



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
Facoltà di Agraria

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

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (DISAA)

XXIV ciclo

TESI DI DOTTORATO DI RICERCA

***Automazione della preparazione e distribuzione di
razioni completamente miscelate (TMR) o unifeed, per
bovine da latte: possibilità tecnologiche e ricadute
produttive, gestionali ed economiche***

Dottorando:
Dott. Carlo Bisaglia

Tutor: Prof. Roberto Pretolani
Prof. Luigi Bodria

Coordinatore Scuola di Dottorato di Ricerca: Prof. Roberto Pretolani

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

INDICE

Sommario	v
Introduzione	1
CAPITOLO 1. ANALISI DEI FATTORI ALIMENTARI	3
1.1 Fattori comportamentali	3
1.2 Fattori produttivi	6
1.3 Fattori fisiologici e metabolici	8
1.4 L'efficienza alimentare	9
CAPITOLO 2. ANALISI TECNOLOGICA	11
2.1 Evoluzione delle modalità di razionamento	11
2.1.1 Modalità tradizionali	12
2.1.2 Modalità unifeed o TMR	12
2.1.3 Il ruolo degli autoalimentatori	13
2.2 Meccanizzazione della preparazione e distribuzione di razioni unifeed	13
2.2.1 Lo sviluppo di nuovi sistemi di miscelazione	14
2.2.2 Criteri di scelta e di valutazione	29
2.2.3 L'uniformità di miscelazione	41
2.2.4 Proposta di un metodo per la valutazione dell'uniformità di miscelazione	53
2.2.5 Gli aspetti legati alla sicurezza	72
2.3 Tecniche di gestione della mangiatoia	81
2.3.1 Sistemi meccanici	82
2.3.2 Sistemi automatici	82
2.4 Sviluppo di sistemi automatici per il razionamento unifeed	84
CAPITOLO 3. ANALISI AZIENDALE	95
3.1 L'applicazione di sistemi automatici per l'unifeed in un sistema zootecnico-foraggero	95
3.1.1 Le caratteristiche aziendali	96
3.1.2 Le caratteristiche edilizie	97
3.1.3 L'allevamento e la suddivisione dei gruppi produttivi	97
3.1.4 Le modalità di razionamento	97
3.1.5 La meccanizzazione e la manodopera	98
CAPITOLO 4. ANALISI FUNZIONALE	105
4.1. Uniformità di miscelazione	113
4.3 Analisi del residuo in mangiatoia	125
4.4 Comportamento degli animali	125

4.5 Richieste di manodopera -----	140
CAPITOLO 5. ANALISI ECONOMICA-----	142
PRIME PROBLEMATICHE EMERSE E CONCLUSIONI -----	149
Ringraziamenti-----	150
Bibliografia-----	152
Appendici-----	158

Sommario

L'allevamento ha da sempre rappresentato un'attività economica di estrema importanza per l'uomo e, tutt'oggi, dà lavoro a circa un miliardo di persone nel mondo producendo quasi la metà dei generi alimentari necessari (FAO, 2012). Tuttavia, mentre nei paesi oggi definiti in via di sviluppo, tale allevamento assume ancora caratteristiche estensive in cui prevale la conduzione di mandrie di grandi dimensioni e il ricorso alla pastorizia (o al pascolo naturale turnato) esercitati su superfici molto estese assume, spesso, caratteristiche di nomadismo, nei paesi industrializzati esso è orientato verso l'aumento dei sistemi stanziali intensivi. In quest'ultimo caso, infatti, si consolidano spostamenti verso le aree dove si concentra la produzione di *commodities* per l'alimentazione animale con un progressivo abbandono delle piccole unità produttive a favore della costituzione di imprese di grandi dimensioni aventi caratteristiche "industriali".

Una situazione intermedia si registra nei paesi cosiddetti emergenti dove, come conseguenza delle crescenti disponibilità finanziarie della popolazione, lo sviluppo dell'allevamento avviene con modalità spesso caotiche, anche in aree delicate del territorio, e si basa su pratiche quali la deforestazione e l'eccesso di carico animale, con danni talvolta irreversibili per l'ambiente (FAO, LEAD, 2005).

Un'eccezione a tale riguardo può essere individuata nella tipologia di allevamento prevalente in Australia, dove, nonostante lo sviluppo tecnologico disponibile, gli allevamenti sono condotti secondo il principio della "basa resa - bassi costi", ricorrendo al pascolo turnato e accontentandosi di produzioni di latte modeste, cui corrispondono tuttavia anche ridotti problemi gestionali e sanitari rispetto alle modalità di allevamento intensive consentendo di trarre un bilancio positivo da tale modalità.

Dai contesti delineati, si evince palesemente come il primo aspetto problematico legato alla conduzione degli allevamenti zootecnici sia generato dal reperimento e dalla somministrazione degli alimenti (LEAD, 2012). Nel caso dei sistemi pastorali, in particolare, si evidenziano tre casi distinti: *i*) il nomadismo come elemento di equilibrio con il territorio dove l'allevamento si sposta alla ricerca del cibo imitando le grandi transumanze che avvengono in natura, *ii*) la deforestazione dove, invece, l'alimento è reperito a scapito di altre risorse naturali ritenute, nel contingente, non utili e *iii*) il pascolo turnato gestito. Nei primi due casi sono riportati casi di conflitto tra allevamento e agricoltura qualora il primo entri in competizione con le coltivazioni estensive sparse sul territorio e pertanto non possono essere definite allo stato attuale delle modalità sostenibili, mentre il pascolo turnato gestito trova la sua ragione d'essere qualora le superfici a disposizione non entrino in conflitto con altre utilizzazioni a maggior redditività e qualora il sistema economico possa reggersi sulle più basse produzioni ottenibili.

Nell'allevamento stanziale di tipo industriale, invece, l'obiettivo principale è quello di ottenere prodotti di origine animale di elevata qualità destinati a soddisfare la domanda dei mercati urbani interni o internazionali. Tali allevamenti sono sempre più di tipo specializzato e richiedono vaste superfici agricole meccanizzabili, spesso irrigue, per soddisfare le richieste di foraggi e mangimi concentrati di elevata qualità.

Questi sistemi sono generalmente considerati moderni ed efficienti e richiedono agli operatori elevati livelli di conoscenze e professionalità. Le tecniche di produzione sono solo limitatamente dipendenti dalle caratteristiche agro-ecologiche della zona o dal clima e ciò spiega la vasta diffusione mondiale dei sistemi zootecnici industriali.

La specializzazione produttiva caratterizza fortemente questi sistemi i quali si sono sviluppati maggiormente in quelle aree dove la presenza di superfici adeguate e la vicinanza con l'industria della trasformazione ha favorito la creazione di forti filiere.

La produzione di latte bovino nei paesi industrializzati non si discosta da quest'evoluzione portando alla concentrazione di bovine in unità produttive di dimensioni crescenti ognuna delle quali e generalmente costituite da una o pochissime razze specializzate.

In tale contesto, l'economicità della produzione di latte dipende largamente dalla scelta del sistema di alimentazione (Hollander et al., 2005). Questa scelta si pone, oggi, sia nella progettazione di nuove stalle sia nella ristrutturazione di edifici zootecnici esistenti oppure al momento di sostituire il sistema di alimentazione già ammortizzato oppure obsoleto.

Potenzialmente, oggi vi è una vasta scelta di sistemi di alimentazione la cui scelta comporta di analizzare una serie di fattori importanti (Krebbbers, 1994) quali:

- le dimensioni aziendali;
- le caratteristiche degli edifici;

- il numero di animali e la possibilità o la capacità di suddividerli in gruppi omogenei;
- la/le razioni da preparare e distribuire;
- la necessità di miscelare i singoli ingredienti;
- la disponibilità di manodopera specializzata;
- le modalità di somministrazione dei concentrati;
- la disponibilità di aree e strutture per lo stoccaggio;
- la durata del periodo di conservazione degli alimenti;
- la possibilità di ricorrere a contoterzisti o a manodopera sostitutiva;
- gli investimenti necessari;
- l'efficienza alimentare e la produzione di latte.

Tuttavia, dagli anni '60, si è diffuso un sistema di alimentazione divenuto gradualmente dominante che consiste nella pesatura dei singoli ingredienti in modo da fornire un apporto bilanciato di elementi nutritivi determinato sulla base delle esigenze produttive e riproduttive degli animali e nella loro successiva miscelazione – al fine di evitare la selezione da parte degli stessi – e distribuzione della miscela risultante in modo da metterla a disposizione, giornalmente, per un utilizzo *ad libitum*. Tale sistema, definito unifeed (da unique feed, alimento unico) o razione totalmente miscelata (TMR, total mixed ration) è stato progettato per supportare le elevate produzioni (in particolare di latte) oggi consentite dalla selezione genetica, proteggendo al contempo gli animali dalle malattie metaboliche o dalle dismetabolie generate da razioni estremamente ricche in concentrati e mangimi. Tale tecnica si basa sulla meccanizzazione totale di tutto il processo di prelievo, preparazione, miscelazione e distribuzione della razione per mezzo di tramogge mobili, trainate o semoventi, dotate di sistemi di miscelazione di vario tipo e nella distribuzione – una o due volte al giorno – della miscela risultante. La possibilità di operare con diversi foraggi e/o diverse quantità relative degli stessi al fine di pervenire alla formulazione finale della razione, ha portato a sviluppare diversi sistemi meccanici di miscelazione senza tuttavia modificare lo schema alimentare di base fondato sulla messa a disposizione giornaliera e *ad libitum* di tutta la dote nutrizionale prevista. Inoltre, per avere la certezza che tutti gli animali abbiano la possibilità di accedere alla razione nell'arco delle 24 ore, tale tecnica si basa sull'osservazione e valutazione del residuo non utilizzato rimasto in mangiatoia al termine del periodo di riferimento, determinando, sulla base di tale informazione, eventuali aggiustamenti quantitativi da apportare.

Tale modalità di razionamento, nonostante la generale preferenza accordata da nutrizionisti e allevatori, non sembra consentire spazi di gestione delle modalità di assunzione da parte degli animali che generalmente tendono ad ingerire grandi quantitativi di alimento al momento della distribuzione e per le prime ore seguenti, operando una continua selezione delle parti più appetite, nel periodo successivo; tale selezione avviene con movimenti rotatori del capo e di allungamento del collo con successiva dispersione della razione, obbligando l'allevatore a successivi e reiterate operazioni di riavvicinamento della razione nel corso delle 24 ore, eseguite manualmente oppure con macchine appositamente concepite o con sistemi automatici.

Tale sistema, pertanto, si basa sulla presenza di un operatore che, ad orari prestabiliti, esegua le operazioni di razionamento e di riavvicinamento della miscela. La manodopera, pertanto, svolge un ruolo importante anche nell'applicazione di una tecnica ad elevato livello di meccanizzazione come l'unifeed non solo per quanto riguarda le richieste totali, ma anche relativamente alla divisione giornaliera e settimanale dei compiti. Inoltre, l'utilizzo del tempo per le operazioni in stalla è rigidamente determinato dagli orari delle lavorazioni indifferibili quali, ad esempio, la mungitura, l'alimentazione, la pulizia e le cure; tra le attività quotidiane è possibile infatti stimare che il 25% del tempo trascorso in allevamento sia dedicato alle operazioni correlate con l'alimentazione (Belt, 1983; Bisaglia, 2004). A questo costo, va aggiunto anche il costo annuale della meccanizzazione che rappresenta un punto importante su cui basare la decisione di un eventuale acquisto di tecnologia, in particolare con i sistemi di meccanizzazione che prevedono un uso stagionale delle macchine e, quindi, con un'elevata incidenza dei costi fissi su quelli variabili.

In tale contesto, la recente introduzione di sistemi automatici per la preparazione e distribuzione di razioni unifeed, potrebbe rivoluzionare tali modalità operative sfruttando tutti i vantaggi nutrizionali derivanti dal fornire alla mandria razioni totalmente miscelate, ma affidando a dispositivi automatici buona parte dei compiti di preparazione e distribuzione della razione, evitando la rigidità dell'intervento umano - ed i possibili errori - potendone impostare frequenza e orari di intervento.

Data la recente e non sistematica introduzione dei sistemi automatici per l'unifeed negli allevamenti bovini da latte e considerata la necessità che tale tecnologia si interfacci con tutti gli aspetti correlati alla fisiologia degli animali cui è rivolta considerando anche possibili interazioni inedite rispetto alle modalità di foraggiamento attualmente conosciute, il presente lavoro ha inteso affrontare, nel Capitolo 1, l'analisi dei fattori alimentari fino ad oggi noti e di cui l'automazione del razionamento dovrebbe correggere gli eventuali aspetti problematici ed enfatizzare – o perlomeno – mantenere – i risultati produttivi e sanitari oggi ottenibili mediante l'alimentazione.

Nel Capitolo 2 è stata affrontata un'analisi delle tecnologie disponibili per il foraggiamento dei bovini focalizzando l'attenzione sui più recenti sistemi automatici; a tal fine è stata effettuata una prima ricognizione su vasta scala dei produttori di sistemi automatici esistenti, proponendo una classificazione tecnico-funzionale delle tecnologie reperite.

Nel Capitolo 3, grazie alla cooperazione stabilita con alcuni Centri di Ricerca Europei ed alcuni tra i costruttori di sistemi automatici individuati e resi disponibili, è stato identificato un gruppo di allevamenti dotatisi recentemente di un sistema automatico di distribuzione di razioni unifeed al fine di attivare un'indagine conoscitiva presso gli allevatori al fine di reperire alcuni primi indici sull'utilizzo di tale tecnica.

Nel Capitolo 4 si riferisce di una sperimentazione in campo eseguita in una delle più recenti stalle automatiche individuate nei Paesi Bassi al fine di determinare sperimentalmente la ripetibilità da parte dei sistemi automatici a realizzare, con elevata frequenza, le miscele desiderate con l'obiettivo di indagare sul livello di omogeneità di miscelazione sia all'interno di ogni singola miscela che tra miscele successive.

Agli obiettivi principali del presente lavoro sopra citati, è stata affiancata una prima indagine tecnico-economica illustrata al Capitolo 5, sulla introducibilità di tali sistemi in stalle italiane esistenti.

Infine, nella discussione si fa cenno alle prime problematiche emerse che potranno costituire ulteriori temi di ricerca per l'immediato futuro in vista di una possibile introduzione di questa tecnologia anche nel nostro Paese.

Introduzione

La tecnica di alimentazione *unifeed* per bovini da latte e da carne – definita anche TMR secondo un acronimo riconosciuto in campo internazionale che sta per Total Mixed Rations – è diventata, negli ultimi anni, una delle modalità di alimentazione di riferimento (Linn, 1995; Barmore, 2002) in grado di influire significativamente sulla grande diffusione della meccanizzazione relativa rappresentata, attualmente, quasi esclusivamente da carri trincia-miscelatori, sia trainati che semoventi, azionati da un operatore. Sulla scia di questo successo, anche l'unifeed parziale (o PMR) ha avuto una discreta diffusione in quei Paesi, tra cui l'Italia alcuni anni fa e oggi in molti Paesi del Nord Europa, in cui si fa ricorso ad integrazioni di mangime fornito automaticamente, al di fuori della razione principale preparata con il carro miscelatore, mediante auto-alimentatori.

Le tecnologie per l'alimentazione automatica di bovini, infatti, sono ben conosciute, anche se limitatamente alla distribuzione di concentrati o di singoli ingredienti grossolani della dieta (per es.: fieni, insilati, ecc.). Tuttavia, negli ultimi 5-8 anni stanno rapidamente crescendo d'importanza sistemi automatici per l'unifeed (Pompe et al., 2004) in grado di preparare e distribuire razioni TMR o PMR. Sono stati individuati circa 17 costruttori che producono sistemi automatici (o robot) per l'unifeed (Bisaglia et al., 2010) con diverse tipologie progettuali o operative (Nydegger e Grothmann, 2009). Inoltre si stima che siano circa 300-400 le aziende zootecniche che utilizzano questa tecnologia, principalmente situate in Nord Europa, Canada e Giappone.

Uno degli aspetti determinanti che caratterizza questa tecnica di alimentazione è la possibilità di aumentare la frequenza di distribuzione nell'ottica di gestire l'assunzione di sostanza secca, stimolare l'attività degli animali, ridurre i residui in mangiatoia, adattare il volume della razione a gruppi di diverse dimensioni oppure di dimensioni variabili, di ridurre le esigenze di spazi coperti e/o di aree improduttive (corsie di alimentazione, aree di attesa, ecc.). Attualmente, nel caso di adozione della tecnica unifeed in modalità convenzionale – che ai fini della presente relazione si considera quella basata sull'utilizzo di carri trincia-miscelatori – la distribuzione della razione viene generalmente eseguita con 1-2 cicli al giorno per ogni gruppo, cui segue un numero variabile di ri-avvicinamenti (da 1 a 5) della razione sparsa dagli animali al fine di riempire nuovamente la mangiatoia. Questa modalità di alimentazione, se si considerano solo gli aspetti gestionali, sembra non differire molto dalla tradizionale tecnica di alimentazione *ad libitum* che veniva adottata prima dell'avvento dell'unifeed stesso. Si potrebbe pertanto ipotizzare che l'unifeed abbia introdotto la possibilità – importantissima – di pesare gli ingredienti, ma non di influire sulla gestione dell'assunzione di alimento presentando, pertanto, una criticità di notevole importanza, anche se da confermare.

La possibilità di ottimizzare l'efficienza delle conversioni in latte o carne degli alimenti zootecnici utilizzando avanzamenti tecnologici e gestionali, senza ipotetici interventi sulla genetica degli animali o sulla composizione della dieta, è sembrata, allo scrivente, un'opportunità di indagine di estremo interesse al punto da motivarlo ad avanzare una richiesta di collaborazione ad uno dei Gruppi di ricerca più attivi al mondo in tale campo nell'ambito del Progetto “Stage all'estero” proposto dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA) con finanziamento del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF).

Il gruppo di ricerca che ha accettato la proposta dello scrivente è il Farm Technology Group della Wageningen University, Paesi Bassi, nella persona del suo Direttore, Prof. Peter Groot Koerkamp, che ha affidato il tutoraggio dello scrivente alla Prof. J.C.A.M. (Hanneke) Pompe in quanto docente del gruppo avente interessi e attività di ricerca su: “Sistemi automatici di alimentazione per bovine da latte” e su: “Comportamento animale e azioni di gestione correlate”.

Obiettivo concordato con la Wageningen University e approvato dal CRA e dal tutor dell'Università di Milano, prof. Franco Sangiorgi, era di stabilire un periodo di cooperazione di 6 mesi (dal 1 dicembre 2009 al 31 maggio 2010) durante il quale investigare sullo stato dell'arte della tecnologia riguardante la distribuzione automatica di razioni unifeed ed effettuare una prima osservazione sperimentale sui principali aspetti qualitativi e gestionali ottenibili preparando razioni con un sistema automatico rappresentativo della produzione attuale ed utilizzato in un allevamento commerciale di bovine da latte.

I risultati che ci si attendeva dall'indagine erano di avere un panorama aggiornato sulle tecnologie e sul mercato attuale; mentre dalle prove in campo si intendeva verificare la capacità delle attrezzature automatiche a garantire la sufficiente uniformità di miscelazione e di distribuzione delle particelle tra la razione attesa e le *n* razioni reali preparate dal sistema nel corso della giornata di funzionamento.

Inoltre, poiché ci si attendeva che l'elevata frequenza di distribuzione di piccoli pasti potesse stimolare l'attività delle bovine spingendole a terminare i quantitativi presenti in mangiatoia e riducendo sia la selezione operata sugli ingredienti più appetibili sia gli scarti, si è inteso analizzare anche gli aspetti relativi alla forma fisica della razione preparata con robot e attivare una prima indagine comportamentale degli animali mediante videoregistrazione.

Infine, le richieste di manodopera e i costi sono stati considerati nell'analisi di un sistema robotizzato e tenuti in considerazione per una possibile conversione degli allevamenti, da meccanizzati ad automatizzati.

In definitive gli obiettivi specifici della ricerca erano:

- i. indagine sui sistemi automatici a frequenza programmabile per l'alimentazione unifeed: stato dell'arte e tecnologie disponibili;
- ii. indagine sulla diffusione della tecnologia per l'automazione dell'unifeed in alcune aziende zootecniche Olandesi;
- iii. analisi dell'uniformità di miscelazione di un sistema automatico in un allevamento commerciale;
- iv. analisi della distribuzione di fibra e della presenza di scarti in mangiatoia;
- v. comportamento delle bovine sottoposte ad un regime alimentazione/mungitura totalmente robotizzato;
- vi. richieste di manodopera;
- vii. analisi dei costi.

Data la diversità delle azioni intraprese - pur focalizzate sull'obiettivo comune dell'automazione dell'unifeed - nel corso del presente lavoro si riferirà, in capitoli separati, sulle indagini preliminari effettuate e sulle azioni svolte con i primi risultati conseguiti.

CAPITOLO 1. ANALISI DEI FATTORI ALIMENTARI

1.1 Fattori comportamentali

L'elevata ingestione di sostanza secca (s.s.) da parte delle bovine da latte è un pre-requisito essenziale per sostenere un'alta produzione di latte - in particolare nella prima fase di lattazione - e per mantenere in buone condizioni di salute gli animali. Fino ad oggi moltissime ricerche hanno posto l'accento sulla possibilità d'incrementare l'ingestione di s.s. agendo sulla composizione nutrizionale della razione (integratori, alimenti particolarmente appetiti, miscele, ecc.). Tuttavia, è innegabile considerare come l'assunzione di s.s. di una mandria in un allevamento confinato - come è il caso degli allevamenti moderni intensivi - sia influenzata anche dal comportamento delle bovine che, a sua volta, è condizionato dall'ambiente, dalle tecniche di gestione, dallo stato sanitario e dalle interazioni sociali (Grant e Albright, 2001; DeVries et al., 2005). Studi precedenti, avevano dimostrato che la produzione di latte è altamente e positivamente correlata all'ingestione di s.s. (Dado e Allen, 1994; Shabi et al., 2005; Kononoff et al., 2006). Nel 1993, Chase aveva riportato che il primo passo da compiere nello sviluppo di un programma alimentare per bovine altamente produttive era di progettare un sistema di alimentazione che consentisse agli animali di raggiungere e mantenere nel tempo un alto livello d'ingestione di s.s. Altri ricercatori (Grant e Albright, 2000) hanno verificato che il tempo passato in mangiatoia e la suddivisione giornaliera dei pasti hanno un effetto sull'assunzione di s.s. Di conseguenza, lo sviluppo di sistemi computerizzati per registrare il comportamento alimentare delle bovine ha consentito di ottenere importanti informazioni sul comportamento degli animali, con particolare riferimento alle modalità di assunzione giornaliera di alimenti (Nielsen, 1999). L'analisi del comportamento alimentare eseguita da alcuni ricercatori (Dürst et al., 1993; Forbes, 1985; Kertz et al., 1991; Tolcamp et al., 2000) sul corto periodo (5 settimane *post partum*) hanno rivelato che le bovine con età più avanzata hanno ritmi d'ingestione più veloci rispetto alle primipare; di conseguenza, l'identificazione delle ragioni comportamentali tra animali ad elevata produzione e animali a bassa produzione può aiutare a comprendere come migliorare l'ingestione di s.s. e se il sistema di alimentazione può avere un ruolo nell'influire su tale comportamento.

Per le finalità del presente studio, risultano molto interessanti gli studi di Nielsen (1999) il quale conclude che uno schema alimentare applicabile alle bovine da latte può essere individuato da tre parametri principali:

1. la frequenza (o numero) dei pasti nelle 24 ore;
2. la quantità media di alimento assunta ad ogni pasto;
3. la durata media di ogni pasto.

Tali parametri possono rappresentare i vertici di un triangolo equilatero, come riportato in Fig. 1, dove, secondo la definizione fornita da Nielsen:

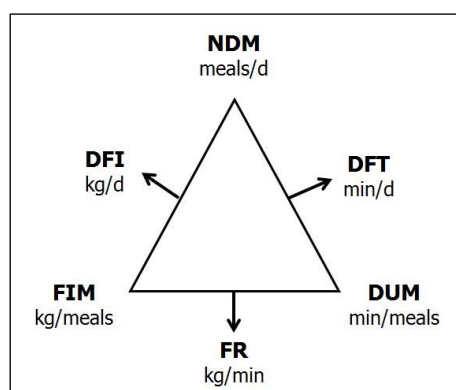


Fig. 1 – Componenti del comportamento alimentare di bovine e relative interrelazioni (spiegazioni delle sigle nel testo).

NDM = (Number of Daily Meals) è il numero dei pasti giornalieri;

FIM = (Average Feed Intake per Meal) è la quantità media di alimento assunto per ogni pasto.

DUM = (Average Duration of Meal) è la durata media di ogni pasto.

A tali parametri principali, Nielsen associa altri tre parametri che possono essere derivati da quelli precedentemente elencati. Tali parametri derivati sono:

1. il tempo di alimentazione giornaliero;
2. la velocità d'ingestione;
3. la quantità di alimento assunta giornalmente.

Tali parametri sono riportati in figura come:

DFT = (Daily Feeding Time) o tempo di alimentazione giornaliero;

FR = (Feeding Rate) o velocità di alimentazione;

DFI = (Daily Food Intake) o quantità giornaliera ingerita.

L'interdipendenza tra parametri principali e parametri derivati è ben evidenziata in quanto, ad esempio, la quantità ingerita giornalmente (esprimibile in kg/d) è calcolata come il prodotto tra il numero dei pasti giornalieri (pasto/d) e la quantità media di alimento assunto per ogni pasto (kg/pasto). Analoghe considerazioni possono essere effettuate per gli altri parametri elencati.

Sebbene le relazioni d'interdipendenza sopra evidenziate sembrino ovvie dal punto di vista aritmetico, in realtà esse sottendono un altissimo numero di fattori, alcuni dei quali costituiscono fattori limitanti o fortemente limitanti l'applicazione puramente aritmetica del modello.

Un esempio potrà illustrare meglio tale concetto fondamentale: l'incremento nella quantità di alimento assunta giornalmente potrà essere determinato variando il numero di pasti/d oppure la quantità di alimento per pasto, ma non sarà possibile raggiungerla aumentando la velocità di assunzione eccetto che tale velocità derivi da un incremento della quantità assunta per pasto associata ad una diminuzione della frequenza di distribuzione dei pasti. Da ciò consegue che i tre parametri derivati non sono a priori correlati tra di loro. Inoltre, la rappresentazione di figura 1 indica che se sono noti i tre parametri apicali del modello è possibile calcolare gli altri tre; tuttavia, non è vero il contrario in quanto gli stessi valori relativi a: quantità ingerita giornalmente, velocità di alimentazione e tempo di alimentazione giornaliero, possono essere ottenuti con diverse combinazioni di: durata media dei pasti, numero di pasti giornalieri e quantità assunta ad ogni pasto.

Inoltre, un altro aspetto da considerare nello studio del comportamento alimentare è legato al fatto che le correlazioni individuate tra i parametri principali non sono sempre lineari. Un esempio è dato dalla correlazione tra la quantità ingerita ad ogni pasto e il numero di pasti giornalieri registrati in un gruppo di 10 vacche osservate per 21 giorni (Fig. 2).

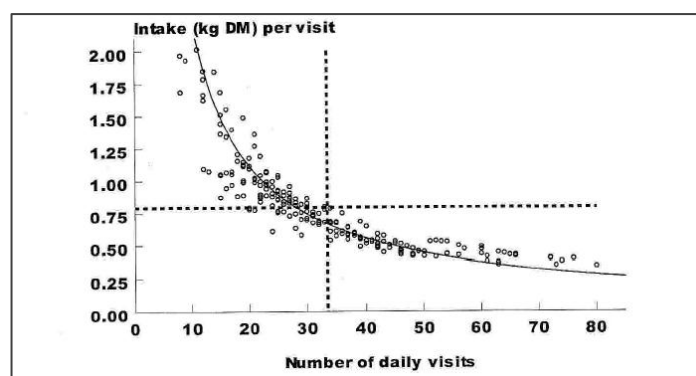


Fig. 2 – Ingestione di s.s. per visita in mangiatoia all'aumentare delle visite giornaliere di 10 vacche durante 21 giorni di osservazione (Friggens et al. 1998).

Come si nota, il valore medio di alimento ingerito giornalmente (25,5 kg/d di s.s.) si ottiene con una quantità di alimento assunto per ogni pasto pari a 0,793 kg; tuttavia, la curva di regressione indica che il quantitativo medio di alimento realmente ingerito è pari a 22,3 kg/d di s.s. denotando una generale sovrastima del modello basato sul comportamento di un singolo animale rispetto a quanto avviene in un gruppo.

A conferma di quanto riportato, ma mettendo a disposizione dei dati sperimentali riferiti al comportamento alimentare di vacche da latte in funzione del numero di parti, della produzione di latte ed in condizioni stabulative reali, una recente ricerca (Azizi et al., 2009) conferma come le bovine siano propense ad effettuare un relativamente elevato numero di pasti giornaliero (n.=7-8) assumendo

relativamente poco alimento ad ogni pasto (Tabella 1). Questi dati confermano come sia necessario consentire agli animali ampia libertà di accesso al cibo mediante opportuni metodi di razionamento *ad libitum* di cui l'unifeed sembra rappresentare a tutt'oggi quello di riferimento.

Tab. 1 – Caratteristiche medie del comportamento alimentare di bovine da latte in diverse condizioni riproduttive e con diverse performance produttive (BP=Bassa Produzione, AP=Alta Produzione)

Parametro	Primipare		Pluripare	
	BP	AP	BP	AP
Frequenza dei pasti (n./d)	8,74	8,59	7,49	7,21
Durata dei pasti (min/pasto)	36,97	36,87	38,48	35,72
Tempo di alimentazione giornaliero (min/d)	300,85	298,60	271,97	244,62
Quantità ingerita per pasto (kg/pasto di s.s.)	2,24	2,35	3,15	3,42
Quantità giornaliera ingerita (kg/d di s.s.)	18,28	19,08	22,27	23,44
Velocità di ingestione (g/min di s.s)	64,67	67,92	88,34	102,07

Tuttavia, tale ricerca non mostra: i) quali siano gli orari in cui gli animali preferiscano nutrirsi, ii) se il ritmo d'ingestione varia nell'arco delle 24 ore e iii) se l'animale eserciti delle preferenze o delle scelte nei confronti dell'alimento.

Rispetto alla prima questione, si ritiene che gli animali inizino a nutrirsi con particolare intensità dopo la mungitura e al momento della distribuzione dell'alimento non solo per il desiderio di nutrirsi, ma anche per lo stimolo positivo che la messa a disposizione di alimento – spesso mediante macchine ben visibili ed udibili, una o più volte al giorno – provoca negli animali (Speroni, 2004).

Per quanto riguarda il mantenimento di un elevato ritmo d'ingestione, alcune ricerche (Wagner-Storch e Palmer, 2003; Bailoni et al., 2006) indicano come esso diminuisca nel corso della giornata anche se rimane intensa l'opera di selezione alla ricerca delle componenti più appetite.

Quest'ultimo fattore relativo alle preferenze esercitate dagli animali è stato affrontato, ma non risolto, dall'introduzione della tecnica unifeed. Infatti, da molto tempo (Cole e Mead, 1943) e molti autori (Konoff, 2005; DeVries et al., 2008; Miller-Cushon e DeVries, 2009) hanno dimostrato non solo che la lunghezza di trinciatura ha un ruolo fondamentale sulle fermentazioni ruminali, ma che anche le razioni unifeed, generalmente intese come risoltrici del problema della forma fisica della razione, sono in realtà soggette a selezione (Fig. 3) e, pertanto, variano nella loro composizione chimo-fisica nel corso del periodo di disponibilità in mangiatoia.

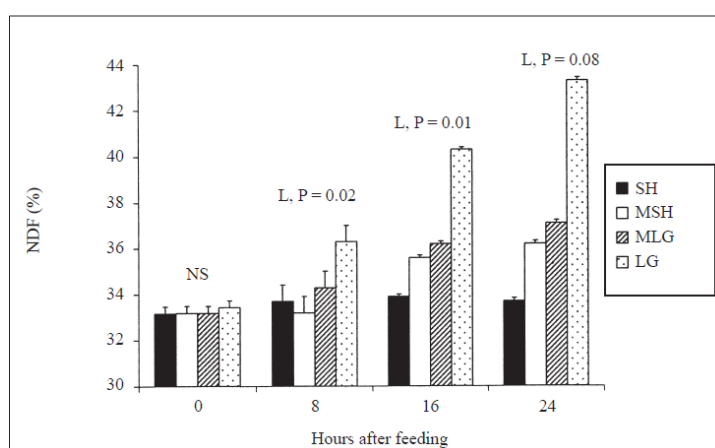


Fig. 3 – Effetto della riduzione nella dimensione delle particelle di foraggio in seguito a trinciatura sul tenore in NDF della razione distribuita (h 0) e dei relativi residui in mangiatoia dopo 8, 16 e 24 ore dalla distribuzione (SH=foraggio corto; MSH=foraggio mediamente corto; MLG=foraggio mediamente lungo; LG=foraggio lungo. Da Konoff, 2003).

Si nota, infatti, che dopo 24 ore dalla distribuzione la razione con foraggio lungo è stata ampiamente selezionata dagli animali che hanno lasciato in mangiatoia elevate percentuali di fibra

lunga (> 19,0 mm), poco appetita, rispetto alla razione caratterizzata da una trinciatura spinta con la conseguenza pratica di aver ridotto l'attività di masticazione (e, quindi, di produzione di saliva) per unità di alimento consumata.

Pertanto, riportando i risultati di tali ricerche e con riferimento alla tecnica unifeed attuale, si può evidenziare come tale modalità di alimentazione, benché costituisca – come si vedrà più avanti – la modalità di riferimento oggi generalmente indicata, essa non sia in grado di influire significativamente sui parametri <velocità d'ingestione> e <selezione da parte degli animali>; questo perché i numerosi pasti giornalieri concessi agli animali dalla disponibilità permanente della razione in mangiatoia, in realtà siano realizzati da una o al massimo due distribuzioni giornaliere, spingendo gli animali ad assumere rapidamente circa il 30% della quantità giornaliera di alimento entro le prime 3 ore dalla distribuzione (Fig. 4), attivando un'evidente competizione in mangiatoia e rendendo impossibile ogni intervento di regolazione della velocità d'ingestione da parte dell'allevatore e della selezione dei componenti più appetiti da parte degli animali. Quest'ultimo aspetto è stato affrontato aumentando la trinciatura delle razioni unifeed, ma come si vedrà più avanti, tale prassi non costituisce una soluzione al problema in quanto ne introduce altri altrettanto critici.

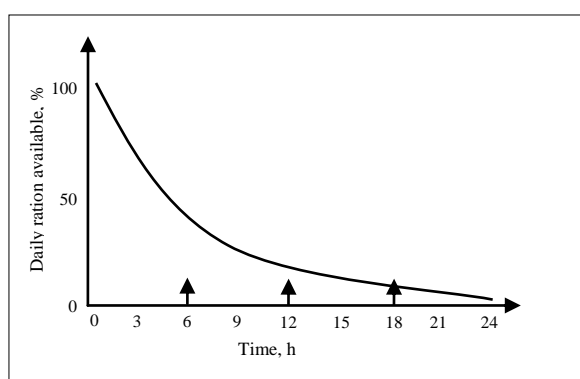


Fig. 4 – Grado di riempimento della mangiatoia nelle 24 ore successive alla distribuzione di razioni unifeed. Nelle prime 3 ore viene consumato circa il 30% dell'intero quantitativo. Le frecce indicano gli interventi di avvicinamento in mangiatoia della razione (Bailoni et al. 2006, adattato)

Con un sistema di distribuzione a frequenza elevata (fino a 15 cicli/d) e con diverse strategie di gestione della distribuzione nelle 24 ore sembrerebbe possibile introdurre un maggior controllo sia della velocità di alimentazione, sia della competitività in mangiatoia.

1.2 Fattori produttivi

Tra i fattori in grado di influire sulla produzione di latte, ve ne sono principalmente due legati, rispettivamente, agli aspetti alimentari ed agli aspetti non alimentari.

Tra i fattori alimentari vi è senza dubbio – come già accennato nel paragrafo precedente – la quantità di s.s. ingerita, ma, oltre ad essa, anche la composizione chimica della razione e la composizione fisica della stessa assumono un ruolo fondamentale.

I primi due fattori sono stati oggetto di numerosi studi a partire dagli anni '30, epoca in cui si iniziò ad ipotizzare di integrare gli elementi nutritivi contenuti nei foraggi con proteine, glucidi ed elementi vitaminici e minerali al fine di incrementare le produzioni di latte e, contemporaneamente, attivare un settore commerciale nuovo, legato all'integrazione alimentare zootecnica.

Molte ricerche svolte negli Stati Uniti ed in Francia hanno portato a definire dei modelli di riferimento per la costituzione di razioni alimentare bilanciate atte a soddisfare – per quantità e qualità – le esigenze produttive e riproduttive degli animali allevamento in funzione di numerosi parametri biologici (peso vivo, età, stato riproduttivo, produzione di latte o carne, entità della produzione, stagionalità, ecc.). Tra i modelli proposti, quelli di maggior successo sono quelli messi a punto dall'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, France), dal NRC (National Research Council, U.S.A.) o dalla Cornell University, NY, U.S.A. Quest'ultima, in particolare, ha messo a punto un sistema di razionamento (Cornell Net Protein and Carbohydrate – CNPC) in grado di

prevedere la produzione supportata, il pH ruminale, il livello di urea nel plasma e nel latte, l'accumulo o il consumo di riserve corporee, ecc. (Fox et al. 2004).

Recentemente (Lammers et al., 1996; Heinrichs et al. 1999; Konoff e Heinrichs, 2007), è stata evidenziata e confermata l'importanza anche della composizione fisica degli alimenti forniti agli animali in particolare per i ruminanti ad elevata produzione, cui sono somministrate razioni particolarmente dense dal punto di vista energetico, ma che devono essere bilanciate anche per quanto riguarda alcune frazioni fibrose (NRC, 2001) al fine di non provocare – tra gli altri effetti – disordini metabolici, riduzione del tenore di grasso nel latte, dislocazione dell'abomaso, ridotta digeribilità della s.s., incremento dell'incidenza di laminiti, acidosi, sindrome della vacca grassa (Sudweeks et al., 1981). Sorprendentemente, a tutt'oggi non esistono prescrizioni ufficiali sulla lunghezza minima della fibra che deve essere garantita e fornita alle bovine da latte, tuttavia è stato appurato che vacche che consumano una quantità sufficiente di fibra – rilevata con metodi analitici di carattere chimico come, in particolare, quello delle frazioni fibrose proposte da Van Soest di cui la fibra residua al detergente neutro (NDF) rappresenta uno dei più importanti – ma senza un apporto adeguato di foraggio lungo, hanno evidenziato anch'esse disordini metabolici (Weston e Kennedy, 1984; Fahey e Berger, 1988). Si è visto, infatti, che la presenza di fibra, ma eccessivamente trinciata, apporta particelle di foraggio le cui dimensioni riducono il tempo di ruminazione con il conseguente abbassamento del pH ruminale (Woodford e Murphy, 1988); tale fenomeno è dovuto alla minor produzione di saliva la quale svolge un ruolo di tampone dell'acidità. Al contrario, parametri fisici quali la densità e la conseguente galleggiabilità delle particelle di foraggio specialmente se aventi caratteristiche dimensionali diverse, si è visto giochino un ruolo altrettanto importante nella nutrizione influenzando la velocità di transito ruminale dell'alimento ingerito (Welch, 1990). Normalmente, infatti, le bovine ingeriscono particelle di foraggio di dimensioni anche molto diverse; questo fatto, unitamente alla frequenza di foraggiamento e alla quantità ingerita, può favorire la stabilità delle funzioni digestive all'interno del rumine e contribuire a modulare il seguente transito del prodotto digerito nei successivi tratti dell'apparato digerente. La dimensione media delle particelle ed il campo di variazione della stessa sono, quindi, di estrema importanza nutrizionale per i ruminanti (Van Soest, 1982). Poiché, come si è visto, la distribuzione delle dimensioni delle particelle di foraggio è importante dal punto di vista nutrizionale, ai fini di una corretta gestione dell'alimentazione è necessario fornire una descrizione dell'incidenza delle varie classi dimensionali piuttosto che la semplice lunghezza media delle stesse (Mertens et al., 1984). Diverse metodiche sono oggi disponibili per tale determinazione; queste si basano sia su apparati da laboratorio dotati di torri di setacci vibranti aventi dimensioni delle maglie decrescenti come, ad esempio, quanto proposto dall'ASABE (2003) oppure su metodi semplificati di cui il più diffuso è stato sviluppato da Lammers et al. (1996) basato su tre setacci portatili ed un contenitore terminale azionato, a mano, direttamente dall'operatore secondo una procedura codificata.

Tra gli aspetti non nutrizionali, il comfort e il basso livello di competitività tra le bovine per le risorse (cibo, spazio, ecc.) sembrano rappresentare i fattori principali in grado di influire sulla produzione di latte (Krawczel e Grant, 2009). Un eccessivo numero di capi rispetto alla disponibilità di cuccette oppure la presenza di spazi lineari in mangiatoia riferiti al singolo capo inferiori a quanto raccomandato (0.6 m; Grant e Albright, 2001), è una prassi spesso utilizzata nella pratica per aumentare la dimensione della mandria senza investire nelle strutture stabulative (Bewley et al., 2001). Gli effetti sul breve e lungo periodo di tali modalità gestionali non sono ancora perfettamente noti, tuttavia si pensa possano influire non solo sul comportamento degli animali, ma anche sulla loro produttività e stato di salute. Infatti, i tre comportamenti animali che influiscono maggiormente su tali parametri, sono: i) il riposo, ii) l'assunzione di cibo e iii) la ruminazione. In generale, è stato dimostrato (Grant, 2007) che le vacche hanno la necessità di 12 - 14 ore di riposo e di 3 - 5 ore per l'assunzione di cibo (Tabella 2).

Tabella 2. Ripartizione delle attività giornaliere in bovine da latte.

Attività	Tempo dedicato all'attività (h/d)
Assunzione di cibo	3 - 5
Riposo	12 - 14
Interazioni sociali	2 - 3
Ruminazione	7 - 10
Assunzione di acqua	0,5
Gestione	2,5 - 3,5

Come si nota, queste due necessità principali (nutrizione e riposo) richiedono il 60-80% del tempo giornaliero di 24 ore a disposizione, lasciando uno spazio ridotto e ben definito alle attività di gestione (p. es.: mungitura, cure, ecc.).

Inoltre, si deve considerare che le bovine, dovendo scegliere una priorità tra il riposo e l'assunzione di cibo, preferiscono il riposo come dimostrato recentemente da Munksgaard et al. (2005) e riportato anche da Bach et al. (2008) in sperimentazioni condotte in stalle appositamente sovra-affollate dove si è osservato come gli animali decidano di passare molto più tempo in attesa che si liberi una cuccetta rispetto a quanto siano disposti ad attendere affinché si liberi un posto in mangiatoia. Risulta anche molto interessante la comparazione eseguita da Grant (2007) in cui si riporta la relazione tra le ore di riposo (che a loro volta sono risultate correlate con i parametri legati alla disponibilità di spazio nell'edificio zootecnico come riportato da Fregonesi et al., 2007; Hill et al. 2007; Krawczel et al., 2008) e la produzione di latte (Fig. 5).

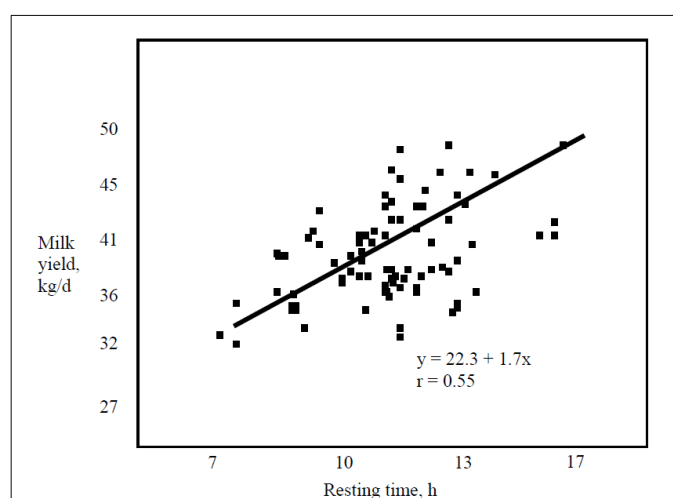


Fig. 5 – Relazione tra la produzione giornaliera di latte e il tempo di riposo.

Come si nota, ogni ora di riposo in più determina un incremento nella produzione di latte pari 1,7 kg indicando come tale fattore non alimentare sia da tenere in considerazione non solo in fase di progettazione o ristrutturazione di edifici zootecnici, ma anche quando si intendono introdurre innovazioni che interferiscono con la distribuzione dello spazio o con l'attività delle bovine, tra le quali i sistemi robotizzati di mungitura o quelli di alimentazione come sarà sviluppato nel presente lavoro. E' evidente che l'obiettivo di stimolare l'attività delle bovine al fine di ottimizzare la produttività delle macchine deve essere opportunamente modulato affinché prevalgano sempre le condizioni di accettabilità e benessere degli animali.

1.3 Fattori fisiologici e metabolici

Il 70% della sostanza organica ingerita come alimento dalle bovine da latte è degradata o alterata dai microorganismi ruminanti. Questi producono acidi grassi volatili (AGV) e proteine che rappresentano i principali precursori della sintesi del latte.

E' evidente, pertanto, che la rapida crescita e moltiplicazione dei microorganismi ruminanti ed il mantenimento delle condizioni ambientali ottimali affinché ciò avvenga, rappresentano requisiti fisiologici fondamentali per sostenere alte produzioni ed elevati tassi di efficienza alimentare. Infatti, maggiore è l'attività microbica, maggiore sarà la quantità di alimento che potrà essere ingerito dagli animali e maggiore sarà la disponibilità intestinale di nutrienti da destinare alle produzioni (Formigoni e Piva, 1996).

Tuttavia, quanto più alto è il tasso di fermentazione ruminale, tanto più alto è il rischio di caduta del pH ruminale a causa proprio dell'elevata produzione di AGV (in particolare acido lattico) che innesca un processo negativo con conseguente bassa degradazione della fibra, basso tenore in grasso del latte e disordini metabolici che possono anche compromettere l'intera lattazione.

Il pH ruminale delle bovine può oscillare da valori intorno a 7 fino a meno di 5 in funzione del rapporto foraggi/concentrati e della frequenza di alimentazione (Erfle et al., 1982). Si ritiene, tuttavia, che valori di pH < 5,8 siano da considerare una soglia critica per la degradazione della fibra e l'ingestione di s.s. (Rotger et al., 2005).

La figura 6 illustra le fluttuazioni di pH ruminale registrate in vacche da latte alimentate con tre diverse razioni unifeed caratterizzate da altrettanti rapporti tra foraggi e concentrati (Nienaber, 2008): la razione UP30 (30% foraggi/70% concentrati), la razione UP45 (45% foraggi/55% concentrati) e la razione UP60 (60% foraggi/30% concentrati).

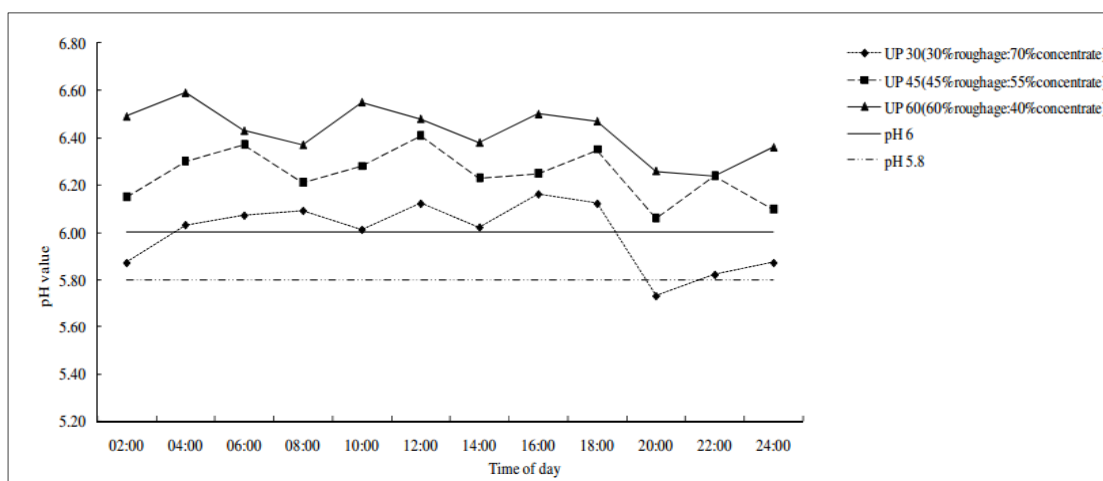


Fig. 6 – Effetto dell'aumento del rapporto foraggi/concentrati sull'andamento del pH ruminale nel tempo.

Si nota come le fluttuazioni di pH hanno fatto registrare andamenti analoghi nel tempo in quanto influenzate dall'orario di distribuzione della razione e dagli orari di mungitura; tuttavia, solo la razione UP30, alta in concentrati, ha determinato una caduta del pH al di sotto della soglia di criticità. Pertanto, il controllo delle fluttuazioni giornaliere del pH ruminale diventa uno dei fattori chiave dell'allevamento bovino da latte (Mordenti e Formigoni, 1986; Piva e Fusconi, 1989) e si realizza per mezzo di un adeguato bilanciamento delle componenti fibrose rispetto a quelle maggiormente proteiche ed energetiche.

E' evidente che, anche in questo caso, l'utilizzo corretto delle modalità di razionamento gioca un ruolo fondamentale e che il quantitativo in foraggi rivelatosi fisiologicamente ottimale, perde la sua efficacia se distribuito trinciato a lunghezze eccessivamente ridotte.

1.4 L'efficienza alimentare

L'efficiente utilizzazione delle risorse è una componente importante di ogni attività economica. L'efficienza alimentare, nello specifico, indica la capacità di convertire gli elementi nutritivi contenuti nelle razioni zootecniche in produzioni animali vendibili. Tale efficienza si misura per mezzo dell'indice di conversione degli alimenti ed è stata utilizzata in molti settori dell'allevamento (carne bovina, suina, avicola), ma solo recentemente s'inizia a considerare l'efficienza alimentare nelle bovine da latte.

In questi allevamenti, il costo degli alimenti – siano essi autoprodotti o acquistati sul mercato – rappresenta la principale voce di spesa per fattori produttivi (Linn et al., 2005) e, pertanto, la loro efficiente conversione in latte e in gravidanze incide direttamente sulla redditività dell'allevamento. Il principio che sta alla base dell'efficienza alimentare è che la maggior parte degli alimenti nutritivi sia indirizzata verso la produzione di latte e la fertilità mentre una minima parte deve essere contenuta nelle escrezioni.

La misura più semplice dell'efficienza alimentare è data dal rapporto tra kg di latte prodotto per kg di s.s. consumata (kg latte/ kg s.s.). Questo rapporto rappresenta una stima dell'efficienza in cui l'energia consumata (input) si trasforma in latte prodotto (output). Tuttavia, poiché l'energia

contenuta nell'output (latte) varia al variare del contenuto in grasso del latte, è possibile correggere tale valore oppure considerare un valore standard di contenuto di grasso nel latte come, per esempio, il 3,5%. L'equazione seguente può consentire di calcolare il contenuto energetico del latte secondo il contenuto di grasso; l'esempio riporta il tenore standard:

$$3.5\% \text{ LGC (kg)} = (0,432 \times \text{kg latte prodotto}) + (16,23 \times \text{kg grasso}) \quad (1)$$

dove LGC è il quantitativo di latte corretto per il tenore in grasso.

Alcuni aspetti ambientali e gestionali devono essere considerati al fine di evitare sprechi energetici quali, ad esempio:

- il freddo o stress da caldo;
- le distanze da percorrere (mungitura - mangiatoia - area di riposo);
- incrementi di peso e stato corporeo;
- gestione del razionamento.

Quest'ultimo aspetto, in particolare, è quello di maggior interesse ai fini del presente lavoro; infatti, la sequenza e la modalità delle operazioni di caricamento e miscelazione degli alimenti nel carro unifed hanno un'enorme importanza, spesso sottovalutata, ai fini dell'efficienza della gestione alimentare in quanto determinano l'omogeneità di miscelazione e la dimensione delle particelle in mangiatoia, molto importanti per l'ottenimento di un corretto turnover ruminale o velocità di passaggio e quindi per la massimizzazione dell'ingestione di sostanza secca, pur con elevata digeribilità della razione. Infine, la valutazione dello stato corporeo o Body Condition Score (BCS) fornisce suggerimenti importanti sui momenti fisiologici su cui eventualmente intervenire per evitare eccessi o carenze energetiche, utilizzando come momenti principali di osservazione l'asciutta, il parto e i primi 40-60 giorni di lattazione.

Pertanto, il concetto di efficienza alimentare deve spostare l'attenzione dell'allevatore dalla ricerca del minimo costo alimentare, alla determinazione della massima efficienza alimentare, cioè alla massimizzazione della differenza tra il costo alimentare individuale e il latte prodotto per vacca.

CAPITOLO 2. ANALISI TECNOLOGICA

La zootecnia da latte moderna, a seguito dell'incremento delle dimensioni delle mandrie, alle quantità di alimento da movimentare e al costo della manodopera, si basa sulla meccanizzazione di tutte le fasi di preparazione e distribuzione della razione. Recentemente, inoltre, si pensa anche al processo di automazione dell'alimentazione, processo fino ad oggi presente in molte altre tipologie di allevamento (suini, avicoli), ma mai introdotta negli allevamenti da latte per le implicazioni che la tecnologia deve rispettare nel razionamento.

Di seguito, pertanto, si elencheranno gli aspetti tecnologici che hanno determinato lo sviluppo di una meccanizzazione specializzata per l'allevamento bovino.

2.1 Evoluzione delle modalità di razionamento

Obiettivo principale di ogni tecnica di razionamento è quella di massimizzare l'ingestione di s.s. da parte degli animali fornendo diete il più possibile bilanciate in funzione del risultato produttivo atteso e limitando, nel contempo, le possibilità di scelta da parte degli stessi la quale potrebbe compromettere il raggiungimento degli obiettivi generali dell'allevamento (economicità, produzione, sanità e benessere).

Tale principio non si applica solo al razionamento in ambiente stabulativo, come appare ovvio, ma anche al più naturale ricorso al pascolo; in tal caso, infatti, si tende a fornire essenze erbacee ben precise, scartando quelle che possono introdurre effetti indesiderati (meteorismo del rumine, sapori anomali al latte, disturbi digestivi, ecc.) e a stadi fenologici ottimali ricorrendo alla turnazione dei lotti e a pratiche agronomiche specifiche (diserbi, trasemine, sfalci selettivi, ecc.).

A maggior ragione, in ambiente stabulativo è necessario disporre di tutti i mezzi necessari a poter gestire correttamente la preparazione della razione e la sua ingestione da parte del bestiame in quanto i fattori ambientali introdotti (spazi, disponibilità e distributori di alimento, interazioni sociali, suddivisione della giornata in funzione delle attività di stalla, semplificazione delle scelte alimentari a disposizione, ecc.) possono modificare sensibilmente il comportamento alimentare naturale portando ad effetti indesiderati spesso sottostimati.

La modalità di razionamento, quindi, risulta un fattore di scelta determinante in quanto può influire direttamente sulle fermentazioni ruminali e sull'efficienza alimentare.

Tanto maggiore è la quota di concentrati introdotta nella razione (in particolare cereali), tanto maggiore risulta l'importanza della modalità di razionamento, specialmente sugli animali ad alta produzione.

Come si è visto, l'ingestione di elevati livelli di s.s. comporta un abbassamento del pH ruminale a seguito della produzione di AGV. L'entità e la durata di questo fenomeno sono correlate alla velocità di fermentazione nel rumine (più elevata con i concentrati, meno con i foraggi) e al contenuto in NDF della razione. Quest'ultimo non dovrebbe essere mai inferiore al 21-22% della s.s. della razione (Linn, 1989) e dovrebbe essere in una forma fisica non eccessivamente corta al fine di rendere stabile e ottimale la velocità di transito ruminale degli alimenti.

Numerosi studi (Keys et al., 1983; Nocek e Braund, 1985; Little et al. 1987; Schwab et al. 1992; Kudrna, 2003; DeVries e Keyserlingk, 2005; De Vries et al. 2005; Mäntysaari et al. 2006) hanno posto in evidenza il fatto che, fornire alle vacche da latte un elevato numero di pasti al giorno, può portare ad un più costante livello di pH nell'arco delle 24 ore e sembra influire favorevolmente sull'ecosistema ruminale, incidendo positivamente sul comportamento e sulle produzioni.

Questa sembra, pertanto, la chiave su cui basare una tecnica moderna di razionamento e la disponibilità di un'opportuna meccanizzazione appare indispensabile.

Nel panorama estremamente diversificato e variegato riferito alle modalità di razionamento la cui estrema differenziazione è legata a ragioni climatiche, economiche e gestionali, è possibile individuare due categorie principali: i) le modalità di razionamento tradizionali e ii) la modalità di razionamento unifeed. In entrambi i casi vi è un ruolo non trascurabile legato ai distributori di mangimi concentrati che, peraltro, rappresentano i primi sistemi automatici di alimentazione nell'allevamento bovino da latte.

2.1.1 Modalità tradizionali

Questi sistemi si basano sulla meccanizzazione delle operazioni di prelievo e distribuzione in mangiatoia di singoli alimenti siano essi foraggi (affienati o insilati) o mangimi concentrati. Ad alcune attrezzature è richiesto un utilizzo stagionale in quanto dipendenti dalla disponibilità di prodotti freschi (es.: rimorchi foraggeri autocaricanti). Altre hanno un utilizzo annuo in quanto sono riferite alla gestione di prodotti conservati (es.: distributori di fieni o di insilati).

La distribuzione di questi alimenti avviene di solito giornalmente o, in alcuni casi, ad intervalli maggiori in quanto la corsia di alimentazione e la mangiatoia stessa sono utilizzate come stoccaggi temporanei per i foraggi.

In alcuni casi sono messi giornalmente o periodicamente a disposizione più foraggi contemporaneamente, ad esempio i fieni in mangiatoia e gli insilati in apposite rastrelliere, lasciando agli animali la facoltà di scegliere e di alimentarsi *ad libitum* (Atwood et al., 2001).

Con queste modalità di razionamento, in cui l'allevatore non ha un controllo diretto della s.s. ingerita dagli animali e si limita a mettere a disposizione gli alimenti disponibili – annualmente o stagionalmente – in funzione del consumo valutato a vista, diventa fondamentale stabilire la quantità e la frequenza di mangime concentrato da fornire (Tamminga, 1994). A tal proposito, è stato dimostrato che fornire il mangime concentrato dopo la somministrazione/assunzione di foraggi di buona qualità, è una prassi in grado di limitare la caduta post-prandiale di pH. Inoltre, sono stati messi a punto mangimi concentrati la cui composizione ricca di fibra contribuisce a limitare tali fluttuazioni di acidità. Infine, la limitazione delle quantità di mangime da fornire – oltre al loro frazionamento giornaliero – quale soluzione al problema delle fluttuazioni di acidità ruminale necessariamente richiede la disponibilità di foraggi di qualità eccellente.

Tuttavia, il problema principale posto dalle modalità tradizionali di razionamento è costituito dal fatto che l'allevatore non ha la conoscenza sufficientemente precisa della s.s. ingerita dagli animali cui riferire la quantità di concentrati ottimale da fornire e baserà le sue decisioni principalmente su fattori empirici e sull'osservazione diretta dello stato produttivo e sanitario della mandria con pochi spazi di ottimizzazione dell'efficienza alimentare.

2.1.2 Modalità unifeed o TMR

Questa modalità di razionamento trae il nome dal termine “unique feed” (alimento unico) o TMR (Total Mixed Ration, razione totalmente miscelata) ad indicare che questo sistema implica la preparazione di una miscela omogenea e bilanciata di tutti i componenti della razione giornaliera fornita in un'unica distribuzione. Tutti i singoli componenti sono pesati in modo da realizzare una razione ponderata e corrispondente a quanto risulta dai fabbisogni teorici stimati sulla base dello stato e della produzione degli animali cui la razione stessa è indirizzata. Questa modalità di razionamento è strettamente dipendente dalla disponibilità di un discreto livello di meccanizzazione aziendale di cui il carro miscelatore (trainato o semovente) dotato di sistema di pesatura costituisce l'attrezzatura principale e indispensabile; questo è il fattore principale che ha portato alla diffusione di questa tecnica solo dalla metà degli anni '60 (McCullough, 1994), epoca in cui, oltre alla maggior comprensione degli aspetti fisiologici implicati nella nutrizione bovina, ha iniziato ad intensificarsi anche negli allevamenti il grado di dotazioni meccaniche.

La diffusione di questa modalità di alimentazione è stata talmente rapida ed universale che tutti gli autori concordano nel confermarne non solo la validità, ma anche il ruolo di modalità di riferimento. In particolare, si possono ipotizzare oggi i seguenti valori di diffusione (UNACOMA e comunicazioni personali costruttori, 2008):

- 7500 carri miscelatori/anno in Europa 27 (60% a coclea verticale);
- 2000 carri miscelatori/anno in Germania (90% a coclea verticale; 300 semoventi);
- 1000-1200 carri miscelatori/anno in Italia (40% a coclea verticale; 200 semoventi);
- 200 carri miscelatori/anno in Austria e Svizzera;
- 400-500 sistemi automatici (stima) con circa 20 costruttori.

Tuttavia, i carri miscelatori richiedono l'osservanza stretta e costante di un protocollo di preparazione e distribuzione delle razioni con particolare riferimento i) all'ordine di carico degli ingredienti, ii) alla loro corretta pesatura, iii) all'esecuzione di un giusto grado di trinciatura e iv) ad un'uniforme miscelazione di tutti gli ingredienti introdotti.

Se quanto sopra viene eseguito correttamente, la tecnica unifeed consente di eliminare (o meglio ridurre) la capacità degli animali di selezionare gli ingredienti preferiti ed ogni pasto

rappresenta una quota uniforme della razione programmata. L'utilizzo di foraggi insilati facilita il raggiungimento del corretto tenore di s.s. che non solo contribuisce ad ottimizzare l'ingestione da parte degli animali, ma fornisce anche un livello ottimale di adesività al fine di realizzare una miscela sufficientemente coesa e poco propensa alla de-miscelazione.

I migliori risultati ottenibili con la tecnica unifeed si raggiungono riunendo gli animali in gruppi omogenei in modo da poter realizzare razioni dedicate e ridurre eventuali problemi metabolici.

Tuttavia, la facilità con cui tale tecnica consente di alimentare gli animali ha evidenziato anche l'introduzione sistematica di alcuni errori per lo più riconducibili all'operatore (sovraccarico, sovratrinciatura, applicazione di tempi di miscelazione casuali o inappropriati, introduzione di sottoprodotti o prodotti deteriorati, ecc.) e recentemente, alcuni autori iniziano a criticare specifici aspetti della tecnica unifeed così com'è adottata oggi. In particolare, il mancato controllo sulle velocità e ritmi di ingestione di s.s. (soprattutto dopo la prima distribuzione) e la capacità degli animali di selezionare gli ingredienti più appetiti non sembrano differenziare molto la tecnica unifeed dalle più tradizionali tecniche *ad libitum*; anzi, alcuni detrattori di tale modalità riportano che la tecnica unifeed sia nient'altro che: "una tecnica *ad libitum* particolarmente costosa".

