

LA MECCANICA AGRARIA OGGI

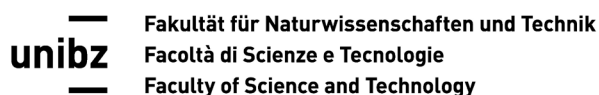
**UN CONFRONTO APERTO SU CONCETTI
IDEE E ASPETTATIVE DI UNA DISCIPLINA IN CONTINUA EVOLUZIONE**

a cura di Marco Bietresato e Fabrizio Mazzetto

Atti dell'omonimo convegno tenutosi
presso la libera Università di Bolzano e il NOI-Techpark
Bolzano, 23-24 novembre 2017

cleup

Pubblicazione realizzata con il contributo di



Curatori

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

Comitato scientifico

- Paolo BALSARI, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari
- Raffaele CAVALLI, Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali
- Giovanni Carlo DI RENZO, Università degli Studi della Basilicata, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali
- Andreas GRONAUER, Universität für Bodenkultur Wien, Department of Sustainable Agricultural Systems
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Giovanni MOLARI, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
- Danilo MONARCA, Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
- Gianfranco PERGHER, Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali
- Felice PIPITONE, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali
- Giuseppe ZIMBALATTI, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Agraria

Comitato organizzativo

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Raimondo GALLO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

DOI: 10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML
https://doi.org/10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML

Prima edizione: luglio 2018

ISBN 978 88 6787 947 2

© 2018 CLEUP SC

“Coop. Libreria Editrice Università di Padova”
via G. Belzoni 118/3 – Padova (t. +39 049 8753496)
www.cleup.it
www.facebook.com/cleup

Tutti i diritti di traduzione, riproduzione e adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo (comprese le copie fotostatiche e i microfilm) sono riservati.

In copertina: disegno di Giovanna Bampa e Ian Carta, Ufficio Stampa ed Organizzazione Eventi, Libera Università di Bolzano.



Meccanica agraria e zootecnia: mungitura robotizzata, analisi dei consumi energetici

Francesco Maria TANGORRA¹, Aldo CALCANTE², Roberto OBERTI², Massimo LAZZARI¹

¹ Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze veterinarie per la salute, la produzione animale e la sicurezza alimentare (VESPA), via G. Celoria 10, I-20133 Milano

² Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia (DISAA), via G. Celoria 2, I-20133 Milano

Sommario

Negli ultimi trent'anni le produzioni zootecniche sono state caratterizzate da un intenso sviluppo tecnologico al quale la *Meccanica Agraria* ha contribuito fortemente giocando un ruolo fondamentale nell'incrementare la produttività del lavoro, garantire e migliorare il benessere animale, assicurare un'intensificazione sostenibile dei processi produttivi. L'automazione delle operazioni di stalla e in particolare della mungitura, che rappresenta la fase più onerosa in termini economici e fisici, e per la quale non può ancora ritenersi concluso il processo evolutivo, è probabilmente l'ambito in cui il *Meccanico Agrario* che opera in contesti zootecnici è maggiormente coinvolto.

Ad oggi nel mondo sono installati circa 45.000 sistemi automatici di mungitura o AMS (Automatic Milking System), di cui oltre 700 in Italia, e questo numero è destinato a crescere nei prossimi anni nel contesto di una generale tendenza all'automazione della stalla da latte, aumentando il consumo energetico relativo alla mungitura robotizzata. L'energia utilizzata da un AMS dipende da molti fattori, tra cui la generazione di appartenenza, le configurazioni e le impostazioni della macchina, nonché le condizioni operative. Il lavoro qui presentato ha avuto come scopo quello di misurare e analizzare il consumo elettrico di due generazioni successive di AMS installati in aziende da latte del nord Italia, caratterizzate da contesti operativi diversi.

La prova sperimentale è stata condotta su quattro AMS con differenti configurazioni (stallo singolo, unità centrale con una o due unità di mungitura). Il consumo elettrico (giornaliero, giornaliero per bovina munta, per mungitura, per 100 litri di latte) di ogni AMS (unità di mungitura e compressore dell'aria) è stato misurato utilizzando due multimetri collegati ai quadri elettrici rispettivamente dell'AMS e del compressore dell'aria. Il periodo di misura è stato di 24 h per ciascun sistema, utilizzando una frequenza di campionamento di 0,2 Hz.

Il consumo elettrico degli AMS è risultato condizionato principalmente dalla gestione aziendale piuttosto che dalle caratteristiche e architetture delle singole macchine.

