

Il consumo energetico: un aspetto oggi molto importante

Aldo Calcante¹ e Francesco Maria Tangorra²

¹Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia

²Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Medicina Veterinaria e Scienze Animali

Sommario

La competitività delle aziende zootecniche dipende sostanzialmente dalla riduzione dei costi di produzione, in particolare quelli legati all'alimentazione degli animali che, come è noto, possono pesare fino al 60% del totale. L'efficientamento energetico di macchine e impianti per produrre la razione totale può essere una soluzione interessante, vista la disponibilità sul mercato di sistemi robotizzati (AFS) affidabili e adattabili a tutte le aziende zootecniche. Anche la sostenibilità ambientale è un tema di grande attualità, grazie alle spinte dell'opinione pubblica e agli obiettivi della Unione Europea. Nel corso del Progetto AUTOFEED, i sistemi AFS analizzati hanno consentito alle aziende di ottenere un risparmio di oltre il 90% di energia e di emissioni di CO₂ in atmosfera rispetto ai sistemi convenzionali basati sull'impiego di carri trincia-miscelatori azionati con motori endotermici diesel.

Consulenza tecnico scientifica per affidamento delle attività di studio, ricerca, sperimentazione tra CREA-IT e Università degli Studi di Milano tramite il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali per l'esecuzione dell'attività concernente la valutazione tecnico-strumentale e analitico-scientifica dell'adozione di Sistemi Automatici per la preparazione e la distribuzione dell'unifeed (AFS)

inseriti in aziende bovine da latte e da carne, e il confronto con aziende analoghe la cui razione alimentare viene realizzata in modo convenzionale (ovvero per mezzo di carri trincia-miscelatori).

Introduzione

La necessità di ridurre i costi di produzione, la difficoltà di reperire personale specializzato e la crescente dimensione degli allevamenti hanno portato allo sviluppo e alla diffusione di specifiche soluzioni automatizzate nel settore della zootecnia da latte e da carne. In particolare, dal punto di vista tecnologico, i distributori automatici di concentrati (anche detti “autoalimentatori”) e i robot di mungitura (AMS) sono sistemi in uso ormai da diversi anni, mentre recentemente sono stati introdotti con successo sul mercato i sistemi automatici di alimentazione⁴².

Attualmente sono presenti oltre 20 costruttori di AFS e sono stati installati più di 1300 robot di alimentazione in tutto il mondo. Le motivazioni di un tale successo sono spiegabili con: i) l’elevata aliquota di tempo da dedicare alle operazioni di preparazione e distribuzione della razione alimentare, ii) la necessità di preparare una razione equilibrata e di qualità per ottimizzare le performance produttive delle bovine e iii) la possibilità di somministrare la razione non più una/due volte al giorno, ma con una frequenza maggiore in modo da fornire agli animali alimento sempre fresco⁴³. Riguardo a quest’ultimo aspetto, aumentando la frequenza di alimentazione aumentano le visite in mangiatoia nelle 24 ore: ciò comporta tempi di alimentazione più lunghi e aumento dell’ingestione di sostanza secca, con effetti positivi sulla salute delle bovine e sulla

⁴² 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. *Biosystem Engineering*. 111, pp. 33–9.

⁴³ Oberschätzl-kopp, R., Haidn, B., Peis, R., Reiter, K., Bernhardt, H. 2016. *Effects of an automatic feeding system with dynamic feed delivery times on the behaviour of dairy cows*. pp 1-8 in Proc. of CIGR-AgEng 2016 Conference, Aarhus, Denmark.

produzione⁴⁴. Tuttavia, la letteratura scientifica non è unanime nel ritenere che la maggiore frequenza di alimentazione possa aumentare il numero di visite volontarie ad un AMS⁴⁵. Alcuni studi, infatti, hanno dimostrato che il numero giornaliero di mungiture non viene influenzato dall'aumento della frequenza di distribuzione della razione⁴³.