Da tali considerazioni si aprono le nuove prospettive sull'utilizzo dei sistemi automatici descritti nel presente lavoro e, come visto, già presenti in alcuni allevamenti europei.

2.1.3 Il ruolo degli autoalimentatori

L'annoso problema di "quanto mangime concentrato distribuire" al fine di massimizzare l'efficienza alimentare e minimizzare i disordini metabolici principalmente causati dalle oscillazioni di pH ruminale, ha portato all'introduzione di distributori programmabili di mangime dedicati all'erogazione individuale di concentrati.

Molte ricerche hanno, infatti, dimostrato che l'uso di autoalimentatori consente di migliorare l'efficienza alimentare delle modalità di razionamento tradizionali (Maltz et al., 1991, 1992) introducendo, almeno a livello dell'integrazione alimentare, la possibilità di pesare gli apporti di s.s. non possibile con i foraggi.

Tuttavia, l'introduzione della modalità unifeed ha inizialmente mantenuto anche l'utilizzo degli autoalimentatori nell'intenzione di bilanciare gli apporti nutritivi (in particolare energetici) a livello individuale, determinando, tuttavia, un passaggio supplementare nella programmazione della razione che, in alcuni Paesi, ha portato a coniare il termine di PMR, Partially Mixed Rations (razioni parzialmente miscelate) dove per "parzialmente" s'intende che non tutti i componenti della razione giornaliera sono forniti con il carro miscelatore, ma che una quota, generalmente variabile a livello individuale, è messa a disposizione (in quantità e frequenze programmabili) tramite i distributori automatici.

Oggi, l'applicazione della tecnica unifeed non prevede più l'utilizzo di autoalimentatori non solo per non incorrere in possibili rischi di eccedere con le dosi nel tentativo di "inseguire" la produzione di latte, ma anche per motivi di costi di acquisto e di manutenzione di tali dispositivi i quali, potendo servire 15-20 capi, sono diventati un investimento non trascurabile a seguito dell'aumento delle dimensioni medie delle mandrie.

2.2 Meccanizzazione della preparazione e distribuzione di razioni unifeed

Lo sviluppo di qualunque sistema per la preparazione di razioni unifeed, sia esso meccanico azionato da operatore o automatizzato, parte dall'individuazione delle operazioni da svolgere. Tali operazioni possono essere meccanizzate o, qualora la tecnologia e i relativi costi e affidabilità siano disponibili, automatizzate portando all'individuazione di concetti progettuali diversificati.

L'analisi delle operazioni meccanizzate può essere eseguita utilizzando dei cosiddetti diagrammi morfologici (Kosse, 2005) in cui sono elencate tutte le funzioni e le sub-funzioni che è necessario siano eseguite nel processo di preparazione di razioni unifeed.

La Figura 7 illustra il diagramma morfologico utilizzato nel presente lavoro e che riporta tutte le funzioni da svolgere dallo stoccaggio dei singoli ingredienti, al loro prelievo, fino alla distribuzione in mangiatoia.



















































Store feed	Unload feed	Transport feed	Temporarily store feed	Weigh feed	Mix feeds	Deliver ration	Provide rations to cow(s)
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							

Fig. 7 – Diagramma morfologico per la preparazione e distribuzione di razioni unifeed. Nell'esempio in figura si evidenzia un possibile percorso di funzioni successive da automatizzare.

Nell'esempio in figura, si è ipotizzato di progettare un sistema automatizzato basato su sili orizzontali di stoccaggio, su sistemi di prelievo a benna e modalità di trasporto su trattore fino al deposito in sili temporanei meccanizzati. Fino a questa funzione, tutte le fasi sono realizzate da un operatore, mentre dal prelievo dell'alimento dal silo temporaneo fino alla distribuzione in mangiatoia, tutte le funzioni possono essere automatizzate.

Come si nota, il cuore di ogni sistema di preparazione per l'unifeed è rappresentato dal sistema di miscelazione e dalle sue comprovate capacità a realizzare la miscela d'ingredienti programmata. Questo fatto risulta di estrema importanza in quanto il sistema di miscelazione deve essere idoneo ad utilizzare gli ingredienti disponibili, non esistendo, *a priori*, un sistema migliore dell'altro.

Per tale motivo, lo sviluppo di sistemi di miscelazione diversificati e la messa a punto di protocolli di valutazione standardizzati o per lo meno riconosciuti, è di estrema importanza.

2.2.1 Lo sviluppo di nuovi sistemi di miscelazione

Ogni sistema di miscelazione deve essere concepito per utilizzare ingredienti specifici. Negli anni '60, ad esempio, i primi carri miscelatori erano privi della funzione di trinciatura in quanto non era previsto l'utilizzo di fieni e le razioni erano destinate a vitelloni da carne.

L'introduzione negli anni '80 del carro trinciamiscelatore per razioni ricche di fibra da destinare a bovine da latte ha portato all'introduzione di nuovi sistemi di miscelazione e trinciatura.

Successivamente, la maggior considerazione sul rispetto della lunghezza di trinciatura ha portato a nuove tipologie di sistemi provvisti di sistemi di trinciatura ad azionamento differito rispetto alla miscelazione.

Di seguito si riporta una ricerca finalizzata alla progettazione e prova di un nuovo sistema di trinciamiscelazione.

Sviluppo e prova di un nuovo sistema di trinciamiscelazione

Carlo Bisaglia

*Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola
Sezione Operativa Periferica di Treviglio (BG)*

In: *Agricoltura Ricerca*, 1999. Vol. 21, n.184, pp.: 35-46. Sezione: Meccanizzazione alimentazione zootecnica. ISSN: 0392-5609.

Riassunto

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di prove sperimentali finalizzate alla messa a punto e alla verifica delle prestazioni di un prototipo di carro trinciamiscelatore basato su un innovativo sistema operativo costituito da due coclee orizzontali – a spirali contrapposte – sovrapposte e disassate destinato alla produzione di razioni zootecniche complete per ruminanti. Il notevole successo di questa tecnica di alimentazione e la conseguente diffusione dei carri trinciamiscelatori hanno stimolato la ricerca di nuovi sistemi che permettano di ampliare la gamma di macchine disponibili al fine di consentirne la scelta non solo in funzione della composizione delle razioni, ma anche in base alle esigenze delle specie cui tale tecnica può indirizzarsi.

Le prove hanno consentito di effettuare alcune modifiche al sistema proposto e di monitorarne la portata grazie all'applicazione di un metodo di valutazione messo a punto dalla Sezione di Treviglio dell'Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola nell'ambito di un programma di ricerca del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali.

I risultati ottenuti hanno consentito di esprimere un giudizio favorevole sul sistema proposto che presenta un'ampia luce di carico e consente un considerevole sfruttamento della volumetria e soddisfacenti livelli di trinciatura e di miscelazione.

Parole chiave: unifeed, carri miscelatori, miscelazione.

Abstract

This report gives the results of experimental tests aimed at developing and evaluating the performance of a mixer-feeder prototype based on a new operating system consisting of two parallel, horizontal augers lying on different planes both horizontally and vertically and fitted with reverse screws fighting on the same shaft; this system is claimed to be able to prepare total mixed rations (TMRs) for ruminants.

The success of the TMR technique and the consequent diffusion of mixer-feeders have spurred the development of new mixing systems with the purpose of making available a wide range of machines thus allowing their selection based both on the characteristics of the rations and on the requirements of the livestock species to be fed. The tests have permitted highlighting the need of some modifications to be made to the proposed system and monitoring their effectiveness, thanks to a testing method developed by the Treviglio Section of the Agricultural Mechanization Research Institute (ISMA) within a research program of the Italian Ministry of Agricultural and Forestry Policies.

Test results show the validity of the proposed mixing system, which has a wide loading opening, a good utilization of hopper capacity and satisfactory chopping efficiency and mixing uniformity.

Key words: total mixed rations, mixer-feeders, mixing.

Introduzione

La tecnica unifeed – dall'inglese *unique feed*, alimento unico – basata sulla somministrazione a volontà di miscele alimentari in grado di soddisfare integralmente i fabbisogni dei ruminanti allevati, è la tecnica di alimentazione che, allo stato attuale delle conoscenze, meglio soddisfa le esigenze fisiologiche degli animali (Formigoni e Piva, 1996).

Tale tecnica, ideata negli Stati Uniti verso la metà degli anni '30 (McCullogh, 1994), ha potuto svilupparsi appieno e diffondersi quasi capillarmente solo dopo i progressi della

meccanizzazione aziendale che ha messo a disposizione degli allevatori le attrezzature necessarie alla manipolazione degli alimenti zootecnici con lo scopo di miscelarli.

In Italia, in particolare, le modalità di allevamento dei bovini – ma recentemente anche di altri ruminanti d'interesse economico (Cannas, 1999) – caratterizzate da conduzioni di tipo intensivo e dal modesto ricorso al pascolamento, hanno creato le condizioni ottimali per la diffusione della tecnica *unifeed*.

In tale contesto, i costruttori nazionali di macchine agricole hanno saputo riconoscere la rilevanza e la portata di tale modalità di alimentazione, offrendo numerosi sistemi meccanici in grado di prelevare, trinciare, miscelare e distribuire una vasta gamma di alimenti e sottoprodotti agricoli. Tale produzione è oggi apprezzata anche in molti altri Paesi zootecnicamente evoluti non solo per il buon rapporto qualità/prezzo, ma anche per la diversificazione delle soluzioni proposte.

Data la ragguardevole offerta oggi disponibile è, tuttavia, necessario disporre di criteri di valutazione oggettivi delle prestazioni di tali attrezzature (Bisaglia e Guerretti, 1998) non solo per effettuare confronti motivati a livello degli utilizzatori in fase di dimensionamento e acquisto, ma anche a livello dei costruttori durante la fase preindustriale di progettazione e sviluppo dei prototipi al fine di valutare i progressi introdotti dai nuovi sistemi di miscelazione o individuare correttamente eventuali modifiche migliorative.

E' per questo motivo che la Sezione di Treviglio dell'ISMA (Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola) – autrice di una proposta metodologica per la prova di tali macchine (Colzani e Bisaglia, 1996) adottata dal CONAMA (Consorzio Nazionale per la Meccanizzazione Agricola) – ha accolto favorevolmente la richiesta di affiancare lo sviluppo di un prototipo che sembrava presentare alcune caratteristiche innovative nel sistema di trinciamiscelazione impostando una serie di verifiche sperimentali sugli esemplari preindustriali realizzati.

Materiali e metodi

Lo sviluppo del prototipo

L'idea di un nuovo sistema di trinciamiscelazione nasce nel 1996 dall'intuizione del titolare dell'Officina Macchine Agricole Pecis Egidio di Zanica, in provincia di Bergamo, sulla base di prove precedentemente svolte dalla Sezione di Treviglio dell'ISMA su modelli a coclee orizzontali con spirali contrapposte. Da tali prove era emersa l'esigenza di migliorare la capacità di sfruttamento del volume della vasca di miscelazione eliminando, nel contempo, i ristagni di prodotto osservabili in talune circostanze. Molti costruttori, impegnati nella produzione di questi modelli, avevano individuato soluzioni idonee a risolvere, almeno parzialmente, i problemi elencati agendo sul senso di rotazione delle coclee, sull'applicazione di deflettori all'interno del cassone, sull'introduzione di distributori oscillanti, ecc. Tutte queste soluzioni tecniche miravano, in ogni caso, a preservare l'ampia luce di carico caratteristica di questa tipologia di macchine lasciando, quindi, che il flusso di prodotto verso il basso avvenisse per gravità, senza dispositivi di forzatura collocati superiormente; ciò, tuttavia, non sempre garantisce il pieno sfruttamento della volumetria, in quanto una percentuale della stessa, variabile dal 15 al 20%, deve necessariamente essere lasciata inutilizzata affinché il ciclo di miscelazione possa compiersi.

Il prototipo oggetto della presente nota introduce una coclea superiore, disassata rispetto al piano longitudinale mediano del carro, dotata di spirali contrapposte che dovrebbe migliorare l'intensità dei flussi del prodotto da miscelare consentendo un maggior riempimento del cassone e conservando, nel contempo, un'ampia luce di carico.

La macchina utilizzata

Dopo le prime sperimentazioni, svolte al fine di effettuare la scelta del tipo di coclee da adottare, si è giunti, nel 1998, alla realizzazione di alcuni esemplari a livello preindustriale, inizialmente privi di dispositivo desilatore, realizzati dalla ditta Silver Car s.r.l. di Caramagna Piemonte (CN).

Nei mesi di gennaio-marzo 1999 si è, infine, effettuata la sperimentazione di un modello sul quale le scelte costruttive fondamentali erano state definite, necessitando di conferme operative.

La macchina su cui è stata condotta la prova presenta una struttura molto classica (Foto 1), con cassone autoportante che poggia sulle tre celle di carico dell'impianto di pesatura. Le celle sono posizionate sull'assale, in corrispondenza di ogni ruota, e sul timone. L'assale si presenta arretrato a

causa della conformazione del sistema di trinciamiscelazione che vincola il posizionamento del portello di scarico al centro del cassone.



Foto 1 - Il prototipo di carro trinciamiscelatore nel corso delle prove. Si noti il carter anteriore che protegge la trasmissione a catena della coclea superiore, posta sul lato destro del cassone.

Il cassone, esternamente, è simmetrico presentando uno sportello posteriore per l'eventuale carico manuale di integratori. Le principali caratteristiche del prototipo sono elencate nelle tabelle 1 e 2.

La parte più interessante dell'operatrice, tuttavia, risiede all'interno della vasca ed è costituita dal sistema di trinciamiscelazione.

Il sistema di trinciamiscelazione

E' la parte più innovativa della macchina che si caratterizza per la presenza di due coclee sovrapposte, disassate e con spirali contrapposte (Foto 2) aventi le caratteristiche riportate in tabella 3.

I flussi di prodotto originati sono illustrati dalla figura 1: la coclea inferiore convoglia gli alimenti verso il centro del cassone da dove sono spinti verso l'alto; la coclea superiore riporta gli alimenti alle estremità del cassone affinché possano cadere nuovamente verso la coclea inferiore.

La posizione disassata della coclea superiore consente di mantenere una buona luce di carico, utile soprattutto per l'immissione di foraggi o di sottoprodotti a stelo lungo (fieno, siloerba, paglia). Inoltre, la coclea superiore è alloggiata all'interno di un doppio fondo che, sagomato e dotato di risalti al pari del fondo principale, contribuisce all'azione di trinciatura.

Si è ritenuto importante eseguire la sagomatura interna del cassone mediante deflettori triangolari saldati sugli spigoli di sinistra (Foto 2) con lo scopo di evitare aree di deposito di alimenti non miscelati e di favorire la ricaduta del prodotto sulle coclee.

Tab. 1 - Dimensioni, pesi e cinematica del prototipo di carro trinciamiscelatore provato

Parametro	Valore
Volume nominale cassone (m ³)	12
Massa a vuoto (kg)	6.740
Massa complessiva massima a pieno carico (kg)	10.000
Carico massimo ammesso sul gancio di traino (kg)	2.000
Carico massimo ammesso sull'assale (kg)	9.000
Lunghezza totale (mm)	6.000
Sbalzo (mm)	4.320
Larghezza massima (mm)	2.450
Altezza totale (mm)	2.900
Carreggiata (mm)	880
Pneumatici (dimensione e tipo)	425/55 R 19.5
Rapporto di trasmissione pdp/coclea inferiore	41,5:1
Velocità di rotazione coclea inferiore (giri/min)	13,0 ^(*)
Velocità di rotazione coclea superiore (giri/min)	5,6 ^(*)
Velocità periferica coclea inferiore (m/s)	0,63 ^(*)
Velocità periferica coclea superiore (m/s)	0,18 ^(*)
Senso di rotazione coclee	orario

^(*) a 540 giri/min della presa di potenza

Tab. 2 – Caratteristiche dell'impianto di pesatura

Celle	
Numero	3
Tipo	D63 CZ
Portata unitaria di pesata (kg)	5.000
Sovraccarico ammissibile (%)	10
Sensibilità (mV/V)	0,4
Grado di precisione singola cella (%)	± 0,3
Temperatura di esercizio (°C)	- 20 ÷ + 60 °C
Centralina elettronica	
Razioni impostabili in carico (n.)	15
Componenti per ogni razione (n.)	15
Pesate impostabili in scarico (n.)	15
Alimentazione (V cc)	11-16
Cifre del display (n.)	in funzione della dimensione dei caratteri (*)
Risoluzione (kg)	2,4
Sistema di allarme (tipo)	acustico, con preallarme (**)

(*) display grafico con possibilità di impostazione delle dimensioni dei caratteri;

(**) il sistema di allarme prevede anche l'impostazione del tempo di miscelazione che avvisa l'operatore del completamento di questa fase.



Foto 2 - Il sistema di trinciamiscelazione a due coclee sovrapposte e disassate con spirali contrapposte. La freccia evidenzia uno dei due deflettori triangolari destinati ad impedire la formazione di ristagni di prodotto in corrispondenza degli spigoli liberi del cassone e a favorirne la ricaduta verso le coclee.

Tab. 3 - Caratteristiche del sistema di trinciamiscelazione e del tappeto di scarico

Sistema di trinciamiscelazione	a due coclee sovrapposte e disassate	
Coclee	coclea inferiore	coclea superiore
Quantità (n.)	1	1
Tipo	a pale, con spirali contrapposte e convergenti	continua, con spirali contrapposte e divergenti
Diametro asse (mm)	270	180
Diametro totale (mm)	930	600
Lunghezza coclea (mm)	4.400	4.000
Lunghezza tratto anteriore (mm)	1.900	1.600
Lunghezza tratto posteriore (mm)	2.500	2.400
Altezza spirale (mm)	330	210
Spessore spirale (mm)	12	10
Passo (mm)	560	400
Organi di taglio (tipo)	coltelli circolari a segmento circolare intero e tronco con lama ondulata	coltelli a segmento circolare tronco con lama ondulata
Organi di taglio (n.)	64	79
Sviluppo filo tagliente (mm)	17.900	19.750
Tappeto di scarico		
Tipo	a catene e traversine metalliche	
Larghezza (mm)	690	
Altezza da terra durante le prove (mm)	610 ^(*)	
Posizione	lato sinistro, al centro del cassone	

^(*) variabile manualmente spostando l'attacco alle catene di sospensione

Le prove

Le prove si sono svolte presso l'Azienda Agricola E. Gattoni di Stezzano (BG), aderente al programma di produzione "Latte Alta Qualità" del Consorzio Produttori di Latte della Provincia di Milano. L'azienda alleva 110 vacche in lattazione, divise in due gruppi e la rimonta; è adottata la tecnica *unifeed* senza autoalimentatori con la preparazione di tre miscele al giorno.

La sperimentazione ha seguito il protocollo di prova del CONAMA con lo scopo di verificare:

- la capacità di carico del cassone e il suo grado di sfruttamento;
- eventuali limiti operativi nel carico, soprattutto dei fieni;
- la creazione di flussi di miscelazione efficaci;
- la capacità di trinciatura;
- l'efficienza di miscelazione;
- gli assorbimenti di potenza e l'efficienza energetica.

È stata adottata la razione normalmente utilizzata in prove di miscelazione avente caratteristiche fisiche note al fine di disporre di valutazioni oggettive e confrontabili; la composizione della razione è riportata in tabella 4.

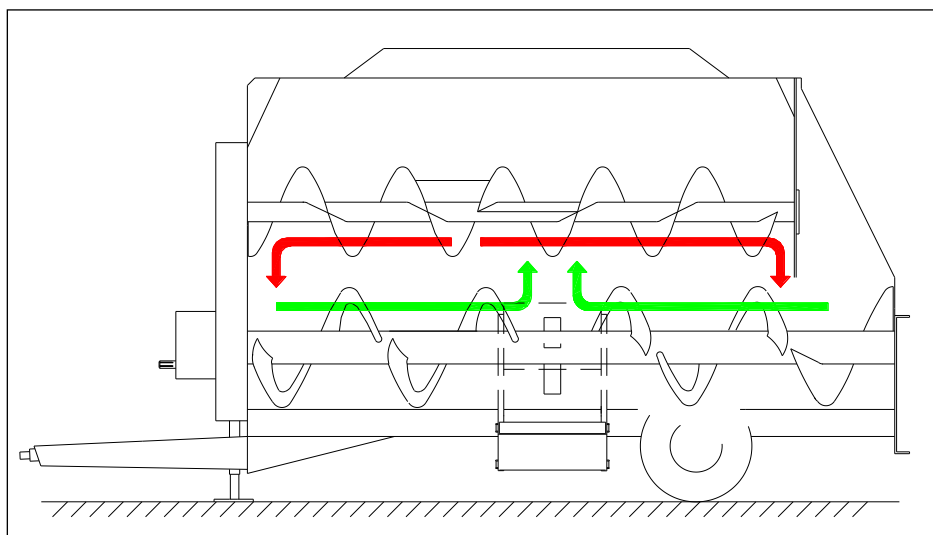


Fig. 1 - Schema dei flussi di miscelazione originati dal sistema a due coclee sovrapposte con spirali contrapposte.

Tab. 4 - Razione utilizzata nelle prove

Alimenti in ordine di carico	Massa componenti		Contenuti in	
	kg	%	SS (%)	PG (% SS)
Fieno di loiessa intero, rotoimballato	410	14	85,50	6,53
Insilato di mais	2.340	80	39,33	7,22
Farina di estrazione di soia	175	6	88,15	46,37
Totali e medie	2.925	100	48,70	9,50

Per la determinazione della capacità di carico del cassone e per il calcolo del grado di sfruttamento della volumetria ci si è basati sulla quantità massima di miscela caricabile senza il verificarsi di fuoriuscite di prodotto con riferimento alla massa volumica apparente della stessa, risultata pari a 270 kg/m³.

Per verificare eventuali limiti operativi nel carico, la componente fibrosa della razione, costituita da fieno intero di loglio italico rotoimballato, è stata introdotta secondo due modalità: in piccole porzioni di fieno sfuso, mediante caricatore a ragno e rotoballa intera, mediante pala caricatrice.

La capacità di trinciatura è stata determinata manualmente, separando in classi dimensionali i frammenti di fieno prelevati allo scarico da 10 campioni di miscela dopo ogni prova di trinciatura della durata di 5, 10 e 20 minuti.

L'efficienza di miscelazione è stata determinata analizzando statisticamente la variabilità esistente tra 10 campioni da 1 kg di miscela prelevati allo scarico dopo ogni prova di miscelazione della durata di 5, 10 e 20 minuti. I marcatori di cui è stata determinata la concentrazione sono stati la Proteina Grezza (PG) e la Sostanza Secca (SS). Le determinazioni sono state effettuate sia in campioni dei singoli componenti la razione sia in campioni di miscela. L'indice statistico utilizzato per valutare l'omogeneità di dispersione dei marcatori è stato il coefficiente di variazione (CV).

Il carro miscelatore è stato azionato da una trattrice Steyr 1108 da 73,5 kW di potenza al volano, alla quale è stato applicato un torsiotachimetro HBM, modello T3 0 FN, con fondo scala di 200 daNm (coppia) e di 3.000 giri/min (regime) per il rilievo della coppia motrice e del regime di rotazione. Il rilievo del consumo di gasolio è stato eseguito con un misuratore di flusso volumetrico Nord Electronic, modello 2.065, da 5 impulsi/cm³.

Risultati

Capacità di carico

La capacità di carico del carro è risultata soddisfacente. In particolare il fieno è stato caricato sia gradualmente per mezzo di un caricatore a benna (Foto 3), sia in rotoballa intera (Foto 4) senza particolari problemi quali l'attorcigliamento del prodotto attorno alla coclea o la rottura del bullone di sicurezza. L'immissione del fieno deve essere effettuata dal lato sinistro del carro data l'assenza della coclea superiore.



Foto 3 – Carico graduale di fieno di loiessa con caricatore a benna. L'immissione del fieno dal lato sinistro sembra più agevole data l'assenza della coclea superiore.



Foto 4 – Immissione di rotoballa intera. Anche in questo caso la caduta del prodotto dal lato sinistro sembra favorita dall'assenza della coclea.

Il grado di sfruttamento del volume nominale del cassone è risultato pari al 90%, determinato sulla base della quantità effettivamente caricata senza che si verificassero fuoriuscite di prodotto. Il risultato soddisfacente è dovuto all'azione della coclea superiore che forza il prodotto verso le estremità della coclea inferiore facilitando il rimescolamento della massa anche con il cassone quasi completamente riempito; un'azione più energica, soprattutto in fase di ultimazione del carico, sarebbe tuttavia auspicabile modificando, incrementandolo, il regime di rotazione della coclea superiore. Permane il problema del volume occupato dal fieno prima della trinciatura; quest'ultimo, infatti, non può essere caricato in quantità superiori a 400-410 kg (33-34 kg/m³ di volume nominale del cassone), pena la fuoriuscita di prodotto anche nella successiva fase di carico del silo mais, problema, peraltro, comune anche ad altre tipologie costruttive.

A tal proposito, l'ideatore dell'innovazione, presente alle prove, ha approvato una modifica alla parete di contenimento di destra per minimizzare le fuoriuscite di prodotto con i massimi carichi.

Altrettanto agevole è risultato il carico di additivi, attraverso l'apposita tramoggia posteriore (Foto 5).

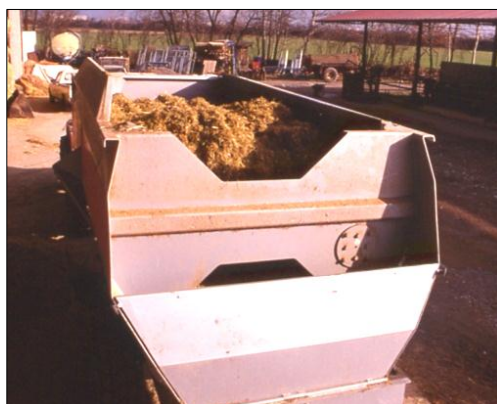


Foto 5 – Vista posteriore del prototipo di carro trinciamiscelatore con, in primo piano, la tramoggia per l'aggiunta manuale di additivi.

Efficienza di trinciatura

L'efficienza di trinciatura potrebbe essere stimata ottima, a prima vista, dato lo sviluppo del filo tagliente dei coltelli montati sulle coclee ed il doppio sistema di fondi con risalti e contro coltelli.

In realtà, il basso regime di rotazione delle coclee e la loro moderata velocità periferica determinano un'azione poco energica sugli steli; azione che risulta tuttavia sufficiente purché siano rispettati i necessari tempi di trinciatura e di trinciamiscelazione.

Le prove sono state effettuate con fieno intero di loiessa condizionato e rotoimballato a stelo intero anche se molto frantumato da probabili, numerosi interventi di spargimento e di rivoltamento in campo. La figura 2, infatti, illustra come gli steli più lunghi non raggiungano i 90 cm, mentre i frammenti più numerosi siano compresi tra i 6 e i 22 cm costituendo quasi il 72% in peso della rotoballa. I frammenti fino a 6 cm di lunghezza, che rappresentano le classi dimensionali desiderate, costituiscono, invece, l'11,3 % in peso.

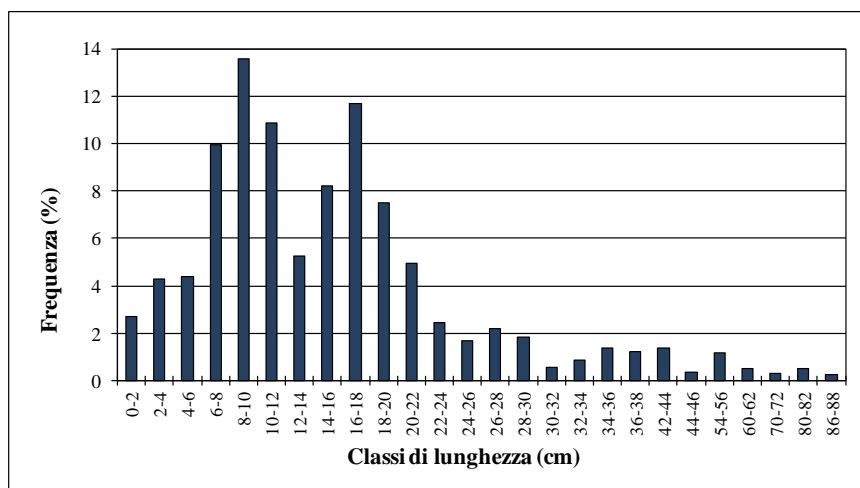


Fig. 2 – Ripartizione in classi di lunghezza e relativa frequenza, del fieno di loglio italico intero e rotoimballato utilizzato per le prove.

Dopo la graduale immissione nel cassone, il fieno, qualora introdotto sfuso, è stato trinciato per 6 minuti al fine di ridurne il volume ad un livello che consentisse il carico del componente successivo senza fuoriuscite di prodotto. Se introdotto in rotoballa intera, il tempo di trinciatura è stato calcolato dopo la sfaldatura della stessa.

I confronti relativi all'efficienza di trinciatura sono stati in seguito eseguiti non considerando i tempi di carico e trinciatura, ma unicamente quello finale di trinciamiscelazione (Fig. 3).

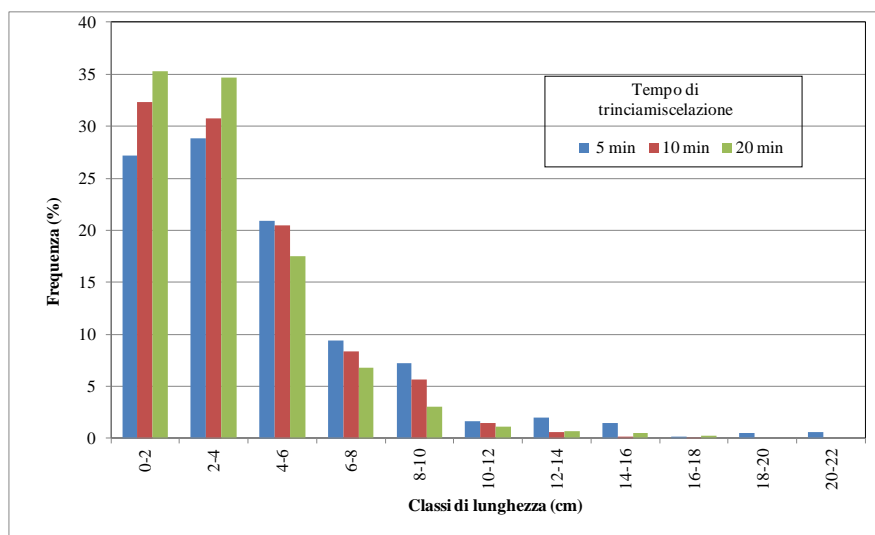


Fig. 3 - Ripartizione in classi di lunghezza e relativa frequenza dei frammenti di fieno riscontrati in campioni di miscela dopo tempi crescenti di trinciamiscelazione.

Dopo 5 minuti di trinciamiscelazione la percentuale di frammenti inferiori a 6 cm risulta pari al 76,9% che rappresenta un risultato poco soddisfacente sia perché i frammenti più lunghi si miscelano con maggior difficoltà nella massa, sia perché gli animali possono scartarli a favore di ingredienti più appetibili; sono infatti ancora presenti frammenti fino a 20-22 cm.

Dopo 10 minuti di trinciamiscelazione si osserva un incremento delle classi inferiori o uguali a 6 cm che raggiungono l'83,6% conseguendo un risultato soddisfacente in considerazione del valore di riferimento pari all'85%. Un perfezionamento del risultato, comunque già accettabile, si può ottenere incrementando il tempo di trinciatura dopo il carico da 6 a 8 minuti.

Infine, dopo 20 minuti di trinciamiscelazione si ottiene un miglioramento non significativo nella percentuale di fieno entro i 6 cm che sale all'87,5%.

Questo comportamento poco aggressivo nei confronti del fieno non è da valutare negativamente a patto che si rispettino i necessari tempi di trinciatura e di trincia miscelazione in modo che almeno l'85% del fieno sia trinciato entro i 6 cm.

Un aspetto positivo è costituito dal fatto che il fieno, anche dopo una lunga lavorazione, non viene mai eccessivamente sbriciolato come evidenzia la classe 0-2 cm sempre contenuta entro limiti accettabili e con differenze minime (<15%) rispetto alla classe contigua (2-4 cm). E' noto, infatti, che un'eccessiva trinciatura del fieno, al di sotto di 1,9-2 cm secondo le ricerche più recenti (Heinrichs, 1996; Succi e Crovetto, 1996), vanifichi gli effetti positivi della fibra strutturata sulle bovine da latte.

Tempo e uniformità di miscelazione

La figura 4 illustra i risultati delle prove di miscelazione. Sono stati utilizzati, come marcatori, la proteina grezza (PG) e la sostanza secca (SS).

L'indice statistico impiegato per descrivere il comportamento dei marcatori è stato il coefficiente di variazione (CV) che esprime risultati tanto migliori quanto più basso risulta il valore corrispondente.

Si è considerato soddisfacente un valore di CV inferiore o uguale al 5%.

Dal grafico si può notare un andamento quasi perfettamente sincrono tra PG e SS che migliorano la loro uniformità di dispersione nella massa al progredire del processo di trinciamiscelazione. I risultati apparentemente più soddisfacenti ottenuti utilizzando la SS rispetto alla

PG sembrano dovuti al fatto che l'umidità, oltre a miscelarsi come un qualsiasi ingrediente solido, può anche diffondere da un ingrediente umido verso un ingrediente meno umido senza, tuttavia, che si verifichi miscelazione tra i due ingredienti. Per tale motivo è un indicatore meno attendibile rispetto al marcatore solido.

In ogni caso l'andamento regolarmente decrescente dei CV indica come la miscelazione migliori lentamente, ma costantemente senza fenomeni di demiscelazione o sovramiscelazione; ciò è probabilmente dovuto all'azione lenta delle coclee – riscontrabile dalla velocità periferica pari a 0,63 m/s per la coclea inferiore e a soli 0,18 m/s per quella superiore – e alla loro ragguardevole dimensione che movimentano molto prodotto, ma lentamente consentendo agli ingredienti di miscelarsi con regolarità. Pur migliorando nel tempo, la miscelazione è da considerarsi soddisfacentemente omogenea, per gli obiettivi zootecnici perseguiti, dopo 10 minuti di trinciamiscelazione.

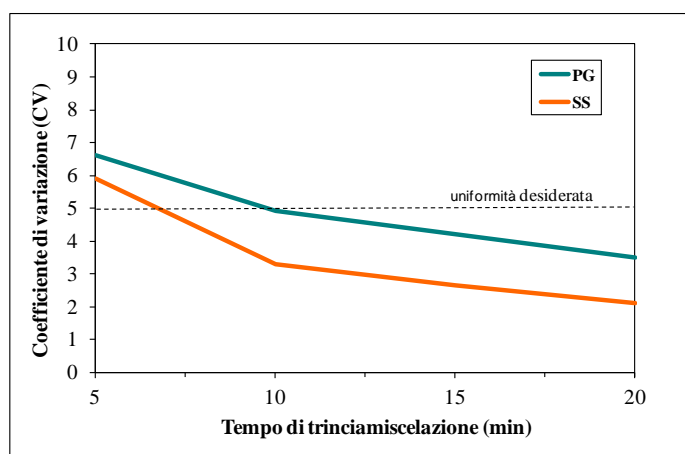


Fig. 4 - Andamento del coefficiente di variazione (CV) delle concentrazioni di proteina grezza e sostanza secca in campioni di *unifeed* al variare del tempo di miscelazione.

Una conferma della correttezza di tale tempo viene fornita dalla ripetizione della prova utilizzando la razione per vacche da latte normalmente impiegata nell'azienda in cui si è svolta la sperimentazione e adottando le stesse modalità di preparazione della miscela. E' stato impostato un tempo di trincia miscelazione di 10 minuti.

La razione, elaborata dal servizio tecnico che segue l'allevamento, prevede per una produzione di 28 l/capo die di latte al 4% di grasso, una razione che apporti il 15,59% di PG con un tenore di SS del 50,2%. Tale apporto è basato su analisi medie dei singoli componenti consigliati.

I campioni di *unifeed* prelevati allo scarico del prototipo dopo 10 minuti di trinciamiscelazione forniscono, invece, una media di $14,19 \pm 0,58\%$ di PG pari al 9% in meno, mediamente, rispetto a quanto programmato mentre la sostanza secca risulta corrispondente a quanto calcolato nella razione teorica risultando pari al 49,97%.

Il minor tenore in proteina è facilmente spiegabile se si considera la variabile composizione chimica degli ingredienti, ad eventuali errori nelle quantità caricate, ad eventuali imprecisioni della pesa elettronica, in particolare sui prodotti aggiunti in piccole quantità, ma altamente proteici (la risoluzione della bilancia era impostata su 4 kg), ad eventuali fuoriuscite di prodotto durante il carico o durante le fasi successive, ad eventuali residui rimasti sul fondo del cassone e non scaricati, ecc. Tutti dettagli fino ad oggi erroneamente sottovalutati nella pratica.

Tuttavia, ciò che qui interessa dimostrare è che i campioni prelevati pur esprimendo, in media, un tenore proteico inferiore a quello previsto dalla razione teorica (problema, come visto, non riconducibile esclusivamente al carro trinciamiscelatore) presentano, tra di loro, una variabilità accettabile, con valori dei CV molto vicini a quelli riscontrati nella precedente prova eseguita con razione standard e precisamente con un CV della PG pari al 4,12% ed un CV della SS pari al 3,12% confermando i buoni risultati ottenuti precedentemente con il tempo di miscelazione di 10 minuti e rimarcando il miglior risultato ottenibile valutando la distribuzione della SS, anche se tale esame, come già detto, è falsato dalla possibile diffusione dell'umidità al contrario di quanto avviene con la PG.

Richieste di potenza ed energia spesa

Le determinazioni relative agli assorbimenti di potenza e ai consumi di gasolio sono state eseguite per ogni singola sequenza operativa della macchina, registrando richieste di potenza (Fig. 5) e consumi energetici (tabelle 5 e 6) non particolarmente elevati.

In particolare, gli assorbimenti di potenza hanno fatto osservare - in tutte le prove ed in corrispondenza della fase di lavoro più impegnativa corrispondente al carico dell'insilato di mais - picchi non superiori ai 40 kW ritenendo, pertanto, appropriato l'accoppiamento di questa tipologia di carro trinciamiscelatore con trattrici della potenza minima al volano di 52 kW.

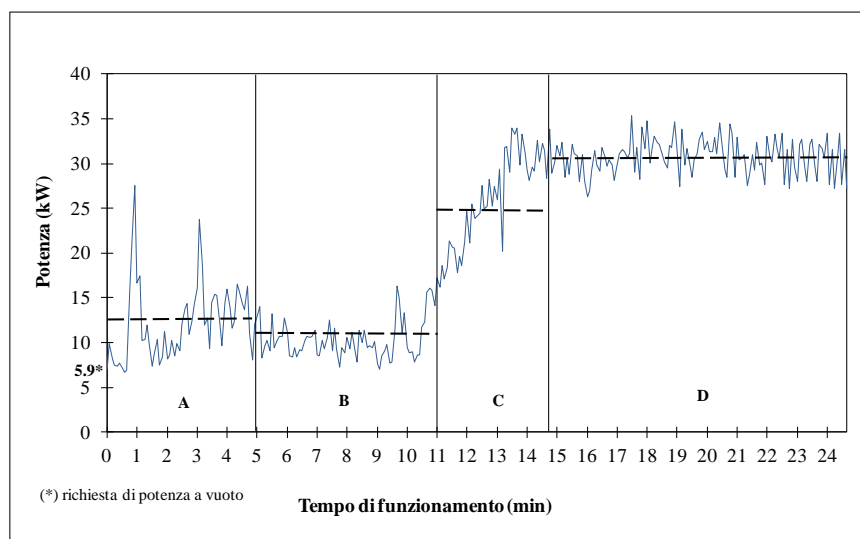


Fig. 5 – Esempio di un assorbimento di potenza nelle varie fasi di lavoro del prototipo: (A) carico graduale di fieno sfuso; (B) trinciatura; (C) carico di silomais; (D) trinciamiscelazione. In tratteggio i valori medi delle singole fasi.

Tab. 5 - Assorbimenti di potenza, spese di energia e capacità di lavoro del prototipo con carico graduale del fieno.

Fase di lavoro	Tempo di esecuzione (min)	Potenza assorbita media (kW)	Potenza di picco (kW)	Energia richiesta (kWh)	Combustibile consumato (kg)	Capacità effettiva di lavoro (kg/min)
Carico graduale fieno sfuso	5,3	13,28	29,59	1,20	0,68	81,70
Trinciatura fieno	6,0	12,63	23,33	1,28	0,73	-
Carico insilato di mais	3,47	23,15	39,40	1,35	1,03	677,89
Totale o media operazioni di carico	14,77	15,33 ⁽¹⁾	39,40	3,83	2,44	188,98 ⁽¹⁾
Miscelazione	10,0	30,88	35,36	5,15	1,81	-
Totale (o media) generale (carico e trinciamiscelazione)	24,77	21,61 ⁽¹⁾	39,40	8,97 ⁽²⁾	4,24 ⁽³⁾	113,09 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ media ponderata

⁽²⁾ equivalente a 3,06 kWh/t

⁽³⁾ equivalente a 1,45 kg/t

Tab. 6 - Assorbimenti di potenza, spese di energia e capacità di lavoro del prototipo con carico del fieno in rotoballa intera.

Fase di lavoro	Tempo di esecuzione (min)	Potenza assorbita media (kW)	Energia di picco richiesta (kW)	Energia consumata (kWh)	Combustibile consumato (kg)	Capacità effettiva di lavoro (kg/min)
Carico, sfaldatura e trinciatura fieno in rotoballa intera	10,08	15,07	21,59	2,53	1,24	30,36
Carico insilato di mais	3,47	23,15	39,40	1,35	1,03	677,89
Totale o media operazioni di carico	13,55	17,14 ⁽¹⁾	39,40	3,88	2,27	196,19 ⁽¹⁾
Miscelazione	10,0	30,88	35,36	5,15	1,81	-
Totale (o media) generale (carico e trinciamiscelazione)	23,55	22,97 ⁽¹⁾	39,40	9,02 ⁽²⁾	4,08 ⁽³⁾	113,30 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *media ponderata*

⁽²⁾ *equivalente a 3,08 kWh/t*

⁽³⁾ *equivalente a 1,39 kg/t*

I consumi orari di combustibile, considerando le due modalità di carico del fieno ma con riferimento all'intero ciclo di preparazione della miscela, sono risultati pari a 10,3 kg/h con la modalità di carico graduale e 10,4 kg/h con il carico di rotoballe intere; tali dati, unitamente a quelli relativi ai tempi di preparazione della miscela oscillanti, rispettivamente, da 24,77 min a 23,55 min con una contrazione irrilevante dei tempi pari al 5%, forniscono un primo elemento di giudizio sull'indifferenza della modalità d'immissione del fieno ai fini della rapidità e convenienza d'uso della macchina. Un'ulteriore conferma circa la modesta convenienza ad introdurre rotoballe intere deriva dal fatto che, spesso, alla rapida immissione della confezione intera deve seguire un'integrazione di fieno sfuso per raggiungere la quantità prefissata; inoltre è sempre necessario introdurre una fase operativa supplementare per lo sfaldamento della rotoballa e la trinciatura del fieno; tali operazioni in massima parte livellano le prestazioni della macchina come emerge anche dalle capacità effettive di lavoro che risultano differire, per la sola fase di carico, del 3,8% a favore della modalità di carico in rotoballa intera, ma che risultano quasi identiche (pari a poco più di 113 kg/min) considerando l'intero ciclo di preparazione della miscela; nel caso di immissione di rotoballe intere di provenienza extra-aziendale, inoltre, si prefigura il rischio di introdurre fieno di qualità scadente non potendo effettuare un controllo sullo stato di conservazione del prodotto internamente alla confezione.

Con riferimento alle tabelle 5 e 6 citate, in conclusione, è necessario sottolineare come i tempi di carico - che influenzano le richieste energetiche - con le relative capacità di lavoro e i consumi di gasolio, non possano essere attribuiti direttamente al carro miscelatore in prova, poiché il carico e l'azionamento sono stati eseguiti con altre macchine (desilatrice elettrica e trattrice) le cui capacità operative o lo stato di manutenzione possono aver influito sui risultati finali. I dati relativi ai tempi di esecuzione, ai consumi di gasolio ed alle capacità effettive di lavoro devono, quindi, essere considerati come indicativi.

Funzionalità

Il carro si è rivelato di semplice impiego e meccanicamente ben realizzato a giudicare anche dalla stabilità e dall'assenza di oscillazioni durante le fasi di maggior richiesta di potenza.

Relativamente al carico, sembra di poter consigliare l'immissione dei componenti a stelo lungo (fieni, paglie, siloerba) dal lato sinistro del cassone data l'assenza della coclea superiore con conseguente, ampia luce di carico.

La capacità di svuotamento del cassone è risultata molto buona con una quantità media di residuo non scaricato pari a 19 ± 3 kg; tale valore, tuttavia, è risultato dipendere dal grado di trinciatura

del fieno e quindi dal tempo di trinciamiscelazione come illustrato dalla figura 6. Al tempo di trinciatura più elevato, pari a 20 minuti, corrisponde un maggior grado di trinciatura del fieno che sembra essere la causa del maggior residuo rimasto non scaricato all'interno del cassone; i frammenti di fieno di dimensioni più ridotte, infatti, non esercitano quell'azione di trascinamento sulla miscela osservabile con i tempi di trinciatura inferiori dove il fieno, in parte ancora lungo, trascina anche la componente più fine – che rimarrebbe depositata tra il fondo del cassone e il profilo della coclea – verso lo scarico.

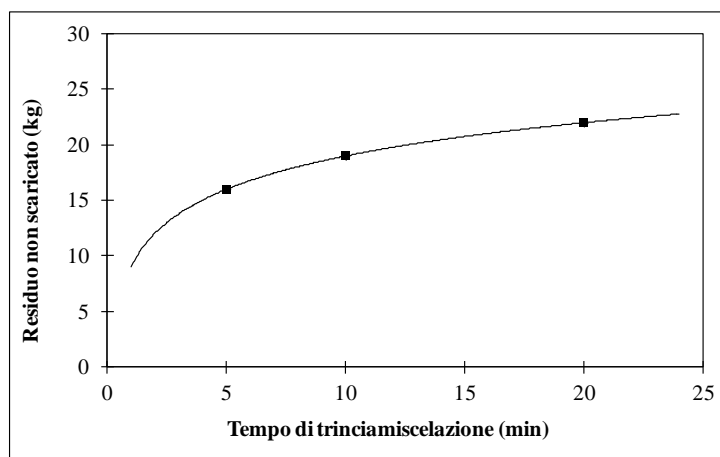


Fig. 6 - Andamento delle quantità di residuo di miscela non scaricabile dal carro in funzione del tempo di trinciamiscelazione.

Molto interessanti sono sembrate alcune soluzioni adottate per la centralina pivottante del sistema di pesatura quali la possibilità di impostare dimensioni e numero dei caratteri sul display e la disponibilità di un avvisatore acustico programmabile in funzione del tempo di miscelazione adottato.

Tutti i comandi, infine, erano raggruppati in una pulsantiera alloggiabile in cabina, rendendo immediato l'abbinamento trattrice-operatrice senza interventi di regolazione sul timone o sul braccio porta-leve.

Conclusioni

Il prototipo sviluppato e sottoposto a sperimentazione secondo una metodologia oggettiva proposta dalla Sezione di Treviglio dell'ISMA e adottata dal CONAMA, presenta una variante al sistema di trinciamiscelazione basato su coclee con spirali contrapposte grazie all'introduzione di una coclea superiore disassata avente il compito di forzare il prodotto verso le estremità della coclea basale.

Prima dell'avvio della produzione di serie, il costruttore ha inteso eseguire una serie di verifiche al fine di conoscere le prestazioni della macchina ed individuare eventuali modifiche migliorative.

La sperimentazione ha dimostrato la validità del sistema a due coclee sovrapposte che consente un soddisfacente grado di sfruttamento della volumetria senza penalizzare i tempi di carico, in particolare dei foraggi o dei sottoprodotti agricoli a stelo lungo. Le prestazioni fondamentali, trinciatura e miscelazione, risultano adeguate e vengono svolte soddisfacentemente in un tempo di 10 minuti. Contenute le richieste di potenza che consigliano di abbinare, al modello senza fresa da 12 m³, una trattrice della potenza minima di 52 kW.

Le prove, infine, non hanno inteso indagare sui dettagli costruttivi, in particolare quelli relativi alla sicurezza, che potranno essere rivisti dal costruttore in occasione della produzione industriale.

Tuttavia sono emerse alcune considerazioni tecniche che hanno portato il costruttore a prevedere un alleggerimento della massa complessiva della macchina, un aumento del regime di rotazione della coclea superiore al fine di accelerare l'operazione di trasporto del prodotto verso le estremità del cassone - operazione che si è rivelata critica, nel prototipo, in prossimità dei carichi più

elevati - ed una modifica ai coltelli applicati alla coclea superiore per semplificare le operazioni di affilatura e sostituzione degli stessi.

Bibliografia

- Bisaglia C, Guerretti M. 1998. L'uniformità di miscelazione di un carro trinciamiscelatore. *L'Informatore Agrario*, 54 (44): 43-48.
- Cannas A. 1999. Piatto unico anche per le pecore. *Informatore Zootecnico*, 46 (6): 56-58.
- Colzani G., Bisaglia C. 1996. Progetto di protocollo per il rilievo delle prestazioni di macchine operatrici per la preparazione di razioni complete (unifeed). Treviglio: ISMA.
- Formigoni A., Piva A. 1996. Feeding management and bovine milk quality. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, 22 (4): 251-257.
- Heinrichs J. 1996. Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Size Separator. Publ. DAS 96-20. University Park, Penn.: Pennsylvania State University.
- McCulloch M. E. 1994. Total mixed rations and supercows. Fort Atkinsons, Wise: W.D. Hoard & Sons.
- Succi G., Crovetto G.M. 1996. Feeding and milk quality: intensive dairy cow techniques. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, 22 (4): 231-240.

2.2.2 Criteri di scelta e di valutazione

Criteri di scelta e d'impiego dei carri trinciamiscelatori

Carlo Bisaglia

*Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola
Sezione di Treviglio (BG)*

In: L'Informatore Agrario 2000; Vol. 56; n. 21; pp.: 35-43. ISSN: 0020-0689. (CAB Abstracts accession number AN 20002402420).

Sommario

La scelta del carro trinciamiscelatore è, oggi, guidata dalle aspettative di qualità circa il lavoro che esso consente di svolgere. Non esistendo tipologie di macchine in assoluto migliori rispetto ad altre, appare fondamentale operare la scelta in funzione delle reali esigenze di ogni singola azienda.

Introduzione

Le tecniche di alimentazione zootecnica hanno il principale compito di soddisfare le esigenze fisiologiche degli animali allevati per conseguire risultati economici. Tali risultati sono, oggi, sempre più doverosamente legati alla qualità delle produzioni ottenute.

Tra le tecniche di alimentazione l'*unifeed*, se ben applicato, sembra attualmente raggiungere questi obiettivi (Formigoni e Piva, 1996), anche se con accorgimenti calibrati in funzione delle diverse specie per le quali è adottato. Oltre che per i principali ruminanti, infatti, tale tecnica è stata recentemente introdotta con successo anche nell'allevamento di cavalli e di struzzi (Burlini, 1999).

È la rilevanza di questa modalità di alimentazione dunque, che ha decretato il successo della macchina impiegata per eseguirla, il carro miscelatore.

Le tappe evolutive

L'indissolubilità tra tecnica di razionamento e meccanizzazione è testimoniata da McCullogh (1994), il quale riferisce come l'idea di fornire agli animali un'unica miscela di ingredienti sembri nascere addirittura verso la metà degli anni '30, negli Stati Uniti. I primi tentativi, tuttavia, non ebbero seguito al di fuori degli stabulari sperimentali, anche a causa della mancanza, nelle aziende agricole, di attrezzature meccaniche atte a manipolare insilati, fieni, concentrati, farine o altri componenti zootecnici con lo scopo di miscelarli.

Solo il successivo sviluppo e la diffusione di coclee, desilatori, sistemi di pesatura e, finalmente, di carri miscelatori permise l'affermazione di questa tecnica.

In Italia l'*unifeed* apparve alla fine degli anni '60, inizialmente negli allevamenti di bovini da carne, dove esisteva il problema del prelievo e distribuzione delle notevoli quantità di silomais impiegate. Il carro miscelatore era molto semplice, a coclee orizzontali sprovviste di lame in quanto destinate alla sola miscelazione di componenti già trinciati, concentrati e/o farine.

Negli allevamenti da latte, l'*unifeed* apparve solo a cavallo degli anni '70-80, quando i successi delle sperimentazioni vinsero la diffidenza nei confronti di tale tecnica applicata alla vacca da latte e i carri miscelatori si dotarono di lame per la trinciatura del fieno il cui utilizzo, in dosi di almeno 6-7 kg/capo, costituiva, all'epoca, una regola indiscutibile, in seguito trasgredita dalla diffusione di valide razioni realizzate principalmente con insilati.

A cavallo degli anni '80-90, infine, fu infranto l'ultimo tabù dell'*unifeed* con la formulazione di razioni prive di insilati destinate agli allevamenti da latte per la caseificazione a grana.

Anche la barriera costituita dall'individuazione della soglia di convenienza economica al di sotto della quale non sarebbe indicato l'acquisto del carro miscelatore oggi è stata superata dalla comparsa di modelli di soli 4-6 m³, alcuni dei quali addirittura semoventi, destinati alle piccole stalle di montagna, agli allevamenti di piccoli ruminanti o, per dovere di cronaca, agli allevamenti sperimentali per ricerche di carattere nutrizionale.

Sono dunque motivazioni di tipo fisiologico e non solo prettamente economiche quelle che hanno determinato l'affermarsi del razionamento completo tramite carri miscelatori; motivazioni che hanno portato, molto recentemente, al diffondersi di questa tecnica anche in quei Paesi europei (Francia, Germania, Regno Unito, Olanda) dove non era mai stata particolarmente presa in considerazione dagli allevatori a causa della disponibilità di pascoli. Oggi, al contrario, alcuni importanti costruttori nordeuropei di macchine agricole annoverano, tra le loro produzioni, anche un'ampia scelta di miscelatori. Inoltre, con riferimento al già citato spostamento verso il basso della soglia di convenienza economica, è da rilevare come in questi paesi, dove la dimensione media degli allevamenti da latte è di 60-80 capi, si stia diffondendo l'impiego di macchine semoventi di piccole dimensioni (10-12 m³), spesso di fabbricazione italiana, grazie all'acquisto in cooperativa o al ricorso a società di servizio.

Nello scenario sommariamente tratteggiato, dunque, appare sempre più evidente come la scelta del carro miscelatore sia guidata dalle aspettative sulla qualità del lavoro che esso consente di ottenere e, in definitiva, dall'esigenza che tale macchina realizzi razioni alimentari coincidenti analiticamente, entro limiti ben precisi di variazione, con quelle calcolate dagli alimentaristi.

Tale richiesta di qualità sembra rafforzata, anche a livello normativo, dal recente recepimento, con il decreto legislativo 123/99, di una direttiva europea nella quale anche i carri miscelatori sono stati chiamati in causa.

La scelta e il corretto uso di queste attrezzature appare, quindi, cruciale soprattutto per la notevole diversificazione delle tipologie di allevamento che ne fanno uso e per la vasta offerta attuale se si pensa che, solo in Italia, sono presenti circa trenta costruttori con una produzione, da noi stimata sulla base di una recente indagine, di quasi 4000 unità nel 1999.

Le funzioni di un carro trincia miscelatore

Il carro trinciamiscelatore deve consentire il rapido carico di un'ampia gamma di prodotti possibilmente da tutti i lati liberi del cassone e, se autocaricante, deve effettuare autonomamente tale operazione. Deve trinciare uniformemente i foraggi a stelo lungo senza, nel contempo, ridurne eccessivamente la lunghezza che non dovrebbe risultare inferiore ai 20 mm, deve effettuare la pesatura di ogni singolo ingrediente caricato con sufficiente precisione, deve eseguire un'omogenea miscelazione dei singoli alimenti e, in alcuni casi, deve sostituirsi al mangimificio aziendale realizzando miscele di farine da stoccare e impiegare successivamente nella formulazione delle razioni unifeed. Infine deve poter scaricare uniformemente il prodotto miscelato, possibilmente da entrambi i lati, consentendo di regolare le quantità scaricate e di eseguire il completo svuotamento del cassone.

Tali, spesso contrastanti, funzioni sono oggetto di lunghe discussioni sull'individuazione di quale sia il "miglior carro miscelatore". Purtroppo tale riconoscimento è destinato a restare senza assegnatario in quanto la scelta di una tipologia rispetto ad un'altra dipende principalmente da "cosa" si deve caricare e miscelare (Niranjan et al., 1994) e quindi dalle particolari esigenze di ogni singola azienda.

È necessario, poi, tenere in grande considerazione il fatto che le macchine evolvono in funzione dell'evolversi delle modalità di razionamento come è avvenuto in passato per i carri miscelatori divenuti, in seguito, trinciamiscelatori essendosi presentata l'esigenza di lavorare grandi quantitativi di fieno. I costruttori, infatti, sono estremamente attenti a soddisfare le esigenze emergenti registrando costantemente gli *inputs* provenienti dalle aziende agricole ed attivando processi di miglioramento attraverso tentativi ed errori che portano all'evoluzione, anche di dettaglio, delle macchine.

Oggi, ad esempio, a fianco dei tradizionali carri trinciamiscelatori, si può prevedere il ritorno a tipologie di carri più semplici, che eseguano la sola miscelazione di alimenti già trinciati e dei quali si voglia preservare la struttura fisica come nel caso del cosiddetto "miscelone" o del silomais trinciato lungo (>19 mm). Entrambi questi alimenti non richiedono ulteriori interventi di trinciatura, venendone, anzi, potenzialmente danneggiati.

Come spesso avviene con le innovazioni, si può prevedere che questi nuovi carri non soppianteranno gli attuali, ma vi si affiancheranno stimolando i costruttori a proporre gamme complete di miscelatori e di trinciamiscelatori destinati a soddisfare esigenze sempre più articolate.

Le modalità di carico

I carri trinciamicelatori utilizzati in zootecnia eseguono tutta una lavorazione “per lotti”, diversamente da alcune tipologie di miscelatori industriali che possono operare in continuo.

Ciò significa che i singoli alimenti vengono introdotti nel miscelatore in successione fino al raggiungimento del peso programmato per ognuno e fino al completamento del lotto. È evidente, detto per inciso, che la disponibilità di un sistema di pesatura con un grado di precisione compreso tra 0,25 e 1% non sia più da considerarsi un accessorio a richiesta, ma deve costituire un componente fondamentale del carro, sottoposto a regolare verifica e manutenzione.

L'ordine e le modalità di caricamento possono influire sull'uniformità e sul tempo di miscelazione oltre che, relativamente ai foraggi, sull'entità di trinciatura.

Per quanto riguarda l'ordine di carico, non esistono regole univoche, quindi è utile rispettare le indicazioni dei costruttori soprattutto per quanto riguarda fieni e mangimi; una recente indagine, infatti, riporta che circa il 45% dei costruttori contattati consiglia di caricare prima i fieni e poi i mangimi, mentre il 55% esattamente il contrario. Evidentemente l'aggressività e l'azione dei diversi dispositivi di trinciatura, la velocità di rotazione degli organi di lavoro, la conformazione del sistema di movimentazione e miscelazione degli ingredienti suggeriscono modalità di carico specifiche per garantire un'adeguata miscelazione senza provocare, nel contempo, un eccessivo sminuzzamento dei foraggi e/o un ristagno di prodotti non miscelati sul fondo del cassone.

Per quanto concerne le modalità di carico, i carri trainati privi di sistemi appositi devono essere affiancati da attrezzature specializzate (Fig. 1) quali caricatori frontali, caricatori trainati a ragno o desilatori elettrici a fresa. Questa situazione è caratteristica delle aziende italiane di medio-grandi dimensioni con carri di cubatura generalmente superiore ai 12 m³, mentre, a titolo di raffronto, costituisce la norma nel Regno Unito dove è estremamente diffuso l'impiego dei caricatori telescopici anche per il prelievo e carico degli insilati.



Fig. 1 - Per le operazioni di carico dei modelli trainati senza desilatore è necessario prevedere attrezzature per l'immissione dei singoli componenti. Particolare interesse stanno suscitando anche in Italia, i caricatori telescopici (Foto: Manitou).

I carri autocaricanti, trainati (Fig. 2) e semoventi (Fig. 3), sono invece generalmente dotati di desilatrici a fresa che consentono di eseguire un carico rapido dei prodotti insilati (in alcuni modelli si possono anche superare i 1000 kg/min su silomais) lasciando, nel contempo, compatto il fronte di prelievo del silo a garanzia di una buona impermeabilità all'aria. Nei modelli trainati, la polverosità prodotta, la necessità di posizionare opportunamente le balle, la scarsa visibilità e la necessità di manovre strette, ne scoraggiano, invece, l'impiego con i prodotti affienati.

Alcuni modelli verticali si sono dotati di sistemi di prelievo telescopici che, tuttavia, incidono sensibilmente sul costo della macchina (mediamente 2,5-3 milioni di lire per unità di volume del cassone) e sono, quindi, relativamente poco diffusi.



Fig. 2 - Le desilatrici a fresa sono generalmente preferite per il carico degli insilati.



Fig. 3 - I carri semoventi sono dotati di desilatrici a fresa polivalenti per caricare tutti gli ingredienti (Foto: Sgariboldi).

Recentemente, sono apparsi anche in Italia sistemi di prelievo a nastro (Fig. 4) o a blocchi (Fig. 5) che consentono, questi ultimi, di preservare la struttura fisica degli insilati, in particolare del silomais. Tale aspetto non deve essere sottovalutato, in quanto alcune recenti ricerche (Andrighetto et al., 1999) hanno dimostrato che un aumento della lunghezza di trinciatura del silomais da 6-8 a 19 mm contribuisce a contenere i costi di alimentazione grazie allo sfruttamento della quota di fibra strutturata apportata dal mais consentendo di ridurre l'impiego di fieni e siloerba nell'allevamento di bovine da latte o di paglia nel caso dei vitelloni da carne.



Fig. 4 - Desilatrice a nastro applicata ad un carro miscelatore a coclea verticale; il dispositivo può essere dotato di risalti in gomma o di denti metallici (Foto: Peecon).



Fig. 5 - Desilatrice a blocchi. Il vantaggio di tale dispositivo consiste nel preservare la lunghezza di trinciatura del prodotto conservato (Foto: Lucas).

È evidente che, per conseguire tale risultato, le macchine destinate al prelievo, alla trinciatura e alla distribuzione degli alimenti non debbano eseguire trattamenti meccanici aggressivi, tali da vanificare i vantaggi ottenibili dall'aumentata lunghezza di trinciatura ottenuta in fase di raccolta.

Concludendo sugli aspetti legati alle operazioni di carico, da segnalare la tendenza, emersa nel corso di prove, a caricare le macchine di una quantità complessiva variabile dal 4 all'8% in più rispetto a quanto programmato, a causa dell'inerzia esistente tra la lettura del quantitativo raggiunto e l'arresto dei dispositivi di carico. Su base annua, un miglior controllo di tali operazioni consentirebbe di risparmiare notevoli quantità di alimenti.

I sistemi di miscelazione o di trincia miscelazione

Tra i numerosi modelli oggi offerti è possibile individuare cinque gruppi di macchine contraddistinte da altrettanti sistemi di trinciamiscelazione (Fig. 6). Data l'evoluzione e le prospettive del settore, è sembrato opportuno inserire in tale classificazione anche sistemi non ancora diffusi in Italia, ma che potrebbero avere caratteristiche interessanti.