Parole chiave: sistema automatico di mungitura; consumo di energia elettrica; gestione dell'azienda da latte

1. Introduzione

La mungitura automatica può essere considerata un'innovazione rivoluzionaria per l'allevamento della bovina da latte. Il passaggio dalla mungitura convenzionale a quella automatica, infatti, ha comportato grandi cambiamenti per l'allevatore e per gli animali, introducendo un nuovo concetto di gestione della mandria. Sono profondamente mutate, infatti, sia le routine di lavoro dell'uomo sia quelle comportamentali degli animali, alcune operazioni sono state eliminate, altre sono state modificate e adattate al nuovo sistema di mungitura, mentre attività che non esistevano sono divenute necessarie (Spahr and Maltz, 1997). Tra gli aspetti operativi più importanti connessi all'introduzione del robot di mungitura vi sono senz'altro il cambiamento della natura del lavoro, con la componente concettuale che sovrasta quella manuale, e il controllo degli animali su base individuale, mediato da specifici sensori. I sistemi automatici di mungitura o AMS (Automatic Milking System) permettono di controllare la frequenza di mungitura della singola bovina in funzione del livello produttivo e dello stadio di lattazione, senza incorrere in costi del lavoro aggiuntivi. Inoltre, a parità di tutti gli altri fattori, è noto che bovine munte più frequentemente nel corso di una lattazione producono generalmente più latte rispetto a quelle sottoposte alla doppia mungitura (Castro et al., 2012; Jacobs and Siegford, 2012; Stelwagen et al., 2013; Wright et al., 2013). Tutti questi aspetti offrono dei possibili vantaggi, aprendo nuove sfide, anche se non vanno dimenticate potenziali criticità. L'investimento iniziale per un AMS, infatti, potrebbe essere maggiore rispetto a quello necessario per un sistema convenzionale e la vita utile potrebbe essere inferiore (Rotz et al., 2004). Pertanto, nel decidere se investire in un sistema automatico o convenzionale, gli allevatori dovrebbero valutare attentamente i benefici attesi (in primis la riduzione del fabbisogno di manodopera) conseguenti all'introduzione di un AMS, rispetto al solo aumento dei costi fissi (Jacobs and Siegford, 2012). Così come sarebbe necessaria un'accurata analisi dei costi variabili, inclusi i costi energetici legati al funzionamento del robot di mungitura, considerando che il consumo di energia elettrica è una delle voci di bilancio più difficilmente controllabile, e che varia in media tra il 35 e il 40 % dei costi operativi totali dell'AMS su base annuale. Ad oggi nel mondo sono installati circa 45,000 sistemi automatici di mungitura, di cui oltre 700 in Italia, e questo numero è destinato a crescere nei prossimi anni nel contesto di una generale tendenza all'automazione della stalla da latte (de Koning, 2011; Lyons et al., 2014). D'altro canto, con la rimozione delle quote latte avvenuta nel 2015, è verosimile che nel breve periodo si tenderà ad incrementare la produzione di latte per azienda, generando un'ulteriore contrazione del prezzo del latte alla stalla (Lips and Rieder, 2005; Bouamra-Mechemache et al., 2008). Pertanto, gli allevatori devono focalizzare sempre più la loro attenzione sul controllo dei costi del processo di mungitura e sull'uso efficiente dell'energia per migliorare la sostenibilità economica di questa importante fase. Avere ben presenti i consumi energetici degli AMS, quindi, è essenziale per raggiungere questi obiettivi. Alcuni studi (Artmann and Bohlsen, 2000; Bijl et al., 2007) riportano consumi elettrici maggiori per gli AMS rispetto ai sistemi convenzionali di mungitura, senza tuttavia fornire una dettagliata ripartizione delle diverse componenti di costo. Uno studio più recente di Upton e O'Brien (2013) ha analizzato il consumo energetico di un AMS in Irlanda, evidenziando che i processi più energivori associati alla mungitura robotizzata erano il riscaldamento dell'acqua per il lavaggio e la disinfezione dell'unità, la generazione di aria compressa per l'apertura/chiusura dei cancelli di ingresso e uscita dello stallo robotizzato e per la movimentazione del braccio di mungitura, il raffreddamento del latte. Rispetto agli studi citati, tuttavia, sono stati immessi sul mercato nuove macchine e i modelli precedenti sono stati aggiornati e migliorati negli ultimi anni. L'energia utilizzata da un AMS dipende da molti fattori, tra cui la generazione di appartenenza, le configurazioni e le impostazioni della macchina, nonché le condizioni operative. Lo scopo del presente lavoro è stato quello di misurare il consumo elettrico di due generazioni successive di AMS installati in aziende da latte del nord Italia, caratterizzate da contesti operativi diversi.

