

I sistemi Automatici di alimentazione nell'allevamento bovino: linee guida dal progetto AUTOFEED



Gruppo Operativo



A cura di: Massimo Brambilla e Carlo Bisaglia



PSR
2014 2020
LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERADICI



**Regione
Lombardia**

I sistemi automatici di alimentazione nell'allevamento bovino: linee guida dal progetto **AUTOFEED**

di Carlo Bisaglia, Marzia Borciani, Massimo Brambilla, Aldo Calcante, Maurizio Cutini, Matilde Gastaldo, Simone Giovinazzo, Andrea Lazzari, Ambra Motta, Paolo Rossi, Francesco Maria Tangorra.

Gruppo Operativo



A cura di: Massimo Brambilla e Carlo Bisaglia



PSR LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERADICI
2014 2020



Regione
Lombardia

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

Titolo: *I sistemi automatici per l'allevamento
bovino: linee guida dal progetto AUTOFEED*

Autori: *Bisaglia C.; Borciani M.; Brambilla M.;
Calcante A.; Cutini M.; Gastaldo M.;
Giovinazzo S.; Lazzari A.; Motta A.; Rossi
P.; Tangorra F.M.*

Curatori: *Brambilla M.; Bisaglia C.*

ISBN 978-88-33852-41-6

Data di Pubblicazione *Marzo 2023*

Stampa *Tipolitografia Ghisleri
Romano di Lombardia (BG)*

Codice Progetto *C54D19000010006*

© Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria

Edito da Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'Economia
Agraria

Tutti i diritti sono riservati - All rights reserved

Tutte le immagini riprodotte hanno il solo scopo di illustrare la tecnologia
oggetto di studio e non costituiscono in alcun modo apprezzamento o
promozione di carattere commerciale.

Sommario

Prefazione

(Brambilla M., Bisaglia C.) 11

La tecnica unifeed: una procedura chiave nella moderna zootecnia

(Tangorra F.M., Calcante A.) 15

I sistemi automatici per l'unifeed: le soluzioni tecnologiche

(Lazzari A., Giovinazzo S., Cutini M.) 33

Quali fattori considerare per l'inserimento in stalla

(Rossi P.) 55

Il consumo energetico: un aspetto oggi molto importante

(Calcante A., Tangorra F.M.)..... 121

Il comportamento degli animali con i robot di alimentazione

(Motta A., Borciani M., Gastaldo M.) 135

Le aziende partner: esempi di applicazione dei sistemi automatici

(Giovinazzo S., Lazzari A.) 153

Le Prospettive

(Bisaglia C.)..... 177

Il Progetto

Attività progettuale condotta nell'ambito del Gruppo Operativo PEI AGRI: **“Automazione dell'alimentazione per gli allevamenti bovini della Lombardia - AUTOFEED”**, finanziato dalla Regione Lombardia nell'ambito della SOTTOMISURA 16.1 - “Sostegno per la costituzione e la gestione dei Gruppi Operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura” del FEASR - Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 (Data di inizio dei lavori: 1° settembre 2019; durata triennale).

I partner del Gruppo Operativo:

- CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio
Via Milano, 43 - 24047 Treviglio (BG)
- Fondazione CRPA Studi Ricerche - ETS
Viale Timavo 43/2- 42121, Reggio Emilia.
- Società Agricola Cervi Ciboldi Ernesto, Maria Cecilia e Maria Paola s.s.
Via Maggiore, 17 - 26028 Sesto ed Uniti (CR)
- Società Agricola Della Bona Faustino s.s.
Via Cascina Monticella - 25020 Gambara (BS)
- Soc.Agr. Fattoria Ginestra di Bettoni Adonis e Angelo s.s.
Via Gorla, 37 - 22076 Mozzate (CO)
- Società Agricola Giovannini Galdino e Pecchini Drusilla
Via Campione, 2 - 46031 Bagnolo San Vito (MN).
- Società Agricola Pieve di Nodari Gualtiero e C. s.s.
Via Cascina Pieve - 25013 Carpenedolo (BS)

I Consulenti del Gruppo Operativo:

- Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (Milano).
- Università degli Studi di Milano Dipartimento di Scienze Veterinarie per la Salute, la Produzione Animale e la Sicurezza Alimentare (Lodi)
- Lombarda Zootecnica S.r.l. (Piubega, MN)
- Panoramic, Webmarketing and Communication (Milano)

Gli Autori

Carlo Bisaglia: nato a Padova l'8 agosto 1960, è Dirigente Tecnologo e Responsabile della sede di Treviglio del Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari del CREA. E' Dottore di ricerca in innovazione e tecnologia per le scienze agroalimentari e ambientali presso l'Università degli Studi di Milano.