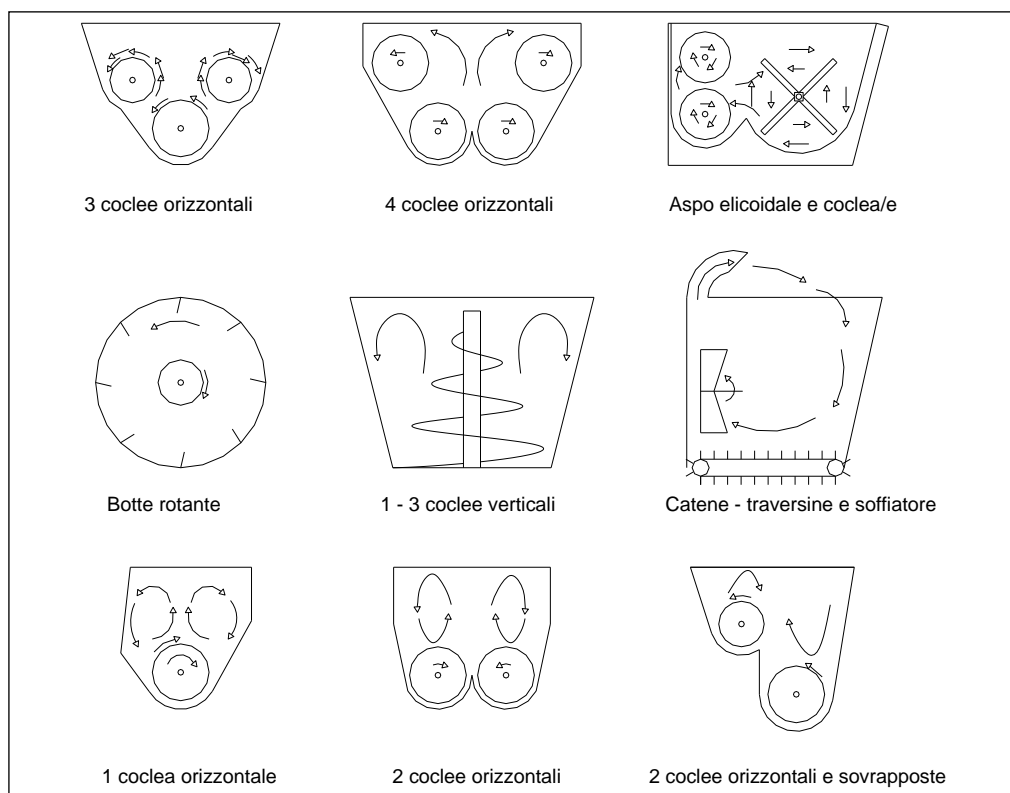


Fig. 6 - Schema dei principali sistemi di miscelazione presenti in Europa adottati per la preparazione di razioni unifed. L'evoluzione e il notevole ampliamento della gamme offerte dai costruttori vengono determinate dal diffondersi e dall'evolversi di specifiche tecniche di razionamento degli animali con spiccate differenze, evidentemente, a livello di singolo Paese, ma anche di singolo comprensorio zootecnico.

Tra le macchine a coclee orizzontali è fondamentale distinguere quelle con 3-4 coclee (Fig. 7), caratterizzate da spirali continue montate sullo stesso asse, da quelle con 1-2 coclee (Fig. 8) contraddistinte, invece, da spirali contrapposte montate sullo stesso asse. Tale impostazione progettuale modifica profondamente l'operatività delle macchine.



Fig. 7 - Dispositivo di trinciamiscelazione a coclee orizzontali. I sistemi a 3-4 coclee orizzontali montano spirali continue sullo stesso asse affidando alle coclee inferiori l'avanzamento del prodotto e a quelle superiori il ritorno posteriore per completare i flussi di miscelazione (Foto: Mutti).



Fig. 8 - Dispositivo di trinciamiscelazione a coclee orizzontali. I sistemi a 1-2 coclee orizzontali montano spirali contrapposte sullo stesso asse realizzando flussi convergenti di prodotto; il completamento dei flussi di ritorno è affidato alla spinta operata dal prodotto stesso.

È particolarmente importante, infatti, focalizzare l'attenzione sui flussi di prodotto originati dai diversi sistemi di miscelazione; la disposizione e le modalità con cui gli organi movimentano gli ingredienti sono in grado di influenzare non solo i tempi di miscelazione e l'accuratezza dell'amalgama, ma anche le richieste di potenza, il livello di sfruttamento del volume, l'insorgenza di fenomeni di ingolfamento o "bridging", la possibilità di operare con il cassone parzialmente riempito, la possibilità di utilizzare ingredienti che tendono a depositarsi (semi, pellets, ecc.), fenomeno noto come "segregazione", o la possibilità che essi si separino dalla miscela dopo tempi eccessivi di lavorazione, fenomeno noto come sovramiscelazione o "overmixing". Inoltre gli organi di miscelazione possono interferire con altre operazioni quali, soprattutto, il carico degli ingredienti a stelo lungo (fieno e fieno-silo) oppure determinare un più o meno completo svuotamento del cassone influenzando la pulizia e l'igiene delle razioni successive, aspetto, quest'ultimo, di estrema importanza in alcuni comprensori italiani che producono formaggi a lunga stagionatura o, all'estero, laddove si effettui un uso cooperativo delle macchine o si ricorra a società di servizi.

Le modalità di lavoro dei diversi sistemi di trinciamiscelazione implicano, infine, anche tempi diversi per completare l'amalgama tra gli ingredienti. Tali tempi sono, o dovrebbero essere, generalmente forniti dai costruttori.

Il rispetto del tempo di miscelazione rappresenta, infatti, un elemento focale per il corretto ed economico funzionamento della macchina contrariamente a quanto, spesso, avviene nella pratica. Una recente indagine condotta in 49 allevamenti da latte del Wisconsin, USA, ad esempio, ha evidenziato che il tempo di miscelazione adottato dagli allevatori era in media di 16 minuti, con variazioni da 2 a 60 minuti, rispetto ai 3-6 minuti consigliati dai costruttori.

Sembra interessante, infine, accennare ad un prototipo italiano, recentemente realizzato ed ancora in corso di sperimentazione, che consente la sola miscelazione di ingredienti già trinciati o sfarinati sviluppando originalmente una tipologia già diffusa nel nord Europa.

La macchina si caratterizza per un aspo elicoidale che determina, ruotando, l'avanzamento del prodotto; una coclea tubolare coassiale completa il flusso di miscelazione riportando gli alimenti nella parte posteriore del cassone (Figg. 9a, b).



Fig. 9 - Prototipo di un sistema di miscelazione caratterizzato da un aspo elicoidale, rotante in senso antiorario, che spinge il prodotto verso la parte anteriore del cassone e da una coclea tubolare coassiale che riporta posteriormente gli ingredienti completando il flusso di miscelazione. (a) Si noti, in uscita dalla coclea tubolare, il flusso di ritorno che consente di completare il ciclo di miscelazione. (b) La macchina a pieno carico durante la realizzazione di una razione per vitelloni da carne con silomais trinciato lungo a 24 mm.

Le prime prove di messa a punto hanno consentito di stabilire alcuni limiti operativi del sistema, quali la sensibilità al sovraccarico e l'importanza di ridurre al minimo la luce libera tra aspo e fondo del cassone (Fig. 10); rispettati tali accorgimenti la macchina si è dimostrata in grado di lavorare correttamente con prodotti già trinciati quali, oltre ovviamente alle farine, il "miscelone" e il silomais trinciato lungo a 24 mm (Fig. 11).

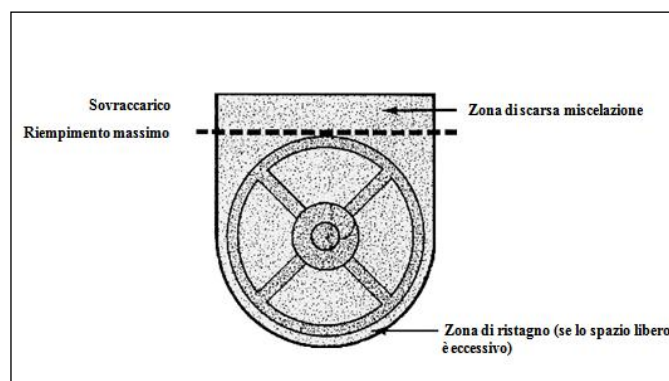


Fig. 10 - Schema di funzionamento di un sistema di miscelazione ad aspo elicoidale: la presenza di uno spazio libero tra l'aspo e il fondo del cassone e il sovraccarico sono i principali fattori limitanti le prestazioni di tale tipologia. Alcuni costruttori hanno applicato sull'aspo degli inserti in gomma che, sporgendo dal profilo esterno dello stesso, azzerano la luce libera migliorando sensibilmente le prestazioni della macchina (Da: Wilcox e Balding, 1986, modificato).



Fig. 11 - Influenza dei trattamenti meccanici sulla lunghezza di trinciatura del silomais. Da sinistra a destra: silomais trinciato a 24 mm prelevato con desilatrice a fresa; stesso prodotto prelevato a mano; unifeed miscelato; stessa razione trinciamiscelata.

I criteri di scelta

Non esistono, attualmente, indicazioni univoche sulla scelta di un carro trinciamiscelatore in quanto le variabili che possono influire sulla scelta sono numerose (Bisaglia e Guerretti, 1998); un ausilio alla scelta può derivare dal servizio volontario di certificazione europeo sorto in ambito ENTAM (European Network for Testing of Agricultural Machines) che, tuttavia, solo molto recentemente adotta, per i carri miscelatori, metodi e condizioni di prova simili nei diversi Paesi aderenti per cui sono ancora pochi i modelli per i quali esistono rapporti tecnici raffrontabili (tab. 1); infine anche i test eseguiti dai costruttori, quando disponibili, non sempre sono confrontabili per gli stessi motivi di variabilità metodologica e operativa.

Tab. 1 – Elenco delle macchine unifeed certificate o in corso di certificazione dall'ENAMA

Cert. n.	Modello macchina	Ditta	Riconoscimenti ENTAM					anno
			BLT n.	Cemagref n.	DIAS n.	DLG n.	FAT n.	
001a	Rotomix 4000	Rotomix srl	I-05-99	F-30799	E99-004	I-4810	I-02-99	1999
001b	Rotomix 3000S	Rotomix srl	I-05-99	F-30799	E99-004	I-4810	I-02-99	1999
001c	Rotomix 3500	Rotomix srl	I-05-99	F-30799	E99-004	I-4810	I-02-99	1999
001d	Rotomix 4500	Rotomix srl	I-05-99	F-30799	E99-004	I-4810	I-02-99	1999
001e	Rotomix 5000	Rotomix srl	I-05-99	F-30799	E99-004	I-4810	I-02-99	1999
002	Samurai tre plus 500/150-P	Seko spa						2000
003a	Labrador DS 12(*)	Storti Internat. srl						2000
003b	Labrador DS 5(*)	Storti Internat. srl						2000
003c	Labrador DS 7(*)	Storti Internat. srl						2000
003d	Labrador DS 9(*)	Storti Internat. srl						2000

(*) Prove in corso di esecuzione

La scelta di una macchina dipende in larga parte da circostanze individuali; ottenere dal costruttore un periodo di prova in azienda è forse, attualmente, il sistema più sicuro per decidere un acquisto.

Prima di giungere a questo passo, tuttavia, è consigliabile effettuare un percorso cronologico per puntualizzare:

- la razione da preparare;
- il cantiere di lavoro necessario;
- il sistema di trinciamiscelazione più adatto.

In linea di principio, il tipo di carro va scelto in funzione della razione da preparare con riferimento, in particolare, ai singoli componenti da utilizzare. Se la razione, ad esempio, prevede l'impiego di elevate quantità di foraggi a stelo lungo, affienati o insilati, si presenterà il problema del loro carico e trinciatura. Per tale motivo, verso la metà degli anni '80, sono stati concepiti i carri a coclea verticale; la loro particolare forma, infatti, consente la rapida introduzione dei foraggi interi senza che si creino interferenze con gli organi di miscelazione come può avvenire con i carri a 3-4 coclee orizzontali; questi ultimi, tuttavia, oltre ad aver sviluppato modelli con coclee superiori tronche che, in parte, limitano i citati inconvenienti, eseguono un'eccellente miscelazione oltre a risultare più economici. Nel tentativo di ovviare ai problemi di carico del fieno o del siloerba in balle, ma con l'obiettivo di ridurre i costi, sono recentemente apparsi carri a 1-2 coclee con spirali contrapposte il cui costo è leggermente inferiore rispetto a quello delle macchine più tradizionali, ma, pur consentendo un carico agevole dei prodotti a stelo lungo, non migliorano i tempi complessivi di lavoro avendo tempi di trinciatura e di miscelazione superiori.

Se, al contrario, la razione prevede l'impiego di componenti già trinciati e/o di cui si voglia preservare la lunghezza di trinciatura considerata ottimale, sono da considerare con interesse gli sviluppi di macchine miscelatrici, eventualmente dotate di desilatori a blocchi, sprovviste di azione trinciante.

Relativamente al cantiere di lavoro, è necessario stabilire se convenga adottare un carro trainato senza desilatore, con desilatore o semovente. La scelta, in questo caso, non è solo tecnica, ma principalmente economica ed organizzativa e può essere fatta tenendo conto, oltre che delle attrezzature già presenti in azienda, soprattutto, anche in questo caso, del tipo di alimenti da caricare. In linea di massima, limitando le osservazioni alla più conosciuta casistica relativa all'allevamento bovino, per le mandrie di piccole dimensioni (fino a 40-50 capi) alimentate con insilati, è consigliabile un carro trainato, generalmente a coclee orizzontali dato il minor costo, dotato di desilatore; questa macchina costituisce l'attrezzatura base, cui si affiancherà un trattore con forca o pinza frontale per il carico del fieno o del fieno-silo. Il desilatore, per contro, si rivela un accessorio del tutto inutile, oltre che incidente per 1,5-2 milioni/m³ nominale del cassone per i carri orizzontali e per 2,5-3 milioni/m³ per quelli verticali, in quegli allevamenti che utilizzano razioni a base di fieni per produrre i formaggi grana: in questi casi gli elevati quantitativi di fieno necessari ne consigliano il carico in un'unica o più soluzioni mediante forca frontale o caricatore telescopico.

Per gli allevamenti di dimensioni maggiori (fino a 100-120 capi) sono indicati i carri trainati privi di fresa affiancati da desilatrici specializzate per ogni tipo di insilato o per ogni silo anche se, dovendo sostituire il vecchio carro trainato, queste aziende si rivolgono sempre più frequentemente ai carri semoventi.

Gli allevamenti con più di 120 capi, infine, sono attualmente quelli più indicati ad acquistare un carro semovente dato il numero di miscelate giornaliere necessarie a coprire i fabbisogni dei diversi gruppi in mungitura e della rimonta.

Un elemento di scelta aggiuntivo potrebbe, in futuro, essere costituito dal tipo di desilatore da adottare, in particolare per il carico del silomais: sarà preferibile il tipo a fresa, come nella grande maggioranza dei casi attuali, se non esistono esigenze legate al grado di trinciatura della fibra, oppure del tipo a blocchi se si intende preservare il più possibile la lunghezza di trinciatura stabilita in fase di raccolta.

La scelta del sistema di trinciamiscelazione, infine, risulta quella tecnicamente più difficile in quanto le variabili da considerare sono numerose.

Anche in questo caso si dovrà tenere conto del tipo di razione impiegata e delle esigenze di carico, trinciatura e miscelazione. In tabella 2 sono sintetizzate alcune caratteristiche dei principali sistemi oggi in commercio.

Tab. 2 - Caratteristiche indicative dei sistemi di trinciamiscelazione oggi in commercio

Caratteristica	Sistema di trinciamiscelazione				
	3-4 coclee orizzontali	Botte rotante	1-3 coclee verticali	1-2 coclee orizzontali	Aspo elicoidale e coclea tubolare
Capacità di carico	Buona. Si possono verificare interferenze tra coclee superiori e fieno intero durante il carico	Buona. Il carico avviene esclusivamente mediante fresa	Molto buona. È la tipologia che consente le più rapide operazioni di carico	Buona. Si possono verificare fenomeni di ingolfamento, o bridging, in caso di sovraccarico	Buona. Si possono immettere solo ingredienti già trinciati.
Possibilità di caricare fieno in rotoballe intere	Non adatto	Non possibile	Adatto	Possibile	Non possibile
Grado di sfruttamento del cassone	Molto buono (90%)	Soddisfacente (70%)	Molto buono (90%)	Buono (85%)	Buono (85%)
Grado di trinciatura	Molto buono	Insufficiente senza rotore supplementare. Molto buono con rotore	Buono	Buono	Nullo
Tempi di miscelazione ⁽¹⁾	5±2 min	10±2 min	5±2 min	10±2 min	12±2
Omogeneità di miscelazione	Molto buona	Buona	Buona	Buona	Buona
Sensibilità alla segregazione o alla sovra miscelazione (overmixing)	Poco sensibile	Sensibile alla segregazione con semi interi o pellets	Sensibile alla sovrasmiscelazione se si eccede il tempo di miscelazione consigliato	Poco sensibile	Poco sensibile
Possibilità di operare con cassone parzialmente riempito	Non consigliabile. I risultati possono essere imprevedibili se le coclee superiori non sono immerse nel prodotto	Possibile	Possibile	Possibile	Possibile
Richieste di potenza per tonnellata lavorata ⁽²⁾	Da medie a elevate (10-12 kW/t) in funzione del numero di coclee e del loro regime di rotazione	Elevate (12-13 kW/t). Si tratta, tuttavia, di un'operatrice disponibile in versione semovente, ad azionamento idraulico, opportunamente dimensionata	Elevate (12-13 kW/t). È, tuttavia, generalmente disponibile un riduttore per adeguare le richieste di potenza alle trattrici disponibili	Da ridotte a medie (9-11 kW/t) in funzione del numero di coclee e del loro regime di rotazione	Molto ridotte (7-8 kW/t)
Funzionalità	Buona	Buona	Buona. Da considerare l'altezza del cassone elevata	Buona. Da considerare l'assale arretrato in manovra e con trattrici non zavorrate anteriormente	Buona

⁽¹⁾ Indicativi, con razioni contenenti l'80% di silomais e il 14% di fieno

⁽²⁾ Senza fresa

Un elemento importante da determinare è costituito dalla dimensione della tramoggia di trinciamiscelazione.

Devono essere considerati alcuni elementi chiave tra cui l'ingombro della razione, in particolare la sua massa volumica (Tab. 3), l'ingestione media per capo, il numero di capi e di gruppi da alimentare, il numero di miscelate giornaliere o l'eventuale frazionamento della miscelata giornaliera in due o più riprese e il grado di sfruttamento della volumetria nominale del sistema di miscelazione prescelto in quanto non tutte le macchine utilizzano allo stesso modo la cubatura nominale dichiarata.

Tab. 3 - Massa volumica indicativa di razioni unifeed

Tipo di razione	Massa volumica ⁽¹⁾ (kg/m ³)
Razioni a base di fieni	190-220 ⁽²⁾
Razioni con insilati e il 10-20% di fieni	240-260
Razioni a base di insilati	270-290

⁽¹⁾ I valori si riferiscono alla razione pronta.

⁽²⁾ Poiché, con queste razioni, il volume del fieno intero costituisce il fattore limitante nel dimensionamento del carro, è prudente adottare, in questa fase, la massa volumica del fieno sommariamente trinciato, pari a 160 kg/m³.

Considerando che oggi la scelta spazia dai 4 ai 30 m³, la capacità operativa del cassone si può indicativamente individuare dalla seguente relazione:

$$V_c = \frac{D_g \cdot Q_i \cdot 100}{M_v \cdot G_s \cdot N}$$

dove:

- V_c = volume del cassone necessario (m³);
- D_g = dimensione del gruppo o della mandria (n. capi);
- Q_i = quantità giornaliera ingerita (kg/capo·giorno);
- M_v = massa volumica della razione (kg/m³);
- G_s = grado di sfruttamento del cassone (%);
- N = volte in cui è frazionata la razione giornaliera.

La massa volumica della razione pronta, con riferimento alla citata *tabella 2*, varia essenzialmente in funzione del tenore di sostanza secca, del contenuto di fieni o paglie e del tipo di insilato; si consideri, tuttavia, che nell'utilizzo di razioni a base di fieni, il fattore limitante il dimensionamento del carro è costituito dal notevole ingombro, al momento del carico, del fieno intero avente una massa volumica di 80-100 kg/m³ in funzione della specie foraggera e delle modalità di raccolta. Si consiglia, pertanto, sulla base di esperienze in loco, di utilizzare la massa volumica del fieno parzialmente trinciato, pari a 160 kg/m³. Per le razioni con insilati e fieni i valori inferiori (240 kg/m³) sono relativi alle miscele contenenti le maggiori percentuali di fieni (20%), mentre, relativamente alle razioni a base di insilati, i valori inferiori (270 kg/m³) si riferiscono a miscele contenenti, oltre al silomais, anche insilati d'erba, mentre i valori superiori corrispondono a razioni più pesanti, a base di silomais.

Considerazioni conclusive

La tecnica di razionamento *unifeed*, richiedendo la miscelazione omogenea di singoli alimenti, ha determinato lo sviluppo e la diffusione di carri miscelatori e trinciamiscelatori dalla cui corretta scelta e impiego dipendono in buona parte i risultati zootecnici attesi.

L'evoluzione di queste macchine è stata in larga misura determinata dall'evolversi delle modalità di razionamento e dall'ampliarsi delle specie animali cui l'unifeed è applicabile con successo.

Ciò è sufficiente per affermare, concordemente ai molti riferimenti bibliografici in materia, che non esiste una tipologia di macchina migliore rispetto ad altre, ma che ogni scelta deve essere effettuata sulla base delle esigenze individuali di ogni azienda.

Adottando un criterio "industriale" può essere utile considerare il fatto che i carri miscelatori usati in zootecnia operino tutti "per lotti" di prodotto; ogni razione preparata, quindi, costituisce un lotto la cui corrispondenza alle "specifiche di produzione" (cioè alla razione sulla carta) e la cui composizione costante e omogenea sia all'interno del lotto che tra i lotti, costituiscono gli elementi

fondamentali di giudizio circa la qualità delle prestazioni della macchina e la correttezza del suo impiego da parte dell'operatore.

Un giudizio favorevole è, con le macchine attuali, facilmente raggiungibile se si eseguono con attenzione tutte le fasi di preparazione del lotto, in particolare quelle di carico. È necessario, inoltre, il rispetto del tempo di miscelazione consigliato per ogni tipologia e per ogni razione.

Una corretta scelta cantieristica in particolare relativa ai sistemi di carico e di trinciamiscelazione, deve essere effettuata, sostanzialmente, in funzione dei prodotti da lavorare.

Ringraziamenti

Si ringraziano l'Officina Macchine Agricole di Pecis Egidio, Zanica (BG), ideatrice del prototipo di carro miscelatore ad aspo elicoidale, per aver messo a disposizione la macchina e le Aziende Agricole "Cascina Nuova" di Luigi Carrara, Arzago d'Adda (BG) e "La Rosa" di Elisabetta Piana & C., Loc. Cascina Bergamaschi, Ghisalba (BG) per averne consentita la messa a punto.

Bibliografia

- Andrighetto I., Berzaghi P., Cozzi G., Burato G., Leonardi C. 1999. Silomais più lungo, costi di alimentazione minori. *L'Informatore Agrario* 55(31): 35-38.
- Anon. 2000. Paddles or augers for a magic mix? *Profi International* 5:16-21.
- Bisaglia C., Guerretti M. 1998. L'uniformità di miscelazione di un carro trinciamiscelatore: problematiche e verifiche sperimentali. *L'Informatore Agrario* 54(44): 43-48
- Burlini F. 1999. Comunicazione personale. Villafranca di Verona (VR), 30 dicembre.
- Formigoni A., Piva A. 1996. Feeding management and bovine milk quality. *Zootecnica e Nutrizione Animale* 22(4): 251-257.
- Kammel W.D. 1998. Design, selection and use of TMR mixers. In: *Proceedings of the Tri-state dairy nutrition conference, April 21-22, Fort Wayne (Ind.)*. Columbus (Ohio): Ohio State University, p. 121-128.
- McCulloch M.E. 1994. Total mixed rations and supercows. Fort Atkinson (Wisc.): W.D. Hoard & Sons.
- Niranjan K., Smith D.L.O., Rielly C.D., Lindley J.A., Phillips V.R. 1994. Mixing process for agricultural and food materials. 5, Review of mixer types. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(3): 145-161.
- Wilcox R.A., Balding J.L. 1986. Feed manufacturing problems: incomplete mixing and segregation. Publication C-555. Manhattan (Kans.): Kansas State University, Cooperative Extension Service.

2.2.3 L'uniformità di miscelazione

Questo aspetto risulta di principale importanza in quanto rappresenta il criterio con cui valutare se la razione progettata sulla carta, in termini di contenuto bilanciato di elementi nutritivi in funzione dell'obiettivo produttivo da raggiungere, è stata realmente realizzata per mezzo delle attrezzature meccaniche disponibili oppure se è stata introdotta una variazione rispetto ai parametri desiderati e di quale entità; ciò al fine di poter intraprendere eventuali azioni correttive sul protocollo di preparazione della razione.

Numerose ricerche hanno posto l'accento su questo fondamentale parametro funzionale (Hermann, 1994; Barmore, 2002; Behnke, 2005; Buckmaster, 2009) proponendo vari metodi per la determinazioni oggettiva di questo parametro.

Tutti i metodi proposti si basano sull'analisi della variabilità di marcatori presenti o introdotti nei componenti da miscelare. La principale caratterizzazione dei metodi si basa soprattutto sulla scelta dei marcatori da utilizzare. La provenienza di questi marcatori può essere esterna oppure interna agli ingredienti da miscelare. Nel primo caso si individuano alcuni parametri nutrizionali noti per i singoli ingredienti e che consentono di determinare il valore atteso che si dovrebbe riscontrare nella miscela; tali parametri possono essere la sostanza secca, la proteina grezza o la fibra grezza. Questi indicatori vengono successivamente ricercati in campioni di miscela ed analizzati per la variabilità riscontrata.

Nel secondo caso, invece, vengono introdotti, in dosi note, alcuni elementi fisici (semi, cenere) oppure chimici (cloruro di sodio, coloranti) la cui concentrazione attesa viene analizzata in campioni di miscela.

In tutti i casi una discreta variabilità è inevitabile in seguito alla variabilità intrinseca presente negli ingredienti di origine vegetale, alle pratiche utilizzate (pesatura, errori di carico) o a difetti nelle attrezzature. Molti lavori hanno consentito di individuare i limiti di accettabilità per la variazione presente in razioni bovine. Un approfondito lavoro di analisi è riportato nel lavoro eseguito dal candidato di seguito riportato:

Bisaglia C., Guerretti M. 1998. L'uniformità di miscelazione di un carro trincia-miscelatore: problematiche e verifiche sperimentali. L'Informatore Agrario 4(44): 43-48. ISSN: 0020-0689. (CAB Abstracts accession number AN 19992400612).

Inoltre, dalle sperimentazioni eseguite ed in seguito alla costituzione di un Gruppo di Lavoro internazionale sorto nell'ambito dell'European Network for Testing of Agricultural Machinery (ENTAM) è sorta l'esigenza di creare, diffondere o di uniformare eventuali metodi di valutazione dell'uniformità di miscelazione a livello europeo.

Da questo lavoro è scaturita una proposta metodologica basata sui lavori del candidato i quali già avevano permesso di proporre un protocollo di prova a livello nazionale, adottato dall'Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola (ENAMA) ed utilizzato in prove volontarie volte all'ottenimento della certificazione funzionale di carri miscelatori e trinciamiscelatori.

La proposta accettata dal gruppo di lavoro (Bisaglia C., 2003. ENTAM) è riportata nel successivo paragrafo 2.2.4.

L'uniformità di miscelazione di un carro trincia miscelatore: problematiche e verifiche sperimentali

Carlo Bisaglia, Matteo Guerretti

*Istituto sperimentale per la meccanizzazione agricola.
Sezione di Treviglio (Bergamo)*

In: L'Informatore Agrario. 1998; Vol. 4; n. 44; pp.: 43-48. ISSN: 0020-0689. (CAB Abstracts accession number AN 19992400612).

Sommario

La crescente domanda di carri trinciamiscelatori rende necessario stabilire alcune modalità oggettive per valutarne le prestazioni, in particolare la miscelazione, al fine di operare al meglio la scelta. In quest'ottica è stata condotta una serie di prove per mettere a confronto due metodi di valutazione della miscelazione.

Introduzione

La miscelazione di materiali solidi e/o liquidi, è un procedimento usato dall'uomo fin dall'antichità. Sembra, infatti, che uno dei primi dispositivi di miscelazione sia stato il mortaio con pestello, ancora oggi usato in alcuni Paesi in via di sviluppo (Lindley, 1991a).

Oggi, nei Paesi più evoluti, la miscelazione è un procedimento diffusissimo in molti settori produttivi. Basti pensare all'industria farmaceutica, alla produzione di gomme e materie plastiche, alle industrie alimentari e mangimistiche, alla produzione di fertilizzanti, ecc. (Nienow et al., 1992). Anche negli allevamenti italiani la miscelazione ha fatto la sua comparsa inizialmente per la preparazione aziendale di mangimi e, in seguito, con la diffusione dell'unifeed, tecnica importata verso la fine degli anni 60.

Il successo della tecnica unifeed ha determinato una notevole diffusione del carro trinciamiscelatore. È a questa macchina che l'allevatore affida la preparazione delle razioni, le quali, sempre più spesso, sono definite in modo molto accurato con l'ausilio del calcolatore. È evidente che il carro miscelatore non dovrà deludere le aspettative di precisione ed uniformità della miscela; in caso contrario, perché essere così precisi nella formulazione delle razioni?

Purtroppo, allo stato attuale, anche se le bovine diventano sempre più produttive e il calcolo delle razioni sempre più calibrato, non è diffusa una prassi oggettiva di valutazione dell'operato dei miscelatori; anzi, potremmo concordare con chi afferma che la miscelazione sia ancora oggi considerata un'arte piuttosto che una scienza (Lindley, 1991b).

A complicare le cose, inoltre, sta il fatto che il carro miscelatore ha dovuto adattarsi ad una grande polivalenza d'impiego nel tentativo di assicurare miscele uniformi a partire da una crescente gamma di alimenti. Questa macchina, infatti, si è diffusa in realtà produttive notevolmente diversificate comprendenti le grandi aziende di pianura che adottano massicciamente i foraggi insilati, le piccole stalle di montagna che fanno largo ricorso ai fieni o all'erba-silo e, recentemente, le aziende che utilizzano razioni senza insilati per la produzione di latte destinato a formaggi a lunga stagionatura.

Come fare, allora, a scegliere la macchina ideale? Esiste un'operatrice polivalente in grado di miscelare bene una vasta gamma di ingredienti? E come valutare oggettivamente quella prestazione fondamentale che definiamo "uniformità di miscelazione"?

La Sezione di Treviglio dell'ISMA (Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola), da tempo impegnata sull'argomento nel tentativo di rispondere a queste domande, ha recentemente effettuato una serie di prove con lo scopo di confrontare due metodi di valutazione della miscelazione.

Obiettivi e variabili della miscelazione

L'obiettivo principale della miscelazione è quello di realizzare un prodotto, la "miscelata", all'interno del quale i singoli ingredienti siano distribuiti uniformemente senza che si verifichino carenze o eccessi indesiderati e dannosi.

Quest'uniformità, tuttavia, è una caratteristica difficile da valutare oggettivamente.

Una prima difficoltà è dovuta al fatto che la valutazione non può prescindere dalla conoscenza del grado di precisione che si vuole raggiungere: in altre parole e rimanendo in ambito zootecnico, il grado di uniformità richiesto per preparare una miscela di svezzamento per suinetti è maggiore rispetto a quello preteso per una razione di mantenimento per bovini all'ingrasso; si deve, quindi, ammettere la possibilità che la miscela ottimale possa essere più o meno omogenea a seconda dell'uso finale che se ne farà.

Una seconda difficoltà deriva dal fatto che la miscelazione è un processo dipendente da svariati fattori tra loro interdipendenti, quali:

- le caratteristiche costruttive ed operative del carro miscelatore (la forma e le dimensioni del cassone, la geometria e il regime di rotazione degli organi di miscelazione, ecc.);
- il numero e il tipo di ingredienti della razione, che possono essere più o meno facilmente miscibili in funzione delle loro caratteristiche fisiche, le loro proporzioni, l'ordine e le modalità di caricamento;
- l'umidità intrinseca e/o la presenza di leganti come, ad esempio, l'acqua addizionale o il melasso;
- le trasformazioni subite dagli ingredienti durante la miscelazione (trinciatura, rottura e sbriciolamento, cessione o assorbimento di umidità, agglomerazione e formazione di grumi) che ne modificano "in corso d'opera" la miscibilità;
- il grado di riempimento del cassone;
- l'attitudine alla segregazione di alcuni ingredienti;
- il tempo di miscelazione.

Una terza difficoltà, infine, deriva dalla sensibile influenza della metodologia di prova sulla valutazione finale che potrà variare considerevolmente in funzione, soprattutto, dei marcatori scelti e della tecnica di campionamento.

In questa nota, ci si limiterà a prendere in considerazione il ruolo del tempo di miscelazione, l'utilizzo di marcatori e la tecnica di campionamento.

Tempo di miscelazione

Per tempo di miscelazione si intende, ai fini delle prove, la fase che intercorre tra il carico completo dell'ultimo ingrediente e l'arresto del dispositivo di miscelazione, prima del trasporto e scarico in mangiatoia.

Il rispetto di tale tempo è frequentemente sottovalutato nella pratica in quanto si ritiene sufficiente un'analisi visiva o tutt'al più tattile della miscela per giudicarne la raggiunta omogeneità.

Al contrario, il tempo di miscelazione è un parametro chiave per la realizzazione di una miscela avente il desiderato grado di uniformità, come si può intuire osservando la Figura 1.

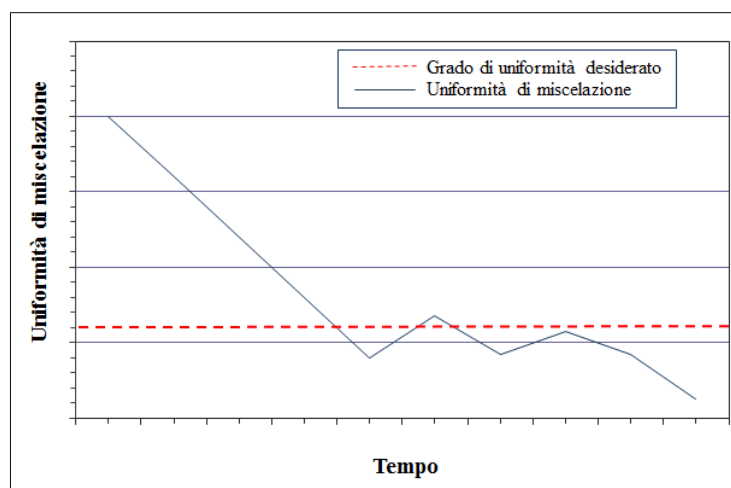


Fig. 1 – Andamento dell'uniformità di miscelazione. Una volta stabilito il grado di uniformità desiderato, bisogna individuare il tempo minimo di miscelazione necessario per raggiungerlo. Tempi troppo brevi forniscono miscele poco omogenee, mentre tempi lunghi sono il più delle volte inutili se non controproducenti (Da: Lindley, 1991b, modificato).

La miscelazione, infatti, è un processo teoricamente infinito poiché gli ingredienti possono essere mescolati continuamente; la decisione fondamentale da prendere è stabilire il momento in cui il processo deve essere interrotto in modo da ottenere l'uniformità desiderata al minor costo. Un tempo di miscelazione troppo breve relativamente alle caratteristiche fisiche degli ingredienti, infatti, comporterebbe l'ottenimento di una miscela poco omogenea, mentre un periodo eccessivo determinerà sprechi energetici, possibile demiscelazione di alcuni ingredienti, eccessiva trinciatura dei fieni.

Nel corso delle presenti prove, si è stabilito che le miscelazioni avessero durata crescente (5, 10 e 20 minuti) per individuare il tempo minimo necessario al raggiungimento dell'uniformità desiderata.

Utilizzo di marcatori e tecnica di campionamento

Questi aspetti della metodologia di prova giocano un ruolo fondamentale nella valutazione finale di un miscelatore. Si può affermare che, contrariamente ad altre prestazioni meccaniche di più univoca determinazione come, ad esempio, la velocità, la valutazione della miscelazione dipende in misura determinante dalle modalità con cui la si misura (Pierce, 1961).

Per le miscele zootecniche sono stati messi a punto diversi metodi di prova, tutti caratterizzati dalla necessaria semplicità ed economicità operativa.

Alcuni di questi metodi utilizzano degli indicatori, detti anche marcatori o traccianti, assolutamente estranei, fisicamente o chimicamente, alla razione come semi (frumento, soia, girasole, pisello, ecc.), sali (cloruro di sodio) o altri composti chimici (sesquiossido di cromo) che vengono aggiunti in quantità note e successivamente ricercati in campioni di miscela per valutarne l'omogeneità di distribuzione.

Questi metodi sono molto accurati, ma richiedono l'aggiunta di elementi estranei alle razioni, cosa non sempre possibile o accettabile presso le aziende agricole.

In alternativa, per semplificare le verifiche, sono stati proposti metodi che richiedono di valutare l'omogeneità di distribuzione di uno o più componenti degli ingredienti (per esempio la proteina grezza, la fibra, la sostanza secca, ecc.). Questi metodi sono molto più semplici, ma, teoricamente, meno precisi soprattutto se gli ingredienti da miscelare hanno contenuti molto simili nei componenti da analizzare oppure diversi tenori di umidità, la quale, però, avendo la proprietà di diffondere, tende ad uniformarsi. In entrambi i casi, quindi, l'omogeneità di distribuzione potrebbe non essere attribuibile alla miscelazione (si pensi, ad esempio, al contenuto generalmente molto simile di fibra grezza o di sostanza secca in alcuni foraggi nel caso si utilizzino questi parametri come indicatori della loro uniforme miscelazione oppure alla diffusione di umidità da un ingrediente all'altro senza che sia avvenuta miscelazione nel caso si utilizzi solo la sostanza secca come indicatore).

Questi ultimi metodi, tuttavia, hanno il vantaggio che, se ben eseguiti, forniscono risposte concrete ed immediate.

Una volta stabilito quali marcatori utilizzare, è necessario procedere alla valutazione della loro distribuzione all'interno della miscela tramite l'analisi di alcuni campioni.

È ormai accertato che la miscelazione rientra tra i processi di tipo casuale, descrivibili solo a posteriori ricorrendo a indici statistici che esprimono la variabilità riscontrata tra campioni di miscela. Il numero e la dimensione dei campioni da raccogliere è, dunque, determinante per la valutazione finale.

L'esempio seguente potrà aiutare a chiarire questo concetto (Rielly et al., 1994).

Per semplicità si supponga di dover miscelare due ingredienti in parti uguali. La Figura 2a rappresenta la situazione teorica, in cui i due ingredienti, rappresentati da quadratini bianchi e neri, sono distribuiti omogeneamente e non casualmente. Anche le singole porzioni di 16 quadratini in cui è ripartita la miscela contengono lo stesso rapporto tra i due ingredienti. Questa potrebbe essere la situazione ideale di una razione progettata al computer.

Nella pratica, il carro miscelatore potrà realizzare, nel migliore dei casi, una distribuzione casuale dei due ingredienti, pervenendo alla situazione rappresentata in Figura 2b.

In questo caso ogni singola porzione di 16 quadratini contiene un numero variabile di particelle bianche e nere, anche se, facendo la media di tutte le porzioni, troveremo sempre un rapporto del 50% tra le due particelle.

Se analizzassimo, come campione scelto a caso, una sola porzione di 16 quadratini della miscela in Figura 2b oppure una porzione più piccola di soli 8 quadratini, potremmo trarre conclusioni poco rispondenti alla realtà. Ecco, dunque, come la tecnica di campionamento, per numero e

dimensione dei campioni, influisce sul giudizio della miscela e deve, quindi, essere calibrata in funzione dell'uso finale.

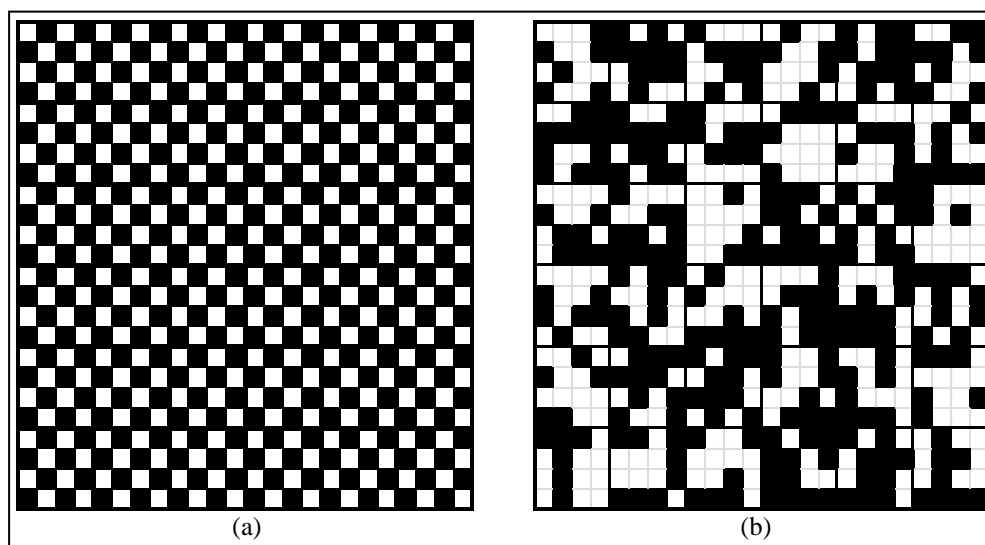


Fig. 2 – (a) Miscela non casuale di particelle. (b) Miscela casuale. In entrambi i casi le miscele contengono il 50% di particelle bianche e il 50% di particelle nere.

Per quanto riguarda, infine, l'indice statistico da adottare per esprimere una valutazione sul grado di uniformità della miscela, il più utilizzato è il coefficiente di variazione (CV) che indica il grado di variazione dei campioni attorno alla media.

Le prove

Sono stati messi a confronto i risultati ottenuti con due diversi metodi di valutazione della miscelazione (ASAE, 1984; ASAE, 1993; Colzani et al., 1992) adottando razioni simili e molto semplificate. Il primo metodo di valutazione, ampiamente applicato dall'ISMA in prove precedenti, è consistito nell'utilizzare, come marcatori, alcuni semi e un sale, il cloruro di sodio, aggiunti alla razione in quantità note (tabella 1), mentre il secondo metodo è consistito nel determinare analiticamente la distribuzione di due componenti degli ingredienti utilizzati nella razione, la proteina grezza (PG) e la sostanza secca (SS); in quest'ultimo caso la razione comprendeva la farina di soia, caratterizzata da un contenuto proteico nettamente superiore rispetto ai due foraggi impiegati (tabella 2).

Tab. 1 – Razione utilizzata nelle prove di miscelazione con marcatori esterni (semi e sale)

Ingredienti (*)	Peso (kg)	Contributo (%)
Fieno di loiessa	250	13,7
Insilato di mais	1.535	84,3
Semi	**	***
Sale	36	2
Totale	1.821	100

(*) In ordine di carico.

(**) Introdotti a numero in funzione della caratteristica "peso di 1.000 semi".

(***) Equivalente a 100 semi/specie/kg di miscela.

Con entrambi i metodi sono stati prelevati, ad intervalli regolari e ad ogni scarico del carro, 10 campioni da 1 kg di miscela. Tali numero e dimensione dei campioni sono considerati, da più autori, sufficientemente rappresentativi dell'intera miscelata. Si è considerato accettabile un grado di uniformità tra i campioni corrispondente ad un CV inferiore o uguale a 10%.

Tab. 2 – Razione utilizzata con marcatori interni: sostanza secca (SS), proteina grezza (PG).

Ingredienti (*)	Peso (kg)	Contributo (%)	SS (**)	PG (**)
Fieno di loiessa	305	13,4	0,80	10,30
Insilato di mais	1.880	82,6	0,33	7,15
Farina di soia	91	4,0	0,97	49,18
Totale	2.276	100		

(*) In ordine di carico.

(**) Valori medi delle ripetizioni.

Al termine di ogni scarico è stato prelevato e pesato il prodotto rimasto nel carro che costituisce un residuo indesiderato sia per motivi igienici sia perché indica un insoddisfacente flusso dei prodotti da miscelare.

Il carro miscelatore utilizzato è stato uno Sgariboldi Monofeeder 9 DF da 9 m³ (Fig. 3).



Fig. 3 – Il carro desila-trincia-miscelatore Sgariboldi Monofeeder 9 DF da 9 m³ utilizzato.

La scelta della macchina è stata determinata dalla nuova concezione del sistema di trinciamiscelazione che sembra unire, alle caratteristiche di semplicità costruttiva, una discreta polivalenza d'impiego, una ridotta richiesta di potenza e la possibilità di operare anche con bassi livelli di riempimento del cassone.

Il sistema di trinciamiscelazione, le cui caratteristiche principali sono riportate in Tabella 3, si basa su un'unica coclea orizzontale dotata di spirali contrapposte che ruota all'interno di un cassone asimmetrico; tale sistema, originariamente progettato per operatrici di piccole dimensioni, è stato successivamente integrato con un distributore oscillante che ha permesso l'aumento dei volumi (Fig. 4).

Tab. 3 – Principali caratteristiche del sistema di trinciamiscelazione utilizzato nelle prove.

Caratteristica	Valore
Volume totale cassone (m3)	9
Organi di trincia-miscelazione (tipo)	coclea a spirali contrapposte
numero	1
diametro esterno (mm)	784
passo (mm)	540
lunghezza totale	3.676
velocità di rotazione (giri/min)(*)	19
Organi di taglio (tipo)	coltelli triangolari
numero	45
Dispositivi accessori (tipo)	distributore oscillante
Organi di carico (tipo)	fresa
altezza massina di lavoro (mm)	4.260
larghezza (mm)	1.495
velocità di rotazione (giri/min)(*)	900

(*) a 540 giri/min della presa di potenza.



Fig. 4 – La vasca di miscelazione è asimmetrica. Si noti, sulla parete verticale destra, il distributore oscillante azionato idraulicamente e il deflettore seghettato: entrambi devono impedire il formarsi di ristagni di prodotto assicurando un corretto flusso di miscelazione.

La coclea origina due flussi di prodotto convergenti verso il centro del cassone dove il distributore oscillante impedisce la formazione di ristagni; la miscela ricade successivamente negli spazi vuoti che si creano anteriormente e posteriormente al cassone (Fig. 5) i quali, tuttavia, riducono di circa il 15% il volume massimo di carico.

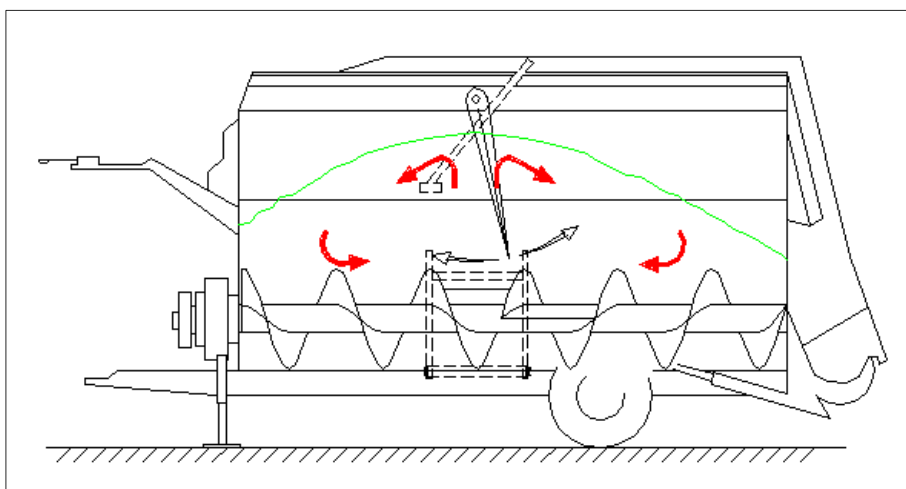


Fig. 5 - Dinamica dei flussi di miscelazione originati dalla coclea con spirali contrapposte (in rosso) e movimento oscillatorio del distributore (in nero).

Risultati

La valutazione più severa della miscelazione si è ottenuta utilizzando, come marcatori, i semi. Questo risultato era prevedibile data la difficoltà, seppur variabile a seconda del tipo di seme, insita nel miscelare ai foraggi particelle dense che possono con facilità percolare attraverso gli spazi vuoti originati nella massa di prodotto durante la rotazione della coclea. Quest'ultima è caratterizzata da un regime moderato (19 giri/min) con un trasporto lento e non traumatico della razione da amalgamare. Tuttavia la ricaduta della miscela anteriormente e posteriormente al cassone può determinare la separazione e la percolazione dei semi rallentando il raggiungimento dell'uniformità desiderata. La Fig. 6 illustra molto bene questo comportamento, evidenziando la tendenza dei semi a raggiungere una distribuzione accettabile solo dopo 20 minuti di miscelazione.

Singolare, ma non anomalo, il comportamento del girasole a dimostrazione del fatto che non sempre tempi lunghi di miscelazione migliorano l'uniformità dell'amalgama. In questo caso sembra essersi verificato un fenomeno noto come over-mixing (Lindley, 1991b) o sovramiscelazione, durante il quale gli ingredienti, una volta raggiunta una discreta uniformità, si separano in seguito alle loro diverse caratteristiche fisiche, alle dinamiche originate dagli organi di miscelazione e ai lunghi tempi di miscelazione.

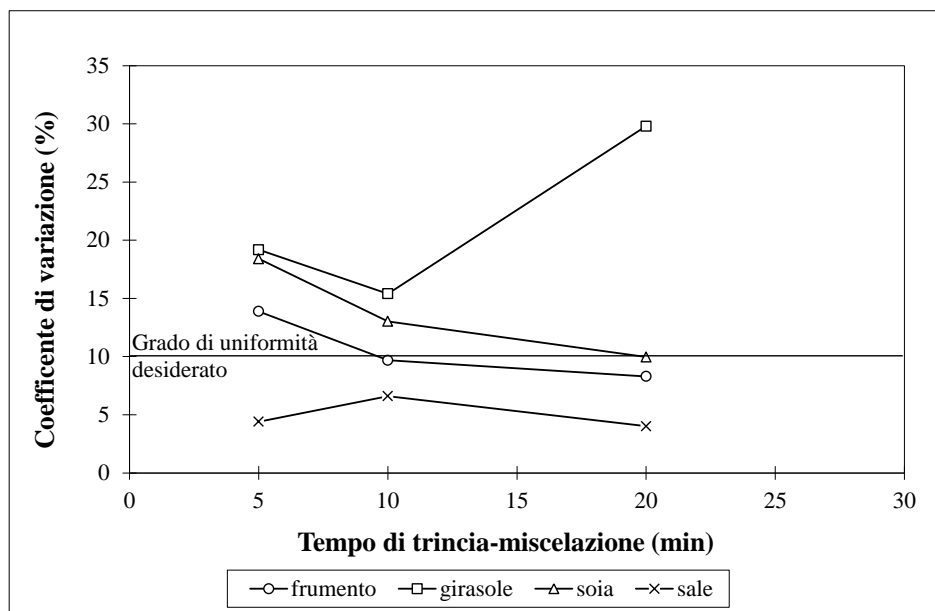


Fig. 6 - Valutazione dell'uniformità di miscelazione utilizzando semi e sali come marcatori

Sul piano economico, la valutazione che scaturisce da questo tipo di prova è estremamente penalizzante per l'operatrice che, pur richiedendo potenze decisamente ridotte (Fig. 7), necessiterebbe di tempi di miscelazione improponibili i quali, aggiungendosi ai tempi di carico, dilaterrebbero sensibilmente i relativi costi energetici (Fig. 8).

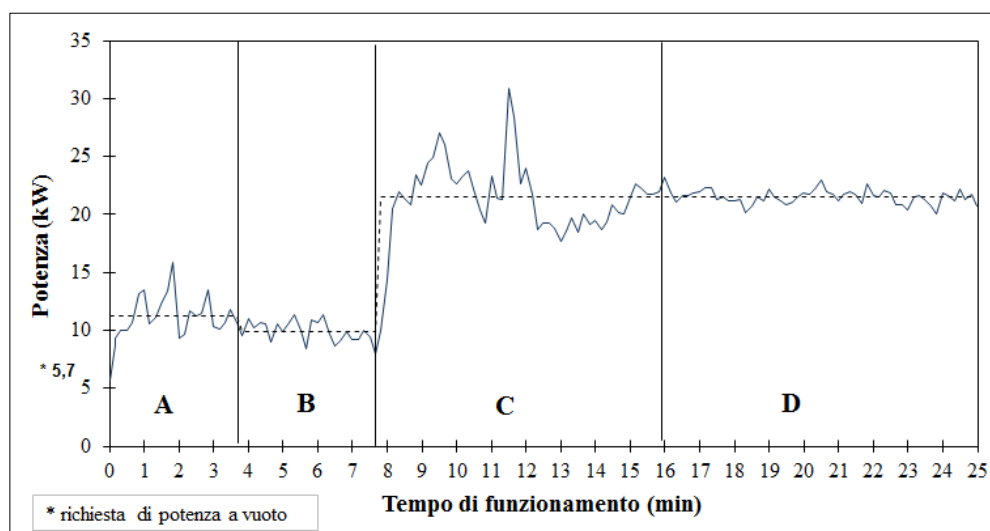


Fig. 7 - Andamento degli assorbimenti di potenza rilevati alla pdp: (A) carico fieno; (B) trinciatura fieno; (C) carico silomais; (D) trinciamiscelazione. In tratteggio l'assorbimento medio di potenza per ogni singola fase.

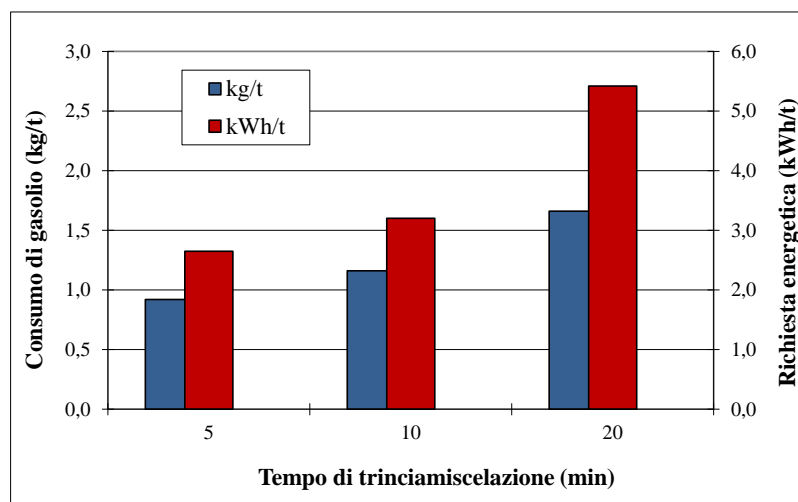


Fig. 8 – Consumi di gasolio e fabbisogni energetici riferiti a singola tonnellata lavorata e relativi alla preparazione della razione unifeed variando unicamente il tempo di trinciamiscelazione.

Emergerebbe, quindi, l'indicazione che il sistema a coclea con spirali contrapposte necessita di tempi adeguati per amalgamare gli ingredienti confermando, peraltro, i risultati ottenuti in precedenti prove con un sistema analogo (Bisaglia e Guerretti, 1996).

Un controllo incrociato effettuato utilizzando come indicatore il sale e valutando l'uniformità di trinciatura consente di integrare l'analisi.

Il sale utilizzato è composto da un numero elevatissimo di piccole particelle igroscopiche le quali aderiscono ai foraggi distribuendosi molto uniformemente. Dalla Figura 6 emerge la ridotta variabilità riscontrata già con 5 minuti di miscelazione, anche se la possibile formazione di agglomerati o grumi può aver influito negativamente sull'uniformità di miscelazione come si intuisce dal lieve peggioramento ottenuto dopo 10 minuti di miscelazione.

Per quanto riguarda la trinciatura, essa ha un ruolo importante nell'omogeneizzare le dimensioni fisiche dei foraggi influenzando sul risultato finale; infatti, riducendo il fieno a particelle progressivamente più piccole, ne favorisce l'amalgama con gli altri componenti della razione.

Inoltre, poiché trinciatura e miscelazione avvengono in larga parte contemporaneamente, è necessario individuare il tempo ottimale all'esecuzione dei due processi.

Nelle prove svolte il fieno utilizzato era di loiessa con steli che superavano il metro di lunghezza (Fig. 9).

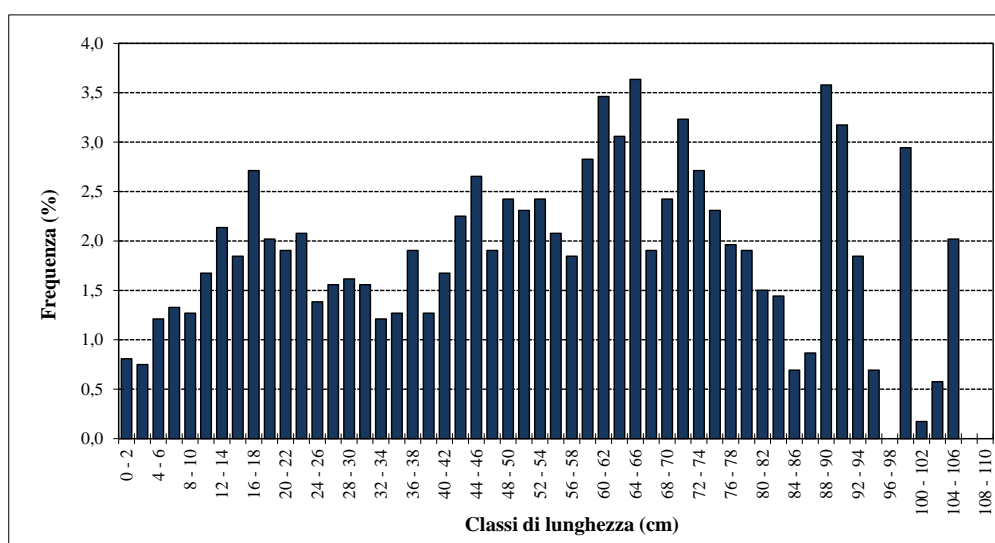


Fig. 9 - Distribuzione in classi di lunghezza del fieno intero di loiessa utilizzato nelle prove.

L'analisi della trinciatura (Fig. 10) ha evidenziato che già dopo 5 minuti di lavorazione il fieno viene trinciato per il 78% in frammenti lunghi fino a 6 cm, lunghezza considerata sufficiente per facilitarne la miscibilità, lasciando una quota di steli la cui lunghezza massima si attesta a 28 cm.

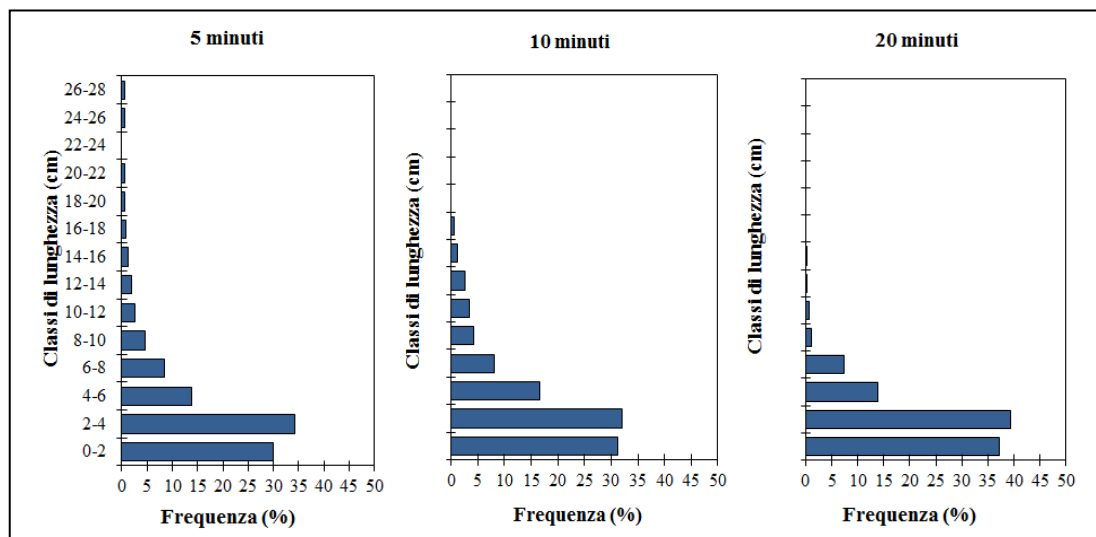


Fig. 10 - Efficienza di trinciatura al variare del tempo di trinciamiscelazione.

Dopo 10 minuti si perviene ad un miglioramento, seppur lieve, della già accettabile quota di fieno ora trinciato per l'80% entro i 6 cm di lunghezza, con un residuo di frammenti che non supera i 18 cm.

Dopo 20 minuti il 90% di fieno è trinciato entro i 6 cm con residui non più lunghi di 16 cm.

In conclusione, dai dati relativi all'uniformità di miscelazione e da quelli relativi all'efficienza di trinciatura, è possibile concludere che la macchina testata richiede tempi di trinciamiscelazione valutabili intorno agli 8-10 minuti. Tale tempo consente di raggiungere un accettabile compromesso tra le due prestazioni valutate.

Ad un risultato parzialmente confrontabile si giunge utilizzando il secondo metodo d'indagine.

La tabella 4 riporta il contenuto di SS e di PG desunti dalle analisi eseguite sia sui singoli ingredienti prima di immetterli nel carro, sia su campioni di unifeed dopo tre tempi di trinciamiscelazione. Nel primo caso la media ponderata offre una previsione sui valori che ci si attende di ritrovare nella miscela, mentre nel secondo caso la media campionaria deriva dai valori ottenuti da 10 campioni di miscela.

Tab. 4 - Contenuto di sostanza secca (SS) e proteina grezza (PG) desunto da campioni di ingredienti e da campioni di miscelata

Parametro	Tempo di miscelazione (min)					
	5		10		20	
	SS (%)	PG (% SS)	SS (%)	PG (% SS)	SS (%)	PG (% SS)
Media ponderata ingredienti	41,85	12,12	43,05	11,08	42,20	12,16
Media campionaria miscelata	41,76	11,52	42,81	10,93	42,18	12,20

Le leggere differenze che si riscontrano tra i due gruppi di dati confortano sulla bontà del metodo e sono da attribuirsi, oltre che a sempre possibili errori di campionamento, a eventuali perdite di prodotto durante la miscelazione o alla formazione di agglomerati o di depositi sul fondo del cassone che si sono sempre verificati e che sono risultati pari, in media, a quasi 30 kg.

La Figura 11 illustra l'andamento dei coefficienti di variazione relativi a PG e SS. Per quanto riguarda l'omogeneità di distribuzione della prima, si evidenzia un miglioramento del CV dopo 10 minuti di miscelazione anche se già a 5 minuti tale parametro è soddisfacente risultando pari a 6,1%.