2. Materiali e metodi

Lo studio è stato compiuto in 4 aziende di bovine da latte di razza Frisona del nord Italia in cui erano installati sistemi di mungitura automatici Astronaut Lely (Lely Holding, Maassluis, the Netherlands) appartenenti a diverse generazioni e con differenti configurazioni. Nello specifico l'azienda 1 era dotata di un sistema A3 Next a singolo stallo con 61 capi in mungitura, l'azienda 2 possedeva un sistema A4 con un'unità centrale e un'unità di mungitura che serve 68 bovine, mentre nelle aziende 3 e 4 l'unità centrale dell'A4 controllava due unità di mungitura, per un totale di 117 animali in entrambe le realtà. Tutti gli AMS erano equipaggiati con un sistema per la disinfezione a vapore (circa 150 °C) dei prendicapezzoli tra due mungiture successive (Pura system), sebbene nell'azienda 4 fosse stato disabilitato e l'unità di mungitura fosse pulita solo con acqua a temperatura ambiente. In tutte le aziende era applicato uno schema a circolazione libera degli animali. In tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche dei sistemi analizzati.

Tabella 1. Principali caratteristiche e impostazioni degli AMS analizzati

¹ A3 Next = Lely Astronaut A3 Next (Lely Holding, Maassluis, the Netherlands); A4 = Lely Astronaut A4 (Lely Holding).

² Il compressore serve una seconda unità AMS non coinvolta nello studio. I consumi elettrici, pertanto, sono stati ripartiti equamente tra le due unità.

Azienda	AMS ¹	Installazione	Unità di mungitura	Pompa del vuoto (tipo, kW)	Compressore (tipo, kW)	Vuoto di sistema (kPa)	Frequenza di pulsazione (cicli/min)	Rapporto di pulsazione
1	A3 Next	2010	1	a lobi, 1.3	a vite, 7.5 ²			
2	A4	2013	1			43	60	65:35
3	A4	2012	2	a lobi, 1.1	a spirale, 3.7			
4	A4	2013	2					

I test sono stati realizzati nello stesso periodo, durante l'inverno 2014. Tutti gli AMS analizzati erano alimentati con una tensione di 380 V a 50 Hz. La potenza elettrica assorbita (W_t , kW) da ogni AMS (unità di mungitura + compressore) è stata misurata utilizzando due multimetri Qualistar CA 8334 con memoria interna (Chauvin Arnoux Metrix, Parigi, Francia) collegati ai quadri elettrici rispettivamente dell'AMS e del compressore dell'aria. Il periodo di misura è stato di 24 h per ciascun AMS (unità di mungitura + compressore), utilizzando una frequenza di campionamento di 0.2 Hz (1 campione ogni 5 s).

La potenza elettrica assorbita (W_t , kW) dall'unità di mungitura e dal compressore dell'aria di ogni AMS è stata calcolata con la seguente equazione:

$$W_t = W_{L1} + W_{L2} + W_{L3}$$

con $W_{L1} + W_{L2} + W_{L3}$ corrispondenti alla Potenza elettrica assorbita rispettivamente sulle fasi 1, 2 e 3.

L'energia elettrica utilizzata giornalmente (E_{Ed} , kWh) dall'unità di mungitura e dal compressore dell'aria di ogni AMS è stata calcolata con la seguente equazione:

$$E_{Ed} = \frac{\sum W_t \cdot \Delta t}{n}$$

con n = numero di campioni raccolti in 24 h (un campione ogni 5 s per un totale di 17,280 campioni nelle 24 ore).

L'energia elettrica totale utilizzata giornalmente (E_{Esd} , kWh) da ogni AMS è stata calcolata sommando le richieste energetiche dell'unità di mungitura e del compressore dell'aria, utilizzando la seguente equazione:

$$E_{Esd \text{ AMS}} = E_{Esd \text{ Unità mungitura}} + E_{Esd \text{ Compressore aria}}$$

Attraverso il software gestionale Lely Time For Cows (T4C, Lely Holding, Maassluis, the Netherlands) per ogni AMS sono stati misurati i seguenti dati: numero di bovine munte (n/AMS); produzione giornaliera di latte (l/AMS); produzione giornaliera media di latte per capo (l/bovina); tempo di visita del box di mungitura (h/giorno); flusso medio di raccolta del latte (l/min); numero giornaliero di mungiture per bovina (n/bovina).