Dal punto di vista della gestione aziendale, l'adozione di un AFS non si traduce solo in un maggiore numero di visite degli animali alla mangiatoia, ma incide notevolmente anche sull'organizzazione del lavoro, coniugando la riduzione del fabbisogno di manodopera con il miglioramento della qualità del lavoro rispetto alla tecnica abituale basata sull'impiego di carri trincia-miscelatori semoventi o trainati. Bisaglia et al. (2012)⁴⁶ e Pezzuolo et al. (2016)⁴⁷, infatti, hanno evidenziato una riduzione del 50-60% del tempo necessario per produrre la razione totale (TMR) passando da un sistema convenzionale, composto da un carro trincia-miscelatore accoppiato ad un trattore, ad un AFS dotato di carro trincia-miscelatore stazionario posizionato nel locale cucina e di vagoni distributore sospeso su rotaia.

Di non secondaria importanza è l'aspetto energetico: l'adozione di un AFS può portare a minori costi energetici per la preparazione e la

⁴⁴ Mattachini, G., Riva, E., Pompe, J.C.A.M., Provolo, G. 2015. *Automatic monitoring of cow behaviour to assess the effects of variations in feeding delivery frequency*. pp 40-47 in Proc Precision Livestock Farming '15, Milan, Italy.

⁴⁵ 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*. pp 45-51 in Proc. Of Precision Livestock Farming '07, Skiathos, Greece.

⁴⁶ Bisaglia, C., Belle, Z., Van den Berg, G., Pompe, J.C.A.M. 2012. *Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in The Netherlands*. pp 100-104 in Proc. International Conference of Agricultural Engineering CIGRAgEng 2012, Valencia, Spain.

⁴⁷ Pezzuolo, A., Chiumenti, A., Sartori, L., Da Borso, F. 2016. *Automatic Feeding System: Evaluation of energy consumption and labour requirement in North-East Italy dairy farm*. pp 882-887 in Proc of Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia.

somministrazione della TMR. Da Borso et al. (2017)⁴⁸ hanno osservato che i consumi giornalieri di energia elettrica di un AFS, considerando la potenza installata e i tempi di funzionamento, si sono ridotti del 70% rispetto a un sistema convenzionale trattore - carro trincia-miscelatore. Tangorra e Calcante, con uno studio del 2018⁴⁹ condotto in un grande allevamento, hanno evidenziato una riduzione di oltre il 90% dell'energia necessaria per la preparazione della TMR passando da un cantiere convenzionale ad un AFS con cucina e due robot trincia-miscelatori-distributori. Ne deriva che, in un'ottica di sostenibilità economica e ambientale, la maggiore efficienza energetica riscontrata nella preparazione della TMR mediante AFS può portare a minori consumi, minori costi di produzione e minore impatto sull'ambiente, aspetti più che mai attuali per una buona gestione aziendale e per la valorizzazione dei prodotti sul mercato.

Parte tecnica

Come accennato, la preparazione della TMR viene effettuata convenzionalmente mediante l'utilizzo di carri trincia-miscelatori, o accoppiati ad un trattore di idonea potenza, o a propulsione autonoma (semoventi), costruiti principalmente secondo tre diverse architetture: i) *carro a coclee verticali*, ii) *carro a coclee orizzontali* e iii) *carro a botte rotante*. Si tratta di macchine operatrici azionate per mezzo di motori endotermici diesel e con trasmissione del moto agli organi trincia-miscelatori solitamente di tipo misto idraulico-meccanico. Focalizzando l'attenzione sui modelli semoventi, la potenza nominale installata è medio-alta (tra 88 e 210 kW) ed è discretamente correlata con il volume di carico del cassone (figura 1).

⁴⁸ Da Borso, F., Chiumenti, A., Sigura, M., Pezzuolo, A. 2017. Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms. *J. Agric. Eng.* 48:52.

⁴⁹ Tangorra, F. M., Calcante, A. 2018. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: results from a field test. *Journal of Agricultural Engineering*, 49(4), pp. 228-232.