Marzia Borciani: nata a Reggio Emilia il 30 gennaio 1974, è tecnico esperto presso il CRPA - Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. E' perito agrario.

Massimo Brambilla: nato a Piacenza il 6 settembre 1968, è Primo Ricercatore presso la sede di Treviglio del Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari del CREA. E' Dottore di ricerca in chimica agraria presso l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano (Sede di Piacenza).

Aldo Calcante: nato a Milano il 18 giugno 1970, è Professore Associato di Meccanica Agraria presso il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano. E' Dottore di Ricerca in Genio Rurale presso l'Università degli Studi di Milano.

Maurizio Cutini: nato a Roma il 24 gennaio 1970, è Primo Ricercatore presso la sede di Treviglio del Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari del CREA. E' Dottore di ricerca in meccanica agraria presso l'Università della Tuscia (VT).

Matilde Gastaldo: nata a Parma il 25 ottobre 1999, è collaboratrice del CRPA - Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. E' laureanda in Scienze Zootecniche all'Università degli Studi di Parma.

Simone Giovinazzo: nato a Mariano Comense l'8 marzo 1995, è dottorando di ricerca in Engineering for Energy and Environment presso l'Università della Tuscia e svolge la propria attività di ricerca presso la sede di Treviglio del Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari del CREA. E' Dottore in Biologia.

Andrea Lazzari: nato a Lodi il 14 Novembre 1996, è dottorando di ricerca in Engineering for Energy and Environment presso l'Università della Tuscia e svolge la propria attività di ricerca presso la sede di Treviglio del Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari del CREA. E' Dottore in Scienze Agrarie.

Ambra Motta: nata a Treviglio il 24 agosto 1993, è ricercatrice presso il CRPA - Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. E' Dottoressa in Scienze e Tecnologie delle Produzioni Animali presso l'Università di Milano e iscritta all'Ordine dei Dottori Agronomi e dei Dottori Forestali della provincia di Reggio Emilia.

Paolo Rossi: nato a Reggio Emilia il 23 marzo 1959, è ricercatore e responsabile del Settore Economia e Mezzi Tecnici di CRPA - Centro Ricerche Produzioni Animali di Reggio Emilia. Laureato in Scienze della Produzione Animale presso l'Università degli Studi di Bologna, è iscritto all'Ordine dei Dottori Agronomi e dei Dottori Forestali della provincia di Reggio Emilia.

Francesco Maria Tangorra: nato a Bergamo il 07 maggio 1970, è Professore Associato di Meccanica Agraria presso il Dipartimento di Medicina Veterinaria e Scienze Animali dell'Università degli Studi di Milano. E' Dottore di Ricerca in Nutrizione e Dietetica Animale presso l'Università degli Studi di Milano.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare persone e aziende che, con la propria disponibilità, professionalità e collaborazione, hanno dato un contributo decisivo di dati, informazioni e conoscenza tecnica nei vari aspetti operativi che il progetto AUTOFEED ha indagato.

I referenti tecnici le cui ditte, al momento della stampa delle linee guida, avevano impianti funzionanti in Italia, e che hanno contribuito a realizzare le indagini di Autofeed e a fornire informazioni tecniche aggiornate:

- Michele Boccoli (Lely)
- Marco Cattaneo (De Laval)
- Gianni Izzo (Wasserbauer)
- Guillermo Keegan (Trioliet)
- Helmut Mittermeier (Hetwin)
- Gottfried Seeber e Paolo Pagliarini (Pellon)

Tutti gli allevatori che hanno gentilmente ospitato le visite aziendali i cui dettagli sono riportati nel sito di Autofeed.

I referenti dei progetti europei “*Bovine*” e “*R4D - Resilience For Dairy*” con cui il progetto Autofeed ha collaborato.

I sig.ri Annamaria Stellari e Stefano Basile (CREA, Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio) per la collaborazione prestata nelle attività organizzative e divulgative.