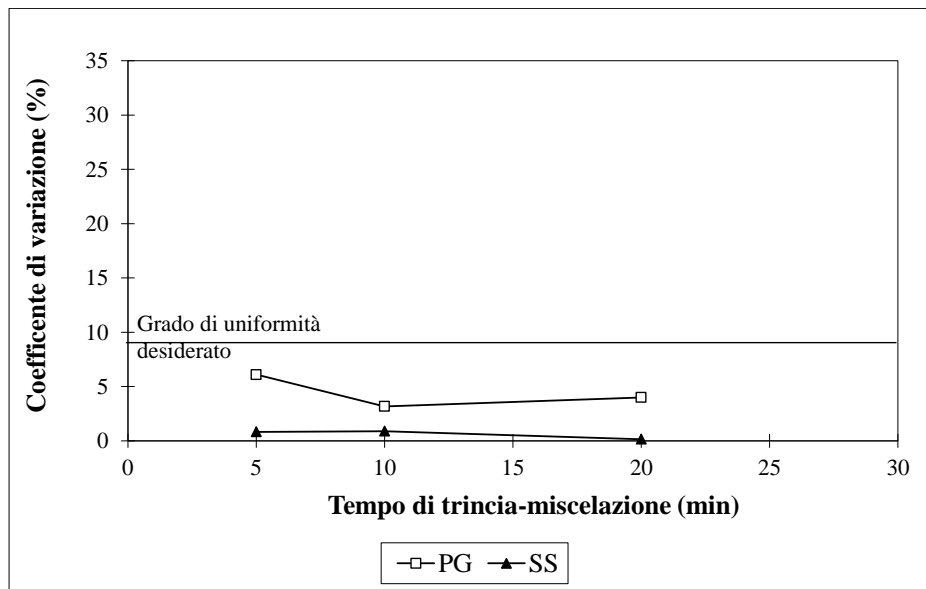


Fig. 11 – Valutazione dell'uniformità di miscelazione utilizzando la proteina grezza (PG) e la sostanza secca (SS) come marcatori

Per quanto riguarda l'omogeneità di distribuzione della SS, invece, sembra poco opportuno, almeno per come è congegnato attualmente il metodo d'indagine, effettuare valutazioni basandosi esclusivamente su questo parametro in quanto, pur fornendo risultati eccellenti con una variabilità tra i campioni molto bassa, ciò potrebbe non essere indicativo di una buona miscelazione, ma di un molto simile contenuto di SS degli ingredienti oppure di un trasferimento di umidità tra gli stessi che avviene più rapidamente dell'amalgama fisico.

Utilizzando questo metodo la valutazione delle prestazioni del carro miscelatore è risultata più ottimistica facendo ritenere sufficiente il tempo di 5 minuti al raggiungimento di un soddisfacente grado di trinciamiscelazione.

Rimane, tuttavia, da valutare se il valore del CV indicato come limite possa risultare troppo ampio utilizzando il metodo dei marcatori interni e tale da suggerirne il ricalcolo per un ridimensionamento che possa consentire alle prove di mantenere un buon livello di severità ed affidabilità

Considerazioni conclusive

La produzione di razioni zootecniche omogenee e bilanciate dipende in larga misura dall'accurata miscelazione degli ingredienti. Si può affermare, infatti, che un buon unifeed non è altro che il risultato ottenuto con ingredienti di qualità sottoposti ad un processo di qualità.

Questo processo è svolto dai carri miscelatori ai quali si richiede, oltre che una soddisfacente miscelazione degli alimenti, anche la trinciatura dei foraggi interi per meglio incorporare nella miscela i frammenti di stelo.

Sono state sviluppate macchine con diversi sistemi di trinciamiscelazione la cui scelta dipende in larga parte dagli ingredienti che devono essere utilizzati.

Le caratteristiche operative dei miscelatori devono quindi poter essere valutate oggettivamente per poter confrontare i diversi modelli ed orientare l'utilizzatore verso una scelta ottimale.

Oggi, la messa a punto e la valutazione di un miscelatore può procedere solo per prove e tentativi non esistendo metodi oggettivi per prevederne il comportamento al variare degli ingredienti o per studiarne il comportamento durante la miscelazione. L'unica possibilità di valutazione risiede nell'effettuare prove che diano risultati confrontabili.

Alcuni metodi per la valutazione oggettiva della miscelazione sono stati messi a punto, ma, data la loro grande influenza sui risultati finali, risulta difficile confrontare miscelatori diversi provati con diversi metodi di valutazione. Nel riportare giudizi, anche a fini pubblicitari, sulle prestazioni di

un miscelatore, è quindi necessario fare riferimento anche al metodo di prova utilizzato e alla tecnica di campionamento adottata. Nella nota si riferisce sull'applicabilità di una metodologia sufficientemente semplice ed accurata che potrebbe essere impiegata in prove di certificazione come quelle promosse dal CONAMA (Consorzio Nazionale per la Meccanizzazione Agricola) e consentirebbe la confrontabilità diretta della principale prestazione di un carro trinciamiscelatore. Tale metodologia, inoltre, è risultata facilmente utilizzabile anche dagli allevatori che volessero effettuare verifiche in azienda sulla propria attrezzatura e potrebbe essere di largo impiego se si diffondesse il ricorso a tecniche analitiche rapide ed economiche come l'analisi NIRS (spettrometria del vicino infrarosso).

Ringraziamenti

Si ringrazia la ditta Officine Sgariboldi snc di Codogno (Lodi) per l'assistenza prestata, il sig. Tommaso Lena, titolare dell'omonima Azienda agricola in Terranova dei Passerini (Lodi), per aver messo a disposizione e condotto le proprie attrezzature, il sig. Giacomo Dornetti contitolare dell'Azienda agricola "Cascina" di Dornetti e Tonoli in località Cascine a Terranova dei Passerini, per aver messo a disposizione l'azienda.

Bibliografia

- ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1984. Test procedure for solids mixing equipment for animal feeds. St Joseph, Mich.: ASAE (ASAE Standard S303.2), 6 pag.
- ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1993. Evaluation of totally mixed ration uniformity. St. Joseph, Mich.: ASAE. (ASAE Standard XE44). Unapproved draft, 10 pag.
- Bisaglia C., Guerretti M. 1996. Il carro desila-trincia-miscelatore Samurai Double-mix 500/145 L. (Prove di macchine operatrici). *L'Informatore Agrario*, 52 (41):53-62.
- Colzani G. Bisaglia C., Lavatelli U. 1992. Indicazioni per accertamenti su macchine operatrici per la preparazione di razioni unifeed. Treviglio: ISMA, 8 pag.
- Lindley J.A. 1991a. Mixing processes for agricultural and food materials. 3, Powders and particulates *Journal of Agricultural Engineering Research*, 49(1):1-19.
- Lindley J.A. 1991b. Mixing processes for agricultural and food materials. 1, Fundamentals of mixing. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 48(3):153-170.
- Nienow A.W., Hamby Y., Edwards M.F. 1992. Introduction to mixing problems In: Harnby N., Edwards M.E., Nienow A.W. (Eds.). *Mixing in the process industries*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 1-24.
- Pierce J.G. 1961. Methods of determination of the distribution of ingredients in feed mixtures: a review. *Feedstuffs*, 33 (36):60-66, 108.
- Rielly C.D., Smith D.L.O., Lindley J.A., Niranjana K., Phillips V.R. 1994. Mixing processes for agricultural and food materials. 4, Assessment and monitoring of mixing systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59 (1):1-18.

2.2.4 Proposta di un metodo per la valutazione dell'uniformità di miscelazione



**SILAGE LOADING,
CHOPPING/MIXING
MACHINES FOR TMR
PREPARATION AND
DISTRIBUTION**

Testing protocol

Carlo Bisaglia

March 2003

INDEX

1. FIELD OF APPLICATION	4
2. PARAMETERS AND COMPONENTS TO ASSESS	5
2.1 Technical data	5
2.1.1 Factory nameplate	5
2.1.2 Description of the machine	5
3. TEST CONDITIONS	8
3.1 Choice of the ration	8
3.2 Adjustment of the machine	10
3.3 Sampling of the ingredients	10
4. ASSESSMENT OF THE OPERATING PERFORMANCES OF THE MACHINE	11
4.1 Field regulations of the machine	11
4.2 Load	11
4.2.1 Order e modality of loading	11
4.2.2 Loading volumes	12
4.2.3 Loading time	12
4.2.4 Loading rate	12
4.3 Weighing system assessment	13
4.4 Loading times of the machine	13
4.5 Discharge	13
4.6 Fuel consumption	14
4.7 Power requirements	14
4.7.1 Trailed models	14
4.7.2 Self-propelled models	14
5. QUALITY OF WORK	15
5.1 Loading rate	15
5.2 Chopping efficiency	15
5.3 Mixing ability	15
5.4 Residue not discharged	17
6 CONFORMITY	17
7 SURVEY	17
8. SAFETY	17
8.1. Safety requirements	18
8.1.1. Safety and reliability of the control system	18
8.1.2. Hydraulic equipment	18
8.2. Markings	18
8.3. Hazard pictorials	18
8.4. Use and maintenance handbook	19

Reference standards:

- UNI EN 294: 1993* *Safety of machinery - Safety distances to prevent danger zones being reached by the upper limbs*
- ISO 11684: 1995* *Tractors, machinery for agriculture and forestry, powered lawn and garden equipment -- Safety signs and hazard pictorials -- General principles.*
- EN 1553: 2001* *Agricultural machinery - Agricultural self-propelled, mounted, semi-mounted and trailed machines - Common safety requirements*
- prEN 703: 2001* *Agricultural machinery – Silage loading, mixing and/or chopping and distributing machines - Safety*

1. FIELD OF APPLICATION

The present document represents the test procedure for the assessment of the performances and safety characteristics of the machines for the preparation and the distribution of TMR (Total Mixed Rations) having the following characteristic:

- type:
 - self-propelled;
 - trailed;
- silage loading system:
 - rotating cutter;
 - blocks cutter;
- hay and/or other products loading system:
 - with shovel;
 - with bucket;
- chopping/mixing system:
 - augers:
 - horizontal:
 - continuous screws;
 - reverse screws;
 - vertical;
 - rotating drum;
 - turbine and moving floor;
 - paddles;
 - bars and chains;
 - reel.

2. PARAMETERS AND COMPONENTS TO ASSESS

The following elements are objects of evaluation:

- components:
 - dimensions and weights;
 - specifications and materials used;
 - weighing system;
 - accessories;

- performances:

- load;
 - mixing uniformity;
 - chopping efficiency;
 - discharge;
 - power requirements and fuel consumption;
 - fundamental component's life (eventual);
- operating appraisals:
- functionality;
 - demand for maintenance;
 - safety.

2.1 Technical data

They substantially serve to identify the machine

2.1.1 Factory nameplate

The data on the nameplate of identification of the machine must be indicated:
type, model, number of chassis, weight

2.1.2 Description of the machine

The following parameters have to be described:

-manufacturer:

- name;
- address;

- technical specifications of the machine:

- make/model/type;
- serial number;

- structure:

- chassis;
- parking foot (mechanic, hydraulic);
- length;
- height with standard tyres;

- width;
 - track (front and rear for the self-propelled ones);
 - ground clearance;
 - tyres;
 - unladen weight;
- engine and transmission (only for self-propelled):
- make and model;
 - cylinders (number and disposition);
 - bore/stroke;
 - displacement;
 - compression ratio;
 - power;
 - transmission;
 - max. forward speed;
 - drive (front, rear or four wheels);
- loading system (only if self-loading):
- width of the cutter;
 - diameter of the cutter;
 - maximum working height (measured at the axis of the cutter);
 - number and type of hydraulic engines;
 - speed of the cutter;
 - number and type of blades;
 - extra-tools to improve the loading;
 - tape elevator (for self-propelled or telescopic cutters):
 - type and materials;
 - width;
 - speed;
- chopping/mixing system:
- type (augers, rotating drum, etc.);
 - number and disposition of augers;
 - dimensions of augers (length, diameter, track, height and thickness of screws);

- number and type of blades and counter blades;
 - speed (augers or drum);
 - maximum volume (nominal) declared (m³);
 - declared useful volume (m³);
 - maximum capacity (kg) (specifying for eventually every single ingredient);
- weighing system:
- number and position of load cells;
 - characteristic of load cells;
 - functions and position of the ECU (electronic control unit);
- discharge system:
- type and materials;
 - discharge side;
 - width;
 - height;
 - speed of the discharge augers or tape;
- controls (position, regulations, type of drive);
- cab (for the self-propelled ones):
- dimensions;
 - protective structure;
 - glasses (surface, type and thickness);
 - roof (material and);
 - air conditioning;
 - accessories;
 - thickness of sheets;
 - type of paint or protection from the oxidation and corrosion.

The test report will have to be equipped from a picture of the tested machine and from an outline of the main parts that compose it.

3. TEST CONDITIONS

3.1 Choice of the ration

The TMR feeding technique considers the "ration" as a homogenous mixture of ingredients that assures, in every its part, the presence of all the nutritive elements necessary to the life and the productions of the animals which the same ration is destined.

Many groups of different rations are in use in the world for the different species with a wide range of characteristics among them as, for example:

- a) rations based on maize silage containing hay and/or by-products with long stems and concentrates;
- b) rations containing only hays and concentrate with the eventual adding of water (for the Italian productions in which the use of silages express are prohibited as for the Parmigiano Reggiano cheese);
- c) rations based on silages and concentrates;
- d) industrial premixtures that have to be integrate at the farm with silages (the so-called pre-unifeed).

The different physical-mechanical characteristics of the ingredients introduced in the total mixed ration can influence also remarkably the performances of the feed-mixer wagons. Therefore, in case of tests standard of performances, is necessary to adopt a reference ration the most possible repeatable in the time. Such kind of ration has been characterized in a ration limited to four ingredients with very specific physical-chemical properties highly different among them and introduced in quantities equally dissimilar. That allows a significant comparability among machines tested in different places and times.

The ingredients, the using ratio and the loading order are as follows:

- rye-grass hay (<i>Lolium italicum</i>)	14.0%
- maize silage	80.0%
- soybean meal	5.5%
- salt as marker (NaCl)	0.5%

The volume mass of the mix obtained is $270 \pm 5 \text{ kg/m}^3$; on the basis of this value the max. quantity (expressed in kg) that it can be loaded is calculated taking into account the useful volume of the mixing hopper as follows:

$$M_t = MV_r \cdot (V_t \cdot G_s)$$

where:

M_t = max. loading weight (kg)

MV_r = volume mass of the reference ration (270 kg/m³ are considered)

V_t = total volume of the mixing hopper (m³)

Gs= hopper volume using level (% of the total volume V_t) (*)

In case the hay constitutes the limiting product because of its elevated volume, the ration will be calculated on the quantitative maximum of loading hay like first ingredient, firm remaining the proportions indicated between the ingredients.

The use of salt (NaCl) has the scope to simulate the behavior of additives, generally introduced in the ration in small percentages (< 0,5%). The soybean meal and salt have to be loaded over the mass to be mixed and as last ingredient of the ration.

It's necessary that the Testing station arranges of homogenous batch of all the ingredients before the execution of the tests. The quantities effectively loaded have to be reported in table like in the following example:

Table 1. Reference ration: example of loaded quantities

Ingredients and loading order	Weight (kg)	Ratio (%)	DM (%)	CP (%DM)	Na (%DM)
1 – Ryegrass hay	422	14.0	88.5	10.5	< 0.1
2 – Maize silage	2413	80.0	30.0	7.4	< 0.1
3 – Soybean meal	166	5.5	87.9	49.9	< 0.1
4 – Salt	15	0.5	97.0	-	37.0

The use of other rations could be asked by the manufacturer in adding to the reference ration. In this case they have to be indicated in the test report as additional rations.

3.2 Adjustment of the machine

Before the official tests, the machine have to be adjusted in accord to the prescription of the manufacturer and has to be realized at least one preliminary test in order to found the maximum quantitative of ingredients that could be loaded without to provoke spillages of

product from the mixing hopper. Moreover, for the self-propelled machines the optimal engine speed has to be found during the phases of loading, chopping, mixing and discharging.

The main regulations regard:

- the leveling of the machine (only for the trailed ones) acting on the regulations in height of the towing tongue;
- the ergonomic positioning of the controls (in accord to the type of control and the positioning foresees by the manufacturer);
- the calibration of the weighting system that has to be regulated in accord to the better scansion foresees by the manufacturer (every 1, 2, 4 or 5 kg) and with the faster frequency of reading, preferable in manual mode;
- the descent speed of the loading arms (if present);
- the revolution speed of the mixing device (if adjustable).

3.3 Sampling of the ingredients

At the moment of the load of the wagon and for every ingredient used in the test, a representative number of samples have to be taken in conformity with the modalities established from official Commissions (for example, in Italy the ASPA Commission). On the feed samples have to be determined the crude protein (CP), the dry matter (DM). Moreover on the salt samples has to be determined the content of sodium (Na). This last, not being present in the vegetables tissues that in traces, do not go searched in the feed samples. On the basis of the contribution percentage of every ingredient and on the quantities loaded it will be calculated the weighted average of the content of DM, CP and Na which will supply the expected values in the mixed ration, like in the following examples (reference is made of the amounts of tab. 1):

$$DM_{\text{expected}} = \frac{(422 \cdot 0,885 + 2413 \cdot 0,30 + 166 \cdot 0,88 + 15 \cdot 0,97)}{(422 + 2413 + 166 + 15)} = 41,5 \%$$

$$CP_{\text{expected}} = \frac{(422 \cdot 0,885 \cdot 10,5 + 2413 \cdot 0,30 \cdot 7,4 + 166 \cdot 0,88 \cdot 49,9)}{(422 \cdot 0,885 + 2413 \cdot 0,30 + 166 \cdot 0,88 + 15 \cdot 0,97)} = 13,0 \%$$

ENTAM testing protocol for TMR

(*) it is considered, indicatively, a Gs of 90-95% for the mixing systems with 3 or 4 horizontal augers with continuous screw and for 1 to 3 vertical augers; 85-90% for the systems with 1 or 2 horizontal augers with reverse screw; 75-80 % for the rotating drum.

$$Na_{\text{expected}} = \frac{(15 \cdot 0,97 \cdot 37)}{(422 \cdot 0,885 + 2413 \cdot 0,30 + 166 \cdot 0,88 + 15 \cdot 0,97)} = 0,47 \% \text{ DM}$$

4. ASSESSMENT OF THE OPERATING PERFORMANCES OF THE MACHINE

4.1 Field regulations of the machine

The facility of connection to the tractor (for the trailed ones), the accessibility to the inside of the cab (for the self-propelled), the easy regulations and their modality of performance (manual, assisted, directly from the place of guide, etc), the facility of towing for the trailed machines the easy of handling for the self-propelled ones, the visibility of the working zones, etc. have to be estimated and reported.

4.2 Load

4.2.1. Order and modality of loading

For the order and the modality of loading adhere itself to when indicated in Tab. 1; in contrary case follow how declared by the manufacturer if such indications are compulsory and reported on the manual of use and maintenance. For the standard test, the hay and maize silage load have to be carried out with the chopping/mixing device in function setting up the tractor PTO speed at 540 rpm for the trailed machines and at the maximum speed declared for the self-propelled ones. Different indications will be taken on consideration only if reported as compulsory on the manual of use and maintenance (i.e. loaded with blocked devices, different revolution speeds, etc.). The soybean meal and the salt have to be loaded with the chopping/mixing device stopped. As far as the loading modality, the introduction of the hay in the mixing hopper must happen of norm with a loader and not with the rotating cutter; in lack of a loader mounted on the wagon mixer an auxiliary bucket or pass loader will be used. The maize silage must be loaded with the rotating cutter of the wagon or, in its absence, with an auxiliary cutter. The soybean meal can be loaded from the conventional tower silo, while the salt must be separately weighed with a precision balance (1/10 of gram) and manually loaded.

4.2.2. Loading volumes

The mixing hopper must be filled up until the maximum loading volume concurred for a corrected operation of the machine. The such maximum value must be declared from the manufacturer (i.e.: 90% of the nominal volume) or deduced from specific researches. In any case spillage of product from the hopper will have to be taken place; if that were taken

place, the test will have to be repeated diminishing proportionally and opportunely all the amounts loaded with the responsibility of the Testing Station and in agreement with the manufacturer. Additional tests at 50% of the maximum volume can be asked by the manufacturer in adding to the standard test at full volume.

4.2.3 Loading times

For every ingredient the effective loading time is determined; the time loss for movements of the machine, repositioning of cutter or other is not recorded.

4.2.4 Loading rate

The loading rate, like the working rate in a generalized manner, is expressed in kg/min and determined on the basis of the productive and effective times only.

4.3 Verification of the weighing device

The verification of this parameter is contextually carried out during the loading operations of the single ingredients, using one certified weighbridge or weighing cells.

4.4 Working times

The standard work sequence foresees the following schema:

Working phase
(n.) (type)
1. loading of hay
2. chopping of hay
3. loading of maize silage
4. loading of soybean meal
5. loading of salt
6. mixing
7. discharging

All the recorded times must be those effectives; in case an additional chopping time of the loaded hay is necessary (phase 2), this last one has to be declared from the manufacturer

or experimentally determined by the Testing station. The mixing time (phase 6) is declared by the manufacturer or experimentally determined by the Testing station.

4.5 Discharge

The duration of the discharge, extending the working time, influences the mixing of the part of the ration not still unloaded. Therefore, the discharge must be carried out in minor the possible time, compatibly with the adjustments of the machine and with the correct deposition of the ration into the manger. In this phase a PTO speed of 400 rpm will be adopted for the trailed machines and a reduced engine speed of 25 % - with regard to the loading phase - for the self-propelled ones.

4.6 Fuel consumption

It is determined, with suitable instrumentation, on the base of the effective working times. For each working phase it will be report the total fuel consumption (expressed in grams), the specific consumption (in g/kg worked) and the hour consumption (kg/h). The fuel consumption of the auxiliary machines necessary to the load – as loaders, cutters, extracting machines for tower silos, etc. – is not kept into account.

4.7 Power requirements

Given the different constructive and operating characteristics that distinguish the trailed machines from the self-propelled ones, the power requirements have to be determined, at present, with various modalities in function of the type.

4.7.1 Trailed models

The absorbed power is measured by means of a torquemeter interposed between the tractor and the machine. The PTO speed for the loading operations and for the chopping/mixing operations has to be set up at 540 rpm, while for the discharge phase it will be at 400 rpm. In the test report they have to be expressed in kW as average values and peak values.

4.7.2 Self-propelled models

For these models it is not possible the interposition of a torquemeter and would be of complex and expensive realization the monitoring of all the hydraulic parts. The determination of the power is therefore executed indirectly, on the basis of the acquired values of fuel consumption like to point 4.7.1.

The power engaged in the different working phases is deducted from the measured hourly fuel consumption in the course of the tests - expressed in g/h - and from the specific fuel consumption supplied from the engine manufacturer at the revolution speed set up for the tests, expressed in g/kWh.

The power (P) will be calculated with the following relation:

$$P = \frac{Ch}{Cs}$$

where:

P = calculated power (kW)

Ch = hourly fuel consumption measured (g/h)

Cs = specific fuel consumption in the conditions of test, supplied from the engine manufacturer (g/kWh)

5. QUALITY OF WORK

5.1 Loading rate

The maximum quantity that is possible to load without to provoke product spillages and respecting the proportions indicated from the standard ration of reference has to be reported. In this phase the functionality of the protection device that has to prevent the contact of the operator with the chopping/mixing device (if installed) and its eventual interference on the working time will be also estimated.

5.2 Chopping efficiency

In order to estimate the chopping efficiency entire hay samples from the bales (round or square) before being introduced in the mixing hopper have to be directly taken. Samples of chopped hay have also to be taken during the discharge of the wagon. The hay of the two groups of samples (entire and chopped) have to be classified separately (by hand or to means of a vibrating sieve) and subdivided in four wide classes of 20 length millimeter as it follows:

<20,

20-40,

40-60,

>60.

The result is positive when a quota comprised between the 80 and 85% in weight of the chopped hay uniformly distributes inside the first three classes of length is measured and

when the maximum variance between one class and the other is at max. of 15%. In order to guarantee homogeneity between tests made in various times, the entire hay will always go chosen of the same species, of the same high and subject to the same mechanical treatments with the maximum variance of greater class < 10%. In alternative, upon request of the manufacturer, the method proposed by the Pennsylvania State University based on the subdivision of mixture samples in three classes by means of sifting operated manually with specific particle equipment (NASCO® separator) can be used (see on the web site www.enasco.com and then click on Educational materials – Agricultural sciences – Testing equipment – Forage testing equipment).

5.2 Mixing efficiency

After the stated mixing time is passed, the transmission of the motion to the working system is arrested and the machine is positioned long the discharging zone. 10 samples of mixture are taken directly from the discharge outlet proceeding with regular intervals. In order to avoid phenomena of incomplete mixing, they do not have to be taken samples in the first and last 150 kg of mixture; the analyzed mixture mass will be therefore:

$$M_a = M_t - 300$$

where:

M_a = sampled mixture mass (kg);

M_t = total mass of prepared mixture (kg);

300 = mixture mass not sampled (kg).

The withdrawal of samples is normally carried out using as reference the display of the weighing device (if present) or, in alternative, proceeding to intervals of predefined time or space. In the more frequent case in which the balance used is electronic, in order to space out the withdrawal of samples, the first one will be taken to the reading value of $M_t - 150$ on the display, while the following samples will be taken every $(M_a/n-1)$ kg, where “n” indicates the total number of samples to take.

For the withdrawal of mixture samples, a cylindrical container supplying samples of approximately 1 kg is used, having characteristics as following:

- diameter of 200 millimeter (approximately);
- volume of 4 dm³ (approximately).

The samples taken will be send to an official laboratory in order to proceed to the determination of DM, CP and Na used like mixing markers. From the obtained values are calculated the geometric average (A), the standard deviation (SD) and the coefficient of variation (CV) for every marker like in the following example:

Table 2 - Example of mixing uniformity calculation

<i>Sample (n.)</i>	<i>DM (%)</i>	<i>CP (%DM)</i>	<i>Na (%DM)</i>
1	41,82	12,71	0,49
2	43,51	12,39	0,41
3	43,04	12,51	0,49
4	41,49	11,83	0,49
5	43,12	12,25	0,43
6	42,13	12,01	0,50
7	41,79	11,91	0,40
8	42,11	12,75	0,43
9	41,68	12,68	0,52
10	41,75	12,25	0,60
A	42,2	12,3	0,48
SD	0,71	0,34	0,06
CV	1,70	2,70	12,70

where:

A = geometric average

SD = standard deviation

CV = coefficient of variation = $\frac{SD}{A} \cdot 100$ (%)

Based on the experiences up to now matured, the attainment of a satisfactory degree of mixing uniformity comes caught up with values of $CV \leq 10$.

In the case this value is exceeded (like often happens with salt that is difficult to mix given the small amount introduced, as it turns out also from the example of Tab. 2) it is necessary to repeat the test or to indicate the corrective actions to undertake that they can be carried out making reference the following table:

Table 3 - Interpretation of mixing test results

CV (%)	Mixing evaluation	Corrective actions
≤10	Good	None.
10-15	Quite satisfactory	Increase mixing time of 25-30%.
15-20	Poor	Double mixing time; verify the speed of revolution of the mixing device; verify the correct machine assembly; verify a possible overload of the mixing hopper; modify the loading order.
>20	Not sufficient	Possible combination of all the above mentioned factors.

5.3 Residue not discharged

At the end of the discharge the residual product remained inside the mixing hopper that the wagon has not been able to unloading must be collected. Such residual has to be the less as possible because it can contaminate the successive mixings. The residue must be weighed and, in case of doubts on the mixing efficiency of the wagon, also analyzed for the content in CP, DM and Na. Such analysis concurs to evidence the eventual tendency of the machine to separate the mixing or to over mixing, forming undesired residues placed on the bottom of the mixing hopper.

6. CONFORMITY

The manufacturer is engaged to issue a declaration in which it asserts that the characteristics and the working parameters of the machine of own production pertaining to the model subordinate to certification, are consistent to that of the tested model.

7. SURVEY

Before certifying what assessed, the Testing Station, to its discretion and under her own responsibility, can carry out a survey near the owners of machines closely identical to that tested in case the machine already has been commercialized. This survey has only the role of support and/or confirmation of the measurements carries out.

8. SAFETY

The machine, as all the machines and the equipments dealing with the Directive 98/37/EC must bring the CE marking, be accompanied from the Declaration of Conformity and the Handbook of use and Maintenance. Suitable pictorials fitted in the immediate vicinities to the points of risk, must evidence the remaining dangers does not eliminate.

8.1. Safety requirement

(to be integrated with the detailed lists prescription of ENAMA commission on safety)

8.1.1 Safety and reliability of the control system

The controls must bring back clear pictorials on their actions, they must be easily reachable from the operator who remains to edge on board of the tractor. The description must include the normal working cycle.

8.1.2. Hydraulic equipment

The hydraulic equipment must be in compliance with EN 982 and EN 1553. The pipes in pressure, the lines and the components must be positioned or protect so that in the breach case the fluid cannot shoot out directly against the operator when he is working.

8.2. Markings

All the machines must be marked in legible and indelible way with at least the following information:

- name and address of the manufacturer;
- designation of the series or the type;
- serial number, if present;
- construction year;
- nominal speed of the power take off (PTO);
- weight of the machine;

8.3. Hazard pictorials

Warnings must be given relatively to the danger deriving from not protected mobile parts. It's preferable to use well legible and clearly comprehensible pictorials. In alternative or like additional information to the pictorials, can be used texts. Such texts must be written up in one of the languages of the Country where the machine can be used. Where demanded, the danger warnings can also be written in other comprehensible languages from the operator.

8.4. Handbook of use and maintenance

The handbook of use and maintenance must contain all the necessary information for the operations, the maintenance, the transport and the parking of the machine in safety conditions. The handbook must comply with point 5.5 of EN 292-2: 1991 and must be in

compliance with norm ISO 3600 and EN 10758. The handbook of use and maintenance supplied with the machine must be written in the language of the buyer Country.

Information concerning the maintenance of machine must be supplied as:

- the summary information on the EC marking;
- the indications for the maintenance (centers of attendance, eventual import address);
- the indications of normal and "reasonably expectable" employment;
- the indications for the putting in function, the transport, the assembly/disassembly;
- the indications for the adjustment;
- the indications for the ordinary maintenance and repairs;
- the necessity of eventual training of the staff;
- the characteristics of all the usable tools and their conditions of employment;
- the eventual contraindications of the employment;
- the instructions in original language and translated in the language of the buyer Country;
- the outlines of the machine for the putting in function, the maintenance, the inspection, the inherent control of the good operation, repair, safety pictorials;
- the prescription for the users regarding the individual means of protection (working overalls, gloves, glasses, anti-noise headset, helmet, etc.).

2.2.5 Gli aspetti legati alla sicurezza

I carri miscelatori sono considerati attrezzature pericolose in quanto dotati di dispositivi per il prelievo e la trinciamiscelazione che possono – e in molti caso hanno – causato incidenti anche mortali. La predisposizione di linee guida di sicurezza per i carri miscelatori (ISPESL, 2009) e l'introduzione di nuove, potenziali e in larga parte ignote problematiche legate al recentissimo sviluppo e introduzione di sistemi automatici, non possono trascurare di considerare gli aspetti legati alla progettazione e utilizzo in sicurezza di queste attrezzature. Uno degli aspetti da considerare sarà la possibilità, da parte della macchina, di eseguire delle verifiche continue di alcuni parametri al fine di poter intervenire tempestivamente in caso di anomalie. Una delle possibili anomalie, già individuata nel corso di sperimentazioni effettuate su carri miscelatori tradizionali, consiste in un eventuale sovraccarico degli organi di miscelazione con ripercussioni negative sulla struttura meccanica o, accidentalmente, sull'operatore che decidesse di intervenire manualmente per risolvere il blocco.

Il problema viene tipicamente generato da foraggi a stelo lungo o trinciato grossolanamente ed elastico, in particolare se insilati; in questa sede, viene riportato un lavoro rivolto allo studio e all'introduzione di sistemi automatici di individuazione dei sovraccarichi e di inversione del senso di rotazione delle coclee al fine di ripristinare un corretto flusso all'interno della tramoggia. Il lavoro presentato è stato eseguito su una tipologia di sistema di miscelazione in seguito diffusasi nei sistemi automatici reperiti sul mercato potendosi pertanto riferire ad un loro possibile sviluppo.

Developing and testing of a device to disengage the power transmission between tractor and feed mixer wagons

Bisaglia C.¹, Delmastro R.²

¹*CRA-Unità di ricerca per l'ingegneria agraria (CRA-ING), Laboratorio di ricerca di Treviglio. Via Milano 43, 24047 Treviglio (BG), ITALY. Tel/Fax 0039 036349603, carlo.bisaglia@entecra.it*

²*CNR-Istituto per le macchine agricole e movimento terra (CNR-IMAMOTER), Strada delle Cacce 73, 10135 Torino, ITALY. Tel 0039 01139771, Fax 0039 0113489218, r.delmastro@imamoter.cnr.it*

In: Proceedings of International Conference “Innovation technology to empower safety, health and welfare in agriculture and agro-food systems”, 15-17 September 2008, Ragusa (Italy). ISBN: 978-88-903151-1-4.

Abstract

The risk of contact between the operator and the augers of a self-loading horizontal-type feed mixer wagon is one of the most critical situations connected to the safe use of these machines. To prevent this hazard, a research project funded by the Italian body for the agro-mechanical industry (ENAMA) and carried out by Comer Industries, Reggiolo, Italy, with the scientific support of CRA-ING and CNR-IMAMOTER research institutes, has been planned. A transmission device consisting of an automatic limiter able to disengage or to reverse the augers movement has been designed and tested. Aims of the device were: *i*) to transmit the torque required to the augers without limitations during the normal working process; *ii*) to continuously detect the torque values reversing the augers rotation if threshold values are exceeded and *iii*) to continuously detect the position of the rear self loading device stopping the augers when the loading arms are raised. Tests were carried out both in laboratory and in farm conditions; in this last case, the device was fitted into the driveline of a self-loading 10 m³ feed-mixer wagon driven by a tractor PTO. The test ration was composed of an high quota of long stemmed hay quickly loaded into the mixing box in order to reproduce an high torque demand on the augers thus soliciting the intervention of the limiter. Laboratory tests show that the disengagement of the power from the tractor and the intervention of the internal brake, takes a short time to be realised and it occurs when the pressure of the oil exceeds a set value. Moreover, the functional parameters show that the reversion of the rotation in case of mixing box overloading, concurs to avoid the need for the operator to keep in contact with the augers to clear them.

Keywords: safety, sensor, automatic PTO disengagement.

Introduction

Self-loading horizontal-type feed mixer wagons (FMWs) represent a particularly dangerous category of agricultural machines for at least two main reasons; firstly, as many other agricultural tools, they are powered by a tractor power take-off (PTO) thus exposing the operator to the risk of become entangled in the implement input driveline (IID). Many case reports, unfortunately, testify this type of accident in feed mixer wagons operations (NIOSH-FACE Program, 2002a; 2003) as consequence of the specific tasks to be accomplished in the front side of the wagon during feeding (i.e.: adjust and check the electronic scale display, invert the sense of rotation of the IID, operate some controls, etc.). Secondly, the self-loading horizontal-type feed mixer wagons to be operated need that the worker approaches also the rear side of the machine and its uncovered moving parts – in particular augers and loading device – to push the uncollected feed closer to the loading device, to adjoin additives to be inserted in small quantities, to clear the augers from possible wrapping of long stemmed forages, to inspect the regularity of the chopping-mixing process, etc. Also in this case, the literature reports accidents occurred, with always devastating consequences for the operator (NIOSH-FACE Program, 2002b).

A specific standard rule for this kind of machines (EN 703: 2004) has been developed in order provide design guidelines for manufacturers.

Besides, local programs to inform and to advise the farmers on the correct use of feed mixer wagons (i.e. Wisconsin FACE, 2007) have been carried out.

Moreover, several researches have been done to develop novel safety systems for tractor powered machines taking into account both the possibility of modifying the tractor transmission (Thomas and Buckmaster, 2005) or to apply safety sensors (Venem *et al.*, 2006), whether still at prototype level.

Aim of this research project was to design a system focused on horizontal type feed mixer wagons including both transmission and sensors safety components. The project was funded by the Italian body for the agro-mechanical industry (ENAMA) and carried out by the manufacturer Comer Industries, based in Reggio, Italy, and planned with the scientific support of CRA-ING and CNR-IMAMOTER research institutes.

A transmission device consisting of an automatic limiter able to disengage and/or to reverse the movement of the mixing augers under the control of sensors has been designed and tested.

Materials and methods

Aims of the purpose-designed device were: *i)* to transmit the torque required to the augers without limitations during the normal operation of the mixer; *ii)* to continuously detect the torque values at the wagon level and reverse the augers rotation if a set threshold value is exceeded; *iii)* to continuously detect the position of the rear self loading device and to disengage/stop the augers rotation when the loading arms are in their raised position. The device was designed to be integrated in the gearbox reducer of a trailed horizontal-auger feed-mixer wagon and consists of oil-bath clutch disks, hydraulically driven. The clutch engages or disengages the mixing augers if anomalous values, imposed by the manufacturer, occur and/or depending on the cutter arms' position. This working mode enables the operator to leave the manual controls area and get close to the rear of the wagon to load manually some diet components. Moreover, the system is able to invert automatically the sense of rotation of the augers in case of their blockage due to the wrapping of long stemmed forages.

Secondary aim of the project was to produce an universal device that could be fit also on second-hand mixers in order to improve the safety conditions of these machines. Tests were carried out both in laboratory and in farm conditions.

Laboratory tests

The tests in laboratory conditions (Figure 1) were necessary to set up the sensors and the electronic control unit (ECU) both in the case of disengagement of the power and in the case of reversion of the rotation.

The test bench was composed by an electric engine connected to a gearbox that transmitted the drive to the main shaft of the limiter device and by a dynamometer that provide the load simulating the mixing action. Thanks to this configuration it was possible to reproduce different situations – also the most critical ones – that may be checked during the work cycle of a trailed feed mixer wagon.

The sensors fitted on the limiter and controlled by the ECU were two oil-pressure gauges, a torque meter and two shaft revolution counters. Three main button controls were prepared to operate the ECU of the device (“start mixing”, “stop mixing”, “auger inversion”) and all the functions scheduled have been tested. The laboratory assessments were replicated for 100 test cycles.

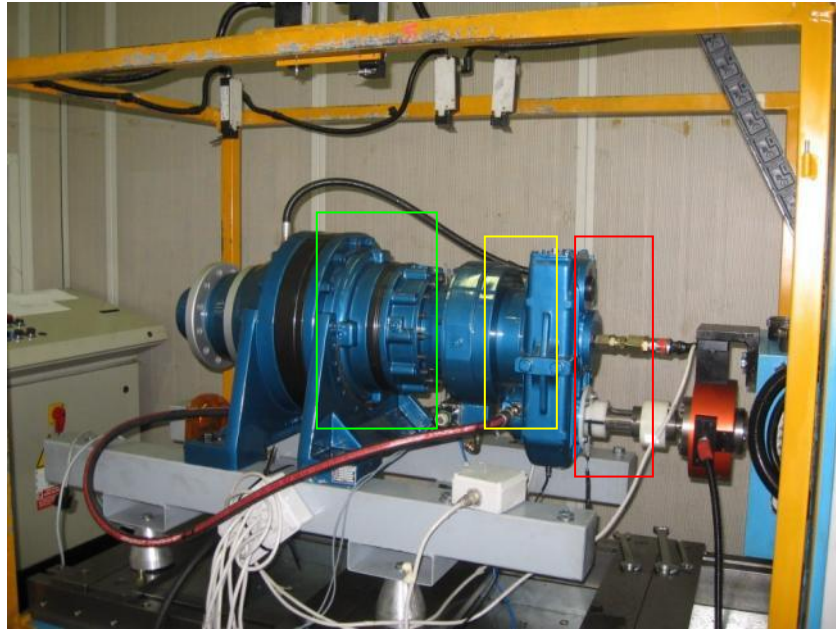


Figure 1. The test bench arranged for the automatic limiter' sensors and electronic unit set up (the automatic limiter = yellow square; the gearbox reducer = red square; the dynamometer = green square).

The main functions planned for the ECU were as follows:

1. running inhibition whether only one of the sensor detects anomalous values at the starting of the MFW;
2. starting of the augers rotation when pushing the “start mixing” button;
3. stop of the augers rotation when pushing the “stop mixing” button;
4. starting of the reverse rotation of the augers when pushing the “auger inversion” button; this counter rotation action is automatically maintained for a maximum of 15 seconds. In this case a 2.5 reduction factor of the auger speed in counter-rotation is adopted;
5. stop of the rotation to the MFW whether the pressure values are greater of a set threshold;
6. stop of the rotation to the MFW whether the pressure values are lower of a set threshold;
7. stop of the rotation to the MFW if a difference between the speed from the tractor PTO and the expected speed to the MFW shaft is recorded;
8. stop of the rotation to the MFW whether torque values are greater of a set threshold;
9. in the case of raising of the loading arms:
 - a. stop of the rotation to the MFW,
 - b. inhibition of the start of the transmission to the augers,
 - c. stand of the augers rotation till the loading arm come back in their lower position,
 - d. automatic re-start of the augers when the loading arms are completely lowered;
10. in the case the PTO stops:
 - a. stop of the rotation to the MFW,
 - b. inhibition of the start of the transmission to the augers,
 - c. stand of the augers rotation till the PTO speed exceeds a minimum set value,
 - d. automatic re-start of the augers when the PTO re-starts.

For all the previous conditions has been assessed that the “stop mixing” button stops the rotation to the FMW and inhibits the automatic re-start of the safety systems.

Farm conditions tests

The tests in farm conditions were intended to assess the functionality of the device during the preparation of a standard TMR (total mixed ration) for dairy cows. In this last case, the device was fitted into the implement input driveline (IID) of a self-loading feed-mixer wagon, driven by the PTO of a standard agricultural tractor (Figure 2).

For this purpose, a new function has been added in the control system in order to consider the case of the tractor that moves and draws the wagon; if the PTO is disconnected during the displacement, the safety device automatically stops the augers rotations and inhibits its movements till the tractor PTO is re-started.

Also in the farm conditions the machine running is inhibited whether only one of the sensor detects anomalous values at the starting of the MFW, but in this case a sound signal and a flashing light inform the driver of the trouble.



Figure 2. The 10 m³ trailed horizontal-auger self-loading feed mixer wagon used for the farm tests; 1) limiter device; 2) sensors for the loading arms position; 3) the ECU positioned in a safe working place inside the tractor cab.

A particular of the transmission limiter is showed in Figure 3 where the detailed position of some sensors are also showed (two oil pressure gauge into the limiter gearbox and two speed sensors, these last respectively at the inlet and at the outlet of the limiter). A torque-meter was interposed in the tractor-wagon driveline.

An on-board datalogger permitted to recording of the data. Five replications of the TMR preparation have been carried out in a commercial dairy farm using a 10 m³ nominal volume feed-mixer wagon, with horizontal augers and a rotating silo-unloading device.

The feeding ration was composed of an high quota of long stemmed hay (for a total ratio of 31.5%, w.b.) quickly loaded in round bales into the mixing box (150 to 290 kg/min working rate); besides, the mixing volume of the hopper was completely filled (1230 kg of TMR) in order to reproduce an high torque demand on the augers level to chop the steams and to mix the components thus soliciting the intervention of the limiter or provoking an overload.

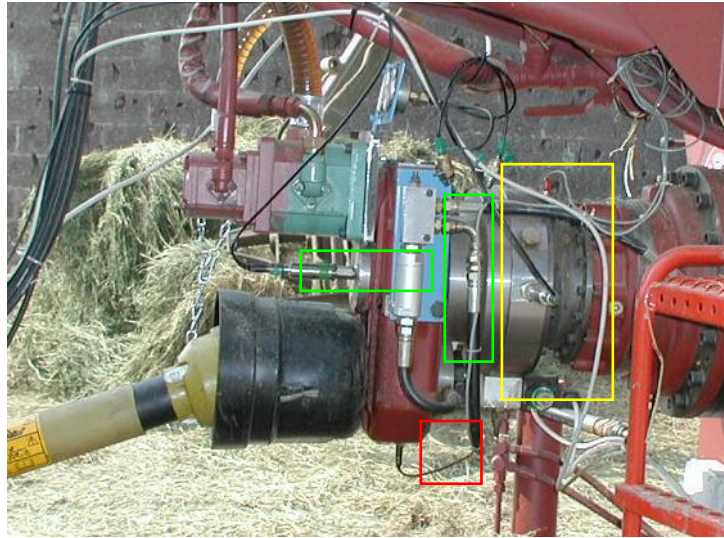


Figure 3. The automatic limiter (yellow square) fitted in the IID of the trailed, self-loading feed-mixer wagon. Sensors assist the limiter to monitor the set work conditions of the FMW (two oil pressure gauges = green squares; one input speed sensor = red square).

Results

Laboratory test

Laboratory tests show that the disengagement of the power from the engine and the intervention of the internal brake, takes a short time (0.04 s av. time) to be realised and it occurs when the pressure of the oil exceeds a set value. Moreover, the functional parameters reproduced at the bench (table 1), show that the reversion of the rotation in case of overloading of the mixing box, occurs without problems thus avoiding the need for the operator to keep in contact with the augers to clear them of the overload.

Table 1. Torque transmission capacity of the limiter in normal and reverse rotation

Parameter	Shaft rotation	
	normal	reverse
Engine speed (min^{-1})	540	540
Engine torque (kN)	911.3	346.3
Output torque (kN)	29430	29430
Hydraulic pressure (kPa)	2000	2000

Farm conditions tests

Figure 4 shows the results recorded during a typical TMR preparation where any problem has been registered or provoked in order to solicit the transmission limiter. The working period was divided into five phases correspondent to: the load and the chop of hay in round bales (phase 1); the self-load of silo maize (phase 2); the chopping-mixing action (phase 3) and the unload of the final TMR into two different mangers (phases 4 and 5).

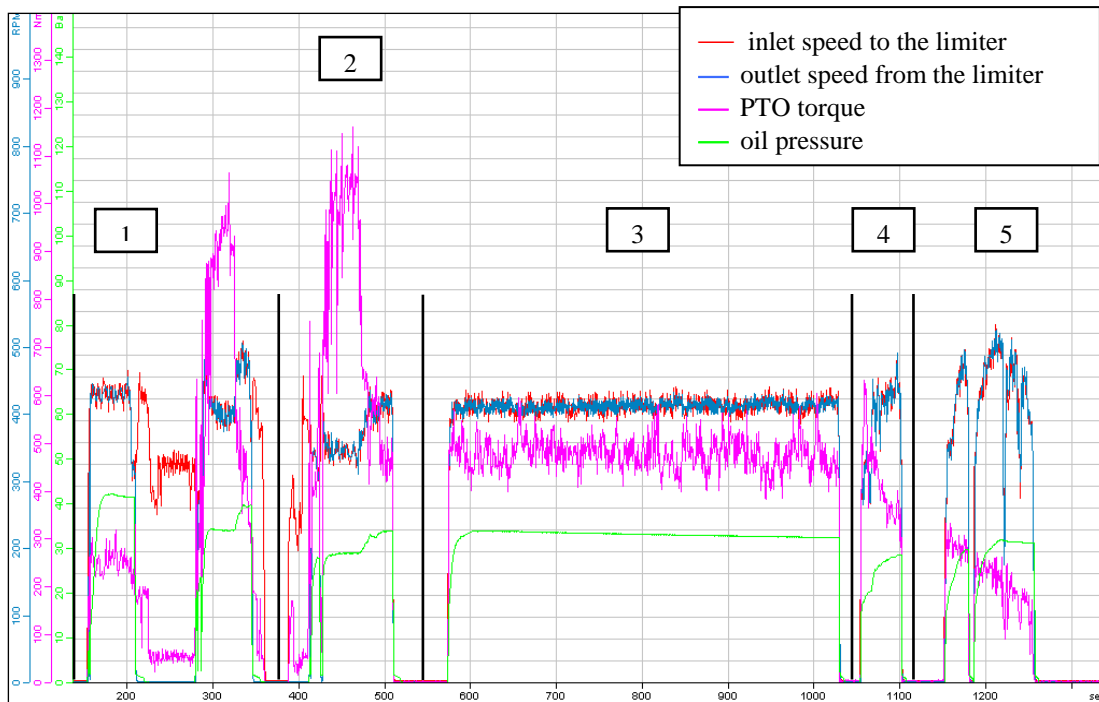


Figure 4. Typical trend of monitored parameters during TMR preparation for dairy cows in different working phases (1=load/chop of hay; 2= load of silo maize; 3=chop and mix of the ration; 4 and 5=unload on the TMR).

As shown, the speeds from the PTO and to the MFW (inlet and outlet speeds to and from the limiter) are quite almost coinciding because the slipping of the clutch occurs only in two occasions: at the start of the wagon (probably due to the too high PTO speed selected for the showed test) and after the hay round bale load and chop where the torque measured at the PTO suddenly reach a peak of 1050 Nm. During the silo maize loading phase the torque values were higher (1200 Nm) both because of the quantity loaded (1071 kg of silo maize) and the intervention of the hydraulic silo cutter drum (668.1 kg min⁻¹ av. working rate); nevertheless these values were obtained more gradually in comparison with the previous phase as the lower rotating speeds (500-560 min⁻¹) and the maximum oil pressure values (3000-3500 Kpa) confirm. After the phase 2, the PTO was disengaged to manually load the concentrates.

Tests were replicated in order to provoke an overload of the wagon mixing system; the most probable phase for this kind of event is the hay load phase. Figure 5 shows one of the case occurred and reports the actions carried out by the operator to re-start the working process. As shown in the figure, the suddenly increase of the torque value (> 1800 Nm) due to the wrapping of hay on the augers, produced the contemporary reduction of both the inlet and the outlet speeds at the limiter level without recording any clutch slip; this behaviour is confirmed by the coincident trend of the two relevant curves; the oil pressure also drops and the tractor engine stops. After this trouble, the operator tried to re-start the tractor two times without success because the safety system sensors detected too high levels of torque due to the augers blockage.

The operator decided to push the “auger inversion” button, thus causing the counter rotation of the augers and their clearing from the long stems of hay wrapped around. The figure shows that the outlet speed in counter rotation (blue line) was 2.5 lower than the inlet one as set (av. 240 min⁻¹ vs. 600 min⁻¹). The single counter rotating action performed had 12 s lasting and was sufficient to clear the augers; after that the working process was re-started and accomplished without any risk exposure for the operator.

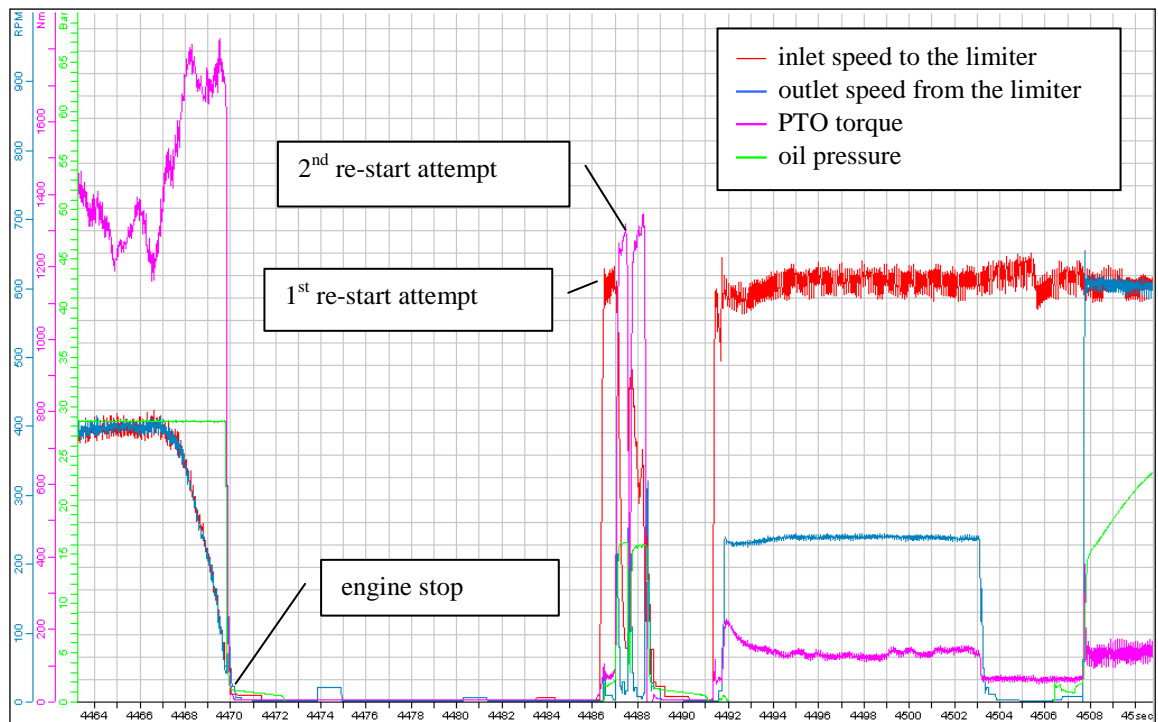


Figure 5. Trend of monitored parameter during an augers blockage due to the wrapping of long stemmed hay.

Conclusions

The use of an automatic disengagement device on a trailed feed mixer wagon has demonstrated to be an effective tool in order to manage the main dangerous operations deriving from the TMR preparation process; the possibility of trouble solving directly from the tractor seat reduces the risk for the operator to become in contact with mechanical rotating parts. In particular, the following conclusions can be drawn from this tests:

- the automatic limiter device assisted by sensors can transmit the torque required to the augers without limitations during the normal working phases of the mixer, but automatically stopping their motion if set threshold values are exceeded;
- the possibility of reversion of the augers rotation can solve auger blockage with few interventions without exposing the operator to the risk of contact with the augers or with the PTO shaft;
- to strengthen the safety conditions supported by the limiter device, an automatic auger stopping system has been set up, depending to the rear loading arms position.

Acknowledgements

The research was carried out with the financial support provided by the Italian National Body for the Agro-mechanical Industry (ENAMA).

References

- European Standard EN 703:2004. Agricultural machinery. Silage loading, mixing and/or chopping and distributing machines. Safety. European Committee for Standardization, Brussels.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)-FACE (Fatality Assessment and Control Evaluation) Program 2002a. Farm labourer killed when he became entangled in an unguarded PTO shaft. Michigan case report n. 2002MI151.

- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)-FACE (Fatality Assessment and Control Evaluation) Program 2002b. Youth farm worker dies after falling into operating feed grinder/mixer – Ohio. NIOSH in house report n. 2002-10.
- Wisconsin Fatality Assessment and Control Evaluation (FACE) program 2007. Avoid serious injury or death from Total Mixed Ration (TMR) mixers. Wisconsin Department of Health and Family Services.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)-FACE (Fatality Assessment and Control Evaluation) Program. 2003. Farm worker dies after becoming entangled in a power-take-off shaft. Minnesota case report n. 2003MN008.
- Thomas R.S., Buckmaster D.R. 2005. Development of a computer-controlled, hydraulic, power take-off (PTO) system. Transaction of the ASABE, 48(5), 1669-1675.
- Venem M.T., Shutske J.M., Gilbert W.J. 2006. Testing and creation of a safety system to disengage the PTO of a tractor. Applied Engineering in Agriculture, 22(1), 5-12.

2.3 Tecniche di gestione della mangiatoia

La distribuzione di razioni unifeed non prevede solo il riempimento della mangiatoia con la razione programmata, ma implica la messa in pratica di numerose azioni di controllo della qualità della razione, del processo di ingestione nel tempo, degli eventuali residui rifiutati, della rimanenza di alimento non ingerita dopo 24 ore, ecc. (Armentano e Leonardi, 2003; Pritchard e Bruns, 2003). Inoltre, il periodo di permanenza in mangiatoia può comportare rischi di contaminazioni (escrementi di avifauna o roditori, calpestio con mezzi meccanici imbrattati, ecc.) o di fermentazioni anomale (esposizione alla radiazione solare e ad elevate temperature estive). La gestione della mangiatoia è pertanto un evento dinamico in risposta al tipo di razione, al gruppo di animali, al cambiamento delle condizioni ambientali o stagionali, alla collocazione e dimensione della mangiatoia stessa.

Una delle conseguenze pratiche più note agli allevatori è l'esigenza di riavvicinare la razione alla mangiatoia con una frequenza variabile da 3 a 12 volte al giorno (Bisaglia, 2009) in seguito ai movimenti del collo che gli animali eseguono durante l'assunzione di cibo, ma soprattutto durante la selezione degli ingredienti più appetiti al fine di allontanare quelli meno graditi e ricercare, scavando con movimenti circolari del musello nella massa, quelli preferiti (Fig. 8).



Fig.8 – Tipica situazione in mangiatoia nelle prime ore dopo la distribuzione di unifeed: si nota l'azione di selezione degli alimenti graditi (scavo di buche con movimenti circolari del musello) e l'allontanamento dei meno appetiti con lanci operati con il collo.

In tal modo, se la razione viene sospinta a distanze superiori ai 71 cm dalla rastrelliera diventa irraggiungibile da parte degli animali e va, pertanto, riavvicinata.

Recenti ricerche dimostrano che gli animali assumono il 2-3% di s.s. in più se l'alimento, dopo la distribuzione, è sospinto in mangiatoia 4 volte al giorno e tale valore cresce con l'aumento della frequenza di avvicinamento; inoltre, anche l'azione di selezione degli animali viene contrastata, come dimostra il contenuto in fibra (NDF) del residuo in mangiatoia analizzato a intervalli regolari nel corso della giornata; si è visto che tale livello cresce più lentamente al crescere della frequenza di riempimento; ciò si traduce anche in minori quantitativi di residuo inutilizzato e, pertanto, in minori sprechi di alimento quantificabili, secondo alcuni autori, in 50-55 Euro/capo/anno. Se si considera che l'alimentazione può incidere per il 50-75% del costo di produzione per litro di latte, si comprende che ogni azione anche apparentemente piccola tesa a ottimizzare l'ingestione di alimento e ad aumentare l'efficienza alimentare debba essere intrapresa.

Altre ricerche evidenziano che l'azione stessa di riempimento o di riavvicinamento di cibo in mangiatoia stimola gli animali a recarsi nella zona di alimentazione aumentando le occasioni di

assunzione di cibo e riducendo i comportamenti aggressivi di alcuni capi. Le ricerche sull'influenza di tale azione nella produzione di latte hanno fatto registrare incrementi, seppur molto variabili, in funzione delle condizioni di prova e delle razze allevate, all'aumentare della frequenza di avvicinamento da 4 a 12 volte/giorno. Anche l'incremento di peso degli animali risulta correlato all'incremento della frequenza di gestione della mangiatoia.

Pertanto, l'insieme di questi elementi (ingestione di s.s., produzione di latte, riduzione della cernita, comportamento degli animali, contenimento dello spreco di alimento, incremento ponderale), ha consentito di formulare un giudizio positivo su tale prassi determinando come conseguenza lo sviluppo di una meccanizzazione specifica – anche di tipo automatico – e la messa a punto di routine di stalla consolidate.

2.3.1 Sistemi meccanici

I sistemi meccanici per il riavvicinamento della razione alla mangiatoia sono stati inizialmente ricavati adattando macchine ranghinatrici poco o punto utilizzate oppure ispirandosi ai sistemi di lavoro delle macchine sgombra neve di tipo spinto dall'operatore. Oggi sono stati sviluppati modelli specifici per tale operazione, generalmente di tipo semovente e con sistemi operativi diversificati (Fig. 9).



Fig. 9 – Esempio di macchina semovente per il riavvicinamento della razione in mangiatoia

Il limite di tale sistema è evidentemente correlato al costo e alla disponibilità della manodopera per cui difficilmente si può ricorrere a più di 3-4 interventi/giorno.

Per ovviare a tale limitazione sono stati sviluppati diversi sistemi automatici.

2.3.2 Sistemi automatici

I sistemi automatici per il riavvicinamento della razione in mangiatoia sono essenzialmente di due tipi: vincolati e a navigazione sensorizzata.

I sistemi automatici vincolati sono costituiti da spazzole o nastri montati su un telaio fissato alla rastrelliera della mangiatoia (Fig. 10) che costituisce una guida per il percorso da effettuare. In tal modo, la macchina, ad azionamento elettrico, può percorrere ad intervalli programmabili anche ad elevata frequenza (10-12 volte/giorno) l'intera mangiatoia spingendo il prodotto allontanato dagli animali. Una soluzione interessante, prevede che il sistema di riavvicinamento possa distribuire, per

gravità tramite una coclea dosatrice, anche del mangime concentrato, amplificando l'effetto di stimolo sugli animali.

Il principale limite di tale soluzione è rappresentato dal fatto che è necessario disporre di una macchina per ogni mangiatoia o, tutt'al più, per ogni coppia di mangiatoie frontali, mentre è necessario investire in più macchine nel caso di stalle di dimensioni elevate.



Fig. 10 – Macchina automatica vincolata alla rastrelliera per il riavvicinamento della razione in mangiatoia e la distribuzione di piccole dosi di mangime concentrato.

I sistemi a navigazione sensorizzata rappresentano la novità più recente e fanno parte di azioni di ricerca molto avanzate da parte dei costruttori per introdurre sistemi automatici più flessibili e completi all'interno degli allevamenti bovini da latte.

Queste macchine (Fig. 12), si caratterizzano per un sistema di navigazione basato su sensori inseriti nel pavimento secondo percorsi prestabiliti e riconosciuti da ricevitori a bordo che attivano il sistema di navigazione. Il vantaggio principale è che un solo dispositivo può servire allevamenti di dimensioni elevate purché la viabilità interna sia praticabile e gli edifici non eccessivamente distanziati, considerando che i sistemi sono ad alimentazione elettrica mediante batterie che vengono ricaricate automaticamente durante gli intervalli tra un'operazione di riavvicinamento e la successiva .



Fig. 11 – Macchina automatica a navigazione sensorizzata per il riavvicinamento ad elevata frequenza di razioni unifeed.

2.4 Sviluppo di sistemi automatici per il razionamento unifeed

L'automazione della distribuzione di alimenti è ben nota e diffusa in molte tipologie di allevamenti specializzati (es.: suini, avicoli). Tuttavia, per l'allevamento bovino ed in particolare per quello bovino da latte, l'automazione è sempre stata relegata alla distribuzione di singoli componenti data l'esistenza di numerose problematiche legate alla forma fisica della razione ed alla necessità di fornire fibra avente specifiche caratteristiche dimensionali.

Tuttavia, già negli anni '90 alcuni ricercatori (Ipema, 1990; Sangiorgi, 1990) avevano ipotizzato la possibilità di automatizzare tutte o alcune delle singole fasi (Fig. 12) che costituiscono il processo di preparazione e distribuzione di razioni unifeed, già analizzate in precedenza.