In figura 2 è riportata la potenza (espressa in kW) per unità di volume di cassone (m^3) per le varie tipologie di carro trincia-miscelatore. Da notare che i modelli semoventi endotermici, essendo dotati di assali motore solitamente azionati da trasmissioni idrostatiche, richiedono quasi il doppio della potenza unitaria rispetto ai carri trainati. Una recente innovazione, ovvero il carro trincia-miscelatore semovente elettrico, possiede una potenza installata simile agli equivalenti endotermici. Ciò è dovuto al fatto che si tratta di un carro a coclee verticali il cui motore endotermico è stato sostituito da un motore elettrico alimentato da batterie e in cui sono presenti le medesime trasmissioni di tipo idrostatico e misto di un carro convenzionale. Anche il volume del cassone, e quindi la sua capacità di carico, è paragonabile a quello dei classici carri a motore endotermico.

Un discorso a parte merita il carro compatto elettrico: si tratta di un recente dispositivo trincia-miscelatore di tipo stazionario le cui coclee verticali sono azionate da motori elettrici alimentati dalla corrente di rete e da trasmissioni meccaniche. Unitamente all'assenza dei dispositivi di carico degli alimenti (oltre che degli organi di propulsione), tale versione di carro trincia-miscelatore necessita di una potenza unitaria di molto inferiore rispetto ai carri tradizionali.

Ragionando in termini di consumo di combustibile e di energia necessari per produrre una determinata quantità di TMR, nel corso del Progetto AUTOFEED è stato possibile misurare il consumo di gasolio in alcune aziende zootecniche dotate di carro trincia-miscelatore trainato o semovente, di tipo convenzionale. I risultati sono illustrati in figura 3.

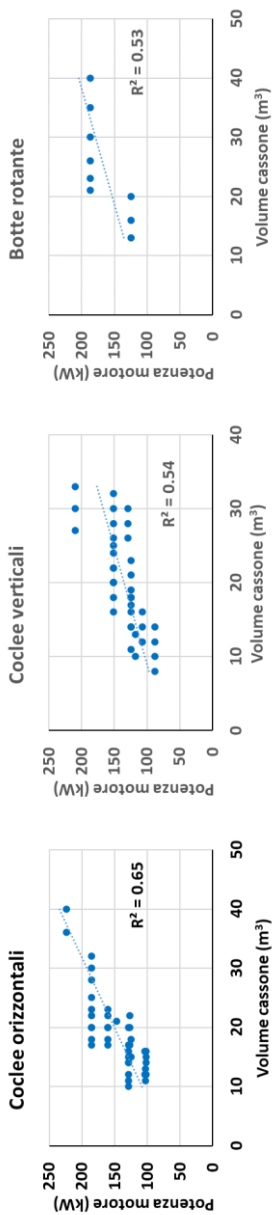


Figura 1. Regressione lineare tra il volume del cassone e la potenza motore delle tre tipologie di carri trincia-miscelatori semoventi disponibili sul mercato (dati forniti dai costruttori, anno 2022).

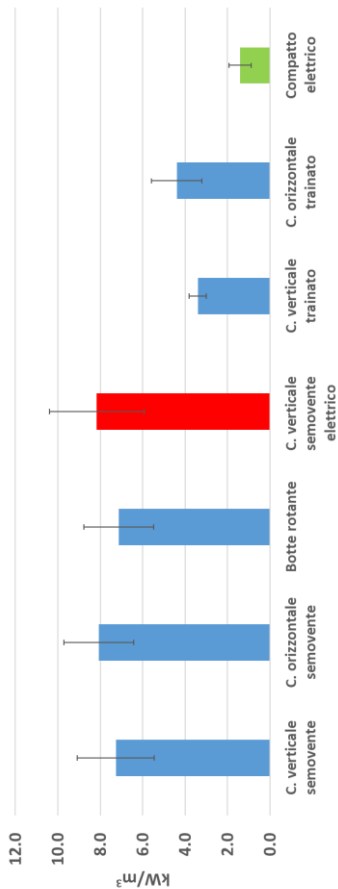


Figura 2. Potenza installata per unità di volume del cassone per le tipologie di carri trincia-miscelatori presenti sul mercato (dati forniti dai costruttori, anno 2022).