Prefazione

Massimo Brambilla e Carlo Bisaglia

CREA - Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio

Il razionamento unifeed, sviluppato in laboratorio negli anni '30, ma introdotto negli allevamenti bovini commerciali per la produzione della carne solo a partire dagli anni '60 a seguito della diffusione dei primi carri miscelatori, si è dimostrato il metodo di alimentazione dei ruminanti allevati più vicino alla loro fisiologia ottenendo grandi consensi al punto che, oggi, è adottato nella quasi totalità degli allevamenti bovini a carattere intensivo e semi-intensivo.

Tuttavia, proprio la grande diffusione e i numerosi anni di utilizzo hanno messo a fuoco alcuni aspetti limitanti quali, ad esempio:

- la variabilità cui la razione è soggetta, che porta ad avere una razione in mangiatoia differente da quella pianificata dall'alimentarista;
- la manodopera necessaria per riavvicinare il più frequentemente possibile l'alimento che gli animali allontanano dalla greppia durante la cernita in favore delle componenti maggiormente appetibili (il cosiddetto *feed sorting*);
- l'effetto di possibili errori umani durante il caricamento del carro miscelatore e durante le fasi di trincia-miscelazione che sfociano in razioni con forte variabilità compositiva e con caratteristiche granulometriche non ottimali (sotto-/sovra-trinciatura).

Le nuove tecnologie sono in grado di automatizzare, in parte o per intero, il processo di razionamento e possono mitigare tali aspetti limitanti. La sensoristica NIR, consentendo un monitoraggio non distruttivo e in tempo reale dei componenti della razione, riesce a limitare l'effetto della stagionalità in modo da avere una razione in mangiatoia il più rispondente possibile a quella pianificata; i sistemi automatici per il riavvicinamento del foraggio sono in grado di ridurre l'incidenza del *feed sorting*; sensori specifici per l'analisi della lunghezza della fibra e dell'omogeneità della razione possono,

infine, intervenire per ridurre (se non eliminare) la soggettività dell'operatore nella fase di preparazione della miscelata.

Il Gruppo Operativo del progetto "Autofeed" ha posto l'attenzione sulle opportunità che le tecnologie per l'automazione offrono nel superamento dei limiti del razionamento unifeed.

Le attività progettuali hanno coinvolto non solo istituzioni di ricerca, ma anche allevatori e tecnici di settore mostrando come, proprio l'automazione, contribuisca a rendere maggiormente sostenibile l'allevamento bovino da latte e da carne.

In particolare, come anche recentemente evidenziato dalla FAO nel rapporto "*Lo stato dell'alimentazione e dell'agricoltura*" (2022)¹, esistono tecnologie con modularità di sviluppo tali da poter rispondere alle esigenze di aziende agricole di diverse dimensioni e livelli di reddito. Tutto ciò rende necessario che si attuino politiche di inclusività dell'automazione agricola, in particolare per consentirne l'accesso anche ai piccoli produttori (ad es. giovani agricoltori, imprenditoria femminile in allevamento).

I progressi nelle scienze animali e nelle tecnologie ad esse correlate migliorano le prestazioni degli animali da reddito relativamente agli aspetti di salubrità della produzione, tutela ambientale e aspetti socio-economici^{2,3}. Fra questi, la qualità e la quantità del lavoro sono risultati essere aspetti fondamentali: l'opportuno inserimento di una tecnologia innovativa permette, infatti, di poter gestire al meglio la manodopera disponibile in azienda⁴, anche se il carico di lavoro per

¹ FAO. 2022. The State of Food and Agriculture 2022. *Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Rome, FAO.
<https://doi.org/10.4060/cb9479en>

² Da Borso, F., Chiumenti, A., Sigura, M. and Pezzuolo, A. (2017) Influence of automatic feeding systems on design and management of dairy farms, *Journal of Agricultural Engineering*, 48(s1), pp. 48–52. doi: 10.4081/jae.2017.642.

³ Abhijeet, K., Prasanna, S.B., Mahesh, P.S., Gouri, M.D., Vivek, M.P., Bhandekar, S.K., Ali, S.M., Masood, K.D. and Karan, P. (2021). Comparative Study of Automation and Conventional System on Production Performance in Dairy Farms. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 40(1): 25-29. <https://doi.org/10.18805/ajdrf.DR-1607>.

⁴ Reith S., Funk M., Frisch J. (2019). *Effect of automated systems on the working time requirement in dairy farms*. Precision Livestock Farming 2019 - Papers Presented at the 9th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2019. 656 - 662

l'addestramento del personale e il monitoraggio della mandria può risultare inizialmente incrementato⁵.