Infine, per ogni AMS sono stati calcolati i seguenti consumi elettrici: giornaliero (kWh/AMS); giornaliero per capo (kWh/bovina); per mungitura (kWh/mungitura); per 100 l di latte (kWh/100 l).

3. Risultati

Le prestazioni degli AMS sono riassunte in tabella 2, mentre i relativi consumi elettrici giornalieri per capo, mungitura e 100 l di latte munto sono riepilogati in tabella 3.

Tabella 2. Prestazioni degli AMS installati nelle aziende in cui sono stati compiuti i rilievi energetici

Parametri	Azienda 1	Azienda 2	Azienda 3	Azienda 4
Unità di mungitura (n)	1	1	2	2
Bovine munte (n/AMS)	61	68	117	117
Mungiture giornaliere (n/AMS)	183	189	271	298
Mungiture giornaliere per bovina (n)	3.0	2.8	2.8	2.6
Produzione giornaliera (l/AMS)	2,470	2,193	3,827	3,609
Produzione giornaliera per capo (l)	40.5	32.2	32.7	30.8
Tempo medio di visita box mungitura (min/bovina)	6.1	5.8	5.8	7.1
Flusso medio di raccolta latte (l/min)	2.2	2.0	2.0	1.7
Tempo di visita box (h/giorno)	18.7	18.3	15.9	17.6
Tasso di occupazione (%)	77.9	76.2	66.3	73.3

Tabella 3. Consumi elettrici giornalieri per capo, mungitura e 100 l di latte munto negli AMS analizzati

Azienda	Consumo totale per bovina (kWh)	Consumo totale per mungitura (kWh)	Consumo totale per 100 l di latte (kWh/100 l)
1	0.99	0.33	2.44
2	0.67	0.24	2.07
3	0.59 ¹	0.21 ¹	1.80 ¹
4	0.70	0.27	2.25
Media	0.74	0.26	2.14

¹Pura system disabilitato

Il sistema A3 Next installato nell'azienda 1 ha mostrato un consumo giornaliero complessivo di energia elettrica (unità di mungitura + compressore d'aria) di oltre il 33 % superiore a quanto fatto registrare dall'A4 a singola unità di mungitura, presente nell'azienda 2 (60.3 vs. 45.4 kWh). Questa differenza è imputabile principalmente al compressore a vite utilizzato nell'A3 Next che risultava sovradimensionato rispetto alle reali necessità dell'azienda e, comunque, era già in partenza meno efficiente del compressore a spirale impiegato nel sistema A4. Il consumo elettrico giornaliero dei due compressori d'aria rappresentava infatti quasi il 67 % e circa il 37 % del consumo giornaliero complessivo di energia elettrica registrato rispettivamente nell'A3 Next dell'azienda 1 e nell'A4 a singola unità di mungitura dell'azienda 2. L'unità di mungitura del sistema A4 ha mostrato un consumo elettrico giornaliero di 28.8 kWh a fronte dei 20.0 kWh del sistema A3. La differenza potrebbe essere imputabile principalmente al braccio robotizzato, i cui movimenti orizzontali sono realizzati mediante un azionamento elettrico nell'A4 e pneumatico nell'A3 Next, nonché alla pompa del vuoto che nell'A4 è azionata da un motore elettrico con potenza del 15 % superiore (1.3 vs. 1.1 kW) rispetto all'A3 Next. Complessivamente i consumi elettrici per bovina munta, mungitura e 100 l di latte sono risultati di 0.99, 0.33 e 2.44 kWh per il sistema A3 Next e di 0.67, 0.24 e 2.07 kWh per il sistema A4 a singola unità di mungitura (Tabella 3).