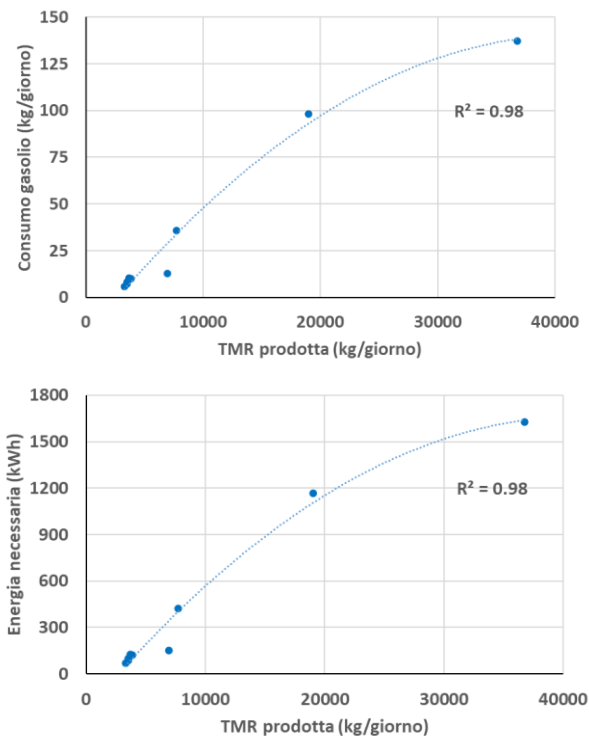


Figura 3. Consumo giornaliero di gasolio (in alto) e assorbimento di energia (in basso) per la produzione della TMR nelle aziende partner del progetto Autofeed (PCI del gasolio = 11,86 kWh/kg).

In termini generali, si osserva una solida correlazione tra il consumo di gasolio (e quindi di energia utilizzata) e la quantità di TMR prodotta, con valori che vanno da 6 kg di gasolio consumato per produrre circa 3300 kg di TMR a 140 kg per produrre oltre 36700 kg di TMR. Gli assorbimenti di energia, essendo direttamente proporzionali al consumo di gasolio, sono compresi tra 70 kWh e circa 1600 kWh.

I dati sperimentali hanno dimostrato che, per produrre 100 kg di TMR, sono necessari in media $3,6 \pm 1,5$ kWh/100 kg di TMR. Appare

evidente come l'operazione di preparazione e distribuzione della TMR risulti fortemente energivora e, quindi, impattante sia sui costi di produzione (consumo di combustibile), sia sull'ambiente a causa delle emissioni inquinanti dei motori endotermici utilizzati.

Una soluzione prontamente disponibile per ridurre sia i consumi energetici che l'impatto ambientale in ambito agricolo è l'elettrificazione di macchine e impianti. Un dispositivo azionato elettricamente, infatti, offre i seguenti vantaggi:

- *maggiore capacità di controllo*: un attuatore elettrico risponde in modo rapido e preciso, modulando con estrema flessibilità intensità ed entità di una azione;
- *maggiore semplicità dal punto di vista meccanico*. Maggiore flessibilità e rendimento delle trasmissioni elettriche. Eliminazione completa o parziale di rumore e vibrazioni;
- *maggiore rendimento dei motori* (95% elettrico vs. 38-40% endotermico diesel);
- *minori consumi energetici* per lo svolgimento del processo produttivo;
- *eliminazione completa o parziale di emissioni inquinanti*;
- *maggiore sostenibilità ambientale*.

