grado di rilevare in modo automatico alcune attività comportamentali degli animali. Le esperienze condotte con accelerometri commerciali (HOBO Pendant G Acceleration Data Logger, IceTag 2D, e PedometerPlus Tag System) in grado di fornire l'accelerazione su tre assi e registrare il valore con una frequenza programmabile hanno confermato la validità dell'utilizzo di questi dispositivi per monitorare il comportamento delle bovine, riducendo il tempo e il lavoro (time and labour-saving) di elaborazione e post-analisi dei dati registrati, incrementando la comprensione del benessere e del comfort della bovina. Gli accelerometri e i dispositivi elettronici investigati hanno accuratamente misurato il riposo, l'inattività in piedi, il numero, la struttura e la lateralità dei periodi di riposo. Purtroppo, questi dispositivi non possono misurare altri comportamenti importanti come l'alimentazione, i diversi aspetti dell'inattività in piedi (Idle-standing e Perching) e la localizzazione dell'animale all'interno della struttura che può essere invece monitorata dal sistema di videoregistrazione.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Analizzando i risultati ottenuti dalle diverse attività di ricerca orientate alla gestione della frequenza di alimentazione si possono fornire differenti indicazioni gestionali a seconda delle diverse condizioni operative dell'allevamento. In condizioni di alimentazione e mungitura convenzionali 2 distribuzioni giornaliere possono essere sufficienti in quanto l'attività giornaliera delle bovine è fortemente influenzata dalla mungitura ed i lievi vantaggi di un aumento del numero delle somministrazioni non sono sufficienti a giustificare il costo aggiuntivo dell'operazione. Invece, in condizioni operative miste con un'interazione tra sistemi convenzionali (alimentazione) e sistemi automatici o robotizzati (sistema automatico di mungitura) la possibilità di poter somministrare la razione alle bovine più volte al giorno e ben distribuite temporalmente all'interno della giornata può risultare più efficace per diversi aspetti. Infatti, in assenza dello stimolo dato dalle due mungiture tradizionali, l'aumento del numero delle somministrazioni giornaliere stimola maggiormente l'attività delle bovine, stimolando di conseguenza anche l'utilizzo del sistema di mungitura in termini sia di frequenza di visite sia di produzione di latte. Comunque anche in questo caso il numero ottimale delle somministrazioni dipende dalla sostenibilità economica e lavorativa dell'operazione aggiuntiva.

In condizioni operative completamente automatizzate con l'integrazione di sistemi di mungitura robotizzati e sistemi di preparazione e distribuzione della razione alimentare automatizzati la scelta ottimale della frequenza di distribuzione diventa completamente indipendente dagli aspetti economici legati ai costi delle operazioni aggiuntive e può essere fatta esclusivamente in relazione ai livelli produttivi che si possono raggiungere, al comfort e allo stato di benessere degli animali e al layout e dimensionamento degli spazi funzionali. Dai primi risultati ottenuti si può considerare ottimale un numero di 6-8 somministrazioni giornaliere. Un numero maggiore di somministrazioni non comporta un aumento dei livelli produttivi ma potrebbero invece determinare degli effetti negativi sul comfort e sul benessere messi in evidenza da comportamenti anomali delle bovine come la manifestazione di comportamenti aggressivi legati al numero di poste in mangiatoia in condizioni di basse frequenze o una riduzione dei tempi di riposo e un aumento dell'inattività in piedi con elevate frequenze di somministrazione.

Per quanto riguarda l'influenza della disposizione delle cuccette e degli spazi per il trasferimento degli animali sul comportamento, i risultati ottenuti, seppur parziali e da confermare con ulteriori sperimentazioni, hanno consentito di evidenziare l'importanza di questo aspetto nel contribuire a creare le condizioni ottimali di allevamento.

Le interazioni con le altre componenti gestionali e ambientali è però molto rilevante, tanto da non consentire di fornire indicazioni generalmente valide oltre a quelle consolidate. L'impostazione di un modello di simulazione con logica fuzzy ha permesso, però, di fornire delle valutazioni, al momento in forma preliminare, per prevedere il comportamento degli animali in base alle condizioni strutturali. Questo strumento potrebbe consentire di verificare le ipotesi progettuali anche considerando il probabile comportamento delle bovine e supportare l'analisi di stalle esistenti per valutare le criticità riscontrate.

Le metodologie e le tecnologie indagate hanno permesso di incrementare il livello di automazione del rilievo delle attività comportamentali delle bovine. Sul piano scientifico, i risultati e le

indicazioni ottenute potranno fornire utili informazioni per i ricercatori interessati a studi sul comportamento animale, che intendano avvalersi di tecnologie collaudate, di semplice applicazione e affidabili per fornire indicazioni sui criteri progettuali e gestionali al fine di realizzare strutture di stabulazione sempre più adeguate alle esigenze degli animali e rispettose del loro benessere.

FUTURE RICERCHE

Gli studi affrontati durante il periodo del dottorato di ricerca hanno permesso di incrementare le conoscenze delle differenti metodologie e tecnologie utilizzate nel monitoraggio del comportamento di bovine da latte allo scopo di indagare e valutare gli effetti della struttura stabulativa, delle attrezzature e della gestione sul comportamento e sulla produttività dell'allevamento. Allo stesso tempo i risultati ottenuti e gli aspetti fin qui considerati hanno sollevato anche nuovi aspetti e nuove problematiche, che richiedono ulteriori approfondimenti e verifiche sperimentali, in riferimento sia alle condizioni ambientali, che ai sistemi di monitoraggio del comportamento degli animali. Di seguito sono riportati alcuni dei possibili aspetti da indagare:

- sviluppo di un dispositivo elettronico per il rilievo automatico del comportamento basato sulla tecnologia dell'accelerometro con processore integrato per un pre-processing dei dati registrati per una migliore ottimizzazione della memoria e della batteria;
- messa a punto di una metodologia di analisi temporale dell'andatura di bovine da latte mediante dispositivi elettronici con sensore accelerometrico;
- progettazione di un sistema completo automatizzato per il monitoraggio finalizzato alla determinazione della posizione e del comportamento degli animali all'interno della struttura stabulativa basato su differenti tecnologie (accelerometri, RFID, ZigBee) integrate tra di loro. Il sistema si baserebbe sul monitoraggio individuale delle bovine attraverso dispositivi elettronici in grado di analizzare in tempo reale i movimenti all'interno della stalla e, di conseguenza determinare la posizione e il relativo comportamento esplicito dall'animale in modo completamente automatico;
- approfondimento delle conoscenze relative al comportamento delle bovine da latte in relazione alle condizioni di stress da caldo e all'utilizzo di sistemi innovativi di raffrescamento tra cui un sistema integrato di nebulizzazione ad alta pressione con ventilazione forzata e un sistema di raffrescamento con raffrescatore ad aria evaporativo.

BIBLIOGRAFIA

Abeni, F., 2009. Main causes of poor welfare in intensively reared dairy cows. *Ital. J. Anim. Sci.* 8 (Suppl.), 45-66.

Aharoni, Y., Brosh, A., Harari, Y., 2005. Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livestock Production Science.* 92, 207-219.

Albertini, M., Canali, E., Cannas, S., Ferrante, V., Mattiello, S., Panzera, M., Verga, M. 2008. *Etologia applicata e benessere animale, Vol. 1 – Parte Generale.*

Albright, J. L., Arave, C. W., 1997. *The behaviour of cattle. The behaviour of cattle. VIII, 306 pp.*

Armstrong, D. V., 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77, 2044–2050.

ASHRAE, 1966. *Fundamentals and Equipment. ASHRAE Guide and Data Book. ASHRAE, New York.*

Azizi, O., Kaufmann, O., Hasselmann, L., 2009. Relationship between feeding behaviour and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield. *Livestock Sci.* 122, 156-161.

Baeta F.C., Meador N.F., Shanklin M.D., Johnson H.D., 1987. Equivalent Temperature Index above the thermoneutral for lactating dairy cows. *ASAE. Paper 87-4015, Proc. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich.: ASAE.*

Barbari, M., Conti, L., Simonini, S., 2008. *Spatial Identification of Animals in Different Breeding Systems to Monitor Behavior. Livestock Environment VIII, Iguassu Falls, Brazil.*

Barbari, M., Conti, L., 2009. Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen. *Biosystems Engineering.* 103, 239-244.

Bass, P.D., Pendell, D.L., Morris, D.L., Scanga, J.A., Belk, K.E., Field, T.G., Sofos, J.N., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2008. Review: sheep traceability systems in selected countries outside of North America. *Professional Animal Scientist* 24, 302–307.

Belle, Z., G. Andrè, and J. C. A. M. Pompe. 2011. Effect of automatic feeding of total mixed rations on the diurnal visiting pattern of dairy cows to an automatic milking system. *Biosyst. Eng.* doi:10.1016/j.biosystemseng.2011.10.005.

Berdahl, P., Bretz, S. E. 1997. Preliminary Survey of the Solar Reflectance of Cool Roofing Materials. *Energy and Buildings.* 25:149-158.

Berman A., 2004. Tissue and External Insulation Estimates and Their Effects on Prediction of Energy Requirements and of Heat Stress. *J. Dairy Sci.* 87, 1400-1412

- Berman A., 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83, 1377-1384.
- Berman, A., Folman, Y. M., Kaim, M., Mamen, Z., Herz, D., Wolfenson, A., Graber, Y., 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a tropical climate. *J. Dairy Sci.* 68, 488-495.
- Berry I. L., Shanklin M. D., Johnson H. D., 1964. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Transactions of the ASAE.* 7, 329-331.
- Bewley, J. M., Boyce, R. E., Hockin, J., Munksgaard, L., Eicher, S. D., Einstein, M. E., Schutz, M. M., 2010. Influence of milk yield, stage of lactation, and body condition on dairy cattle lying behaviour measured using an automated activity monitoring sensor. *J. Dairy Res.* 77, 1–6.
- Bianca, W., 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature* 195, 251–252.
- Bisaglia, C., Nydegger, F., Grothmann, A., Pompe, J., 2010. Automatic and frequency-programmable systems for feeding TMR: State of the art and available technologies, XVIIth World Congress of the International Commission of agricultural and biosystems engineering. Quebec City, Canada: Sustainable Development and Agriculture.
- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J. B., 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90, 1947–1956.
- Bond, T. E., Kelly, C. F., 1955. The globe thermometer in agricultural research. *Agr. Eng.* 36, 251.
- Bowling, M. B., Pendell, D. L., Morris, D. L., Yoon, Y., Katoh, K., Belk, K. E., Smith, G. C., 2008. Review: identification and traceability of cattle in selected countries outside of North America. *Professional Animal Scientist* 24, 277-286.
- Bouraoui R., Lahmar M., Majdoub A., Djemali M., Belyea R., 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51, 479-491.
- Broom, D. M., 1988. The concept of stress and welfare. *Recueil de Medecine Veterinaire* 164, 715-721.
- Broom, D. M., Johnson, K. G., 1993. *Stress and Animal Welfare.* 1st Edition, Chapman & Hall, London.
- Broucek J., Uhrincat' M., Kovalciková M., Arave C. W., 1998. Effects of heat environment on performance, behavior and physiological responses of dairy cows. *Proceedings of the 4th International Dairy Housing Conference, ASAE,* 217-223.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., Hahn, G. L., 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators, *Biosystems Engineering.* 90, 451-462.

- Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Eigenberg R. A., Hahn, G. L., Freetly, H., 2003. Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology*. 28, 149-157.
- Bucklin, R.A., Turner, L.W., Beede, D.K., Bray, D.R., Hemken, R.W., 1991. Methods to relieve heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Applied Engineering in Agriculture*. 7, 241-247.
- Buffington, D. E.; Collier, R. J.; Canton, G. H. 1983. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Transactions of the ASAE*. 26, 1798-1802.
- Caja, G., Hernandez-Jover, M., Collin, C., Garin, D., Alabern, X., Farriol, B., Ghirardi, J., 2005. Use of ear tags and injectable transponders for the identification and traceability of pigs from birth to the end of the slaughter line. *Journal of Animal Sciences* 83, 2215–2224.
- Calamari L., Maianti M.G., Cappa V., Frazzi E., 1994. The influence of the air speed on yield and milk characteristics in dairy cows during summer. *Proceedings International Conference on Agricultural Engineering, Milano, 29 Agosto - 1 Settembre, 1, 101-108.*
- Calegari, F., Calamari, L., Frazzi, E. 2000. Effects of housing system on the behaviour and welfare of dairy cows during hot periods and under environment conditioning. In *Proc. XIV Memorial CIGR World Congress, Tsukuba, Japan. 1317-1322.*
- Campiotti, M., 2003. Principali parametri di benessere nell'allevamento delle vacche, *L'informatore Agrario*, 30, 5-14.
- Campiotti, M., Perkins, B., 2001. Meno stress, più latte. *L'informatore Agrario*. 39 (Suppl.) 14-26.
- CIGR, (2006). *Animal housing in hot climates: A multidisciplinary review*, Published by Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences, Schüttesvej, Denmark.
- Chaplin, S., Munksgaard, L., 2001. Evaluation of a simple method for assessment of rising behaviour in tethered dairy cows. *Anim. Sci.* 72, 191–197.
- Collier, R. J., Eley, R. M., Sharma, A. K., Pereira, R. M., Buffington, D. E., 1981. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64, 844-849.
- Collin, C., Caja, G., Nehring, R., Ribo, O., 2002. The use of passive injectable transponders in fattening lambs from birth to slaughter: effects of injection, position, age, and breed. *Journal of Animal Sciences* 80, 919–925.
- Cook, N. B., Bennett, T. B., Nordlund, K. V., 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88, 3876-3885.
- Cook, N. B., Mentink, R. L., Bennett, T. B., Burgi, K., 2007. The effects of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1674–1682.
- Coppock, C. E., Grant, P. A., Portzer, S. J., Charles, D. A., Escobosa, A., 1982. Lactating dairy cow responses to dietary sodium, chloride, and bicarbonate during hot weather. *J. Dairy Sci.* 65, 566-576.

- D'Archivio, S. 2007. Interazione animale-ambiente e criteri di progettazione degli edifici per l'allevamento ai fini della riduzione dello stress da caldo. Tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria Agraria. Università di Bologna.
- Darr, M., Epperson, W., 2009. Embedded sensor technology for real time determination of animal lying time. *Comput. Electron. Agric.* 66,106-111.
- De Rensis, F., Scaramuzzi R. J., 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow - a review. *Theriogenology*, 60, 1139-1151
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 625–631.
- DeVries, T. J., Von Keyserlingk, M. A. G., Beauchemin, K. A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 3553-3562.
- DeVries, T. J., Von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., Beauchemin, K. A., 2003. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 3354-3361.
- Drissler, M., Gaworski, M., Tucker, C. B., Weary, D. M., 2005. Freestall maintenance: Effects on lying behavior on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88, 2381–2387.
- Duncan, I. J. H., 1981. Animal behaviour and welfare. Environmental aspects of housing for animal production, 455-470.
- Duncan, I. J. H., Fraser, D., 1997. Understanding animal welfare. *Animal welfare*, 19-31.
- EFSA-EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2009. Scientific report on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease, Report of the Panel on Animal Health and Welfare. Annex to the EFSA Journal, 1143, pp. 1-284.
- Eigenberg, R. A., Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Hahn, G. L., 2005. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 2: predictive relationships. *Biosystems Engineering.* 91, 111-118
- Erasmus, W.J., Jansen, M.B., 1999. Animal identification and monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture* 24, 91–98.
- Frazzi E., Calamari L., Calegari F., 2003. Assessment of a thermal comfort index to estimate the reduction of milk production caused by heat stress in dairy cow herds. *Proceedings of the 5th Dairy Housing Conference, ASAE* 1, 269-276.
- Frazzi E., Calamari L., Calegari F., 1998. Dairy cows heat stress index including air speed parameter. *Rivista di Ingegneria Agraria* 29, 91–96.
- Frazzi E., Calamari L., Calegari F., Stefanini L., 2000. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. *Transactions of the ASAE.* 43, 387-394.
- Fregonesi, J. A., Leaver, J. D., 2001. Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livest. Prod. Sci.* 68, 205–216.

- Fregonesi, J. A., Tucker, C. B., Weary, D. M., 2007a. Overstocking reduces lying time in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 3349–3354.
- Fregonesi, J. A., Tucker, C. B., Weary, D. M., Flower, F. C., Vittle, T., 2004. Effect of rubber flooring in front of the feed bunk on the time budgets of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, 1203–1207.
- Fregonesi, J. A., Veira, D. M., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., 2007b. Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 5468–5472.
- Gastaldo, A., 2011. Dossier: Buon riposo. *L'allevatore magazine.* 15, 35-46.
- Gebremedhin, K. G., Binxin, W. 2000. A model of evaporation cooling of wet skin surface and fur layer. *ASAE Annual International Meeting, Milwaukee, Wisconsin, USA,* 1-17.
- Grant, R. J., Albright, J. L., 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73, 2791–2803.
- Grant, R. J., Albright, J. L., 2000. Feeding behaviour. *Farm animal metabolism and nutrition,* pp. 365-382.
- Gibson, J. P., 1984. The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: An analysis of published results. *Anim. Prod.* 38, 181–189.
- Haley, D. B., de Passillé, A. M., Rushen, J., 2001. Assessing cow comfort: effects of two floor types and two tie stall designs on the behaviour of lactating dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 71, 105–117.
- Haley, D. B., Rushen, J., de Passillé, A. M., 2000. Behavioural indicators of cow comfort: Activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can. J. Anim. Sci.* 80, 257–263.
- Harms, J., Wendl, G., 2005. Feeding behaviour in automatic milking systems: influence of the social rank of dairy cows. *Landtechnik.* 60, 286-287.
- Hillman, P. E., Lee, C. N., Willard, S. T., 2005. Thermoregulatory responses associated with lying and standing in heat-stressed dairy cows. *Transactions of the ASABE.* 48, 795-801.
- Holter, J. B., West, J. W., McGilliard, M. L., 1997. Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2188-2199.
- Igono, M.O., Bjotvedt, G., Sanford-Crane, H.T., 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36, 77-87.
- Igono, M.O., Steevens, B.J., Shanklin, M.D., Johnson, H.D., 1985. Spray cooling effects on milk production, milk, and rectal temperatures of cows during a moderate temperate summer season. *J. Dairy Sci.* 68, 979-985
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science.* 77, 59-91.

- Khongdee, S., N. Chaiyabutr, G. Hinch, K. Markvichitr, and C. Vajrabukka., 2006. Effects of evaporative cooling on reproductive performance and milk production of dairy cows in hot wet conditions. *Int. J. Biometeorol.* 50, 253–257.
- Ledgerwood, D. N., Winckler, C., Tucker, C. B., 2010. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93, 5129–5139.
- Lehner, P. N. 1987. Design and execution of animal behavior research: An overview. *Journal of Animal Science.* 65:1213-1219.
- Lehner P. N., 1992. Sampling methods in behavior research. *Poult Sci.* 71, 643-649.
- Lehner, P. N., 1996. *Handbook of ethological methods*, 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Le Liboux, S., Peyraud, J. L., 1999. Effect of forage particle size and feeding frequency on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. *Animal Feed Science Technology.* 76, 297–319.
- Liberati, P., Zappavigna, P. 2004. Il comportamento termico degli edifici in clima caldo estivo: contributi sperimentali al modello teorico. *Rivista di Ingegneria Agraria.* 1:33-42.
- Liberati, P., Zappavigna., P., 2009. Improving the automated monitoring of dairy cows by integrating various data acquisition systems. *Comp. Electr. Agric.* 68, 62–67.
- Mantysaari, P., Khalili, H., Sariola, J., 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 4312-4320
- Martin, P., Bateson. P., 2007. *Measuring behaviour: An Introductory Guide.* Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Mattachini, G., Riva, E., Provolo, G., 2011. The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 129, 18–27
- Maust, L. E., R. E. McDowell, R. E. McDowell, and N. W. Hooven., 1972. Effect of summer weather on performance of Holstein cows in three stages of lactation. *J. Dairy Sci.* 55, 1133–1139.
- McDowell R.E., Hooven N.W., Camoens J.K., 1976. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59, 965–973.
- McGowan, J. E., Burke, C. R., Jago, J. G., 2007. Validation of a technology for objectively measuring behaviour in dairy cows and its application for oestrous detection. *NZ Soc. Anim. Prod.* 67, 136-142.
- Melin, M., Wiktorsson, H., Norell, L., 2005. Analysis of feeding and drinking patterns of dairy cows in two cow traffic situations in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 88, 71-85.

- Mentink, R. L., Cook, N. B., 2006. Feed bunk utilization in dairy cows housed in pens with either two or three rows of free stalls. *J. Dairy Sci.* 89, 134-138.
- Mitlohner, F. M., Morrow-Tesch, J. L., Wilson, S. C., Dailey, J. W., McGlone, J. J., 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle, *J. Anim. Sci.* 79, 1189-1193.
- Müller, R., Schrader, L., 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83, 247-258.
- Munksgaard, L., Jensen, M. B., Pedersen, L. J., Hansen, S. W., Matthews, L., 2005. Quantifying behavioural priorities-effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92, 3-14.
- National Research Council. 1971. A guide to environmental research on animals. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Ng, M.L., Leong, K.S., Hall, D., Cole, P., 2005. A small passive UHF RFID tag for livestock identification. In: *IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE)*, vol. 1, pp. 67-70.
- Nocek, J. E., Braund, D. G., 1985. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate and milk yield in first lactation. *J. Dairy Sci.* 68, 2238-2247.
- O'DriScoll, K., Boyle, L., Hanlon, A., 2008. A brief note on the validation of a system for recording lying behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 195-200.
- Oostra, H. H., 2005. The effects of feeding frequency on waiting time, milking frequency, cubicle and feeding fence utilization for cows in an automatic milking system. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A, Animal Science*, 55, 158-165.
- Overton, M.W., Sisco, W.M., Temple, G.D., Moore, D.A., 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *J. Dairy Sci.* 85, 2407-2413.
- Overton, M. W., Moore, D. A., Sisco, W. M., 2003. Comparison of commonly used indices to evaluate dairy cattle lying behaviour. *Fifth International Dairy Housing Proceedings of the 29-31 January 2003, Conference (Fort Worth, Texas USA) Publication Date 29 January 2003, ASAE Publication Number 701P0203*, ed. Kevin Janni, pp. 125-130.
- Phillips, C. J. C., Rind, M. I., 2001. The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 1979-1987.
- Pieri, R., Pretolani, R., 2011. *Il sistema agro-alimentare della Lombardia. Rapporto 2011*. FrancoAngeli.
- Pompe, J. C. A. M., Alders, D. H. J., Heutinck, L. F. M., Lokhorst, C., 2007. Automatic individual feeding systems for dairy cows: observations of facility utilization. In *Precision Livestock Farming '07 (45-51)*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

- Provolo, G., Riva, E., Rossi, E., 2007. Condizioni microclimatiche nelle strutture stabulative per bovine da latte, Quaderni della Ricerca, vol. 63, Maggio 2007, Milano, Regione Lombardia, pp. 1-80.
- Ravagnolo O., Mistzal I., Hoogenboom G., 2000. Genetic component of heat stress in cattle, development of a heat index function. *J. Dairy Sci.* 83, 2120-2125.
- Robert, B., White, B. J., Renter, D. G., Larson, R. L., 2009. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. *Comp. Electr. Agric.* 67, 80-84.
- Robles, V., Gonzalez, L. A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S., 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behaviour in heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 85, 2538-2547.
- Roman-Ponce, H., Thatcher, W. W., Buffington, D. E., Wilcox, C. J., Van Horn, H. H., 1977. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 60, 424-430.
- Rossi, P., Gastaldo, A., 2005. La cuccetta ideale per le bovine. *L'informatore Agrario*, 39, 29-34.
- Rossi, P., Gastaldo, A., Ferrari, P., 2002. Strutture, attrezzature e impianti per vacche da latte. CRPA. Cap. 4, 71-89.
- SAS Institute. 2004. SAS/Stat 9.1 User's Guide. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Schneider, P. L., Beede, D. K., Wilcox, C. J., Collier, R. J., 1984. Influence of dietary sodium and potassium bicarbonate and total potassium on heat stressed lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 67, 2546-2553.
- Seedorf, J., J. Hartung, M. Schroder, K. H. Linkert, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. G. Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, and C. M. Wathes., 1998. Temperature and moisture conditions in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* 70, 49-57.
- Shabi, Z., Bruckental, I., Zamwell, S., Tagari, H., Arieli, A., 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 1252-1260.
- Shanahana, C., Kernanb, B., Ayalewa, G., McDonnella, K., Butlera, F., Warda Shan, S., 2009. A framework for beef traceability from farm to slaughter using global standards: an Irish perspective. *Computers and Electronics in Agriculture* 66, 62-69.
- Speroni, M., Federici, C., 2006. Misurare i tempi alle vacche per aumentare la produzione. *L'informatore Agrario*. 39(suppl.), 23-25.
- Spiers D. E., Spain J. N., Sampson J. D., Rhoads R. P., 2004. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cow. *J. Thermal Biol.* 29, 759-764.
- SPSS Inc. 2009. PASW® Statistics 18 Core System User's Guide. SPSS Inc., Chicago, IL.

- St-Pierre, N. R., Cobanov, B., Schnitkey, G., 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86 (E Suppl.), E52–E77.
- Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57–60.
- Trevharten, A., Michael, K., 2008. The RFID-enabled dairy farm: towards total farm management. In: 7th International Conference on Mobile Business, Barcelona, Spain.
- Tucker, C. B., Cox, N. R., Weary, D. M., Spinka, M. 2009. Laterality of lying behaviour in dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 120, 125–131.
- Tucker, C. B., Weary, D. M., Fraser, D., 2003. Effects of three types of free-stall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 521–529.
- Tucker, C. B., Weary, D. M., Fraser, D., 2004. Free-stall dimensions: Effects on preference and stall usage. *J. Dairy Sci.* 87, 1208–1216.
- Tucker, C. B., Zdanowicz, G., Weary, D. M., 2006. Brisket boards reduce freestall use. *J. Dairy Sci.* 89, 2603–2607.
- Turner, L.W., Chastain, J.P., Hemken, R.W., Gates, R.S., Crist, W.L. 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *Applied engineering in agriculture.* 8:251-256.
- Vasilatos, R., Wangsness, P. J., 1980. Feeding patterns and performance of cows in controlled cow traffic in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 63, 412-416.
- Veronesi M., Visioli A., 2003. *Logica Fuzzy, fondamenti teorici e applicazioni pratiche.* Franco Angeli.
- Voulodimos, A. S., Patrikakis, C. Z., Sideridis, A. B., Ntafis, V.A., Xylouri, E.M., 2010. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. *Computers and Electronics in Agriculture* 70, 380–388.
- Vox, G., Scarascia Mugnozza, G., 2005. Valutazione di proprietà radiometriche di materiali costruttivi per ricoveri zootecnici. *Atti di AIIA 2005 - L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea, Catania, 27-30 giugno.*
- Wagner-Storch, A. M., Palmer, R. W., Kammel, D. W., 2003. Factors affecting stall use for different freestall bases. *J. Dairy Sci.* 86, 2253–2266.
- Walker, S. L., Smith, R. F., Routly, J. E., Jones, D. N., Morris, M. J., Dobson, H., 2008. Lameness, activity time-budgets, and estrus expression in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 91, 4552–4559.
- West, J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
- West J.W., Mullinix B.G., Bernard J.K., 2003. Effect of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 86, 232-242.
- Yarbrough, D. W., Anderson, R. W. 1997. Use of Radiation Control Coatings to Reduce Building Air-Conditioning Loads. *Energy Sources.* 15:59-66.

Yeck R.G., Stewart R.E., 1959. A ten-year summary of the psychroenergetic laboratory dairy cattle research at the University of Missouri. Transactions of the ASAE. 2, 71- 77.

Yousef, M.K., 1985. Stress Physiology in Livestock. CRC Press, Boca Raton, FL.

Zähner, M., Schrader, L., Hauser, R., Keck, M., Langhans, W., Wechsler, B., 2004. The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables. Anim. Sci. 78, 139-147.

Zappavigna P., Liberati P., 2004. Performance of Ventilated Roofs in Hot Climate, International Symposium of the CIGR 2nd technical Session New Trends in Farm Buildings, Evora, Portugal, May 2-6.

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo lavoro di tesi, è doveroso porre i miei più sentiti ringraziamenti alle persone con le quali ho avuto modo di lavorare in questo importante periodo della mia vita e che mi hanno aiutato a crescere sia dal punto di vista intellettuale sia dal punto di vista umano.

E' difficile in poche righe ricordare tutte le persone che, a vario titolo, hanno contribuito a rendere migliore questo periodo.

Naturalmente, prima di tutti vorrei porgere uno speciale ringraziamento al mio tutor: Professor Giorgio Provolo per la guida competente e solerte e per la costante attenzione, l'indispensabile aiuto e la disponibilità prestatami durante tutto il periodo di dottorato e durante la scrittura della tesi.

Un ringraziamento particolare va a quelle persone che mi hanno dato un fondamentale supporto durante le mie ricerche:

Dott.ssa Elisabetta Riva con la quale ho condiviso gran parte del tempo e che con pazienza mi ha insegnato, consigliato e aiutato durante tutto lo svolgimento del progetto di dottorato;

Hanneke Pompe, MPS e Abraham Arbel, Ph.D. per la grande disponibilità e cortesia dimostratemi, per tutto l'aiuto fornito durante le attività di ricerca svolte insieme.

Uno speciale ringraziamento lo rivolgo anche a tutti gli allevatori e a tutte le aziende Agricole per la disponibilità e per il grande aiuto che mi hanno fornito durante le diverse attività di ricerca nelle quali sono stati coinvolti.

Desidero ancora ringraziare il DIA – Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli studi di Milano e tutto il suo personale per avermi dato la possibilità di intraprendere questo percorso formativo post-laurea ma anche il Farm Technology Group della Wageningen University e l'Institute of Agricultural Engineering (IAE) dell'Agricultural Research Organization, Volcani Center per avermi concesso la possibilità di trascorrere dei fantastici periodi di formazione e ricerca all'estero che mi hanno fatto crescere professionalmente ma soprattutto personalmente.

Non so se trovo le parole giuste per ringraziare i miei genitori e la mia famiglia, però vorrei che questo mio traguardo raggiunto, per quanto possibile, fosse un premio anche per loro e per i sacrifici che hanno fatto.

Non possono mancare da questo elenco di ringraziamenti tutti i dottorandi che ho conosciuto in questo periodo, che mi hanno supportato e con i quali ho trascorso momenti indimenticabili, instaurando una sincera amicizia e una profonda collaborazione.

Per questi e per mille altri motivi devo essere grato alle persone citate e non, ed a loro voglio esprimere tutta la mia gioia nell'aver raggiunto il traguardo tanto atteso e tanto desiderato.



The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing

Gabriele Mattachini*, Elisabetta Riva, Giorgio Provolo

Department of Agricultural Engineering, Università degli studi di Milano, 20133 Milano, Italy

ARTICLE INFO

Article history:

Accepted 13 October 2010

Keywords:

Dairy cow
Lying
Standing
Scan-sampling interval
Daily behaviour

ABSTRACT

Behavioural activity is used as an indication of animal comfort, and lying and standing behaviours are often used as a sign of well-being in cattle and to evaluate the quality of stalls. The aim of this study was to compare the values of different behavioural indices at different scan-sampling frequencies and to evaluate the different methods of data aggregation that are used to obtain daily behavioural indices. The lying, standing, feeding and drinking behaviours of 69 cows in a free-stall barn were recorded over 7 days using continuous video recording. The temperature humidity index (THI) was recorded at 15-min intervals during the entire experimental period. Behavioural indices were calculated based on scan sampling intervals of 10, 20, 30, 60 and 120-min, as well as for different time periods during the day. The results highlighted how lying, standing and feeding behaviours can be properly interpreted by analysing images taken on an hourly basis (highly correlated with 10, 20 and 30-min scan samples; $r > 0.85$, $P < 0.01$) and restricting the period of analysis between the two daily milkings (07:00–14:00) and the evening hours (19:00–22:00) after the second milking (highly correlated with daily behaviour; $r > 0.898$, $P < 0.01$). Night hours might not be considered in the calculation of daily behaviour because they did not improve the quality of the indices obtained. The analysis of the indices has also revealed how the activity of cows 1–2 h after milking is highly affected by farm management. The results obtained indicate that video or automatic recording systems provide adequate data that can be used to effectively analyse cow activity.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Behaviour is one of the most commonly used and sensitive indicators of animal welfare (Haley et al., 2001). Behavioural activity is used as an indication of animal comfort (Cook et al., 2005). In particular, the time spent lying down, the frequency of lying bouts (i.e., a transition from standing to lying) and the duration of individual bouts have been identified as sensitive measures of stall comfort (Haley et al., 2000) and are a useful indicator of animal welfare (Fregonesi and Leaver, 2001). Recent studies of lying time in cows housed in freestalls have reported average

lying times ranging from 11.37 to 13.70 h/24 h (Cook et al., 2005; Drissler et al., 2005). Lying is considered to be higher priority than eating and social contact when opportunities to perform these behaviours are restricted (Munksgaard et al., 2005). Lying behaviour in free-stall barns is affected by design and management factors, including the stall surface and bedding quality (Drissler et al., 2005; Fregonesi et al., 2007b; Tucker et al., 2003), stall size and configuration (Tucker et al., 2004, 2006), stocking density (Fregonesi et al., 2007a), stall location and pen layout (Wagner-Storch et al., 2003), pen flooring (Fregonesi et al., 2004), and milking and feeding management (DeVries and von Keyserlingk, 2005; Overton et al., 2002). The time that a dairy cow spends lying down changes with simple changes in stall management; for example, the time spent lying increased from 8.8 to 13.8 h/d when wet bedding was

* Corresponding author. Tel.: +39 02 5031 6856; fax: +39 02 5031 6845.
E-mail address: gabriele.mattachini@unimi.it (G. Mattachini).

switched to dry bedding (Fregonesi et al., 2007b), but it decreased by 1.7 h when the stocking rate (the number of cows per stall) was increased by 50% (Fregonesi et al., 2007a). Heat stress, particularly THI (temperature humidity index), and lameness were also found to influence lying and standing time (Cook et al., 2007). In addition to these environmental and management factors, a dairy cow's lying time is influenced by her social ranking (Galindo and Broom, 2000), her milk production and her overall health status (Fregonesi and Leaver, 2001; Walker et al., 2008).