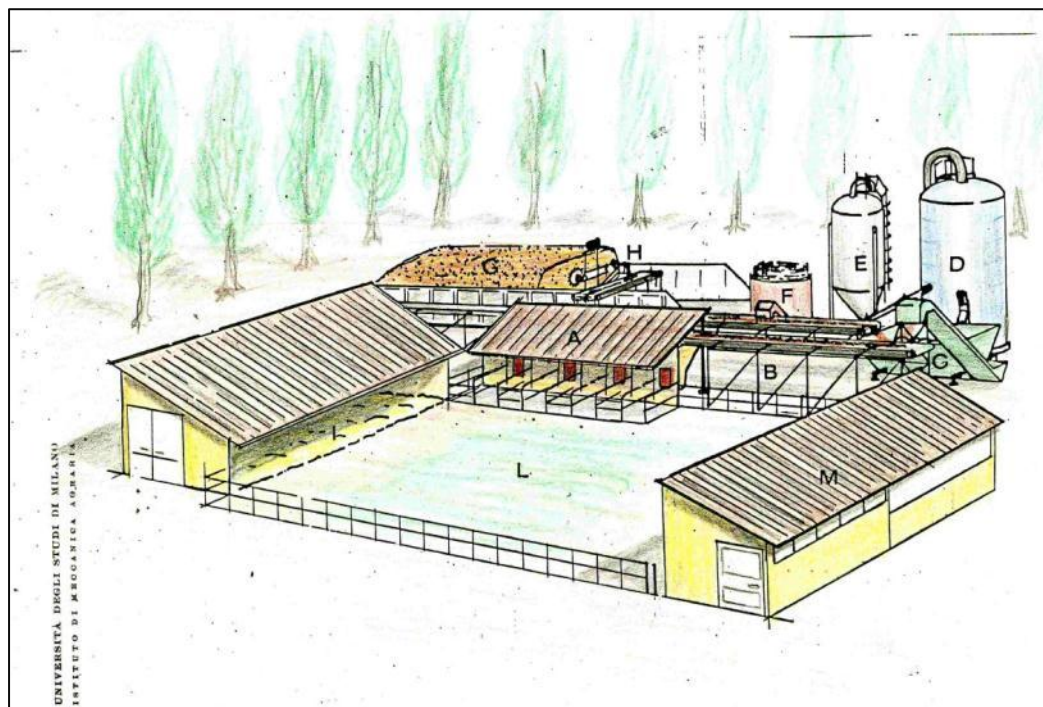


Fig. 12 - Esempio di batteria di silos (D, E, F, G) e di dispositivi per il prelievo (H), preparazione (C) e distribuzione automatizzata, mediante nastri trasportatori (B), di razioni zootecniche in stalle libere (A, L, M) per vacche da latte (Sangiorgi, comunicazione personale).

Tuttavia, è solo recentemente che tali sistemi sono stati ingegnerizzati e introdotti in allevamenti commerciali. Si stima che solo all'inizio degli anni 2000 fossero disponibili i primi modelli e che oggi rappresentino un parco di circa 400-500 esemplari.

Data la scarsità di notizie a riguardo, è stata pertanto eseguita un'indagine approfondita per comprendere quale sia lo stato dell'arte relativamente ai costruttori presenti e alle tipologie disponibili.

I primi risultati, di seguito riportati, sono stati presentati dallo scrivente al XVII Congresso mondiale della CIGR a Québec City, Canada e pubblicati sul sito della Società Canadese di Bioingegneria.



**XVIIth World Congress of the International
Commission of Agricultural Engineering (CIGR)**

Hosted by the Canadian Society for Bioengineering (CSBE/SCGAB)
Québec City, Canada June 13-17, 2010



**AUTOMATIC AND FREQUENCY-PROGRAMMABLE SYSTEMS FOR
FEEDING TMR: STATE OF THE ART AND AVAILABLE TECHNOLOGIES**

CARLO BISAGLIA ¹, FRANZ NYDEGGER ², ANNE GROTHMANN ²,
JOHANNA POMPE ³

¹ CRA-ING, Research Laboratory of Treviso, via Milano 43, 24047 Treviso, Italy,
carlo.bisaglia@entecra.it

² ART Research Station, Agroscope Reckenholz-Tänikon, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Switzerland.

³ Wageningen University, Farm Technology Group, Bornse Weiland 9, 6708 WG Wageningen, The Netherlands.

**CSBE10XXX – Presented at Section II: Farm Buildings, Equipment, Structures
and Livestock Environment**

ABSTRACT Feeding Total Mixed Rations (TMR) or Partial Mixed Ration (PMR) has become a common practice for dairy cows as a result of the benefits for the animals and the labour savings for farmers. Characteristic for this feeding system are the – trailed or self propelled – man-operated mechanical mixers. Besides the advantages of the TMR technique, it has the same drawback as most traditional ad libitum feeding systems that the discharge of feed is limited to once, maximum twice a day. During the last 3-5 years, technologies for automatically feeding cows with TMR or PMR have grown in popularity. More than 15 manufacturers are working worldwide on different designs for automatic TMR/PMR feeding systems (AFS) while an estimated 300-400 farms have adopted this technology, mostly located in Northern Europe, Canada and Japan. The different manufacturers offer a wide range of technical solutions. Some of the most important aspects that characterize these systems include the possibility of a high frequency to distribute the ration, to control the feeding times, to stimulate the cow activity and to manage the composition of the total daily ration with the objective to control the feed intake. The management possibilities and the quality of work seem to be strongly affected by the concepts of the technical solutions that are now available. The paper provides a proposal for the classification of the different AFS's and suggestions for future research on feeding strategies with a focus on the daily feeding frequency and the time interval between distributions.

Keywords: dairy cows, feeding system, TMR, feeding automation.

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 feedstuffs. An example is the TMR technique that provides balanced nutrients over time. Over the last 15-20 years, this feeding method – with the trailed or self propelled feed mixers – has become popular (Barmore, 2002). More recently, automatic feeding systems (AFS) for TMR have been developed by research centers (Kazumoto, 1999; Tamaki, 2002) and by manufacturers (Hollander *et al.*, 2005). These AFS's are based on either existing technologies for single feedstuff automated distribution (concentrates, silages, forages) or on complete new concepts. The

integration of AFS's in the lay-out of new or existing barns raises questions with respect to the location and capacity of the components of an AFS. Pompe *et al.* (2004) proposed a discrete-event simulation model to generate answers such questions. The increased utilization of these systems at farm level during the last 3-5 years, has stimulated their in-field assessments (Gjødesen, 2007) and industrial production and development. At present 16 manufacturers are known to have developed different automatic operating designs (Nydegger and Grothmann, 2009) and an estimated 300-400 farms – for the most part located in North Europe, Canada and Japan – have adopted this type of mechanization.

One of the features of an AFS for TMR includes the possibility to increase the daily frequency of feeding from 1 up to 15 cycles per day. This provides potential to stimulate cow feeding activity and dry matter intake and to promote the natural feeding behaviour of more meals per day. Azizi *et al.* (2009) found meal frequencies for cows of 7-9 meals per day, meal durations of 36-38 minutes/meal and meal sizes of 2-3.5 kg per meal. These results are similar to those of other researchers, but cow and management related factors, and also the definition of the meal criteria, affect the magnitude of these results. De Vries *et al.* (2005) investigated the influence of the frequency of daily feed delivery on cow behaviour and concluded that frequent delivery of feed improves access to feed for all cows, particularly during peak feeding periods when fresh feed is provided, and reduces the amount of feed sorting. Mäntysaari *et al.* (2006) and Pompe *et al.* (2007) found that frequent supply of fresh roughage decreased the peaks in cow visits to the feeding places that are typical for conventional feeding systems. DeVries and von Keyserlingk (2005) found that delivery of the feed 6 hours after milking increased the total daily feeding times of the cows with 12.5% compared to the situation of feed delivery at the time of milking.

This paper aims to provide a review of the mechanical designs for AFS that are currently available on the market, to propose a classification of these systems and to formulate feeding strategies and management that utilize AFS to its full potential.

The study focuses on AFS's for free-stall housing, AFS's for other housing systems are not considered.

MATERIALS AND METHODS The manufacturers presently involved in developing AFS technologies were identified by reviewing commercial sources (agricultural expositions and manufacturer's leaflets). We developed an overview of the various design concepts based on technical information provided by the producers and the existing literature (Hollander *et al.*, 2005; Gjødesen, 2007; Nydegger and Grothmann, 2009). We carried out a survey at 12 Dutch dairy farms using different design of AFS to assess their feeding strategies and management systems.

To identify the various design options for AFS's we applied the engineering design methodology of morphological charts (Cross, 2008) and we outlined specific working characteristics with the aid of process charts according to ASME standard 101. We formulated feeding strategies and management options by matching the design concepts for AFS's to the information on cow feeding behaviour from the literature.

Table 1. Manufacturers* involved in AFS development and production for TMR in free-stall housing.

Alph. order	Make	Model		Feeding method	Country
1	Agro Contact	SM 2000 MS 3000		Group	Canada
2	Agro X	One2Feed		Group	Denmark
3	Airablo	R.T.M.i.		Group	Canada
4	Cormall **	Multimix MTX	a. Conveyor b. Multi-feeder	Group	Denmark
5	De Laval	Optimat		Group	Sweden
6	Hetwin	Fütterungsroboter		Group	Austria
7	Lely **	Atlantis		Individual	The Netherlands
8	Mullerup	Mix feeder		Group	Denmark
9	Pellon	a. Mixing device b. Filling device	a. Conveyor b. Feeder Robot	Group	Finland
10	Rioh	Sputnic		Group	Denmark
11	Rovibec	Dec DP Dec SR		Group	Canada
12	Schauer **	Transfeed Dec (Rovibec system)		Group	Austria
13	Schuitemaker	Innovado		Group	The Netherland
14	Trioliet	Triomatic		Group	The Netherland
15	ValMetal	D.A.F.		Group	Canada
16	Wasserbauer	MixMeister		Group	Austria

* The authors apologize for possible and involuntary oversights. Mention of trade names is for the benefit of the reader and does not constitute endorsement by the authors over other products not mentioned.

** Also agreement with other manufacturers to widening the market options.

RESULTS Overview of currently available AFS's An overview of the currently available AFS's is reported in Table 1. The review of the relevant technical data shows a range of design concepts including preindustrial prototypes and commercial models that can feed cows with TMR or PMR, both individually and per group. These systems can be stationary or mobile with different automatic feeding methods. Based on the farm survey, feeding strategies and feeding management are outlined in the following.

Characteristics of Automatic Feeding methods A morphological chart with the different mechanized functions involved in TMR/PMR preparation with the solutions to automatically accomplish these functions is shown in Figure 1. The figure contains the design line (the dashed line) for the AFS as developed by Agro X, Mullerup, Pellon – and is intended for illustration purposes only.

A first distinction between automatic TMR feeding methods can be based on the possibility of feeding cows individually or per group.

Individual feeding in free stall-housing This option provides the possibility to feed cows with different components, balanced to fit the specific requirements of each animal. The only system at present developed is the Atlantis: a stationary system manufactured by Lely at its prototype level. The operator fills a temporary storage with the various feedstuffs, from where a trolley automatically collects and transports small loads of the feedstuffs along an overhead rail to small hoppers. From there the system prepares specific rations on demand of the cows by dropping the different ingredients in the individual feeding troughs in small-sized quantities (total amount ~1 kg). The small quantities prevent cows to select single feeds.


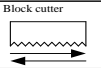
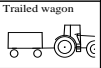


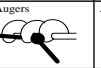
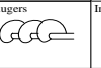
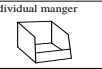
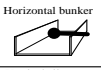
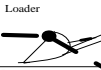
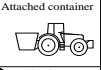


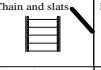
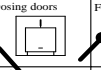
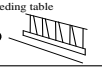
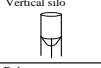
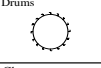
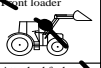
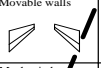
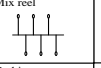
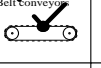
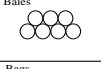
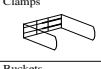


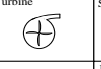
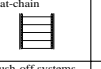

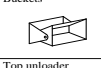
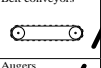
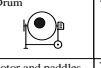
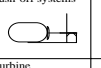


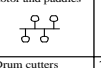

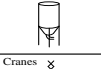

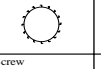
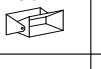
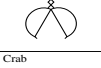
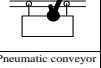
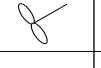
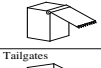
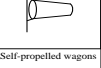
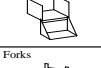

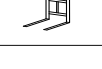
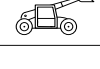
Store feed	Unload feed	Transport feed	Temporarily store feed	Weigh feed	Mix feeds	Deliver ration	Provide rations to cow(s)
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							
							

Figure 1. Morphologic chart for TMR preparation and distribution. An example is provided for function and sub function definition in order to define possible automatic methods (Kosse, 2005; adapted).

Group feeding The majority of the AFS's developed at present belong to this group of automatic TMR feeding method: the cows are fed with diets balanced for the average requirements of the group and not with individually balanced rations. Combinations are possible with self feeder concentrate dispensers placed either in the milking parlour/milking robots or elsewhere in the barn.

AFS's can be classified based on their propelling mode (stationary or mobile systems) and on the way they process the ration (stationary mixer or mobile mixer wagon).

Stationary systems These models contain metallic or rubber conveyor belts (Agro Contact, Cormall, Pellon, Rovibec, Valmetal) and are based on known technologies for roughage distribution used, in particular, where space was limited. These systems have evolved more and more towards TMR feeding, thanks to the introduction of stationary mixers that generally provide one ration each. The ration is transported and/or distributed at a preset time by conveyors that either operate as feeding table or drop the feed in the manger from above.

Mobile systems based on feeder wagons These systems (i.e. Cormall Multi-feeder, De Laval Optimat, Pellon Mixing device plus Feeder robot, Schauer/Rovibec SR, Rion Sputnik) are based on one or more stationary mixer(s) provided with scales, which also operate as temporary, daily storage. The operator has to fill the mixer(s) from farm storages with the daily quantity of components both by means of tractor loaders for roughages and silo unloaders for concentrates. The mixing system can be equipped with blades to enable chopping long stemmed products (hay, straw) or can be

combined with pre-chopping units. The TMR that is prepared remains in the mixer over the course of the day from which it is automatically transferred 1-15 times per day to the feeder wagon. This operation can be achieved by means of conventional conveyors (i.e. De Laval, Pellon) or directly from the mixer(s) (i.e. Cormall, Schauer/Rovibec SR). These systems need one mixer for each TMR to prepare; alternatives (De Laval) include mechanic temporary storages for roughages - filled every 1-3 days by the operator - to automatically load the stationary mixer with the relevant components thus allowing preparation of different rations with the same mixing unit. Every TMR prepared is then distributed at preset intervals by means of a small-volume, high-rate feeder wagon that automatically recognizes which TMR has to be distributed and which group of animals has to be fed. Most feeder wagons are rail-guided and electric powered by means of a battery rank on board. The wheeled, self-propelled feeder wagon (Cormall) is guided by laser sensors and sensors on the floor. The nominal volume of automatic feeder wagons is generally lower compared to conventional tractor trailed ones and range from 2.5 to 4.3 m³ thus allowing stables designed or restructured with feeding alleys that are narrower (2.2 - 3.5 m wide) than conventional ones. More technical details of these systems are shown in Table 2.

Mobile systems based on feeder mixers These systems consist of a temporary storage for components that automatically and at preset intervals fill a mobile mixer wagon. The temporary storages generally consist of rectangular containers, with volumes ranging from 7 to 50 m³, provided with unloading devices. The containers are usually fixed, aligned near the stable, but some are mobile (Agro Contact, Agro X, Wasserbauer). They are mechanically filled by the operator from the conventional farm storages and are intended to be labour-saving because they only need to be refilled every two-three days. The containers that can automatically load the mixer wagon can have different designs. Some models are shaped in order to directly fill the wagon (Cormall, Hetwin, Pellon, Rovibec DP) thanks to an overhead side and movable floors working together with horizontal augers provided with blades that have to evenly distribute the feed into the feed mixer hopper and simultaneously chop it, if in bales, or crumble it if in blocks. Maize and grass silage are usually introduced loose. Other models provide the possibility to handle products in blocks (Trioliet); in this case an automatic cutting device and a rubber made conveyor are provided. Mixed-concept containers (Agro X, Pellon, Wasserbauer) have the possibility to handle silage blocks: these are loosened up when loaded by the horizontal-auger unloading device. Other systems (Airablo) introduce hay/straw choppers in order to reduce the volume and size of these products and facilitate the mixing process. The

Table 2. Range of technical parameters variability in AFS based on feeder wagon

Parameter	Unit	Range of variability	
		Min.	Max.
Roughage temporary storage	n.	0	4
Temporary storage capacity (if present)	m ³	9	20
Stationary mixer	n.	1	4
Capacity of stationary mixer	m ³	6	50
Power of stationary mixer (each)	kW	4	44
Power for accessories (i.e. discharge door, etc.)	kW	0.75	1.0
Capacity of feeder wagon (FW)	m ³	1.76	4.3
Power of FW moving floor system*	kW	2.7	4.4
Power of FW displacement engine*	kW	0.37	0.5
Power of FW discharge conveyor*	kW	0.7	0.75
System energy requirement (av.)	kWh day ⁻¹	20	35

* Either battery or line powered

ration is freshly prepared by low volume mixer wagons at preset interval (1-15 times per day). The mixer wagons are provided with different mixing systems (vertical or horizontal augers, reels, chain and slats), generally without blades, and are electric powered either by line or batteries. More technical details are shown in Table 3.

Table 3. Range of technical parameters variability in AFS based on mixer wagon

Parameter	Unit	Range of variability	
		Min.	Max.
Roughage temporary storages	n.	1	7
Capacity of temporary storage	m ³	7	50
Power of temporary storage (each)	kW	2.2	3.4
Capacity of mixer wagon (MW)	m ³	1.75	4.4
Power of MW mixing system*	kW	2.2	3.0
Power of MW displacement engine*	kW	0.75	0.8
Power of MW discharge conveyor *	kW	0.55	0.8
Power for accessories (i.e. brushes, etc.)	kW	0.55	0.55
System energy requirements (av.)	kWh day ⁻¹	30	45

* Either battery or line powered

Self propelled feeder mixers This system consists of a fully-automated self propelled mixer wagons such as the Innovado prototype, manufactured by Schuitemaker. The system is similar to conventional self propelled feeder wagons, but with a lower hopper volume (6 m³); a 48 kW diesel engine powers the system that operates completely without operator on board. The wagon is provided with a block unloader that can fill a vertical auger mixing device. An adjustable navigation system allows integration of these robots in existing barns without structural modifications and navigation to predetermined farm storages and feed group of animal at preset times.

Operator interfaces Different operator interfaces are presently available: ranging from ECU (Electronic Control Unit) with display and touch controls embedded on the stationary mixers and mobile wagon to full systems with dedicated PC and/or touch screen, displaying all the information recorded (rations, groups, programmed distributions, etc.). Some manufacturers foresee the use of dedicated office remote controls or portable PDA (Personal Digital Assistant) to adjust and operate the system. ICT standard developments that integrate feeding programs and other farm software can be a valuable further development.

Classification of Automatic Feeding methods Based on the analysis of the currently available AFS's a classification can be proposed as shown in Figure 2.

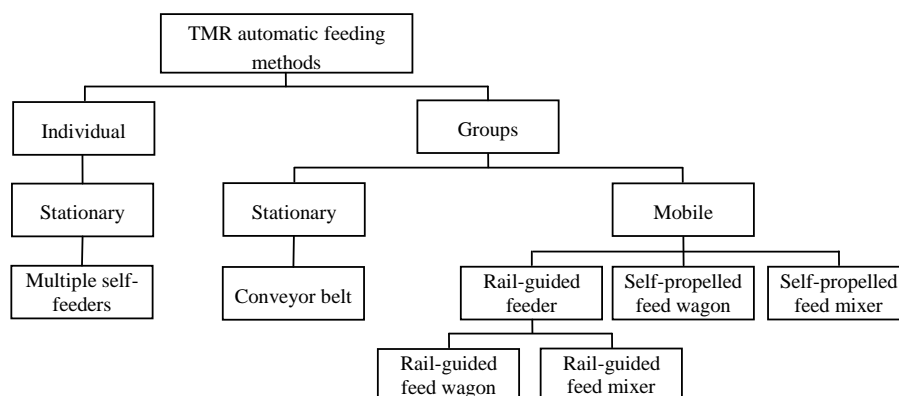


Figure 2. Classification of different AFS for TMR following the design concept.

The currently available AFS's can be described with four process charts (Annex A). Major differences concern the complexity of the mechanized chains with or without the possibility of temporary storages for several days, the intervals between the preparation of TMR and the presence of stationary or mobile chopping/mixing units.

Automatic Feeding strategies One of the main aspects that characterizes the automatic feeding technique concerns the possibility to increase the TMR distribution frequency in order to manage the feed intake, stimulate cow activity, reduce leftovers and to adapt the volume of ration to the size of the animal group. In the case of the conventional mixer-wagon-based feeding technique, the distribution of the ration is generally achieved with a rate of 1-2 cycles per day and per group followed by a variable number of replenishments of the feeding area thus not differing, from a management point of view, from conventional *ad libitum* feeding techniques. With the AFSs the feeding frequency could be increased to 15 cycles per day. Figure 3 provides a schematic overview of the available ration on the feed bunk in the course of a day for a conventional TMR feeding strategy (left) and for a possible strategy with an AFS (right side of figure).

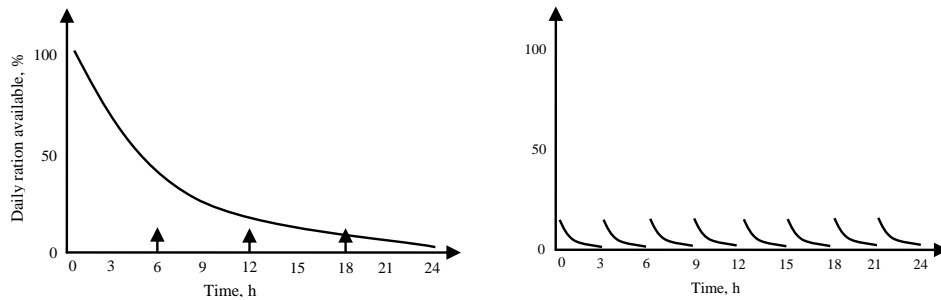


Figure 3. The conventional method to feed TMRs (left) with one distribution per day with three push ups with the leftovers (arrows). The AFS (right) can vary the frequency up to more than 10 distributions per day.

In the case of the conventional feeding system, the ration is provided once a day and it is available for cows in decreasing quantity. The quality will vary as a result of animal selection and intake. A number of push up (3-6 times per day or higher with automated systems) is necessary to keep the feeds within reach of the cows. The example for the AFS displays a strategy where 12.5% of daily ration is distributed with 3 hour intervals. In this case, the reduced quantity distributed could induce cows to reduce feed selection. A second strategy could allow reducing the quantity distributed during the part of the day with less cow activity (Figure 4, left).

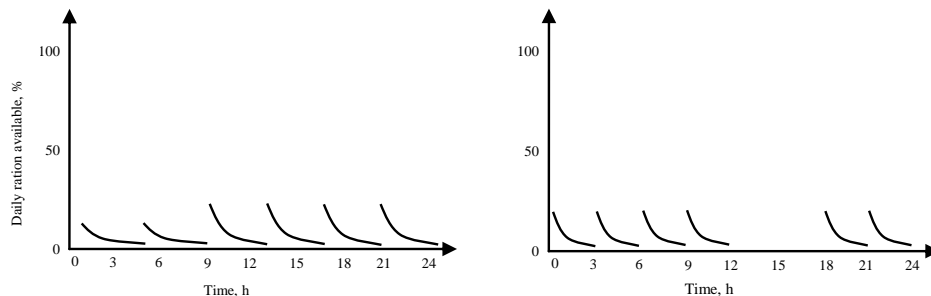


Figure 4. The AFS can be set to reduce the TMR quantity distributed during the night when cows activity is lower (left). The TMR distribution can also be interrupted during the warmest hours (right) when cows rest.

In this case a frequency of 6 distributions per day is set up so that 10% of the daily quantity is distributed twice during the night and 20% is provided 4 times during day.

Another option is to apply a seasonal strategy. The right side graph in Figure 4 show a possible strategy for the summer time where the 6 distributions per day of 16.6% of the daily ration each are supplied during the cooler hours of the day when the cows are more active and the feed is less prone to fermentations.

Variation of the feeding frequency also provides the option to adapt the TMR quantity to be prepared for a wide range of animal group sizes including the small groups (i.e. the transition cows group) as shown in example in Figure 5.

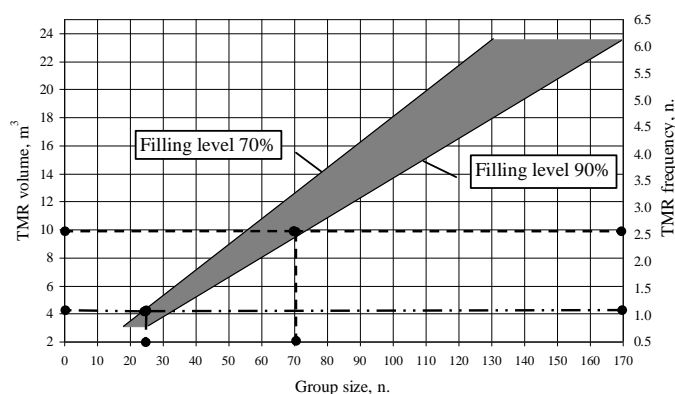


Figure 5. Relation between the required TMR volume and the associated distribution frequency for different herd sizes (----- 70 cows; 25 cows, see text below for further explanation).

The graph shows the relation between the required TMR volume and the associated distribution frequency for different herd sizes. The grey bar is an example for a feed container of 4 m³, with a filling level between 70 and 90% of its rated capacity (2.8 and 3.6 m³, respectively) and a TMR requirement of 0.125 m³ of feed/cow-day. A herd of 70 cows then requires 8.75 m³ feed/day and a distribution frequency of 2.4 if the filling level is 90% or of 3.1 at a filling level of 70%.

Automatic Feeding management Following the design concepts shown in Annex A before, different management modes – each with their own influence on labour and energy demand – are feasible. The automated distribution reduces the labour demand: labour is only needed to fill the system with single compounds and to manage the rations. Temporary storage allows autonomy of two-three day, but a seasonal adaptation must be taken into account so that the temporary storage must be shortened in warmest seasons.

Most AFS's are electric powered which provides the potential to reduce energy costs if it is combined with the installation of a biogas plant. In addition, the transportation of small feed quantities can be achieved with low powered engines that allow generally low daily energy consumption.

CONCLUSIONS Automatic feeding systems (AFS) for TMR preparation in dairy husbandry are the newest options that can support farmers in their feeding management. Many different systems are present ly available or in development. Various feeding strategies show potential benefits, but further investigations are necessary develop design guidelines for a better integration in new or existing barns,

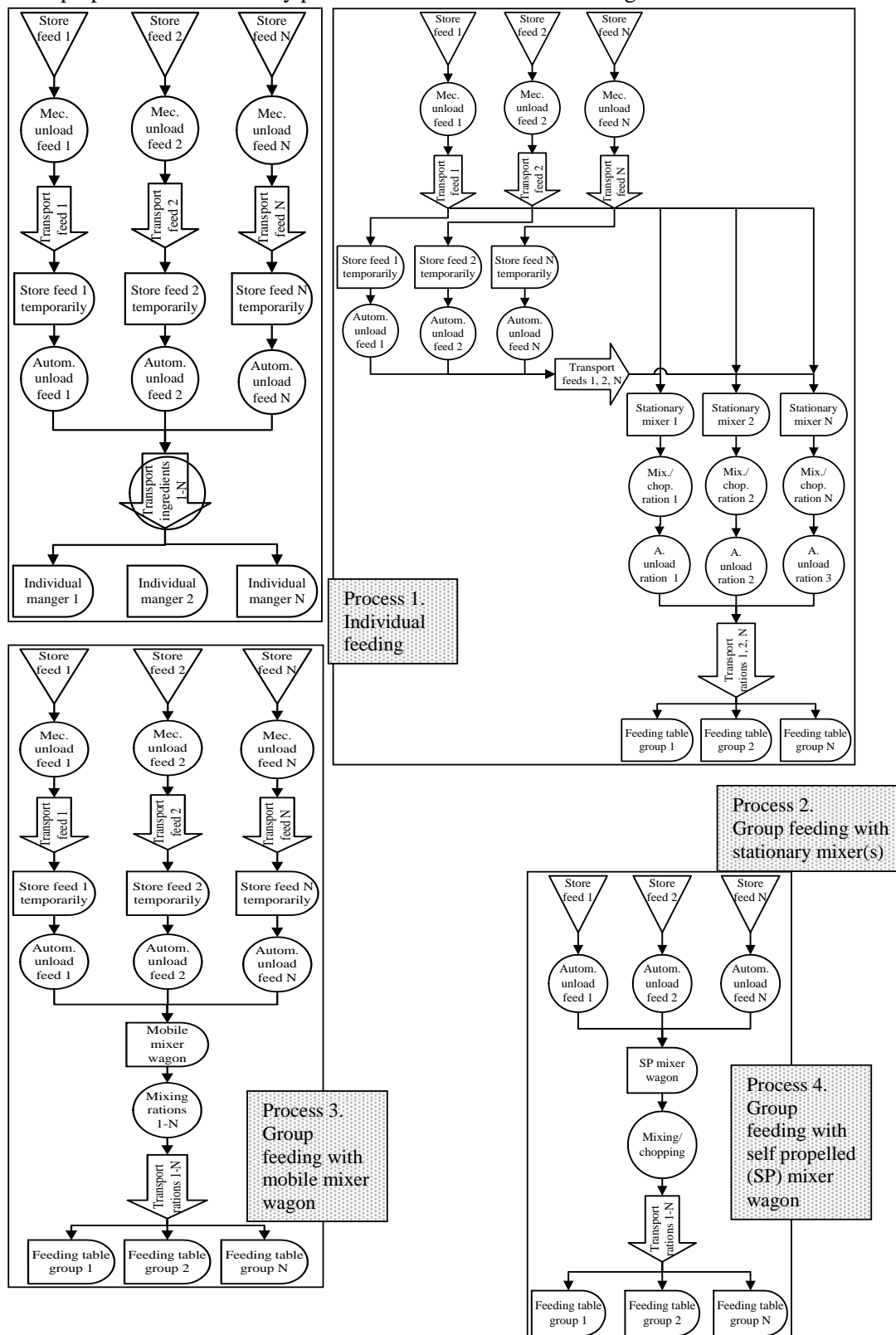
to take into account actions for monitoring the mixing consistency among batches, to reduce the leftover and to dynamically adjust the quantity to be prepared, to better understand the impact on cow behaviour and to integrate information technologies for more accurate dairy management.

REFERENCES

- Azizi, O., O. Kaufmann, L. Hasselmann. 2009. Relationship between feeding behaviour and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield. *Livestock Sci.* 122: 156-161.
- Barmore, J.A. 2002. Fine-tuning the ration mixing and feeding of high production herds. In: Proc. Tri-state dairy nutrition conference, Fort Wayne, IN, USA, 16-17 April.
- Cross, N. 2008. Engineering design methods: strategies for product design. Wiley, Chichester, UK, 230 pp.
- DeVries, T.J., von Keyserlingk M.A.G. 2005. Time of feeding 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 behaviour of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88: 3553-3562.
- Gjødesen, M. U. 2007. Farm test. Automatiske foderanlæg [Automatic feeding systems]. Ed.: Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Århus, Denmark.
- Hollander, C. J., K. Blanken, A. Gotink, G. van Duinkerken, G. Dijk, F. Lenssinck, K. de Koning. 2005. Voersystemen in de melkveehouderij [Feeding systems on dairy farms]. *PraktijkRapport Rundvee 73*. Animal Science Group, Lelystad, The Netherlands.
- Kazumoto, I. 1999. Full-automatic TMR preparation feeding equipment mainly used self-sufficient feed. *Livestock technology* 526: 2-5.
- Kosse, E. 2005. Kwantificatie van de arbeid bij het voeren van melkkoeien [Quantification of the labour requirement for feeding dairy cows], Farm Technology Group, Wageningen University, Wageningen, 83 pp.
- Mäntysaari, P., H. Khalili, 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.
- Pompe, J.C.A.M., A.T. Nieuwenhuizen, C. Lokhorst, D.L. Kettenis. 2004. Discrete-event Simulation Model for Automatic Precision Feeding of Dairy Cows, AgEng Leuven 2004 - Engineering the Future, Technologisch Instituut vzw, Leuven, pp. 574-575 (Extended abstract in hard copy of proceedings, Vol. 572; full paper on CD ROM).
- Pompe, J.C.A.M., D.H.J. Alders, L.F.M. Heutinck, C. Lokhorst. 2007. Automatic individual feeding systems for dairy cows: observations of facility utilization, In: Cox, S. (Ed.), *Precision Livestock Farming '07*, Wageningen Academic Publishers, Skiathos, Greece, p. 45-51.
- Nydegger, F., A. Grothmann. 2009. Automatische Fütterung von Rindvieh. Ergebnisse einer Erhebung zum Stand der Technik [Automatic feeding of cattle. Results of a survey on the state of the art]. *ART-Berichte 710*. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- Tamaki, K. 2002. Livestock management with "relaxation" for both humans and domestic animals (4)-III. Development and utilization of full-automatic TMR preparation and feeding equipment. *Animal husbandry* 56(10): 1065-1070.

APPENDIX A

TMR preparation and delivery processes with different AFS designs.



CAPITOLO 3. ANALISI AZIENDALE

La recente introduzione dei sistemi automatici per l'unifeed, pur permettendo di conoscere quali siano le tendenze tecnologiche maggiormente accreditate e di classificare i sistemi disponibili, non consente ancora di disporre di informazioni sufficienti sull'impatto che tali sistemi hanno a livello aziendale.

In particolare, questi sistemi sono stati concepiti principalmente per ridurre i fabbisogni di manodopera e stimolare le visite da parte delle bovine sia dell'area di alimentazione sia dei box per la mungitura robotizzata; non a caso molti produttori di sistemi automatici per la mungitura producono anche sistemi automatici per l'alimentazione unifeed. Tuttavia, si presume che l'impatto che tale tecnologia possa avere negli allevamenti sia di grande e a tutt'oggi poco esplorato rilievo, avendo possibili effetti sulle interazioni con altri automatismi presenti in stalla, quali appunto i robot di mungitura (Belle et al., 2012), sul comportamento degli animali, sulla riduzione del residuo in mangiatoia, sulla gestione della cernita operata dagli animali, sugli adattamenti alle condizioni stagionali, sulla progettazione degli spazi, sull'utilizzo di energia autoprodotta, ecc., ma anche possibili effetti negativi come la possibile alterazione tra tempo di riposo e tempo di attività degli animali, l'innesco di possibili fenomeni fermentativi a carico dei foraggi depositati nei silos temporanei durante il periodo estivo oppure in Paesi dal clima caldo, la scarsa flessibilità giornaliera nelle frequenze distributive, rischiando di lasciare la mangiatoia vuota, ecc.

Data la loro recente introduzione in stalle commerciali e la scarsità di informazioni ed esperienze, si è pertanto condotta un'indagine in Olanda - uno dei Paesi europei a maggior diffusione dell'automazione negli allevamenti da latte - con l'obiettivo di conoscere direttamente i pareri degli allevatori che hanno deciso di investire in questa tecnologia.

3.1 L'applicazione di sistemi automatici per l'unifeed in un sistema zootecnico-foraggero

Si è optato di studiare il sistema zootecnico-foraggero olandese in quanto molto recettivo nei confronti dell'automazione in stalla (ad es.: annovera più di 2000 allevamenti dotati di robot di mungitura ed è il paese europeo che utilizza maggiormente questa tecnologia).

Inoltre, nel 2004 in Olanda è stato introdotto il primo sistema automatico per l'unifeed in un allevamento commerciale, seguito da circa altri 50 stimati nel 2010. In più, tre costruttori di sistemi automatici per l'unifeed (circa il 18% a livello mondiale) sono olandesi ed uno di essi ha lanciato, l'anno scorso, un sistema basato su modalità a navigazione sensorizzata (Fig. 13).



Fig. 13 – Il più recente sistema per la preparazione e distribuzione automatica di unifeed si basa su una modalità di navigazione sensorizzata.

Infine, gli allevatori olandesi, secondo una recente indagine (EDF, 2010), sembrano avere aspettative positive per il futuro della loro attività come dimostrerebbe l'intenzione ad aumentare la dimensione della mandria del 5% o più nei prossimi tre anni e ad investire in tecnologia, entro l'anno, più di 2000 €/capo.

E' pertanto stata condotta un'indagine che ha coinvolto 22 allevamenti olandesi di bovine da latte (Fig. 14). Le aziende sono state individuate in collaborazione con i costruttori sia di sistemi automatici di mungitura (AM) che per l'unifeed (AF). I principali criteri di scelta sono stati che l'intero gruppo di 22 aziende mungesse gli animali mediante robot e che lo stesso modello di robot per l'unifeed fosse presente in almeno due aziende. I 22 allevamenti individuati sono stati suddivisi in due gruppi dove il primo, costituito da 12 stalle, utilizzava sistemi automatici per l'unifeed (allevamenti AF), mentre il secondo gruppo, costituito da 10 stalle, utilizzava sistemi convenzionali per l'unifeed (allevamenti CF) rappresentati da carri miscelatori.

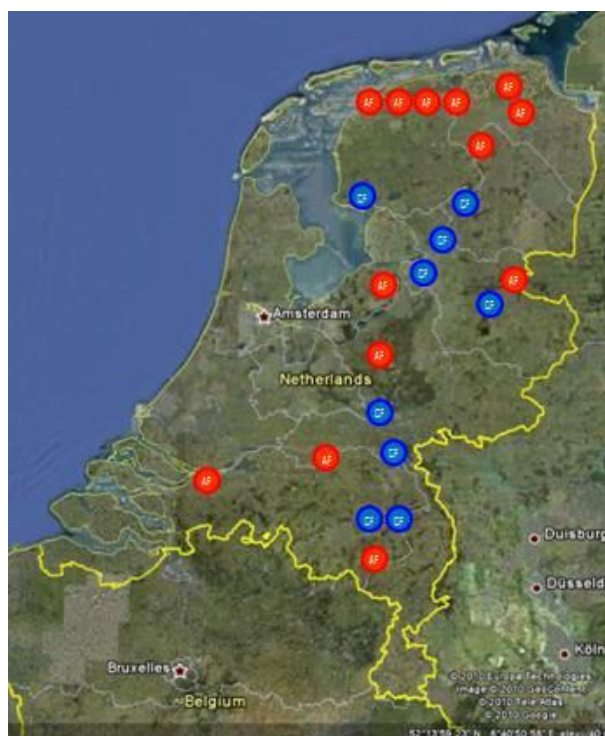


Fig. 14 – Distribuzione delle aziende indagate, tutte dotate di robot di mungitura (CF = con carro miscelatore; AF = con sistema automatico per l'unifeed)

Obiettivo dell'indagine era di conoscere le caratteristiche aziendali e le modalità di razionamento con sistemi meccanici convenzionali e automatici.

3.1.1 Le caratteristiche aziendali

I due gruppi di aziende sono risultati molto simili sotto il profilo dei piani colturali dove prato stabile, mais e altre foraggere minori hanno rappresentato le principali colture. Differenze sensibili, invece, si sono riscontrate nella dimensione media aziendale dove gli allevamenti con sistemi automatici per l'unifeed hanno fatto registrare una superficie totale media di 85 ha contro i 55 di quelli convenzionali. Una possibile spiegazione è da ricercare nel fatto che molte delle aziende altamente automatizzate erano di nuova costruzione e, pertanto, con investimenti non solo in tecnologia avanzata, ma anche in strutture, prevedendo futuri sviluppi positivi. Anche per quanto riguarda la mandria, il numero medio di vacche in lattazione è risultato del tutto simile tra i due gruppi di aziende (88,9 capi nelle aziende con AF e 88,2 nelle CF) con un analogo numero di capi munto per singolo robot di mungitura (41,6 capi/box nelle stalle con sistemi automatici per l'unifeed e 42,4 per quelle con carro miscelatore).

3.1.2 Le caratteristiche edilizie

Tutte le stalle che utilizzavano carri miscelatori avevano più di 5 anni, mentre il 45% di quelle con sistemi automatici sono state considerate nuove avendo meno di 5 anni (in alcuni casi meno di 1 anno). Fra tutte le 22 stalle osservate, il 70% prevedeva l'accesso libero sia ai box di mungitura, senza aree di attesa, sia ai distributori automatici di concentrati che alla mangiatoia. Solo due stalle (una per gruppo) disponeva di un sistema di traffico semiforzato delle vacche che prevede, grazie a cancelli selezionatori, l'accesso prioritario degli animali alla mangiatoia (Feed-First™).

Anche la zona di alimentazione ha evidenziato interessanti differenze costruttive tra i due gruppi di aziende. Infatti, nonostante si sia riscontrato, in media, un rapporto analogo tra capi presenti e posti in mangiatoia (1,0 nelle stalle con sistemi automatici e 0,9 dove si usano carri miscelatori), l'80% delle stalle convenzionali aveva un rapporto capi/posto in mangiatoia <1 contro il 64% registrato nelle stalle con sistemi AF; ciò si spiega con il fatto che chi progetta una stalla nuova dotata di elevata automazione conta sul fatto che l'elevata frequenza di distribuzione dell'unifeed non determini la contemporanea presenza di tutti gli animali in mangiatoia, cosa che, invece, si realizza utilizzando il carro miscelatore 1 o 2 volte al giorno; in quest'ultimo caso, infatti, il semplice transito del carro miscelatore, richiama praticamente tutti gli animali in mangiatoia.

Anche la corsia di foraggiamento ha mostrato grandi differenze tra i due gruppi di aziende. Infatti, nelle stalle che fanno ricorso a carri miscelatori la corsia di foraggiamento ha fatto registrare una larghezza media di 5,4 m contro valori praticamente dimezzati nel caso del transito dei piccoli vagoni sospesi (2,7 m). Queste dimensioni si sono riscontrate, ovviamente, nelle stalle di nuova progettazione, ma anche in quelle vecchie ma che sono state ristrutturate per accogliere un sistema automatizzato per l'unifeed dove, in alcuni casi, la corsia di foraggiamento è stata ristretta per far posto ad una nuova fila di cuccette. A fronte di questo risparmio di spazio, i sistemi automatizzati per l'unifeed richiedono, tuttavia, uno spazio coperto supplementare di 45 - 110 m² (a seconda del sistema) per alloggiare i miscelatori a punto fisso oppure i sili temporanei meccanizzati per i singoli ingredienti.

3.1.3 L'allevamento e la suddivisione dei gruppi produttivi

In tutte le stalle, la razza maggiormente rappresentativa (85% delle vacche in lattazione) era la Holstein Friesian con percentuali minori di Red Holstein ed una razza locale a duplice attitudine (Mosa-Reno-Yssel, MRY). Interessante il dato produttivo (anche se non si è potuto dimostrare che, allo stato attuale, esso derivi dalle modalità automatiche di alimentazione unifeed ad elevata frequenza di distribuzione) che, nelle stalle completamente automatizzate, si è attestato in media a 8.900 kg di latte/capo/anno mentre in quelle parzialmente automatizzate era di 8.705 kg/capo/anno. I picchi produttivi (≥ 10.000 kg/capo/anno) sono stati registrati nel 20% delle stalle con sistemi unifeed automatici e nel 10% di quelle con carro miscelatore convenzionale.

3.1.4 Le modalità di razionamento

I due gruppi di aziende adottavano lo stesso approccio per quanto riguarda la composizione della razione, ma strategie di distribuzione molto diverse. Infatti, la maggior parte (56%) delle 22 aziende osservate forniva una sola razione alle vacche in lattazione raggruppate in un unico gruppo; tuttavia, il gruppo unico era più frequente nelle aziende con sistemi automatici per l'unifeed (67%) in confronto alle aziende che usavano carri miscelatori (40%); solo il 13% delle 22 aziende formava 3 gruppi ma, in questo caso, erano più numerose le aziende ad elevata automazione (17% vs. 10%). Relativamente alle razioni, abbiamo riscontrato, in totale, 7 differenti tipi di foraggi e 6 tipi di concentrati, anche se le razioni unifeed erano composte da un numero inferiore di ingredienti oscillanti da 2 a 5 per i foraggi (l'insilato d'erba era il più importante nel maggior parte dei casi) e da 1 a 3 per i concentrati. I quantitativi di razione distribuiti erano simili per i due gruppi di aziende con 42,6 kg/capo di tal quale (t.q.) nelle aziende con sistemi AF e 42,2 kg/capo in quelle con carri miscelatori (CF). Le prime distribuivano la razione automaticamente a frequenze e intervalli programmati, mentre quelle con carri miscelatori distribuivano la razione da 1 a 4 volte/giorno (in media $1,4 \pm 1$ distribuzione/giorno) con un numero variabile di riavvicinamenti dell'unifeed alla mangiatoia da 1 a 5 volte/giorno (in media $3,5 \pm 1,6$ riavvicinamenti/giorno). I sistemi automatici, invece, distribuivano l'unifeed da 5 a 11 volte/giorno (in media $7,8 \pm 2$ distribuzioni/giorno) mentre i riavvicinamenti venivano effettuati dallo stesso vagone durante la distribuzione.

In media, pertanto, i sistemi automatici per l'unifeed hanno distribuito frazioni della razione giornaliera ogni 3 ore. Tuttavia, nella pratica, la maggior parte delle aziende ad alta automazione ha osservato una pausa notturna di 5 ore tra le 23:00 e le 04:00 del giorno successivo.

Infine, è risultato molto interessante quanto riportato dagli allevatori che utilizzano i sistemi automatici per l'unifeed i quali riferiscono che, in media, il residuo rimasto in mangiatoia dopo 24 ore è pari all'1,5% del quantitativo giornalmente distribuito contro il 3,2% del residuo riscontrato dagli utilizzatori dei carri miscelatori.

3.1.5 La meccanizzazione e la manodopera

La differenza più evidente tra i due gruppi di aziende osservate riguardava, ovviamente, il sistema meccanico di alimentazione. Quattro costruttori di sistemi automatici per l'unifeed hanno costituito il campione studiato. Tutte le soluzioni proposte si basavano su vagoni di piccolo volume; alcuni erano semplici distributori di unifeed preparato separatamente in trinciamiscelatori elettrici a punto fisso, altri, invece, erano veri e propri miscelatori mobili. Tutti i costruttori proponevano vagoni sospesi su rotaia sopraelevata con volumi oscillanti tra 3 e 4 m³. L'azionamento era sempre elettrico (sia con batterie a bordo, sia con linee dedicate a basso voltaggio) e distribuivano giornalmente 13,7 m³ di unifeed corrispondenti ad una capacità di alimentazione media dei sistemi automatici pari a 6,1 capi/m³.

Per quanto riguarda le aziende che abbiamo considerato "convenzionali", l'80% di esse utilizzava carri miscelatori trainati o semoventi. Solo il 20% utilizzava carri foraggeri o desilatori a blocchi in quanto eseguivano un razionamento basato su singoli ingredienti messi a disposizione ad libitum; si sono ugualmente considerate anche queste aziende in quanto rappresentano una realtà ancora presente in Olanda. I carri miscelatori utilizzati avevano una capacità del cassone oscillante tra 8 e 20 m³ (a seconda della dimensione del gruppo) con una capacità media di alimentazione pari a 6,3 capi/m³. Tutti i carri miscelatori analizzati avevano un sistema di trincia miscelazione a 1 o 2 coclee verticali.

Come era possibile aspettarsi, la principale ragione che ha spinto gli allevatori intervistati ad investire in un sistema automatico per l'unifeed è stata quella di migliorare l'efficienza del lavoro (Fig. 15); tuttavia, un miglior uso dello spazio ed una sinergia tra il sistema automatico di mungitura e il sistema automatico per l'unifeed – in particolare per favorire le visite delle bovine ad entrambi – hanno totalizzato ciascuno il 19% delle risposte, dimostrando un interesse a sfruttare la possibile, ma non ancora dimostrata, cooperazione tra sistemi automatici. Un 15%, inoltre, auspica di poter raggiungere una miglior efficienza di alimentazione - intesa sia come "poter offrire diverse razioni" sia come "alimentare con più precisione" - dimostrando l'interesse ad una miglior gestione degli alimenti zootecnici.

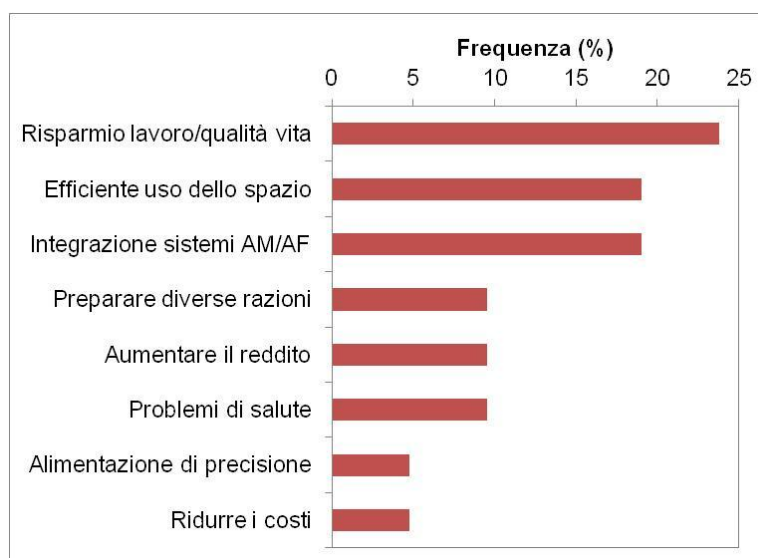


Fig. 15 – Le principali ragioni che hanno spinto all'acquisto di un sistema automatico per l'unifeed.

Per quanto riguarda le richieste di manodopera, i sistemi automatici richiedono un modesto incremento di tempo (2,2 s/capo/giorno) rispetto ai carri miscelatori per verificare o tarare la razione dovuto ad una diversa interfaccia uomo/macchina che richiede, in alcuni casi, più attenzione o, in altri, un numero maggiore di interventi giornalieri di controllo.

Il tempo per preparare la razione, invece, risulta ridotto di quasi il 51% con i sistemi automatici in quanto il lavoro dell'operatore è limitato al riempimento dei miscelatori stazionari o dei sili temporanei. Inoltre, tutti gli allevatori hanno evidenziato che il risparmio di tempo osservato in questa fase non è l'unico vantaggio ottenibile in quanto viene valutato molto positivamente anche il fatto che tale operazione sia svincolata dall'orario e può essere eseguita in modo flessibile, quando vi è disponibilità di tempo, nel corso della giornata. In alcuni casi si è registrato che il riempimento dei sili temporanei veniva eseguito ogni 2 o 3 giorni, anche se solo durante il periodo invernale. In definitiva tra le stalle indagate quelle con sistemi automatici per l'unifeed hanno mostrato tempi per il razionamento dimezzati rispetto a quelle che utilizzano i carri miscelatori. Non vi sono, invece, sostanziali differenze nel tempo dedicato ai software di gestione dell'allevamento, molto utilizzati in Olanda, che consentono di registrare i principali dati aziendali al fine di fornire un supporto all'allevatore nella valutazione delle performance e nelle eventuali decisioni correttive o migliorative.

Di seguito si riportano i risultati più dettagliati dell'indagine, presentati al Convegno della Società Europea di Ingegneria Agraria e dei Biosistemi, AgEng 2012, a Valencia, Spagna.

Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in The Netherlands

Carlo Bisaglia^{1*}, Zacharie Belle², Gijsbert van den Berg^{2,3}, Johanna C.A.M. Pompe²

¹CRA-ING, Laboratory of Treviglio, via Milano 43, 24047Treviglio (BG), Italy

²Wageningen University, Farm Technology Group, Droevendaalsesteeg 1, 6708 PD Wageningen, The Netherlands

³CAH Dronten University of Applied Sciences, De Drieslag 1, 8251 JZ Dronten, The Netherlands

*Corresponding author. E-mail: carlo.bisaglia@entecra.it

In: Proceedings of International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng 2012 “Agriculture & Engineering for a Healthier Life”, 8-12 July, Valencia (Spain). ISBN: 84-615-9928-4; 978-84-615-9928-8.

Abstract

Automatic feeding (AF) systems for totally or partially mixed rations (TMR or PMR) are expected to reduce labour demand and stimulate cows' activity promoting visits to both the feeding devices and the automatic milking (AM) system. AF's have recently been introduced in commercial dairy farms and little experience is available. Objective of this paper was to identify differences in the lay-out of the barns and operation of the feeding systems between early adopters of automatic feeding systems (AF) as compared to farmers with conventional feeding systems (CF). We surveyed 22 dairy farms in the Netherlands that were all using automatic milking systems. 54.5% of these farms fed their milking cows with an AF system while 45.5% used a conventional feeding system. The herd sizes were similar for the two groups of AF and CF farms as were the milk production while the number of cow groups was higher in the AF farms. The feeding alleys in the AF farms were narrower (2.7 m) compared to those in the CF ones (5.3 m), while the average number of cows per feeding place was similar (1.0 for the AF farms compared with 0.9 for the CF). The most striking differences were related to the feeding distribution pattern, the feeding frequency and the feeding intervals. 80% of the farms with CF distributed the feed once per day while the number of feed push ups for those farms was 3.5 ± 1.6 times day⁻¹. The AF farms distributed the feed 7.8 ± 2.0 times day⁻¹ with intervals between feedings of 3.1 ± 0.9 hours and with automatic push ups of the feed. The farmers who fed with automatic feeding systems were positive about their overall performance, especially about the management aspects. The query revealed a decrease in labour requirement for feeding from 33.2 s cow⁻¹ day⁻¹ with CF to 16.4 s cow⁻¹ day⁻¹ with AF.

Keyword: dairy, barn design, feeding, milking, automation.

1. Introduction

Increasing labour cost and herd sizes have led to significant interest in the use of automation. In dairies, automatic milking (AM) systems have been available commercially since the beginning of the 90s and have gained a large popularity across the developed countries (de Koning, 2010). Most recently, the concept of precision dairy farm has been introduced thanks to the availability of sensor-based management tools that define animal needs, and robotic equipment that automatically delivers individual cow management applications (Bewley, 2010). However, automation of feeding dairy cows has been limited to the delivery of some components of the ration such as concentrates or forages.

Since the beginning of 2000, automatic feeding (AF) systems for total or partial mixed rations (TMR or PMR) have been developed (Hollander *et al.*, 2005), but commercial farms have only shown interest in the technology since the last 5-6 years. The primary difference between conventional feeding (CF) systems for TMR or PMR and AF systems is that with AF the farmer is not directly involved in feed preparation and delivery, and the feed delivery is programmable, which makes it easy to increase the feeding frequency.

Few studies have investigated this technology; most report the possibility of reducing human labour or making the work schedule more flexible. Pompe *et al.* (2007) and Belle *et al.*, (2012)

investigated the effects of the combination of AM and AF systems on cow behaviour. No information was found on typical characteristics of AF systems and barn lay-out as applied by practicing farms.

The Netherlands - with more than 2000 AM farms - is the country with the largest number of AM farms in north-western Europe (de Koning, 2010). The first AF systems were introduced in 2004 and the installation of this technology was adopted by about 50 farms in 2010 (A. de Leeuw, DeLaval, Steenwijk, The Netherlands; personal communication, 2010). According to a recent survey (Bisaglia *et al.*, 2010) three manufactures of AF systems (about 18% of the overall worldwide) are established in the Netherlands and Dutch farmers expect to grow in herd size (more than 5% in the coming five years) and farm investments (more than 2000 € cow⁻¹ within the next 12 months) (Lassen *et al.*, 2010). These conditions provided a sound base for the objective of our study: to identify changes in the features of barn lay-out and feeding systems by early adopters of automatic feeding systems as compared to farmers with conventional feeding systems in the Netherlands.

2. Materials and methods

To identify these features we conducted a survey between December 2009 and February 2010 involving 22 Dutch dairy farms. The farms were identified with the cooperation of the manufacturers of both AM and AF systems; main criteria were that the whole group of farms had to milk cows automatically and that any of the AF systems had to be applied by at least two farms. The farms were divided into two groups where the first one (n=12) utilized automatic feeding systems (the AFS farms), while the second group (n=10) had AM systems and conventional feeding systems (the CFS farms). The survey was conducted in-person to each farm by means of a questionnaire. During the interviews, which lasted about 2 h, the following information was obtained: *i*) farm characteristics, *ii*) feeding systems, *iii*) feeding strategies, *iv*) barn lay-out and *v*) management and economic aspects. After the interview we observed the feeding systems in operation during one distribution of the ration in order to classify the technology following a method proposed by Bisaglia *et al.* (2010) for the AF systems and by Kammel (1998) for the CF systems.

3. Results

3.1. Farm characteristics

The farm characteristics of the CFS and AFS farms with respect to the cultivation plan and herd size were found to be similar, but the crop area showed differences. Grass, maize and other forage crops represented, in this order, the main crops and were similar for the two groups of farms (respectively 77, 20 and 3% of the useable agricultural area for the AFS farms and 73, 22 and 5% for the CFS farms). The average crop area was 84.4 ha for the AFS farms and 55.0 ha for the other ones. The average number of dairy cows was 88.9 lactating cows in the AFS farms and 88.2 in the CFS ones, while the cow/AM-stall ratio was 41.6 for the AFS farms and 42.4 for the CFS ones. The breed at 85% of all participating farms was Holstein Friesian; farms with automatic feeding systems produced 8900 kg cow⁻¹ year⁻¹ compared to the partially automated farms that produced 8705 kg cow⁻¹ year⁻¹. Top milk yields (10.000 kg cow⁻¹ year⁻¹) were found in 17% of the AFS farms and in the 10% of the CFA ones.

3.2. Feeding systems

The most striking differences in the two surveyed groups were related to the feeding systems. Four manufacturers of AF devices were included in the study. Their entire systems featured rail suspended feeders or mixer-feeder wagons, electric powered, with nominal volume ranging from 3.0 to 4.0 m³ (av. 3.2 m³) that were filled, on average, at 55% of their capacity. They delivered feed with an average frequency of 7.8 times per day (see below), so that they prepared 13.7 m³ of feed daily. This corresponds to a ratio of 6.1 cows fed per cubic metre.

The AF systems comprised either stationary mixers or mechanic temporary storages for roughages and concentrates. These mixers or storages must be sheltered to prevent spoilage of the feedstuffs. The farmers loaded them with the various feedstuffs.

80% of the CFS farms delivered a TMR or PMR by mixer-feeder wagons (MFWs). The remaining 20% of these farms offered single ration components by means of a self-loading wagon, a block cutter or a front loader mounted on a tractor. The nominal volume of the MFWs ranged from 8 to 20 m³ (average 14 m³) - following the herd size and the feeding frequency - which corresponds to a

ratio of 6.3 cows per cubic meter fed. All MFWs in the study featured a vertical auger mixing system with 1 or 2 augers. Table 1 summarizes the main features of the feeding systems at the AFS and CFS farms in the study.

Table 1: Summary of the average feeding mechanization features for AFS and CFS farms

Parameter	Feeding system	
	AFS	CFS
Capacity of feeder wagon (m ³)	3.2	14.0
Feeding frequency (No. day ⁻¹)	7.8	1.4
Feeding ratio (cow m ⁻³)	6.1	6.3

3.3. Feeding strategies

The two groups of farms adopted the same approach with respect to the ration composition but very different feeding strategies. The majority of the farms (56% of the whole group of 22 farms) provided only one ration to the lactating cows grouped in one group; the single group arrangement was more frequent in the AFS farms (67%) compared to the CFS ones (40%); only 13% of the surveyed farms formed 3 groups but, in this case, the higher frequency was recorded for the AFS group (17% vs. 10%). We recorded 7 different types of roughages and 6 different types of concentrates but the ones used for ration composition ranged from 2 to 5 for the roughages (the grass silage was the most important in the majority of the rations) and from 1 to 3 for the concentrates. The AF systems and the CF systems showed a comparable feeding capacity as the average daily quantity offered per cow as TMR or PMR (considering the single group or the high-yielding group rations) resulted in 42.6 kg cow⁻¹ (wet basis, w.b.) with the AFS farms and 42.2 kg cow⁻¹ with the CFS ones.

The AFS farms distributed the ration automatically at programmed frequencies and intervals. The CFS farms performed 1-4 daily distributions (average 1.4±1 distribution day⁻¹) with a variable number of push ups (range 1-5, av. 3.5±1.6 times day⁻¹), while the AFS farms distributed the feed an average of 7.8±2 times daily with a range of a minimum of 5 to a maximum of 11 distribution day⁻¹ (Fig.1).

The average of 3h feeding intervals was recorded in the AFS farms with deliveries during the day and throughout the night. However, an increase in feeding interval was observed between 2300 and 0400h. All farmers fed following the recommendations of their feed consultants. The leftover on the feed bunk estimated by the farmers resulted, on average, of 1.5% of the daily feed quantity offered in the AFS farms against 3.2% in the CFS ones.

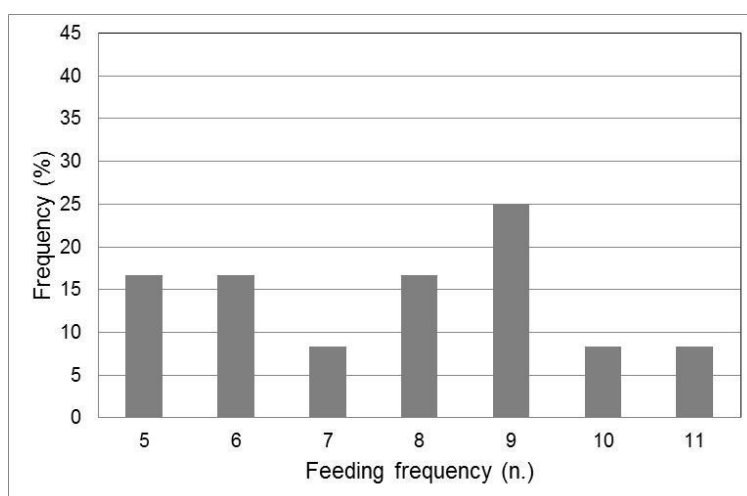


Figure 1: Feeding frequency in AFS farms

3.4. Barn lay-out

All CFS barns were older than 5 years, while in half of the cases the AFS barns were considered new (less than 5 years old). In both the groups of farms, most of the barns (70%) had a free access to the AM systems without a waiting area in front of the milking stalls; 67% of the AFS farms and 60% of the CFS ones applied automatic dispensers for concentrate which, in most of the cases, were placed alongside the cross alleys. The preferred barn layout observed in the surveyed farms allowed free cow traffic with unrestricted access to the concentrate dispensers, milking stalls and feeding area. Only one example of semi-free cow traffic (Feed-First™) – that gives priority of access to the feed bunk by means of selection gates – was denoted per group of farm.

The feeding area showed the greatest differences between the two groups despite the similar ratio of cows per feeding place found (1.0 for the AFS farms and 0.9 for the CFS). For this parameter, 80% of the CFS barns has shown a number of cow ratio each feeding place smaller than one against the 64% recorded for the AFS according with the common feeding strategy in use at the surveyed CFS farms with the delivery of the ration once or twice per day and, consequently, the contemporary presence of quite the entire herd at the feeding bunk. On the other hand, the higher incidence of cow/feeding place ratio greater than one in the AFS barns was attributed to the higher delivery frequency of the ration with the consequence that not all the cows have to be contemporary present at the manger.

The alley size has shown strong differences between the two groups of farms. The feeding alley width in the AFS barns was about half of that measured in the CFS ones averaging 2715 ± 650 mm against 5353 ± 420 mm. The AFS barns comprised a supplementary covered room ranging from 45 to 110 m^2 to accommodate the stationary mixer or the temporary feed storages. All of the farms of the study milked automatically and none of the barns comprised a waiting area in front of the AM stalls.

3.5. Management and economic aspects

As expected, the most frequent reason to install an AFS was the need for improving labour efficacy (24%), but the efficient use of the building room and the better cooperation between AM and AF systems – with particular concern to stimulating cows' activity and cows' visits to both the milking stall and the feeding bunk – scored the same 19% frequency in the farmers answers. 15% of the farmers mentioned a better feeding efficiency (as the sum of “offer different rations” and “feed precisely” frequencies) indicating the interest to improve the feedstuffs management.