Lo scopo di questo volume è raccogliere e condividere le considerazioni emerse durante le attività progettuali svolte sui sistemi automatici per la distribuzione dell'unifeed. Pertanto, oltre agli aspetti tecnici e tecnologici relativi alla preparazione della razione e alle soluzioni che il mercato rende attualmente disponibili, sono illustrati anche i criteri che si ritiene debbano guidare l'installazione di tali dispositivi negli edifici zootecnici, gli aspetti energetici ed etologici che seguono la loro adozione e alcuni esempi della loro applicazione nelle aziende che hanno costituito il partenariato.

Alla luce del ruolo produttivo e sociale della zootecnia^{6,7}, la grande affinità che i sistemi automatici per la distribuzione della razione hanno per le esigenze degli animali allevati assume quindi una valenza non solo tecnico-professionale, ma anche di riqualificazione e riorganizzazione nel mondo del lavoro in agricoltura.

⁵ Sinnott A.M., Kennedy E., Bokkers E.A.M. (2021). The effects of manual and automated milk feeding methods on group-housed calf health, behaviour, growth and labour. *Livestock Science*, 244, 104343.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104343>

⁶ <https://www.dublin-declaration.org/>

⁷ Ronchi B. (2022). La “Dichiarazione di Dublino” sul ruolo sociale della zootecnia. Georgofili INFO. 30 November 2022. <https://www.georgofili.info/contenuti/la-dichiarazione-di-dublino-sul-ruolo-sociale-della-zootecnia/23251>

La tecnica unifeed: una procedura chiave nella moderna zootecnia

Francesco Maria Tangorra² e Aldo Calcante¹

¹Dipartimento di Medicina Veterinaria e Scienze Animali - Università degli Studi di Milano

²Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia - Università degli Studi di Milano

Sommario

La tecnica unifeed prevede la preparazione e la somministrazione, in un'unica distribuzione, di una miscela omogenea e bilanciata di tutti i componenti della razione giornaliera. Ciò implica la disponibilità di un certo livello di meccanizzazione aziendale in cui il carro trinciamiscelatore, nelle sue molteplici architetture e configurazioni, rappresenta il dispositivo principale e indispensabile. I vantaggi che il razionamento unifeed apporta in termini di benessere animale e incremento della produzione di latte sono innegabili. Tuttavia, alcune criticità rischiano di compromettere la validità di questa tecnica. Il corretto riempimento del carro trinciamiscelatore, l'applicazione di tempi adeguati di trinciatura e miscelazione, la variazione di umidità dei componenti utilizzati, ad esempio, sono fattori spesso trascurati nella preparazione di una razione unifeed. L'implementazione di sistemi basati sulla spettrometria nel vicino infrarosso (NIRS) e sull'impiego di sensori a microonde può compensare queste criticità contribuendo a ridurre le inefficienze del processo.

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

L'introduzione della tecnica "unifeed", nota anche con l'acronimo di TMR (Total Mixed Ration) e basata sulla somministrazione ad libitum di una miscela omogenea e bilanciata di tutti i componenti della razione giornaliera (foraggi, cereali, mangimi proteici, minerali, vitamine, additivi) necessari a coprire i fabbisogni nutrizionali dell'animale, ha rappresentato una tappa molto importante nella gestione organizzativa e alimentare degli allevamenti di bovine da latte.

Le prime notizie sulla somministrazione di razioni "complete" a vacche da latte risalgono agli anni '50 del secolo scorso⁸, mentre uno dei primi articoli scientifici riportanti i vantaggi della somministrazione di razioni unifeed rispetto alla distribuzione di foraggi integrati con concentrati è del 1966⁹. Si tratta, quindi, di una tecnica radicata nel tempo alla cui diffusione hanno contribuito alcuni fattori concomitanti tra cui, nei primi anni '60, la maggior enfasi posta sull'uso dei concentrati nell'alimentazione della bovina da latte e il crescente interesse per le sale di mungitura che diventano sempre più popolari imponendo una diversa gestione degli animali. Gli allevatori realizzano ben presto che in sala di mungitura le vacche ad alta produzione non hanno tempo sufficiente per

⁸ Harshbarger, K. E. 1952. Self-feeding a ground hay and grain ration to dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 35:501. (Abstract)

⁹ McCoy, G. C., H. S. Thurmon, H. H. Olson, and A. Reed. 1966. Complete feed rations for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 49:1058–1063.