Methods used for assessing behavioural activity, with the meaning of the time spent in various activities such as lying, eating, or standing (Overton et al., 2002) have changed in recent years, favouring techniques that automate the sampling effort. Human-based behavioural activity recording methods such as direct observation and the analysis of video recordings have drawbacks: both human- and video-based recording methods are often time consuming and labour-intensive (Müller and Schrader, 2003). The automatic recording of behavioural activity (lying, standing and walking) can be achieved using a variety of sensor systems, for example, mercury tilt switches (O'Driscoll et al., 2008), three-dimensional accelerometers (Ito et al., 2009; Müller and Schrader, 2003; Martiskainen et al., 2009; Robert et al., 2009), embedded sensor technology (Darr and Epperson, 2009) and automatic local position systems (Gygax et al., 2007).

Each behavioural sampling technique must be carefully selected based on the objectives of the particular study. As an alternative, some studies have used 10-min, 15-min, or even 1-h instantaneous scan sampling, recording a proportion of the group of animals that were lying down at the time of each scan (e.g. Brown-Brandl et al., 2006; DeVries and von Keyserlingk, 2005; Overton et al., 2002). In feedlot cattle, Mitlohner et al. (2001) showed that a scan sampling technique with long intervals (e.g., 30 or 60-min) was generally neither accurate nor precise for measuring behavioural activities with short durations (i.e., drinking and walking); the method was, however, suitable for measuring lying behaviour. Focal animal sampling (i.e., the selection of 1 animal out of 10) was found to be an acceptable technique only for behavioural activities that are long in duration.

The scan-sampling interval is often chosen by the investigators for practical reasons, and thus depends on the structure of the animal's environment, the number of animals to be sampled or the need to conduct additional observations in parallel. However, the introduction of automatic recording system for animal behaviour studies requires a better understanding of the effect of different scan sampling times and different methods of data aggregation. Understanding the costs and benefits of various sampling technique and data analysis method might also increase the likelihood of using activity indices for management purpose and may be a further parameter for use in the early detections of possible animal diseases.

The aim of this study was: (I) to analyse changes in some behavioural indices at different scan-sampling frequencies (10, 20, 30, 60 and 120-min) as predictors of behavioural activity and (II) to evaluate different methods

of data aggregation to identify the periods of the day that better characterize daily behavioural activity of the dairy cows.

2. Materials and methods

2.1. Animals, housing and management

The study was conducted between July and September in 2006 on a group of 69 Swiss Holstein–Friesian dairy cows with the aim of studying heat stress during summer conditions. The average parity of the cows was 2.4 ± 1.3 (mean \pm standard deviation), the milk yield was 24.8 ± 6.6 kg d⁻¹ and the number of days in milk was 206.7 ± 94.9 . Feed was delivered to the animals once a day at approximately 06:30 h; the feed was moved closer to the cows later in the day at 16:30 h. Milking occurred twice a day at 05:30 and 17:00 h.

The cows were kept in a loose-housing barn with 74 cubicles (two lines head to head) at a dairy cattle farm near Lodi, Lombardy (Italy). The barn has a reinforced concrete precast structure and is rectangular in layout, measuring 52 m \times 17.6 m with a north–south oriented longitudinal axis. The structure is covered by an asymmetric gable roof that is parallel to the longitudinal axis of the cowshed and has an open ridge. The building is without one outside wall and the opening is bordered on the east side by another building, partially enclosing the space (Fig. 1).

2.2. Climate monitoring

Four data loggers were used for the measurement of the air temperature, relative humidity and light intensity (HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA). The data loggers were located in the barn at a height of about 2 m above the floor in order to measure the air temperature as close as possible to the animals without being affected by the animals. The microclimatic data interval time recording was set at 15-min. The temperature humidity index (THI), which is widely utilised in literature, was used to consider the temperature and the humidity jointly. The THI was calculated for each position in the barn and an overall value for the THI was obtained by averaging the data obtained from each data logger. The equation used to calculate THI was: $THI = Tdb + 0.36 \times Tdp + 41.2$, where Tdb is the dry bulb temperature in °C, and Tdp is the dew point temperature in °C (Yousef, 1985).

The environmental conditions were evaluated with the mean and deviation (1.96 times standard error of the mean) of the temperature data and the temperature humidity index (THI) for each data point recorded (15-min intervals) by each observation period (7 days). Pearson bivariate correlation with a two-tailed test of significance was used to analyse the correlation between the environmental data and the activity of the animals.

The average daily temperature in the barn during the observation period was 22.55 °C, with a THI value of 68.74. The maximum temperature reached was 30.46 °C with a THI of 76.05, and the minimum temperature reached was 15.12 °C with a THI of 61.02 (Fig. 2).

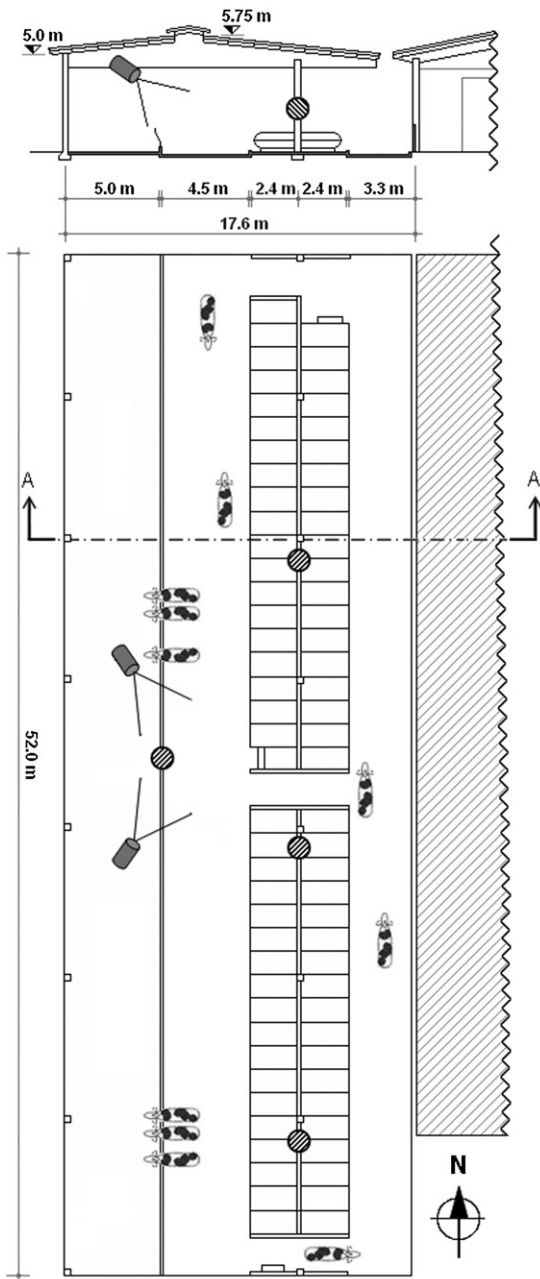


Fig. 1. Plan and cross-section of the cowshed with the position of the sensors and the two video cameras with related shoot angles (●), HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger; (◐), video camera RE-BBC2).

2.3. Video recording

Two black-and-white, closed-circuit video cameras were installed in the barn (RE-BBC2, Digital Surveillance Equipment s.r.l., Torino, Italy). The cameras were provided with protective aluminium housing (IP55) and a 3.6 mm lens. The mini lens provides a shot angle of about 67° and uses a 1/3 in. CCD Samsung sensor. The two cameras were placed about 5 m above the pen floor to allow for the complete visualisation of the pen.

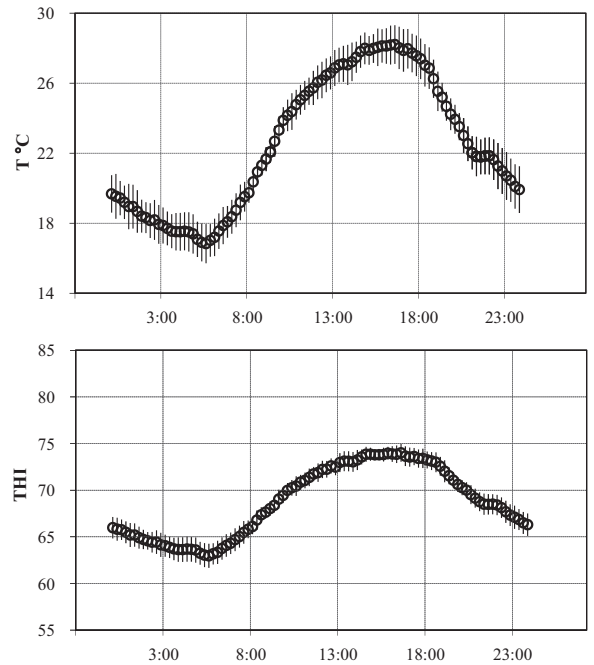


Fig. 2. Average ambient temperature (°C) and temperature humidity index (THI) for each data recording period (15-min intervals) by observation period (7 days) with 1.96-standard error bars.

The cameras were connected to a four channel video capture DVR 4200 card (Huper Laboratories Co., Ltd., Taipei, Taiwan) that was integrated into a personal computer to perform an analogue to digital conversion of the signal for subsequent storage on a hard disk. The digital video recording parameters were set using control software with a capture frequency of one frame per second. This value was chosen as a compromise between the possibility of maintaining a good comprehension of the animal's movement and the size of the resultant data files.

2.4. Scan-sampling frequency

The analysis of the video recording data consisted of the evaluation of the number of dairy cows engaged in different behavioural activities (i.e., eating, lying, standing). Standing was considered to be an upright posture (i.e., motionless or walking), while the lying category included only cows that were observed in total lateral or sternal recumbency within the confines of a stall (Overton et al., 2002). Eating was defined as actively ingesting feed or water, or standing within 0.6 m of the feed bunk and oriented toward the feed (Overton et al., 2002).

To analyse the behavioural activity of animals using different sampling frequencies, a 7-day video sequence pattern over a long-term (one year) recording period was used. This data allowed for the detailed analysis of behavioural activities. An analysis pattern was selected that was representative of the summer conditions. The video analysis began on August 4 and ended on August 10, 2006. Video recordings ran for the entire day, except for the times from 04:40 to 06:00 h and from 16:30 to 17:40 h when the cows were at milking (first cow out until last cow back in).

Table 1

Different daily time periods (Mx) with time intervals (morning milking from 04:40 to 06:00 h and afternoon milking from 16:30 to 17:40 h).

	Time intervals
	MH All hours of the day
	M1 10:00 to 15:00 (at mid-day)
	M2 08:00 to 14:00 and 20:00 to 22:00 (after morning milking and at evening excluding night)
	M3 07:00 to 15:00 and 19:00 to 22:00 (after morning milking and at evening excluding night)
	M4 07:00 to 14:00 and 19:00 to 22:00 (after morning milking and at evening excluding night)
	M5 08:00 to 15:00 and 20:00 to 22:00 (after morning milking and at evening excluding night)
	M6 06:00 to 16:00 (between two milkings)
	M7 08:00 to 13:00 (1-h after delivered feed until late morning)
Methods (Mx) daily time periods	M8 02:00 to 04:00 and 14:00 to 16:00 (at night and before the afternoon milking)
	M9 06:00 to 10:00 and 18:00 to 22:00 (post morning and afternoon milking)
	M10 02:00 to 04:00 and 12:00 to 14:00 (3-h at night and at a mid-day)
	M11 10:00 to 13:00 and 22:00 to 01:00 (at mid-day and mid-night)
	M12 01:00 to 04:00 (pre-milking)
	M13 06:00 to 10:00 (post-first milking)
	M14 11:00 to 16:00 (mid-day)
	M15 18:00 to 21:00 (post-second milking)
	M16 22:00 to 00:00 (night)

Scan sampling describes the behaviour that an animal exhibits during a fixed time interval. Behavioural activities were analysed at scan intervals of 10, 20, 30, 60 and 120-min.

There are specific indices that have been used for the analysis of behavioural data in cows. The cow lying index (CLI) describes the number of animal resting in the stall and is defined as total number lying in free stalls divided by the total number of cows in the barn. The free-stall use index proportion of eligible lying (SUI) was defined as total number of cows lying in free stalls divided by the total number of cows in the barn that were not eating during that time period (Overton et al., 2002). The cow standing index (CSI) was calculated as the number of cows observed standing (not lying and eating), divided by the total number of cows in the barn.

The entire video observation period covered 154 hourly time periods. All of the data were analysed using a computerised spreadsheet program (Microsoft Excel®) and PASW Statistics 18 (SPSS Inc., 2009). The mean values and standard errors (SE) of the mean for the three different behavioural indices (CLI, SUI and CSI) were obtained from observations taken at the 10-min scan interval for 7 days. Behavioural indices were not normally distributed as defined by the Kolmogorov–Smirnov test and these indices were then square root-arcsine transformed to achieve normal distribution (Mitlohner et al., 2001). The daily mean of the indices was calculated for each of the scan days by using all of the observations for each of the scan intervals (10, 20, 30, 60 and 120-min). Pearson product correlations with a two-tailed test of significance were used to correlate daily behavioural activities indices (CLI, SUI, CSI) from scan samples (20, 30, 60 and 120-min) with 10-min scan sample observations. Differences in the behavioural indices were tested using the Analysis of Variance (two-way ANOVA) considering: as factors, each hours of the day (hours) and the scan sampling frequency (10, 20, 30, 60-min); as dependent variable, the hourly mean of behavioural indices values (CLI, SUI, CSI); as observations, the 7 days periods.

2.5. Daily lying and standing behaviour

The behavioural indices obtained from the video recording analysis using the 60-min scan sampling were used to evaluate the hours of the day most indicative of daily behaviour. This assessment was conducted by comparing the behavioural indices obtained from data related to different time periods of the day. The main environmental parameters (temperature, illumination and THI), the influence of feeding and management, the time of milking (Overton et al., 2002), were taken into consideration to define time periods. The different daily time periods (Mx) taken into consideration are shown in Table 1.

Data were analysed using PASW Statistics 18 (SPSS Inc., 2009). Daily time periods (Mx) and the MH (all hours of the day) were calculated using the mean daily behavioural indices (CLI, SUI and CSI) for the observation period (7 days) calculated at different time periods. Pearson product correlations with a two-tailed test of significance were used to correlate daily behavioural indices from different time periods (Mx) with reference to MH daily time period value.

3. Results and discussion

3.1. Sampling frequency

The mean daily trends (and 1.96 times the SE of the mean) displayed in the behavioural indices (CLI, SUI and CSI) at each observed time period are shown in Fig. 3. The highest value for the CLI was seen during the night hours at 04:00 h (range 0.8–0.9) and had low variability. The lowest value of this index (0.4) was seen during time periods between the two milkings and 2 h after the afternoon milking; cows prefer standing or feeding during these time periods. A decrease in the lying behaviour was observed during the mid-day, the late afternoon, and in the early evening hours. This considerable reduction in the CLI resulted from the total unused area in the south portion of the barn.

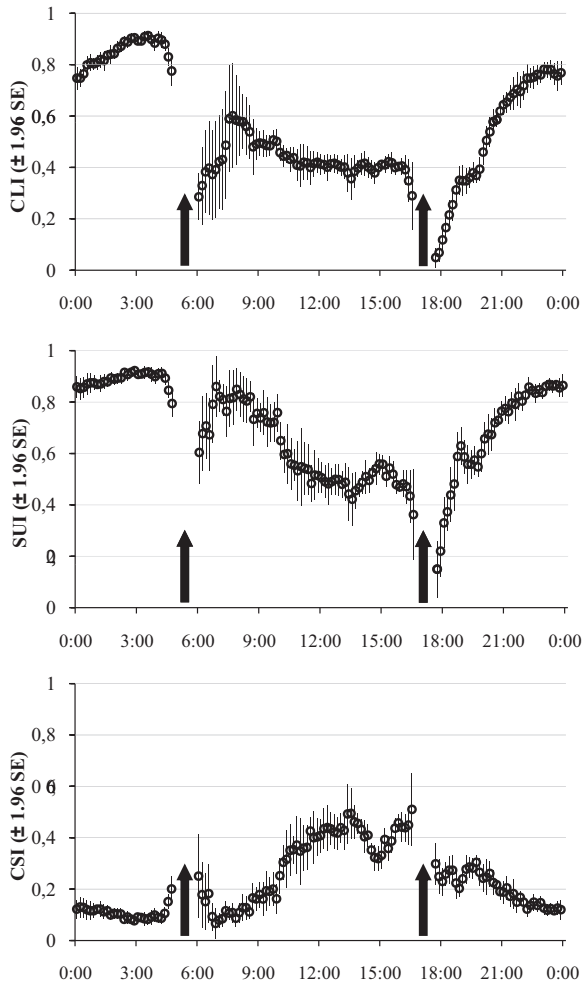


Fig. 3. The mean values of the three different behavioural indices (CLI, SUI and CSI) obtained from the observations at 10-min scan intervals over 7 days, with 1.96-standard error bars. Bold arrows indicate times (04:50 and 16:40 h) at which the cows left the barn for milking. Cows returned within 1 h.

A further contribution to understanding lying behaviour throughout the day comes from the analysis of the SUI, which shows a trend very similar to the CLI, but with substantially higher values because this index does not consider cows at feeding. The lowest value was seen at mid-

day and in the early afternoon (of 11:00 to 16:00 h). The SUI was 10% greater compared to the CLI during these time periods. The value of the index was much higher in the hours after morning milking when there are fewer cows feeding. The greatest amount of standing behaviour was seen at mid-day (of 11:00 to 15:00 h) with a mean value over 40%.

No significant differences were seen when the mean daily behavioural indices (CLI, SUI and CSI) from each of the 7 sampling days were compared, nor were there any differences when the different scanning intervals (10, 20, 30, 60 and 120-min (Fig. 4)) were compared. All of the different scan sampling frequencies used to calculate the indices provided the same information, with the only difference being that increasing the scan interval also increased the SE. This effect is mainly due to a reduction in the number of data points used in calculating the mean. However, the scan interval of 120-min presented higher differences and a lower accuracy and reliability for certain behavioural activities, such as resting (i.e., CLI and SUI) when compared to other scan intervals. In particular, these differences are evident on the 6th or the 7th day.

The close relationship between the indices derived from the different scan intervals was also confirmed using the Pearson bivariate correlation with the two-tailed test of significance (Table 2).

For the lying, standing and feeding behaviours, the 10, 20 and 30-min scan samples were highly correlated to the 60-min scan samples, ($r > 0.85$; $P < 0.01$). Scan sampling at 120-min intervals did not show a significant correlation with those taken at 10 and 20-min intervals ($r < 0.72$) for any of the behaviours. The high correlation between different scan sampling intervals is further highlighted with the observation of the linear regressions obtained for the 20, 30, 60 and 120-scan interval values with reference to the 10-min values (Fig. 5). The 60-min scan interval shows highly significant regression coefficients for all indices (CLI, $r = 0.966$, $P < 0.01$; SUI, $r = 0.907$, $P < 0.01$; CSI, $r = 0.989$, $P < 0.01$); on the contrary, the 120-min scan intervals showed no significant coefficients (CLI, $r = 0.591$; SUI, $r = 0.711$; CSI, $r = 0.720$).

The results from correlations showed that scan sampling lower than 120-min (10, 20, 30, or 60-min) were a good predictor of daily activities and were accurate and precise for measuring a daily behavioural activity index. The scan sampling of 120-min was neither accurate nor precise for measuring daily behavioural indices.

Table 2

Pearson correlation coefficients of daily mean value of behavioural indices (CLI, SUI and CSI) calculated with different scan intervals (10, 20, 30, 60 and 120-min).

	Behavioural indices												
	CLI	SUI				CSI							
		10	20	30	60	10	20	30	60	10	20	30	60
Scan samples	20	0.952**	–	–	–	0.970**	–	–	–	0.956**	–	–	–
minute-intervals	30	0.958**	0.841*	–	–	0.953**	0.891**	–	–	0.939**	0.873*	–	–
between scans	60	0.966**	0.900**	0.957**	–	0.907**	0.858**	0.962**	–	0.989**	0.964**	0.940**	–
	120	0.591	0.436	0.653	0.747	0.711	0.663	0.833*	0.905**	0.720	0.649	0.881**	0.756*

$N = 35$ observations (7 days \times 5 scan samples).

* Significant effect at $P < 0.05$.

** Significant effect at $P < 0.01$.

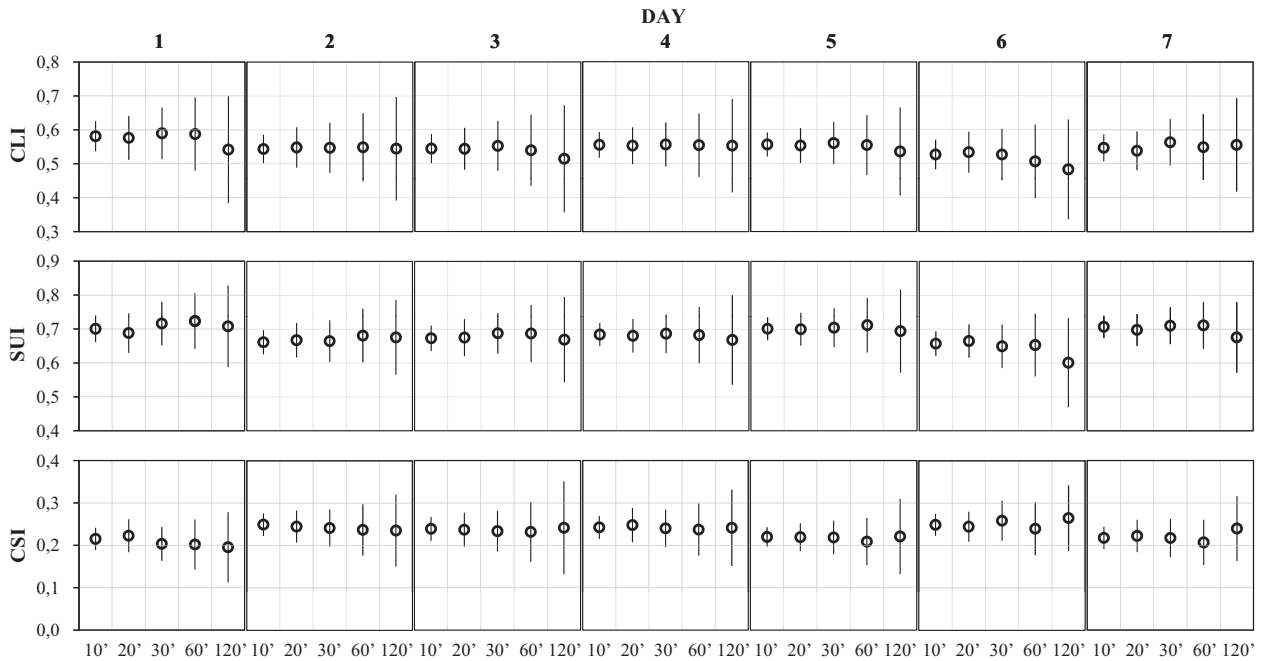


Fig. 4. Daily mean values of the behavioural indices (CLI, SUI and CSI) calculated for each of the 7 days using all of the observations for each of the scan intervals (10, 20, 30, 60 and 120-min). The error bars represent ± 1.96 times the standard error of the means.

The Analysis of Variance (UNIANOVA) showed that there were no significant differences between the 4 different scan intervals; using a frequency of 10 or 60 min gave the same result (Table 3) in the hourly comparison as well. The 120-min scan frequency was not included in this analysis because the previous results showed a low correlation with the other scan intervals. These results confirm and strengthen that some activity, such as lying, feeding and standing, can be properly interpreted by scan sampling techniques run at 60-min intervals (Mitlohner et al., 2001; Overton et al., 2002 and 2003).

3.2. Daily behavioural indices

To identify a methodology with which to obtain a representative daily value of the behaviour of the dairy cows, behavioural indices based on different daily time periods (M1–M16) were compared with the indices calculated using all the hours of the day (MH). Comparison of mean and correlation values between the daily behavioural indices calculated at different time periods are presented in Table 4 and Fig. 6.

Analysing behavioural indices calculated with different time periods showed that the correlation coefficients vary

Table 3

Analysis of variance obtained considering as fixed factors hours of the day and scan sampling frequency (10, 20, 30 and 60-min) and as dependent variable behavioural indices values (CLI, SUI, CSI).

	Source	Sum of Square	df	Mean square	F	Sig.
CLI	Model	364.222	88	4.139	757.193	0.000
	Scan sampling	0.015	3	0.005	0.941	0.421
	Hours	18.173	21	0.865	158.319	0.000
	Scan sampling \times hours	0.169	63	0.003	0.491	1.000
	Error	2.749	503	0.005		
	Total	366.971	591			
SUI	Model	470.243	88	5.344	1464.617	0.000
	Scan sampling	0.001	3	0.000	0.093	0.964
	Hours	11.601	21	0.552	151.416	0.000
	Scan sampling \times hours	0.166	63	0.003	0.722	0.945
	Error	1.835	503	0.004		
	Total	427.078	591			
CSI	Model	136.340	88	1.549	357.407	0.000
	Scan sampling	0.010	3	0.003	0.757	0.519
	Hours	9.297	21	0.443	116.201	0.000
	Scan sampling \times hours	0.125	63	0.002	0.459	1.000
	Error	2.180	503	0.004		
	Total	138.521	591			

Table 4

Pearson correlation coefficients of mean daily behavioural indices (CLI, SUI and CSI) for the observation period (7 days) obtained from the different daily time periods indicating the (Mx) values with reference to the MH values.

		Daily time periods (Mx)										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
Behavioural indices	CLI	0.143	0.951**	0.970**	0.969**	0.939**	0.899**	0.897**	-0.127	0.888**	0.554	0.646
	SUI	0.297	0.830*	0.878**	0.899**	0.775*	0.808*	0.849*	-0.370	0.815*	0.542	0.728
	CSI	0.392	0.835*	0.835*	0.872*	0.775*	0.881**	0.863*	-0.222	0.708	0.563	0.891**

* Significant effect at $P < 0.05$.

** Significant effect at $P < 0.01$.

Table 5

Values for the Pearson correlation coefficients ($P < 0.01$) between the environmental parameters (THI, $T^{\circ}\text{C}$, RH%) and the behavioural indices (CLI, SUI and CSI) obtained for the different daily time periods MH (all hours of the day) and M4 (07:00 to 14:00 h and 19:00 to 22:00 h).

		Behavioural indices					
		CLI.MH	CLI.M4	SUI.MH	SUI.M4	CSI.MH	CSI.M4
Environmental parameters	THI	-0.605	-0.365	-0.754	-0.730	0.740	0.761
	T	-0.604	-0.368	-0.762	-0.738	0.748	0.770
	RH	0.577	0.353	0.736	0.700	-0.722	-0.726

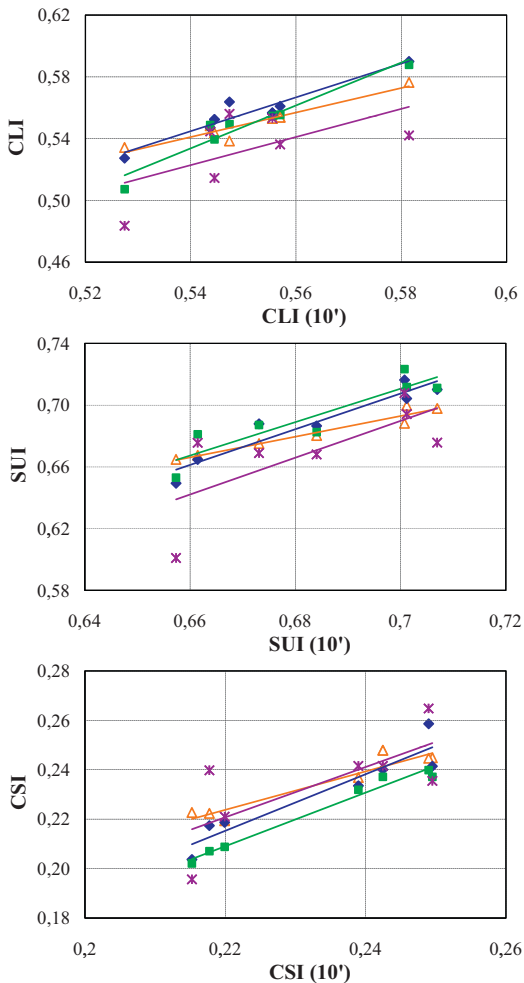


Fig. 5. Linear regressions obtained for the daily values of the 20 (Δ), 30 (\blacklozenge), 60 (\blacksquare) and 120 (\times) scan interval data with reference to the 10-min values for the different behavioural indices (CLI, SUI and CSI).

considerably with the relative time period. The CLI_{MH} were more highly correlated with $CLI_{M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9}$ ($r > 0.89$; $P < 0.01$) which include in their calculation the early morning hours after the first milking and the evening hours after the second milking. Also if these daily time periods resulted highly correlated with MH time periods, they showed mean values lower than MH. This outcome was expected, because, these time periods were obtained using the hours in the day with a lower value of CLI. Indeed, the CLI_{MH} showed low correlation coefficients at the $CLI_{M1, M8, M10, M11, M12, M14, M16}$ time periods ($r < 0.65$), which exclude the hours after the two milkings. The daily time periods that were more correlated with the SUI_{MH} were M3 and M4 ($r > 0.87$; $P < 0.01$) that include the early morning hours, and in particular with the 06:00 and 07:00 h as well as with the hours following the second milking: 18:00, 19:00 and 20:00 h. Daily time periods M3 and M4 showed also a mean value very similar with MH. Standing activity (CSI) was highly correlated with the M6 and M11 ($r > 0.88$; $P < 0.01$) daily time periods that include the hours after morning milking and the time period between 10:00 and 13:00 h, where the index showed the highest values with high variability. Comparison of means showed as the daily time periods that exclude night and early morning hours led, as expected, to a daily behavioural index higher than MH.

Among the different daily time periods, M4 was the most correlated with different indices. Indeed, the intervals from 07:00 to 14:00 h and from 19:00 to 22:00 h were highly correlated with CLI and SUI ($CLI, r = 0.969, P < 0.01$; $SUI, r = 0.899, P < 0.01$) and correlated moderately with CSI ($r = 0.872, P < 0.05$).