Relativamente ai sistemi A4 con due unità di mungitura, i consumi di energia elettrica complessivamente registrati nelle 24 ore sono risultati pari a 68.8 kWh nell'azienda 3 e a 81.3 kWh nell'azienda 4. In questo caso, mentre i consumi dei compressori d'aria sono risultati simili (32.1 kWh nell'azienda 3 e 29.8 kWh nell'azienda 4), è stata riscontrata una differenza di quasi il 29 % nel consumo delle unità di mungitura (36.7 kWh nell'azienda 3 e 51.5 kWh nell'azienda 4), pur avendo i due sistemi prestazioni comparabili in termini di animali munti, mungiture giornaliere e produzione giornaliera (Tabella 2). Questa differenza è imputabile principalmente alla diversa gestione della pulizia dei prendicapezzoli tra due mungiture successive. Nell'azienda 4, dove sono stati registrati i maggiori consumi elettrici, infatti, il sistema per la disinfezione a vapore (150 °C) delle tetterelle (Pura system) era operativo, mentre nell'azienda 3 era stato disabilitato dall'allevatore, limitando la pulizia dei prendicapezzoli tra due mungiture successive all'uso di sola acqua a temperatura ambiente. Questa scelta, pur comportando un significativo risparmio energetico, potrebbe rivelarsi controproducente sotto il profilo igienico-sanitario comportando potenzialmente un incremento delle infezioni intramammarie (IMI) cui corrispondono maggiori costi veterinari, calo delle produzioni e peggioramento della qualità del latte. I maggiori consumi elettrici giornalieri osservati nell'azienda 4, potrebbero essere dovuti anche a un tempo visita box di circa il 17 % superiore a quanto riscontrato nell'azienda 3 (7.1 vs. 5.8 min). Complessivamente i consumi elettrici per bovina munta, mungitura e 100 l di latte sono risultati di 0.59, 0.21 e 1.80 kWh presso l'azienda 3, mentre all'azienda 4 sono risultati rispettivamente di 0.70, 0.27 e 2.25 kWh (Tabella 3).

I sistemi A4 con una e due unità di mungitura (aziende 2 e 4), caratterizzati da un diverso numero di mungiture giornaliere (189 vs. 298) e da una diversa produzione di latte per bovina (32.2 vs 30.8 l/giorno), ma da un tempo di visita per box (18.3 vs 17.6 ore/giorno) e da un tasso di occupazione (76.2 vs. 73.3 %) simili, hanno mostrato consumo elettrici per ora di occupazione dello stallo di mungitura comparabili, pari rispettivamente a 2.5 e 2.3 kWh.

4. Discussione e conclusioni

I risultati conseguiti in questo studio evidenziano che i consumi elettrici degli AMS testati siano dipesi principalmente da aspetti gestionali come l'uso del sistema per la disinfezione a vapore dei prendicapezzoli, la scelta di un compressore efficiente e correttamente dimensionato per l'apertura/chiusura dei cancelli di ingresso e uscita dello stallo di mungitura e per la movimentazione del braccio robotizzato, piuttosto che dalle caratteristiche e dall'architettura della macchina. Inoltre, a parità di tempo di visita dello stallo di mungitura e di impostazioni della macchina, il consumo elettrico per ora di occupazione della stazione robotizzata A4 è risultato simile, indipendentemente dal numero di unità di mungitura. Ciò suggerisce che la scelta tra due architetture di uno stesso AMS possa dipendere maggiormente dal prezzo di acquisto (un A4 con due unità di mungitura costa circa il 15 % in meno rispetto a due A4 a singola unità di mungitura) e dal layout della stalla piuttosto che da considerazioni energetiche.

Lo svolgimento della sperimentazione ha richiesto competenze tipiche della Meccanica Agraria, riconducibili alla scelta delle macchine - considerando aspetti funzionali, ingegneristici e gestionali - al loro dimensionamento e uso, al calcolo di tempi e costi relativi alle operazioni meccaniche. Partendo dall'analisi delle caratteristiche dei sistemi automatici di mungitura e di come queste macchine vengono impiegate nelle aziende di bovine da latte è stata impostata una sperimentazione avente come obiettivo quello di misurare i consumi elettrici di generazioni successive di AMS, in contesti operativi e gestionali diversi. Ciò in conseguenza principalmente dei seguenti fattori:

- ampia diffusione di questa tipologia di macchine. Le stime più recenti indicano in oltre 10,000 le aziende di bovine da latte che, a livello mondiale, utilizzano sistemi automatici di mungitura e questo numero è destinato a crescere nei prossimi anni, aumentando i consumi energetici relativi agli AMS;
- necessità di disporre di dati aggiornati sui consumi energetici degli AMS in relazione al fatto che sono state introdotte sul mercato nuove generazioni di macchine e che i loro consumi dipendono da molti fattori (configurazioni, impostazioni, condizioni operative e gestionali);
- volontà di misurare i consumi in contesti reali, in contrapposizione alla tendenza sempre più generalizzata di sostituire le misure con delle stime.