consumare la quantità di concentrato fornito e che il processo di mungitura risulta più veloce e pulito senza la somministrazione dei concentrati in sala. Lo sviluppo dei primi carri miscelatori sul finire degli anni '60, l'aumento della dimensione media delle mandrie, cui corrisponde uno spostamento verso la stabulazione libera in grandi gruppi a partire dagli anni '70, l'impiego di sottoprodotti agroindustriali nella formulazione delle razioni unifeed dagli anni '90 in avanti, i significativi miglioramenti in termini di quantità e qualità del latte prodotto e di organizzazione dei flussi di lavoro connessi con il prelievo degli alimenti dai luoghi di stoccaggio e la loro distribuzione agli animali, sono altri elementi che hanno favorito ulteriormente la diffusione della tecnica unifeed nelle bovine da latte¹⁰. Nel 2014 negli Stati Uniti d'America quasi il 90% delle mandrie di grandi dimensioni (>500 vacche) era alimentato con razioni unifeed a fronte del 20% degli allevamenti con meno di 99 capi¹¹. Le percentuali di utilizzo di questa tecnica e la composizione delle razioni, tuttavia, variano in funzione del contesto produttivo e dei sistemi foraggieri adottati (tabelle 1 e 2), come evidenziato da uno studio condotto nel 2014 dall'International Dairy Federation (IDF) sui sistemi di alimentazione delle bovine da latte utilizzati in diverse aree geografiche del mondo¹². Le previsioni di crescita del mercato globale dei miscelatori per alimenti zootecnici, dai 720,8 milioni di dollari del 2022 ai 927,5 milioni di dollari entro il 2029, con un tasso di crescita annuale del 3,7% nel periodo di previsione¹³, in ogni caso, indicano un interesse sempre maggiore per la tecnica unifeed.

¹⁰ Schingoethe, D. J. 2017. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100:10143–10150.

¹¹ USDA National Animal Health Monitoring System. 2014. Dairy Cattle Management Practices in the United States, 2014. USDA, Washington, DC.

¹² FAO, IDF and IFCN. 2014. *World mapping of animal feeding systems in the dairy sector*. Rome.

¹³ Feed mixer market size. Summary [online]. Available at: <https://www.fortunebusinessinsights.com/feed-mixer-market-103270> [12/01/2023].

La preparazione di una razione mediante la tecnica unifeed prevede alcune condizioni, riassumibili come segue:

- i singoli ingredienti devono essere correttamente pesati in modo da ottenere razioni corrispondenti ai fabbisogni nutrizionali delle bovine, stimati in base al loro stato fisiologico e produttivo;
- tutti gli ingredienti devono essere accuratamente miscelati tra loro in modo da limitare la possibilità che gli animali possano selezionare quelli più appetibili e, quindi, garantire che ogni boccone ingerito contenga tutti gli alimenti secondo gli apporti stabiliti dalla razione teorica; la razione deve essere il più possibile costante durante l'anno in termini di disponibilità di foraggi (fieni e insilati).
- gli animali devono essere divisi in gruppi omogenei per esigenze fisiologiche e livello produttivo.

A quanto sopra elencato va aggiunta la necessità di avere un certo livello di meccanizzazione aziendale in cui il carro trinciamiscelatore, dotato di un sistema di pesatura, costituisce il dispositivo principale e indispensabile.

Architettura dei carri trinciamiscelatori

Nel suo schema più generale, il carro trinciamiscelatore è costituito da un telaio, su cui poggia il cassone per mezzo dell'interposizione di celle di carico per la pesatura degli ingredienti, e dal sistema di trinciamiscelazione caratterizzato da una o più coclee orizzontali o verticali provviste di organi di taglio. Si tratta di macchine operatrici che possono essere o ad accoppiamento trainato con presa di potenza con un trattore di adeguata potenza, oppure con propulsione autonoma (semoventi).