The values of the Pearson correlations coefficients between the environmental parameters (THI, $T^{\circ}\text{C}$, RH%) and the behavioural indices (CLI, SUI, CSI) that were calculated considering all of the hours of the day (MH) and the time period M4 (7.00 to 14.00 and 19.00 to 22.00) and are reported in Table 5. Both methods (MH, M4) used to calculate the behavioural indices were well correlated with the environmental parameters. This was also the case for

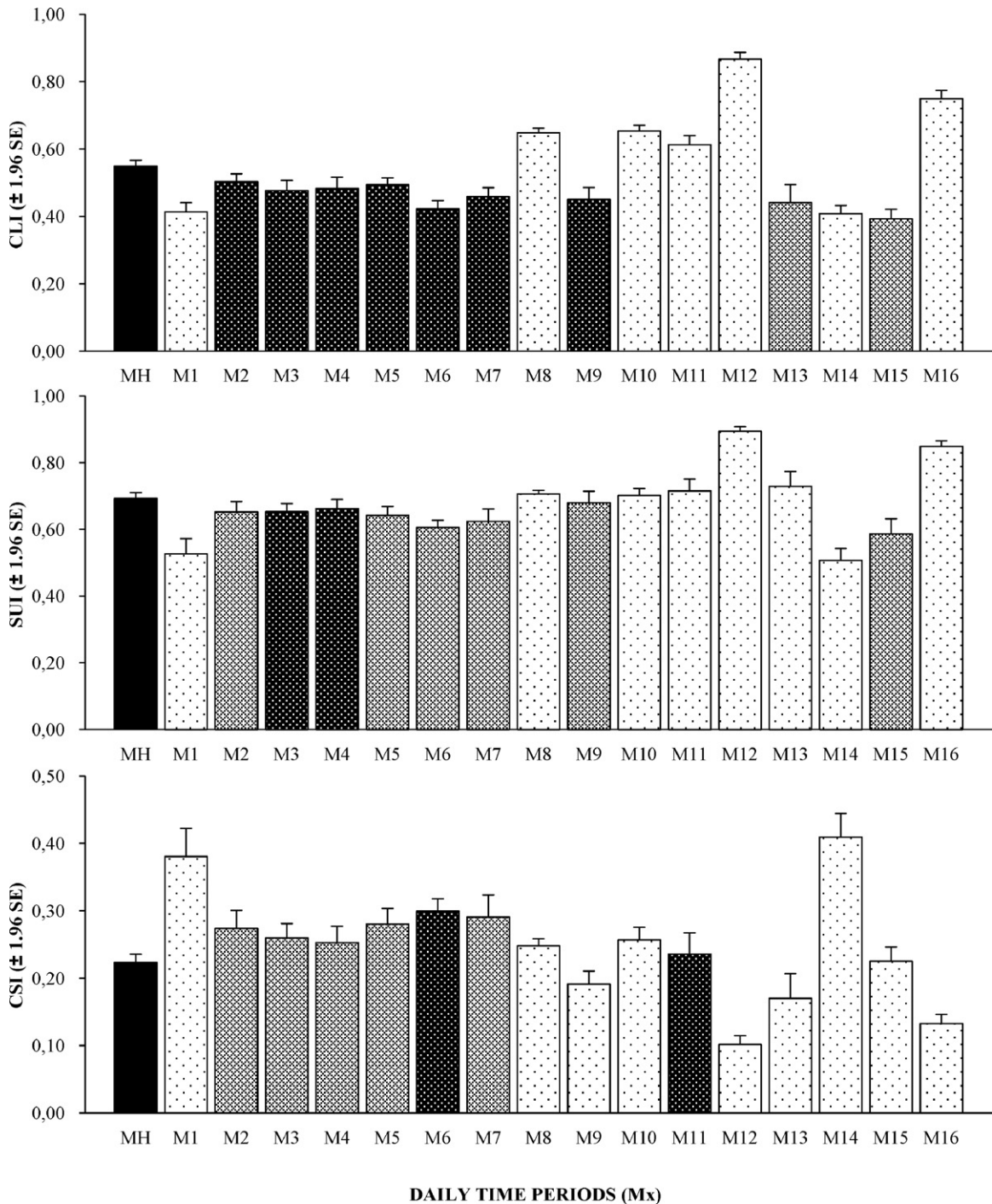


Fig. 6. Mean values and 1.96-standard error bars of the daily behavioural indices (CLI, SUI and CSI) obtained with different daily time periods and significance of Pearson correlations with reference to MH values (□, non-significant; ▨, significant at $P < 0.05$; ■, significant at $P < 0.01$).

all three indices used, and it was reflected in the different animal behavioural activities such as standing, lying and feeding. The daily pattern of behaviour activity (MH and M4) is not only influenced by THI but also by management factors. However, the CLI shows a lower correlation coefficient than the other two indices in this respect. This effect

can be explained by the large number of cows at the manger during some hours of the day that are accounted for in the CLI but not in the other two indices.

The main basic behavioural activities of the cows, such as lying, and standing, can be properly interpreted by analysing images taken on an hourly basis. Under the

studied herd's conditions, the optimum time periods for assessment of behavioural activities with indices was between the two daily milkings (from 1 h after the first milking) and during evening hours from 1 h after the second milking. Our results indicate that the nocturnal periods (23.00–5.00) can be excluded from analysis, which is in agreement with Overton et al. (2002). Cows are expected to spend a greater proportion of time lying at night or during the very early morning hours unless otherwise engaged by feeding, milking, or management disruptions, and the behavioural activities are stable regardless of external conditions. Time budget analysis has also revealed how the cows with feed available upon return from milking spent more time eating (1–2 h after the two milkings), delaying resting. These hours are strongly affected by management operations, and should not be considered in the calculation of daily indices if the purpose is to highlight the behaviour activity of dairy cows in relation to the environmental condition and the comfort of the barn.

Under different management or environmental conditions, optimum time periods for observation may be different from those obtained in this study. Limiting access to feed bunks or free stalls by prolonged lock-ups, overcrowding, poor free-stall design, or very slow milk parlor throughput may alter resting behaviour (Overton et al., 2002). Type of housing system, bedding, and stall design may significantly alter time spent lying or standing and proportion of animals observed lying at any given observation (Haley et al., 2000). The behavioural indices are greatly susceptible to feeding and milking management. To remove this influence from daily indices, the observations during these operations should be excluded if the aim is to assess the effect of environmental conditions and the comfort of the barn on behavioural activity.

4. Conclusions

Each behavioural sampling technique has specific strengths and weaknesses, and it must be carefully selected based on the objectives of the particular study of the behaviour that is to be examined.

The experience reported here confirms that reliable estimates of the daily behaviour of individual animals, or the average behaviour of the herd, can be generated using hourly scan sampling interval. For this purpose, the results obtained suggest that time periods after milking and at night can be excluded from analysis. In fact, these periods were not relevant for the goals of our behaviour study. The delivery and the push-up of feed and post milking hours can have a significantly influence on the time budget of dairy cows.

The inclusion or exclusion of these periods in the evaluation of the daily time budget should be determined in relation to the aim of the assessment. Analyses of daily behaviour that aim to obtain an indication of comfort have to carefully consider the impact of interactions between management activities (particularly milking and feeding) and environmental conditions.

Furthermore, the time base and the monitoring interval identified for the analysis of activities allow for a reduction in the amount of required data. Moreover, the results

obtained can also support the development of the data processing software for automatic data recording systems.

References

- Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Eigenberg, R.A., Mader, T.L., Morrow, J.L., Dailey, J.W., 2006. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest. Sci.* 105, 19–26.
- Cook, N.B., Bennett, T.B., Nordlund, K.V., 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88, 3876–3885.
- Cook, N.B., Mentink, R.L., Bennett, T.B., Burgi, K., 2007. The effects of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1674–1682.
- Darr, M., Epperson, W., 2009. Embedded sensor technology for real time determination of animal lying time. *Comput. Electron. Agric.* 66, 106–111.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 625–631.
- Drissler, M., Gaworski, M., Tucker, C.B., Weary, D.M., 2005. Freestall maintenance: effects on lying behavior on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88, 2381–2387.
- Fregonesi, J.A., Leaver, J.D., 2001. Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livest. Prod. Sci.* 68, 205–216.
- Fregonesi, J.A., Tucker, C.B., Weary, D.M., 2007a. Overstocking reduces lying time in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 3349–3354.
- Fregonesi, J.A., Tucker, C.B., Weary, D.M., Flower, F.C., Vittle, T., 2004. Effect of rubber flooring in front of the feed bunk on the time budgets of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, 1203–1207.
- Fregonesi, J.A., Veira, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2007b. Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 5468–5472.
- Galindo, F., Broom, D.M., 2000. The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. *Res. Vet. Sci.* 69, 75–79.
- Gygax, L., Neisen, G., Bollhalder, H., 2007. Accuracy and validation of a radar-based automatic local position measurement system for tracking dairy cows in free-stall barns. *Comput. Electron. Agric.* 56, 23–33.
- Haley, D.B., de Passillé, A.M., Rushen, J., 2001. Assessing cow comfort: effects of two floor types and two tie stall designs on the behaviour of lactating dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 71, 105–117.
- Haley, D.B., Rushen, J., de Passillé, A.M., 2000. Behavioural indicators of cow comfort: Activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can. J. Anim. Sci.* 80, 257–263.
- Ito, K., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2009. Lying behavior: assessing within- and between-herd variation in free-stall-housed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 4412–4420.
- Martiskainen, P., Järvinen, M., Skön, J., Tiirikainen, J., Kolehmainen, M., Mononen, J., 2009. Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119, 32–38.
- Mitlohner, F.M., Morrow-Tesch, J.L., Wilson, S.C., Dailey, J.W., McGlone, J.J., 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 1189–1193.
- Müller, R., Schrader, L., 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83, 247–258.
- Munksgaard, L., Jensen, M.B., Pedersen, L.J., Hansen, S.W., Matthews, L., 2005. Quantifying behavioural priorities—effects of time constraints on behaviour of dairy cows *Bos taurus*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92, 3–14.
- O'Driscoll, K., Boyle, L., Hanlon, A., 2008. A brief note on the validation of a system for recording lying behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 195–200.
- Overton, M.W., Sisco, W.M., Temple, G.D., Moore, D.A., 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *J. Dairy Sci.* 85, 2407–2413.
- Robert, B., White, B.J., Renter, D.G., Larson, R.L., 2009. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. *Comput. Electron. Agric.* 67, 80–84.
- SPSS Inc. 2009. PASW® Statistics 18 Core System User's Guide. SPSS Inc., Chicago, IL.
- Tucker, C.B., Weary, D.M., Fraser, D., 2003. Effects of three types of free-stall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 521–529.
- Tucker, C.B., Weary, D.M., Fraser, D., 2004. Free-stall dimensions: effects on preference and stall usage. *J. Dairy Sci.* 87, 1208–1216.

- Tucker, C.B., Zdanowicz, G., Weary, D.M., 2006. Brisket boards reduce freestall use. *J. Dairy Sci.* 89, 2603–2607.
- Wagner-Storch, A.M., Palmer, R.W., Kammel, D.W., 2003. Factors affecting stall use for different freestall bases. *J. Dairy Sci.* 86, 2253–2266.
- Walker, S.L., Smith, R.F., Routly, J.E., Jones, D.N., Morris, M.J., Dobson, H., 2008. Lameness, activity time-budgets, and estrus expression in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 91, 4552–4559.
- Yousef, M.K., 1985. *Stress Physiology in Livestock*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Methodology for quantifying the behavioral activity of dairy cows in freestall barns

G. Mattachini^{*1}, E. Riva^{*}, C. Bisaglia[†], J. C. A. M. Pompe[‡], and G. Provolo^{*}

^{*} Department of Agricultural Engineering, Università degli Studi di Milano, 20133 Milano, Italy; ¹ e-mail of corresponding author: gabriele.mattachini@unimi.it

[†] CRA-ING, Laboratory of Treviglio, 24047 Treviglio, Italy

[‡] Farm Technology Group, Wageningen University, 6700 AA Wageningen, the Netherlands.

Abstract

Methods of assessing the behavioral activity of animals have changed in recent years in favor of techniques that automate monitoring and recording. The objectives of this study were to determine the following: 1) the ability of electronic recording devices to measure the behavioral activity of cows, 2) the sampling intervals required for the electronic recording devices, and 3) the number of focal animals required to represent daily lying behaviors of the entire population of animals. To determine lying, standing, and moving behaviors, 12 cows were equipped with automatic recording devices (IceTag = 12 cows, HOBO Pendant G = 5 cows), and their behavior was simultaneously recorded using a video recording system. The correspondence between the IceTag, HOBO logger, and video recording data was analyzed using 2×2 contingency tables, and we determined the sensitivity, specificity, and predictive value (positive and negative). Daily behaviors of the dairy cows collected by the IceTag were compared based on 10 different sampling intervals (1 s, and 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, and 60 min). We examined how the focal sampling sample (from 1 cow to 12 cows) affects behavioral estimates for a group of dairy cows using the data collected by the data loggers. The loggers demonstrated high sensitivity ($Se \geq 0.961$) and specificity ($Sp \geq 0.951$) for lying and standing behaviors with predictive values near 1.00. However, the IceTag device inadequately recorded moving behavior, with probability predictive values ≤ 0.303 . The 2 min sampling interval assessed the time spent lying and standing accurately ($P > 0.980$) but was found to be less accurate for measuring the structure of lying bouts ($P < 0.480$). When analyzing the structure of lying bouts, long intervals (10, 15, 30, and 60 min) produced significantly different results ($P < 0.01$). A sample of at least 9 cows was found to be necessary to provide an accurate estimate of the lying behavior of the whole group of 12 cows ($P > 0.05$). No focal groups were found that could provide an accurate estimate of the mean number of steps taken by the 12 cows ($P < 0.001$). The data logger accurately measured all aspects of lying behavior using sampling intervals of < 2 min but was unable to accurately represent locomotion behavior (walking); therefore, these data should be used with care. In this study, focal animal sampling was found to be an inappropriate method for estimating the lying behavior of dairy cows on a commercial farm.

Keywords: dairy cow, daily behavior, data loggers, accelerometer technology, video recording system, automation of monitoring (automated measured)

Introduction

Behavior is one of the most commonly used and sensitive indicators of animal welfare (Haley et al., 2001; Krohn and Munksgaard, 1993). The time spent lying down, the number of lying bouts, the average bout duration (Haley et al., 2001), and the laterality of lying behavior (Tucker et al., 2009) can indicate underlying changes in cow comfort and welfare (Fregonesi and Leaver, 2001). Methods of assessing behavioral activity have changed in recent years in favor of techniques that automate sampling. Recent developments in sensor technology, i.e., accelerometers, have created new opportunities for the automated monitoring and recording of animal behavior beyond what can be achieved using a video recording system (VRS). However, many of these systems are suited to measuring only one or two behavioral patterns or activity states (Munksgaard et al., 2005). The sampling intervals used to estimate animal behavior in the literature have ranged from multiple readings per second (de Passillé et al., 2010; Scheibe and Gromann, 2006) to readings every 1, 5 or 10 min (Ito et al., 2009; Müller and Schrader, 2003; O'Driscoll et al., 2008). Standardization of the sampling technique and recording interval of behavioral data would allow comparisons between different experiments.

On-farm monitoring of cow behavior requires investments in labor, equipment, time, and money, particularly when the number of animals per pen is high. Focal sampling, wherein one or more sample individuals are observed for a specified period of time with all instances of behavior recorded, is generally a more satisfactory approach to studying groups (Martin and Bateson, 2007). The objectives of the current study were to determine the following: 1) the capability of electronic recording devices (HOBO Pendant G and IceTag) to measure the behavioral activity of dairy cows, 2) the sampling intervals required for electronic recording devices to obtain reliable estimates of the daily behavior of dairy cows, and 3) the number of focal animals required to represent the daily lying behavior of an entire population of animals.

Materials and methods

We collected the data for this study at a commercial farm in such a way that our monitoring actions and procedures did not affect the behavior of the cows and did not change the comfort or welfare of the animals monitored.

Housing, Animals and Management

The study was conducted at a commercial dairy farm (Mts Zeinstra, Stiens, the Netherlands, 53°15' 50.00" N, 5°48'53.00" E). The barn was E-W oriented and featured a loose-housing layout with a total of 141 cubicles, 61 feeding places, two voluntary milking system (VMS) units (DeLaval International AB, Sweden), and an automatic feeding system for mixed rations (Mix Feeder mod. XL, Skiold Mullerup A/S, Denmark). At the time of the study, the barn housed 107 lactating Holstein-Friesian cows (parity 2.4 ± 1.3 , milk yield 33.0 ± 6.6 kg/d, days in milk 186.7 ± 99.7 ; mean \pm SD) fed a single-group total mixed ration (TMR) that was supplied at a distribution frequency of 11 times per day (0300, 0500, 0630, 0830, 1030, 1230, 1430, 1630, 1830, 2030, and 2230). Cows had ad libitum access to 6 water troughs and were fed a TMR consisting of 65.7% grass silage, 24.5% maize silage, 6.3% soybean meal, 3.0% rape straw, and 0.5% mineral supplement by dry weight. Concentrates were supplied in the VMS and by 2 automatic concentrate feeders. The amount of concentrate was a function of the milk production, days in milk (DIM), and parity of the cows.

The study was conducted during the spring (from April 20 to April 22, 2010). The daily average temperature was 8.4°C, and the maximum and minimum values recorded inside the barn were 17.1 and 2.3°C, respectively.

Data Collection

The behavior of the animals was continuously recorded by VRS for the duration of the study (3 d). To evaluate the accuracy of the electronic recording devices (i.e., IceTag and HOBO Pendant G) at determining lying, standing, and moving behavior relative to the observations from the VRS, 12 cows (parity 2.7 ± 1.4 , milk yield 33.6 ± 5.6 kg/d, DIM 191.0 ± 106.8 ; mean \pm SD) were randomly selected (excluding unhealthy cows) and equipped with 2D IceTag automatic recording devices (IceTag 2.004, IceRobotics, Edinburgh, UK). Additionally, 5 (parity 3.2 ± 1.2 , milk yield 35.6 ± 5.5 kg/d, DIM 160.0 ± 127.6 ; mean \pm SD) of these 12 cows were also equipped with a HOBO Pendant G Acceleration Data Logger.

The 12 cows that were equipped with recording devices were marked with unique numbers dyed onto both sides of their bodies and on their rear ends to facilitate quick identification during the video recording analysis. Daily milk yield data, number of milkings and time, and duration of individual visits to the milking robot for each cow were obtained through the VMS software.

IceTag

The IceTag unit is an electronic sensor device based on accelerometer technology that records and reports animal activity. For each recorded second, these devices make 8 measurements and determine the intensity of lying (% lying), standing (% standing), and moving (% active), and the number of steps taken. For instance, 8 recordings of lying within 1 s result in an observation of 100% lying during that second. The device has a length \times width \times height of $95 \times 85 \times 32$ mm, weighs 210 g and can store up to 30 d of activity between downloads. The device has a rigid plastic housing designed to withstand the farm environment and attaches to the lateral side of the right hind leg above the fetlock by means of a strap with a buckle.

Activity data were downloaded with a dedicated USB cable and the IceTagAnalyser software (versions 2.009, IceRobotics, Edinburgh, UK) from the on-board memory of the IceTag unit to a PC on a per-second and per-minute basis and were exported to an Excel 2007 spreadsheet (Microsoft Corp., Redmond, WA). We followed the approach by Trénel et al. (2009) and classified cow behavior for each recording following the IceTag-recorded intensity thresholds for lying (LI \geq 50%), standing (SI \geq 37.5%), and moving (MI \geq 50%). Lying bouts shorter than 24.8 s (Lying Period Criterion; Trénel et al., 2009) in per-second data and shorter than 2 min (Endres and Barberg, 2007) in per-minute data were not considered, based on the assumption that the readings were associated with other movements at the time of recording.

HOBO Pendant G

The HOBO logger (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) is a waterproof 3-channel logger with 8-bit resolution, and it can record up to approximately 21,800 combined x-, y-, and z-axis acceleration readings or internal logger events. The logger uses a coupler and an optical base station with a USB interface to transfer data to a computer. The logger uses an internal 3-axis accelerometer with a range of ± 3 g (accuracy ± 0.075 g at 25°C with a resolution of 0.025 g) based on micro-machined silicon sensors consisting of beams that deflect with acceleration. The data loggers were attached to the lateral side of the left hind leg of the cows using Vet-flex (Kruuse group, Langeskov, Denmark) in a position such that the x-axis was perpendicular to the ground and pointing towards the back of the cow (dorsal direction), the y-axis was parallel to the ground pointing in the cranial direction, and the z-axis was parallel to the ground pointing toward the midplane. The loggers were programmed to record the g-force on the x, y, and z-axes at 1 min intervals following the procedure of Ito et al. (2009).

The HOBO logger data were downloaded with Onset HOBOWare software version 3.1.2 (Onset Computer Corporation), which converted the g-force readings into degrees of tilt. These data were exported into a MS Excel 2007 spreadsheet. The degree of vertical tilt (x-axis) was used to determine the lying position of the animal, such that readings $< 60^\circ$ indicated standing behavior, whereas readings $\geq 60^\circ$ indicated lying down behavior (Ito et al., 2009). We used the degree of z-axis tilt to determine the laterality of lying behavior, such that readings $\leq 100^\circ$ indicated the cow was lying on the right side, whereas readings $> 100^\circ$ indicated the cow was lying on the left side. We followed the approach by Endres and Barberg (2007) and ignored standing and lying bouts shorter than 2 min, making the assumption that these readings were associated with leg movements at the time of recording. We did not analyze moving behavior for this device because the 1 min sampling interval is considered too long for this purpose.

Video Recording

The video surveillance system consisted of four IR day/night weatherproof varifocal cameras (1/3" SONY Color CCD) with 42 infrared LEDs for night vision (420SS-EC5, Vigital Technology Ltd., Sheung Wan, Hong Kong) and a recording PC running Windows XP Professional. The cameras each had a protective aluminum housing (IP66) and a 4.0 to 9.0 mm varifocal lens. The four cameras were attached to beams in the barn approximately 5 m above the pen floor so that they covered the complete living area of the barn, including the entrance and exit of the VMS. The cameras were connected to a four channel video capture 4 EYES Pro card (AVerMedia Technologies, Inc., Milpitas, CA) that was integrated into the PC and that converted the analogue signal to a digital signal for subsequent storage on a hard disk. Each camera was set to continuously record at 320×240 resolution and 6 frames/s.

The behavioral activities (standing, lying, feeding, drinking, and walking) of the cows were classified as follows: standing was defined as an upright body with support from at least 3 legs, lying as body contact with the ground on the left or right side, feeding as head over or in the bunk, drinking as head over or in the water trough, and moving/walking as moving at least 3 legs forward in sequence. Standing behavior was further subdivided into idle standing (standing in a stall with support from all 4 feet), perching (standing in a stall with the rear 2 feet in the alley), and standing in the alley for all the other cases (Cook et al., 2005).

Data Analyses

Comparison of the behavioral activity data obtained by the electronic recording devices and by the VRS

To quantify the ability of the automatic recording devices to monitor behavioral activities and their accuracy compared to the VRS, we analyzed 24 h of behavioral data on day 2 for the 5 cows that were equipped with both the IceTag and HOBO units. To determine the accuracy of the devices, we analyzed the behavioral activities of the 5 cows by video recording with the aid of the continuous sampling method (Martin and Bateson, 2007). A trained observer watched the video continuously and recorded the times (start and stop of the individual behavioral events), frequencies, and durations of different behaviors with 1 s accuracy. We then created 4 comparisons as follows: IceTag versus video recorded data at the level of 1 s, IceTag versus video recorded data at the level of 1 min, HOBO versus video recorded data at the level of 1 min, and IceTag versus HOBO processed data at the level of 1 min. The correspondence between IceTag, HOBO logger, and video recording data were analyzed by 2×2 contingency tables (TP = true positives, FN = false negatives, FP = false positives, and TN = true negatives; FREQ procedure of SAS, SAS 2004). We determined the sensitivity ($Se = TP / (TP + FN)$; proportion of true positives that are correctly identified by the test) and specificity ($Sp = TN / (TN + FP)$; proportion of true negatives that are correctly identified by the test), treating the video recordings as the gold standard (Altman and

Bland, 1994a). We calculated the predictive values as the probability of correct positive, $PPV = TP / (TP + FP)$, and negative, $NPV = TN / (TN + FN)$, respectively (Altman and Bland, 1994b).

Sampling intervals of the automatic recording devices

To optimize the choice of sampling intervals to obtain reliable estimates for daily behavior of the dairy cows we created the scan samples dataset from the classified data collected by the IceTag loggers on a per-second basis (12 cows, 3 d). For this scan sample dataset, we selected data points in the logger records with 10 sampling intervals: 1 s and 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, and 60 min. To represent daily behavior and lying and standing bouts, we counted the number of consecutive data points with identical status for each sampling interval. The time that cows spent lying and standing were summarized in a daily value (h/d) to facilitate comparison between different sampling intervals. For each of the 10 sampling intervals, we determined total lying time (h/d); total standing time (h/d); number of lying bouts (number/d); the average, maximum and minimum lengths of lying bouts (min/bout); and number of steps (number/d) for each cow over 3 days.

The Shapiro-Wilk test revealed that the average and minimum length of lying bouts, and number of steps were not normally distributed. We applied logarithmic transformations ($\log_{10}(x)$) to achieve normal distributions (Martin and Bateson, 2007). Transformed data were analyzed by one-way analysis of variance using the General Linear Model (PROC GLM of SAS). Least squares means for the sampling intervals were compared by t test with the predicted difference (PDIFF, pairwise t-test) option of GLM. Tukey's studentized range test was used to determine whether differences ($P < 0.01$) existed between sampling intervals.

Assessment of the size-definition of focal (group) sampling

To determine how the sample size of focal sampling affects the estimates of lying behavior for a group of dairy cows, we used the data collected by the logger (IceTag) for each of 12 cows over 3 d. From these data, we created a dataset with values for each day and each cow, for a total of 36 observations. Differences between the 12 cows in terms of time lying and standing; number of lying bouts; the average, maximum and minimum lengths of lying bouts; and number of steps were tested with the Main-Effects ANOVA, considered as fixed factors cow, day, and interaction between cow and day. From the same dataset, we created subsets (for groups of cows) of data consisting of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, and 12 cow(s). Each subset contained all possible combinations between cows using the binomial coefficient ($n!k$), where n = elements of the data set ($n = 12$ cows) and k = number of elements of subsets (from 1 to 12 cows). Considering 12 subsets, a total of 4094 possible combination were used for comparison. Log-transformed data of each subset were analyzed using the General Linear Model. The means were compared, and the differences between the effects of the overall mean (based on 12 cows and 3 d) and the mean of each combination were compared using the PDIFF option of the LS MEANS statement of the GLM procedure for all subsets separately. The lowest P-value found for each subset was used in the comparison.

Results

Comparison of the behavioral activity data obtained by the electronic recording devices and by the VRS.

Examples of the behaviors (lying, laterality, and moving) obtained from the video and recorded by the data loggers are reported in Figure 1. Lying behaviors and laterality patterns can easily be distinguished in this figure. Video observation detected lying and standing as the dominant behavioral patterns in all 5 dairy cows monitored with a lying prevalence of $38\% \pm 3\%$ (mean \pm SE) and a standing prevalence of $37\% \pm 5\%$ (Table 1). Feeding behavior was intermediate in frequency ($21\% \pm 3\%$), whereas moving and drinking had low prevalence ($2.2\% \pm 0.4\%$ and $1.2\% \pm 0.4\%$, respectively). The time spent in milking was only 1.5%, with an average of 2.53 milkings per day.

The cows spent 62% of their lying time on their left side and 63% and 11% of their standing time idle-standing and perching, respectively. A mean of 7.33 lying bouts was observed in the video data, with 6 to 10 lying bouts per cow. Across all 5 cows, the shortest observed lying bouts varied between 6.7 min and 69.2 min, and the longest varied between 101.2 min and 195.6 min.

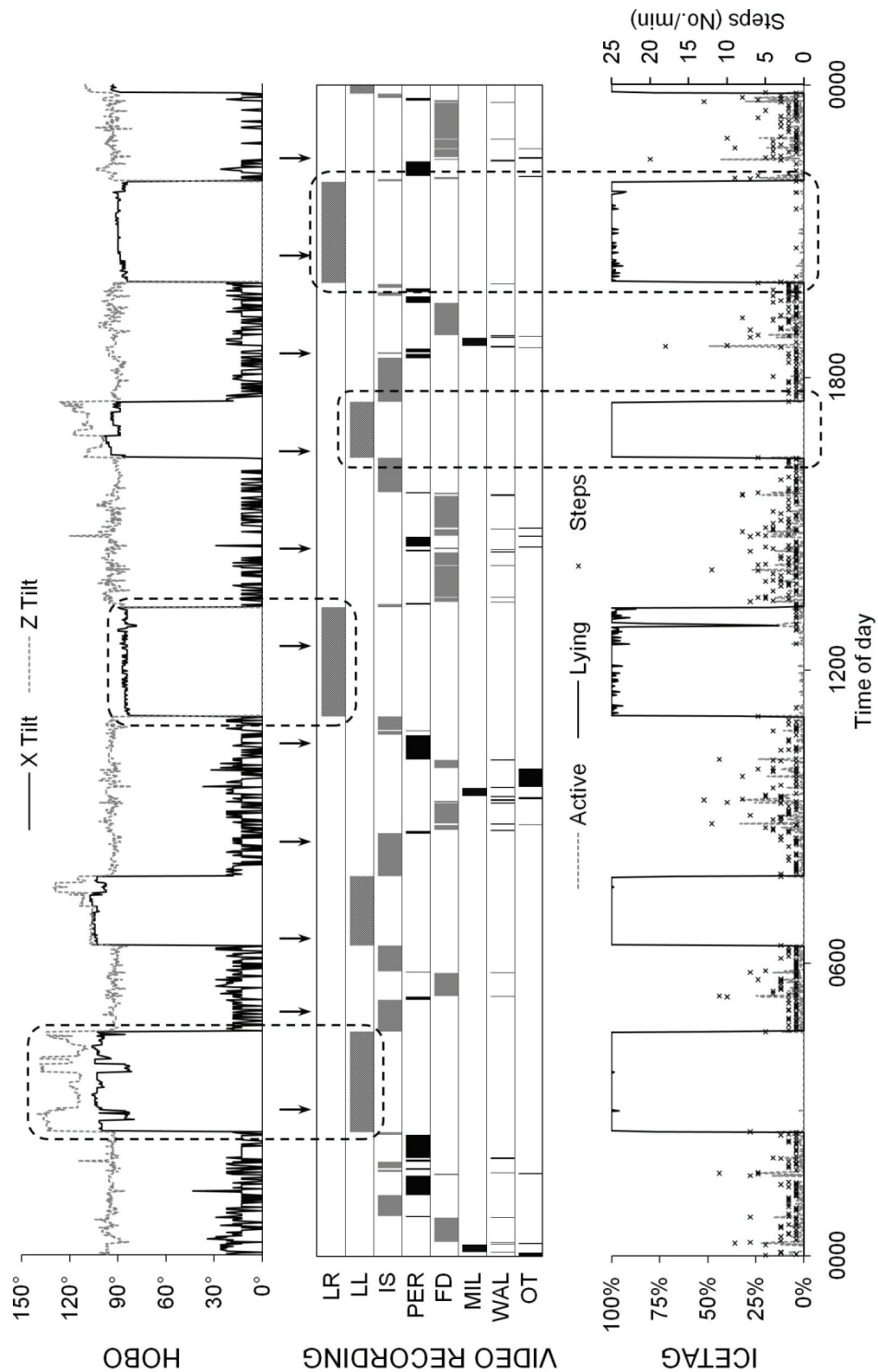


Figure 1. Daily activity pattern of 1 cow during a 24 h observation period recorded by video, IceTag and HOBO. Behaviors recorded by video recording were as follows: time lying right (LR) and left (LL), idle standing in the cubicle (IS), perching (PER), feeding and drinking (FD), milking (MIL), walking (WAL), and other (OT) behaviors, such as standing in a waiting area or in the alley.

Bold arrows indicate times at which the total mixed ration (TMR) was delivered during the day. Dashed boxes indicate the lying time recorded by VRS, IceTag and HOBO.

Table 1. Mean (μ) and standard error (SE) for the behaviors of 5 cows monitored by VRS and electronic recording devices (IceTag and HOBO) over the course of 24 h

Behavior	VRS ($\mu \pm$ SE)	IceTag ($\mu \pm$ SE)	HOBO ($\mu \pm$ SE)
Lying (h/d)	9.05 \pm 0.73	9.04 \pm 0.73	9.05 \pm 0.73
Right side (h/d)	3.45 \pm 1.06		3.43 \pm 1.07
Left side (h/d)	5.60 \pm 1.51		5.63 \pm 1.51
Lying bouts (No.)	7.33 \pm 0.76	7.33 \pm 0.76	7.27 \pm 0.78
Standing (h/d)	14.41 \pm 0.70	14.47 \pm 0.74	14.95 \pm 0.73
Feeding (h/d)	4.99 \pm 0.84		
Drinking (h/d)	0.30 \pm 0.10		
Idle-standing (h/d)	5.54 \pm 1.49		
Perching (h/d)	0.99 \pm 0.44		
Milking (h/d)	0.36 \pm 0.09		
Walking/Moving (h/d)	0.54 \pm 0.09	0.50 \pm 0.05	
Steps (No.)		1377 \pm 332	

Table 2. Sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) from 2 x 2 contingency tables for the correspondence of behavior observations between IceTag, HOBO Pendant G processed data, and video data; mean values and standard errors for 5 cows over a 24 h observation period

Item	Sensitivity (Se) ($\mu \pm$ SE)	Specificity (Sp) ($\mu \pm$ SE)	PPV ($\mu \pm$ SE)	NPV ($\mu \pm$ SE)
IceTag¹-Video				
Lying	0.997 \pm 0.001	1.000 \pm <0.001	0.999 \pm <0.001	0.998 \pm <0.001
Standing	0.977 \pm 0.004	0.951 \pm 0.006	0.966 \pm 0.004	0.967 \pm 0.006
Moving	0.291 \pm 0.012	0.982 \pm 0.002	0.303 \pm 0.037	0.982 \pm 0.002
IceTag²-Video				
Lying	0.997 \pm <0.001	1.000 \pm 0.000	1.000 \pm 0.000	0.998 \pm <0.001
Standing	0.969 \pm 0.005	0.995 \pm 0.001	0.996 \pm 0.001	0.958 \pm 0.006
Moving	0.264 \pm 0.022	0.979 \pm 0.002	0.237 \pm 0.037	0.982 \pm 0.003
HOBO²-Video				
Lying	0.990 \pm 0.004	0.996 \pm <0.001	0.994 \pm 0.001	0.993 \pm 0.002
Laterality (right)	0.991 \pm <0.001	0.998 \pm 0.001	0.993 \pm 0.001	0.997 \pm 0.001
Laterality (left)	0.993 \pm 0.003	0.999 \pm <0.001	0.994 \pm 0.002	0.997 \pm <0.001
Standing	0.996 \pm <0.001	0.986 \pm 0.008	0.990 \pm 0.004	0.994 \pm 0.001
IceTag-HOBO³				
Lying	0.993 \pm 0.001	0.994 \pm 0.002	0.992 \pm 0.004	0.995 \pm <0.001
Standing	0.961 \pm 0.003	0.991 \pm 0.002	0.994 \pm 0.001	0.945 \pm 0.004

The sensitivity, specificity, and predictive values (positive and negative) for each combination of dataset, device, and behavior are reported in Table 2. Both recording devices provided data of high sensitivity ($Se \geq 0.961$) and specificity ($Sp \geq 0.951$) for lying and standing behavioral patterns, displaying predictive values close to 1.00 ($PPV \geq 0.966$ and $NPV \geq 0.945$). In other words, the probability of correctly predicting lying and standing behavior was near 100%. In contrast, the IceTag device inadequately recorded moving behavior at both frequencies of analysis (i.e., 1 s and 1

min). Moving displayed low levels of Se and greater among-cow variability compared with lying and standing behavior, as indicated by larger standard errors. The probability that an IceTag recorded true moving behavior was low (approximately 25-30%). Moving behaviors occupy only a small percentage of time and require a more precise measuring method compared with lying and standing. This may be the reason for the low Se and PPV.