Lo studio qui proposto, similmente ad altri studi inquadrabili nella Meccanica Agraria, ha un taglio pratico-applicativo, con l'obiettivo di una rapida condivisione dei risultati con gli utenti, i costruttori e gli enti pubblici. In particolare i risultati ottenuti possono avere ricadute su:

- *costruttori*, per i requisiti progettuali (azionamenti elettrici vs. pneumatici, pompe del vuoto con portate maggiori...) che condizionano i consumi elettrici giornalieri dell'unità di mungitura;
- *allevatori*, per la scelta degli investimenti iniziali riguardanti l'utilizzo di dispositivi inadeguati (compressori sovra-dimensionati) che incrementano i consumi elettrici complessivi e/o per il controllo della gestione aziendale. A questo proposito è stato evidenziato, ad esempio, che: disabilitare alcuni dispositivi o funzionalità, come il sistema di disinfezione a vapore dei capezzoli, può ridurre sensibilmente i consumi elettrici dell'unità di mungitura ma espone potenzialmente a grandi rischi (mastiti), con gravi ripercussioni economiche (aumento costi veterinari, minor produzione di latte,

scadimento qualitativo del latte); avere elevati tempi di visita del box di mungitura fa aumentare i consumi elettrici giornalieri dell'unità di mungitura e diminuisce la produttività della macchina;

- *enti pubblici*, che attraverso successive analisi sistemiche di tipo energetico e/o ambientale - basate sui dati raccolti in campo e non su stime - potrebbero orientare le scelte degli attori coinvolti nel processo produttivo verso soluzioni *environment-friendly*.

Bibliografia

- Artmann, R. & Bohlsen, E. (2000). Robotic Milking, Proc. Int. symposium Lelystad, The Netherlands, 17- 19 August 2000, Wageningen Press, 221-231.
- Bijl, R., Kooistra, S.R. & Hogeveen, H. (2007). The profitability of automatic milking on Dutch dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 90, 239–248.
- Bouamra-Mechemache, Z., Jongeneel, R. & Réquillart, V. (2008). Removing EU milk quotas, soft landing versus hard landing. 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists – EAAE 2008, 1-13.
- Castro, A., Pereira, J.M., Amiama, C. & Bueno, J. (2012). Estimating efficiency in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.*, 95(2), 929-936.
- de Koning, K. (2011). Automatic milking: common practice on over 10,000 dairy farms worldwide. In: Proceedings of Dairy Research Foundation Symposium 2011, 16, The University of Sydney, Camden, Australia, Camden, NSW, Australia, 14–31.
- J. A. Jacobs & Siegford, J. M. (2012). Invited review: The impact of automatic milking systemson dairy cow management, behavior, health, and welfare *J. Dairy Sci.* 95, 2227–2247. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4943>
- Lips, M. & Rieder, P. (2005). Abolition of raw milk quota in the European Union: a CGE analysis at the member country level. *J. Agric. Econ.* 56(1), 1-26.
- Lyons, N.A., Kerrisk, K.L. & Garcia, S.C. (2014). Milking frequency management in pasture-based automatic milking systems: A review. *Livestock Science*, 159, 102-116.
- Mutze, K., Wolter, W., Bonsels, T. & Bernhardt, H. (2009). Milking hygiene and milk quality in Hessian dairy farms with automatic milking systems. *Landtechnik*, 64(6), 436-438.
- Rasmussen, J.B. & Pedersen, J. (2004). Electricity and water consumption at milking. *Farm Test – Cattle nr. 17*, 1-42, Danish Agricultural Advisory Service.
- Rotz, A., Soder, K. & Riley, S. (2004). Is Robotic Milking a Viable Option? USDA / Agricultural Research Service, Penn State University. <http://extension.psu.edu/animals/dairy/news/2004/is-robotic-milking-a-viable-option> (last access, 06 10 2015)
- Spahr, S.L. & Maltz, E. (1997). Herd management for robot milking. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17, 53-62.
- Stelwagen, K., Phyn, C. V., Davis, S. R., Guinard-Flament, J., Pomiès, D., Roche, J. R. & Kay, J. K. (2013). Invited review: Reduced milking frequency: Milk production and management implications. *J. Dairy Sci.* 96, 3401–3413.
- Upton, J. & O'Brian B. (2013). Analysis of energy consumption in robotic milking. Proceedings of 6th European Conference on Precision Livestock Farming. Leuven, Belgium, 10-12 September 2013, 465-470.

Wright, J. B., Wall, E. H. & McFadden, T. B. (2013). Effects of increased milking frequency during early lactation on milk yield and udder health of primiparous Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 91, 195–202.