The answers related to the labour demand are summarized in Fig. 2. They showed, an increase in the time to verify and adjust the ration in all AFS farms in comparison with the CFS ones, due to the man/machine interface that need more attention and due to the increase in interventions to manage the feeding system. This resulted in an extra time of $2.2 \text{ s cow}^{-1} \text{ day}^{-1}$.

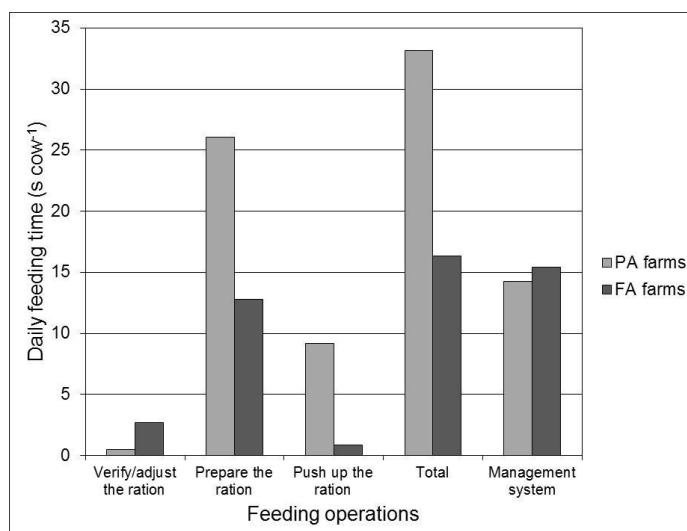


Figure 2: Labour requirements for feeding and manage the rations in CFS and AFS farms.

Time to prepare the ration was reduced of 50,9% in the AFS farms and limited to the filling operations of the temporary storages. Following the impressions of the farmers, the time saving for this phase is not the only advantage of the AF systems; they also value the fact that this operation can be carried out when time is available during the day, so that it becomes a very flexible task. The filling of the temporary storages was performed every two or three days, even if only during winter. The total working time for feeding cows was halved in the AFS farms compared to the CFS ones. The daily time required for the use of the management system differed of approximately 1 s cow⁻¹ between the two groups of farms ranging from 14.3 s cow⁻¹ in the CFS farms to 15.4 s cow⁻¹ in the AFS ones.

The investment for the feeding machinery depended - for the CFS farms - on the MFWs volume and type (trailed or self-propelled) and were found to amount to an average of 400 € cow⁻¹ (160-600 € cow⁻¹ range). For the AFS farms the investment varied with the complexity of the design and the level of building works: an average of 1230 € cow⁻¹ (850-1650 € cow⁻¹ range), was found.

4. Discussion and conclusion

The features of the surveyed farms with regard to herd size, breed, crop repartition, robotic milking system and feed approach were similar. Farmers with AFS pursued strategies of integrating milking and feeding technologies with the main goals to reduce labour demand, improve barn design, increase feed efficiency and milk production and stimulate cow activity. The AFS farmers in this study supported the suggestion that automatic feeding reduces labour demand for feeding. They increased the frequency of feed distribution with low-volume, rail suspended, electric-powered feeder wagons. The width of the feeding alleys in the AFS barns was smaller, but additional sheltered space is necessary to cover the mechanic temporary storages.

Only a few of the AFS farmers exploited the potential of AF systems to feed their cows in groups and better tune the rations to the feed demands of the animals. The AFS farmers claimed lower feed left overs as a result of the high feed delivery frequency (every 3.1h, on average), but conclusive support of these claims requires more extensive research. The average investment costs per cow for the feeding systems at the AFS farms were more than three times greater than those at the CFS farms.

Acknowledgements

This project was funded by an international internship program promoted by the Agriculture Research Council (IT) and by Wageningen University, Farm Technology Group (NL). The work would not have been possible without the cooperation of the dairy farmers and the manufacturers of the feeding and milking systems. We greatly appreciate the hospitality of the farmers and their families.

References

- Belle, Z., André, G., Pompe, J.C.A.M. (2012). Effect of automatic feeding of total mixed rations on the diurnal visiting pattern of dairy cows to an automatic milking system. *Biosystems Engineering* (111) 1, 33-39.
- Bewley, J. (2010). Precision dairy farming: advanced analysis solutions for future profitability. 1st North American Conf. on Precision Dairy Management, 2-5 March, Toronto, Canada.
- Bisaglia, C., Nydegger, F., Grothmann, A., Pompe, J.C.A.M. (2010). Automatic and frequency-programmable systems for feeding TMR: state of the art and available technologies. XVII World Congress of the CIGR, 13-17 June, Québec City, Canada.
- de Koning, C.J.A.M. (2010). Automatic milking - Common practice on dairy farms. Proc. of the 1st North American Conf. on Precision Dairy Management, 2-5 March, Toronto, Canada.
- Hollander, C.J., Blanken, K., Gotink, A., van Duinkerken, G., Dijk, G., Lensinck, F., de Koning, C.J.A.M. (2005). Voersystemen in de melkveehouderij [Feeding systems in dairy]. *PraktijkRapport Rundvee* 73. ISSN 1570 – 8616.
- Kammel, D.W. (1998). Design, selection and use of TMR mixers. In: Proc. of Tri-State Conference, 21-22 April, Grand Wayne Centre, Indiana, USA, 122-129.
- Lassen, B., Garrido, C.L., Oskarsson, M. (2010). EDF-agri benchmark snapshot 2010. Proc. of EDF Conf. "Dairy Farming under Mediterranean Conditions", 23-25 June, Saluzzo, Italy.
- 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, Cox, S. (Ed.), *Precision Livestock Farming '07*, Wageningen Academic Publishers, Skiathos, Greece, 45-51.

CAPITOLO 4. ANALISI FUNZIONALE

L'alimentazione zootecnica può essere considerata, attualmente, una delle variabili che maggiormente influisce sull'andamento delle produzioni, sulla salute degli animali, sulla convenienza economica e sulle ricadute ambientali di un allevamento moderno (Barmore, 2002).

Il costo di autoproduzione e/o di acquisto degli alimenti zootecnici può essere stimato oscillare, attualmente, tra circa 1.300 e 1.700 € vacca⁻¹ per anno in funzione delle produzioni individuali e delle fluttuazioni del mercato.

Inoltre, le richieste di manodopera per l'alimentazione degli animali con tecnologie convenzionali può essere stimato in circa il 25% dell'orario di lavoro giornaliero (dato medio).

Infine, l'integrazione di strutture e i costi degli interventi edilizi, stimabili in circa 300 € m⁻² (A. de Leeuw, DeLaval, Steenwijk, The Netherlands; comunicazione personale, 2010), suggeriscono di ridurre l'incidenza di aree sottoutilizzate come, ad esempio, le corsie di alimentazione eccessivamente larghe o le sale di attesa molto ampie. Tutti questi fattori rappresentano importanti elementi di decisione circa il sistema di alimentazione da adottare considerando, in particolare: *i*) le richieste di lavoro per fornire elementi nutritivi agli animali, *ii*) l'integrazione con altre strutture (p.e. sistemi di alimentazione e mungitura robotizzati) e *iii*) la capacità degli animali di convertire i nutrienti in produzioni commerciabili. Quest'ultimo concetto è ben espresso dalla definizione di efficienza degli alimenti (EA), parametro proposto dal National Research Council (NRC, 2001) che, in caso di vacche da latte, indica non solo le unità di latte prodotte per unità di sostanza secca (s.s.) di alimento consumato, ma ha anche preso in considerazione richieste multiple da considerare contemporaneamente come, per esempio, l'influenza dello stadio di lattazione, lo stato riproduttivo, la crescita (cfr. il caso delle manze), il BCS, ecc. (Linn *et al.*, 2004).

Quindi, un corretto approccio all'alimentazione zootecnica deve essere focalizzato nella riduzione delle variabili involontarie e nell'incremento delle possibilità di gestione.

L'automazione può rappresentare, attualmente, un'opzione fattibile e ci si aspetta che essa possa portare, nell'immediato futuro, i vantaggi produttivi che nel recente passato hanno portato la meccanizzazione e l'aumento delle dimensioni aziendali.

I sistemi automatici di mungitura sono già molto diffusi, mentre i sistemi automatici per l'unifeed stanno crescendo rapidamente di importanza al punto che ci si deve aspettare una più stretta integrazione tra questi due automatismi.

Quando si considera un sistema automatico per l'unifeed in allevamenti bovini da latte, si devono considerare diversi aspetti tra loro interconnessi e raffigurati nello schemi di Fig. 16:

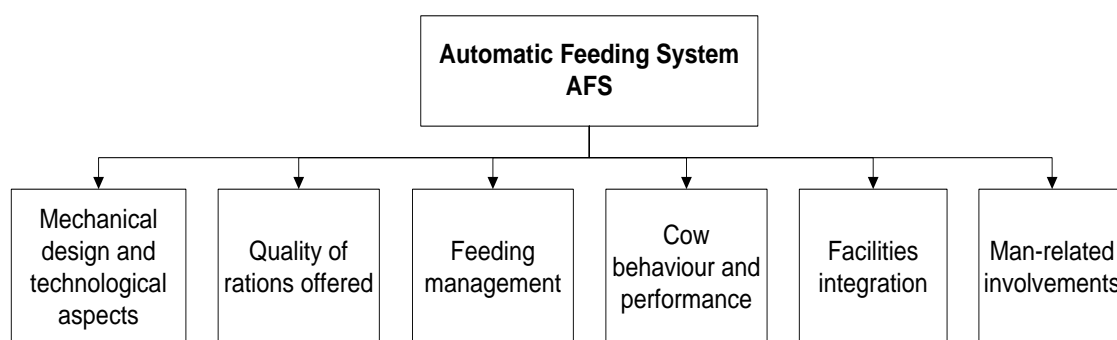


Fig. 16 - Diversi aspetti coinvolti nell'inserimento di un sistema automatico per l'unifeed in un allevamento bovino da latte (Bisaglia *et al.*, 2010).

Quanto evidenziato è ancora oggetto di ricerche ed i soli risultati disponibili riguardano principalmente gli aspetti correlati alla gestione. La ricerca effettuata, invece, ha lo scopo di fornire un contributo nuovo considerando l'influenza che le varie tipologie progettuali illustrate nel capitolo precedente possono avere sulla qualità delle razioni unifeed preparate.

Infatti, il primo aspetto che deve essere considerato riguarda la capacità di un sistema tecnologico di produrre razioni bilanciate e il più coerenti possibili con quella progettata dal nutrizionista nell'ottica di soddisfare le esigenze degli animali partendo da un'ampia variabilità di ingredienti sia come qualità che forma fisica.

Pertanto, l'analisi dell'uniformità di miscelazione rappresenta un'indagine fondamentale, in particolare con dispositivi caratterizzati da elevata frequenza di distribuzione e, quindi, con la necessità di dimostrare di essere in grado di adottare un'accettabile uniformità sia a livello di singola miscelata sia tra le n. miscelate realizzate nel corso delle 24 ore, sia tra le miscelate realizzate in più gironi, perlomeno fino a quando non intervengano delle modifiche volute dall'allevatore.

Il monitoraggio della qualità dell'unifeed è essenziale per valutare la qualità del lavoro delle macchine nel rispettare le specifiche richieste nutrizionali.

I seguenti aspetti sono già stati sviluppati dalla ricerca internazionale: i parametri chimici per diete bilanciate sono stati messi a punto dal NRC (2001). Esistono metodiche rapide per monitorare i carri miscelatori basate sulla spettroscopia NIR (Mentink *et al.*, 2006) anche con sistemi portatili (Martens and Berzaghi, 2006). Inoltre, specifici requisiti per i ruminanti, in particolare le vacche da latte, tengono conto della quantità e qualità della fibra (NDF) strutturata (NRC, 2001). Una metodica semplificata per determinare la distribuzione delle particelle di unifeed è stata sviluppata dalla Pennsylvania State University (Heinrichs *et al.*, 1999) basata su setacci di diverso diametro. Molte ricerche hanno avuto l'obiettivo di valutare la relazione tra qualità della miscelata e presenza di scarti in mangiatoia dovuti alla selezione operata dagli animali. Questi studi sono stati condotti considerando l'uso di carri miscelatori convenzionali con una, massimo due distribuzioni al giorno. Scarse informazioni sono disponibili sulla distribuzione automatizzata di unifeed con frequenze tra 6 e 10 distribuzioni giornaliere seguendo diverse strategie (intervalli uguali durante le 24h, variazioni diurne/notturne, variazioni stagionali, combinazioni tra le precedenti) in modo da ridurre il potenziale selettivo degli animali sugli ingredienti meno graditi.

Scopo della prova era di prendere in considerazione il modo di operare di un robot per l'unifeed investigando sulla qualità della miscelazione, sulla selezione operata dagli animali e sul comportamento degli stessi sottoposti ad un'elevata frequenza di distribuzione di razione fresca.

L'automazione completa delle principali operazioni può portare ad una riduzione del controllo dell'allevatore sui fattori di variazione quotidiani (ad esempio le caratteristiche fisiche dei foraggi, la quantità di residui nel miscelatore o in mangiatoia, ecc.) in quanto viene adottato un protocollo di lavoro standardizzato.

Pertanto, è sembrata necessaria un'indagine sulla qualità del lavoro robotizzato data anche la recente introduzione dei dispositivi deputati e la limitata esperienza accumulata; questo anche per fornire elementi di regolazione fine della tecnologia.

Obiettivi specifici erano:

- la valutazione del livello di uniformità della miscelazione;
- la valutazione dell'uniformità di distribuzione delle particelle fisiche della razione;
- la valutazione della quantità di residui lasciati quotidianamente in mangiatoia.

Ulteriori obiettivi sono stati:

- la valutazione delle richieste di manodopera;
- la valutazione degli aspetti economici.

Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto in un allevamento commerciale da latte (mts Zeinstra, Stiens, The Netherlands, 53°15' 50.00" N; 5°48'53.00" E, -2 m s.l.m.) di 0,7 anni di età, durante i mesi di marzo e aprile 2010. La stalla era orientata E-O e progettata per l'automazione delle principali funzioni di un allevamento da latte (ad esempio mungitura, alimentazione, rimozione del letame) e caratterizzata da un'attività delle vacche distribuita su 24h. La stalla era del tipo a stabulazione libera con un totale di 141 cuccette (1,15 x 2,30 m) disposte in cinque righe, testa a testa; il pavimento delle cuccette era coperto con un materassino di gomma su cui era distribuito, due volte al giorno, un sottile strato di segatura. Un numero di 5 cuccette supplementari era previsto per la segregazione degli animali, con un accesso diretto dai box di mungitura per mezzo di un cancello separatore computerizzato. Le aree di deambulazione comprendevano due corsie ed erano provviste – ad eccezione delle corsie di collegamento – di un pavimento chiuso, ricoperto da gomma. Vi era una corsia di alimentazione laterale (lato Nord) lunga 40 m, larga 2,9 m e realizzata in cemento; la zona di alimentazione, era provvista di 61 posti in mangiatoia consentendo uno spazio effettivo di alimentazione di 0,62 m vacca⁻¹ ed assicurando un rapporto di 1,75 vacche per ogni posto in mangiatoia durante il periodo di studio.

Un sistema di illuminazione artificiale basato su 15 lampade a ioduri metallici da 250 W, equidistanti tra di loro e posizionate ad un'altezza media da terra di 5,8 m, consentiva l'esposizione

della vacche ad un fotoperiodo di giorno lungo (FPGL). Il FPGL era regolato per 18h di illuminazione continua dalle ore 05:00 alle 23:00. La luce artificiale era disattivata automaticamente all'alba e attivata al tramonto per mezzo di un timer e di una fotocellula. Due unità di mungitura robotizzata (VMS, DeLaval International AB, Sweden) erano gemellate sul lato orientale della stalla precedute da un cancello di preselezione in grado di assicurare un traffico semi forzato delle bovine. Il cancello consentiva l'accesso ad un'area di attesa di 37 m² a condizione che fossero trascorse più di 6 h dall'ultima munta. L'area di attesa era comune alle due unità di mungitura in modo da permettere un rapporto di 53,5 vacche per ogni unità durante il periodo di studio. Un sistema di alimentazione automatico sospeso su rotaia e due auto-alimentatori per concentrati fornivano, ad un unico gruppo di vacche, rispettivamente la razione unifeed e un supplemento proteico-vitaminico oltre a quello fornito nei box di mungitura. Il sistema di alimentazione automatico (Mix Feeder mod. XL, Skiold Mullerup A/S, Denmark) era basato su una tramoggia di 3 m³ di volume nominale con un sistema di miscelazione a singola coclea orizzontale; la tramoggia era azionata da un motore elettrico e servita da due container temporanei meccanizzati (TS1 e TS2) da 17,6 m³ di volume ciascuno destinati a contenere i foraggi (silomais e siloerba) e due sili verticali (VS1 e VS2) per i mangimi proteici e minerali. La coclea della tramoggia era progettata per la sola operazione di miscelazione non essendo dotata di lame. L'acqua potabile era offerta *ad libitum* per mezzo di 5 abbeveratoi (2,1 x 0,4 m) posizionati lungo le corsie di collegamento e nell'area di attesa. Un unico gruppo di 107 vacche in lattazione (Holstein-Friesian) è stato alimentato con una razione unifeed bilanciata per soddisfare le esigenze di una produzione media di 17,3 kg giorno⁻¹ di latte per vacca. Un supplemento individuale proteico-vitaminico era fornito per mezzo di quattro auto-alimentatori (due automatici, interdistanti 25 m e collocati all'interno della stalla e uno in ogni box di mungitura); un quantitativo massimo di 4 kg/vacca/giorno veniva distribuito in funzione della produzione di latte individuale. La produzione media di latte della mandria nei precedenti 305 giorni di lattazione era pari a 8.587 kg.

Razione e modalità di alimentazione

Per lo scopo del presente studio, è stata considerata solo la razione unifeed tralasciando gli apporti derivanti dagli auto-alimentatori; la miscelata era basata su foraggi insilati addizionati con farina di estrazione di soia e minerali. Il peso percentuale dei singoli ingredienti (riferito alla s.s.) e la composizione chimica della razione sono forniti in Tab. 3.

Tab. 3 - Ingredienti della razione unifeed utilizzata e loro composizione chimica.

Ingrediente (in ordine di riempimento)	Unità	Valore
Silomais	% s.s.	24.5
Siloerba	% s.s.	65.7
Paglia di colza	% s.s.	3.0
Minerali	% s.s.	0.5
F.e. soia	% s.s.	6.3
Composizione chimica	Unità	Valore
Sostanza secca	%	47.7 ± 1.2
Proteina grezza	% s.s.	14.9 ± 0.3
NDF	% s.s.	38.4 ± 1.1

Il programma di distribuzione della razione è rimasto quello adottato dall'allevatore sia per non modificare le condizioni reali che si intendeva esaminare sia per osservare il comportamento degli animali sottoposti a frequenze giornaliere di distribuzione della razione pari a 11 volte/giorno con intervalli molto ridotti tra una distribuzione e la successiva oscillanti tra 1,5 h (alla mattina presto) e 4,5 h (di notte).

La razione veniva preparata ex-novo per un totale di 15 volte al giorno secondo una strategia alimentare che prevedeva una suddivisione dell'intera quantità giornaliera da fornire in "portate" più piccole la cui quantità corrispondeva – ad ogni distribuzione – al 6,7 oppure al 13,4 % dell'intero quantitativo giornaliero. La distribuzione di unifeed avveniva nella maggior parte dei casi con un

intervallo tra distribuzioni successive di 2,0 h, con gli intervalli più brevi al mattino presto (1,5 h tra due distribuzioni successive) e più lunghi durante la notte (4,5 h). L'orario di distribuzione della razione era il seguente: 03:00; 05:00; 06:30; 08:30; 10:30; 12:30; 14:30; 16:30; 18:30; 20:30 e 22:30 h; tuttavia, alle 08:30; 12:30; 16:30 e 20:30 h la quantità di unifeed distribuita veniva raddoppiata grazie a due distribuzioni immediatamente susseguenti in modo da non modificare il livello di riempimento della tramoggia pari, approssimativamente, al 50% del volume nominale.

Il protocollo delle sequenze di operazioni eseguite dal robot, impostato sul sistema elettronico di gestione, era il seguente: 1) carico, in automatico, del silomais dal container temporaneo TS1; 2) carico, in automatico, del siloerba dal container temporaneo TS2; 3) carico, in automatico, dei minerali (solo ai seguenti orari: 05:00; 08:30 e 12:30 h) dal silo verticale VS1; 4) carico, in automatico della f.e. di soia dal silo verticale VS2; 5) miscelazione, in automatico, per una durata preimpostata; 6) distribuzione, in automatico, in mangiatoia mediante quattro passaggi fino a completo svuotamento della tramoggia.

Sono stati confrontati due trattamenti considerando come variabile il tempo di miscelazione; 3 (mix3) e 6 (mix6) minuti di miscelazione sono stati selezionati per il confronto.

Sono stati programmati cinque avvicinamenti giornalieri della razione già distribuita in mangiatoia, ma sparpagliata dagli animali, con il seguente orario: 00:00; 02:00; 11:45; 13:45 e 15:45 h. Gli avvicinamenti erano eseguiti automaticamente dalla tramoggia stessa grazie ad un deflettore oscillante, in gomma, articolato inferiormente. La Figura 17 riporta lo schema degli orari di distribuzione e di avvicinamento della razione nel corso delle 24 ore.

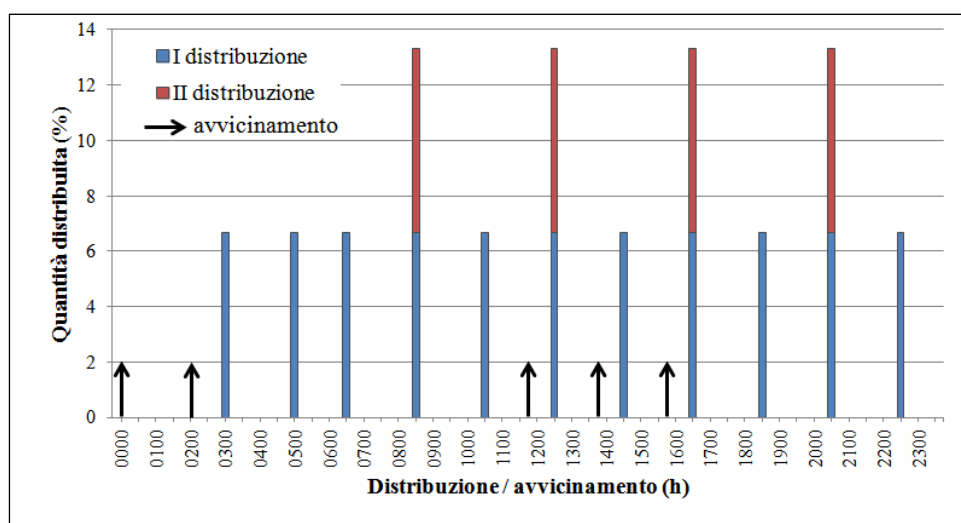


Fig. 17 - Schema degli orari di distribuzione e di avvicinamento della razione

Misurazioni, campionamenti e analisi

Per ogni distribuzione di unifeed sono stati prelevati 5 campioni di circa 2,5 kg l'uno; i campioni sono stati raccolti direttamente per caduta dalla paratoia di distribuzione della tramoggia su 5 vassoi (0,6 x 0,4 m) situati in postazioni fisse lungo la mangiatoia ed distanziate di 7,5 m l'una con l'altra. I vassoi alle estremità della mangiatoia erano posti a 1,25 m dal termine della stessa. In totale sono stati raccolti 55 campioni per ogni trattamento. Ogni campione è stato diviso in due sotto-campioni uguali per le analisi chimica e fisica. Un primo gruppo di sotto-campioni è stato sottoposto ad analisi per determinare la qualità della miscelazione; è stata analizzata la variabilità di tre parametri utilizzati come marcatori interni, quali la sostanza secca (DM), la proteina grezza (CP) e la fibra neutro detersa (NDF). Dato l'elevato numero di campioni da analizzare si è deciso di utilizzare la spettroscopia NIR per eseguire le verifiche sull'uniformità di miscelazione. E' stato utilizzato un sensore portatile per analisi NIRS dotato delle relative curve di calibrazione precedentemente realizzate nella stessa azienda. L'utilizzo della metodica NIR ai fini della valutazione della miscelazione e non per determinare le caratteristiche biologiche degli alimenti è ormai universalmente accettato come confermano i risultati di Mentkink et al. (2006). Il sensore utilizzato era basato sulla

tecnologia a serie di diodi, portatile (AgriNIR, Poggio Rusco, MN, Italy) azionato a corrente alternata (Fig. 18).



Fig. 18 – Sensore NIR portatile utilizzato per la predizione della composizione chimica della razione.

Per ogni sotto-campione sono state eseguite 3 scansioni NIR per un totale di 165 scansioni NIR per trattamento. La miscelazione della razione è stata considerata soddisfacente quando la dispersione dei singoli ingredienti scende al di sotto di una soglia di accettabilità. Questa soglia è espressa dal coefficiente di variazione (CV) tra campioni secondo quanto descritto da Lindley (1991); si è considerata soddisfacente la soglia di $CV \leq 10$ (Herrman, 1994). Per la valutazione dell'uniformità di miscelazione si è usato il metodo proposto da Buckmaster (2009) considerando i seguenti fattori come marcatori: sostanza secca (DM), proteina grezza (CP) e fibra neutro detersa (NDF).

Il secondo gruppo di sottocampioni è stato utilizzato per determinare la distribuzione delle particelle per mezzo del separatore a setacci messo a punto dalla Pennsylvania State Particle Separator (PSPS) composto da tre setacci aventi diametri prestabiliti e decrescenti (19,0, 0,8 and 0,18 mm, rispettivamente) e da un collettore inferiore (Fig. 19). La procedura utilizzata è stata quella descritta da Heinrich e Konoff (2002).



Fig. 19 – Separatore di particelle a tre setacci della Penn State University.

I residui in mangiatoia sono stati valutati con metodo soggettivo, stimando a vista il quantitativo di razione rimasto in mangiatoia 15 minuti prima di ogni distribuzione di nuova miscela. La valutazione si è basata su un sistema a punteggio avente una scala di 4 valori proposto dalla South Dakota State University (Pritchard, 1993) e riportato in tabella 4.

Tab. 4 – Metodo soggettivo di valutazione del residuo in mangiatoia.

Punteggio	Descrizione della mangiatoia
0	Nessun residuo
1/2	Tracce sparse di alimento. La maggior parte della mangiatoia è esposta
1	Strato uniforme di residuo lungo tutta la mangiatoia. Tipico spessore di “una granella”
2	Il 25-50% della razione distribuita è ancora presente
3	Corone scavate nella razione. >50% della razione è ancora presente
4	Razione virtualmente intoccata. Si notano appena alcuni accenni di corone

Il comportamento delle bovine è stato registrato per mezzo di un sistema di videoregistrazione a circuito chiuso composto da quattro videocamere a colori, dotate di lampade all'infrarosso per la visione notturna (ES modello 9063) posizionate al centro della stalla ad un'altezza di circa 5,8 m da terra ed orientate in modo da coprire uniformemente 4 sub-aree uguali che consentissero di visualizzare tutte le attività degli animali. Le videocamere sono state collegate al un personal computer dotato di quattro schede video e del software di sorveglianza video Eyes Pro MP3000 (AverMedia Information, Inc., Taiwan, PRC) per Windows XP Professional (Fig. 20).



Fig. 20 – La postazione di registrazione su personal computer è stata posizionata sul tetto dei box robotizzati di mungitura. Si notano a monitor i quattro quadranti della stalla su cui sono state puntate le relative videocamere.

E' stato eseguito un periodo ininterrotto di registrazione di 72 ore (3 giorni); i dati raccolti sono stati successivamente analizzati per mezzo del metodo “scan sampling” proposto da Martin e Bateson (1993) con un intervallo di 5 min tra scansioni successive.

Per disporre di una conferma circa il comportamento delle bovine, si sono utilizzati degli accelerometri bi- e tri-assiali posizionati agli arti inferiori di 14 bovine (Fig. 21) scelte in base alla posizione gerarchica (2 dominanti, 2 recessive e 10 medie). Le bovine sono state contraddistinte con una numerazione che consentisse di rintracciarle nelle registrazioni video.



Fig. 21 – Posizionamento di accelerometri agli arti posteriori (in verde sull'arto posteriore dx nella figura) e numerazione identificativa su 14 bovine al fine di seguirne il comportamento in una stalla completamente automatizzata (mungitura e alimentazione).

Infine, sono stati scaricati dal computer dei due box di mungitura robotizzati i dati di accesso delle bovine per verificare un'eventuale azione di stimolo operata dal sistema di alimentazione che producesse, come effetto collaterale, una maggior omogeneità di distribuzione delle visite per mungitura durante le 24 ore.

Uno schema generale della stalla in cui si è svolta l'indagine con evidenziati i lay-out delle attrezzature robotizzate, i siti di campionamento della razione e la collocazione delle telecamere per l'analisi del comportamento è riprodotto in Fig. 22.

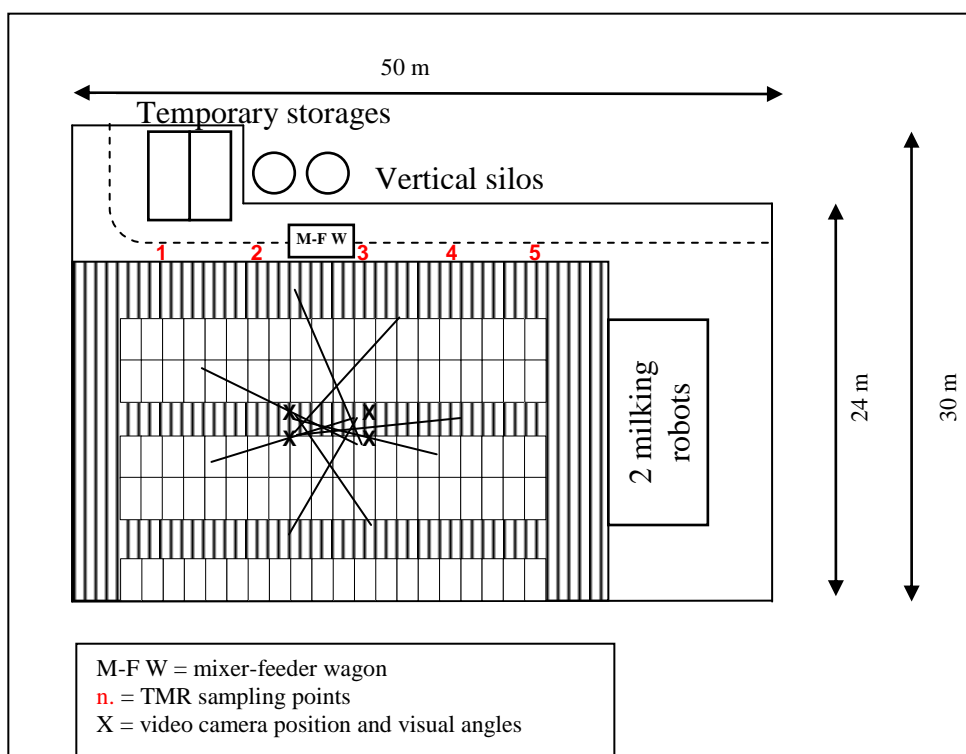


Fig. 22 - Lay-out della stalla completamente automatizzata in cui è stato condotto l'esperimento.

Le esigenze in termini di richieste di manodopera giornaliera o settimanale e quali compiti debbano essere svolti in un allevamento robotizzato per fornire razioni unifeed a vacche in lattazione sono state analizzate individuando i Principali Componenti Operativi (PCO) e i Sottocomponenti Operativi (so) per ogni PCO come proposto da Ferris et al. (2006). Il tempo necessario per lo svolgimento di ogni PCO è stato registrato (in minuti e secondi) per mezzo di cronometro digitale. Le distanze percorse all'interno dell'azienda e fra le strutture aziendali (parcheggio trattori, area sili orizzontali, area sili temporanei) sono state registrate al fine di ottenere le velocità di percorrenza ($m s^{-1}$) durante i trasporti interni. Sono stati determinati, inoltre, i volumi di carico dei desilatori a blocchi (m^3) per i foraggi e i volumi medi di alimento trasportati durante ogni percorso.

La Figura 23 illustra la disposizione (non in scala) delle strutture aziendali coinvolte nella preparazione della razione e, pertanto, considerate per l'analisi dei tempi.

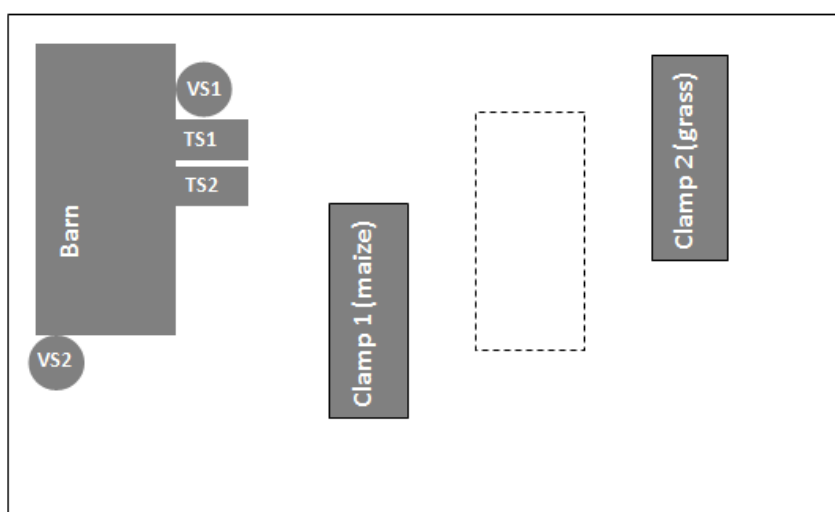


Fig. 23 – Schema della disposizione delle strutture aziendali coinvolte nel razionamento (TS=sili temporanei; VS=sili verticali; Clamp=sili a trincea per foraggi)

I principali componenti operativi presi in considerazione sono stati:

1. Riempimento di TS1
 - 1.1. Tempo di spostamento del trattore dal parcheggio all'area sili (min:s)
 - 1.2. Tempo per il taglio del foraggio dal silo 1 (min:s)
 - 1.3. Trasporto di ogni porzione di foraggio dal silo 1 a TS1 ($m s^{-1}$)
 - 1.4. Tempo di scarico del foraggio in TS1 (min:s)
 - 1.5. Ripetizione dei punti 1.1 - 1.4, se necessario
2. Riempimento di TS2
 - 2.1. Tempo di spostamento del trattore da TS1 all'area sili (min:s)
 - 2.2. Tempo per il taglio del foraggio dal silo 2 (min:s)
 - 2.3. Trasporto di ogni porzione di foraggio dal silo 2 a TS2 ($m s^{-1}$)
 - 2.4. Tempo di scarico del foraggio in TS2 (min:s)
 - 2.5. Ripetizione dei punti 2.1 - 2.4, se necessario
3. Aggiunta di concentrati in VS1 (min:s)
4. Aggiunta di concentrato in VS2 (min:s)
5. Aggiunta di concentrato nell'auto alimentatore del I robot di mungitura (SF1; min:s)
6. Aggiunta di concentrato nell'auto alimentatore del II robot di mungitura (SF2; min:s)
7. Programmazione e monitoraggio della centralina elettronica del robot per l'unifeed (min:s)
8. Avvicinamento in mangiatoia dei residui (min:s)
9. Pulizia della mangiatoia (min:s)
10. Manutenzioni ordinarie (pulizia di TS, pulizia della tramoggia, lubrificazioni, sostituzione parti usurate) (min:s).

I dati sono riferiti al singolo capo e fanno riferimento ai quantitativi di razione distribuiti, in media, individualmente.

4.1. Uniformità di miscelazione

Relativamente all'uniformità di miscelazione, i primi risultati sono da considerarsi positivi anche per le considerazioni che ne sono scaturite e dal successivo confronto con alcuni costruttori. In particolare, il sistema automatico ha dimostrato di raggiungere buoni livelli di omogeneità sia all'interno di ogni miscelata sia tra miscelate successive che, nel caso considerato sono 11 al giorno. E' tuttavia da rimarcare che le miscelate eseguite con 6 minuti di miscelazione sono risultate più omogenee come dimostra l'errore medio riportato graficamente e il valore di CV medio che si dimezza nelle tesi a 6 minuti (2,5 vs. 1,1); risultati particolarmente apprezzabili si registrano per quanto riguarda l'NDF la cui distribuzione risulta molto più uniforme sia entro che tra le miscelate; la spiegazione più plausibile sembra essere da ricercare nella miglior incorporazione delle componenti fibrose che si presentano ancora sotto forma di blocchi compatti quando la miscelazione risulta di 3 minuti, mentre con tempi doppi, la singola coclea del sistema di miscelazione ha il tempo di sfaldare eventuali porzioni ancora compatte. Si tenga infatti presente che, contrariamente all'Italia, nei Paesi Nordeuropei sono ancora poco diffuse le desilatrici rotanti (frese) che eliminano tale problema, anche se possono causare un eccessivo e indesiderabile sminuzzamento della fibra.

Le Figure 24, 25 e 26 illustrano gli andamenti dei marcatori considerati (sostanza secca DM, Proteina Grezza CP e NDF) nelle 11 miscelate (batch) realizzate.

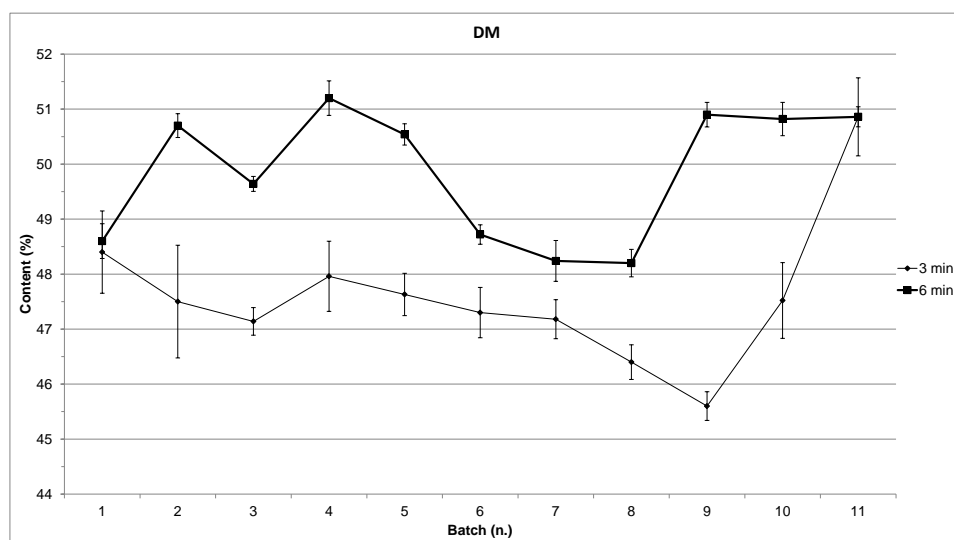


Fig. 24 – Andamento del contenuto di sostanza secca nelle 11 miscelate realizzate e nelle due tesi a confronto

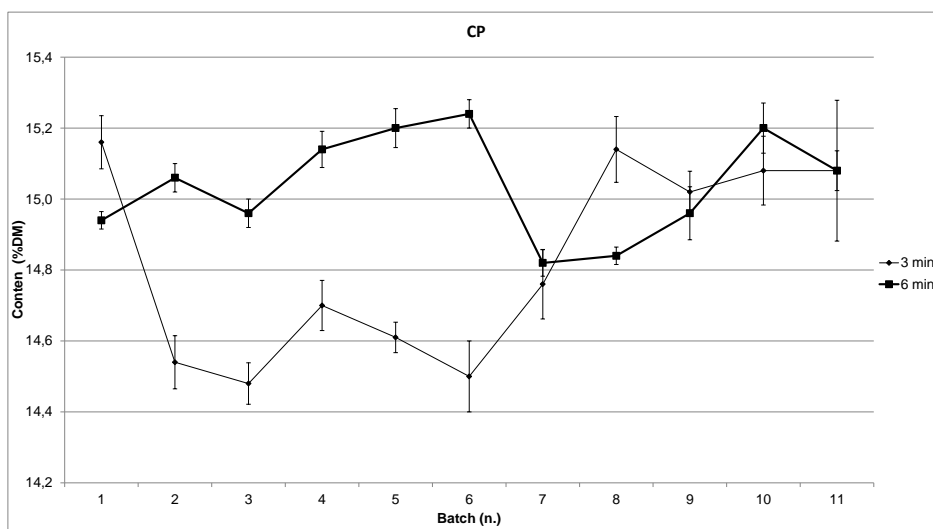


Fig. 25 – Andamento del contenuto di proteina grezza nelle 11 miscelate realizzate e nelle due tesi a confronto

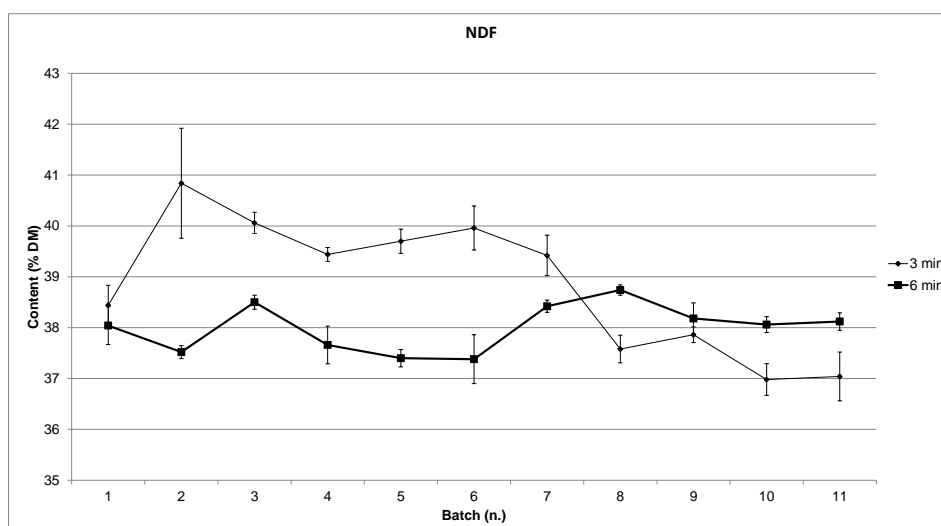


Fig. 26 – Andamento del contenuto di NDF nelle 11 miscelate realizzate e nelle due tesi a confronto

Come si nota confrontando i dati appena illustrati con quelli attesi della razione progettata dal nutrizionista (cfr. Tab. 4), le principali differenze sembrano attribuibili alle caratteristiche degli ingredienti, soggetti ad elevata variabilità, piuttosto che all'azione di miscelazione della tramoggia. In particolare, la variazione maggior si è riscontrata nella tesi con 6 minuti di trincia-miscelazione dove, con riferimento alla sola sostanza secca, si riscontra che tutte le miscelate eseguite nella giornata sono risultate in media aventi un tenore di sostanza secca superiore del 3,7% rispetto al valore atteso. Gli altri valori hanno invece mostrato variazioni tra i valori attesi e quelli medi ottenuti con il robot inferiori all'1%.

Analisi statistica

L'analisi statistica è stata mirata ad evidenziare le influenze significative della sola variabile "miscelata" sui valori di risposta. La matrice dei dati è costituita da 11 miscelate/giorni x 5 campioni/miscelata = 55 casi formanti 5 ripetizioni di campioni prelevati da 11 miscelate (batch). L'elaborazione è stata ripetuta con 2 matrici (mix3, mix6) caratterizzate da due diversi tempi di miscelazione (mxtime).

Le variabili indipendenti sono:
 la "miscelata" (batch);
 la ripetizione (rip);

mentre le variabili dipendenti sono:
 le componenti costituenti l'alimento campionato rappresentati un marcatore di miscelazione (DM, CP, NDF).

L'elaborazione è stata condotta al fine di valutare le eventuali varianze nel campione raccolto, la causa di tali varianze e la differenza minima significativa tra le tesi a confronto.

Dopo la verifica della distribuzione normale dei dati attraverso l'analisi grafica del test di Shapiro-Wilk e, successivamente, del test di Backett, viene effettuata l'analisi della varianza (ANOVA) per l'individuazione dei fattori influenzanti in maniera statisticamente significativa le variabili dipendenti. Definite le variabili influenzanti, vengono effettuati i test di confronto multiplo tra le medie.

Le medie ottenute presentano una bassa deviazione standard e quindi ottime percentuali di coefficiente di variabilità (CV) rispettivamente del 2,15%, del 3,61% e del 4,01% nella matrice mix3 e del 1,13%, del 2,51% e del 1,78% nella matrice mix6. Le Figure 27 e 28 rappresentano le verifiche grafiche della distribuzione normale dei dati ottenuti con i tempi di miscelazione, rispettivamente, di 3 e 6 minuti (mix3 e mix6).

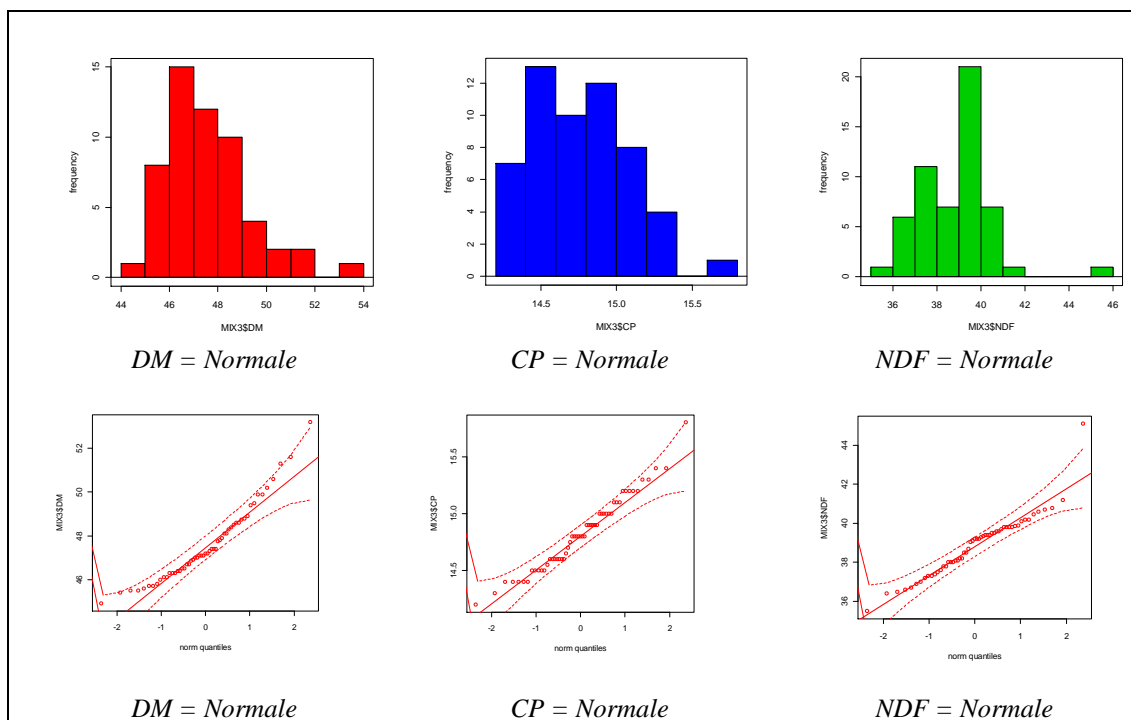


Fig. 27 - Le distribuzioni normali dei dati relativi a DM, al CP e all'NDF con tempo di miscelazione di 3 minuti.

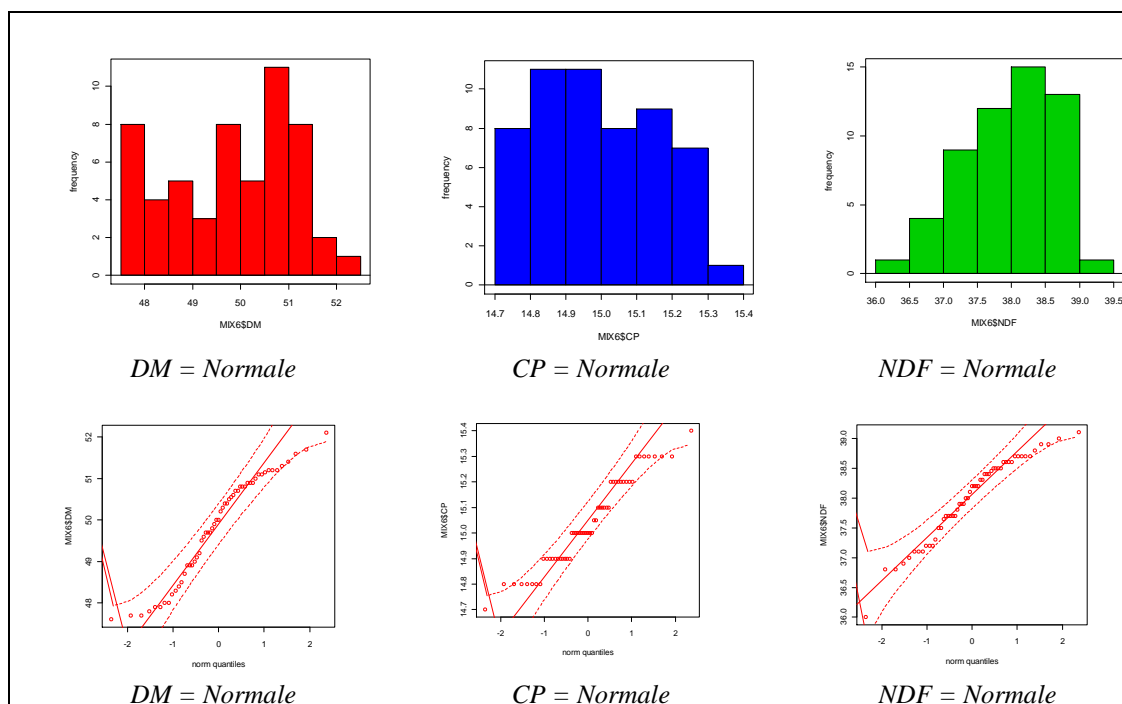


Fig. 28 - Le distribuzioni normali dei dati relativi a DM, al CP e all'NDF con tempo di miscelazione di 6 minuti.

Verificata la normalità delle distribuzioni dei campioni, è stato utilizzato il test di Backett per confrontare le varianze dei dati ottenuti.

Le Figure 29 e 30 illustrano graficamente i risultati ottenuti nelle due tesi messe a confronto con 3 e 6 minuti di miscelazione rispettivamente.

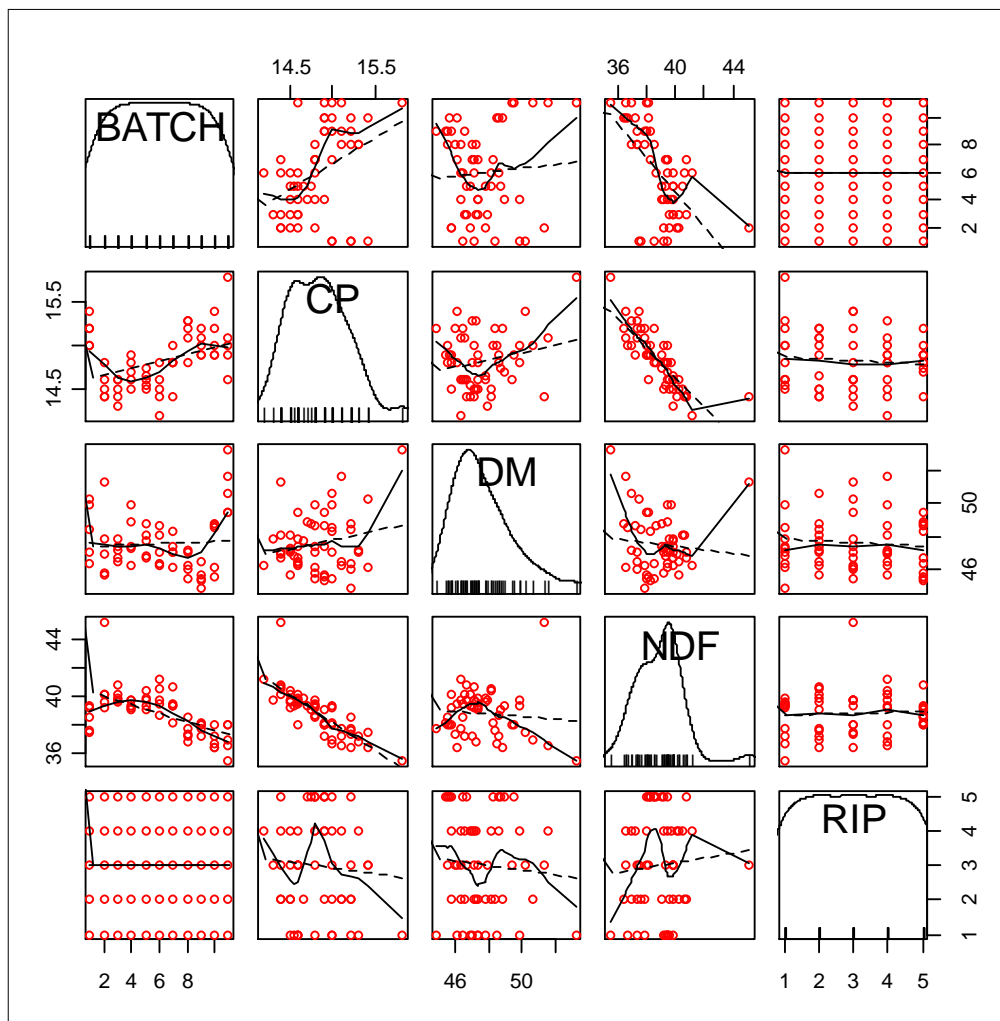


Fig. 29 - Matrice dei grafici di correlazione tra le variabili dipendenti (DM, CP e NDF) con tempo di miscelazione di 3 minuti.

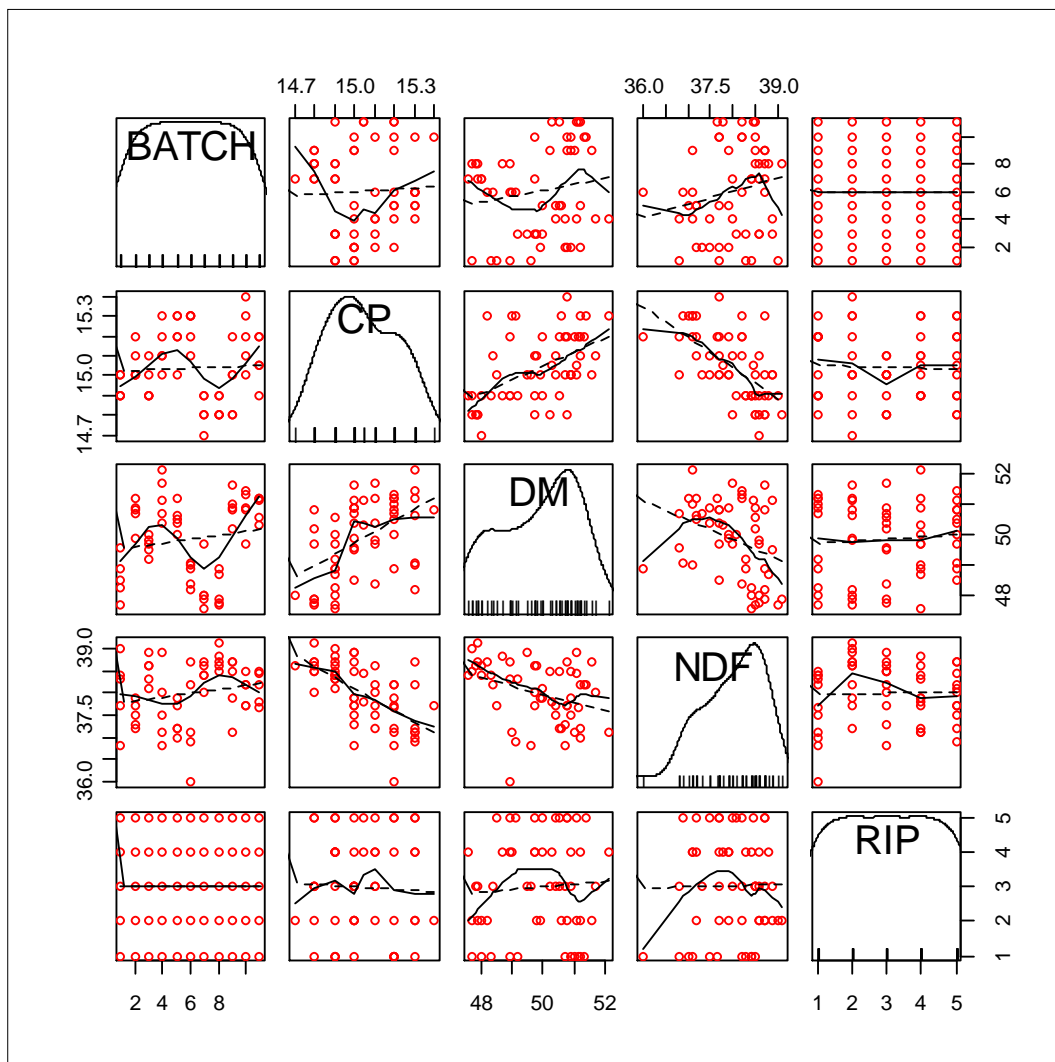


Fig. 30 - Matrice dei grafici di correlazione tra le variabili dipendenti (DM, CP e NDF) con tempo di miscelazione di 6 minuti.

In entrambi i casi, i grafici indicano una possibile correlazione inversa tra CP ed NDF; in particolare con il tempo di miscelazione di 3 min l'indice di correlazione risulta pari a -0,821 mentre con il tempo di miscelazione di 6 min tale indice risulta inferiore e pari a -0,615. Tale correlazione è riportata da alcuni autori (Revees, 1997; Xiong et al., 2006) che riferiscono come il minor tenore in fibra (NDF) comporti un maggior tenore proteico (CP); tuttavia altri autori indicano come tale indice di correlazione sia generalmente basso in quanto influenzato dalla elevata variabilità esistente tra i foraggi impiegati (Stokes e Probst, 1998). Non risultano evidenti altre correlazioni tra le variabili analizzate.

Per quanto riguarda l'analisi della varianza, essa attribuisce significatività statistica al fattore "miscelata" ($p < 0,01$); pertanto, dal punto di vista pratico, è necessario considerare che nonostante la razione sia preparata senza l'influenza dell'operatore, la grande variabilità degli alimenti può comportare che le diverse miscelate (11 nel caso studiato) non siano identiche come, invece, si ritiene. Non risulta, invece, statisticamente significativa l'influenza della ripetizione, cioè dei singoli campioni prelevati da una stessa miscelata che risultano pertanto ben miscelati e dimostrano l'elevata ripetibilità della prova sperimentale. Solo nell'NDF della tesi effettuata con 6 minuti di miscelazione si registra un'influenza della ripetizione attribuibile alla grande variabilità degli ingredienti e alla difficoltà a dosare con precisione alcuni componenti fibrosi.

Infine, sui campioni di alimento distribuito alle vacche è stata eseguita un'elaborazione mirata ad evidenziare le influenze significative della sola variabile "miscelata" sui valori di risposta.

La matrice dei dati era costituita da $11 \times 5 = 55$ casi formanti con 5 ripetizioni di campioni prelevati da 11 miscelate giornaliere (batch). L'elaborazione è stata ripetuta con 2 matrici diverse di miscelazione caratterizzate da 2 differenti durate del tempo di miscelazione finale (mxtime).

Le variabili indipendenti sono state la miscelata (batch) e la ripetizione (rep), mentre le variabili dipendenti sono le percentuali costituenti l'alimento campionato (DM, CP, NDF).

Le medie ottenute presentano una bassa deviazione standard e, quindi, ottime percentuali di coefficiente di variabilità pari al 2,15% per la DM, al 3,61% per la CP e al 4,01% per l'NDF nella matrice mix3 e del 1,13%, 2,51% e 1,78% rispettivamente nella matrice mix6 (Fig. 31 e 32).

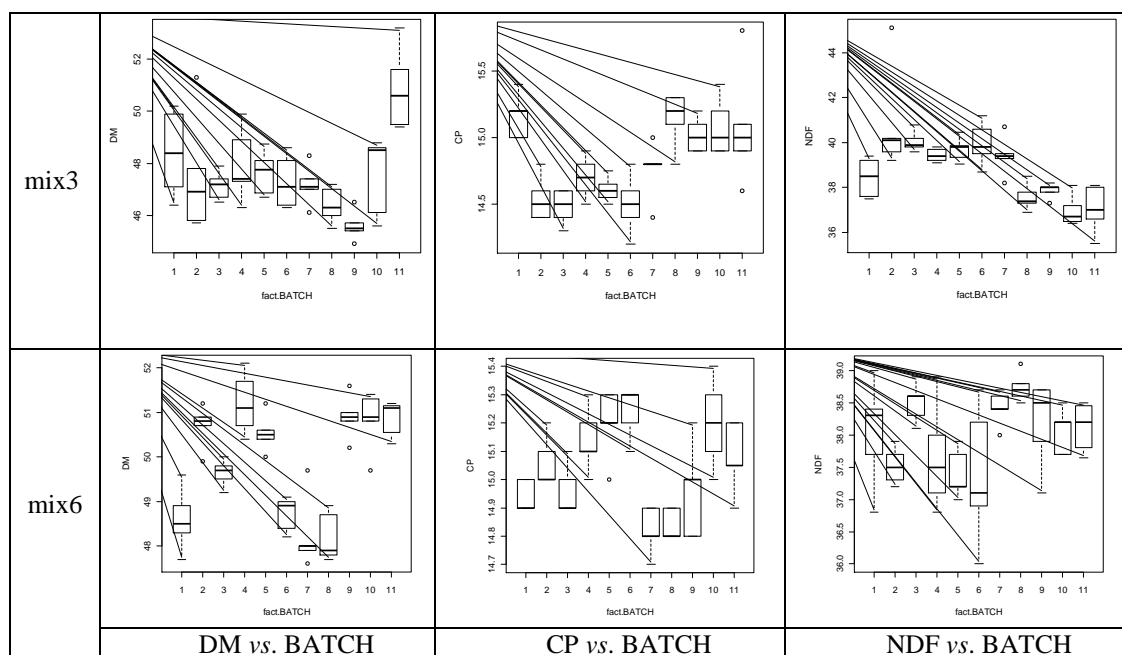


Fig. 31 – Variabilità degli indicatori DM, CP e NDF riscontrata fra le 11 miscelate realizzate (batch)

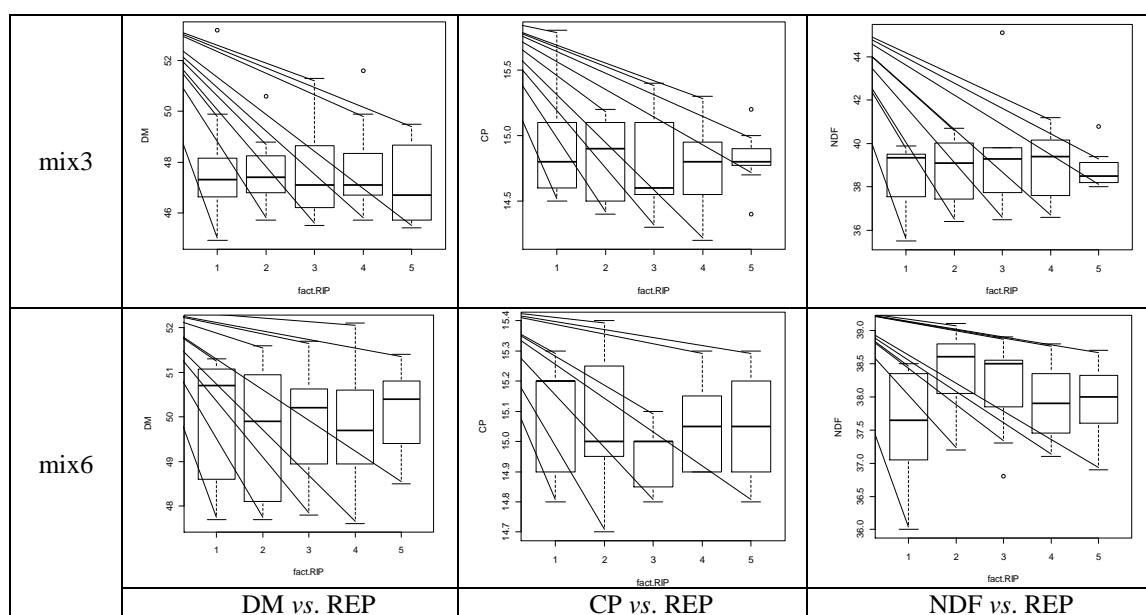


Fig. 32 – Variabilità degli indicatori DM, CP e NDF riscontrata nei 5 campioni prelevati (rep)

I grafici indicano una possibile correlazione tra CP ed NDF confermata dalla matrice delle correlazioni e riportata da altri autori.