Sampling intervals of the automatic recording devices

Table 3 shows the influence of different sampling intervals on the assessment of several behavioral activities. Least square means, standard error of the means (SE), P-values, and Tukey's studentized range test for each behavioral activity recorded by the data loggers (IceTag) were used to compare the results for various sampling intervals. The average total lying time (h/d) obtained from IceTag (12 cows, 3 d) with a sampling interval of 1 s was 10.94 ± 0.32 h/d (mean \pm SE), whereas the time spent standing was 12.60 ± 0.32 h/d. The mean times calculated for lying and standing behaviors based on sampling intervals from 1 min to 30 min were similar ($P > 0.8$) to those based on a 1 s interval. The results from a sampling interval of 60 min were similar to those from the 1 s interval but demonstrated less accuracy and precision ($P < 0.55$). The number of bouts (number/d) obtained from the 1 s sampling interval was 9.81 ± 0.647 (mean \pm SE), their mean length (min/bout) was 78.42 ± 6.42 , and the average maximum and minimum lying bouts were 152.98 ± 7.11 and 21.12 ± 4.55 , respectively. Sampling intervals greater than 2 min produced similar results for the time spent lying or standing but not for the mean, maximum or minimum lying bout duration. A sampling interval of 2 min assessed the time spent lying and standing more accurately ($P > 0.980$) but was less accurate at measuring the structure of lying bouts (lying bouts, $P = 0.233$; mean length of lying bout, $P = 0.344$; and minimum and maximum length of lying bout, $P < 0.480$). For these behaviors (structure of lying), long sampling intervals (10, 15, 30, and 60 min) resulted in significant differences ($P < 0.01$), an underestimation of the daily number of lying bouts and an overestimation of the duration (mean, minimum, and maximum) of lying bouts. The tendency to underestimate and overestimate different aspects of lying bouts was also found to occur during short sampling intervals. The average number of steps per day obtained from IceTag (12 cows, 3 d) with a sampling interval of 1 s was 1500 ± 96.1 number/d. In this case, all sampling intervals showed a significantly different ($P < 0.001$) mean from the 1 s interval, and the number of steps per day was strongly underestimated.

Assessment of the size-definition of focal (group) sampling

The mean values and statistical differences for the 12 cows for time lying and standing; number of lying bouts; average, maximum and minimum length of lying bout; and number of steps are reported in Table 4. Significant differences in all behaviors were observed ($P \leq 0.01$). The Analysis of Variance (ANOVA) revealed no significant differences between the 3 d ($P > 0.324$) or for the interaction between the two main effects of cow and day ($P > 0.257$). The behaviors of combinations of 1 through 11 cows (groups of cows) were compared to those of the overall mean of the 12 cows. The mean values and standard errors of the mean for the combination of cows with the lowest P-value are presented in Figure 2. For all behaviors, significant differences between the means were found for "groups" with less than 6 cows compared with those of the group with 12 cows ($P < 0.001$). The time spent lying showed no significant differences for groups with 8 or more cows ($P > 0.05$). For the number of lying bouts and the maximum duration of lying bout, no differences were found for groups with 9 or more cows, whereas the mean duration of lying bouts of groups with 7 or more cows was not different from the mean for 12 cows ($P > 0.05$). The number of steps of the lowest P-value combination of 11 cows was $1,624 \pm 72.5$ compared with $1,500 \pm 96.2$ steps for 12 cows ($P < 0.05$). The number of steps of groups with less than 11 cows was significantly different from the overall mean for the 12 cows ($P < 0.001$).

Table 3. Influence of different sampling intervals on behavioral activity assessments; least square means¹, standard errors of the mean (SE), P-values, and Tukey's studentized range test² for each behavioral activity recorded by data loggers (IceTag) with different sampling intervals for 12 cows over a 3-d observation period.

Item	1 s	Sampling interval										
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min		
Time lying, h/d												
Mean	10.94 ^a	10.95 ^a	10.95 ^a	10.93 ^a	10.91 ^a	10.90 ^a	10.94 ^a	10.87 ^a	10.78 ^a			
SE	0.324	0.325	0.324	0.324	0.330	0.329	0.334	0.351	0.405			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	0.980	0.980	0.982	0.927	0.900	0.972	0.809	0.483			
Time standing, h/d												
Mean	12.60 ^a	12.61 ^a	12.58 ^a	12.63 ^a	12.62 ^a	12.70 ^a	12.54 ^a	12.64 ^a	12.89 ^a			
SE	0.325	0.326	0.326	0.331	0.330	0.337	0.337	0.349	0.377			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	0.994	0.941	0.942	0.959	0.813	0.840	0.978	0.517			
Lying bouts, No./d												
Mean	9.81 ^a	9.19 ^a	8.94 ^{ab}	8.61 ^{ab}	8.33 ^{ab}	7.56 ^{bc}	6.78 ^{cd}	5.75 ^{de}	4.75 ^e			
SE	0.647	0.619	0.587	0.548	0.533	0.494	0.410	0.277	0.227			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	0.688	0.072	0.015	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
Mean length of lying bout, min/bout												
Mean	78.42 ^a	82.61 ^{ab}	85.16 ^{ab}	86.76 ^{ab}	89.44 ^{abc}	96.82 ^{bc}	106.98 ^{cd}	122.37 ^{de}	146.68 ^e			
SE	6.417	6.374	6.541	6.342	6.386	6.157	6.283	7.051	8.754			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	0.756	0.151	0.057	0.018	0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
Maximum length of lying bout, min/bout												
Mean	152.98 ^a	160.44 ^{ab}	159.08 ^{ab}	163.67 ^{abc}	167.64 ^{abc}	175.00 ^{abc}	195.42 ^{bcd}	202.50 ^{cd}	238.33 ^d			
SE	7.108	7.741	7.691	7.361	7.909	8.797	9.991	10.581	15.397			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	0.704	0.520	0.212	0.115	0.023	<0.001	<0.001	<0.001			
Minimum length of lying bout, min/bout												
Mean	21.12 ^a	21.67 ^a	27.92 ^{ab}	27.33 ^{ab}	29.58 ^{ab}	35.00 ^{bc}	44.17 ^{cd}	55.83 ^{de}	78.33 ^e			
SE	4.555	4.523	5.276	5.098	5.146	4.428	4.51	4.653	5.767			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	0.813	0.010	0.004	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
Steps, No./d												
Mean	1499.97 ^a	12.03 ^c	8.67 ^{cd}	5.92 ^{de}	5.00 ^e	2.25 ^f	1.86 ^f	0.89 ^g	0.28 ^g			
SE	96.176	1.863	0.966	0.519	0.512	0.283	0.279	0.177	0.094			
<i>Pr</i> > <i>t</i>	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			

Table 4. Mean, median, SD, minimum, maximum, and upper and lower quartile (Q25 and Q75) cut-off points for the different behavioral activities for 12 cows over 3 d monitored with IceTag; main-effects ANOVA (model $y=a b a*b$) considered as fixed factors cow, day, and interaction between cow and day.

Behavior	Mean	SD	Minimum	Q25	Median	Q75	Maximum	<i>P-values</i>		
								Cow	Day	Cow*Day
Time lying (h/d)	10.94	1.95	6.48	9.75	10.86	12.34	15.05	0.011	0.324	0.257
Time standing (h/d)	12.60	1.95	8.70	11.19	12.65	13.84	16.99	0.004	0.365	0.261
Lying bouts (No./d)	9.81	3.88	2.00	7.00	9.00	12.50	19.00	<0.001	0.932	0.471
Mean length of lying bout (min/bout)	78.42	38.50	33.36	55.57	68.81	94.24	251.91	<0.001	0.907	0.781
Maximum length of lying bout (min/bout)	152.98	42.65	73.75	123.10	150.71	181.18	246.53	0.002	0.748	0.992
Minimum length of lying bout (min/bout)	21.12	27.33	0.63	2.50	8.33	20.35	98.73	0.006	0.823	0.949
Steps (No./d)	1,500	577	117	1,213	1,674	1,811	2,536	<0.001	0.966	0.470

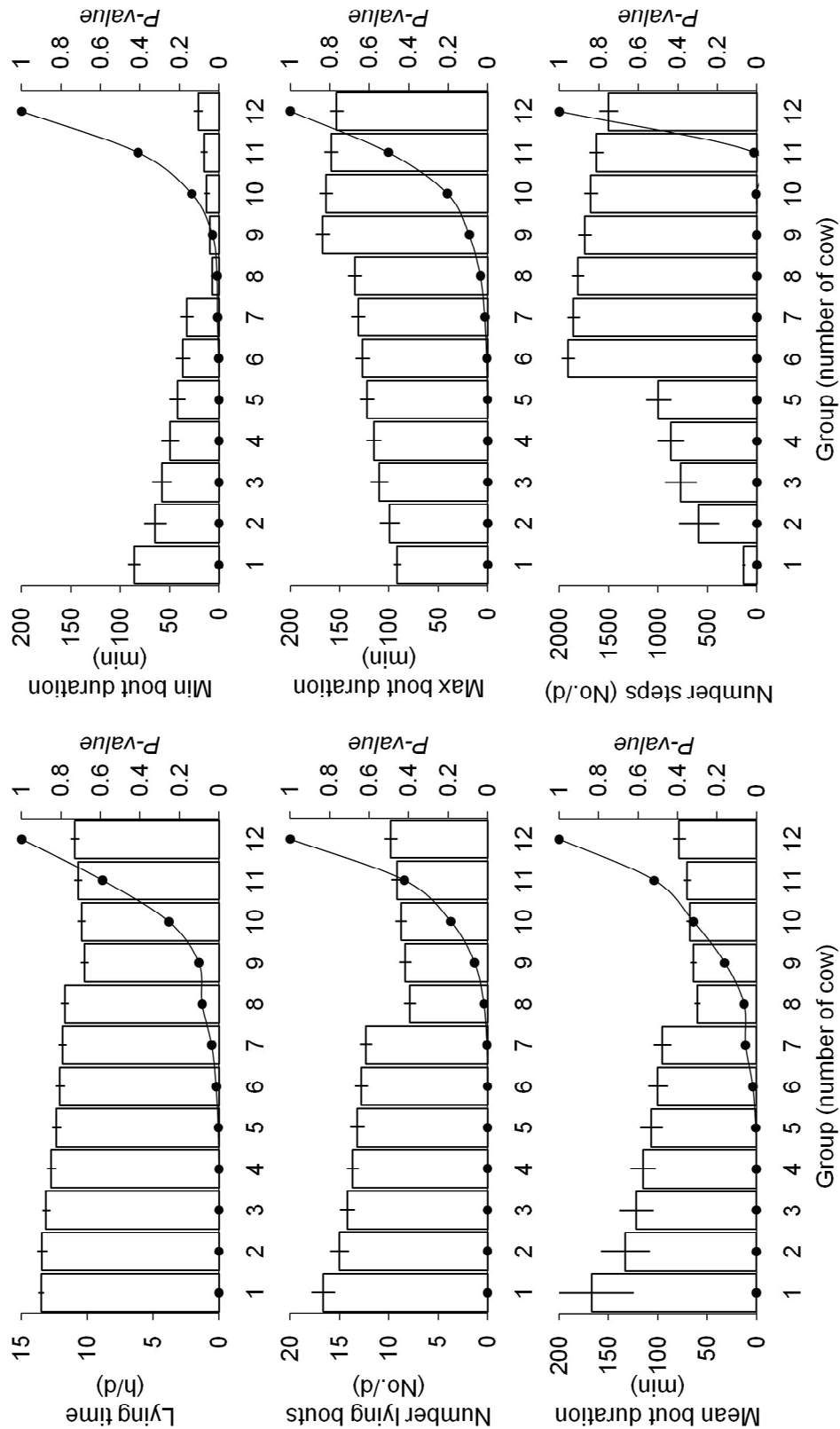


Figure 2. Means for daily lying time, number of lying bouts per day, mean lying bout duration, maximum lying bout duration, minimum lying bout duration, and number of steps per day based on all animals ($n = 12$) and subsets (cow groupings) of 1 to 11 cow(s) for all possible combinations. The white columns represent the means of the cow(s) for combinations with the lowest P-value of each subset, and the symbols (●) represent the $\Pr > |t|$ values of the combinations. The error bars represent ± 1 SE of the mean of the subset of cow(s).

Discussion

Comparison of the behavioral activity data obtained by the electronic recording devices and by the VRS

The use of electronic data loggers to measure lying behavior has become increasingly common, as they record non-invasively and overcome the time consuming limitations of video-based observations. The results of validation studies using video observations as a control have shown high levels of correspondence between video recording and automatic devices when considering the total duration of behavioral activities (Müller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; Ledgerwood et al., 2010). The HOBO and IceTag devices accurately measured lying and standing behaviors in lactating dairy cows kept in a highly automated loose-housing barn. Measures of lying and standing behavior derived from the 2 data loggers were strongly correlated. Our results for the comparison of the 2 devices showed no difference between the data from left leg and those from the right leg, which indicates that there was no positional effect. Müller and Schrader (2003) have shown a slightly lower correlation between the recordings of devices attached to different legs.

In the current study, the IceTag slightly underestimated the moving behavior of cows, whereas Trénel et al. (2009) found that this device consistently overestimated this behavior for calves. IceTag data loggers are able to measure lying time but are less accurate when assessing other behaviors such as movement (Müller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; White et al., 2008; Robert et al., 2009; Trénel et al., 2009) unless the sampling interval is extremely short (Scheibe and Gromann, 2006). de Passillé et al. (2010) have shown that the sampling rate of 33 readings/s used in their study was close to the minimum necessary to detect gait patterns. This may explain the failure of some accelerometers that use lower sampling rates to identify activity patterns; for example, Trénel et al. (2009) could not identify walking in calves using a sampling rate of 8 Hz. This result serves to emphasize the points that data about moving behavior in dairy cows should be used with caution and that the methods for gathering such data need to be improved, although moving represents only a very small fraction of the total behavior of cows. In this study, to classify dairy cows as moving, we only used IceTag-recorded intensity thresholds. A more comprehensive algorithm supporting real time analysis of acceleration data in the 3 axes sampled at high frequency could be a more accurate way to estimate moving behavior.

The HOBO logger can accurately describe the laterality of lying behavior, as previously demonstrated by Ledgerwood et al. (2010). Rumen fill, rumination, eating, and physiological state (particularly stage of pregnancy, size of the calf, and cannulation) influence the laterality of lying behavior (Arave and Walters, 1980; Grant et al., 1990; Forsberg et al., 2008; Tucker et al., 2009), suggesting that pronounced laterality may indicate discomfort. Automated measurement of this aspect of lying behavior may elucidate the role of laterality as an indicator of cow comfort and might be useful for assessing the welfare of dairy cattle, particularly when uncomfortable stall conditions exist (Tucker et al., 2009).

Video recording systems provide a complete view of all behavior and also of the location of the cows in the barn, but processing this information is time consuming and labor-intensive. In this study, the time used to analyze the behavior of 1 cow for 24 h by a trained observer was 8.4 h. However, the choice of a system to monitor behavior is not only influenced by the time and labor required but also by the objectives of the particular study, the type and structure of the experiment, and economic factors. Combining behavioral monitoring with other networks of information (such as from VMS) may be helpful for improving the quality and interpretation of daily cow behavior data (Liberati and Zappavigna, 2009).

Sampling intervals of the automatic recording devices

The length of the sampling interval depends on the duration and frequency of the behavioral pattern (Jensen et al., 1986). The ability to identify behavior patterns with an accelerometer increases as a function of increased sampling rate (Moreau et al., 2009).

Each sampling interval has specific strengths and weaknesses and must be carefully selected based on the objectives of the particular study and the behavior that is to be examined. Scheibe and Gromann (2006) used a data logger with a frequency of 100 Hz to identify different movement patterns, whereas Pastell et al. (2009) used 25 Hz to measure gait features in dairy cows, and de Mol et al. (2009) utilized 50 Hz to distinguish steps of dairy cows. Lying and standing behavior was monitored using a HOB0 logger to investigate the influence of feeding strategy (DeVries et al., 2010) and as an indicator of lameness in dairy cows (Ito et al., 2009 and 2010) with a sampling interval of 1 min. The results from this study show that sampling intervals with relatively short lengths (from 1 min to 30 min) were accurate and precise for measuring the amount of time spent lying and standing, in agreement with previous studies of beef cattle (Mitlöhner et al., 2001) and dairy cows (Mattachini et al., 2011). Ledgerwood et al. (2010) showed that shorter intervals between samples (≤ 30 s) are required to accurately measure the number of lying bouts, particularly if lying and standing bouts are very short. Tolkamp et al. (2010) indicated a minimum lying-bout criterion of 4 min. In the current study, the number of lying bouts estimated by the logger with sampling intervals of 1 and 2 min was positively related to values generated from intervals of 1 s. Long intervals (> 2 min) were found to be inappropriate for predicting the number of lying bouts during the day. Short bouts (< 2 min) were missed by longer sampling intervals. For this reason, to measure the number of lying bouts with data loggers, the use of sampling intervals less than 2 min is recommended. The structure of lying bouts, in particular the proportion of short lying bouts, not only influences the appropriate sampling interval but may also provide insight into cow comfort in relation to the housing system, group size or stage of lactation (Ledgerwood et al., 2010). Sampling intervals longer than 1 s produced incorrect results regarding the number of steps taken, strongly underestimating them. The sampling rate is likely to affect the accuracy of counting steps because the peak accelerations are very brief, often occurring during a single time sample.

Determining optimum settings for the device is critical before applying it in the field, as these modifications impact effective battery and memory life. The sample interval should be both effective and efficient. Time constraints, the treatments, their duration, the research questions, and the features and specifications of the data logger also play roles in selecting the interval. The type and quality of the data logger will help dictate the resolution and amount of data that can be obtained. Based on the results from the current analysis, a sampling interval of less than 2 min accurately measured all aspects of lying and standing behavior, whereas only the 1 s interval accurately estimated the number of steps.

Assessment of the size-definition of focal (group) sampling

Mitlöhner et al. (2001) showed that by observing 1 animal out of every 10, one can accurately measure certain behaviors (lying, standing, and feeding) of the group. However, Cook et al. (2005) sampled 10 focal cows from a pen containing approximately 85 cows and found some differences between behavioral indices calculated from only the focal cows and the same indices based on all cows. Additionally, most of the studies that have utilized automated devices to measure behavior have sampled focal animals. Ito et al. (2009) established that 30 cows per farm provided a reasonable sample to pick up variations in lying behavior with approximately 90% accuracy, but that accuracy dropped to less than 60% when the sample size decreased to 10 cows. Endres and Barberg (2007) placed activity monitors on the legs of a minimum of 15% of the cows in each herd to represent the entire group. Considering all possible combinations of the 12 cows of the group monitored, we found that a sample of at least 9 cows is necessary to provide an accurate estimate of lying behavior for the whole group. In the present study, variation among the 12 individual cows was considerable, such that the number of focal animals required to accurately estimate the whole

group mean was high. Ito et al. (2009) showed that lying times are highly variable among farms and among cows within a farm, such that the range of lying times found within a system is greater than that among systems. For the number of steps, no focal groups were similar to the mean of all cows. This result may be explained by the very high variation in the number of steps among the 12 cows, and in particular by 1 cow with very different stepping behavior from the other cows.

The accuracy of focal-group sampling is dependent upon group size, cohesiveness, the activities of the animals, and management operations, thus potentially introducing biases into data collection. Modern production systems involve numerous regroupings, so group dynamics are constantly changing. Several farm conditions contribute to and affect the social behavior of a dairy herd, including the type of housing, the number of cows, the space allowance per cow (Menke et al., 1999), and in particular in the present study, the automatic milking and feeding system. Group definitions and the method of selecting the animals in the “group” are crucial for valid behavioral sampling. Some authors have limited their selection to only high-producing cows or systematically selected the cows as focal cows based on the order they entered the milking parlor (Ito et al., 2009 and 2010). Other authors have selected the cows by limited random selection, including and excluding cows from the selection process on the basis of parity, stage of lactation, locomotion score, and/or health problems (Endres and Barberg, 2007; Cook et al., 2005). Others have selected cows by stratified selection to include equal numbers of lame and non-lame cows (Gomez and Cook, 2010). The size of the focal group should also be related to the herd size of the dairy farm. Additionally, in small focal groups, the behavior of each individual cow has a greater effect on the total behavior of the group (in terms of weighting), whereas in large focal groups, each individual cow has a lesser effect on the total behavior of the group. This relationship was confirmed in the results of this study wherein the number of focal animals required to estimate the behavior of a group of 12 cows was 75% (9 cows), whereas Ito et al. (2009) found that for a group of 44 cows, the number of focal animals required to obtain a reasonable estimate of lying behavior (with an accuracy of approximately 60%) was approximately 25% of the herd (10 cows).

In conclusion, data loggers are time- and labor-saving tools that improve awareness of cow comfort, but they cannot measure other important behaviors like feeding, various aspects of standing, and location. Reliable estimates of lying behavior can be generated by data loggers using sampling intervals of < 2 min. In this study, focal animal sampling was found to be an inappropriate method of estimating the lying behavior of dairy cows in a commercial farm. Further development of data loggers may increase information about dairy cow activity, and they may improve automatic livestock management systems for the efficient monitoring and control of modern automated dairy farms.

Acknowledgement

Special thanks go to the owners of the Mts Zeinstra farm for their significant contributions of collaborative effort, time and patience to this study. Thanks are also due to Wageningen University for supporting this research, Wageningen UR Livestock Research for providing the animal activity monitoring sensors and CRA-ING for providing the equipment used during the study.

Literature cited

- Altman, D. G. and J. M. Bland. 1994 a. Diagnostic tests 1: sensitivity and specificity. *Br. Med. J.* 308: 1552–1552.
- Altman, D. G. and J. M. Bland. 1994 b. Diagnostic tests 2: Predictive values. *Br. Med. J.* 309: 102–102.

- Arave, C. W., and J. L. Walters. 1980. Factors affecting lying behavior and stall utilization of dairy cattle. *Appl. Anim. Ethol.* 6: 369–376.
- Cook, N. B., T. B. Bennett, and K. V. Nordlund. 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88: 3876–3885.
- de Mol, R. M., R. J. H. Lammers, J. C. A. M. Pompe, A. H. Ipema, and P. H. Hogewerf. 2009. Recording and analysis of locomotion in dairy cows with 3D accelerometers. Pages 333–341 in *Precision livestock farming '09*, C. Lokhorst, P. W. G. Groot Koerkamp, Eds. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- de Passillé, A. M., M. B. Jensen, N. Chapinal, and J. Rushen. 2010. Technical note: Use of accelerometers to describe gait patterns in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 93: 3287–3293.
- DeVries, T. J., S. Dufour, and D. T. Scholl. 2010. Relationship between feeding strategy, lying behavior patterns, and incidence of intramammary infection in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 1987–1997.
- Endres, M. I. and A. E. Barberg. 2007. Behavior of dairy cows in an alternative bedded-pack housing system. *J. Dairy Sci.* 90: 4192–4200.
- Forsberg, A. M., G. Pettersson, T. Ljungberg, and K. Svennersten-Sjaunja. 2008. A brief note about cow lying behaviour—Do cows choose left and right lying side equally? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 114: 32–36.
- Fregonesi, J. A., and J. D. Leaver. 2001. Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livest. Prod. Sci.* 68: 205–216.
- Gomez, A., and N. B. Cook. 2010. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *J. Dairy Sci.* 93: 5772–5781.
- Grant, R. J., V. F. Colenbrander, and J. L. Albright. 1990. Effect of particle size of forage and rumen cannulation upon chewing activity and laterality in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73: 3158–3164.
- Haley, D. B., A. M. de Passillé, and J. Rushen. 2001. Assessing cow comfort: effects of two floor types and two tie stall designs on the behaviour of lactating dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 71: 105–117.
- Haley, D. B., J. Rushen, and A. M. de Passillé. 2000. Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can. J. Anim. Sci.* 80: 257–263.
- Ito, K., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2009. Lying behavior: Assessing within- and between-herd variation in free-stall-housed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 4412–4420.
- Ito, K., M. A. G. von Keyserlingk, S. J. LeBlanc, and D. M. Weary. 2010. Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 3553–3560.
- Jensen, P., B. Algers, and I. Ekesbo. 1986. *Methods of sampling and analysis of data in farm animal ethology*. Birkhäuser, Basel, Switzerland.
- Krohn, C. C., and L. Munksgaard. 1993. Behaviour of dairy cows kept in extensive (loose housing/pasture) or intensive (tie stall) environments. II. Lying and lying-down behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 37: 1–16.
- Ledgerwood, D. N., C. Winckler, and C. B. Tucker. 2010. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93: 5129–5139.
- Liberati, P., and P. Zappavigna. 2009. Improving the automated monitoring of dairy cows by integrating various data acquisition systems. *Comp. Electr. Agric.* 68: 62–67.
- Martin, P., and P. Bateson. 2007. *Measuring behaviour: An Introductory Guide*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Mattachini, G., E. Riva, and G. Provolo. 2011. The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 129: 18–27.

- McGowan, J. E., C. R., Burke and J. G., Jago. 2007. Validation of a technology for objectively measuring behaviour in dairy cows and its application for oestrous detection. *NZ Soc. Anim. Prod.* 67: 136–142.
- Menke, C., S. Waiblinger, D. W. Folsch, and P. R. Wiepkema. 1999. Social behaviour and injuries of horned cows in loose housing systems. *Anim. Welf.* 8: 243–258.
- Mitlöhner, F. M., J. L. Morrow-Tesch, S. C. Wilson, J. W. Dailey, and J. J. McGlone. 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 79: 1189–1193.
- Moreau, M. S., A. Siebert, and E. Schlecht. 2009. Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119:158–170.
- Müller, R., and L. Schrader. 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83: 247–258.
- Munksgaard, L., M. B. Jensen, L. J. Pedersen, S. W. Hansen, and L. Matthews. 2005. Quantifying behavioural priorities-effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92: 3–14.
- O'DriScoll, K., L. Boyle, and A. Hanlon. 2008. A brief note on the validation of a system for recording lying behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111: 195–200.
- Pastell, M. E., J. Tiusanen, M. Hakojärvi, and L. Hänninen. 2009. A wireless accelerometer system with wavelet analysis for assessing lameness in cattle. *Bios. Eng.* 104: 545–551.
- Robert, B., B. J. White, D. G. Renter, and R. L. Larson. 2009. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. *Comp. Electr. Agric.* 67: 80–84.
- SAS Institute. 2004. *SAS/Stat 9.1 User's Guide*. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Scheibe, K. M., and C. Gromann. 2006. Application testing of a new three-dimensional acceleration measuring system with wireless data transfer (WAS) for behavior analysis. *Behav. Res. Methods* 38: 427–433.
- Tolkamp, B. J., M. J. Haskell, F. M. Langford, D. J. Roberts, and C. A. Morgan. 2010. Are cows more likely to lie down the longer they stand? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 124: 1–10.
- Trénel, P., M. B. Jensen, E. L. Decker, and F. Skjoth. 2009. Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the IceTag automatic recording device. *J. Dairy Sci.* 92: 3397–3401.
- Tucker, C. B., N. R. Cox, D. M. Weary, and M. Spinka. 2009. Laterality of lying behaviour in dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 120: 125–131.
- White, B. J., J. F. Coetzee, D. G. Renter, A. H. Babcock, D. U. Thomson, and D. Andresen. 2008. Evaluation of two-dimensional accelerometers to monitor behavior of beef calves after castration. *Am. J. Vet. Res.* 69: 1005–1012.

Automated measurement of lying behavior for improving heat detection, health and welfare monitoring in lactating dairy cows

G. Mattachini¹, A. Antler², E. Riva¹, A. Arbel², G. Provolo¹

¹ Department of Agricultural Engineering, Università degli Studi di Milano, 20133 Milano, Italy; ¹ e-mail of corresponding author: gabriele.mattachini@unimi.it

² Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan 50250, Israel

Abstract

Behavioral monitoring may be useful to assess animal welfare, health state and productivity in farm animals and lying behavior are often used as a sign of well-being in cattle and to evaluate the quality of stalls. Electronic data loggers to automate behavioral recording have become increasingly common. We tested the accuracy of the Pedometer Plus tag (S.A.E. Afikim, Israel) for measuring lying behavior in dairy cattle (n = 20 lactating cows). Behavior were recorded for 12 days by Pedometer plus and the recorded data were analyzed by the software that calculated on a milking session basis the activity (steps/hour), rest bout (number of bouts), rest duration (min), rest time (min), and rest ratio (percentage). Lying behavior was simultaneously recorded by HOBO data logger (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) used to validate the Pedometer Plus tag. The Pedometer Plus accurately measured lying behavior. The linear regression analysis showed a close relationship of lying time ($R^2 = 0.98$) and the number of lying bouts ($R^2 = 0.87$) also confirmed by the comparison of the means (onesample paired *t*-tests). However, in some case the recordings of lying time and number of bouts between the devices differs of more than 5%. The different sampling, editing and filtering methods can explain the discrepancies on lying time and bouts recorded, whereas the positional application (attached to different legs) increase more the discrepancy between devices. This system will comprise the advantages of the automated recording of reliable data 24 hours a day on the overall individuals comprising the herd reducing the difficulty of continuously measuring and monitoring such behavior for prolonged time on large number of animals. In summary, the Pedometer Plus system appears to be a useful tool for the measurement of lying behavior in dairy cows.

Keywords: dairy cow, behavior monitoring, lying, accelerometer technology, validation.

Introduction

Changes in the behavioral patterns of dairy cow are used by farmers and animal health professionals to identify poor health (e.g. lameness) and reproductive state (e.g. oestrus). Behavioral monitoring may be useful to assess animal welfare, health state and productivity in farm animals. Lying behavior, particularly the time spent lying down, the frequency of lying bouts (i.e., a transition from standing to lying), and the duration of individual bouts were identified as sensitive measures of stall comfort (Haley et al., 2000) and are a useful indicator of animal welfare (Fregonesi and Leaver, 2001). The ability to spend time lying down is extremely important to dairy cows for their welfare and level of milk production. Recent studies of lying time in cows housed in freestalls have reported average lying times ranging from 11.37 to 13.70 h/24 h (Cook et al., 2005; Drissler et al., 2005).

Lying behavior in free-stall barns is affected by design and management factors, including the stall surface and bedding quality (Fregonesi et al., 2007b; Tucker et al., 2003), stall size and configuration (Tucker et al., 2004b, 2006), stocking density (Fregonesi et al., 2007a), stall location and pen layout (Wagner-Storch et al., 2003), pen flooring (Fregonesi et al., 2004), and milking and feeding management (DeVries and von Keyserlingk, 2005).

In the recent years new methods have been developed for automatic recording of animal behavior. Behavioral activity can be achieved by a variety of methods, but the accelerometer technology is a widely used method. Electronic data loggers can be used to measure lying behavior accurately, including the total time spent lying down, the number of lying bouts (Müller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; O'Driscoll et al., 2008; Darr and Epperson, 2009; Robert et al., 2009), the duration of each bout for individual cows, and the laterality of lying behavior (Ledgerwood et al., 2010). Electronic pedometers or activity tags use changes in behavior, in particular identify the restlessness and elevated physical activity of cows, to monitoring activity and detect estrus in dairy cows and heifers (e.g., Lactivator, Nedap Agri BV, Groenlo, the Netherlands; Alpro, DeLaval, Tumba, Sweden; Pedometer, Afikim, Israel). In the present study we tested the Pedometer Plus system (S.A.E. Afikim, Kibbutz Afikim, Israel) which use an electronic accelerometer sensor that supplies three measurements: activity (steps/hour), lying Time (minutes) and lying bouts. The tag is fitted to the cow leg; the data is accumulated and transmitted to management software each time the cow is passing an antenna located in the milking parlour or between the passageway and the gates in the barn.

The objective of this study was to evaluate the accuracy of the Pedometer Plus system (SAE Afikim, Israel) when measuring lying behavior (total lying time, and number of lying bouts) for a cow comfort assessment system.

Materials and methods

Animal

This study was conducted during the summer (July 2011) at the Institute of Animal Sciences, on the research farm of Volcani Center in Bet-Dagan (Israel), a typical Israeli dairy commercial open cowshed. To evaluate the accuracy of the Pedometers plus at determining lying behavior, 20 lactating cows (Israeli Holstein), 8 primiparous and 12 multiparous (parity = 2.5 ± 1.70 ; mean \pm SD), were included in the study. The animals, housed within a larger group of 92 animals, were 215.4 ± 167.4 day in milk (DIM) at the beginning of the data collection period, weighed 597 ± 131 kg, and had a BCS of 3.0 ± 0.6 on a scale of 1 to 5 (Ferguson et al., 1994). The cows were housed in a loose-covered pen (75 m \times 30 m), with cooling under the hot weather conditions. Cows had ad libitum access to water and feed. The cows were removed from the pen and were milked 3 times daily at 0530, 1335 and 2100 h ($0.6 + 0.2$ h/milking; milking + waiting time with cooling). All cows received each day from 0810 to 0845 h and from 1610 to 1655 h, cooling showers in the milking yard.