Tabella 1. Applicazione della tecnica unifeed in diversi contesti produttivi

Paese	Aziende che utilizzano la tecnica unifeed (%)	Numero medio di vacche per azienda	Efficienza alimentare (kg latte/kg SS)	Contributo alla produzione nazionale di latte (%)
Australia	1	491	0,94	1
Giappone	25	100	1,10	33
Israele	100	125	1,17	100
Sud Africa	38	360	1,11	38

Tabella 2. Ripartizione percentuale dei componenti della razione unifeed in diversi contesti produttivi

Paese	Foraggi (%)	Cereali in grani (%)	Mangimi composti (%)	Sottoprodotti (%)
Australia	45	30	4	21
Giappone	32	-	50	18
Israele	33	27	1	39
Sud Africa	52	32	-	16

Dal punto di vista funzionale, si distinguono le seguenti architetture:

Sistemi a 3-4 coclee orizzontali (figura 1): una o due coclee sono disposte nella parte inferiore del cassone, comunemente a forma di tronco di piramide a base rettangolare rovesciato con volumi nominali di carico fino a 30 m³, mentre due sono collocate superiormente e azionate dalle prime mediante trasmissioni a catene e pignoni. Solitamente l'azione di trinciatura viene realizzata dalle coclee inferiori, dotate di organi di taglio (coltelli), mentre la miscelazione si basa sulla creazione di flussi di ingredienti generati dall'azione combinata (longitudinale e radiale) di tutte le coclee.



Figura 1. Esempio di carro trinciamiscelatore trainato a 3 coclee. La coclea inferiore, provvista di coltelli, svolge principalmente azione trinciante e di miscelazione in senso radiale e longitudinale, mentre le coclee superiori eseguono la miscelazione prevalentemente in senso longitudinale. In pratica la coclea inferiore muove gli ingredienti verso la parete anteriore del cassone spingendoli verso l'alto, dove vengono intercettati dalle coclee superiori che li riportano verso la parte posteriore. Di fatto si crea un moto ciclico "avanti-indietro" e "sopra-sotto" che complessivamente garantisce la miscelazione del prodotto (Fonte: Gilioli-Italmix).

Sistemi a 1-2 coclee orizzontali (figura 2): sviluppati per garantire economia d'uso (minori costi di acquisto, potenze richieste e manutenzione), sono dotati di una o due coclee controspiralate, provviste di coltelli per la trinciatura dei prodotti a fibra lunga e disposte nella parte inferiore del cassone. Si caratterizzano per l'ampia luce di carico che facilita l'introduzione di prodotti voluminosi come i fieni interi.



Figura 2. Esempio di carro trinciamiscelatore trainato a 2 coclee. Le coclee con spire convergenti determinano la risalita del prodotto nella parte centrale del cassone originando flussi che vanno a ricadere verso il basso nella parte anteriore e posteriore del cassone per poi riprendere il ciclo di miscelazione (Fonte: <https://sekoindustries.com>)

Sistemi a coclee verticali (figura 3): hanno da una fino a tre coclee verticali, provviste di coltelli per la trinciatura dei prodotti a fibra lunga, operanti in un cassone di tipo troncoconico rovesciato. La principale particolarità di questi sistemi consiste nel poter tritare rapidamente le rotoballe di fieno, senza la sfaldatura preventiva.

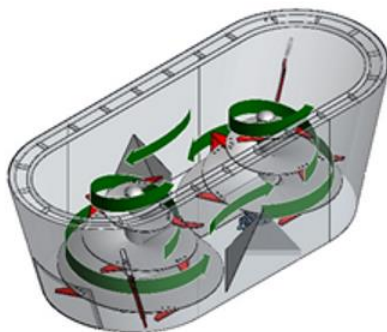


Figura 3. Esempio di flusso di miscelazione con 2 coclee verticali. La rotazione delle coclee determina sia il sollevamento verticale del materiale, creando un ciclo di miscelazione "sopra-sotto", sia lo spostamento dello stesso tra la parte anteriore e posteriore del miscelatore (Fonte: <https://sgariboldi.it>).

Sistemi a botte rotante (figure 4 e 5): solo semoventi, sono caratterizzati da un cilindro rotante obliquo e spiralato internamente all'interno del quale è inserita una coclea controrotante rispetto al cilindro stesso. La trinciatura dei prodotti a fibra lunga viene realizzata da un mulino a coltelli collocato posteriormente alla fresa di carico.



Figura 4. A sinistra: vista interna della botte rotante con parete interna spiralata (A), coclea centrale controrotante (B) rispetto alla botte stessa e pale di contrasto (C). Al centro: fresa di carico e mulino a coltelli. A destra: particolare del mulino a coltelli (Fonte: <https://bravosrl.it>).