Tutti i benefici elencati si possono ritrovare nei sistemi AFS per la produzione della razione alimentare. Dal punto di vista tecnico-funzionale, Haidn et al. (2017)⁵⁰ li classifica in:

AFS di tipo 1: tecnologia che automatizza solo la trincia-miscelazione e la distribuzione della TMR;

AFS di tipo 2: tecnologia che automatizza il riempimento del carro, la trincia-miscelazione e la distribuzione della razione;

⁵⁰ Haidn, B., Leicher, C. 2017. *Automatisches Füttern - Neues aus Praxis und Forschung*. In: Automatische Grundfuttermittelverläge für Rinder. Bayerische Landesanstalt für Land-wirtschaft, pp. 47-49.

AFS di tipo 3: tecnologia che automatizza tutte le fasi di preparazione della razione, dal carico degli ingredienti fino alla distribuzione in mangiatoia. Di fatto, si tratta di un vero e proprio carro trincia miscelatore semovente robotizzato azionato da un motore elettrico o endotermico.

In funzione del tipo di AFS, e a partire dai dati forniti dai costruttori (anno 2021), è possibile stilare una classifica di assorbimento energetico giornaliero medio a seconda della potenza installata (tabella 1).

Tabella 1. Assorbimento energetico medio giornaliero dei vari tipi di AFS.

Tipo di AFS	Assorbimento energetico (kWh/giorno)
Tipo 1	20-45
Tipo 2	30-35
Tipo 3	570*

*AFS azionato da motore endotermico diesel

È possibile osservare una netta riduzione dell'energia richiesta dagli AFS di Tipo 1 e 2 rispetto al Tipo 3 (-94%) che, come detto, è un carro trincia-miscelatore semovente robotizzato azionato da un motore diesel, con tutti i limiti tecnici già visti rispetto ai restanti modelli elettrici.

Risultati

Nel corso del Progetto AUTOFEED sono stati effettuati diversi monitoraggi energetici - con cadenza stagionale - dei sistemi AFS di Tipo 2 presenti in due aziende zootecniche, una di bovine da latte e una di bovini da carne. Le due aziende zootecniche, avendo indirizzo produttivo diverso, effettuano una differente gestione della mandria che resta costante nel numero dei capi allevati annualmente nel caso dell'azienda da latte, mentre varia nell'azienda da carne a seconda

della fase di ingrasso in cui si trovano gli animali. Per quest'ultima azienda, pertanto, occorre preparare una quantità di TMR variabile in funzione dell'età e del numero dei capi presenti in un dato momento.

Per misurare gli assorbimenti di potenza degli impianti AFS presenti nelle due aziende, è stato utilizzato un analizzatore di rete elettrica trifase. Le misurazioni sono state effettuate in continuo in un intervallo di 72 ore registrando, nella memoria interna del dispositivo, un campione ogni 5 secondi. Mediante pinze a coccodrillo per la misura della tensione e pinze amperometriche per la misura della corrente, collegate a ciascuna linea di fase dell'impianto 380 V che alimenta il sistema AFS (figura 4), è stato possibile misurare i seguenti parametri: tensione (V), corrente (A), potenza assorbita (W) e sfasamento ($\cos \varphi$).



Figura 4. L'analizzatore di rete elettrica trifase applicato al quadro elettrico dell'AFS di una delle aziende partner del progetto Autofeed

A partire dai dati registrati con l'analizzatore, l'energia elettrica assorbita da ogni AFS per ogni giorno di monitoraggio ($E_{E_{di}}$, kWh) è stata calcolata come (1):

$$E_{E_{di}} = W_{fi} - W_{ii} \quad (1)$$

dove:

W_{fi} = energia elettrica misurata alle 23:59:59 dell'iesimo giorno (kWh);

W_{ii} = energia elettrica misurata alle 00:00:01 dell'iesimo giorno (kWh).

Il consumo medio giornaliero di energia elettrica durante il periodo di monitoraggio (E_{Ed} , kWh) per ciascun AFS è stato calcolato come (2):

$$E_{Ed} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{E di}}{n} \quad (2)$$

dove:

n = durata del periodo di monitoraggio (giorni).