During the study the average temperature recorded was 27.5°C , with a minimum of 23.3°C , and maximum of 31.8°C and an average relative humidity of 69%, equivalent to an average of maximum THI of 80.8 (García-Ispuerto et al., 2007).

Behavioral Recordings

Lying behavior were recorded for 12 days by Pedometer plus and HOBO Pendant G data logger. The Pedometer plus tag (S.A.E. Afikim, Kibbutz Afikim, Israel) provides information regarding steps, lying time, and lying bout. From this information the device calculated the following behavioral measurements: activity (number of steps), rest time (the time that cow is lying down), rest ratio (the percentage of the time that cow is lying down from the total time), average lying duration (lying time/lying bout), and restlessness ratio (ratio between activity and rest time). The

pedometer plus is an electronic sensor device based on accelerometer technology that records and reports animal activity based on the angle of the leg. The steps are measured by another sensor which is a mechanical sensor that count movements of the leg. The device has a rigid plastic housing designed to withstand the farm environment and attaches to the lateral side of the leg above the fetlock by means of a strap. Activity data accumulated were transmitted with dedicated antennas, placed in milking parlor, to Afifarm management software (S.A.E. Afikim, Israel) for each milking. The recorded data are analyzed by the software that calculates on a milking session basis the activity (steps/hour), rest bout (number of bouts), rest duration (min), rest time (min), and rest ratio (percentage). The Afifarm software allows saving and showing the data for the last 10 days for each cow. Data for 12 days of experiment and for each cow were exported to an Excel 2007 spreadsheet (Microsoft Corp., Redmond, WA).

Pedometer Plus tag were tested against HOBO data logger (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA), which were previously validated for recording standing and lying behavior in dairy cows by several authors (Ito et al., 2009; Ledgerwood et al. 2010). The HOBO Pendant G is a waterproof 3-channel logger. The logger uses an internal 3-axis accelerometer with a range of ± 3 g. The data loggers were attached to the lateral side of the left or right hind leg of the cows using Vet-flex in a position such that the x-axis was perpendicular to the ground and pointing towards the back of the cow (dorsal direction). The loggers were programmed to record the g-force on the x, and z-axes at 1 min intervals following the procedure of Ito et al. (2009), to monitoring only the lying and standing behavior. We followed the approach by Endres and Barberg (2007) and ignored standing and lying bouts shorter than 2 min, making the assumption that these readings were associated with leg movements at the time of recording. A constant was added to all values to make all g forces positive to facilitate data handling. The cut-off values used to categorize logger readings as a specific behavior (lying vs. standing) were determined based on preliminary study. Information from the x-axis was used to evaluate lying and standing behavior (Ledgerwood et al., 2010).

A total of 20 cows were monitored, but only 18 cows had usable lying behavior data; 2 cows were removed from the data set because was lost 1 HOBO data logger, and because a Pedometer plus malfunctioned during the experiment. The final data set consisted of 18 cows and 12 days.

Statistical Analysis

All lying times are presented on a milking session basis to facilitate comparisons between Pedometer plus and HOBO data logger. Data transformations were applied using the NORMAL statement in PROC RANK (SAS Institute, 2004) to calibrate a transformation to be maximally effective in moving a variable toward normality, regardless of whether it is negatively or positively skewed. Estimates of lying time (min/session), and number of bouts (bouts/session) for each cow, and session obtained from Pedometer plus were compared with the values generated from HOBO data logger with linear regression (PROC REG in SAS). The lying time and number of bouts by all cows (18), session (3), and individual cow were tested by onesample paired *t*-tests using transformed data. Least-squares means (LSM) and standard error of the mean (SEM) were determined using the LSMEANS and STDERR statement in PROC GLM. In statistical analysis, significance was declared when $P < 0.05$.

Results

Cows spent 8.6 ± 2.3 (mean \pm standard deviation) h/d lying down, equivalent to 36% of the daily time, with a maximum and a minimum of 14.5 and 2.3 h/d, respectively. This lying time was dividing into 12.3 ± 3.1 bouts/d (range: 5 to 20 bouts/d), which were 45.1 ± 18.8 min in length. Across all cows, the shortest and longest lying periods was 14.6 and 144 min/bouts, respectively. A mean of $3,458 \pm 841$ steps/d were recorded by the Pedometer plus, with a minimum and maximum of 2,120 and 6,680 steps /d across all cows monitored. Analyzing the behavioral data by the session

of milkings the highest value of lying down was recorded in the session 1, between 2100 and 0530 h, with 4.3 ± 2.3 h (equal to 50% of the time). Into the session 1 was also observed the highest mean value of lying bouts, 5.6 ± 2.2 , and duration of bouts 54.6 ± 45 min, and the lowest number of steps, with a mean value per hour of 108.4 ± 39.2 steps/h. The third session, between 1335 and 2100 h, was resulted the lowest period of the day for the lying time 1.9 ± 0.9 h, lying bouts 2.8 ± 1.3 and bouts length 40.6 ± 20.6 min. The highest activity recorded was in the second session (between 0530 and 1335 h) with a mean of 165.8 ± 42.5 steps/h.

A closely relationship was found between the lying times ($R^2 = 0.987$, and Adj $R^2 = 0.987$ with $P < 0.001$) and bouts ($R^2 = 0.866$, and Adj $R^2 = 0.865$ with $P < 0.001$) obtained from Pedometer plus and those recorded by the HOB0 data logger (Figure 1).

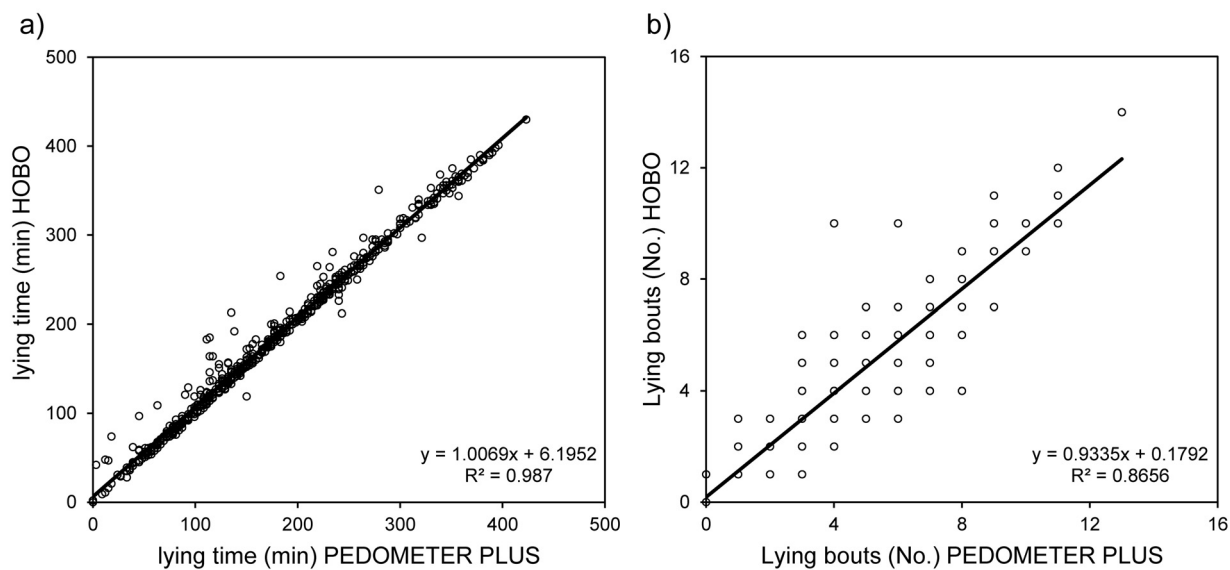


Figure 1. The relationship between Pedometer Plus device and HOB0 data logger with regression coefficient (R^2), linear regression, and equation; a) shows correlation between lying time measured as min/session of milking, b) shows correlation between number of lying bouts.

Table 1 shows the comparison of the means (LSM, SEM, and significance) for the time spent lying and the number of lying bouts (onesample paired t -tests). There was no difference in lying time and bouts between Pedometer plus and HOB0 data logger for each level comparison, by allcows (lying time, $P = 0.14$; lying bouts, $P = 0.42$), session (lying time, $P > 0.14$; lying bouts, $P > 0.54$), and across cow (lying time, $P > 0.26$; lying bouts, $P > 0.29$).

Percentage difference in time cows spent lying and number of lying bouts between data recorded from HOB0 data logger and Pedometer plus were showed in the Figure 2. Respect the data recorded by HOB0 data logger, the lying bouts were overestimated by the Pedometer plus and the time spent lying was, instead, underestimated. Allcows level showed a percentage difference of 5% in both behavioral data; whereas the session level highlighted a maximum and minimum percentage difference of 6% and 4%, respectively. A marked inter-individual variability was found across the animals, the percentage difference between Pedometer plus and HOB0 data logger for lying time ranged from 0% to 15%, whereas the number of lying bouts ranged from 0% to 20%.

Discussion

In the current study, cows spent between 4.8 and 13.3 h/d lying down, with an average of 8.6 h/d; these values are lower respect the ranging from 11.37 to 13.70 h/24 h the values reported in the literature (Cook et al., 2005; Drissler et al., 2005). This lower time spent lying down was affected by milking management with 3 milking during the day and the waiting time with cooling before each milking, but, in particular, by the cooling showers in the milking yard that cows received each day from 0810 to 0845 h and from 1610 to 1655 h to reduce the effects of heat load in heat stress conditions. This tendency was more highlighted by the lying time mean recorded during the second and third session, directly interested by the cooling.

Table 1. Least-squares means (LSM) and standard error of the mean (SEM) of time spent lying and lying bouts (LSM) per session recorded by Pedometer plus and HOBO logger by all cows, session and animal (cows).

	Lying time (min)				Lying bout (No.)			
	PEDO+	HOBO	SEM	Sign.	PEDO+	HOBO	SEM	Sign.
ALLCOWS	174.80	182.20	3.75	NS	4.07	3.98	0.09	NS
by SESSION								
Session 1	257.19	267.77	5.43	NS	5.64	5.51	0.16	NS
Session 2	150.00	157.17	4.51	NS	3.62	3.55	0.11	NS
Session 3	111.52	115.72	4.05	NS	2.84	2.77	0.09	NS
by COW								
2713	94.80	107.03	7.73	NS	2.63	2.43	0.16	NS
2729	190.80	196.86	10.90	NS	4.17	3.89	0.24	NS
2759	268.63	274.43	14.51	NS	2.94	2.74	0.21	NS
2782	208.36	217.73	24.96	NS	4.45	3.82	0.39	NS
2790	223.63	227.80	15.72	NS	3.51	3.51	0.20	NS
2882	200.59	199.09	18.47	NS	4.32	5.09	0.49	NS
2974	166.03	171.17	21.09	NS	2.83	2.77	0.44	NS
2980	199.71	204.40	8.10	NS	4.83	4.66	0.25	NS
2991	223.71	229.11	16.51	NS	3.91	3.66	0.18	NS
3049	131.83	154.46	13.92	NS	3.60	3.09	0.33	NS
3130	179.65	189.44	13.84	NS	4.65	4.56	0.24	NS
3136	154.63	161.29	14.46	NS	4.89	4.91	0.52	NS
3139	136.89	146.57	13.31	NS	4.57	4.34	0.42	NS
3140	168.17	176.94	9.55	NS	4.66	4.63	0.30	NS
3142	179.66	184.60	9.82	NS	4.54	4.66	0.26	NS
3149	115.80	120.69	12.48	NS	3.94	4.37	0.44	NS
3151	141.00	146.79	17.57	NS	5.06	4.94	0.58	NS
3154	182.91	189.09	15.55	NS	4.06	3.97	0.28	NS

NS = nonsignificant.

The current study demonstrated that the Pedometer plus system, in comparison with HOBO data logger, accurately measured lying behavior (lying time and lying bouts) in lactating dairy cows in a loose housing system. The linear regression analysis showed a close relationship of lying time and the number of lying bouts between Pedometer plus and HOBO data logger. The capability of Pedometer plus to measure the lying behavior was also confirmed by the comparison of the means

(onesample paired t -tests) that found non-significant different between the mean obtained from the data recorded. However, in some case the P value was resulted relatively low, and the recordings of lying time and number of bouts between the devices differs of more than 5%. The difference in the lying time and bouts recorded between the Pedometers plus and HOBO data logger may be a result of small time discrepancies between the different tag, or the effect of the positional application (Muller and Schrader, 2003), or the sampling interval and editing method utilized to identify the lying time and number of bouts (Ledgerwood et al., 2010).

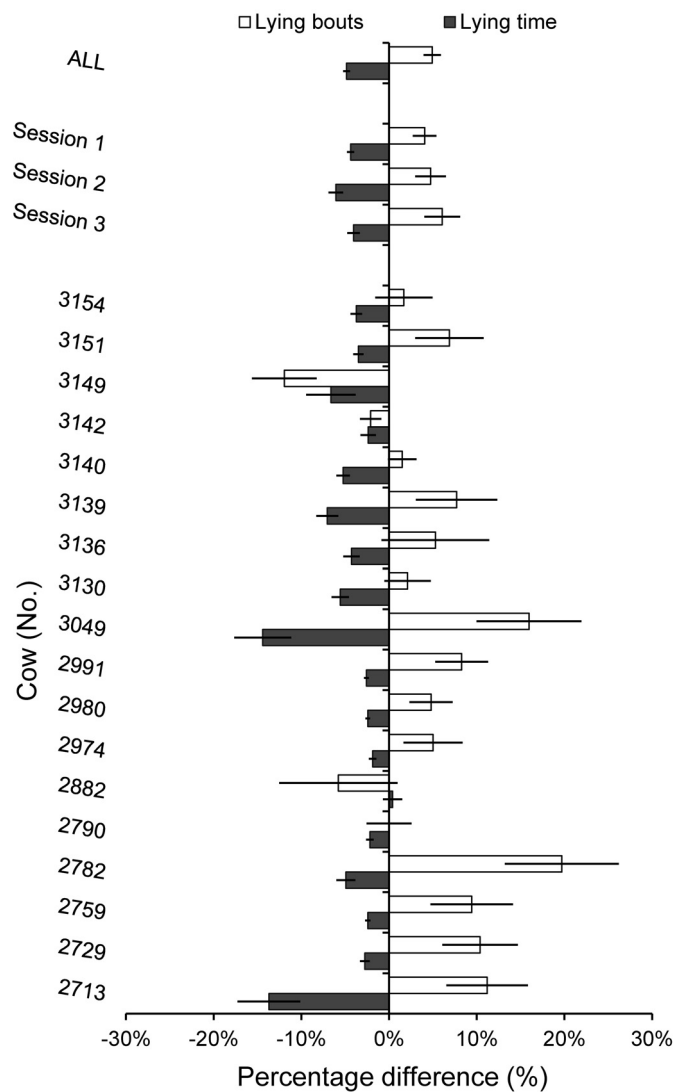


Figure 2. Percentage difference in time cows spent lying and number of lying bouts between data recorded from HOBO data logger and Pedometer plus. Bars on the right (positive difference) show a overestimation in lying behavior (time, bouts) of Pedometer plus respect HOBO data logger and on the left show a underestimation. Data are shown separately by mean of allcows, by session of milking (Session 1 = from 2100 to 0530; Session 2 = from 0530 to 1330; Session 3 = from 1330 to 2100), and by each individual cows (Cow, No.).

With reference to HOBO data logger, validated by several authors (Ito et al., 2009; Ledgerwood et al. 2010), the Pedometer plus overestimates the number of bouts but at the same time underestimates the time that cows spent lying down. This is likely because data recorded by Pedometer plus were edited by calculation software of device with an inaccurate filtering method to

identify the potentially erroneous readings of lying or standing events. Moreover, due to the high sensitivity of the accelerometers, even small movements during lying were recorded. In this study, the different sampling, editing and filtering methods can explain the discrepancies on lying time and bouts recorded, whereas the positional application (attached to different legs) increase more the discrepancy between devices. An improved processing algorithm of the recorded data might enhance the performances of the equipment.

The Pedometer Plus records activity and the rest behavior (lying time and lying bouts) of each cow 24 hours/day. The integration of this newly data in a computerized farm management system opens new opportunities for herd managers and researchers. Integrating of lying behavior data could be used for developing objective and automatic parameters for a cow welfare and comfort assessment system. Lying behavior of cows provides valuable information which could be useful for improving estrus detection (Brehme et al., 2008; McGowan et al., 2007). In addition, this data can enable early detection of health problem and lameness (Cook et al., 2004), and be applied for suitability of housing condition and monitoring cow comfort as an indicator of the facilities and management procedures in the herd (Fregonesi et al., 2001; Tucker and Weary, 2004a; Tolkamp et al., 2010; Drissler et al. 2005). This system will comprise the advantages of the automated recording of reliable data 24 hours a day on the overall individuals comprising the herd reducing the difficulty of continuously measuring and monitoring such behavior for prolonged time on large number of animals. Furthermore, the integration with other data collected by the herd management system (milk quantity, milk conductivity, milk components, body weight and body condition score) has the potential for improving and fine tuning the assessment system.

Conclusions

The Pedometer Plus system appears to be a useful tool for the measurement of number of lying bouts, and duration of lying time in dairy cows, making it a useful device for future research.

Some improvement of data processing might enhance the performances of the device and it would be interesting to understand if the recording of hourly behavioral pattern can support the early warning capability of the herd management system.

Automated measurement of lying behavior can be a powerful management tool for monitoring and improving cow comfort and welfare status in commercial farms, reducing labor requirements for this type of research.

Acknowledgement

We thank Institute of Agricultural Engineering (Bet-Dagan, Volcani Center) and the research dairy farm of Institute of Animal Sciences (Bet-Dagan, Volcani Center) for supporting this research and significant contributions of collaborative effort throughout the experiments. We are also grateful to Alon Arazi and Eva Ishay (S.A.E., Afikim), and Ephraim Maltz (Agricultural Research Organization) kindly provided valuable comments on a draft of this manuscript.

References

- Brehme, U., Stollberg, U., Schlesuener, T., 2008. ALT pedometer-new sensor-aided measurement system for improvement in oestrus detection. *Comput. Electron. Agric.* 62, 73-80.
- Cook, N.B., Bennett, T.B., Nordlund, K.V., 2004. Effect of free stall surface on daily activity patterns in dairy cows with relevance to lameness prevalence. *J. Dairy Sci.* 87, 2912-2922.

- Cook, N.B., Bennett, T.B., Nordlund, K.V., 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88, 3876-3885.
- Darr, M., Epperson, W., 2009. Embedded sensor technology for real time determination of animal lying time. *Comput. Electron. Agric.* 66, 106-111.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 625-631.
- Drissler, M., Gaworski, M., Tucker, C.B., Weary, D.M., 2005. Freestall maintenance: effects on lying behavior on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88, 2381-2387.
- Endres, M.I., Barberg, A.E., 2007. Behavior of dairy cows in an alternative bedded-pack housing system. *J. Dairy Sci.* 90, 4192-4200.
- Ferguson, J.D., Galligan, T.D., Thomsen, N., 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77, 2695-2703.
- Fregonesi, J.A., Leaver, J.D., 2001. Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livest. Prod. Sci.* 68, 205-216.
- Fregonesi, J.A., Tucker, C.B., Weary, D.M., 2007a. Overstocking reduces lying time in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 3349-3354.
- Fregonesi, J.A., Tucker, C.B., Weary, D.M., Flower, F.C., Vittle, T., 2004. Effect of rubber flooring in front of the feed bunk on the time budgets of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, 1203-1207.
- Fregonesi, J.A., Veira, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2007b. Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 5468-5472.
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Bech-Sabat, G., Santolaria, P., Yániz, J.L., Nogareda, C., De Rensis, F., López-Béjar, M., 2007. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology*, 67, 1379-1385.
- Haley, D.B., Rushen, J., de Passillé, A.M., 2000. Behavioural indicators of cow comfort: Activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can. J. Anim. Sci.* 80, 257-263.
- Ito, K., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2009. Lying behavior: Assessing within- and between-herd variation in free-stall-housed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 4412-4420.
- Ledgerwood, D.N., Winckler, C., Tucker, C.B., 2010. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93, 5129-5139.
- McGowan, J.E., Burke, C.R., Jago, J.G., 2007. Validation of a technology for objectively measuring behaviour in dairy cows and its application for oestrous detection. *NZ Soc. Anim. Prod.* 67, 136-142.
- Müller, R., Schrader, L., 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83, 247-258.
- O'DriScoll, K., Boyle, L., Hanlon, A., 2008. A brief note on the validation of a system for recording lying behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 195-200.
- Robert, B., White, B.J., Renter, D.G., Larson, R.L., 2009. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. *Comp. Electr. Agric.* 67, 80-84.
- SAS Institute. 2004. SAS/Stat 9.1 User's Guide. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Tolkamp B.J., Haskell, M.J., Langford, F.M., Roberts, D.J., Morgan, C.A., 2010. Are cows more likely to lie down the longer they stand? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 124, 1-10.
- Tucker, C.B., Weary, D.M., 2004a. Bedding on geotextile mattresses: How much is needed to improve cow comfort? *J. Dairy Sci.* 87, 2889-2895.
- Tucker, C.B., Weary, D.M., Fraser, D., 2003. Effects of three types of freestall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 521-529.
- Tucker, C.B., Weary, D.M., Fraser, D., 2004b. Free-stall dimensions: effects on preference and stall usage. *J. Dairy Sci.* 87, 1208-1216.
- Tucker, C.B., Zdanowicz, G., Weary, D.M., 2006. Brisket boards reduce freestall use. *J. Dairy Sci.* 89, 2603-2607.

Wagner-Storch, A.M., Palmer, R.W., Kammel, D.W., 2003. Factors affecting stall use for different freestall bases. *J. Dairy Sci.* 86, 2253-2266.

Influence of feed delivery frequency on behavioural activity of dairy cows in freestall barns

Elisabetta Riva^a, Gabriele Mattachini^a, Luciana Bava^b, Anna Sandrucci^b, Alberto Tamburini^b, Giorgio Provolò^a

^a*Department of Agricultural Engineering, University of Milan, 20133 Milano (Italy), Tel. +39 02 5031 6855, Fax +39 02 5031 6845*

^b*Department of Animal Science, University of Milan, 20133 Milano (Italy)*

Keywords: dairy cows; behaviour; feed delivery frequency; freestall

Introduction

During the past few years, there has been increased interest in determining the effects that feeding frequency has on the performance of lactating dairy cows. Feeding is normally the predominant behaviour in dairy cattle (Grant and Albright, 2001). Dairy cows spend 3 to 5 h/d eating, consuming 9 to 14 meals per day. In addition, they ruminate 7 to 10 h/d, spend approximately 30 min/d drinking, 2 to 3 h/d being milked, and require approximately 10 h/d of lying and (or) resting time (Grant and Albright, 2000). Typically, group-housed dairy cows are provided with fresh feed twice per day (2×), or only once per day (1×) to reduce labor costs. Research on feeding management in more competitive free-stall settings indicates that frequency of delivery of fresh feed stimulates feed bunk attendance (DeVries et al., 2003) and can affect other aspects of cows' time budgets apart from feeding such as time spent standing or ruminating while standing vs. lying down (Phillips and Rind, 2001). DeVries and von Keyserlingk (2005) showed that the time of provision of fresh feed strongly influenced the feeding behaviour of dairy cows, these authors also found that the time of feed delivery affected lying behaviour. DeVries et al. (2005) showed that increasing the frequency of feed delivery allowed the cows to increase their daily feeding time and increase the distribution of feeding time over the course of the day, improving access to fresh feed for all cows and to reduce sorting. Mäntysaari et al. (2006) compared cows fed a total mixed ration (TMR) once or 5 times a day and also found total eating time was longer when feed was delivered more often, but, cows fed 5 times a day increased restlessness and decreased lying time than cows fed once times a day. Haley et al. (2000) showed that individually housed cows in tie stalls tended to eat the majority of their feed during the day, and peak feeding activity occurred immediately following milking and feed distribution. Similar responses to milking and feeding have also been demonstrated for cows in free-stall housing (Tanida et al., 1984; DeVries et al., 2003; Wagner-Storch and Palmer, 2003). Heat stress, particularly temperature-humidity index (THI), reduce dry matter intake (DMI) and milk yield in lactating cows (West, 2003; West et al., 2003) and were also found to influence the dairy cows' time budget (Cook et al., 2007).

The effect of feeding frequency on the performance of dairy cows has been examined in many studies. Time spent feeding has also been shown to be correlated with milk production (Shabi et al., 2005). Gibson (1984) concluded that increasing the feeding frequency of dairy cows increased the milk fat percentage by an average of 7.3% and increased milk production by 2.7%. In the studies by Shabi et al. (1999), Le Liboux and Peyraud (1999), and Kudrna et al. (2001), increasing feeding frequency increased the DMI of the TMR, but had no effect on milk production. Contrary to these results, in the study by Phillips and Rind (2001), the DMI and milk yield were higher with feeding

once a day compared with 4 times a day and concluded that frequent feeding disturbed the cows and reduced milk production.

Conventional milking systems provide a more structured daily routine, whereas automatic milking systems (AMS) allow for more flexibility in milking times for individual cows (Wagner-Storch and Palmer, 2003). According to Melin et al. (2005) the motivation to eat is a better incentive in attracting the cows to the milking unit than the motivation to be milked (Prescott et al., 1998; Halachmi et al., 2000). Oostra et al. (2005) reported that the daily number of visits to the AMS was not affected by the feeding frequency, however, an increase of frequency had a positive effect on the utilization of the cowshed facilities, such as the occupation of the feeding fence, cubicles, and feed alley. The daily feeding time is also influenced by the cow traffic system (Hermans et al., 2003).

The objective of this study was to examine how the frequency of feed delivery affects the behaviour, the feed intake, and milk production lactating dairy cows in conventional and AMS farms.

Materials and Methods

Housing system and animals

The study was carried out between April and November 2009 in two dairy farms located in Lombardy (Italy) where animals were kept in loose housing condition with cubicles.

In the first farms (conventional) animals were milked in a herringbone milking parlour (12+12) twice daily and were divided in two groups (primiparous and pluriparous). Milking occurred twice a day at 05:00 and 17:00 h. The barn is oriented NW-SE, the studied a group of 96 primiparous was housed in the NE side equipped with 100 cubicles (2 rows) with mattress covered with chopped straw. At the beginning of the data collection period, cows were 214 ± 9.37 (mean \pm SD) days in milking (DIM) and the average milk yield was 27.1 ± 0.66 kg/d. The manger has 90 feeding space and there are 8 fans for summer ventilation.

In the second farm cows were milked in two AMS (VMS, DeLaval, Tumba, Sweden). A forced traffic was applied so the animals were forced to pass through the AMS before they could reach the feed troughs. Cows were divided in two pens but all animals had access to the both AMS 24 h/d (while a total of 1 h/d was dedicated to the cleaning of the system). Cows were granted milking permission after 6 h from previous milking, unless a milking failure occurred, in which case cows would be allowed permission to be milked again immediately. Cows with more than 12 h since last milking were fetched and forced to visit AMS.

The barn is oriented E-W, the studied a group of around 50 primiparous (parity 1.83 ± 0.03 , milk yield 30.0 ± 3.05 kg/d, DIM 193 ± 17.8 ; mean \pm SD) was housed in the N side equipped with 61 cubicles (4 rows) with mattress covered with sawdust. The manger has 39 feeding space and there are 2 fans for summer ventilation.

Environmental monitoring

Two data loggers, for each farm, were used for the measurement of the air temperature, relative humidity and light intensity (HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA). The data loggers were located in the barn at a height of about 2m above the floor in order to measure the air temperature as close as possible to the animals without being affected by the animals. The microclimatic data interval time recording was set at 15 min. The temperature-humidity index (THI), which is widely utilized in literature, was used to consider the temperature and the humidity jointly. The THI was calculated for each position in the barn and an overall value for the THI was obtained by averaging the data obtained from each data logger. The equation used to calculate THI was: $THI = T_{db} + 0.36 \times T_{dp} + 41.2$, where T_{db} is the dry bulb temperature in $^{\circ}C$, and T_{dp} is the dew point temperature in $^{\circ}C$ (Yousef, 1985).

Feeding frequency and feeds

The treatments were applied to entire pen with primiparous cows in conventional farm and one pen in AMS farm and consisted in two periods with two different feeding frequency distribution replicated in two different season. Each period lasted two week: one week for adaptation and one for trial.

The feeding frequency was two (7.00 h and 17.00 h) or three (8.00 h, 11.00 h and 17.00 h) and season summer and autumn in the conventional dairy farm; in AMS dairy farm the feeding frequency was one (9.00 h) or two (9.00 h and 18.00 h) and season spring and summer. All cows in the AMS farm received a TMR at feed bunk and a different amount of concentrate at the AMS during milking depending on milk yield. Ingredient and chemical composition of TMR offered to all monitored cows are described in Table 1.

The group dry matter intake was recorded every day during the second week of each period. In the same week daily samples of TMR were taken for chemical analysis (NIR System 5000, FOSS). Individual milk production was automatically recorded at each milking in both dairy farms.

Table 1. Average chemical composition of monitored cows total mixed rations (TMR) in conventional farm and in automatic milking system (AMS) farms

Composition	Conventional	AMS
Chemical analysis ¹		
DM, %	56.6	55.8
OM, % of DM	92.4	92.7
CP, % of DM	14.7	13.8
EE, % of DM	3.1	2.8
NDF, % of DM	37	34.8
ADF, % of DM	22	21.7
ADL, % of DM	4.2	4.4
Starch, % of DM	22.5	24.2

¹ Values were obtained from chemical analysis of TMR samples.

Behavioural recording

All behaviours of the cows were monitored in continuous by video recording system for all duration of the study. The video surveillance system consisted of four IR day/night weather-proof varifocal cameras with 42 infrared led for night vision (420SS-EC5, Vigital Technology Ltd., Sheung Wan, Hong Kong) and a recording personal computer based on Windows XP Professional. The cameras each had a protective aluminium housing (IP66) and a 4.0 to 9.0 mm varifocal lens. The four cameras were placed about 5 m above the pen floor to allow for the complete visualization of the pens. The cameras were connected to a four channel video capture DVR4200 card (Huper Laboratories Co., Ltd., Taipei, Taiwan) that was integrated into the PC and that converted the analogue signal to a digital signal for subsequent storage on a hard disk. Each camera was set to continuously record at 640 × 480 resolution and 1 frames/s.

The analysis of the video recording data consisted of the evaluation of the number of dairy cows engaged in different behavioural activities (i.e., feeding, lying, and standing). Standing was considered to be an upright posture (i.e., motionless or walking), while the lying category included only cows that were observed in total lateral or sternal recumbency within the confines of a stall (Overton et al., 2002). Eating was defined as actively ingesting feed or water, or standing within 0.6 m of the feed bunk and oriented toward the feed (Overton et al., 2002). Behavioural activities were analysed at scan intervals of 60 min (Mattachini et al., 2011) for each barn to create 2 databases. For each database and for each hour, specific cow behavioural indices were calculated, namely CLI, SUI, CSI, SPI, and CFI. The cow lying index (CLI) describes the number of animal resting in the stall and is defined as total number lying in free stalls divided by the total number of cows in the barn. The free-stall use index proportion of eligible lying (SUI) was defined as total number of cows lying in free stalls divided by the total number of cows in the barn that were not eating during

that time period (Overton et al., 2002). The cow standing index (CSI) was calculated as the number of cows observed standing (not lying and eating), divided by the total number of cows in the barn. The stall perching index (SPI) defined the proportion of cows touching a stall that were standing with only the front 2 feet in the stall and the rear feet in the alley (Cook *et al.*, 2005). The cow feeding index (CFI) was obtained counting the cows at the feed bunk (Wagner-Storch and Palmer, 2003). The entire behavioural observation period covered 8 d for each treatment in each period for a total of 32 d for each farm.

Statistical analysis

Behavioural indices were not normally distributed as defined by the Kolmogorov–Smirnov test and these indices were then square root-arcsine transformed to achieve normal distribution (Mitlohner et al., 2001).

For the analysis of behaviours (CLI, CSI, SUI, SPI, CFI, AMS), both farms were considered as the experimental unit, with measures from multiple days and cows averaged to create one observation per hour of the day, per farm, per treatment (1 vs. 2; 2 vs. 3) and per environmental condition (cool and hot). Effect of the hour of the day was considered in both farms. In conventional farm milking hours were excluded. An ANOVA was carried out considering as factors: feeding frequency, environmental condition, hour and interaction feeding frequency x environmental condition.

DMI, milk yield, and THI were tested by ANOVA using the same factorial model for daily values. In statistical analysis, significance was declared when $P < 0.05$ (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$).

Results and discussion

As expected, behavioural indices have been significantly affected by environmental conditions both in conventional farm (table 2) and AMS farm (table 3). Although the THI values were not particularly high also in the hot period (< 73) the differences in the behavioural activity in comparison to the cool period were marked: CLI decreased of 10-15% while cows were standing longer (23-50%). Thus also the SUI decreased in hot conditions. The SPI shows an significant increment in both farms ($>30\%$) revealing cows were less comfortable. CFI has been affected in a very limited way in the conventional farm and the differences are not significant while slightly decreased in the AMS farm (-5%). In both farm the DMI was much lower in the hot period and does not seem correlated to the time spent at the manger.