L'elaborazione è stata condotta al fine di valutare: i) le eventuali varianze nel campione raccolto, ii) la causa di tali varianze e iii) la differenza minima significativa tra le tesi a confronto.

Dopo la verifica della distribuzione normale dei dati attraverso l'analisi grafica il test di Shapiro-Wilk e dopo la verifica dell'omogeneità delle varianze con il test di Bartlett, è stata effettuata l'analisi della varianza (ANOVA) per l'individuazione dei fattori influenzanti in maniera statisticamente significativa le variabili dipendenti.

E' emersa significatività statistica per l'influenza su tutti i valori di risposta (DM, CP, NDF) per il fattore miscelata ($p \leq 0,001$). Le distribuzioni dei valori assunti dalle variabili dipendenti in funzione di quelle indipendenti sono state rappresentate con i grafici box-plot.

Definite le variabili influenzanti, sono stati effettuati i test di confronto multiplo tra le medie. In particolare è stato sviluppato il test LSD semplice, l'LSD modificato da Winer con la correzione di Bonferroni ed il Duncan.

Per quanto riguarda il fattore miscelata, i test individuano, tra le diverse miscele giornaliere, le differenze riportate nella seguente tabella. Per quanto riguarda la DM, i tre test condotti sul mix3, evidenziano una buona omogeneità, ma evidenziano che l'undicesima miscelata risulta differente dalle altre 10; i tre test condotti sul mix 6 evidenziano che le miscele 1, 6, 7 e 8 risultino inaspettatamente differenti dalle altre, probabilmente per una variazione della composizione degli alimenti di partenza.

Per la CP del mix 3 le miscele tra la 2 e la 6 sono state attribuite ad un gruppo diverso dalle altre, nel mix 6 si evidenzia come le miscele 7 e 8 risultino differenti dalle altre.

Per l'NDF, si osserva una buona omogeneità in entrambe le matrici mix3 e mix6.

4.2 Cernita operata dagli animali

Quest'aspetto rappresenta uno dei principali limiti del razionamento unifeed eseguito con modalità convenzionali (una o due distribuzioni al giorno), in particolare se la razione prevede o è realizzata con particelle di foraggio a trinciatura lunga, in quanto gli animali durante le 12-24 ore a disposizione selezionano gli ingredienti preferiti (in particolare i concentrati) tralasciando le componenti più fibrose, in particolare se lunghe, con le note conseguenze sull'andamento delle fermentazioni e sulla velocità di transito ruminali.

L'ipotesi introdotta con il presente lavoro era, invece, basata sul fatto che la distribuzione ad elevata frequenza della razione potesse limitare tale fenomeno in quanto gli animali sono spinti ad ultimare la porzione distribuita in attesa della successiva.

In realtà, la distribuzione ad elevata frequenza di piccole porzioni di razione non solo non ha evitato la cernita (anche se come si vedrà con modalità diverse da quelle note), ma, in alcuni casi, ha comportato lo svuotamento completo della mangiatoia (vedi paragrafo successivo) portando, in questo caso, ad un effetto indesiderato e cioè a non realizzare l'attesa gradualità d'ingestione di s.s. e a far venir meno una delle basi del razionamento unifeed e, cioè, la disponibilità *ad libitum* di alimento.

Inoltre, la cernita operata dagli animali, che si desiderava contrastare, è al contrario risultata evidente anche se con modalità diverse da quelle riportate dai molti autori citati, ma pur tuttavia sempre attribuibile alla dimensione "lunga" delle particelle di foraggio, indipendentemente dall'alta frequenza di distribuzione.

La Figura 33 riporta la lunghezza media delle particelle di unifeed derivanti dalla stessa razione preparata con due protocolli diversi: il primo prevedeva un tempo di miscelazione di 3 minuti ed il secondo il raddoppio di tale valore (6 min) come unica differenza operativa a parità di ogni altra condizione, frequenza di distribuzione compresa. La razione è stata analizzata con il separatore di particelle della Penn State University sia sul prodotto al momento della distribuzione (tesi: "distribuito") sia sul prodotto avanzato (tesi: "avanzato) dopo una media di 2,4 ore di presenza in mangiatoia; tale prelievo è stato eseguito 15 minuti prima di ogni distribuzione successiva.

Come si nota, l'aumento del tempo di miscelazione determina una riduzione della lunghezza media delle particelle di prodotto "distribuito" che, seppur modesta in termini assoluti (1,1mm), risulta significativa ($p \leq 0,05$) in termini percentuali (6,5% di riduzione della lunghezza). Tale effetto è dovuto unicamente all'azione meccanica protratta della coclea di miscelazione la quale, essendo priva di lame, ha potuto determinare una riduzione della lunghezza media delle particelle di foraggio esclusivamente per lacerazione dei frammenti di stelo aventi lunghezza maggiore; ciò spiegherebbe anche la ridotta entità del fenomeno in termini assoluti.

Al contrario, nel prodotto “avanzato” non sono state rilevate differenze significative dal punto di vista dimensionale; il residuo avanzato, infatti, risulta molto omogeneo in relazione alla lunghezza media delle particelle, anche se con una non significativa riduzione della stessa nella tesi mix6, probabilmente come conseguenza della minor disponibilità delle frazioni più lunghe riscontrate in questa tesi.

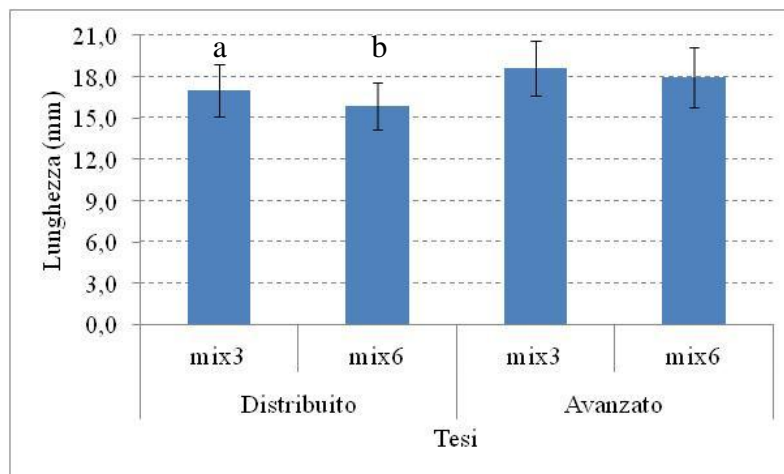


Fig. 33 – Lunghezza media delle particelle di unifeed, distribuito e avanzato in mangiatoia, ottenuto con due protocolli di preparazione differenti unicamente per il tempo di miscelazione (3 vs. 6 minuti).

Tale risultato è da attribuire all’azione di cernita operata dagli animali i quali, nella ricerca delle frazioni più appetite ma considerando anche le ridotte quantità di volta in volta distribuite, hanno inevitabilmente livellato la composizione granulometrica della razione. Si nota, tuttavia, che tale azione di livellamento è avvenuta a scapito delle frazioni più lunghe che, infatti, sono presenti in misura maggiore, come avanzo, in mangiatoia; l’”avanzato”, infatti, fa registrare una lunghezza media delle particelle pari a $18,3 \pm 4,4$ mm significativamente superiore ($p \leq 0,05$) rispetto a quella delle particelle contenute nella razione distribuita pari a $16,3 \pm 3,5$ mm, con un incremento medio (su tutte le misurazioni) pari al 10,9 % (Fig. 34).

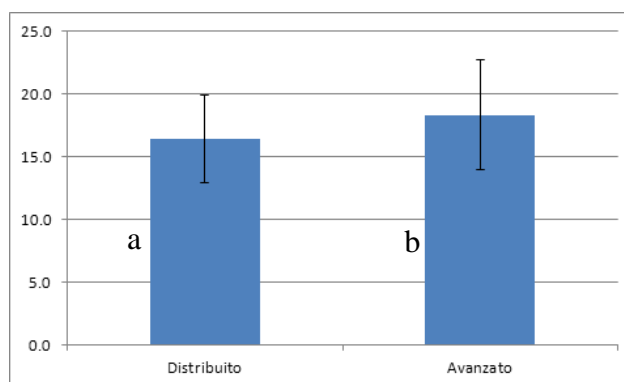


Fig. 34 – Incremento medio della lunghezza delle particelle di foraggio nella razione distribuita rispetto a quella avanzata in mangiatoia (media di tutte le 11 distribuzioni giornaliere).

Una conferma a quanto evidenziato deriva dall'analisi delle singole frazioni dimensionali raccolte nei tre setacci e sul fondo del separatore (Fig. 35).

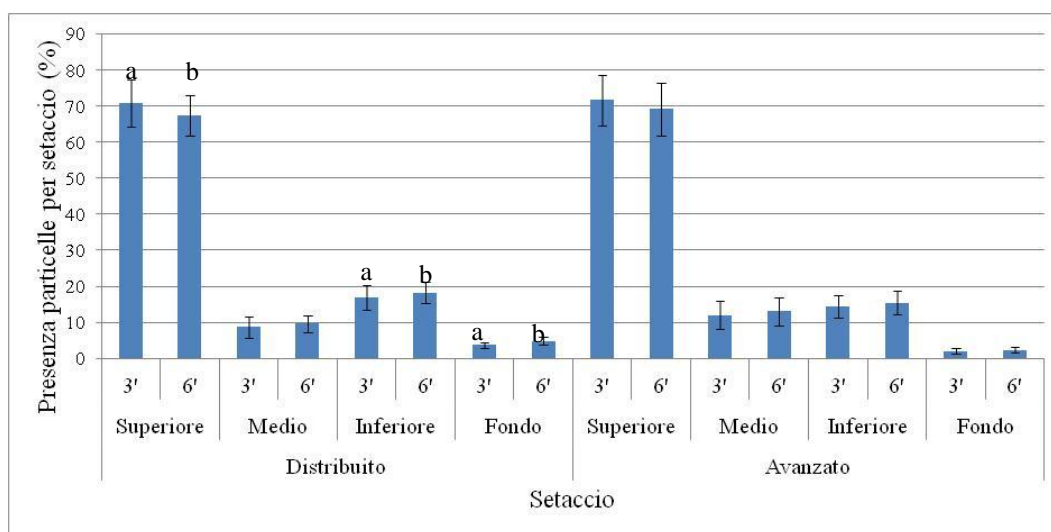


Fig. 35 – Presenza percentuale di particelle nei setacci e nelle due tesi in funzione del tempo di miscelazione adottato.

Si nota, infatti, che le particelle trattenute dal setaccio superiore ($\geq 19,0$ mm) sono significativamente inferiori nella razione preparata con 6 minuti di miscelazione suggerendo che un effetto meccanico protratto della coclea sulle frazioni più lunghe (in particolare sull'insilato d'erba) possa aver esercitato un'azione meccanica di lacerazione. Tale effetto ha avuto ripercussioni su tutti i rilievi effettuati sui setacci successivi anche se con entità diverse; il setaccio intermedio (8,0 – 19,0 mm) ha fatto registrare lievi incrementi non significativi nelle percentuali di razione ritrovata, mentre il setaccio inferiore (1,18 – 8,0 mm) e il fondo ($\leq 1,18$ mm) hanno fatto registrare incrementi significativi ($p < 0,05$) dovuti probabilmente al fatto che l'azione della coclea priva di lame, nei 3 minuti supplementari di miscelazione, ha potuto frammentare relativamente poco le frazioni più lunghe di foraggio facendo, quindi, aumentare significativamente solo le frazioni inferiori. In particolare, il maggior quantitativo di prodotto raccolto sul fondo dopo 6 min di miscelazione, poiché risulta costituito per lo più da concentrati e, in misura minore, da piccoli frammenti di foraggio, potrebbe essere attribuibile ad una migliore distribuzione delle particelle più sottili nell'intera massa della razione, come testimonierebbe anche il minor CV riscontrato nelle prove di miscelazione, facendo registrare un contenuto significativamente maggiore (+ 29%) all'interno del fondo del separatore di particelle rispetto a quanto osservato nello stesso dopo 3 minuti di miscelazione.

Analizzando più in dettaglio l'uniformità fisica della razione nel corso delle 11 preparazioni giornaliere effettuate, si nota come, unitamente all'elevata variabilità tra le diverse miscelate, la cernita degli animali si concentra sulle frazioni più minute e appetite della razione. Si deve riferire che alcune misurazioni non sono state effettuate in quanto la mangiatoia è risultata completamente vuota, oppure l'allevatore aveva modificato l'orario di distribuzione rendendo impossibile misurare separatamente la razione distribuita e quella avanzata.

Le Figg. 36 e 37 illustrano la quantità di particelle ritrovate nel setaccio superiore ($\geq 19,0$ mm) dopo 3 e 6 minuti di miscelazione.

Come si nota, la lunghezza media delle particelle più lunghe non presenta differenze significative, con l'eccezione di sporadiche misurazioni in entrambe le tesi attribuibili principalmente alla grande variabilità nella lunghezza media dell'erba insilata e dalla presenza di blocchi di prodotto poco amalgamati che possono aver determinato, in alcuni punti della mangiatoia, dei comportamenti particolarmente selettivi da parte degli animali, senza tuttavia trovare conferme lungo tutto il fronte di distribuzione.

Anche con le modalità di distribuzione ad elevata frequenza, pertanto, risulta fondamentale operare una corretta ed omogenea trinciatura dell'intera razione, al fine di evitare una selezione troppo spinta della frazione più grossolana della stessa. Purtroppo, nel sistema automatico per la preparazione

dell'unifeed utilizzato (così come in molte tipologie analizzate nel corso del presente lavoro) non è presente alcun dispositivo atto a gestire la lunghezza di trinciatura dei diversi componenti e nelle diverse fasi del processo di razionamento, lasciando tale aspetto (più o meno accurato) alle lavorazioni precedenti (raccolgi-trincia-caricatura oppure raccolgi-trincia-imballatura).

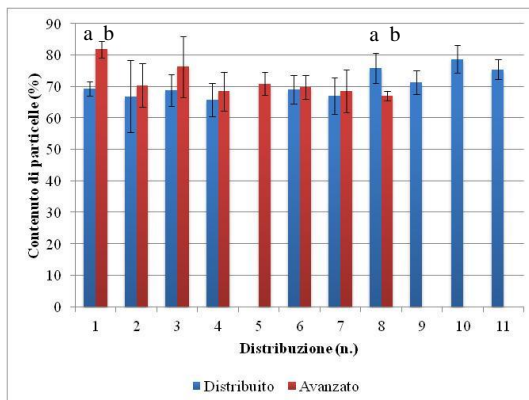


Fig. 36 – Setaccio superiore dopo 3 min.

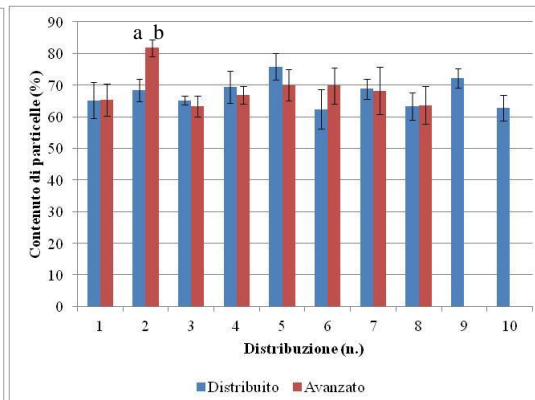


Fig. 37 – Setaccio superiore dopo 6 min.

Diverso, invece, è risultato il comportamento selettivo operato dalle bovine sulla frazione granulometrica della razione raccolta dal setaccio intermedio (8,0-19,0 mm). In questo caso (Figure 38 e 39) l'azione è stata palese con una forte cernita operata sulle porzioni più grossolane le quali si ritrovano in quantitativi quasi sempre significativi ($p \leq 0,05$) nel residuo avanzato. Una maggior evidenza del fenomeno di cernita si è riscontrata nella razione miscelata per 6 minuti nella quale, avendo rilevato una maggior presenza di frammenti minuti, questi ultimi sono stati, nella quasi totalità delle distribuzioni analizzate, preferiti dagli animali.

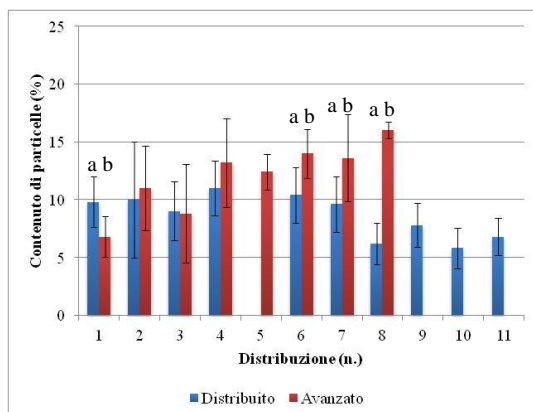


Fig. 38 – Setaccio intermedio dopo 3 min.

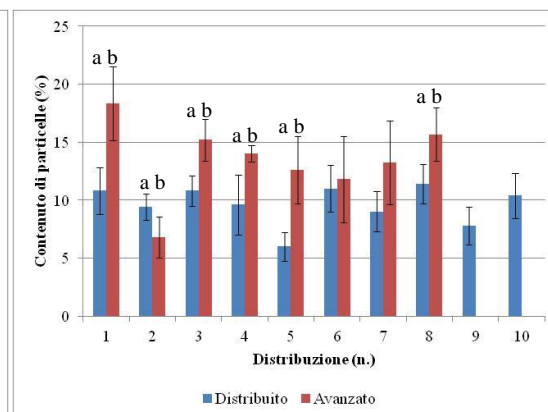


Fig. 39 – Setaccio intermedio dopo 6 min.

Le azioni di cernita operate sulle frazioni più grossolane (setaccio superiore e setaccio intermedio) hanno fatto registrare ripercussioni sulle frazioni più minute che sono risultate sempre le più appetite dagli animali oltre che quelle più facili da selezionare - nonostante il poco tempo a disposizione - a causa della grossolanità della composizione fisica della razione utilizzata.

Le Figure 40 e 41 illustrano il contenuto delle particelle di foraggio riscontrate nel setaccio inferiore (1,18 – 8,0 mm) dopo 3 e 6 minuti di miscelazione nelle distribuzioni ad elevata frequenza realizzate.

Come si nota, l'avanzo rimasto in mangiatoia è risultato quasi sempre composto da quantitativi percentuali minori di particelle minute in quanto preferite - e, pertanto, ingerite - dagli animali.

Anche in questo caso, come già visto per il setaccio superiore, si può osservare una tendenza generica degli animali a scegliere, anche se il fenomeno non risulta significativo con l'eccezione di

due casi isolati in entrambe le tesi a confronto (3 vs. 6 minuti di miscelazione), forse proprio a causa del poco tempo a disposizione (2,4 ore in media tra una distribuzione e la successiva).

Pertanto, si potrebbe ipotizzare che, con razioni grossolane, i sistemi automatici per l'unifeed non consentono di impedire, come si era immaginato, la cernita operata dagli animali, ma potrebbero tuttavia limitarne gli effetti indesiderati.

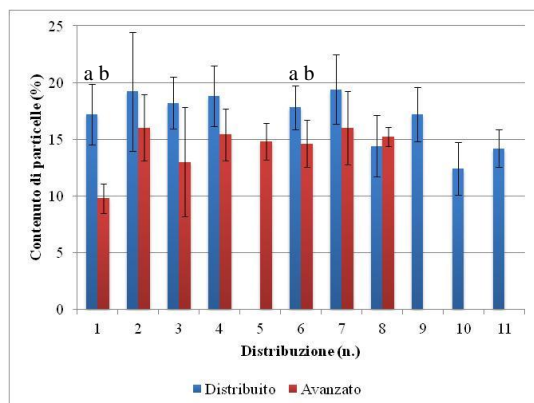


Fig. 40 – Setaccio inferiore dopo 3 min.

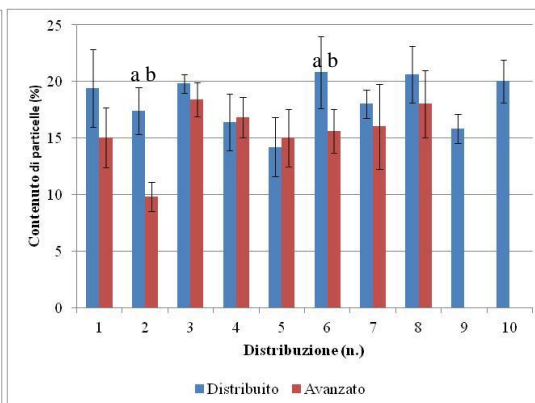


Fig. 41 – Setaccio inferiore dopo 6 min.

Infine, il fondo del separatore di particelle di foraggio ha raccolto le frazioni più minute ($\leq 1,18$ mm) in cui si ritrovano soprattutto i concentrati.

Le Figure 42 e 43 evidenziano l'azione di cernita operata dalle bovine risultata significativa in tutte le distribuzioni effettuate ($p \leq 0,05$).

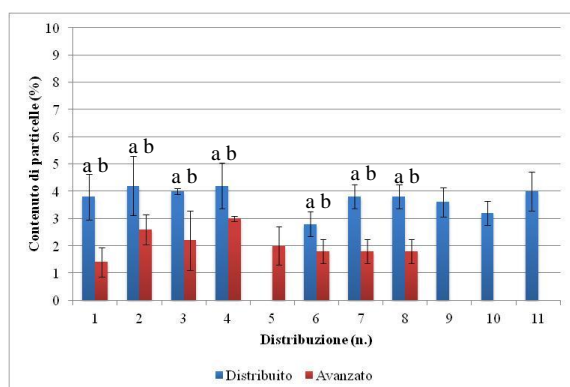


Fig. 42 – Fondo dopo 3 minuti di miscelazione.

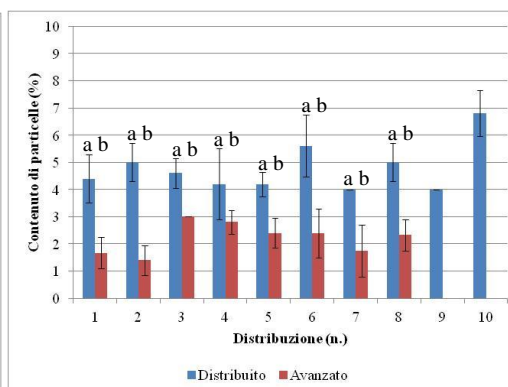


Fig. 43 – Fondo dopo 6 minuti di miscelazione.

Come si nota, la preferenza ad ingerire i concentrati rispetto alle frazioni foraggere viene evidenziata in tutte le miscele realizzate. Risulta, pertanto, sufficiente chiaro che, poiché l'azione indesiderata di selezione non viene inibita dall'esiguità della porzione distribuita, è necessario prestare la massima attenzione alla composizione fisica della razione, introducendo anche nei sistemi automatici di preparazione e distribuzione dell'unifeed, dei dispositivi di gestione della trinciatura in grado di raggiungere l'obiettivo di contenere entro percentuali variabili tra il 2 e il 8 % la componente maggiore al fine di perfezionare l'efficacia nutrizionale di tali sistemi.

Come si è visto, il sistema automatico è in grado di realizzare miscele con un ottimo livello di omogeneità chimica della razione, ma l'analisi della distribuzione delle particelle rileva un'elevata grossolanità della componente fisica della razione ed un'elevata variabilità della distribuzione delle particelle di foraggio.

Due spiegazioni posso tentare di rispondere alla domanda sui motivi di tali risultati: i) innanzitutto tutti i foraggi inseriti erano insilati e, pertanto, già trinciati al momento della raccolta e grossolanamente per quanto riguarda i foraggi prativi; ii) il sistema automatico utilizzato nella

sperimentazione non è provvisto in alcuna parte di un dispositivo di trinciatura che possa in qualche modo uniformare o per lo meno regolare la lunghezza di trinciatura.

Se questo fatto è comprensibile considerando il vagone miscelatore dotato di batterie e pertanto troppo poco potente per eseguire una trinciatura, si sarebbe potuto inserire un dispositivo aggiuntivo al silo temporaneo dei foraggi prativi, come presente in altre tipologie di robot.

Infine, l'elevata frequenza di distribuzione non ha limitato la cernita operata dagli animali. Tuttavia, la selezione più accentuata è stata osservata soprattutto a scapito della componente più fine, rappresentata dai concentrati raccolti sul fondo del separatore di particelle. In tutti i campioni analizzati, la differenza tra quanto distribuito e quanto ritrovato in mangiatoia dopo 2,4 ore di cernita è sempre risultata significativa per la frazione più sottile (< 1,18 mm), mentre non lo è stato, se non occasionalmente, per le frazioni superiori. Ciò è, in parte, spiegabile con la scarsa trinciatura operata sulla razione che è risultata eccessivamente grossolana facilitando l'opera di cernita degli animali e confermando la necessità di introdurre dispositivi di gestione della trinciatura, non sempre ritenuti indispensabili (o possibili) nei sistemi automatici per l'unifeed.

4.3 Analisi del residuo in mangiatoia

Le osservazioni effettuate *de visu* e l'analisi soggettiva consentono di ipotizzare che il sistema robotizzato di alimentazione permetta di ridurre gli avanzi in mangiatoia, anche se non è in grado di riconoscere quando la mancanza di un residuo in mangiatoia sia da interpretare come scarsità di alimento disponibile, in contrasto con la tecnica unifeed e come si può notare dalla Tab. 6 dove, in alcuni orari soprattutto serali, il punteggio assegnato risulta 0 indicando che la mangiatoia è vuota, portando a possibili situazioni di stress per gli animali.

Tab. 6 – Quantità di residuo in mangiatoia valutato soggettivamente 15 minuti prima di ogni distribuzione di nuova razione nel corso di due giorni di osservazioni (d1 e d2).

Position in feed bunk from start (m)	Time (hh:mm)																					
	2.45		4.45		6.15		8.15		10.15		12.15		14.15		16.15		18.15		20.15		22.15	
	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2	d1	d2
5,0	-	0	1/2	0	1/2	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	0	0	1/2
12,5	-	1/2	1	1/2	1	1	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	0	0	0	1/2
20,0	-	0	2	0	1	1/2	2	1	2	1	1	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0	0	0
27,5	-	1/2	1/2	0	1/2	1/2	2	1	1	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	0	0	0	0	1/2
35,0	-	0	1/2	0	1/2	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1/2	1/2	1	0	1/2	0	0	0	0	0

Al contrario, in alcuni orari soprattutto alla mattina presto, la mangiatoia poco prima di una nuova distribuzione è risultata ancora parzialmente piena (fino al 50% della razione precedentemente distribuita) avendo fatto segnare un punteggio pari a 2 (cfr. valori in grassetto in tabella); ciò confermerebbe quanto si era ipotizzato in premessa e cioè che i robot per l'unifeed, operando secondo protocolli pre-impostati, possono evidenziare una scarsa capacità di adattamento, almeno con il livello di sviluppo tecnologico attuale, alle possibili variazioni giornaliere dell'allevamento (consumo da parte degli animali, composizione chimica degli ingredienti, ecc.). Come per altre tecnologie automatizzate, pertanto, il controllo da parte dell'allevatore rimane un fattore determinante di successo. Nel caso specifico, infatti, in condizioni normali, l'allevatore avrebbe aumentato manualmente il numero delle distribuzioni serali per evitare la mangiatoia vuota; avrebbe cioè azionato il robot affinché effettuasse una miscelata supplementare non programmata qualora si fosse accorto di un elevato consumo di alimento da parte delle vacche. Questa possibilità, in accordo con l'allevatore, non è stata presa in considerazione nel corso delle presenti prove per porre in evidenza anche gli aspetti limitanti.

4.4 Comportamento degli animali

Uno degli aspetti su cui la presente ricerca ha creato molte aspettative riguarda la possibilità che il robot per l'unifeed rappresenti uno stimolo a mantenere gli animali in attività e, pertanto, ad alimentarsi e farsi mungere, compatibilmente con il benessere e il comportamento standard di un ruminante. La decisione di utilizzare tre metodologie di analisi del comportamento

(videoregistrazione, accelerometri podali biassiali e accelerometri podali tri-assiali) ha inoltre consentito di comparare l'efficacia, la riproducibilità o l'eventuale complementarità metodologiche. I risultati di tale analisi sono stati presentati al termine del presente paragrafo.

I risultati delle scansioni a frequenza di 5 minuti confermano l'azione di stimolo operata dalla tramoggia robotizzata (Figure 44 e 45) evidenziando che le vacche, anche nelle ore notturne, hanno sempre visitato la mangiatoia, con indici di utilizzo della stessa anche > 90%.

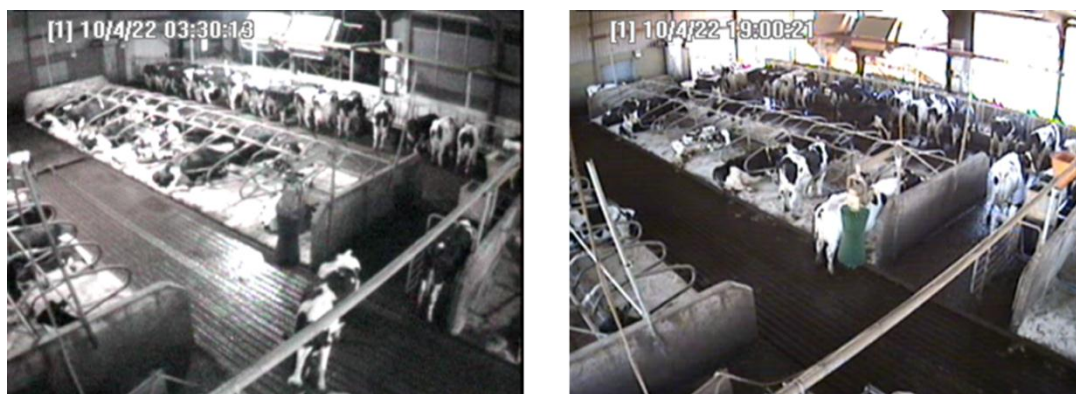


Fig. 44 e 45 – Analisi video, secondo la procedura “scan sampling” eseguita a intervalli di 5 minuti, delle distribuzioni robotizzate di unifeed. A sx la n. 1 di 11 e a dx la n. 9 di 11 effettuate nello stesso giorno. Da notare l'effetto di stimolo - sia durante l'orario notturno che durante quello pomeridiano - operato dal passaggio della tramoggia robotizzata lungo la mangiatoia e dimostrato dall'indice di occupazione della mangiatoia molto elevato.

Le Figure 46 e 47, infatti, dimostrano una rilevante correlazione ($r = 0,847$) tra gli episodi legati al transito della tramoggia robotizzata per l'unifeed secondo tre trattamenti principali di distribuzione di razione fresca o di semplice avvicinamento di quella già distribuita (quindi senza distribuzione di razione fresca), quali: push up = 0 kg di razione distribuiti; 1st distribution = 1x kg di razione distribuiti; 2nd distribution = 2x kg di razione distribuiti e l'indice di utilizzo della mangiatoia stessa, indicato come il rapporto tra gli animali presenti in mangiatoia e il numero totale di posti in mangiatoia disponibili.

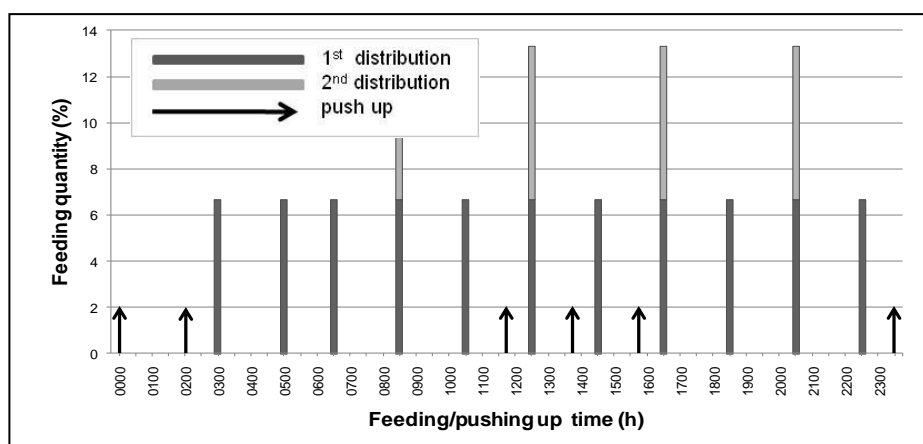


Fig. 46 – Orari di distribuzione della razione fresca (barre con singola o doppia quantità) e degli avvicinamenti della razione precedentemente distribuita (push up, frecce).

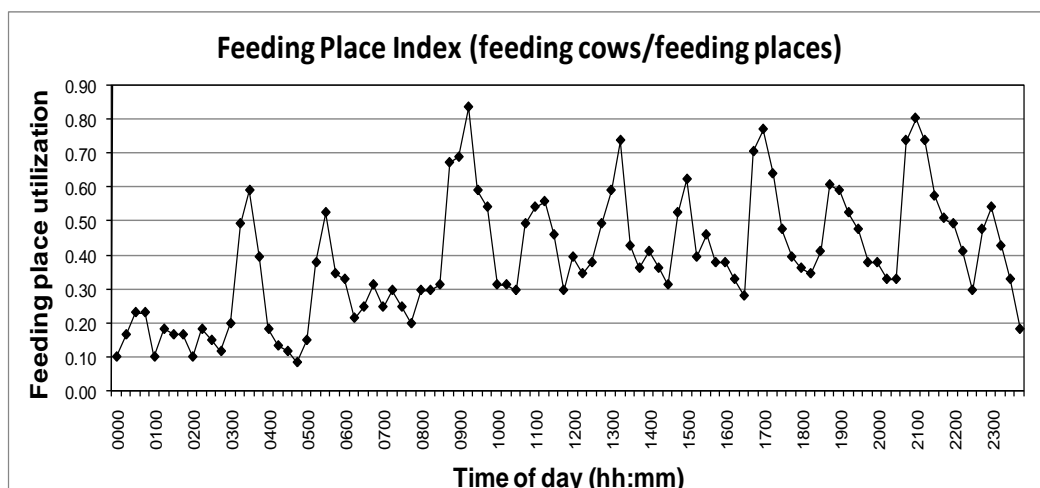


Fig. 47 – Indice di utilizzo della mangiatoia nelle 24 ore. I dati sono stati ottenuti scansionando le immagini videoregistrate e calcolando gli animali presenti in mangiatoia rispetto ai posti disponibili.

A parte le ore notturne, durante le quali le bovine hanno dimostrato una significativamente inferiore ($p < 0,01$) propensione a recarsi in mangiatoia (Fig. 48), si nota come ogni azione della tramoggia robotizzata, anche quella di semplice avvicinamento della razione già distribuita, provochi una risposta negli animali i quali sono stimolati a presentarsi in mangiatoia, anche se non contemporaneamente, fin dalle prime azioni di carico e ai primi rumori provenienti dal sistema robotizzato.

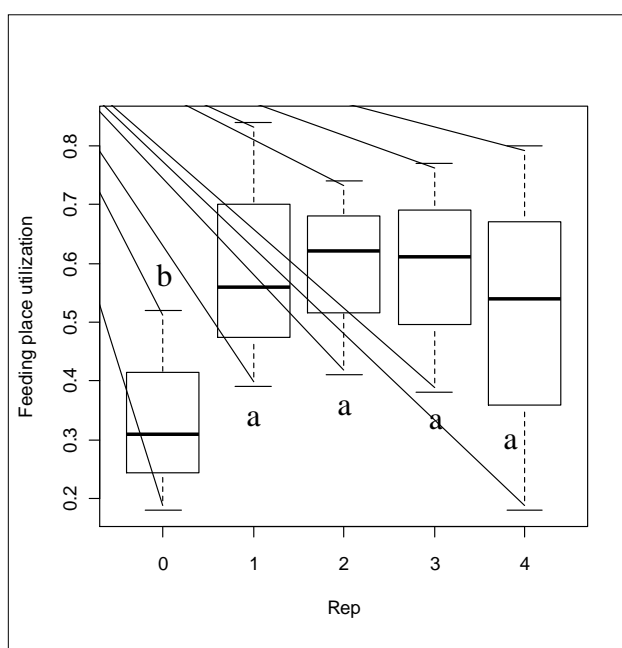


Fig. 48 – Effetto della successione temporale, per distribuzioni o per semplici avvicinamenti, dei transiti del vagone sul grado di utilizzazione della mangiatoia da parte delle bovine (Rep=repliche dei trattamenti in cinque intervalli temporali 0-4 della giornata).

Una delle più interessanti ipotesi che scaturiscono dalle presenti osservazione è che la mandria si sia suddivisa in più gruppi, ognuno con la propria gerarchia, e che ogni sub-gruppo visiti le strutture che più interessino, a propria discrezione.

Tuttavia, l'aspettativa che maggiormente si pensava venisse realizzata e cioè che vi fosse una maggior costanza nell'affluenza ai 2 box di mungitura durante le 24 ore, in realtà non si è verificata, come illustrato in Fig. 49, anche se non sono state ancora analizzate tutte le possibili cause.

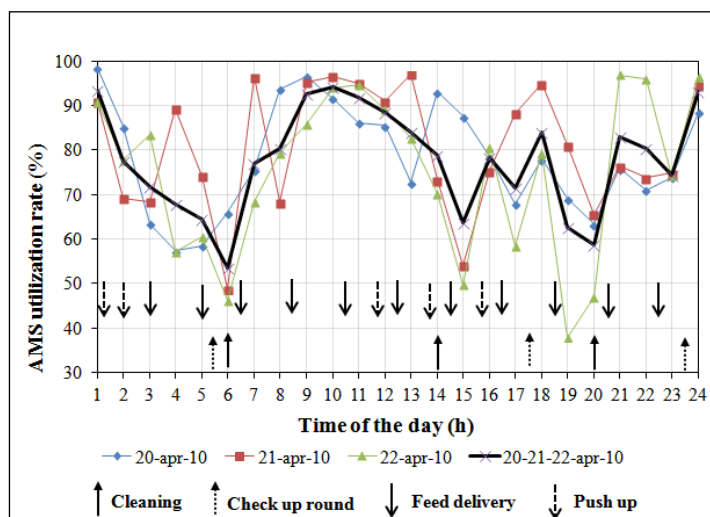


Fig. 49 – Livello medio di utilizzazione giornaliero dei due robot di mungitura nei giorni di sperimentazione del robot per l'unifeed (cleaning = lavaggio dei box di mungitura; check up round = visite dell'allevatore; feed delivery = distribuzione automatica unifeed; push up = avvicinamento della razione senza distribuzione)

Il grafico riporta la media di tutte le visite effettuate ai bue box. I sistemi automatici di mungitura, generalmente, considerano tre tipologie di visite: 1) per mungitura, andata a buon fine; 2) per somministrare concentrato, ma non per mungere; 3) per mungitura, ma non andata a buon fine (ad es.: fallimento dell'attacco del gruppo di mungitura, problemi causati dalla bovina, ecc.). Il sistema utilizzato per le prove era dotato di database per le tre tipologie di visite citate che sono pertanto tutte contabilizzate in figura.

Si nota come una delle cause più evidenti di bassa utilizzazione oraria dei robot di mungitura risieda nella loro interruzione per tre volte al giorno (alle 06:00, alle 16:00 e alle 20:00) per una durata di circa 25 minuti ad ogni intervento, durante le quali è programmato il lavaggio dell'impianto. Un primo, possibile miglioramento facilmente realizzabile potrebbe essere quello di sfasare gli orari di pulizia in modo da avere sempre almeno un box in funzione.

Inoltre, si nota un picco di utilizzo nelle ore centrali del giorno (dalle 07:00 alle 14:00 circa) seguito da un secondo picco nelle ore notturne. Tale andamento non è stato influenzato in modo significativo dalla distribuzione ad elevata frequenza di unifeed, come inizialmente si ipotizzava.

Tuttavia, analizzando separatamente i dati provenienti dai due robot di mungitura è possibile osservare la frequenza degli accessi al box di mungitura sia per l'effettuazione della mungitura sia per la somministrazione di una modesta quantità di mangime, ma senza che venga eseguita la mungitura; in quest'ultimo caso, infatti, il robot allontana la bovina dopo la somministrazione del mangime. Questa modalità di gestione dei robot di mungitura (che definisce, appunto, in letteratura "refusals" il rifiuto dell'animale da parte del robot dopo aver somministrato il mangime) viene spesso utilizzata sia per la prima famigliarizzazione delle bovine con il robot di mungitura, ma soprattutto per attrarle all'interno del box, favorendone la visita e, di conseguenza, aumentando la probabilità che gli animali si trovino all'interno del sistema robotizzato per poter finalizzare la mungitura. I dati sono esposti separatamente nelle Figure 50 e 51.

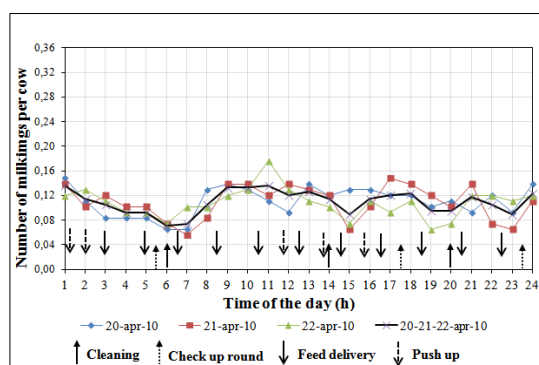


Fig. 50 – Visite per mungitura per capo

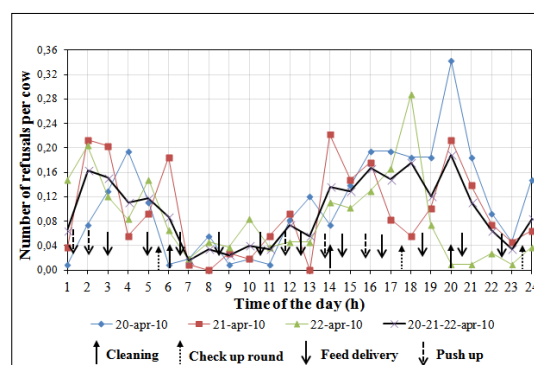


Fig. 51 – Visite per concentrato per capo (rifiuti)

Si nota che l'andamento delle visite per mungitura (Fig. 50) non si differenzia sostanzialmente da quello registrato per tutte le visite ai box (Fig. 49) e offre due ragioni principali per motivare i picchi negativi di accesso: 1) i ritmi circadiani preferiti dagli animali nella stagione in cui si è eseguito lo studio e 2) gli interventi di pulizia programmata dell'impianto.

Sostanzialmente diverso è, invece, l'andamento delle visite per somministrare di concentrato, ma in cui non vi è stata mungitura (Fig. 51). In tal caso, i box di mungitura sono utilizzati come veri propri auto-alimentatori e continuano a funzionare come tali anche durante gli interventi di lavaggio dell'impianto di mungitura. Si nota un sostanziale aumento degli accessi nelle ore pomeridiane con modeste depressioni della curva media di visita ai box in corrispondenza delle distribuzioni programmate di unifeed. Tale osservazione sembra richiedere degli approfondimenti sul presunto ruolo sinergico dei due sistemi automatici – di mungitura e di alimentazione – al fine di un'ottimizzazione dell'utilizzo degli spazi e degli impianti negli allevamenti bovini da latte rispettando i comportamenti naturali degli animali.

Infatti, uno dei principali dubbi che rimane ancora da chiarire, riguarda la possibilità che l'eventuale promozione di un'attività più intensa delle bovine mediante l'intervento di ausili tecnologici (fotoperiodo lungo, mungitura robotizzata, alimentazione robotizzata), possa creare problemi sanitari agli animali stessi (scarso periodo di riposo, eccessiva usura degli unghioni, problemi podali, fertilità, ecc.). A tal fine le registrazioni eseguite con gli accelerometri podali evidenziano una diminuzione delle ore di riposo, nella mandria osservata, rispetto a quelle di attività confrontate con i risultati riportati in letteratura.

L'articolo successivo riporta i primi risultati ottenuti nel corso dello studio, con le tre diverse modalità di registrazione del comportamento animale utilizzate.

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

G. Mattachini¹, E. Riva¹, C. Bisaglia², J. C. A. M. Pompe³, and G. Provolo¹

¹ Department of Agricultural and Environmental Sciences, Università degli Studi di Milano, 20133 Milano, Italy; Corresponding author: gabriele.mattachini@unimi.it

² CRA-ING, Laboratory of Treviso, 24047 Treviso, Italy;

³ Farm Technology Group, Wageningen University, 6708 PD Wageningen, the Netherlands.

[Submitted to Journal of Animal Science]

Abstract

Methods of assessing the behavioral activity of animals have changed in recent years for techniques that automate monitoring and recording. The objectives of this study were to determine the following: 1) how the use of different monitoring system can affect measuring the behavioral activity of dairy cows, and 2) the sampling intervals required to obtain reliable estimates of the daily behavior. To determine lying, standing, and walking, 12 cows were equipped with automatic recording devices (IceTag = 12 cows, HOBOPendant G = 5 cows), and their behavior was simultaneously recorded using a video recording system. The correspondence between the IceTag, HOBOPendant 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 were compared for 10 different sampling intervals (1 s, and 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, and 60 min) collected by the IceTag. 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 walking, with probability predictive values ≤ 0.303 . A strong relationship ($R^2 \geq 0.978$) was found between the total lying times from data on a per-second basis and estimates obtained by 1, 2, 3, 4, 5, 10, and 15 min sampling intervals. The sampling intervals of 1 and 2 min were comparable for all aspects of lying behavior ($R^2 \geq 0.813$; $P > 0.05$ for slope = 1, intercept = 0). Long sampling intervals (30, and 60 min) showed positive relationship for time spent lying and standing ($R^2 \geq 0.774$), but underestimating the daily number of lying bouts ($R^2 \leq 0.358$). The IceTag and HOBOPendant logger accurately measured all aspects of lying and standing behavior, but was unable to accurately represent locomotion behavior (walking). Reliable estimates of lying and standing time can be generated using less frequent sampling intervals (e.g., 10 min, 15 min or 30 min). Shorter sampling intervals (< 2 min) are required to accurately measure all aspects of lying behavior, and especially to estimating the number and duration of lying bouts.

Keywords: dairy cow, daily behavior, data loggers, accelerometer technology, video recording, automation of monitoring

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 and duration of lying bouts (Haley et al., 2000), and the laterality of lying behavior (Tucker et al., 2009) can indicate underlying changes in cow comfort and welfare. On-farm monitoring of cow behavior requires investments in labor, equipment, time and money, particularly when the number of animals per pen is high. Methods of assessing behavioral activity have changed in recent years for techniques that automate sampling. Recent developments in sensor technology, e.g., 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) or direct observation (Ledgerwood et al., 2010; Muller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; O'Driscoll et al., 2008). The sampling intervals had been chosen and validated by the authors based on the data logger features, the behavioral patterns assessed, or the type, objectives and structure of the experiment. In the literature, sampling intervals evaluated to record animal behavior have ranged from multiple readings per second to several minute. Ledgerwood et al. (2010) accurately measured lying behavior by data loggers when the sampling interval was ≤ 30 s. Mitlohner et al., 2001 showed that long scan samples 30 or 60 min are suitable for measuring lying time. However, more information about reliable sampling intervals can improve the knowledge on limitations and advantages for automated measuring of daily behavior

(especially lying) of dairy cows. The objectives of the current study were to determine the following: 1) how the use of different monitoring system (HOBO Pendant G, IceTag and video recording) can affect measuring the behavioral activity (lying, standing, and walking) of dairy cows, and 2) the sampling intervals required to obtain reliable estimates of the daily behavior of dairy cows.

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 Feeding

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, 2 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 187 ± 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 0000 h on April 20 to 2359 h on 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

To evaluate the accuracy of the electronic recording devices (i.e., IceTag and HOBO Pendant G) at determining lying, standing, and walking 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 ± 107 ; mean \pm SD) were randomly selected (excluding unhealthy cows) and equipped with 2D IceTag automatic recording devices (IceTag 2.004, IceRobotics, Edinburgh, UK). Five (parity 3.2 ± 1.2 , milk yield 35.6 ± 5.5 kg/d, DIM 160 ± 128 ; mean \pm SD) of these 12 cows were also equipped with an 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 buttocks to facilitate quick identification during the video recording analysis. Number of milkings, milking times, 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. 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 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). The IceTag devices measure and determine for each recording (1 s) the percentage of time the cows spent lying (LP), standing (SP) or walking (WP), and the number of steps based on sample frequency of 8 Hz. We followed the approach that Trenel et al. (2009) developed for calves and classified cow behavior for each recording (1 s) following the IceTag-recorded percentage thresholds for lying (LP $\geq 50\%$ of recorded time), standing (SP $\geq 37.5\%$ of recorded time), and walking (WP $\geq 50\%$ of recorded time). Finally, per-second and per-minute data were edited with filters to remove the effect of short, potentially erroneous readings of lying or standing events. These filters (event criterion) converted readings to the behavior preceding them (e.g., lying events bordered by standing) if they occurred ≤ 25 per-second and ≤ 2 per-minute in consecutive runs.

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 acceleration readings or internal logger events. The logger uses an internal 3-axis accelerometer with a range of $\pm 3 g$ (accuracy $\pm 0.075 g$ 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 uses a coupler and an optical base station with a USB interface 144 to transfer data to a computer. The 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 posture 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. Finally, data were edited with a filter in similar approach as for the IceTag devices: readings that lasted ≤ 2 minutes in consecutive runs were converted to the behavior preceding them. We did not analyze walking for this device because the 1 min sampling interval is considered too long for this purpose.

Video Recording. The behavior of the animals was continuously recorded by VRS for all duration of the study. The video surveillance system consisted of 4 infrared 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 4 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 4 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, and walking) of the cows 168 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, and walking as moving at least 3 legs forward in sequence. Standing behavior was further subdivided into feeding as head over or in the bunk, drinking as head over or in the water trough, 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) of different behaviors with 1 s accuracy, to compute frequencies and durations of each behaviors. 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), 193 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 determine 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 (bouts/d); the average, maximum and minimum lengths of lying bouts (min/bout); and number of steps (steps/d) for each of the 12 cows, for each of the 3 days, so for 36 replications. 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). Tukey's studentized range test was used to determine whether differences ($P < 0.01$) existed between sampling intervals. Estimates of total lying time, number of lying bouts, the mean, maximum and minimum lengths of lying bouts based on per-second data and estimates derived for each sampling intervals (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, and 60 min) were compared with linear regression (PROC REG of SAS). Additional test statements were included to evaluate whether slope = 1 and intercept = 0 ($P < 0.05$). As indicated by Ledgerwood et al. (2010), to recommend the sampling intervals to obtain reliable estimates of lying and standing behaviors, we suggest that these conditions must be respected: $R^2 \geq 0.90$ and no statistical difference ($P > 0.05$) from 1 and 0 for slope and intercept, respectively.

Results

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

Examples of the behavior (lying, laterality, and walking) of 1 cow, 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 by the dashed boxes. 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 walking 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 7.3 lying bouts was observed in the video data, with 6 to 10 lying bouts per cow. Across all 5 cows, the length of the shortest observed lying bouts varied between 6.7 min and 69.2 min, and the longest varied between 101 min and 196 min. 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 $NPV \geq 0.945$). The probability of correctly predicting lying and standing behavior was near 100%. In contrast, the IceTag device inadequately recorded walking at both frequencies of analysis (i.e., 1 s and 1 min). Walking 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 walking was low (approximately 25-30%).

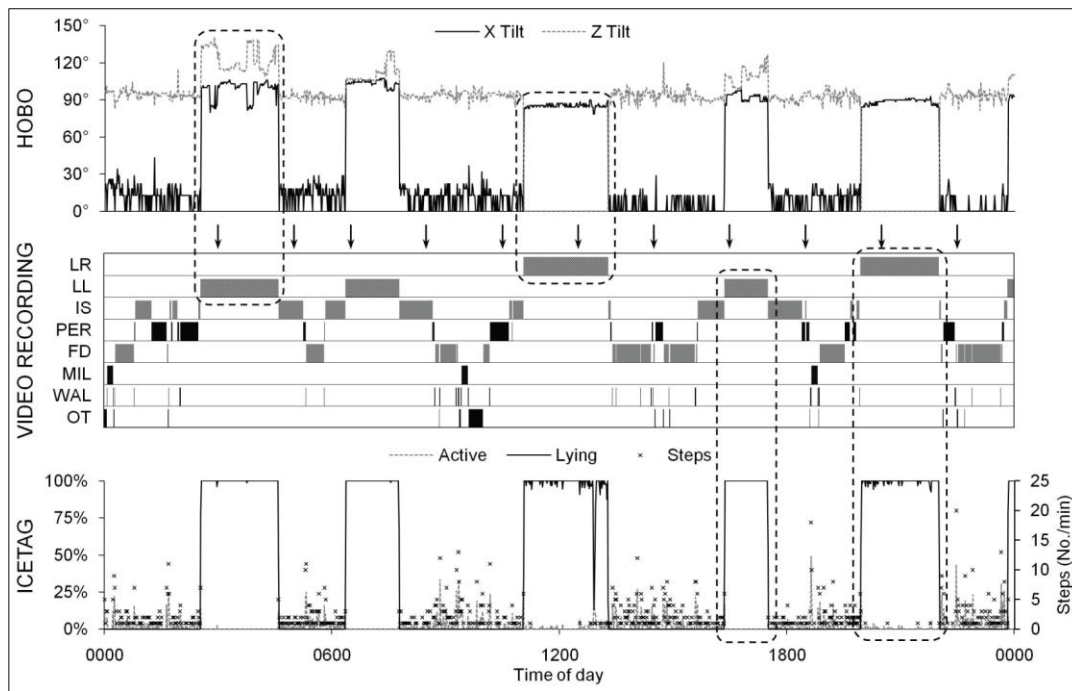


Figure 1. Daily activity pattern of 1 cow during a 24 h observation period recorded by video, IceTag and HOB0 with a sampling interval of 1 min. Behaviors recorded by video recording were as follows: time lying right (LR) and left (LL), standing (ST), and walking (WAL). Standing behavior included feeding, drinking, perching, idle-standing, and milking. 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 HOB0.

Table 1. Mean (μ) and standard error (SE) for the behaviors of 5 cows monitored by video recording system (VRS) and electronic recording devices (IceTag and HOB0) over the course of 24 h, with a sampling interval of 1 min

Behavior	VRS ($\mu \pm SE$)	IceTag ($\mu \pm SE$)	HOB0 ($\mu \pm SE$)
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		
Left side (h/d)	5.60 \pm 1.51		
Lying bouts (bouts/d)	7.33 \pm 0.76	7.33 \pm 0.76	7.33 \pm 0.76
Standing (h/d)	14.41 \pm 0.70	14.41 \pm 0.70	14.41 \pm 0.70
Walking (h/d)	0.54 \pm 0.09	0.54 \pm 0.09	
Steps (steps/d)		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, HOBOPendant 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 ($\mu \pm SE$)
IceTag ¹ -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
IceTag ² -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
HOBOPendant ² -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-HOBOPendant ³				
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

¹ With a 1^s frequency – number of observations 432,000

² With a 1^{min} frequency – number of observations 7,200

³ With a 1^{min} frequency, HOBOPendant G as gold standard – number of observations 7,200

Sampling intervals of the automatic recording devices.

Table 3 shows the influence of different sampling intervals on the assessment of several behavioral activities. A strong relationship ($R^2 \geq 0.978$) was found between the total lying times from data on a per-second basis and estimates obtained by 1, 2, 3, 4, 5, 10, and 15 min sampling intervals and no statistical difference ($P > 0.05$) was found from 0 and 1 for intercept and slope, respectively. Despite, the positive relationship between the estimates generated with the 30 and 60 min sampling intervals ($R^2 \geq 0.837$) a slope greater than 1 and an intercept significantly greater than 0 were found. A clear relationship was found between the standing times obtained from data on a per-second basis and those recorded by sampling intervals from 1 to 15 min ($R^2 \geq 0.955$; $P > 0.05$ for slope = 1, intercept = 0). As lying times, the long sampling intervals (30 and 60 min) showed high correlations but slope or intercept were significantly different from 0 or 1 ($P < 0.05$). The number of lying bouts obtained by sampling interval of 1 and 2 min showed a very strong correspondence ($R^2 \geq 0.921$; $P > 0.05$ for slope = 1, intercept = 0) with the values generated from sampling interval of 1 s. Instead, long sampling intervals (15, 30, and 60 min) highlighted a poor relationship ($R^2 \leq 0.587$), underestimating the daily number of lying bouts. A similar pattern was found for the mean length of lying bout; sampling intervals less than 5 min showed a relationship > 0.90 , whereas was found a very poor relation with sampling intervals of 30 and 60 min ($R^2 \leq 0.289$; $P < 0.05$ for slope = 1, intercept = 0). A poor relationship ($R^2 \leq 0.572$) was found between minimum length lying bout from data on a per-second basis and estimates obtained ≥ 3 min sampling intervals and slope or intercept were significantly different ($P > 0.05$) from 0 or 1.

Table 3. Influence of different sampling intervals on behavioral activity assessments; means, standard errors of the 500 mean (SE), Tukey's studentized range test, relationship (R^2) and significance of the slope and intercept differed from 1 and 0 for each behavioral activity recorded 502 by data loggers (IceTag) with different sampling intervals for 12 cows over a 3-d observation period

Item	Sampling interval									
	1 s	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	10.94 ^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	0.325	0.324	0.324	0.330	0.329	0.334	0.351	0.405
$Pr > t $	-	0.999	0.980	0.980	0.982	0.927	0.900	0.972	0.809	0.483
Time standing, h/d										
Mean	12.60 ^a	12.60 ^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	0.329	0.326	0.331	0.330	0.337	0.337	0.349	0.377
$Pr > t $	-	0.995	0.994	0.941	0.942	0.959	0.813	0.840	0.978	0.517
Lying bouts, No./d										
Mean	9.81 ^a	9.58 ^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	0.592	0.587	0.548	0.533	0.494	0.410	0.277	0.227
$Pr > t $	-	0.688	0.233	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	79.69 ^{ab}	82.61 ^{ab}	85.16 ^{ab}	86.76 ^b	89.44 ^{bc}	96.82 ^{bc}	106.98 ^d	122.37 ^{de}	146.68 ^e
SE	6.417	6.374	6.365	6.541	6.342	6.386	6.157	6.283	7.051	8.754
$Pr > t $	-	0.756	0.344	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	157.06 ^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	7.643	7.691	7.361	7.909	8.797	9.991	10.581	15.397
$Pr > t $	-	0.704	0.428	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	21.36 ^a	21.67 ^a	27.92 ^{ab}	27.33 ^{ab}	29.58 ^{ab}	35.00 ^{bc}	44.17 ^d	55.83 ^{de}	78.33 ^e
SE	4.555	4.523	4.524	5.276	5.098	5.146	4.428	4.51	4.653	5.767
$Pr > t $	-	0.813	0.480	0.010	0.004	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Steps, No./d										
Mean	1499.97 ^a	24.78 ^b	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	0.697	0.519	0.512	0.283	0.279	0.177	0.094
$Pr > t $	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

The maximum length of lying bout found by short sampling intervals < 5 min, showed no statistical difference ($P > 0.05$) from 0 and 1 for intercept and slope, respectively, but the coefficient of determination was ≤ 0.845 . The correlation about short sampling intervals and lying bouts, may be explained, in part, by a relatively low percentage of short (< 2 min) lying, that in the current study occurred $< 0.1\%$ of the total lying time and $< 3.5\%$ of the total lying bouts (data not shown, obtained from unfiltered per-second data recorded with IceTag). For the steps, all sampling intervals resulted in a slope greater than 1 or an intercept significantly greater than 0, and the number of steps per day was strongly underestimated.

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 (Muller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; Ledgerwood et al., 2010). The HOB0 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 HOB0 and IceTag were strongly correlated. The effect of positional application was tested by attaching a device (HOB0) on the left hind leg and the other (IceTag) on the right one. The comparison of the 2 devices showed no difference between the data from the left hind leg and those from the right hind leg, which indicates that there was no 293 positional effect. Muller and Schrader (2003) have shown a slightly lower correlation between the recordings of devices attached to different legs. Our results suggest that the positional application on the right or left hind leg should not be considered as influence on recordings. In the current study, walking was not well represented and was underestimated by the IceTag. The poor classification of walking events by the IceTag resulted in a very low ability (Se) and probability (PPV) for this behavior. Walking occupied only a small percentage of time and requires a more precise measuring method compared with lying and standing. This may be the reason for the low Se and PPV. The 2×2 contingency tables test on behavioral data indicated that only 30% of the walking events were correctly identified by the IceTag,

whereas the remaining 70% were not correctly measured. The total daily walking time assessed from video recording and IceTag was not statistically different. This is not necessarily a result of a poor accuracy of the IceTag to measure walking behavior but could also be a result of random effects due to the large variation in walking behavior between individual cows and other factors. Ternel et al. (2009) found that this device consistently overestimated walking behavior for calves. IceTag data loggers are able to measure lying time but are less accurate when assessing other behavior such as walking (Muller and Schrader, 2003; McGowan et al., 2007; White et al., 2008; Robert et al., 2009; Ternel et al., 2009) unless the sampling interval is extremely short, as 100 Hz (Scheibe and Gromann, 2006). de Passille et al. (2010) have shown that the sampling rate of 33 Hz 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, Ternel et al. (2009) could not identify walking in calves using a sampling rate of 8 Hz. The IceTag device provides measures of intensity of activity measured as percent active calculated on step basis, but does not directly measure walking. Direct use of the recorded number of steps per second to classify walking does, however, provide an inaccurate prediction. Cows may move their legs without actually moving the body, i.e. without walking, while lying (e.g., shifts in lying position), and while standing (e.g., grooming). On the other hand, a cow may walk so slowly that she is moving legs that are not equipped with a sensor so that no leg activity is recorded for 1 or more seconds. Thus, a direct use of the step count from the IceTag will not give an accurate estimate of walking, will probably vary between cows. This result serves to emphasize the points that data about walking in dairy cows, based on accelerometer-based automatic animal behavior recording devices, should be used with caution and that the methods for gathering such data need to be improved. In this study, to classify dairy cows as walking, we only used IceTag-recorded percentage threshold for calves ($WP \geq 50\%$ of recorded time) reported by Ternel et al. (2009). A more comprehensive algorithm supporting real time analysis of acceleration data in the 3 axes sampled at much higher sampling frequency, excluding lying periods and improving the filtering procedure, could be a more accurate way to estimate walking. The HOB0 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. Cows monitored by HOB0 logger spent more than 60% of time on the left side, but with significant variation between cows (1 cow spent 100% of lying time on the left side, whereas another individual spent 23% of lying time on the left side). 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 compared to data loggers provide a more complete 343 view of all behaviors 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 that a trained observer needed to analyze the behavior of 1 cow for 24 h was 8.4 h, compared with only a few minutes by these data loggers. 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 sources 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.