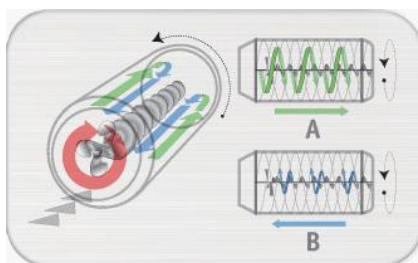


Figura 5. Flusso di miscelazione in un sistema a botte rotante: (A) le spirali poste sulla parete interna della botte in rotazione spingono il prodotto verso la parte posteriore della botte; (B) la coclea centrale, ruotando in senso contrario alla botte, riporta il prodotto verso la parte anteriore della botte mentre le pale di contrasto ne impediscono la fuoriuscita. La contemporaneità delle due azioni (A+B) permette la miscelazione del prodotto (Fonte: <https://bravosrl.it>).

Sistemi a pale (figura 6): sono caratterizzati da un albero, disposto orizzontalmente al centro della vasca di miscelazione, sul quale sono

inserite delle pale opportunamente inclinate che, ruotando, assicurano la miscelazione del prodotto in senso radiale e longitudinale. La presenza di deflettori in gomma all'estremità delle pale consente di movimentare la massa di prodotto senza creare punti morti e di svuotare completamente la vasca senza lasciare residui. Non avendo organi di taglio richiedono la pretrinciatura dei prodotti a fibra lunga. Le versioni semoventi sono dotate di mulino a coltelli, collocato posteriormente alla fresa di carico, per la trinciatura dei foraggi grossolani.



Figura 6. A sinistra: particolare di un sistema di miscelazione a pale. A destra: flussi di miscelazione in un carro trinciamicelatore semovente a pale. In alcuni modelli, la possibilità di variare la velocità di rotazione del tappeto di carico consente di distribuire uniformemente gli ingredienti lungo il cassone, migliorando l'azione di miscelazione in senso longitudinale (Fonte: <https://sgariboldi.it>).

Principali vantaggi e criticità della tecnica unifeed

L'uso di razioni unifeed è ormai una pratica comune nelle stalle di bovine da latte ed è stata introdotta allo scopo di fornire un apporto relativamente costante di nutrienti ai microorganismi ruminali per ottimizzare la funzione del rumine e aumentare l'efficienza di utilizzo dei nutrienti.

In termini generali l'applicazione della tecnica unifeed consente di migliorare il benessere della bovina aumentando la produzione di latte, grazie alla contemporanea disponibilità di carboidrati e proteine nel rumine e alla maggiore stabilità del pH ruminale, e di

ottimizzare i flussi di lavoro connessi al prelievo degli alimenti dai siti di stoccaggio e alla preparazione della razione, portando a una sensibile riduzione dei costi di manodopera legati al processo di alimentazione¹⁴.

Questa modalità di razionamento, comunque, non è priva di criticità. Prima fra tutte quella di soddisfare i fabbisogni nutrizionali della “vacca media”, accettando che ci siano animali sovra- o sottoalimentati all’interno dello stesso gruppo e valutando la correttezza della quantità distribuita in base al residuo in mangiatoia (6-8%). Un’altra criticità risiede nel fatto che le razioni unifeed sono potenzialmente soggette a selezione, variando nella loro composizione chimico-fisica durante il periodo di disponibilità in mangiatoia¹⁵. Inoltre, il limitato numero di distribuzioni (solitamente una o al massimo due al giorno) e di riavvicinamenti in corsia di alimentazione spinge le bovine ad assumere rapidamente circa il 30% della quantità giornaliera di alimento entro le prime 3 ore dalla distribuzione, attivando un’evidente competizione in mangiatoia¹⁶. Altri aspetti critici, spesso trascurati, nella preparazione di razioni unifeed sono:

- il livello di riempimento del carro trinciamiscelatore;
- i tempi di trinciamiscelazione;
- la variazione del contenuto di umidità dei componenti utilizzati.

Livello di riempimento del carro e tempi di trinciamiscelazione

La somministrazione simultanea di tutti i nutrienti garantisce una maggiore stabilità del pH ruminale, evitando l’acidosi del rumine e

¹⁴ Tangorra F.M., Agazzi A., Perricone V., Costa A. *Precision feeding e automazione. In: Manuale di nutrizione dei ruminanti da latte.* A cura di B. Ronchi, G. Savoini, M. Trabalza Marinucci. Edises Università, 2020. pp. 365-374. ISBN 9788836230082.

¹⁵ Konoff P.J. 2005. Understanding effective fiber in rations for dairy cattle. *Paper G1587.* University of Nebraska, USA.