Although the environmental conditions seem to have influenced similarly the two herds, the effect on milk yield has been different. In the conventional farm the yield was not affected while in conventional farm decreased significantly.

The increase in the feeding frequency has not causes relevant variations in the behavioural activity as daily average. However a slight decrease in CLI and increment in CSI has been noted in both farms. In the AMS farm the reduction of CLI is significant while the CSI is not. In the conventional farm the analysis give opposite results. Also the DMI is not different for the two treatments thus the significant differences in milk yield obtained in both farms seems the combined results of the tendencies shown by other indices.

Table 2. Climatic and feeding frequency effects on behaviour index, dry matter intake (DMI) and milk yield in conventional dairy farm

	Environmental condition		Feeding frequency		Significance			
	cool	hot	2	3	Environ. condition	Feeding frequency	interaction	hours
Behavioural index								
CLI	0.616	0.522	0.582	0.565	**	ns	ns	**
CSI	0.141	0.218	0.176	0.184	**	*	*	**
SUI	0.787	0.696	0.747	0.734	**	ns	ns	**
SPI	0.058	0.081	0.069	0.070	**	ns	*	**
CFI	0.244	0.250	0.243	0.252	ns	ns	ns	**
DMI(kg/day)	22.82	21.06	21.79	22.56	**	ns	*	
Milk yield (kg/day)	27.00	27.19	26.84	27.39	ns	*	ns	
THI	58.08	72.97	65.56	65.49	**	ns	*	

Table 3. Climatic and feeding frequency effects on behavioural indices, dry matter intake (DMI) and milk yield in automatic milking system (AMS) dairy farm

	Environmental condition		Feeding frequency		Significance			
	cool	hot	2	3	Environ. condition	Feeding frequency	interaction	hours
Behavioural index								
CLI	0.518	0.466	0.504	0.481	**	*	*	**
CSI	0.221	0.271	0.250	0.241	**	ns	ns	**
SUI	0.695	0.628	0.663	0.660	**	ns	*	**
SPI	0.107	0.142	0.125	0.124	**	ns	ns	**
CFI	0.185	0.176	0.173	0.188	*	*	ns	**
AMS	0.075	0.087	0.073	0.090	*	**	*	**
DMI(kg/day)	20.66	18.34	18.89	20.11	**	ns	ns	
Milk yield (kg/day)	32.81	27.25	29.37	30.69	**	**	*	
THI	63.37	72.31	66.79	68.90	**	*	**	

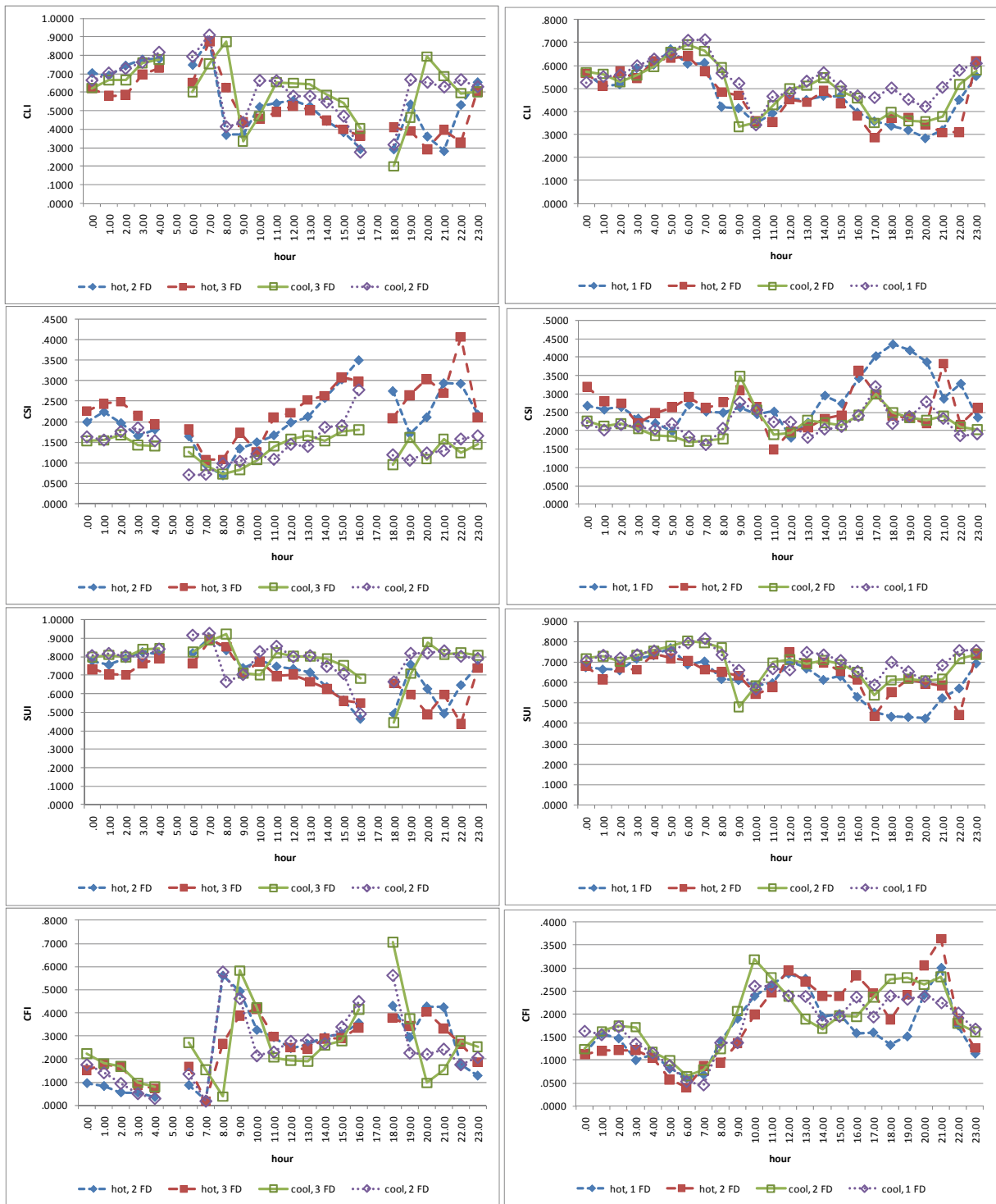


Figure 1. Hourly means of the behavioural indices for the two farms in the four test conditions: two environmental conditions (hot and cool) and two feed delivery frequencies (2 and 3 times a day for the conventional farm; 1 to 2 times a day for the AMS farm).

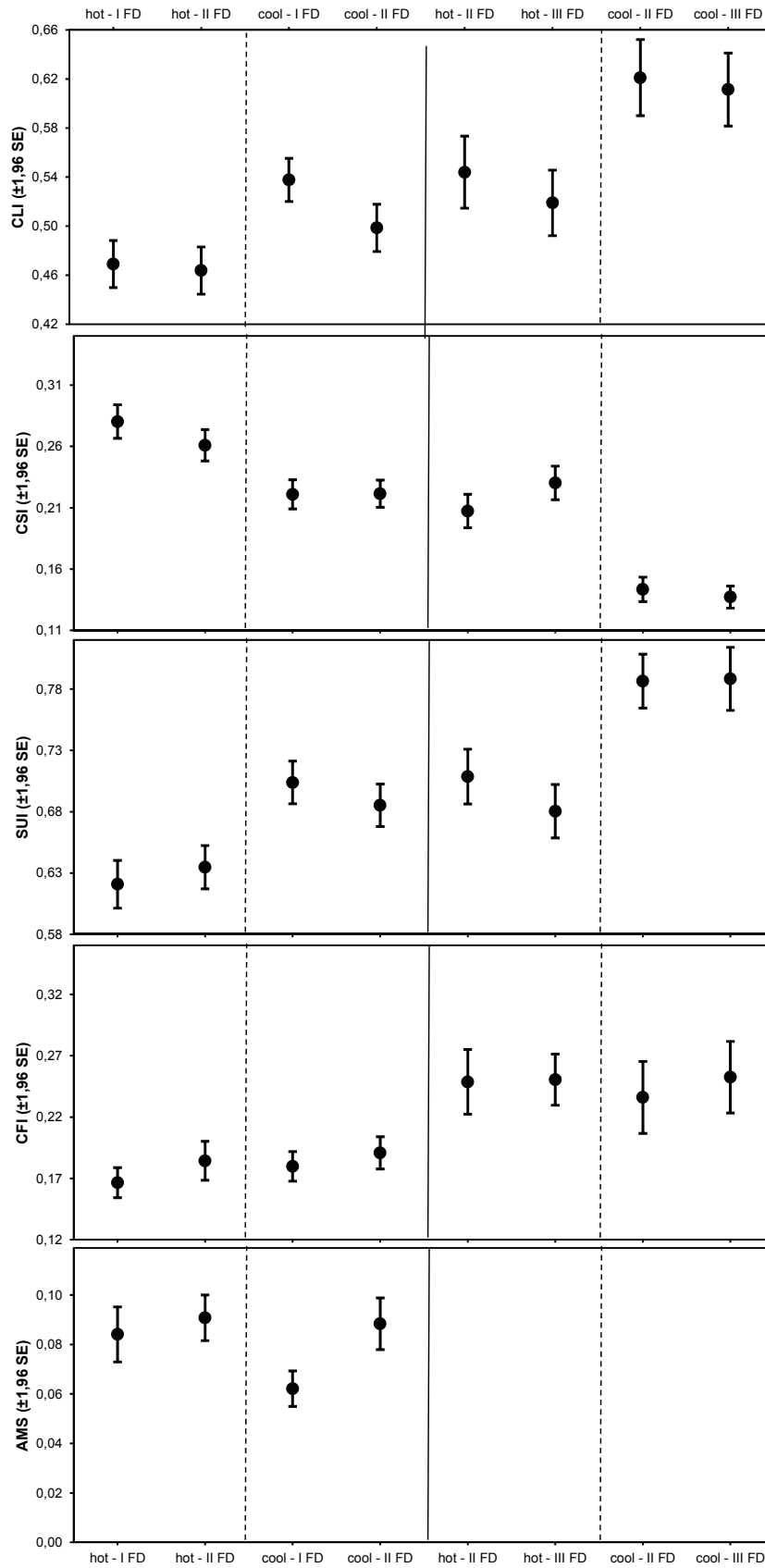


Figure 2. Mean values of the indices for the two frequencies of feed delivery (1× vs 2× e 2× vs 3×) and for the two periods (hot and cool) for the two herds. Vertical bars show variability expressed as 1.96 times the standard error of the mean.

The significant effect of environmental conditions, especially heat stress, on cow behavioural activity, results clearly also by the comparison of the daily time budget of the two test conditions for the two farms (Figure 3). It can be highlighted that in both farm during the hot period the time cows spend standing rise of 1.2 and 1.6 hours per day respectively for the AMS and the conventional farm. This time is subtracted to lying while feeding time remain almost the same.

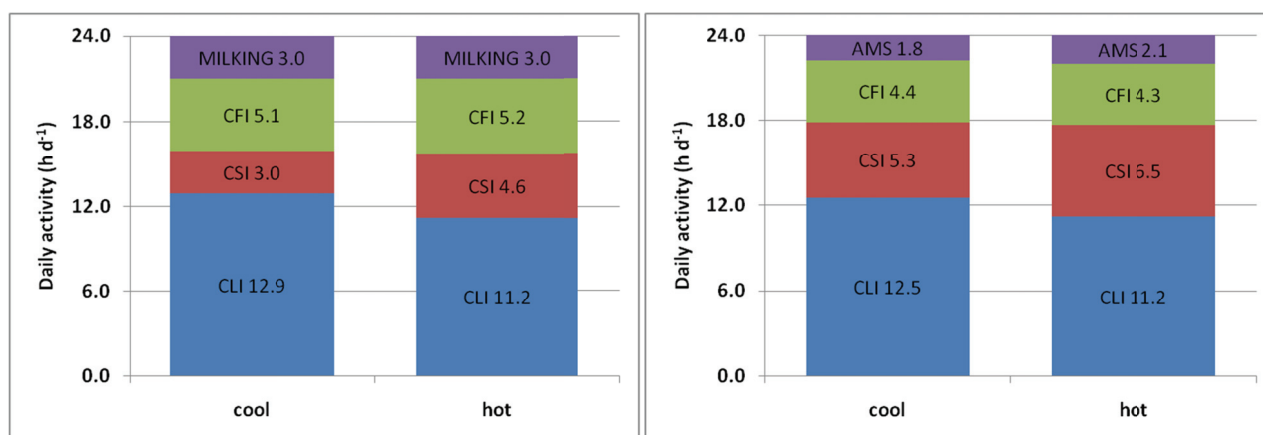


Figure 3. Comparison of the Daily Time Budget of the two monitored periods (hot and cool) for the two farms considered (AMS: time in the automatic milking system area, CFI: time at the manger, CSI: time spent standing, CLI: lying time, MC: milking time in the conventional farm).

Conclusions

The variation in the frequency of feed delivery seems to affect the cow behavioural activity only in a limited way and modify only slightly the daily averages of the time spent in different activities. The results obtained confirm that increasing number of deliveries can increase the feed intake and the milk production without affecting the cow lying time. Further investigations are however required to evaluate other aspects like the number of bouts and the duration of each lying period. Of course, in farms where the feeding operations are not automatized, the farmer should evaluate carefully if the higher cost of an extra feeding delivery is compensated by the increase in milk production.

The most significant effect on cow behavioural activity is related to THI also when daily values are in the range where heat stress should not occur.

References

- Albright, J. L., 1993. Feeding Behavior of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 76, 485-498
- Albright, J. L., Arave, C. W., 1997. The behaviour of cattle. *The behaviour of cattle*. VIII, 306 pp. (Book)
- Cook, N. B., Bennett, T. B., Nordlund, K. V., 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *Journal of Dairy Science*. 88, 3876-3885.

- Cooper, M. D., Arney, D. R., Phillips, C. J. C., 2008. The effect of temporary deprivation of lying and feeding on the behaviour and production of lactating dairy cows. *Animal*. 2, 275–283.
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M.A.G., 2006. Feed stalls affect the social and feeding behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 89, 3522-3531
- DeVries T.J., von Keyserlingk M.A.G., 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 88, 625-631
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 88, 3553-3562
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Beauchemin, K.A., 2003. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *Journal of Dairy Science*. 86, 3354-3361.
- Frazzi, E., Calamari, L., Calegari, F., Stefanini, L., 2000. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. *Transactions of the ASAE*. 43, 387-394.
- Gibson, J. P., 1984. The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: An analysis of published results. *Anim. Prod.* 38, 181–189.
- Grant, R. J., Albright, J. L., 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 84, E156-163
- Grant, R.J., Albright, J.L., 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 73, 2791–2803.
- Grant, R.J., Albright, J.L., 2000. Feeding behaviour. *Farm animal metabolism and nutrition*, Pp. 365-382.
- Kudrna, V., Lang, P., Mlazovska, P., 2001. Frequency of feeding with TMR in dairy cows in summer season. *Czech J. Anim. Sci.* 46, 313–319.
- Harms, J., Wendl, G., 2005. Feeding behaviour in automatic milking systems, influence of the social rank of dairy cows. *Landtechnik*. 60, 286-287
- Hermans, G. G. N., A. H. Ipema, J. Stefanowska, and J. H. M. Metz. 2003. The effect of two traffic situations on the behavior and performance of cows in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 86, 1997–2004.
- Le Liboux, S., Peyraud, J.L., 1999. Effect of forage particle size and feeding frequency on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. *Animal Feed Science Technology*. 76, 297–319.
- Mantysaari, P., Khalili, H., Sariola, J., 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 89, 4312-4320.
- Mattachini, G., Riva, E., Provolo, G., 2011. The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 129, 18-27.
- Melin, M., Wiktorsson, H., Norell, L., 2005. Analysis of feeding and drinking patterns of dairy cows in two cow traffic situations in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. 88, 71-85.
- Mitlohner, F.M., Morrow-Tesch, J.L., Wilson, S.C., Dailey, J.W., McGlone, J.J., 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 79, 1189-1193.
- Nielsen, B.L., 1999. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. *Applied Animal Behaviour Science*. 63, 79-91
- Overton, M.W., Sicho, W.M. Temple, G.D. Moore, D.A., 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science*. 85, 2407-2413.
- Phillips, C.J.C., Rind, M.I., 2001. The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 84, 1979–1987.
- Prescott, N.B., Mottram, T.T., Webster, A.J.F., 1998. Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 57, 23-33.

- Shabi, Z., Bruckental, I., Zamwell, S., Tagari, H., Arieli, A., 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 82, 1252–1260.
- Shabi, Z., Murphy, M.R., Moallem U., 2005. Within-day feeding behavior of lactating dairy cows measured using a real-time control system. *J. Dairy Sci.* 88, 1848-1854.
- Vasilatos, R., Wangsness, P.J., 1980. Feeding patterns and performance of cows in controlled cow traffic in automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. 63, 412-416
- Wagner-Storch, A.M., Palmer, R.W., 2003. Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system. *Journal of Dairy Science*. 86, 1494-1502
- Wagner-Storch, A.M., Palmer, R.W., Kammel, D.W., 2003. Factors affecting stall use for different freestall bases. *Journal of Dairy Science*. 86, 2253-2266.

Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems

Luciana Bava¹, Alberto Tamburini¹, Chiara Penati¹, Elisabetta Riva², Gabriele Mattachini², Giorgio Provolo², Anna Sandrucci¹

¹Dipartimento di Scienze Animali, Università degli Studi di Milano, Italy

²Dipartimento di Ingegneria agraria, Università degli Studi di Milano, Italy

Abstract

The aim was to investigate the effects of temperature-humidity conditions and feeding frequency on milk production, dry matter intake (DMI) and cow behaviour in two dairy farms with conventional and automatic milking systems (AMS). In the first farm 96 primiparous cows milked in a herringbone parlour were involved; in the second farm 50 cows, milked in two AMS with a forced traffic, were monitored. In each farm treatments consisted in two different frequencies of total mixed ration (TMR) delivery replicated in two periods of the year with temperature-humidity index (THI) respectively of 72.6 and 60.7. Behavioural activities of cows were monitored by continuous video recording. Hot conditions showed a depressive effect on DMI (around 8% in both farms) but caused a reduction of milk yield (17%) only in the farm with multiparous high producing cows milked automatically. This is consistent with the decrease in milking frequency at AMS during the same period (5.3%). In the hot period cows of both farms showed a reduction in lying behaviour and an increase in standing time. Feeding frequency did not influence cow activities in any of the two farms. Increasing frequency of TMR deliveries did not induce any variation of DMI but significantly improved milk yield in both farms. In particular the increase in feeding frequency at the bunk in the AMS farm mitigated the negative effect of hot conditions on production with 7.6% increment of milk yield.

Keywords: Dairy cow, Feeding frequency, Environmental conditions, Behaviour, Automatic milking systems

Introduction

Hot and humid environmental conditions tend to reduce dry matter intake (DMI) and milk yield in lactating dairy cows (West, 2003; West *et al.*, 2003). According to Kadzere *et al.* (2002), high-producing dairy cows may enter heat stress much earlier than their lower-producing counterparts, due to high metabolic heat increment. Armstrong (1994) identified temperature and relative humidity among the most important variables to quantify heat stress and used the temperature-humidity index (THI) to combine them. He reported an adverse effect on cows when the value of THI rises over 72. Heat stress in lactating cows reduces DMI and alters rumen digestion with lower blood flow rate in the digestive tract, reduced rumen pH and lower saliva secretion as a consequence of depressed chewing activity (Abeni, 2009). Hot weather conditions also modify cow behaviour; in particular during heat stress cows exhibit decreased activity, seeking shade and wind and increased respiratory rate (West, 2003). A close negative relation was found between THI and the duration of lying behaviour during the day (Zähner *et al.*, 2004), with consequent increase in claw horn lesions, frequently reported in late summer (Cook *et al.*, 2007).

To prevent the negative effects of heat stress some authors recommend, among other solutions, to increase the number of feed deliveries during the hot season in order to assure the availability of fresh Total Mixed Ration (TMR) and motivate cows to eat (Gottardo *et al.*, 2005). Shabi *et al.* (1999) reported that increase in feeding frequency, from two to four meals a day, reduced the diurnal variation in ruminal pH and enhanced DMI and total tract digestibility of organic matter and crude protein. As a consequence milk fat, protein and lactose contents were raised but milk yield did not vary. An experiment conducted with ruminally fistulated heifers showed more stable ruminal conditions during daytime feeding heifers twice daily instead of once (Robles *et al.*, 2007). In lactating cows fed once or four times a day (Nocek and Braund, 1985), feeding frequency had no significant influence on DMI or milk yield; however, cows fed four times a day exhibited a consistent weekly tendency to be lower in DMI and higher in milk yield than those fed once daily. According to Gottardo *et al.* (2005) cows receiving the diet in two daily distributions during the summer season increased DMI (+9.0%) and milk yield (+15.0%) in comparison with animals fed once a day.

Daily number of feed deliveries can affect cow behaviour: in particular DeVries *et al.* (2005) showed that the increased frequency of feeding delivery enhanced feeding time without changes in total daily lying. On the contrary Phillips and Rind (2001) reported that feeding frequency can interfere with the possibility of the animal to rest; frequently fed (4 times/d) cows had less circadian variation in sleeping and lying ruminating, with milk yield reduction compared with cows fed once a day. Robles *et al.* (2007) did not observe any effect of feeding frequency on feeding behaviour of fistulated heifers.

In farms equipped with forced traffic Automatic Milking System (AMS), frequency of TMR deliveries may modify milking frequencies attracting cows to the feeding area via the milking unit. This subject is particularly intriguing considering the general interest in enhancing the number of visits to the milking robot to increase milk yield. According to Melin *et al.* (2005) the motivation to eat is a better incentive in attracting the cows to the milking unit than the motivation to be milked. Few studies investigated the relation between number of TMR deliveries at bunk and behaviour of cows milked in a forced traffic AMS. Oostra *et al.* (2005) reported that the daily number of visits to the AMS was not affected by the change in feeding frequency at the bunk. In forced traffic AMS milking frequency and access to feed bunk can be affected by environmental conditions. Speroni *et al.* (2006) observed that milking frequency decreased during the hot season especially in primiparous cows; this resulted in a reduced number of visits to the feeding area and probably in the number of meals.

The objective was to evaluate the effects of temperature-humidity conditions and feeding frequency on milk production, DMI and cow behaviour in two farms equipped with conventional and automatic milking systems.

Materials and methods

Housing system and animals

The study was carried out in two dairy farms located in Lombardy (Italy) where animals were kept in loose housing conditions with cubicles. In the conventional farm cows were milked in a herringbone milking parlour twice daily at 5:00 a.m. and 5:00 p.m. The barn is oriented NW-SE; the monitored group of 96 primiparous cows was housed in the NE side of the barn equipped with 100 cubicles (2 rows) with mattresses covered with chopped straw. The manger, positioned centrally in the barn, had 90 feeding spaces and there were 8 fans for summer ventilation.

In the AMS farm cows were milked in two milking robots (VMS, DeLaval, Tumba, Sweden). A forced traffic was applied so that the animals were forced to pass through the AMS before they could reach the feed troughs. Cows had access to both AMS 24 h/d (except for a total of 1 h/d dedicated to the cleaning of the system). Cows were granted milking permission after 6 h from the

previous milking, unless a milking failure occurred; in this case cows would be allowed permission to be milked again immediately. Cows with more than 12 h since last milking were fetched and forced to visit AMS. The barn is oriented NE-SW and the studied group of around 50 cows, was housed in the NE side equipped with 61 cubicles (4 rows) with mattresses covered with sawdust. The manger, located in the SE side of the barn, had 39 feeding spaces and there were 2 fans for summer ventilation.

Environmental monitoring

Two data loggers, for each farm, were used for the measurements of the air temperature and relative humidity (HOBO U12 Temp/RH/Light/External Data Logger, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA); they were placed in the barn at 2 m above the floor and the time interval of recording was set at 15 min. The temperature humidity index (THI) was calculated by the following equation: $THI = Tdb + 0.36 \times Tdp + 41.2$, where Tdb is the dry bulb temperature in °C, and Tdp is the dew point temperature in °C (Yousef, 1985).

Feeding frequency and cow rations

Feeding treatments consisted for each farm in two different frequencies of TMR distributions replicated in two different periods of the year. Each experimental period lasted 15 days: 7 days for adaptation and 8 days for measurements. In the conventional farm the study was conducted in the hot (June) and cool (October) periods and the feeding frequencies tested were two (7:00 a.m. and 5:00 p.m.) or three (8:00 a.m., 11:00 a.m. and 5.00 p.m.) times a day; in the AMS farm the experiment was carried out in the cool (April) and in the hot (July) periods and the feeding frequencies tested were once (9:00 a.m.) or twice (9:00 a.m. and 6:00 p.m.) daily. Average ingredients of the rations and chemical composition of TMR offered to monitored cows in the two farms are described in Table 1. In the AMS farm cows received a TMR at the feed bunk and different amounts of concentrate feed at the AMS during milking, depending on milk yield.

Table 1. Ingredients and average chemical composition of monitored cows rations in the two farms

	Conventional	Automatic milking
Composition, as fed, %		
Maize, silage	59.4	51.7
Maize, grain	15.3	10.4
Lucerne, hay	9.4	3.9
Straw	0.6	
Grass, hay		2.8
Beet pulp, dried		2.3
Concentrate feed in TMR	15.2°	12.9 ^{oo}
Concentrate feed at AMS		16.0 ^{ooo}
Chemical composition of TMR		
DM, % of DM	56.6	55.8
OM, % of DM	92.4	92.7
CP, % of DM	14.7	13.8
EE, % of DM	3.1	2.8
NDF, % of DM	37	34.8
ADF, % of DM	22	21.7
ADL, % of DM	4.2	4.4
Starch, % of DM	22.5	24.2

°Concentrate (on DM): CP 31%, EE 5.2%, CF 10%, Ash 21%; °°Concentrate (on DM): CP 30%, EE 3.5%, CF 9.5%, Ash 11%; °°°Concentrate AMS (on DM): CP 17%, EE 6%, CF 11.5%, Ash 8.5%

Dry matter intake of the whole group of monitored cows in each farm was recorded every day during the second week of each trial by weighing TMR and orts. In the same week daily samples of

TMR and Orts were taken for chemical analysis (NIR System 5000, FOSS). Individual milk production was automatically recorded at each milking in both farms.

Behavioural recordings

Behavioural activities of the cows were monitored by continuous video recording. The video surveillance system consisted of four IR day/night weatherproof varifocal cameras with 42 infrared led for night vision (420SS-EC5, Vigital Technology Ltd., Sheung Wan, Hong Kong). The four cameras were placed about 5 m above the pen floor. The analysis of the video recording data consisted in the evaluation of the number of cows engaged in different behavioural activities (i.e., feeding, lying, and standing). Standing was considered to be an upright posture (i.e., motionless or walking), while the lying category included only cows that were observed in total lateral or sternal recumbency within the confines of a stall (Overton *et al.*, 2002). Eating was defined as actively ingesting feed or water, or standing within 0.6 m of the feed bunk and oriented towards the feed (Overton *et al.*, 2002). Behavioural activities were analyzed at scan intervals of 60 min (Mattachini *et al.*, 2011) and the following cow behavioural indices were calculated: cow lying index (CLI), cow standing index (CSI) and cow feeding index (CFI). Indices were obtained counting the cows engaged in each activity divided by the total number of cows in the barn. The entire behavioural observation period covered the days of trial (8 d) for each feeding treatment in each period for a total of 32 d for each farm.

Statistical analysis

Data collected during the experiments were analyzed by ANOVA using a generalized linear model (proc GLM; SAS 2001) for testing the effects of period of the year and feeding frequency in both farms. We evaluated days in milk as a covariate but its effect was never statistically significant.

Principal Component Analysis (PCA, proc PRINCOMP, SAS 2001) was used in order to study the relationships among several quantitative variables (milk yield, total DMI, dairy efficiency, milking frequency, THI, CSI, CLI, CFI).

Results and discussion

Table 2 shows the main characteristics of the groups of cows monitored in the two farms. Average lactation number was different between the two farms: in the conventional farm the monitored group was only constituted by primiparous cows whereas in the AMS group there were also multiparous cows. Milking frequency of monitored cows in AMS farm was on average 2.48 per day, similar to the results reported by other authors for AMS (Bach *et al.*, 2009; Wagner-Storch and Palmer, 2003).

Table 2. Characteristics of the cows monitored in the two dairy farms (mean \pm SD)

	Conventional	Automatic milking
Cows monitored, n	96 \pm 0	47.7 \pm 1.2
Lactation number	1	1.83 \pm 0.03
Days in milk, n	214 \pm 9.37	193 \pm 17.8
Milking frequency, n/d	2	2.48 \pm 0.65
Milk yield, kg/d	27.1 \pm 0.66	30.0 \pm 3.05
DMI ¹ , kg /d	22.1 \pm 1.28	19.9 \pm 1.81
Dairy efficiency ²	1.23 \pm 0.07	1.53 \pm 0.15

¹ including concentrate feed at the robot in the AMS farm; ² calculated as milk yield (kg/d)/DMI (kg/d).

In both farms lactating cow rations were based on maize silage and maize grain (Table 1); in the AMS farm the average percentage of concentrate feed ingested was higher than in the conventional farm because of the amount of concentrate distributed at AMS during milking in addition to that included in TMR (on average 3.22 ± 0.32 kg of DM for the group of monitored cows).

Period of the year

Average THI registered in the two farms was significantly higher during the hot period in comparison with the cool one (on average 72.6 ± 2.02 vs 60.7 ± 3.8 ; $P < 0.001$). During the hot period it was on average slightly above 72, the threshold identified for the onset of heat stress (Armstrong, 1994); the total number of days characterized by $\text{THI} > 72$ during the trials conducted in the hot period was 12/16 for the conventional farm and 9/16 for the AMS farm.

In the conventional farm DMI was lower by 8.1% in the hot period in comparison with the cool one ($P < 0.001$) in agreement with findings reported by other authors (Kadzere *et al.*, 2002; West *et al.*, 2003). Milk yield was not affected by environmental conditions in the conventional farm (Table 3); as a consequence dairy efficiency, i.e. milk (kg/d)/DMI (kg/d), was slightly higher in the hot period than in the cool one.

Table 3. Effect of period and feeding frequency on milk yield, DMI and behavioural indices, in the conventional farm (Least squares means, $n = 32$)

Period	Cool period		Hot period		SEM	P	Feeding	
	2	3	2	3			freq.	S *F
Daily feeding frequency	2	3	2	3	SEM	Period	freq.	S *F
THI	58.4	57.8	71.9	74.3	0.647	< 0.001	0.163	0.019
DMI, kg/d	23.3	22.5	20.3	21.8	0.352	< 0.001	0.271	0.004
Milk yield, kg/d	26.9	27.1	26.8	27.7	0.226	0.250	0.012	0.191
Dairy efficiency	1.14	1.21	1.31	1.28	0.018	< 0.001	0.372	0.016
Behavioural indices								
CLI	0.62	0.61	0.54	0.52	0.015	< 0.001	0.394	0.751
CSI	0.14	0.14	0.21	0.23	0.074	< 0.001	0.374	0.051
CFI	0.24	0.25	0.25	0.25	0.011	0.382	0.560	0.334

SEM, Standard error of the mean; Dairy efficiency calculated as milk yield (kg/d)/DMI (kg/d); CLI, cow lying index; CSI, cow standing index; CFI, cow feeding index

In the AMS farm both DMI and milk yield were significantly affected by the period (Table 4), with lower values in the hot period compared with the cool one. In the hot period DMI was lower by 8.3%, while milk yield declined by 17.0%. As a consequence dairy efficiency was lower in the hot period than in the cool one. Speroni *et al.* (2006) found a 10% reduction of milk production in the hot season compared to the cool one for the group of multiparous cows milked automatically.

The different response to hot conditions in terms of milk production in the two farms could be partly explained by the different production level and the different number of parity in the two farms. In fact, as reported by Kadzere *et al.* (2002), high-producing dairy cows may enter heat stress much earlier than their lower-producing counterparts due to high metabolic heat increment. Moreover the effects of hot conditions seem to be greater in multiparous cows than in primiparous ones: Holter *et al.* (1997) reported a DMI reduction of 22% for multiparous cows and 6% for primiparous cows during heat stress. In the AMS farm milking frequency was significantly lower in the hot period than in the cool one (2.37 vs. 2.50; $P < 0.01$) and this could contribute to explain the decrease in milk production. Similarly Speroni *et al.* (2006), comparing conventional and AMS milking, reported that milk yield reduction during the hot season was higher for cows milked with AMS than in the milking parlour and that milking frequency in AMS was significantly reduced during spring–summer in comparison with autumn–winter.

Among the behavioural activities, environmental conditions affected lying and standing indices (CLI and CSI) but not feeding index (CFI) in both farms. In particular CLI was significantly lower during the hot period in comparison with the cool one in both farms. These results are in agreement with Zähler *et al.* (2004) who observed a decrease in the duration of lying behaviour as THI increased. As expected CSI was higher during the hot period in comparison with the cool one in both farms; similarly Cook *et al.* (2007) observed higher time spent standing in the alley and in the stall during the hot season. This is due to the fact that lactating cows have great difficulty to dissipate heat in hot, humid conditions (West, 2003); for this reason they try to cool off spending time standing. The reduction of lying time exposes the animals to the risk of claw horn lesion development as showed by Cook *et al.* (2007), who reported an increment of lameness in late summer associated to an increase in total standing time per day. Despite the significant reduction of DMI during the hot period in both farms, feed bunk attendance (CFI) was not affected.