Contestualmente ad ogni rilievo energetico, tramite il software gestionale presente nelle aziende, è stato possibile risalire ai seguenti dati: i) consistenza della mandria, ii) quantità di TMR prodotta e iii) numero di distribuzioni di TMR effettuate giornalmente. In tal modo è stato possibile riferire le misure di energia elettrica assorbita dagli AFS ai 100 kg di TMR prodotta da ciascuna azienda.

Nel caso dell'azienda da latte, il consumo energetico medio misurato nelle stagioni oggetto di monitoraggio è risultato pari a 0,30 kWh/100 kg di TMR prodotta, mentre l'azienda da carne ha richiesto mediamente 0,32 kWh/100 kg di TMR prodotta, senza evidenziare differenze statisticamente significative tra le due realtà. Analogamente a quanto osservato nel caso dei carri trincia-miscelatori convenzionali, anche per gli AFS gli assorbimenti energetici sono risultati fortemente dipendenti dalla produzione giornaliera di TMR (figura 5).

Ipotizzando l'impiego di carri trincia-miscelatori con motore endotermico diesel, correttamente dimensionati per le due attività oggetto di studio, l'adozione dei sistemi AFS ha permesso di ridurre la necessità di energia di oltre il 90%.

Dal punto di vista della sostenibilità ambientale, ipotizzando di alimentare i due AFS con energia elettrica generata attraverso un mix energetico avente fattore emissivo di 0,4046 kg CO₂/kWh, le emissioni di CO₂ in atmosfera risultano per entrambe le aziende pari a 0,1 kg CO₂/100 kg di TMR prodotta, con una diminuzione di circa il 92% rispetto all'impiego di carri diesel convenzionali.

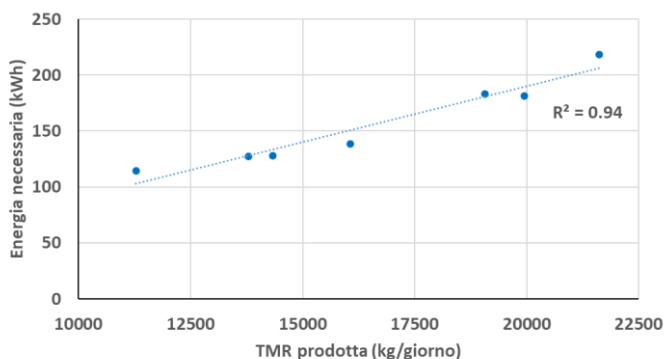


Figura 5. Assorbimento di energia elettrica per la produzione della TMR con AFS nelle aziende partner del progetto Autofeed.

Conclusioni

L'analisi effettuata nel corso del Progetto AUTOFEED ha dimostrato che i consumi energetici dei sistemi AFS sono - a parità di TMR prodotta - molto minori rispetto alla tecnica convenzionale basata sull'impiego di carri trincia-miscelatori azionati da motori diesel. Inoltre, al netto dell'investimento iniziale della tecnologia - comunque ammortizzabile in pochi anni vista l'evidente riduzione dei costi di manodopera ed energetici necessari - si ottiene anche un minore costo di produzione della TMR. Dal punto di vista della sostenibilità ambientale la minore richiesta energetica, unita al fatto che gli AFS sono azionati da motori elettrici per loro natura ad alto rendimento, porta a una drastica diminuzione della CO₂ rilasciata in atmosfera che può, addirittura, azzerarsi se l'azienda è in grado di autoprodurre l'energia elettrica da fonti rinnovabili.

Infine, i sistemi AFS hanno mostrato grande adattabilità a diverse condizioni di lavoro e a differenti gestioni aziendali e, grazie ai loro software gestionali, sono in grado di fornire agli allevatori dati sicuri ed oggettivi molto utili per supportare i processi decisionali, rappresentando un interessante opzione per migliorare la competitività dell'azienda zootecnica.