Each sampling interval should be carefully selected based on the objectives of the particular study and the behavior that is to be examined. The results of the current study show that sampling intervals with relatively short lengths (from 1 min to 15 min) were accurate and precise for measuring the daily amount of time spent lying and standing, in agreement with previous studies of beef cattle (Mitlohner et al., 2001) and dairy cows (Mattachini et al., 2011). Moreover, the results obtained indicate that also the long sampling intervals (e.g., 30 and 60 min) were appropriate for estimating the time spent lying and standing. This can be explained by analysis of the number of lying bouts and in particular by the mean bout length. In the current study, the mean lying bout duration was about 78 min, which is higher than the sampling interval of 60 min. This value of mean length allows long sampling intervals, such as 60 min, to identify the behavior and measure daily lying and standing time correctly. 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. The lying bouts, in particular the proportion of short lying bouts, is affected by several factors such as age, stage of lactation, housing design and management factors. The number of lying bouts estimated by the logger with sampling intervals of 1 and 2 min was very strongly correlated to values generated with intervals of 1 s. Long sampling intervals (> 2 min) were 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, the use of sampling intervals less than 2 min is recommended. The duration of the (lying) bouts determine which sampling and filtering method is appropriate. Tolkamp et al. (2010) indicated a minimum lying bout criterion of 4 min. Endres and Barberg (2007) ignored standing and lying bouts shorter than 2 min, based on the assumption that the readings could be associated with leg movements at the time of recording and not with a lying bout, e.g. when the cow lifted the leg on which the logger was attached. For the type of loggers and experimental conditions of the current study, editing methods based on filters to remove potentially erroneous readings of lying or standing events seems most appropriate. Application of the filtering method may have improved the information yield from the loggers considerably by providing valid information on the number and durations of lying and standing events in comparison with unfiltered data. Sampling interval and filtering method are closely related and together may have affected the accuracy of the information generated by the IceTag and the HOBO Pendant G.

Sampling intervals longer than 1 s produced incorrect results regarding the number of steps taken, and strongly underestimated 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. Scheibe and Gromann (2006) used a data logger with a frequency of 100 Hz to identify different movement patterns, whereas Pastell et al. (2009) measured gait features in dairy cows with a frequency of 25 Hz, and de Mol et al. (2009) utilized 50 Hz to distinguish steps of dairy cows. The ability of accelerometers to identify locomotion behavior patterns increases as a function of increased sampling rate (Moreau et al., 2009). However, it may not be feasible to accurately record steps over a long period because of the high sampling rate likely required (Trenel et al., 2009) and limitations associated with data storage.

Determining optimum settings for the device is critical before applying it in the field, as these modifications impact effective battery and memory life. Sampling 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 play a role in selecting the interval. The type and quality of the data logger will affect the resolution and amount of data that can be obtained. In conclusion, the IceTag and the HOBO Pendant G are time- and labor-saving tools that improve awareness of cow comfort related to lying behavior. Reliable estimates of lying and standing time can be generated using less frequent sampling intervals (e.g., 10 min, 15 min or 30 min). Shorter sampling intervals (< 2 min) are required to accurately measure all aspects of lying behavior, and especially to estimating the number and duration of lying bouts. Further development of data loggers will facilitate the collection of 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 418 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 Passille, 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.
- 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.
- 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 Passille, 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 Passille. 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.
- Krohn, C. C., and L. Munksgaard. 1993. Behaviour of dairy cows kept in 443 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 behavior: 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.
- Mitlohner, 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.
- Muller, R., and L. Schrader. 2003. A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 83: 247–258.
- 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. Hakojarvi, and L. Hanninen. 2009. A wireless 467 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. Agr.* 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.
- Trenel, 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 behavior 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.

4.5 Richieste di manodopera

Le richieste di manodopera sono state risultate molto differenziate in funzione dei due sistemi utilizzati. L'azienda infatti adottava un sistema automatico per le vacche da latte e un sistema convenzionale (carro miscelatore trainato) per la rimonta.

I tempi di lavoro sono riportati nelle tabelle 7 e 8. Si nota che il sistema automatico richiede solo tempi necessari al riempimento dei due sili temporanei meccanizzati (Fig. 52).



Fig. 52 – Le operazioni di carico dei sili temporanei per i foraggi che alimentano automaticamente il vagone miscelatore, possono essere eseguite ad orari flessibili e, in determinati periodi dell'anno, ogni 2-3 giorni, in funzione delle dimensioni della mandria e del volume dei sili.

I sili temporanei sono situati ad una distanza media di circa 160 m dai sili a trincea di stoccaggio di mais ed erba, influenzando sui tempi totali di lavoro.

Come si nota i tempi di lavoro risultano superiori nel sistema automatico in quanto le dimensioni dei sili temporanei da riempire sono superiori. Inoltre, nel caso preso in esame, il posizionamento dei sili temporanei sotto una tettoia mal dimensionata e le dimensioni della benna per il carico del silomais, determinano una dilatazione dei tempi di carico dovuta all'attenzione che è necessario prestare in tali operazioni. Tuttavia, l'orario in cui eseguire le operazioni di carico può essere deciso dall'operatore, ma soprattutto tale operazione può essere eseguita – per lo meno nel periodo invernale – ogni tre giorni con una media giornaliera ipotetica di 836,6 s/d, corrispondente, nel caso in esame, a 7,8 s/capo/d.

Tab. 7 – Tempi di lavoro e operazioni da svolgere per il funzionamento del sistema automatico

Parametro	Principali componenti operativi per il sistema automatico										
	Durata totale (s)	Silo erba, andata	Carico silo erba	Silo erba, ritorno	Scarico silo erba	Silo mais, andata	Carico silo mais	Silo mais, ritorno	Scarico silo mais	Cambio attrezzo	Al parcheggio
Riempimento sili temporanei	2510	374	305	448	676	65	55	76	135	307	69
Frequenza	2	10	13	13	13	4	4	4	4	4	5
Media	1255	37,4	23,5	34,5	52,0	16,3	13,8	19,0	22,8	76,8	13,8
DS		2,5	12,4	3,53	13,21	0,96	1,71	1,15	2,87	21,1	2,49

Inoltre, ulteriori margini di miglioramento possono essere ipotizzati migliorando il lay-out degli stoccaggi (sia fissi sia temporanei) già in fase di progettazione o di ristrutturazione del complesso aziendale, prevedendo minori distanze da percorrere tra i silo fissi di stoccaggio e i silo temporanei o maggiori volumi del sistema utilizzato (nel caso oggetto della prova, due benne su caricatore telescopico da 1,4 e 0,54 m³ di capacità rispettivamente per il prelievo di silo mais in blocchi e per il siloerba) purché compatibili con le dimensioni dei silo temporanei stessi.

Tab. 8 – Tempi di lavoro e operazioni da svolgere per il funzionamento del sistema convenzionale

Parametro	Principali componenti operativi per il carro trinciamiscelatore							
	Durata totale (s)	Avvio e posizionamento	Carico silo erba	Carico silo mais	Spostamento carro	Carico mangimi	Miscelazione e scarico in mangiatoia	Fine operazioni e parcheggio
Preparazione distribuzione unifeed	851	339	64	71	84	65	83	145
Frequenza	1	12	2	3	3	3	2	5
Media	851	28,3	32,0	23,7	28,0	21,7	41,5	29,0
DS		6,72	5,66	3,06	4,58	7,57	0,71	7,35

Al contrario, l'utilizzo del carro miscelatore deve avvenire ad orari prestabiliti e giornalmente con un'incidenza analoga (851,0 s/d) corrispondenti a 7,9 s/capo/d per quanto riguarda i tempi di lavoro in cui la manodopera è impegnata; tuttavia, in quest'ultimo caso le richieste di manodopera assumono un'elevata rigidità per quanto riguarda l'impegno giornaliero che non può essere differito oppure, in caso di necessità, deve essere demandato ad altro operatore con la conseguente maggiorazione del costo relativo.

CAPITOLO 5. ANALISI ECONOMICA

Qualora la tecnica di alimentazione unifeed con sistemi automatici dovesse affermarsi, la conversione tecnologica potrebbe prevedere:

- i) aziende che non hanno mai utilizzato l'unifeed e che passano direttamente ai sistemi automatici, soprattutto per ragioni di convenienza sociale (piccole aziende famigliari, aziende montane in aree economicamente avvantaggiate, costo elevato della manodopera, eventuali patologie limitanti l'azione lavorativa);
- ii) aziende che già utilizzano il razione unifeed con sistemi convenzionali (carri trincia miscelatori trainati o semoventi) che decidono di adottare sistemi automatici per l'unifeed eventualmente in quanto già dotate di sistemi robotizzati per la mungitura.

In entrambi i casi è necessario effettuare un'analisi della convenienza economica dell'investimento anche se, qualora subentrassero ragioni di tipo sociale, come visto in precedenza, la convenienza economica sarebbe di scarso interesse o, tutt'al più, potrebbe essere accettabile anche un pareggio rispetto ai costi della tecnologia convenzionale purché sia possibile risolvere il problema tecnico correlato.

Volendo approcciare una prima stima di carattere economico, si devono fare due ipotesi preliminari che scaturiscono dalle osservazioni effettuate:

1. che l'automazione provochi un miglioramento dell'efficienza alimentare (maggior ingestione di s.s., minori disturbi metabolici, minori sprechi in mangiatoia) con una conseguente maggior produzione di latte e, di conseguenza, di reddito investibile in tecnologia;
2. che l'automazione provochi una riduzione della manodopera e del relativo costo, liberando risorse da investire in tecnologia.

Una prima valutazione di tipo economico è stata effettuata dal candidato, simulando l'introduzione di un sistema automatico per l'unifeed del tipo a vagone miscelatore sospeso su rotaia, dotato di sili temporanei meccanizzati a blocchi in un allevamento bovino da latte della Pianura Padana dotato di un sistema automatico per la mungitura e di un carro trincia miscelatore a coclea verticale per la distribuzione della razione unifeed.

A simulated comparison between investment and labour requirements for a conventional mixer feeder wagon and an automated total mixed ration system

Carlo Bisaglia¹, Giacomo Pirlo², Maurizio Capelletti²

¹ CRA-Unità di ricerca per l'ingegneria agraria, via Milano 43, 24047 Treviglio (BG), Italy, e-mail: carlo.bisaglia@entecra.it

² CRA-Centro di ricerca per le produzioni foraggere e lattiero-casearie, via Porcellasco 7, 26100 Cremona, Italy

In: Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering & Industry exhibition AgEng 2008 "Agricultural & Biosystems Engineering for a Sustainable World", 23-25 June, Knossos Royal Village, Hersonissos, Crete (Greece), CD-ROM archive nr. 1176474, p. 1-7 (CAB Abstracts accession number AN 20083323315).

Abstract

Total Mixed Ration technique (TMR) has shown to be the feeding method closer to the physiologic requirements of ruminants. For this reason its use has become very popular for dairy cows, even if extra pieces of – generally expensive – equipment are needed. Feeding a TMR means offer to cows, once or twice a day, a balanced ration as sole source of feed that remains available *ad libitum* or, at least, 20 hours daily. Feed should be pushed up several times in front of cows to stimulate them to move up and assume further feed. Recently, feeding robots have become available allowing high frequency feeding with TMR. Chief objects of these systems can be considered the potential increasing of cow's dry matter intake – and consequently the milk production - and the reduction of labour requirements. As these systems have not been yet introduced in Italy, a cost-benefit analysis has been performed to estimate the investments required and the labour involved when the shifting from a conventional tractor-pulled mixer wagon TMR system to an automated TMR feeder (autoTMR) is considered. The study suggests that adding an autoTMR system to existing facilities seems to be justified economically whit herds of 150 cows or larger; more experimental studies on system reliability, cows dry matter intake, milk production, comfort and wellness are needed.

Introduction

Feeding dairy cows with Total Mixed Ration technique (TMR) has become very popular in Western Countries thanks to its most efficient cows physiologic requirements fulfilment in comparison with other feeding techniques (Formigoni and Piva, 1996) and to its labour demand reduction (Amaral-Phillips *et al.*, 2002). The availability of several types of mixers, both in their mobile or stationary version, has allows farmers to meet quite perfectly the needs of incorporate a wide range of conserved feeds (chopped or long-stemmed forages, whole crop silages, grains, supplements, etc.) in an ideally balanced blend of nutrients.

Nevertheless, some managing difficulties and some new challenges arisen since the introduction of automatic milking systems (AMS) make the development of novel automatic TMR feeding systems (autoTMR) to become interesting (Tamaki, 2002).

Two strategies seem to be actually viable: *i*) individual-focused autoTMR systems and *ii*) group-focused autoTMR systems. The first option is, at present, at its experimental stage and it was thought especially considering the consequences of individual milking frequency provided by the AMS; the second is already at its commercial stage after first three-years about of market evaluation period. These last autoTMR systems for groups, on their turn, can be divided into two main categories: *i*) systems with a stationary chopping-mixing hopper up to 35 m³ nominal volume and a robotic self-propelled feeding unit, and *ii*) systems with up to 8 feed stations and a robotic self-loaded, self-propelled chopping-mixing-feeding unit.

In both the cases, the robotic unit features a small volume of 3-5 m³ with a high frequency of distribution of about 10-14 times variously stepped during the 24 hours.

Shift to an automated TMR feeding system requires expensive investments even if a quite wide range of models different in complexity and cost became to be available on the market. On the other hand, robots seem to require less room and power than a standard tractor-pulled mixer wagon, but the effect of feeding frequency on the performances and on the behaviour of dairy cows has been and is still debated (Noeck and Braund, 1985; Kudrna, 2003; Mäntysaari *et al.*, 2006). For these main

reasons, more investigations are needed both on the physiological, the fermentative and the economic consequences of adopting the automated TMR feeding technique in different Countries and in different seasons and climates.

Objective

In order to consider the investment requirements and the managing benefits, if any, of an autoTMR system in North-western Italy conditions, a comparative analysis between a conventional, vertical auger trailed mixer arrangement and a fully automatic TMR system with self-loaded, self-propelled chopping-mixing-feeding unit has been performed.

Material and methods

The desk study was carried out considering the experiment barn for dairy cows of the CRA-Research Centre for Forages Production and Dairy Industry, Cremona, Northern Italy.

The barn was loose-type with 120 lactating cows divided into two groups and 35 heifers. The cows were milked with two AMS, single box units with an average milk production of 8540 kg cow⁻¹ year⁻¹. The standard feeding procedure foresees one TMR feeding per group and per day in the morning (starting at 8:00 a.m.) provided by an 11 m³ nominal volume trailed mixer wagon fitted with a single, vertical centred auger. A 4WD, 74 kW nominal power tractor was dedicated to operate the wagon; a second tractor fitted with a front loader was used for loading hay. The ration composition was described in Figure 1 having, when prepared and mixed, a volume mass of 270 kg m⁻³ at 50% dry matter (DM).

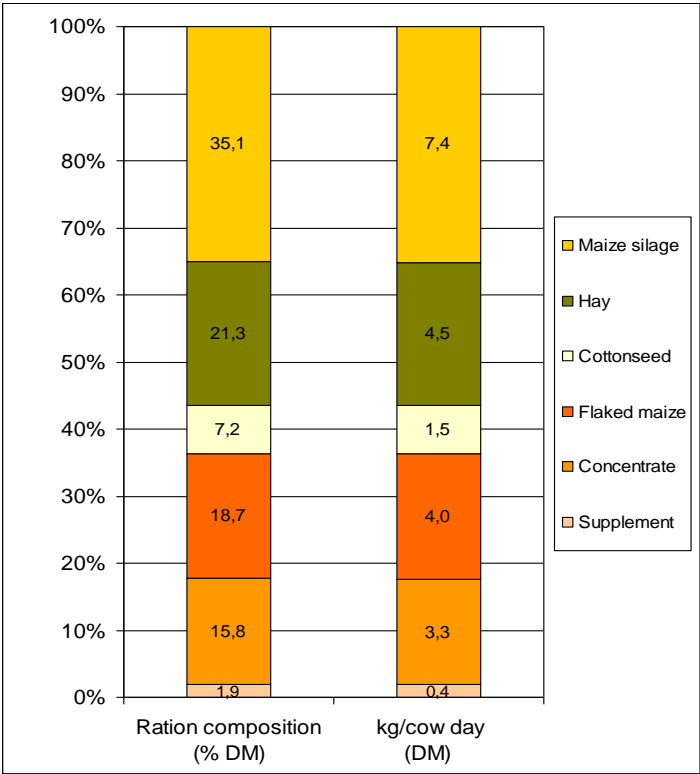


Figure 1 – The basic TMR composition considered.

To set up the ration, a horizontal silo for maize silage, a storage structure for baled hay and grains, two vertical silos for concentrates and the relevant loading/filling devices were needed. The autoTMR system considered for the comparison (the Triomatic system, manufactured by Trioliet Mullos S.V., Oldenzaal, the Netherlands) featured a self-loaded device with up to 8 feed stations (3 were considered for this study) and a self-propelled chopping-mixing-feeding unit 3 m³ nominal

volume, 2 vertical augers. The mobile feeding unit was suspended on an overhead rail and moved independently. The whole system was electrically powered with a total capacity of 8 kW. The system described offers the possibility of varying the ration a great number of times per day according with the groups or the seasonal needs. The feeding frequency has been established using the following equation proposed by Bisaglia (Bisaglia, 2000) and considering a maximum number of 36 feedings day⁻¹ as the limit of the system preset by the manufacturer:

$$n = \frac{Gs \cdot Iq \cdot 100}{Rvm \cdot Vn \cdot Rv} \quad (1)$$

where:

- n = number of daily feedings (n. day⁻¹);
- Gs = Group or herd size (n.);
- Iq = Ingested quantity (kg cow⁻¹ day⁻¹);
- Rvm = Ration volume mass (kg m⁻³);
- Vn = Feeder nominal volume (m³);
- Rv = Ratio of feeder nominal volume effectively used (%).

Results

The capital investment for the autoTMR system has resulted 60.7% greater in comparison with the conventional tractor-pulled feed-mixer wagon (Figure 2) because of the fixed plant implementations needed – as the rails mounting into the barn with the relevant supports and the fixed feed stations – and the higher level of automation and control offered. The management of the system is made via a touch screen computer. The saving of space for the feed passage allowed by the autoTMR system could lead to a certain cutback in building cost but it was not taken into account in the present evaluation even if it could be considered in designing new barns. The feeding frequency (Figure 3) and timing can be imposed resulting an interesting option for an AMS barn in order to stimulate the cow traffic through the robot unit, but it could be remarkable also for a traditional barn; in summer time, for example, the feeding procedure can be planned only for the cooler hours during the day preventing that feed fermentation could start during the summer hottest hours.

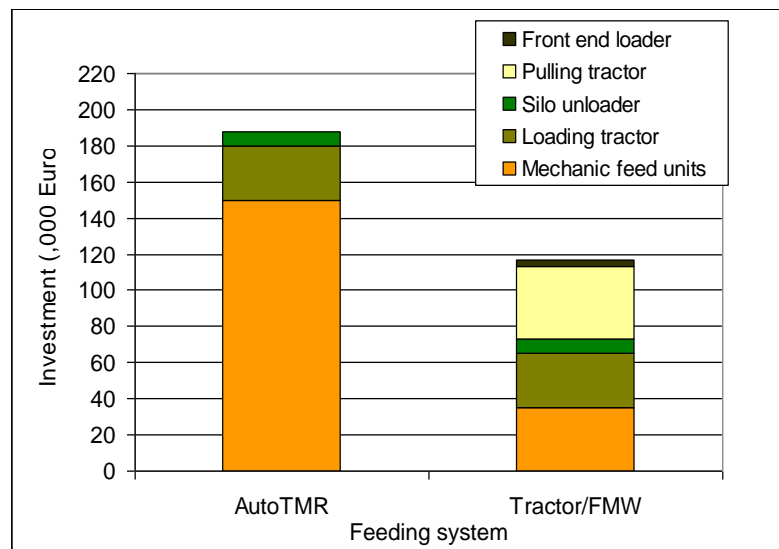


Figure 2 - Investment required for autoTMR and tractor pulled feeder-mixer-wagon (FMW) feed systems.

Feeding frequencies of 10 actions day⁻¹ group⁻¹ for the cows and 3 actions day⁻¹ group⁻¹ for the heifers have been considered calculating that a mixing volume of 80% of the stroke volume has

been considered both for the standard and the for the automated feeding units (8.8 and 2.4 m³ respectively).

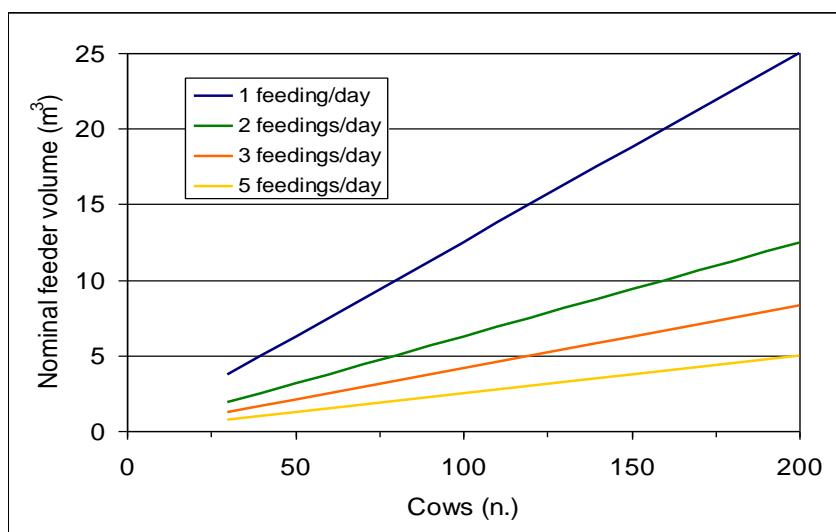


Figure 3 – Relationship between the number of cows to be fed and the TMR volume on the feeding frequency.

The possibility of adjusting the feeding frequency could also cover a variation in the cow's number without requiring the change of the mixer nominal volume. Changes in the ingredients DM content, particle size assessment, weighting precision have to be strictly monitored in both the systems in order to prevent any variation in the delivered feed. Only the labour needed for the TMR preparation was considered (Figure 4).

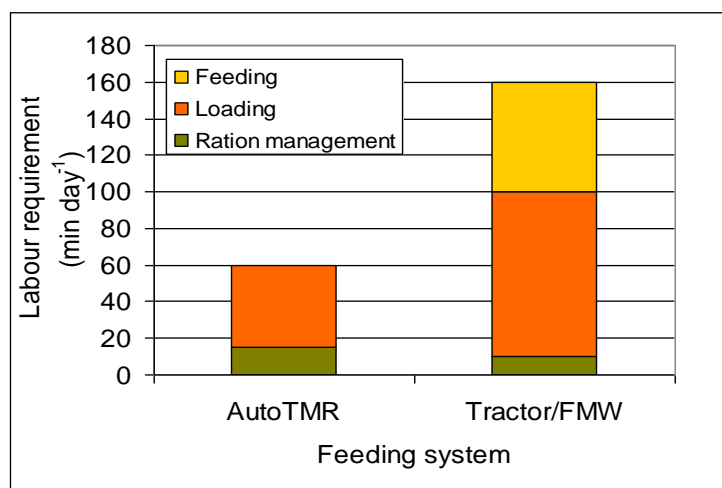


Figure 4 – Daily working-time requirement.

For the ration management time was considered only the time used for the daily control of the feeder-mixer wagon electronic scale or the automatic system touch screen computer. The automatic system did not implicated labour requirement for feeding, but the work for loading the three buffer units was considered a little more time consuming in comparison with the conventional system.

The energy consumption was estimated taking into account the feeding frequency adopted and the machinery involved. The automatic system shows a lower energy consumption of about 40% even if the feeding frequency was higher.

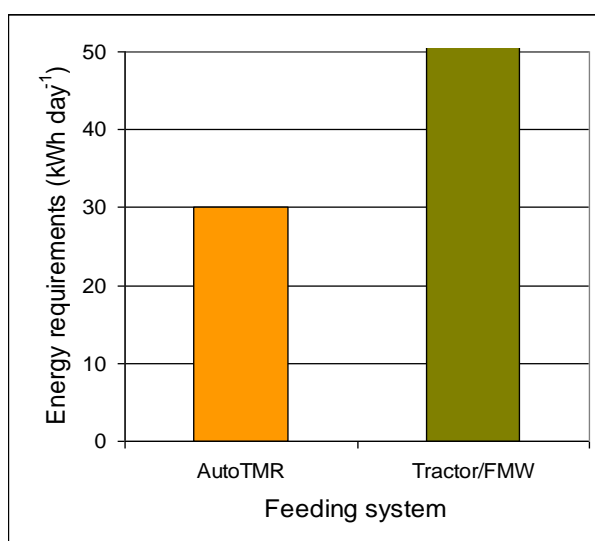


Figure 5 – Daily energy requirements for the automatic and the tractor pulled feed systems.

For what concerns the milk production, more experimental confirmations associated to the feeding frequency are needed; some hypothesis are shown in Figure 6.

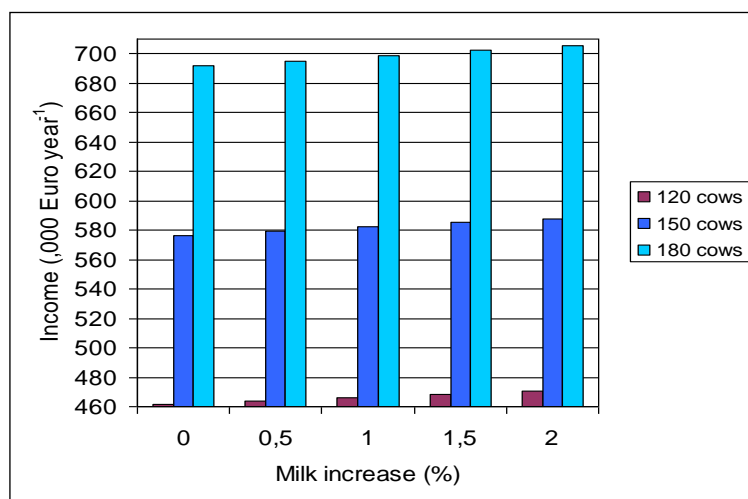


Figure 6 – Attributable incomes for estimated milk production increasing of 0.5 to 2.0 %.

As it can be see, the economical viability for an automated TMR feeding system seems mainly related, at present, to the dimension of the herd than to the milk yield increasing.

Conclusion

The objective of this study was to estimate the impact of investments for changing from a TMR to an autoTMR feeding system in a 120 dairy cows unit. This alternative is recently appeared on the North European market and was considered taking into account the claimed possibilities of a fully automation of the feeding operations and an expected stimulating effect on cows with consequent higher daily dry matter intake. Despite the initial capital investment and despite the maintenance costs and depreciation as other possible variables have not been taken into account in this study, an autoTMR systems for groups seems to represent an innovative way to reduce labour requirements and improve quality and consistency of work when feeding TMR. Further researches are needed to take into account the durability and reliability of the system, the cow's milk production, behaviour and welfare and the TMR quality both on a microbiological and a chemical-physical point of view.

References

- Amaral-Phillips D.M., Bicudo J.R., Turner L.W. Feeding your dairy cows a Total Mixed Ration: getting started. 2002, Cooperative Extension Service, University of Kentucky, College of Agriculture. On-line publication (ID-141A).
- Bisaglia C. Criteria for the choice and use of mixer carts (Criteri di scelta e d'impiego dei carri trinciamiscelatori). *L'Informatore Agrario*. 2000, 56(21), 35-43.
- Formigoni A., Piva A. Feeding management and bovine milk quality. *Zootecnica e nutrizione animale*. 1996, 22(4), 251-257.
- Kudrna V. Effect of different feeding frequency employing Total Mixed Ration (TMR) on dry matter intake and milk yield in dairy cows during the winter. *Acta vet. Brno*. 2003, 72:533-539.
- Mäntysaari P., H. Khalili, J. Sariola. Effect of feeding frequency of a Total Mixed Ration on the performance of high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci*. 2006, 89:4312-4320.
- Noeck J.E., Braund D.G. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate and milk yield in first lactation. *J. Dairy Sci*. 1985, 68:2238-2247.
- Tamaki K. Livestock management with "relaxation" for both humans and domestic animals (4)-III. Development and utilization of full-automatic TMR preparation and feeding equipment. *Animal Husbandry*. 2002, 56(10):1065-1070

PRIME PROBLEMATICHE EMERSE E CONCLUSIONI

L'alimentazione unifeed è diventata una pratica comune nelle aziende da latte come conseguenza dei benefici per gli animali e la riduzione della manodopera per gli allevatori.

Caratteristici di questo sistema di alimentazione sono i carri miscelatori – trainati o semoventi – condotti da un operatore. Accanto ai vantaggi di questa tecnica, la principale restrizione è quella di non discostarsi molto dalle tecniche di alimentazione *ad libitum* più tradizionali che si limitano a fornire alimenti una o al massimo due volte al giorno, ma non consentono alcun controllo sulle modalità di ingestione della s.s. Durante gli ultimi 3-5 anni stanno crescendo di popolarità alcune tecnologie per alimentare automaticamente gli animali con razioni unifeed. Quasi 20 costruttori stanno proponendo differenti concetti di robot per l'unifeed mentre circa 400-500 aziende zootecniche hanno già adottato questa tecnologia principalmente in Nord Europa, Canada e Giappone.

I costruttori offrono un ampio ventaglio di soluzioni tecniche. Alcuni dei più importanti aspetti che caratterizzano questi sistemi comprendono la possibilità di distribuire la razione ad elevata frequenza, controllare il tempo di alimentazione, stimolare l'attività delle bovine e gestire la composizione della razione giornaliera con l'obiettivo di controllare i ritmi e i quantitativi di s.s. ingerita.

Le possibilità di gestione e la qualità del lavoro sembra essere fortemente influenzata dalle soluzioni tecniche oggi disponibili. La tesi, dopo un'analisi delle problematiche legate all'alimentazione delle bovine da latte, presenta una panoramica sui sistemi oggi reperibili e propone una prima classificazione dei differenti concetti di robot per l'unifeed; inoltre, presenta i risultati di un'indagine sul possibile impatto che tale tecnologia può avere in allevamenti commerciali e illustra alcuni risultati sperimentali sulle principali prestazioni - in termini di uniformità di miscelazione, omogeneità fisica della razione, cernita operata dagli animali, richieste di manodopera - emersi da prove condotte in un allevamento bovino da latte totalmente automatizzato.

Infine, presenta un'ipotesi sulla valutazione e convenienza economica dell'investimento in tecnologie automatiche per l'unifeed.

Tra le prime problematiche emerse, le seguenti quattro sembrano attualmente prive di evidenze sperimentali e di soluzioni adeguate e sembrano richiedere ulteriori indagini:

1. i sistemi automatici attuali, nella maggioranza dei casi, non presentano dispositivi di valutazione dello stato di riempimento della mangiatoia, ma eseguono la distribuzione a orari programmati con il rischio, in talune circostanze, che la mangiatoia possa risultare e rimanere vuota fino alla distribuzione successiva, se non a seguito di un intervento dell'allevatore con comandi manuali;
2. alcuni tra i sistemi automatici attuali non presentano dispositivi per la gestione della lunghezza di trinciatura della razione; in alcuni casi la presenza di lame all'interno di vagoni di bassa potenza alimentati a batterie non consentirebbe il corretto funzionamento del vagone stesso a seguito delle elevate richieste di potenza delle operazioni di trinciatura, in particolare di erba insilata e fieni. In altri casi, il posizionamento di dispositivi di trinciatura regolabili posizionati lungo il processo di preparazione della razione, non è stato previsto ;
3. una possibile correlazione, da confermare, tra l'elevata frequenza di alimentazione – con il conseguente stimolo all'attività delle bovine – e il riposo è ipotizzata in Figura 53. L'andamento illustrato, realizzato da dati provenienti dalla presente sperimentazione e da altri autori (Matachini, comunicazione personale, 2010), sembra indicare una possibile diminuzione delle ore di riposo all'aumentare della frequenza di distribuzione dell'unifeed;
4. possibili fermentazioni indesiderate sarebbero state recentemente riscontrate da alcuni autori (Nydegger e Grothmann, 2012) all'interno di alcune tipologie di sili temporanei durante il periodo estivo. Tale effetto sembra correlato con una minor ingestione di s.s. da parte degli animali ed è stato ipotizzato osservando l'andamento delle temperature dei foraggi all'interno di sili temporanei che lo conservano sciolto oppure compresso in blocchi. Nel primo caso, la maggior infiltrazione di ossigeno all'interno della massa di foraggio sarebbe responsabile del repentino innalzamento della temperatura dovuto alla ripresa delle fermentazioni aerobiche dei foraggi insilati (Fig. 54).

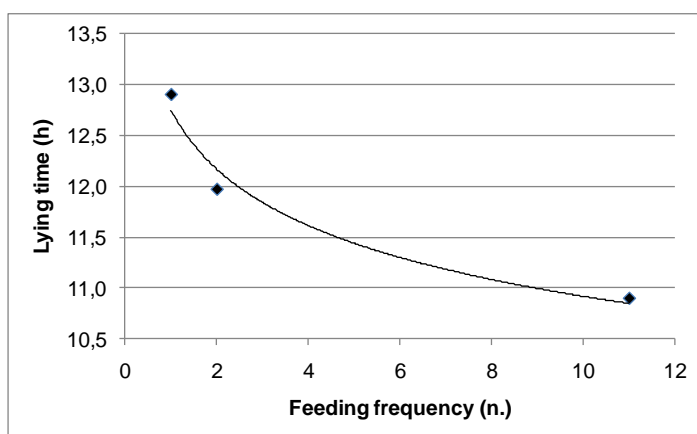


Fig. 53 – Possibile correlazione tra l'aumento della frequenza di distribuzione dell'unifeed e la diminuzione delle ore di riposo giornaliere in vacche da latte.

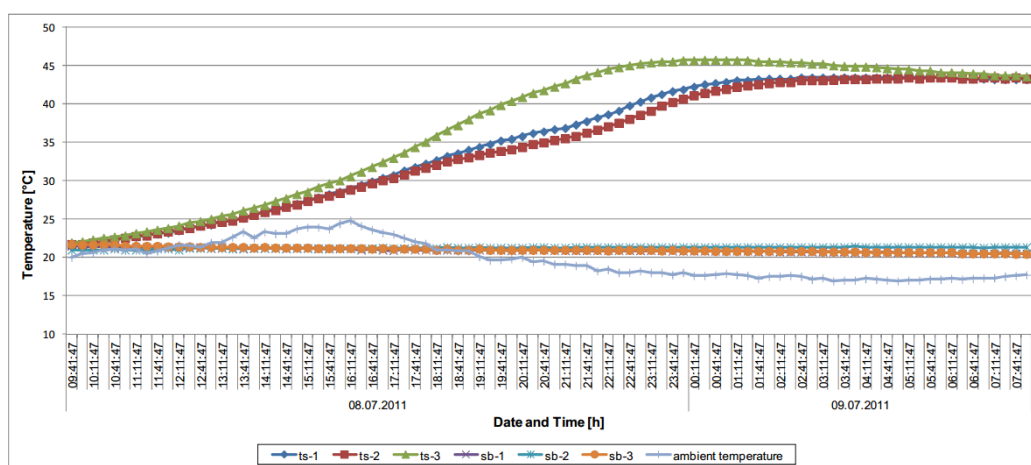


Fig. 54 – Andamento della temperatura di insilato di mais conservato in due tipologie di sili temporanei per sistemi automatici per l'unifeed: sili temporanei riempiti con prodotto sfuso (ts), sili temporanei riempiti con prodotto compresso in blocchi (sb).

Tali aspetti fanno propendere per ulteriori ricerche tese ad approfondire la convenienza non solo in termini di risparmio di manodopera della tecnologia indagata, ma anche - e soprattutto - in termini di benessere animale e salubrità delle produzioni in particolare negli ambienti zootecnici italiani dove tale tecnologia è, ad oggi, del tutto assente.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata possibile grazie anche all'attivazione di un programma di scambi internazionali promosso dal CRA, su finanziamento del MiPAAF ed alla partecipazione dell'Università di Wageningen, Farm Technology Group, Olanda, che ha accettato la mia richiesta di collaborazione semestrale.

Il lavoro non sarebbe stato possibile senza la cooperazione delle aziende zootecniche e dei costruttori di sistemi automatici con cui ho avuto il piacere e l'onore di collaborare. Ho apprezzato enormemente l'ospitalità degli allevatori olandesi e delle loro famiglie.

Ringrazio per le informazioni fornitemi Franz Nydegger e Anne Grothmann dell'ART di Tänikon, Svizzera, con cui si è iniziato a ragionare a ragionare di automazione dell'unifeed, la professoressa

Hanneke Pompe dell'Università di Wageningen, Olanda, per la straordinaria accoglienza, per l'aiuto nell'organizzazione delle varie fasi dell'attività, per la revisione scientifica di tutti i manoscritti realizzati e per l'ospitalità della sua famiglia, gli studenti e colleghi Zacharie Belle dell'ISARA di Lione, Francia e Gijsbert van den Berg dell'Università di Scienze applicate di Dronen, Olanda, che hanno condiviso le attività di indagine presso le aziende olandesi, il dr. Gabriele Mattachini dell'Università di Milano per la consulenza sul benessere animale e per la realizzazione della strumentazione per la videoregistrazione utilizzata durante l'indagine sperimentale, ma soprattutto per non aver esitato a rispondere all'appello di aiuto nell'esecuzione delle sperimentazioni in Frisia, i colleghi dr. Elio Romano e dr. Massimo Brambilla del CRA-ING di Treviglio per il prezioso e fondamentale supporto nelle elaborazioni statistiche e nella gestione dei documenti e del manoscritto.

Infine, il prof. Franco Sangiorgi per il supporto scientifico, i suggerimenti e l'infinita pazienza.

Bibliografia

1. Armentano L., Leonardi C. 2003. **Problems with sorting in Total Mixed Rations**. In: Proceedings of the Tri-State Dairy Nutritional Conference, Grand Wayne Center, Fort Wayne, Indiana, USA, 8-9 April, pp. 87-100.
2. ASABE Standard ANSI/ASAE S319.3. (FEB03). **Method of Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving**. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
3. ASAE EP444.1 DEC1999. (R2005). **Terminology and recommendations for free stall dairy housing, free stalls, feed bunks, and feeding fences**. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
4. ASAE S501 APR1990. (R2006). **Uniform Terminology for Livestock Production Facilities**. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
5. Atwood S.B., Provenza F.D., Wiedmeier R.D., Banner R.E. 2001. **Influence of free-choice vs. mixed-ration diets on food intake and performance of fattening calves**. Journal of Animal Science 79:3034-3040.
6. Azizi, O., O. Kaufmann, L. Hasselmann. 2009. **Relationship between feeding behaviour and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield**. Livestock Science 122: 156-161.
7. Bach A., Valls N., Solans A., Torrent T. 2008. **Associations between nondietary factors and dairy herd performance**. Journal of Dairy Science 91:3259:3267.
8. Bailoni L., Simonetto A., Tagliapietra F., Mantovani R. 2006. **Changes in particle size distribution and chemical composition of a hay-based ration offered once or twice daily to dairy cows**. Italian Journal of Animal Science, 5: 9-17.
9. Barmore, J.A. 2002. **Fine-tuning the ration mixing and feeding of high production herds**. In: Proc. of Tri-state dairy nutrition conference, Fort Wayne, Grand Wayne Center, Indiana, USA, 16-17 April.
10. Behnke K.C. 2005. **Mixing and uniformity issues in ruminant diets**. In: Proc. of Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, Grantville, PA, USA, 09-10 November.
11. Belle Z., André G., Pompe J.C.A.M. 2012. **Effect of automatic feeding of total mixed rations on the diurnal visiting pattern of dairy cows to an automatic milking system**. Biosystems Engineering 3: 33-39.
12. Bewley J., Palmer R.W., Jackson-Smith D.B. 2001. **An overview of experiences of Wisconsin Dairy Farmers who modernized their operations**. Journal of Dairy Science 84:717-729.
13. Bewley, J. 2010. **Precision dairy farming: advanced analysis solutions for future profitability**. In: Proc. of the First North American Conference on Precision Dairy Management, 2-5 March, Toronto, Canada.
14. Bisaglia C., Nydegger F., Grothmann A., Pompe J. 2010. **Automatic and frequency-programmable systems for feeding TMR: state of the art and available technologies**. In: Book of Abstract of the XVII World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), June 13-17, Québec City (Canada). Paper n. CSBE101506; p. 366. ISBN: 978-2-9811062-1-6.
15. Buckmaster D.R., 2009. **Optimizing Performance of TMR Mixers**. Tri-State Dairy Nutrition Conference, April 20-21, Grand Wayne Centre, Fort Wayne, Indiana, USA.
16. Chase L.E., 1993. **Developing nutrition programs for high producing dairy herds**. Journal of Dairy Science 76, 3278–3290.
17. Cole H.H., Mead S.W. 1943. **A physical deficiency in rations of ruminants**. Science 98: 543-544
18. Cross, N. 2008. **Engineering design methods: strategies for product design**. Wiley, Chichester,

UK, 230 pp.

19. Dado R.G., Allen M.S., 1994. **Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows.** J. Dairy Sci. 77, 132–144.
20. de Koning C.J.A.M. 2010. **Automatic milking - Common practice on dairy farms.** In: Proc. of the First North American Conference on Precision Dairy Management, 2-5 March, Toronto, Canada.
21. DeVries T.J., von Keyserlingk M.A.G., Beauchemin K.A. 2005. **Frequency of feed delivery affects the behaviour of lactating dairy cows.** J. Dairy Sci. 88:3553-3562.
22. DeVries T.J., von Keyserlingk M.A.G. 2005. **Time of feeding delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows.** J. Dairy Sci. 88: 625-631.
23. DeVries T.J., Dohme F., Beauchemin K.A. 2008. **Repeated Ruminal Acidosis Challenges in Lactating Cows at High and Low Risk for Developing Acidosis: Feed Sorting.** Journal of Dairy Science 91: 3958-3967.
24. Dürst B., Senn M., Langhans W., 1993. **Eating patterns of lactating dairy cows of 3 different breeds fed grass ad lib.** Physical Behaviour 54, 625–631.
25. Erfle J.D., Boila R.J., Teather R.M., Mahadevan S., Sauer F.D. 1982. **Effect of pH on fermentation characteristics and degradation by rumen microorganism *in vitro*.** Journal of Dairy Science 65: 1457-1464.
26. Fahey, G.C., Berger L.L. 1988. **Carbohydrate nutrition of ruminants.** In: D. C. Church (Ed.) The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition, pp 269-297. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
27. FAO. 2012. **Statistical Yearbook.** FAO, Rome, Italy. ISBN 978-92-5-106913-4.
28. FAO, LEAD (Livestock, Environmental And Development). 2010. **Livestock in a changing landscape: drivers, consequences and responses.** Vol. 1. Island Press, Washington D.C., USA.
29. FAO, LEAD (Livestock, Environmental And Development). 2010. **Livestock and Environmental Toolbox,** <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/lead/toolbox/homepage.htm>
30. Ferris C.P., Frost J.P., Binnie R.C., Patterson D.C. 2006. **Dairy cow performance and labour inputs associated with two silage feeding systems.** Grass and Forage Science 61, 304-314.
31. Forbes J.M., 1985. **The importance of meals in the regulation of food intake.** Proc. Of Nutrition Society Australia 10, 14–24.
32. Formigoni A., Piva A. 1996. **Feeding management and bovine milk quality.** Zoot. Nutr. Anim 22: 251-257.
33. Fox D.G., Tedeschi L.O., Tylutki T.P., Russell J.B., Van Amburgh M.E., Chase L.E., Pell A.N., Overton T.R. 2004. **The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion.** Animal Feed Science and Technology 112(1–4): 29–78.
34. Fregonesi J.A., Tucker C.B., Weary D.M. 2007. **Overstocking reduces lying time in dairy cows.** Journal of Dairy Science 90:3349-3354.
35. Friggens N.C., Nielsen B.L., Kyriazakis I., Tolcamp B., Emmans G.C. 1998. **Effects of food composition and stage of lactation on the short-term feeding behavior of dairy cows.** Journal of Dairy Science 81, 3268.-3277.
36. Gjødesen, M. U. 2007. **Farm test. Automatiske foderanlæg [Automatic feeding systems].** Ed.: Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Århus, Denmark.
37. Grant R.J., Albright J.L. 2000. **Feeding behaviour.** In: DMello, J.P.F. (Ed.), Farm Animal Metabolism and Nutrition. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, pp. 365–382.
38. 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–E163 (E. Suppl.).

39. Grant R. 2007. **Taking advantage of natural behavior improves dairy cow performance.** In: Proc. Western Dairy Management Conf., Reno, NV. pp. 225-236.
40. Heinrichs A. J., Buckmaster D. R., Lammers B. P. 1999. **Processing, mixing and particle size reduction of forages for dairy cattle.** J. Anim. Sci. 77:180-186.
41. Herrman T., 1994. <http://www.ksre.ksu.edu/library/grsci2/mf1172.pdf> “Testing mixer performance”.
42. Hill C.T., Krawczel P.D., Dann H.M., Ballard C.S., Hovey R.C., Grant R.J. 2007. **Effect of stocking density on the short-term behavior of dairy cows.** Journal of Dairy Science 90 (Suppl. 1):244.
43. Hollander, C.J., Blanken, K., Gotink, A., van Duinkerken, G., Dijk, G., Lenssinck, F., de Koning, C.J.A.M. 2005. **Voersystemen in de melkveehouderij [Feeding systems in dairy].** PraktijkRapport Rundvee 73. ISSN 1570 – 8616.
44. ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro). 2009. **Linee guida: Adeguamento macchine agricole desilatrici, miscelatrici e/o trinciatrici e distributrici di insilati.** http://www.ispesl.it/sitodts/Linee_guida/Completo_macchine_agricole.pdf
45. Ipema A.H. 1990. **The impact of automation on herd management efficiency in the ‘90s.** In: Proc. Of the Atlantic Dairy Symposium, Moncton, Canada 23-24 October.
46. James R.E., Cox B. 2008. **Feeding management to reduce the environmental impact of dairy farms.** In Proc.: 45th Florida Dairy Production Conference, Gainesville, April 29.
47. Kammel, D.W. 1998. **Design, selection and use of TMR mixers.** In: Proc. of Tri-State Conference, 21-22 April, Grand Wayne Centre, Indiana, USA, p. 122-129.
48. Kazumoto, I. 1999. **Full-automatic TMR preparation feeding equipment mainly used self-sufficient feed.** Livestock technology 526: 2-5.
49. Kertz A.F., Reutzel L.F., Thomson G.M., 1991. **Dry matter intake from parturition to midlactation.** Journal of Dairy Science 74, 2290–2295.
50. Kertz A. F. 1998. **Variability in delivery of nutrients to lactating dairy cows.** Journal of Dairy Science 81:3075–3084.
51. Keys J.E., Pearson R.E., Hooven N.W., Tyrrel H.F., Bodon G.W. 1983. **Individual versus group feeding of constant versus variable forage: concentrate of Total Mixed Rations through two lactations and intervening dry period.** Journal of Dairy Science 66: 1076-1083
52. Konoff P.J. 2005. **Understanding effective fiber in rations for dairy cattle.** Paper G1587. University of Nebraska, USA.
53. Kononoff P.J., Ivan S.K., Matzke W., Grant R.J., Stock R.A., Klopfenstein T.J., 2006. **Milk production during dry period and lactation.** Journal of Dairy Science 89, 2608–2617.
54. Konoff P.J., Heinrichs A.J. 2007. **Forage and TMR particle size and effects on rumen fermentation of dairy cattle.** Feed Management Education Project, USDA-NRCS-CIG program. <http://www.puyallup.wsu.edu/dairy/joeharrison/publications.asp>
55. Kosse, E. 2005. **Kwantificatie van de arbeid bij het voeren van melkkoeien [Quantification of the labour requirement for feeding dairy cows],** Farm Technology Group, Wageningen University, Wageningen, 83 pp.
56. Krawczel P.D., Hill C.T., Dann H.M., Grant R.J. 2008a. Short communication: **Effect of stocking density on indices of cow comfort.** Journal of Dairy Science 91:1903-1907.
57. Krawczel P.D., Mooney C.S., Dann H.M., Carter M.P., Butzler R.E., Ballard C.S., Grant R.J. 2008b. **Effect of alternative models for increasing stocking density on the lying behavior, hygiene, and short-term productivity of lactating Holstein dairy cattle.** Journal of Dairy Science 91 (Suppl.):401
58. Krawczel P., Grant R. 2009. **Effects of cow comfort on milk quality, productivity and behavior.** NMC Annual Meeting Proceedings, pp. 15-24

59. Krebbers H., 1994. **Systemen voor ongemengd voeren. Techniek, voor- en nadelen bij elkaar.** [Systems for mixers performance. Technique, advantages and disadvantages]. Wageningen pers, Wageningen, Landbouwmecanisatie 10, Blz. 10 t/m 20.
60. Kudrna V. 2003. **Effect of different feeding frequency employing Total Mixed Ration (TMR) on dry matter intake and milk yield in dairy cows during the winter.** Acta Vet. Brno 72: 533-539.
61. Lammers B. P., Buckmaster D. R., Heinrichs A. J.. 1996. **A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations.** Journal of Dairy Science 79:922-928.
62. Lassen, B., Garrido, C.L., Oskarsson, M. 2010. **EDF-agri benchmark snapshot 2010.** In: On-line proceedings of EDF (European Dairy Farm) Congress "Dairy Farming under Mediterranean Conditions". 23-25 June, Saluzzo (CN), Italy.
63. Lindley J.A. 1991. **Mixing process for agricultural and food materials: 1. Fundamentals of mixing.** J. of agricultural engineering research 48:153-170.
64. Linn J.G. 1989. **Altering the composition of milk through management practice.** Feedstuffs 61(29): 18-23.
65. Linn J., 1995. **Management of TMR Feeding Programs.** Dairy Update Issue 121, October 1995, University of Minnesota, St.Paul, USA <http://www.ansci.umn.edu/dairy/dairyupdates/du121.htm> (accessed on 7 December 2009).
66. Linn J., Trulla T., Casper D.L., Raeth-Knight M., 2004. **Feed efficiency of lactating dairy cows.** Minnesota Nutrition Conference Proceedings.
67. Loerch S. C. 2001. **Feed intake: should the cow be in charge.** In: Proc. of Tri-State Dairy Management Conference. Fort Wayne, IN. The Ohio State University, Columbus, pp. 101-105.
68. Mäntysaari, P., H. Khalili, J. Sariola. 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.
69. McCullough M.E. 1994. **Total Mixed Rations & Supercows.** Hoard's Dairyman, 2nd Edition. W.D. Hoard & Sons Co. U.S.A.
70. Martin P., Bateson P. 1993. **Measuring behaviour.** Cambridge University Press, Cambridge, UK.
71. Mentink R. L., Hoffman P. C., Bauman L. M. 2006. **Utility of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy to predict nutrient composition and in vitro digestibility of Total Mixed Rations.** Journal of Dairy Science 89:2320-2326.
72. Mertens D.R., Strawn T.L., Cardoza R.S. 1984. **Modeling ruminal particle size reduction: its relationship to particle size description.** In: P. M. Kennedy (Ed.) Proc. Techniques in Particle Size Analysis of Feed and Digesta in Ruminants, pp. 134-141. Can. Soc. Anim. Sci., Edmonton, AB, Canada.
73. Miller-Cushon EK, DeVries TJ. **Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating cows fed a total mixed ration.** Journal of Dairy Science 92: 3292-3298.
74. Mordenti A., Formigoni A. 1986. **Alimentazione delle bovine e proteine del latte.** Scienza e Tecnica Lattiero-casearia 37: 222-247.
75. Munksgaard L., Jensen M.B., Pedersen L.J., Hansen S.W., Matthews L.. 2005. **Quantifying behavioral priorities: Effects of time constraints on the behavior of dairy cows, *Bos Taurus*.** Applied Animal Behavior Science 92:3-14.
76. National Research Council (NRC), 2001. **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7th rev. ed. National Academy Science, Washington, DC., USA.
77. Nielsen B.L. 1999. **On the interpretation of feeding behavior measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint.** Applied Animal Behavior Science 63: 79-91.
78. Nydegger, F., A. Grothmann. 2009. **Automatische Fütterung von Rindvieh. Ergebnisse einer Erhebung zum Stand der Technik [Automatic feeding of cattle. Results of a survey on the**

- state of the art**]. ART-Berichte 710. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
79. Piva G., Fusconi G. 1989. **Come influire sul contenuto in proteine e sulle proprietà casearie.** L'Informatore Agrario 45(13): 67-70.
 80. Pompe, J.C.A.M., Nieuwenhuizen, A.T., Lokhorst, C., Kettenis, D.L., 2004. **Discrete-event simulation model for automatic precision feeding of dairy cows.** AgEng Leuven 2004 - Engineering the Future, Technologisch Instituut vzw, Leuven, pp. 574-575 (Extended abstract in hard copy of proceedings, Vol. 572; full paper on CD ROM).
 81. 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: Cox, S. (Ed.), Precision Livestock Farming '07, Wageningen Academic Publishers, Skiathos, Greece, p. 45-51.
 82. Pritchard R.H. 1993. **Delivering the difference.** Land O' Lakes Conference.
 83. Pritchard R. H., Bruns K. W. 2003. **Controlling variation in feed intake through bunk management.** Journal of Animal Science 81: E 133-138.
 84. Reeves, J.B. III. 1997. **Relationships Between Crude Protein and Determination of Non dispersible Lignin.** Journal of Dairy Science 80(4): 692-699.
 85. Rotger A., Ferret A., Calsamiglia S., Manteca X. 2005. **In situ degradability of seven plant protein supplement in heifers fed high concentrate diets with different forage to concentrate ratio.** Animal Feed Science and Technology 125(1-2): 73-87.
 86. 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.
 87. Stokes S.R., Prostko E.P. 1998. **Understanding Forage Quality Analysis.** Texas Agricultural Extension Service. Report L-5198; 3-98.
 88. Sudweeks E.M., Ely L.O., Mertens D.R., Sisk L.R. 1981. **Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: Roughage value index system.** Journal of Animal Science 53: 1406-1411.
 89. Tamaki, K. 2002. **Livestock management with "relaxation" for both humans and domestic animals (4)-III. Development and utilization of full-automatic TMR preparation and feeding equipment.** Animal husbandry 56(10): 1065-1070.
 90. Tamminga S. 1994. **Ruminal fermentation dynamics and their manipulation by ration composition and different feeding strategies.** In: Proc. of the 3rd International Feed Production Conference, 289-308. Facoltà di Agraria, Piacenza, Italy
 91. Tolkamp B.J., Schweitzer D.P.N., Kyriazakis I., 2000. **The biologically relevant unit for the analysis of short-term feeding behavior of dairy cows.** Journal of Dairy Science 83, 2057–2068.
 92. Van Soest, P. J. 1982. **Nutritional Ecology of the Ruminant.** O & B Books, Inc., Corvallis, OR.
 93. Wagner-Storch A.M., Palmer W. 2003. **Feeding behavior, milking, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system.** Journal of Dairy Science 86: 1494-1502.
 94. Welch J.G. 1990. **Inert plastics as indicators of physiological processes in the gastrointestinal tract of ruminants.** Journal of Animal Science 68: 2930-2935.
 95. Weston R.H., Kennedy P.M. 1984. **Various aspects of reticulorumen digestive function in relation to diet and digesta particle size.** In: P. M. Kennedy (Ed.) Proc. Techniques in Particle Size Analysis of Feed and Digesta in Ruminants, pp 1-17. Can. Soc. Anim. Sci., Edmonton, AB, Canada.
 96. Woodford S.T., Murphy M.R. 1988. **Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation.** Journal of Dairy Science 71:674-686.

97. Xiong, Y., Fei, S., Brummer, E.C., Mooore, K.J., Barker, R.E., Jung, G., Curley, J., Warnke, S.E. 2006. **Qtl analysis of fiber components and crude protein in an annual x perennial ryegrass population.** *Molecular Breeding*. 18: 327-340.

Appendici

Appendice 1: Elenco delle aziende zootecniche esaminate e dotazione sistemi meccanici

Aziende completamente automatizzate (CA)			
Ordine	Azienda	Robot di mungitura	Robot per unifeed
1	Christiaan Bysterveld Jacob Tilbusscherweg 18 9998XB Rottum <u>0595-422058</u>	2 AMS (DeLaval)	Optimat™ standard (1 mixing bunker)
2	MTS. Van Valkenhoef Bongaloane 4 9172GS Ferwert <u>0518-411633</u> <u>06-18201598</u>	2 AMS (DeLaval)	Optimat™ standard (2-3 mixing bunkers)
3	Joustra Klaas Oost 4 9285XL Buitenpost <u>0511-541388</u> <u>06-50637908</u>	2 AMS (DeLaval)	Optimat™ standard (1 mixing bunker)
4	Herr Boersema Zandumerweg 41 9821TG Oldekerk	1 AMS (DeLaval)	Optimat™ standard (1 mixing bunker)
5	Osinga Hamerenweg 4 9077 TW Vrouwenparochie <u>058-2531819</u>	2 AMS (Lely)	Mix Feeder
6	Rutte Stoutenburgerweg 28A 3784 VE Terschuur <u>06-11169899</u>	2 AMS (Lely)	Mix Feeder
7	Gast Boerendijk 38B 7693 PK Sibculo <u>06-20704485</u>	1 AMS (Lely)	Mix Feeder
8	Van Schie (Fam.) Speringweg 2 8251 RP Dronten <u>06-19631981</u>	4 AMS (DeLaval)	Mix Feeder
9	Zeinstra-Sietsema (Mts) Trijehoeksdijk 7 9051LA Stiens <u>06-48194746</u>	2 AMS (DeLaval)	Mix Feeder
10	Arno Prins Wolddijk 5 Lellens	4 AMS (SAC)	Robotfeeder
11	Mts. Van Rooijen Vrijkebomenweg 9a 6035 SC Ospel	3 AMS (Lely)	Triomatic
12	Jan van Schaijk Kruisstraat 52 5249 PA Rosmalen <u>+31 735216160</u>	2 AMS (Lely)	Triomatic

Aziende parzialmente automatizzate (PA)			
Ordine	Azienda	Robot di mungitura	Sistema di alimentazione
1	Mts. Van Ittersum Jan van Nassauweg 8 8355 VA Giethoorn <u>0521-371571/371305</u> <u>06-20470541/06</u>	2 AMS (DeLaval)	Carro trinciamiscelatore semovente Unifeed AGM WS 10
2	Herman Bakhuis Hellendoornsweg 10/A 7688 Daarle	4 AMS (Lely)	Carro trincia-miscelatore trainato BVL
3	Anton Stockman Haanmeer 3 8723 EK Koudum	4 AMS (Lely)	Rimorchio autocaricante Schuitemaker Rapide 100
4	Dhr. B. Middag Brinkstede 2 7983 KT Wapse <u>0521-550164</u> <u>06-13195222</u>	2 AMS (DeLaval)	Carro trincia-miscelatore trainato Tatoma EMV12
5	Johan de Jong Mariadijk 4 Dinteloord <u>0167-538450</u> <u>06-55944959</u>	2 AMS (Lely)	Carro trincia-miscelatore trainato Trioliet Solomix 2 2000
6	Nooyen Kundert 2a Bakel <u>06-29052119</u>	2 AMS (Lely)	Carro trincia-miscelatore trainato Trioliet Solomix 2- 1800
7	Wim van den Berg Kattewaardweg 2 8267 AJ Kampen <u>038-3388201</u>	1 AMS (DeLaval)	Desilatore a blocchi Trioliet 195
8	Harrie van Kerkhof Broekstraat 37 A Hernen <u>0487-531771</u> <u>0653-311692</u>	1 AMS (DeLaval)	Carro trincia-miscelatore trainato Trioliet Triomix 1-1200
9	De Martinus Deurne <u>06-23895202</u>	1 AMS (DeLaval)	Carro trincia-miscelatore trainato Trioliet Solomix 2-1200
10	Teus Oskam Essenbos 12 Maurik <u>0345-558336</u> <u>06-10897434</u>	1 AMS a 2 box (Proline)	Carro trincia-miscelatore trainato Trioliet Triomix S 1-800

Appendice 2: Calendario degli incontri con i costruttori e/o visite ad aziende produttrici di robot per l'unifeed

Sono state create quattro occasioni di incontro e discussione con i costruttori di sistemi automatici per la distribuzione di unifeed organizzando meeting sia presso le rispettive sedi produttive o commerciali sia presso la Wageningen University.

Di seguito si riporta sinteticamente quanto fatto con i quattro costruttori coinvolti:

DeLaval

Il 10/02/2010 è stato organizzato un incontro tecnico presso la sede della DeLaval, in Oostermeeherand 4, 8332 JZ, Steenwijk, The Netherlands, durante il quale il gruppo di lavoro (H. Pompe, C. Bisaglia, Z. Belle e G. van den Berg) ha presentato le proprie attività mentre i tecnici della DeLaval hanno illustrato i propri prodotti industriali più innovativi nel settore della mungitura robotizzata, nella gestione delle mandrie e nell'automazione per l'unifeed.

Schuitemaker

Il 17/02/2010 è stata organizzata una visita tecnica per gli studenti del corso in Agrotecnologie presso la ditta Schuitemaker Machines BV, in Morsweg 18, 7461 AG, Rijssen Holland, The Netherlands, dopo la quale ci si è recati presso l'Azienda Agricola Herman Bakhuis in Hellendoornsweg 10/A, 7688 Daarle, dove è stato mostrato in alcune sequenze operative, un innovativo prototipo di carro miscelatore semovente automatico, senza operatore a bordo, prodotto dalla Ditta Schuitemaker.

Trioliet

Il 18/03/2010 è stato organizzato un incontro tecnico presso la sede della Trioliet Mullos BV, in Hinmanweg 19, 7575 BE, Oldenzaal Holland, The Netherlands, durante il quale il gruppo di lavoro (H. Pompe, C. Bisaglia, Z. Belle e G. van den Berg) ha presentato le proprie attività mentre i tecnici della Trioliet hanno illustrato il proprio sistema automatico per l'unifeed.

Mullerup

Il 29/04/2010 è stato organizzato un incontro presso l'Università di Wageningen, al quale sono stati invitati i rappresentanti degli allevatori e dei costruttori; questi ultimi erano rappresentati dal responsabile della sede Olandese della ditta Skiold Mullerup AS, la GEA WestfaliaSurge Nederland BV, in 3890 AB Zeewolde, The Netherlands. Durante l'incontro C. Bisaglia ha illustrato quanto emerso dalle videoregistrazioni sul comportamento delle bovine a completamento della tesi di Z. Belle e come supporto del software previsionale illustrato da H. Pompe. E' seguita discussione con la partecipazione del Direttore del Farm Technology Group, Prof. Peter Groot Koerkamp e i rappresentanti dei costruttori.