Table 4. Effect of period and feeding frequency on milk yield, DMI and behavioural indices, in the AMS farm (Least squares means, n = 32)

Period	Cool period		Hot period		SEM	Period	P	
	1	2	1	2			Feeding freq.	S *F
Daily feeding frequency	1	2	1	2	SEM	Period	Feeding freq.	S *F
THI	60.3	66.4	73.3	71.4	0.575	< 0.001	0.001	< 0.001
DMI, kg/d	20.5	20.8	18.5	19.4	0.675	0.009	0.322	0.615
Milk yield, kg/d	32.5	33.1	26.3	28.2	0.316	< 0.001	< 0.001	0.043
Dairy efficiency	1.59	1.61	1.42	1.46	0.055	0.004	0.515	0.830
Milking frequency, n/d	2.53	2.48	2.39	2.35	0.040	0.002	0.265	0.910
Behavioural indices								
CLI	0.54	0.50	0.45	0.46	0.018	0.002	0.432	0.171
CSI	0.22	0.22	0.28	0.26	0.011	< 0.001	0.303	0.275
CFI	0.18	0.19	0.17	0.18	0.005	0.241	0.052	0.998

SEM, Standard error of the mean; DMI calculated as TMR intake plus concentrate feed at AMS; Dairy efficiency calculated as milk yield (kg/d)/DMI (kg/d); CLI, cow lying index; CSI, cow standing index; CFI, cow feeding index

Frequency of feed deliveries

Variation of frequency of TMR deliveries did not have any significant effect on DMI in both farms (tables 3 and 4) in agreement with the results reported by other authors (DeVries *et al.*, 2005; Nocek and Braund, 1985; Robles *et al.*, 2007). On the contrary feeding frequency significantly affected milk yield in both farms with higher production as number of daily feed deliveries increased (+2.1% and +4.5% in the conventional and in the AMS farm, respectively). Similarly, Nocek and Braund (1985) reported a tendency towards higher milk yield, but lower DMI, in lactating cows fed four times a day instead of once.

The positive effect of higher feeding frequencies on milk yield in both farms could be related to more stable ruminal conditions and higher total tract digestibility as suggested by other authors (Shabi *et al.*, 1999; Robles *et al.*, 2007). However, Shabi *et al.* (1999) observed a positive effect of increasing feed delivery frequency on milk composition but not on milk yield. It is important to underline that in the AMS farm there was a significant interaction between feeding frequency and period of the year: the increased feeding frequency, from once to twice a day, mitigated the negative effect of hot conditions on milk production with an increment of about 2 kg/d (7,6%) of milk production during the hot period. Gottardo *et al.* (2005) in a study on 30 conventional dairy farms observed that cows receiving the diet in two daily distributions during the summer season increased both DMI (+9.0%) and milk yield (+15.0%) in comparison with animals fed once a day.

Frequency of feed distributions did not show any effect on milking frequency in the AMS farm although this could be expected with a forced traffic: increasing TMR deliveries could attract cows at the feed bunk through the milking robot. Our results are in agreement with Oostra *et al.* (2005) who found that the daily number of visits to the AMS was not affected by the change in feeding frequency at the bunk for cows milked in a forced traffic AMS.

Behavioural indices did not show any influence of feeding treatments in either farm. The result obtained for CLI is partially in agreement with findings of DeVries *et al.* (2005) who observed that, as frequency of feed delivery increased, cows spent more time feeding without changing total daily lying time. But in our experiments increase in daily feed deliveries did not modify the number of cows at the feed bunk during the day (CFI). The stability of CFI is consistent with the result of DMI that did not show any effect of feed deliveries.

Two principal component analyses evaluated the relationships among average farm values (Figure 1 and 2). For both farms the following variables were significant: DMI, milk yield, dairy efficiency, milking frequency, THI, CLI, CSI and CFI. In the conventional farm the first dimension described 64.1% of the total variation (Figure 1) and the second dimension described 18.4%.

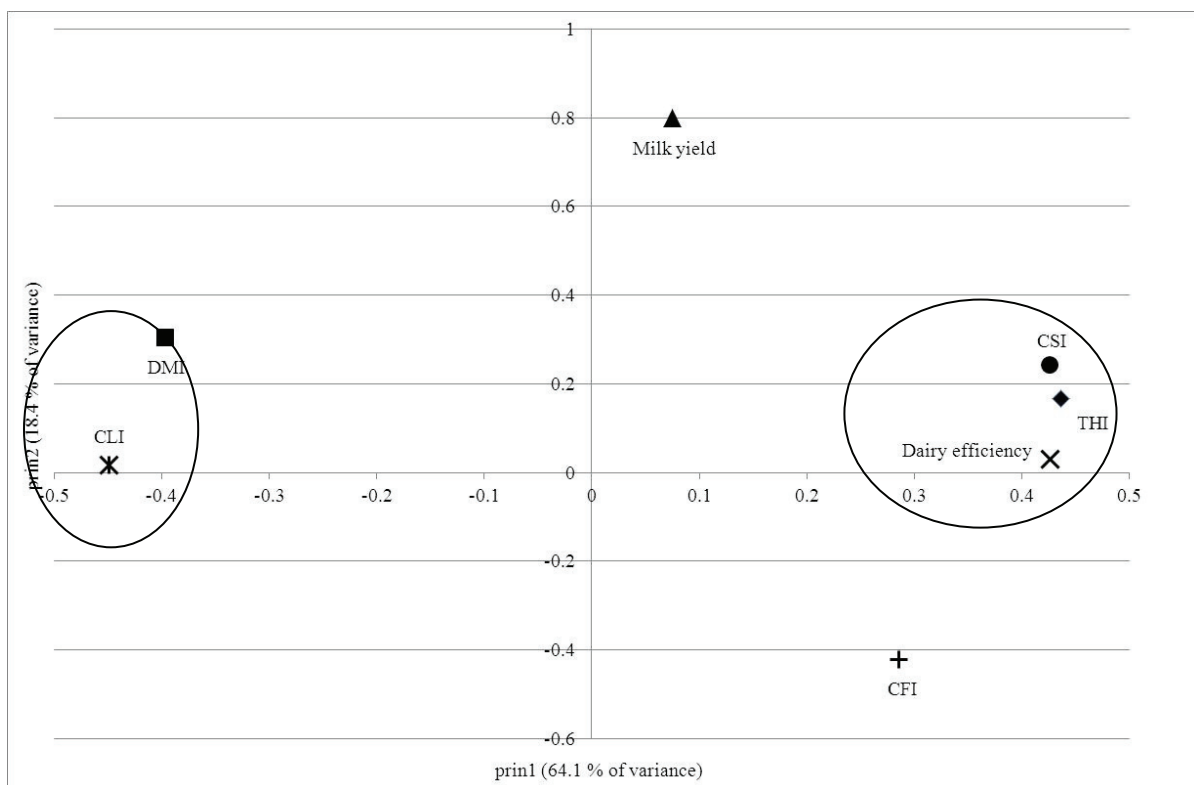


Figure 1. Principal component analysis for variables in the conventional farm (Dairy efficiency calculated as milk yield (kg/d)/DMI (kg/d); CLI, cow lying index; CSI, cow standing index; CFI, cow feeding index)

The analysis confirms the negative effects of increasing THI on ingestion and lying behaviour and stresses the positive relationship between THI and standing time. In fact DMI and CLI were clustered in the same space and had a positive correlation; in contrast, they had a negative correlation with CSI, THI and dairy efficiency. In the automatic milking farm the first dimension described 50.1% of the total variation (Figure 2) and the second dimension described 18.5%. Also in this case THI shows a positive relation with standing behaviour and a negative relation with lying time. Moreover the analysis highlights the strong relationship among milking frequency, milk yield and lying behaviour.

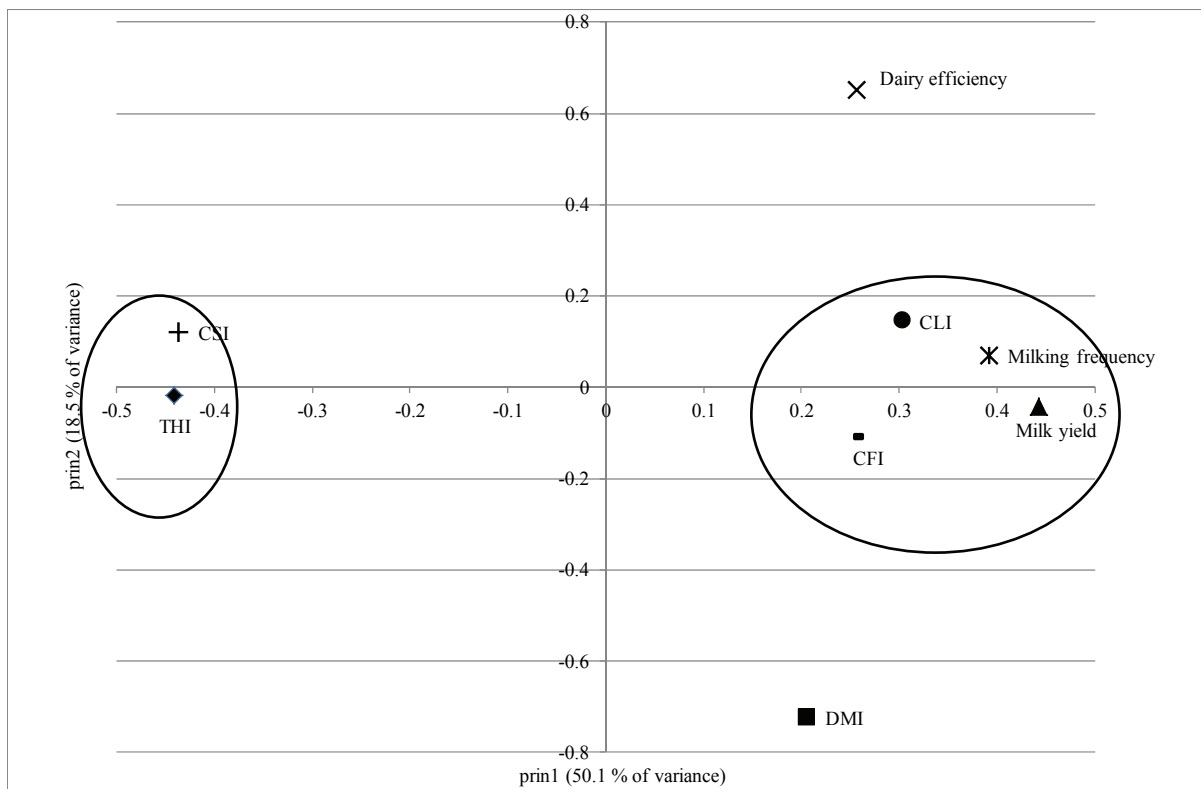


Figure 2. Principal component analysis for variables in the AMS farm (DMI calculated as TMR intake plus concentrate feed at AMS; Dairy efficiency calculated as milk yield (kg/d)/DMI (kg/d); CLI, cow lying index; CSI, cow standing index; CFI, cow feeding index)

Conclusions

In hot, humid conditions cows of both farms showed a reduction of lying behaviour and an increase in time spent standing. Time at the feed bunk did not vary with the environmental conditions. Hot conditions showed a depressive effect on DMI of lactating cows in both farms but caused a reduction of milk yield only in the farm with multiparous high producing cows milked automatically. This is consistent with the decrease in milking frequency at the robot during the hot period. These results could suggest that cows milked in AMS are more exposed to heat stress than cows milked conventionally especially if they are high producing cows. Increasing of daily TMR deliveries did not induce any variation of cow activities and DMI but improved milk yield in both farms. In particular increasing feeding frequency at the bunk can represent an helpful mitigation strategy to reduce the negative effects of moderate heat stress on milk production, especially in AMS farms.

Acknowledgments

This research was financially supported by the Italian Ministry of University and Research within PRIN 2007 project on “Innovative technical solutions for improving the production efficiency and the animal welfare in dairy cow housing”

References

- Armstrong D.V., 1994. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *J. Dairy Sci.* 77:2044-2050.
- Abeni, F., 2009. Main causes of poor welfare in intensively reared dairy cows. *Ital. J. Anim. Sci.* 8 (Suppl. 1): 45-66.
- Bach, A., Devan, M., Iglesias, C., Ferrer, A., 2009. Forced traffic in automatic milking systems effectively reduces the need to get cows, but alters eating behaviour and does not improve milk yield of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 92:1272-1280.
- Cook, N.B., Mentink, R.L., Bennet, T.B., Burgi, K. 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 90:1674-1682.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A., 2005. Frequency of feed delivery affects behaviour of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3553-3562.
- Gottardo, F., Dorigo, M., Paparella, P., Ossensi, C., Cozzi, G., 2005. Effectiveness of different strategies to prevent from heat stress in a group of dairy farms located in the Province of Padova. *Ital. J. Anim. Sci.* 4 (Suppl.3) 132-135.
- Holter, J.B., West, J.W., McGilliard, M.L., 1997. Predicting *ad libitum* dry matter intake and yield of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80:2188-2199.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Prod. Sci.* 77:59–91.
- Mattachini, G., Riva, E., Provolo, G., 2011. The lying and standing indices of dairy cows in free-stall housing. *Appl. Animal Behaviour Sci.* 129:18-27.
- Melin, M., Svennersten-Sjaunja, K., Wiktorsson, H., 2005. Feeding patterns and performance of cows in controlled cow traffic in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 88:3913-3922.
- Nocek, J.E., Braund, D.G., 1985. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate and milk yield in first lactation. *J Dairy Sci.* 68:2238-2247.
- Oostra, H. H., Stefanowska, J., Sallvik, K., 2005. The effects of feeding frequency on waiting time, milking frequency, cubicle and feeding fence utilization for cows in an automatic milking system. *Acta Agriculturae Scand. Section A*, 55: 158-165.
- Overton, M.W., Sisco, W.M., Temple, G.D., Moore, D.A., 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behaviour in a free-stall barn. *J Dairy Sci.* 85:2407-2413.
- Phillips, C.J.C., Rind, M.I., 2001. The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behaviour of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:1979-1987.
- Robles, V., Gonzalez, L. A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behaviour in heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 85:2538-2547.
- Shabi, Z., Bruckental I., Zamwell S., Tagari H., Arieli A., 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility and milk yield and composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1252-1260.
- Speroni, M., Pirlo, G., Lolli, S., 2006. Effect of automatic milking systems on milk yield in a hot environment. *J. Dairy Sci.* 89:4687-4693.

- Wagner-Storch, A.M., Palmer, R.W., 2003. Feeding behaviour, milking behaviour, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 86:1494-1502.
- West, J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
- West, J.W., Mullinix, B.G., Bernard, J.K., 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*86: 232-242.
- Yousef, M.K., 1985. *Stress physiology in livestock*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zähner, M., Schrader, L., Hauser, R., Keck, M., Langhans, W., Wechsler, B., 2004. The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables. *Anim. Sci.* 78: 139-147.

Effects of feeding frequency on the behavior patterns of dairy cows in an automatic feeding and milking system

G. Mattachini,* J. C. A. M. Pompe,† E. Riva,* and G. Provolo*

*Department of Agricultural Engineering, Università degli Studi di Milano, 20133 Milano, Italy

†Farm Technology Group, Wageningen University, 6700 AA Wageningen, the Netherlands

Key words: frequency of feed delivery, behavior, dairy cow, automatic feeding system (AFS)

Abbreviation key: 11× = feed delivery 11 times a day, 9× = feed delivery 9 times a day, 6× = feed delivery 6 times a day.

Introduction

Feeding cows in modern dairy farms is important for both an economic and technologic point of view. The cost and the larger quantity of feeds to be handled for the larger and higher yielding herds, stimulate interest in efficient utilization of feed. Feeding total mixed ration (TMR) has become, in recent years, one of the preferred diets supplying method affecting the popularity of the related mechanization mostly represented by conventionally man-operated mixer-feeder wagons. Nocek and Braund (1985) suggested that feeding a TMR is the optimal way to provide the balance of nutrients that ruminants need. The delivery of feed was further shown to have the greatest impact in terms of stimulating dairy cows to feed (DeVries and von Keyserlingk, 2005). Delivery of the TMR in conventional feeding schedules of lactating dairy cattle for most dairy operations remains at twice per day (2×). However, many producers elect to feed their cows only once per day (1×) to keep the labor cost to a minimum. More recently, automatic feeding systems (AFS) for TMR have been developed, based on either existing technologies or on complete new concepts. These AFS's allowing more frequent feeding with a limited labor requirement (Bisaglia et al., 2010). Many researches had examined the effect of feeding frequency on the performance of dairy cows, mainly on DMI and milk production, with variable results (Shabi et al., 1999 and 2005; Phillips and Rind, 2001; Mäntysaari et al., 2006). DeVries et al. (2005) showed that increasing the frequency of feed delivery allowed the cows to increase their daily feeding time and increase the distribution of feeding time over the course of the day, improving access to fresh feed for all cows and to reduce sorting. Mäntysaari et al. (2006) found that frequent supply of fresh feed decreased the peaks in cow visits to the feeding places that are typical for conventional feeding systems. The feeding frequency strongly influenced the feeding behavior (DeVries and von Keyserlingk, 2005) and can affect lying behavior (Phillips and Rind, 2001; Mäntysaari et al., 2006). Lying is considered to be higher priority than eating and social contact when opportunities to perform these behaviors are restricted (Munksgaard et al., 2005). Recent studies of lying time in cows housed in freestalls have reported average lying times ranging from 11.37 to 13.70 h/24 h (Cook et al., 2005; Drissler et al., 2005). Lying behavior in free-stall barns is affected by design and management factors, including milking and feeding management (DeVries and von Keyserlingk, 2005; Overton et al., 2002). Total lying time (Haley et al., 2000; Fregonesi and Leaver, 2001), number of lying bouts and bout duration (Haley et al., 2000) have been evaluated as appropriate welfare indicators.

Studies have measured lying behavior continuously over a few days, either by using data loggers (Ito et al., 2010; Endres and Barberg, 2007) or through time-lapse video (Haley et al., 2000; Tucker

et al., 2006). Electronic data loggers are widely available and can be used to measure lying behavior accurately, including the total time spent lying down, the number of lying bouts, and the duration of each bout for individual cows (Legderwood et al., 2010; O'Driscoll et al., 2008).

The milk yield of dairy cows is positively related to milking frequency. Automatic milking systems (AMS) allow for increased milking frequency, and thereby, an expected increase in milk yield.

The AMS allow for more flexibility in milking times for individual cows (Wagner-Storch and Palmer, 2003). According to Melin et al. (2005) the motivation to eat is a better incentive in attracting the cows to the milking unit than the motivation to be milked (Prescott et al., 1998; Halachmi et al., 2000). Oostra et al. (2005) reported that the daily number of visits to the AMS was not affected by the feeding frequency; however, an increase of frequency had a positive effect on the utilization of the cowshed facilities. The daily feeding time is also influenced by the cow traffic system (Hermans et al., 2003).

To date, the more study had examined the effect of an increase of feeding frequency in a conventional feeding system. This study would to examine the effect on dairy cow performance and behavior of high feed frequency and the consequence of a decrease of delivery.

The objective of this study was to examine how the frequency of feed delivery in an automatic feeding system affects: a) the behaviors patterns (lying and standing; duration, number of bouts, distribution of activity in the day) of a monitored group dairy cows; b) feed intake and milk yields and c) use of automatic milking system during the day (e.g. interval between milkings, percentage of utilization, visiting pattern).

Materials and methods

Housing, animal and feed

The study was carried out in two commercial dairy farms located in Friesland (Netherland) where animals were milked in voluntary milking system (VMS, DeLaval, Tumba, Sweden) and the feeding was carried out by an AFS (Mix Feeder, Skiold Mullerup; Optimat Standard, DeLaval). In the both farms, barns were E-W oriented and featured a loose-housing layout with a total of 141 and 129 cubicles with rubber mats covered with sawdust, and 61 and 94 feeding places of farm A and B, respectively. The milking area, in both barns, consisted of two VMS units and a close waiting area in front of the unit entrance. Pre-selection gate assuring selectively guided cow traffic and the animals had access to two VMS units 24 h/d, except at times for system cleaning and milk handling. One hundred and seven lactating Holstein dairy cows, 27 primiparous and 80 multiparous (parity = 2.73 ± 1.50 ; mean \pm SD), were included in the study for the farm A. The animals were 138.3 ± 111.5 DIM at the beginning of the data collection period and had an average milk yield of 31.52 ± 10.5 kg/d over the course of the experiment. Ninety-seven lactating Holstein dairy cows, 45 primiparous and 52 multiparous (parity = 2.13 ± 1.38), subdivided in two homogeny groups (B₁ and B₂) were used in the study for the farm B. The animals were 188.4 ± 128.8 DIM at the beginning of the data collection period and had an average milk yield of 28.31 ± 11.17 kg/d over the course of the experiment. The study was conducted between December 4, 2010 and January 26, 2011. The average temperature during this experiment in the farms A and B were 6.5°C and 5.6°C , with a minimum of 1.8°C and 0.9°C , and maximum of 12.4°C and 13.5°C , respectively.

In each farms, all cows were fed the same TMR. Average ingredients of the rations and chemical composition of TMR offered to monitored cows in the two farms are described in Table 1. In farm A, the TMR contained, on a DM basis, 96.2% forage and 3.8% concentrate; in farm B, the TMR contained, on a DM basis, 74.3% forage and 25.7% concentrate. For both farms, concentrates were supplied in the VMS and by 2 automatic concentrate feeders. The amount of concentrate was a function of the milk production, days in milk (DIM), and parity of the cows.

Table 1. Ingredients and average chemical composition of the TMR in each farm (A, B)

Composition	Farm A	Farm B
Ingredient, % of DM		
Grass silage	70.53	50.90
Maize silage	23.33	18.18
Rape straw	2.37	
Soybean meal	3.72	
Grass hay (average)		5.19
Pers pulp 24%		7.79
Sastapro TGC		5.71
Soya/Raap 50/50		11.43
Krijt/Kalksteen		0.41
Mineral	0.05	0.39
Chemical analysis ¹		
DM, %	37.6	37
OM, % of DM	90.2	89.8
CP, % of DM	11.8	12.8
EE, % of DM	3.9	3.2
NDF, % of DM	43.7	40.7
ADF, % of DM	25.6	23
ADL, % of DM	2.2	2.2

¹Values were obtained from chemical analysis of TMR samples.

Experimental Treatments and Design

Experiment consisted for each farm in 2 treatments differing in feeding frequency of TMR distributions replicated in two different periods (December and January). Each farm was subjected to each of 2 treatments in each period, with reversal of the treatments between periods to reduce the carry-over effect of the treatment. Every experimental period consisted of 3 d of adjustment period followed by 4 d of data collection, for each treatment. The experiments were carried out at the same time at two farms.

Farm A. Treatments were 1) delivery of feed 11× (at 0200, 0500, 0700, 0830, 1030, 1230, 1430, 1630, 1830, 2030, and 2230 h) and 2) delivery of feed 6× (at 0200, 0600, 1000, 1400, 1800, and 2200 h). In each treatment, feed was pushed up at 1345, and 1545 h by AFS. The feeding timetable, quantity delivery, and push-up are shown in Figure 1a.

Farm B. Treatments were 1) delivery of feed 9× (at 0300, 0550, 0730, 0900, 1215, 1400, 1520, 1830, and 2130 h) and 2) delivery of feed 6× (at 0550, 0900, 1215, 1520, 1830, and 2140 h). In this farm, feed was not pushed up. The feeding timetable, and quantity delivery are shown in Figure 1b.

In the farm A, first period started with treatment 11× followed by treatment 6×, while in the second period treatments were switched from 6× to 11×. During the time between 2 periods the feeding frequency has remained of 6×, whereas, before study starting the frequency was 11×. In farm B, two groups (B₁, B₂) were used in a cross-over design. Each group was subjected to each of 2 treatments in each experimental period. Initially, each of the 2 treatments was applied to 2 groups of cows then treatments were switched between the groups. Before study starting and between 2 periods the frequency of delivery was always of 9× for both groups.

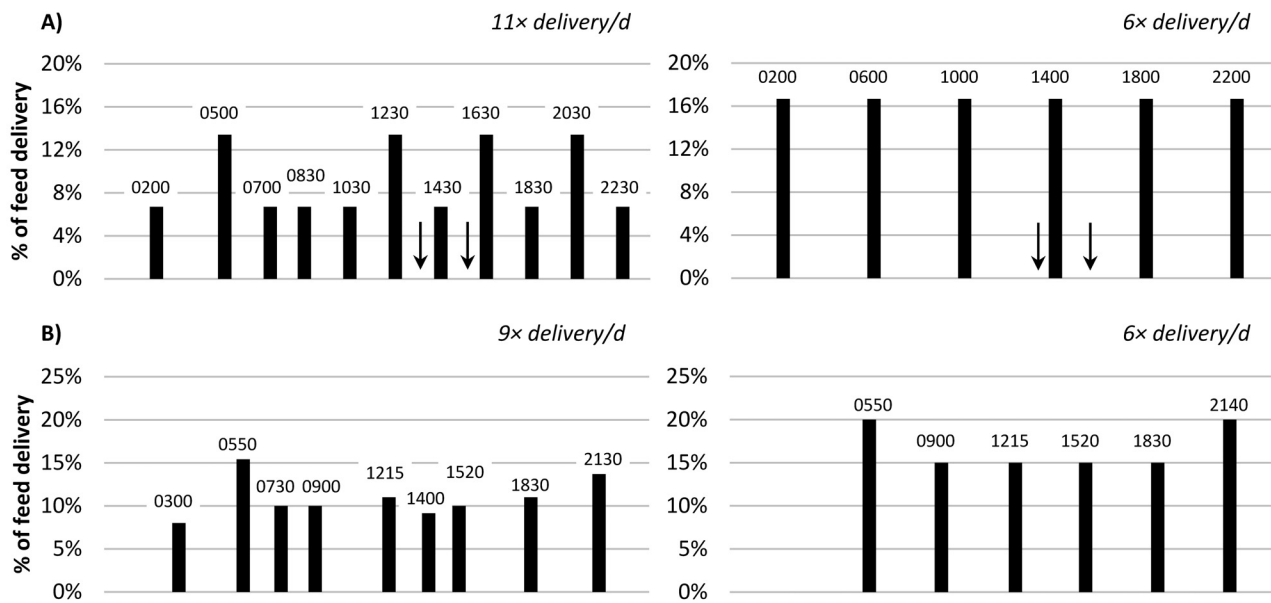


Figure 1. Feeding timetables for both farms (A, and B) with time of each delivery and quantity of feed delivered in percentage of TMR. Bold arrows indicate times at which the feed was pushed up during the day (1345, and 1545 h).

In farm A, for both treatments, the TMR was prepared and mixed immediately prior to its delivery to the cows, each time by mix feeder wagon. Different types of forage of TMR were stored in silage-bunkers and filled manually once each 2-3 days. In farm B, for both treatments, the TMR was mixed once daily (during the day) by a horizontal stationary mixer wagon filled in a conventional way. For each delivery, the TMR was transferred from stationary mixer wagon to rail suspended wagon for automatic distribution, immediately prior to its delivery.

Measurements, Feed Sampling, and Analysis

The amount of TMR offered was recorded automatically and TMR intakes were measured by recording the orts in each farm. Representative samples (about 2 kg) of the TMR were taken for each farm from 3 different deliveries during the day at first delivery, at afternoon and at evening for all 4 d of data collection of each treatment in each experimental period. The TMR was subsampled by taking grab samples from 5 different locations along the entire feed bunk. Care was taken that each grab sample represented the top, middle, and bottom of the TMR along the feed bunk. Orts samples, for analysis content, were taken from feed bunk before the first delivery of the next day. Samples, contained in enclosed plastic bag, were immediately frozen at -20°C until they were further analyzed at laboratory the day after collected sample. Dry matter intake for each farm for each day on treatment was recorded by subtracting the DM weight of the orts from the DM weight of the delivered feed (from AFS). The daily orts averaged $5.9 \pm 3.7\%$ and $8.7 \pm 4.6\%$ (mean \pm SD) of the delivered feed provided over the course of farm A and B, respectively.

All Samples were analyzed for DM, whereas ash, CP, ether extract, NDF, ADF, and ADL were determined on mixed samples obtained by joining of 2 neighbor samples. Dry matter content of the samples was determined by oven drying at 60°C for 3 d. Analytical DM content of the samples was determined by drying at 135°C for 3 h (AOAC, 1990). The OM content was calculated as the difference between DM and ash contents; ash was determined by combustion at 550°C for 5 h. The NDF, ADF, and ADL contents were determined according to the methodology supplied by the company, which is based on the methods described by Van Soest et al. (1991). Ether extract in the concentrates was determined after acid (HCl) hydrolysis according to the method of AOAC (1990).

All individual-cow milking-related data, including daily milking frequency, time of each milking, yield per milking, and number of refusals, were automatically collected and stored by the AMS in both farms.

Behavioral Recording

Standing, lying behaviors and activity of 34 focal dairy cows (parity 3.4 ± 1.8 and 2.7 ± 1.5 , DIM 195.2 ± 139.5 and 141.2 ± 129.7 ; farm A and B, respectively) were collected using electronic data loggers. HOBO Pendant G Data Logger (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA) measures leg orientation at 1-min intervals and allowed all the standing and lying behavior data to be collected electronically (Ledgerwood et al., 2010; Ito et al., 2009). Prior to use, care was taken to synchronize the times of the AMS and the data loggers. These devices were attached to lateral side of the right hind leg of each focal cow by using veterinary bandaging tape (Vet-flex, Kruuse group, Langeskov, Denmark) in a position such that the x-axis was perpendicular to the ground. The degree of vertical tilt of x and z-axis were used to determine the lying position of the animal and the laterality of lying behavior (Ledgerwood et al., 2010). IceTag activity sensors (v. 2.004, IceRobotics Ltd.) sampled acceleration data with 8 Hz, and determine the percentage of time the cows spent lying, standing, active and the number of steps for each recorded second (Munksgaard et al., 2006; Endres and Barberg, 2007; Bewley et al., 2010). IceTag was attached to the lateral side of the right hind leg above the fetlock by means of a strap with a buckle. Cow behavior was classified for each recording following the IceTag-recorded intensity thresholds for lying, standing, and moving (Trénel et al., 2009). We followed the approach by Endres and Barberg (2007) and ignored standing and lying bouts shorter than 2 min. Data collected by automatic data loggers were used to calculate lying and standing times (h/d), bout frequency (n/d), bout length (min/bout), laterality of lying (h/d), and number of steps (n/d) for each day of treatment (4 d) during both experimental period.

Statistical Analysis

Descriptive statistics was used to characterize the distribution of the variables in the study using the MEANS and FREQ procedures of SAS (SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC). For the analysis of lying behavior, DMI, milk yield, and AMS utilization, farm was considered the experimental unit, and period was considered as the replicate; measures from multiple days and cows were averaged to create one observation per farm, per treatment, per period. Overall, treatment and period response was tested using farm as the experimental unit. Data transformations were applied using the NORMAL statement in PROC RANK (SAS Institute Inc.) to calibrate a transformation to be maximally effective in moving a variable toward normality, regardless of whether it is negatively or positively skewed. The effect of variation of feed delivery (treatment effect) on lying and standing behavior (lying and standing times, bout frequency, bout length, laterality of lying, and number of steps), DMI, milk yield, and AMS utilization were tested by one sample paired t-tests using transformed data. Least squares means and standard errors were determined using the LSMEANS and STDERR statement in PROC GLM (SAS Institute Inc.). The model used was:

$$Y_{ijk} = \mu + FREQ_i + PERIOD_j + (FREQ \times PERIOD)_{ij} + e_{ijk}$$

where μ is overall mean; $FREQ_i$ represents the feeding strategy (11× and 6× times a day or 11× and 9× times a day); $PERIOD_j$ is the effect of different period (December or January); $FREQ \times PERIOD_{ij}$ is the interaction between feeding frequency i and period j ; and e_{ijk} is the error term.

For analysis of the NDF content of the TMR samples, farm was considered the experimental unit and period was considered as the replicate; measures from multiple days were averaged to create one observation per farm, per treatment, and per period. Least squares means and standard errors were determined using the LSMEANS and STDERR statement in PROC GLM (SAS Institute Inc.). In statistical analysis, significance was declared when $P < 0.05$ (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$). A tendency was declared when $P < 0.10$.

Results

Feed Intake

The feed intake data for the cows are presented in Table 2. In both farms, there was no difference in DMI when cows were fed 11× compared with when they were fed 6× (13.4 vs. 13.3 kg DM/d per cow, respectively; $P = 0.6$) and 9× compared with 6× (15.5 vs. 15.8 kg DM/d per cow, respectively; $P = 0.5$) in farm A and B, respectively. Nonsignificant effect of period on the DMI in the farm B (15.5 vs. 15.8 kg DM/d per cow in December and in January, respectively; $P = 0.4$) was found, whereas in the farm A cows fed in December ate 0.75 kg/d more DM (13.8 vs. 13.0 kg DM/d per cow in December and in January, respectively; $P < 0.05$) than cows fed in January. Significant effect of period on the ADL intake ($P < 0.01$), in both farm, were found; whereas on Ether extract ($P < 0.001$) in the farm A, and on crude protein ($P < 0.001$) in the farm B, significant difference was found. Feeding frequency had no effect on crude protein, NDF, ADF, and ADL.

Table 2. Feed and nutrient intake (least-squares means) of the cows fed with different frequency

	December		January		SEM	P	Effect	
	Treatment						F	P × F
Farm A	11×	6×	6×	11×				
DM, kg/d	13.8	13.8	12.9	13.1	0.33	*	NS	NS
CP, kg/d	1.92	1.70	1.71	1.74	0.098	NS	NS	NS
Ether extract, kg/d	0.52	0.47	0.43	0.46	0.013	***	**	NS
NDF, kg/d	6.09	5.89	5.57	5.99	0.179	NS	NS	NS
ADF, kg/d	3.60	3.49	3.41	3.67	0.125	NS	NS	NS
ADL, kg/d	0.29	0.29	0.21	0.26	0.015	**	NS	NS
Farm B	9×	6×	9×	6×				
DM, kg/d	15.3	15.8	15.7	15.9	0.34	NS	NS	NS
CP, kg/d	1.95	2.01	2.16	2.17	0.042	***	NS	NS
Ether extract, kg/d	0.49	0.51	0.52	0.53	0.019	NS	NS	NS
NDF, kg/d	6.30	6.52	6.31	6.40	0.165	NS	NS	NS
ADF, kg/d	3.55	3.67	3.62	3.67	0.090	NS	NS	NS
ADL, kg/d	0.33	0.33	0.28	0.28	0.009	***	NS	NS

NS = nonsignificant; † $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Milk Production and AMS Utilization

The production data and the utilization of AMS for the cows, in both farms, are presented in Table 3. In the farm A the frequency of feeding showed a tendency to have a higher milk yield with lower feeding frequency ($P < 0.10$). The average milk yield was 31.4 and 32.3 kg/d per cow on the 11× and 6× treatments, respectively. In farm B, there was no difference in milk yield ($P = 0.4$) when cows were fed 9× compared with 6×. Nonsignificant effect of period on the milk yield in both farms was found.

For both farm, no significant difference in milking frequency, milking duration, and refusal frequency between treatments was found. However, farm A showed a significant effect of period on the visits of AMS, where the cows visited the AMS significantly less in the first period. Average of the total number of visits/d per cow was 4.4 in December and 5.5 in January ($P < 0.001$). Milking frequency was significantly higher in January than December (2.81 vs. 2.92, n/d per cow, respectively; $P < 0.01$). In addition, there was a significant difference in the duration of the milking between December and January, 7.8 and 7.2 min per milking ($P < 0.001$), respectively. Most of the

increase on the visits of AMS was the result of an increase in the number of refusals. In January, the cows increased the number of refusals by 1.03 refusals/d per cow compared with the period of December (1.59 vs. 2.62 n/d per cow, December vs. January; $P < 0.001$).

Table 3. Mean milk production and utilization of AMS (least-squares means) of the cows fed with different frequency.

	December		January		SEM	P	Effect	
	Treatment						F	P × F
Farm A	11×	6×	6×	11×				
Milk yield, kg/d	31.6	32.2	32.4	31.2	0.51	NS	†	NS
Milking frequency, n/d	2.84	2.78	2.96	2.88	0.04	**	NS	NS
Milking duration, min/m	7.7	7.9	7.2	7.2	0.09	***	NS	NS
Refusal frequency, n/d	1.73	1.45	2.63	2.61	0.19	***	NS	NS
Farm B	9×	6×	9×	6×				
Milk yield, kg/d	28.5	28.0	28.6	28.2	0.57	NS	NS	NS
Milking frequency, n/d	2.47	2.32	2.60	2.58	0.05	***	NS	NS
Milking duration, min/m	8.1	8.0	8.2	8.0	0.12	NS	NS	NS
Refusal frequency, n/d	1.53	1.35	1.29	1.49	0.11	NS	NS	†

NS = nonsignificant; † $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Figure 2 show the effect of the feeding frequency on the diurnal AMS visiting pattern (milkings and refusals). The average hourly number of milkings was 0.118 and 0.124 milkings/cow/h in the 11× and 6× treatments, respectively; whereas the average hourly number of refusals was 0.071 and 0.109 milkings/cow/h, respectively.

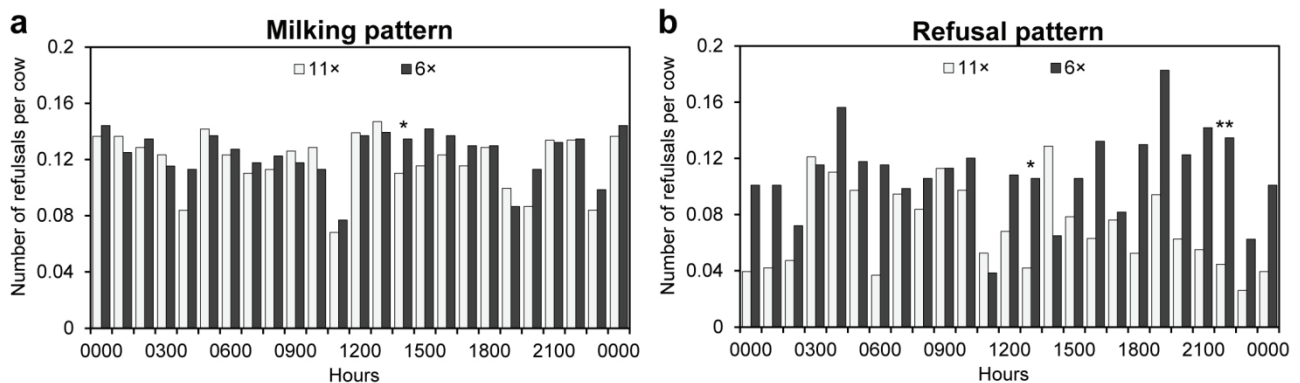


Figure 2. Average hourly number of milkings (a) and AMS refusals (b) per cow for the farm A. Statistical differences between feed delivery 11 times a day in December and 6 times a day in January are indicated with **($P < 0.01$) and *($P < 0.05$).

The GLM analysis of the influence of the feed frequency on the hourly number of refusals revealed a significant effect in the mid-day and late in the evening: the low feed frequency (6×) refused more cows per hour than the high feed frequency (11×) at 2200 ($P < 0.01$) and at 1300 ($P < 0.05$) (Fig. 2b). However, the number of refusals per cow per h with the low frequency (6×) was larger for almost hour of the day, especially during in the second part of the day (afternoon, evening, and night) but the difference was not significant. The lack of a significant difference for the number of refusals per cow per h between the different feed frequencies can be a result of the great variability

in the dataset and the associated large spread in the number of refusals per h, in low feed frequency condition (averaged SEM = 0.033 refusals/cow/h).

The number of milking per cow per h between feed delivery 11 times and 6 times a day was similar for the most hours of the day (Figure 2a), but the low frequency has highlighted an higher number of milking in the afternoon, between 1400 and 1700, with a significant effect at 1400 ($P < 0.05$).

Lying Behavior

In both farms A and B, the frequency of feed delivery had no effect on the daily lying behavior (Table 4). Instead, the period had significant effect on the length of time cows spent lying per day for both farms. In the farm A, the effect of the period on time that cows spent lying was more relevant than the farm B. The cows, of farm A, spent in the second period 1.2 h/d ($P < 0.01$) more than the first period; whereas, the cows of farm B, spent lying only 0.6 h/d ($P < 0.05$) more in January than December. The effect of period was revealed also on right lying time in both farms. In farm A, the time spent on right side decreased in January respect to December, while, in the farm B was increased of 1.3 h/d ($P < 0.01$). Period affected also the bout frequency, especially in the farm A, where the number of lying bouts is increased of 1.5 bout/d ($P < 0.10$), from 8.6 to 10.2 bout/d. Also in the farm B the bout frequency is increased, although, the difference was not significantly.

Table 4. Effect of period and feeding frequency on lying behavior (lying time, h/d; lying laterality, h/d; bout frequency, n/d; bout length, min/bout; steps n/d) in both farms (least-squares means).

	December		January		SEM	P	Effect	
	Treatment						F	P × F
Farm A	11×	6×	6×	11×				
Lying time, h/d	11.4	11.8	12.7	12.9	0.4	**	NS	NS
Right, h/d	6.5	7.3	5.0	6.5	0.6	†	NS	†
Left, h/d	4.9	3.8	7.6	6.5	1.2	NS	NS	NS
Bout frequency, n/d	8.5	8.8	10.6	9.8	0.6	†	NS	NS
Bout length, min/bout	85.1	84.3	82.8	91.6	4.9	NS	NS	NS
Steps, n/d	1284.8	1187.0	1233.7	1179.3	125.8	NS	NS	NS
Farm B	9×	6×	9×	6×				
Lying time, h/d	11.0	11.2	11.8	11.5	0.3	*	NS	NS
Right, h/d	4.4	5.6	6.7	6.0	0.4	**	NS	*
Left, h/d	5.9	5.2	5.9	5.5	0.7	NS	NS	NS
Bout frequency, n/d	9.0	9.0	9.8	9.6	0.4	NS	NS	NS
Bout length, min/bout	79.2	81.3	86.6	81.0	3.9	NS	NS	NS
Steps, n/d	1568.5	1386.2	1370.4	1321.3	70.1	†	NS	NS

NS = nonsignificant; † $P < 0.10$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

In the farm A, the pattern of lying time throughout the day was affected by the frequency of feed delivery. When cows were fed 6×, they showed 6 periods of lying activity compared with the 3 extended periods of lying activity, night/morning, midday and evening, when they were fed 11× (Figure 3a). In fact, when the cows were fed 11 times a day, the pattern of lying showed 2 drops below to 30% of cows lying that represent the maximum periods of feeding activity throughout the day of the cows. Instead, when the cows were fed 6×, during the time period immediately following the provision of fresh feed the pattern of lying showed a drop of the percentage of cows lying, highlighting the major effect of feed delivery on lying behavior. These differences in lying behavior between treatments were particularly pronounced at peak feeding times after each delivery; lying activity, during the period immediately after the distribution of fresh feed, decreases by 30% when cows were fed with low feeding frequency (6×). In farm B, there was no effect of treatment on the

pattern of lying time throughout the day (Figure 3b), but when cows were fed 6×, they took longer to lie down after second last delivery (1830) and shorter to lie down after the last delivery (2140) compared with when they were fed 9×.

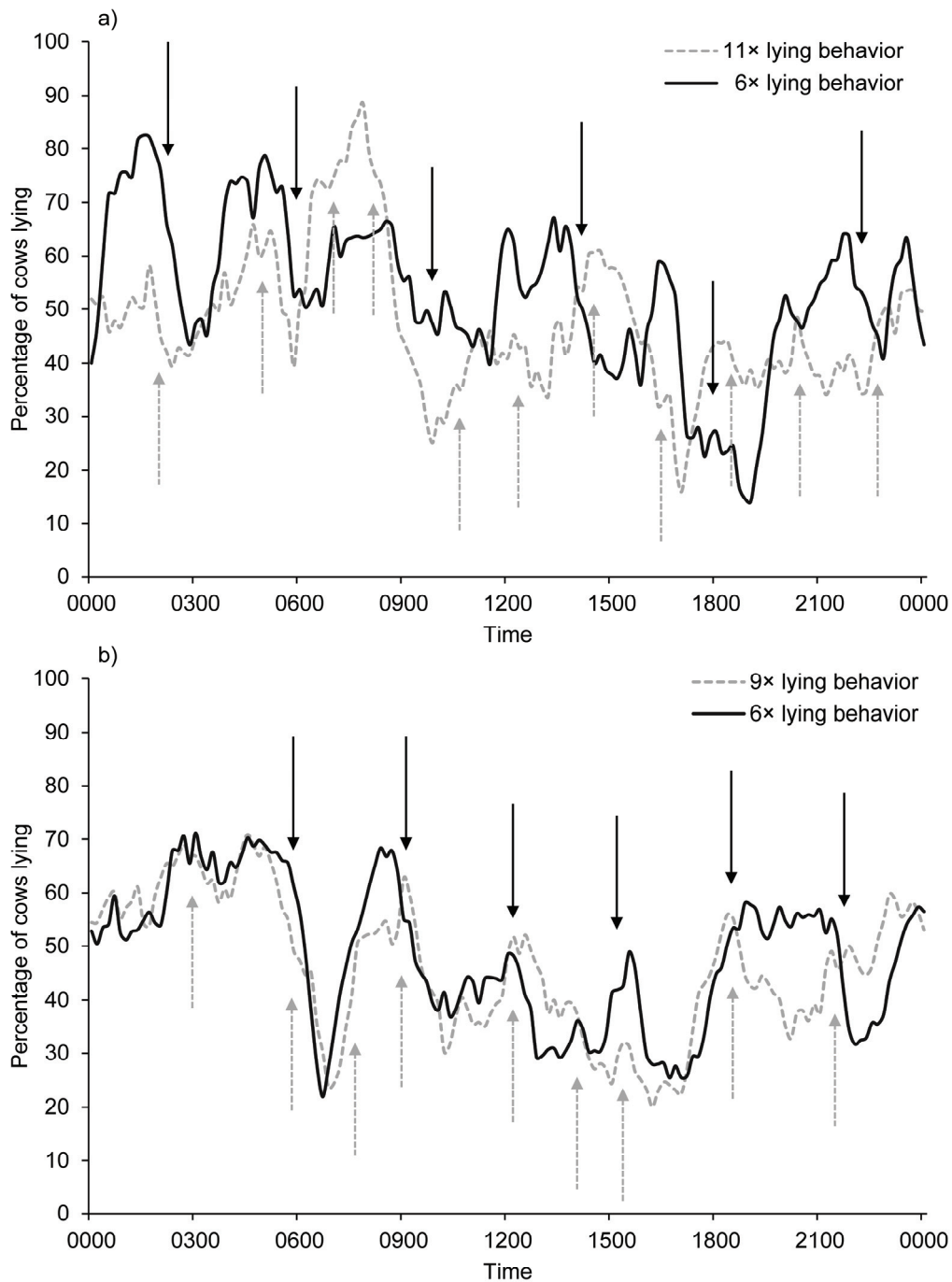


Figure 3. Percentage of cows lying down over a 24-h period (percentage for each 10-min mean interval during the day) in a) farm A for 2 treatments (cows fed 11× and cows fed 6×) and b) farm B for 2 treatments (cows fed 9× and cows fed 6×). Data are averaged for 4 d per treatment/period for 26 focal dairy cows monitored using electronic data loggers. Solid black arrow indicate times at which the cows fed 6× and the dashed grey arrow indicate times at which the cows fed 11× and 9×, farm A and farm B, respectively.

Figure 4 showed the effect of feed frequency on distribution of lying bouts length. In the farm A (Figure 4a) the effect of feed frequency resulted more higher than farm B (Figure 4b). In particular, the Figure 4a (farm A) showed that the low frequency has a most influence on the lying bouts with a length less than 100 min, respect to longer bouts. Cows fed 6 times a day compared to fed 11 times a day increased the bout length from 0 to 50 min and from 50 to 100 min almost of one unit, instead, were little affected on longer bouts from 100 to 200 min or more.

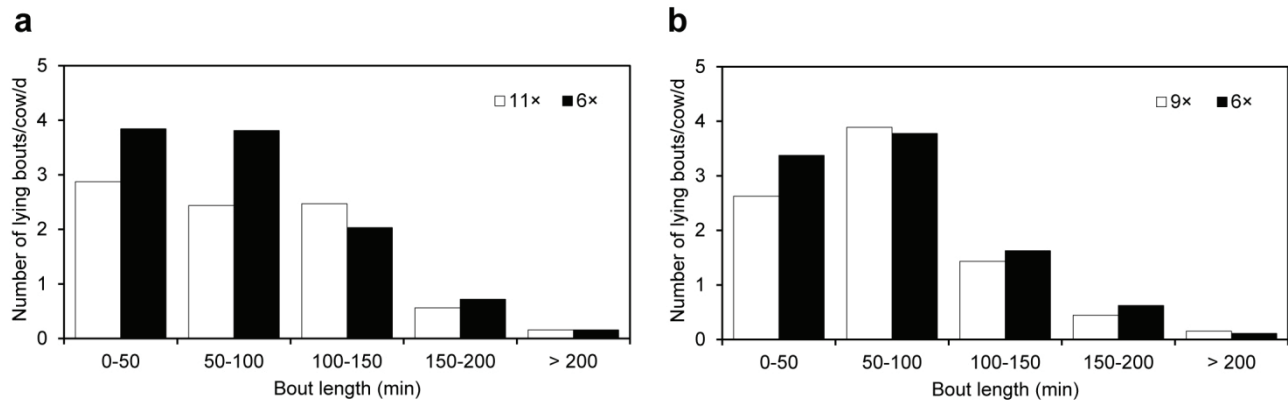


Figure 4. Distribution of lying bouts length for 26 dairy cows in a) farm A and b) farm B. Farm A = cows (n = 8) 2 treatments feed delivery 11 times a day in December and 6 times a day in January; farm B = cows (n = 18) 2 treatments feed delivery 9 times a day in December and 6 times a day in January. Data are averaged for 4 d.

Discussion

During the past few years, there has been increased interest in determining the effects that frequency of feed delivery has on lactating dairy cattle. Previous research in this area has been focused on the effects on milk production, DMI mainly in farms with conventional feeding system; variable results were reported (Gibson, 1984; Nocek and Braund, 1985; Shabi et al., 1999; DeVries et al., 2005; Mäntysaari et al., 2006). From the literature, there is little indication of what effect frequency of feed delivery has on the behavior of group-housed lactating dairy cows and on the occupation and utilization of the facilities in a dairy barn. Dairy farmers are increasingly automating their farms: automatic concentrate dispensers and AMS have been utilized for years and several manufacturers have introduced AFS during the past decade. The main advantage of AFSs is the possibility to supply a TMR with a high frequency and a low labor input, whilst farms that feed with conventional feeding systems commonly supply TMR only once or twice a day and require more labor and a rigid work schedule.

In the present study, it was evident in both farms, but especially in the farm A, that the effect of period was more significantly than the effect of frequency of feed delivery. This first result might be caused by an insufficient time of adaptation of the cows at the new conditions of delivery. In fact, in the farm A, the effect of the period on the animals was affected by a long adaptation time between 2 periods, where was kept the low feeding strategies and the second period (January) was started with the same feed frequency. So, the effect of the period was an interaction between 2 different effects: the effect of the time elapsed between the 2 replicates and the effect of feeding frequency. Instead, in the farm B, the effect of the period on the animals was the result only of the time elapsed between the 2 period of the replicates without any effect of feeding frequency, because the feeding strategies intra-period was the same before the start of experimental study.

In both farms A and B, group feed intakes were used to calculate the average DMI per cow, per treatment, per period and we found no effect of treatment on this measure for either farms, in

agreement with the results reported by other authors (DeVries et al., 2005; Nocek and Braund, 1985; Robles et al., 2007), but effect of period for the farm A. The DMI in farm A was greater on the first period and high feed frequency (11×) than on the second period and low feed delivery (6×). Studies have shown that delivery of feed stimulates the eating activity of cows (DeVries and von Keyserlingk, 2005); therefore the feed intake to be higher with more frequent feeding. In our study, cows fed 6× had a lower DMI than the cows fed 11×. This result can be associated with less relaxed and more aggressive behavior in the feeding passage with a low frequency. Moreover, reducing feeding frequency, cows are more motivated to eat more concentrate at automatic concentrate dispensers and at milking robot unit, spending less time at feed bunk and reducing the feed intake measured. According to our results, in the studies by Shabi et al. (1999), Le Liboux and Peyraud (1999), and Kudrna et al. (2001), increasing feeding frequency increased the feed intake, associated with increased feeding time. In both farms were found a period effect on the nutrient intake (ether extract, ADL, CP). The reasons of period effect are not clear, but probably the difference in several nutrient intake between 2 period could be caused by different quality and chemical composition of nutrient in the ingredients of the TMR delivered.

In the study by Phillips and Rind (2001), the increased feed intake with lower feeding frequency was associated with increased milk production; whereas Nocek and Braund (1985) reported a tendency towards higher milk yield, but lower DMI, in lactating cows fed 4 times a day instead of once. In the present study, lower feeding frequency with a decreased of feed intake significantly increased milk yield. A higher milk production with a lower DMI can be explained by increase of milking visits and assumption of concentrate.

Feeding frequency, in the farm A, significantly affected the utilization of AMS. A low feeding strategy increased the number of visits (milking and refusals) and decreased the duration of milking. Our results for the effect of the feeding system on the daily number of milkings and refusals are inconsistent with those of Oostra and Sallvik (2001) and Belle et al. (2011), who concluded that the feeding frequency had no effect on the number of daily milkings and refusals per cow. Reducing the number of feed delivery, in a cowshed with fewer feeding places than the number of cows (as in the farm A), stimulates the cows to seek other sources of feed (concentrate), increasing the number of visits in AMS and to automatic concentrate dispensers. In the present study, the increase the number of milkings per cow reduces the duration of milking, but increase the milk production. The number of refusals is affected also by the set-up of the farms and by the settings of the AMS, which the farmer can change to realize the target number of milkings. The frequency of feeding is not the only actions that influence the visiting pattern of dairy cows to the AMS; cleaning the milking robot (Halachmi, 2000) and fetching cows (Wagner-Storch and Palmer, 2003) are other actions that affect this pattern. Studies on AMS visiting patterns have to take these actions in consideration. The relationship founded between feeding frequency and utilization of AMS can be used as useful knowledge to set the AMS and feeding strategies to improve the management and productivity of the farm. The results also indicate that the diurnal AMS visiting pattern of group-housed dairy cows is influenced by the timing of fresh feed delivery.

In both farms, despite the decrease of the feeding frequency, there was no change in total lying time. In contrary, there was an effect of period in both farms, but higher in the farm A. In the farm B, this result can be explained by the effect on lying behavior of difference, between the 2 periods, in DIM of the cows monitored for the experiments. Bewley et al. (2010) demonstrated that DIM was a significant predictor of mean daily hours lying. Chaplin and Munksgaard (2001) also reported that cows in early lactation (<100 DIM) spent significantly less time lying than cows in late lactation (>200 DIM). Cows in early lactation may be spending more time eating, and consequently less time lying down, to meet the nutritional needs of higher milk production in early lactation. Instead, in the farm A the period effect was resulted more significantly in term of time spent lying. In this case, the difference in time spent lying down can be explain not only by the effect of DIM but also by the effect of feeding frequency. This result indicates that with decreased frequency of feed delivery, cows are able to increase the amount of time that they spend lying and reduce the

amount of time that they spend standing or feeding, because they are less stimulate by the delivery of fresh feed. The period affected significantly the time that the cows spent lying on the right side in both farms but in this case especially in the farm B. Previous work has demonstrated that stage of pregnancy can influence laterality in lying behavior. Cows in later stages of pregnancy are more likely to lie on their left side (Arave and Walters, 1980; Forsberg et al., 2008). In the study of Tucker et al. (2009), the group of cows that spent the most time on their left sides were also the group closest to calving. Discomfort associated with pregnancy or the size of the calf may explain differences in laterality of lying behavior. Eating behavior has little effect on overall time spent lying on either side (Tucker et al., 2009). The laterality in lying behavior may also be related to other challenges such as the health status of the legs and claws, individual cow asymmetry in lying, state of discomfort, farm conditions, and other aspects of individual well-being. In this study, no effect of feeding frequency was found on the laterality in lying behavior. In farm A, switching lying sides between the periods with an increase of lying on their left side can be explained by the different on stage of pregnancy. Instead, the increased of switching lying sides on right side between periods (farm B) are not clear and it is difficult to understand. Probably, this switching could be affected by the limited number of animals monitored for laterality, so, by the marked individual differences in lying asymmetry between cows. However, these results suggest that the differences in laterality in lying behavior may be useful for assessing the welfare of dairy cattle.

The longer resting time in the farm A during the period of January was due to a higher frequency of lying bouts; whereas the duration of lying bouts was unchanged. The duration and frequency of lying bouts are behavioral indicators of cow comfort (Haley et al., 2000) and have direct relevance to clinical health, in particular the incidence of lameness (Ito et al., 2010). In this study, the feeding frequency affected the time that cows spent lying down, increasing the frequency of lying bouts and not the duration of lying bouts. In particular, lower strategy of feed frequency (6×) affected the shorter lying bouts between 0 to 100 min and not the longer bout more than 100 min, maybe because the feed periods are not still longer enough to increase the longer lying bouts. Identification of lying bouts gives information on animal behavior that may assist in the early detection of health and welfare problems and may also help in answering questions about the mechanisms and motivations underlying that behavior.

The daily distribution of lying time was, however, influenced by frequency of feed delivery. In farm A, the cows took more time to lying down when fed 6× compared with when fed 11×. Most of the daily increase in lying time in response to decreased frequency of feed delivery was the result of an increase in lying time during the late evening and early morning hours, and during mid-day (i.e., 2100 to 0600 h; 0900 to 1400 h). This result agrees with the finding of Phillips and Rind (2001), who reported that cows that were fed frequently tended to spend less time feeding in the morning and a longer time feeding in the late evening. However, the results of this study indicate that the daily lying pattern of dairy cows kept indoors is more affected by the timing of fresh feed delivery than by the time of day. Johansson et al. (1999) found that, in a milking parlor, the percentage of cows lying down immediately after milking was affected by the time of feeding. Lying behavior patterns of cows milked with an AMS are also affected by their milking frequency and milk yield (DeVries et al., 2011). The reason for this association is likely the effect that milk production has on nutrient consumption levels and feeding behavior patterns. Thus, the daily lying pattern is strictly correlated with feeding frequency strategies and utilization of AMS.

Conclusions

Decrease the frequency of feed delivery in AFS from 11× to 6× allowed the cows to increase their daily lying time, increase the utilization of AMS (milking and refusal), and did affect on feed intake and milk production. Based on the results of this study, it seems that feeding 11 times a day might be too frequent, whereas 6 times a day, under certain conditions of the farm, could be too

infrequently (high number of refusals). The influence of feeding frequency on daily number of visits to milking robot indicated also a great connection between the management of AMS and AFS. The flexibility and facility of setting of these automatic systems, than the conventional systems, and the automated monitoring of behavior can be a helpful tool or strategy to improve the productivity and comfort of lactating dairy cows.

References

- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Arave, C. W., and J. L. Walters. 1980. Factors affecting lying behavior and stall utilization of dairy cattle. *Appl. Anim. Ethol.* 6:369–376.
- Belle, Z., G. Andrè, and J. C. A. M. Pompe. 2011. Effect of automatic feeding of total mixed rations on the diurnal visiting pattern of dairy cows to an automatic milking system. *Biosyst. Eng.* doi:10.1016/j.biosystemseng.2011.10.005.
- Bewley, J. M., R. E. Boyce, J. Hockin, L. Munksgaard, S. D. Eicher, M. E. Einstein, and M. M. Schutz. 2010. Influence of milk yield, stage of lactation, and body condition on dairy cattle lying behaviour measured using an automated activity monitoring sensor. *J. Dairy Res.* 77:1–6.
- Bisaglia, C., F. Nydegger, A. Grothmann, and J. C. A. M. Pompe. 2010. Automatic and frequency-programmable systems for feeding TMR: State of the art and available technologies, XVIIth World Congress of the International Commission of agricultural and biosystems engineering. Québec City, Canada: Sustainable Development and Agriculture.
- Chaplin, S., and L. Munksgaard. 2001. Evaluation of a simple method for assessment of rising behaviour in tethered dairy cows. *Anim. Sci.* 72:191–197.
- Cook, N. B., T. B. Bennett, and K. V. Nordlund. 2005. Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88:3876–3885.
- DeVries, T. J., and M. A. G. von Keyserlingk. 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:625–631.
- DeVries, T. J., M. A. G. von Keyserlingk, and K. A. Beauchemin. 2005. Frequency of feed delivery affects the behaviour of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:3553–3562
- DeVries, T. J., J. A. Deming, J. Rodenburg, G. Seguin, K. E. Leslie, and H. W. Barkema. 2011. Association of standing and lying behavior patterns and incidence of intramammary infection in dairy cows milked with an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 94:3845–3855.
- Drissler, M., M. Gaworski, C. B. Tucker, and D. M. Weary. 2005. Freestall maintenance: Effects on lying behavior on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:2381–2387.
- Endres, M. I., and A. E. Barberg. 2007. Behavior of dairy cows in an alternative bedded-pack housing systems. *J. Dairy Sci.* 90:4192–4200.
- Fregonesi, J. A., and J. D. Leaver. 2001. Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livest. Prod. Sci.* 68:205–216.
- Forsberg, A. M., G. Pettersson, T. Ljungberg, and K. Svennersten-Sjaunja. 2008. A brief note about cow lying behaviour—Do cows choose left and right lying side equally? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 114:32–36.
- Gibson, J. P. 1984. The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: An analysis of published results. *Anim. Prod.* 38:181–189.
- Johansson, B., K. Uvnaas-Moberg, C. H. Knight, and K. Svennersten-Sjaunja. 1999. Effect of feeding before, during and after milking on milk production and the hormones oxytocin, prolactin, gastrin and somatostatin. *J. Dairy Res.* 66:151–163.

- Kudrna, V., P. Lang, and P. Mlazovska. 2001. Frequency of feeding with TMR in dairy cows in summer season. *Czech J. Anim. Sci.* 46:313–319.
- Halachmi, I. 2000. Designing the optimal robotic milking barn, part 2: behaviour-based simulation. *J. Agric. Eng. Res.* 77:67–79.
- Haley, D. B., J. Rushen, and A. M. de Passillé. 2000. Behavioural indicators of cow comfort: Activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can. J. Anim. Sci.* 80:257–263.
- Hermans, G. G. N., A. H. Ipema, J. Stefanowska, and J. H. M. Metz. 2003. The effect of two traffic situations on the behavior and performance of cows in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 86:1997–2004.
- Ito, K., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2009. Lying behavior: Assessing within- and between-herd variation in free-stall-housed dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:4412–4420.
- Ito, K., M. A. G. von Keyserlingk, S. J. LeBlanc, and D. M. Weary. 2010. Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 3553–3560.
- Ledgerwood, D. N., C. Winckler, and C. B. Tucker. 2010. Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93: 5129–5139.
- Le Liboux, S., and J. L. Peyraud. 1999. Effect of forage particle size and feeding frequency on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. *Animal Feed Science Technology.* 76, 297–319.
- Mantysaari, P., H. Khalili, and J. Sariola. 2006. Effect of Feeding Frequency of a Total Mixed Ration on the Performance of High-Yielding Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89:4312–4320.
- Melin, M., H. Wiktorsson, and L. Norell. 2005. Analysis of feeding and drinking patterns of dairy cows in two cow traffic situations in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 88, 71–85.
- Munksgaard, L., M. B. Jensen, L. J. Pedersen, S. W. Hansen, and L. Matthews. 2005. Quantifying behavioural priorities-effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92, 3–14.
- Munksgaard, L., C. G. Reenen and R. E. Boyce. 2006. Automatic monitoring of lying, standing and walking behavior in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89(Suppl. 1):304. (Abstract)
- Nocek, J. E., and D. G. Braund. 1985. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate and milk yield in first lactation. *J. Dairy Sci.* 68, 2238–2247.
- O'DriScoll, K., L. Boyle, and A. Hanlon. 2008. A brief note on the validation of a system for recording lying behaviour in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111: 195–200.
- Oostra, H. H., J. Stefanowska, and K. Sällvik. 2005. The effects of feeding frequency on waiting time, milking frequency, cubicle and feeding fence utilization for cows in an automatic milking system. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.* 55:158–165.
- Oostra, H. H., and K. Sällvik. 2001. Feeding behaviour of dairy cows in an automatic milking system at two different feeding regimes. In *Livestock environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium* (pp. 611e617). Louisville, Kentucky, USA: ASAE.
- Overton, M. W., W. M. Sisco, G. D. Temple, and D. A. Moore. 2002. Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *J. Dairy Sci.* 85, 2407–2413.
- Phillips, C. J. C., and M. I. Rind. 2001. The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 1979–1987.
- Prescott, N. B., T. T. Mottram, and A. J. F. Webster. 1998. Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 57:23–33.
- Robles, V., L. A. Gonzalez, A. Ferret, X. Manteca, and S. Calsamiglia. 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behaviour in heifers fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 85, 2538–2547.
- SAS Institute. 2008. *SAS/Stat 9.1 User's Guide*. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

- Shabi, Z., I. Bruckental, S. Zamwell, H. Tagari, and A. Arieli. 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 1252–1260.
- Shabi, Z., M. R. Murphy, and U. Moallem. 2005. Within-day feeding behavior of lactating dairy cows measured using a real-time control system. *J. Dairy Sci.* 88, 1848-1854
- Trénel, P., M. B. Jensen, E. L. Decker, and F. Skjoth. 2009. Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the IceTag automatic recording device. *J. Dairy Sci.* 92: 3397–3401.
- Tucker, C. B., G. Zdanowicz, and D. M. Weary. 2006. Brisket boards reduce freestall use. *J. Dairy Sci.* 89, 2603–2607.
- Tucker, C. B., N. R. Cox, D. M. Weary, and M. Spinka. 2009. Laterality of lying behaviour in dairy cattle. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 120: 125–131.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharide in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597.
- Wagner-Storch, A. M., and R. W. Palmer. 2003. Feeding behaviour, milking behaviour, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 86:1494-1502.