¹⁶ 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.

migliorando le prestazioni produttive e la salute delle bovine^{17,18}. Il presupposto fondamentale per ottenere i benefici associati al razionamento unifeed è la miscelazione omogenea degli ingredienti. Una razione si definisce omogenea quando gli ingredienti sono uniformemente distribuiti senza carenze o eccessi indesiderati o dannosi. Razioni non uniformi sotto il profilo nutrizionale e fisico possono influenzare la quantità di alimento assunta dagli animali dando loro la possibilità di selezionare i componenti più appetibili con effetti negativi sulle loro prestazioni¹⁹.

Le caratteristiche del carro trinciamiscelatore e il suo utilizzo razionale, rispettando i limiti di carico e definendo opportuni tempi di trinciatura e di miscelazione in funzione degli ingredienti utilizzati, rappresentano i fattori chiave per la preparazione di una razione omogenea.

Costa et al. (2019)²⁰ hanno analizzato l'influenza di diversi livelli di riempimento, tempi di trinciatura e di miscelazione sull'omogeneità di una razione unifeed (rapporto foraggi-concentrati di 70:30) preparata con un carro trinciamiscelatore a due coclee verticali e capacità nominale di 21 m³. In particolare, sono stati presi in considerazione tre livelli di riempimento del cassone (40, 70 e 100% della capacità nominale), tre tempi di trinciatura (4, 5 e 6 minuti) e tre tempi di miscelazione (4, 5 e 6 minuti). Nessun effetto significativo dei tempi di trinciatura è stato riscontrato

¹⁷ DeVries TJ, von Keyserlingk MAG, Beauchemin KA. 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88:3553–3562

¹⁸ Mäntysaari P, Khalili H, Sariola J. 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89:4312–4320

¹⁹ Kmickewycz D, Harvatine KJ, Heinrichs AJ. 2015. Effects of corn silage particle size, supplemental hay, and forage-to-concentrate ratio on rumen pH, feed preference, and milk fat profile of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98:4850–4868

²⁰ Costa A., Agazzi A., Perricone V., Savoini G., Lazzari M., Nava S., Tangorra F.M. 2019. Influence of different loading levels, cutting and mixing times on total mixed ration (TMR) homogeneity in a vertical mixing wagon during distribution: a case study. *Italian Journal of Animal Science*, 18, 1, 1093–1098

sull'omogeneità - espressa in termini di coefficiente di variazione (CV, %) della sostanza secca (SS), proteina grezza (PG) e fibra neutrodetersa (NDF) - della razione distribuita in corsia di alimentazione (50 m) e campionata all'inizio, a metà e alla fine della stessa corsia. Al contrario, il minore CV è stato riscontrato con un livello di carico pari al 70% di quello nominale e con tempi di miscelazione di circa 5 minuti (figura 7).

Il tempo di miscelazione dipende da molti fattori come il tipo di ingredienti utilizzati e il loro ordine di carico, le caratteristiche e il grado di manutenzione del carro trinciamiscelatore, nonché l'inclusione di frazioni liquide nella razione¹⁰. A parità di tutti questi fattori, un tempo di miscelazione adeguato permette di ottenere razioni omogenee sotto il profilo chimico e fisico, sulle quali le bovine hanno maggiore difficoltà a selezionare gli ingredienti. Ciò permette di ottimizzare l'assunzione di sostanza secca e nutrienti e di limitare i disordini metabolici²¹.

Tempi di miscelazione troppo brevi non permettono un rimescolamento completo della massa di prodotto, mentre tempi eccessivi possono determinare una progressiva riduzione delle frazioni più grossolane della miscelata cui corrisponde un peggioramento dell'attività ruminale.

In pratica, il tempo ottimale di miscelazione può essere calcolato per approssimazioni successive facendo distribuzioni ripetute di razioni unifeed, preparate con tempi di miscelazione crescenti, sulle quali realizzare campioni da sottoporre ad analisi chimica per alcuni parametri (sostanza secca, ceneri, proteina, estratto etereo, NDF, ADF, amido) e a setacciatura. Questo metodo ha l'inconveniente di essere laborioso e oneroso in termini sia economici, sia di tempo. La recente disponibilità di spettrometri portatili, operanti nel campo del vicino infrarosso tra 900 e 1650 nm, ha permesso di definire

²¹ Marchesini G., Cortese M., Ughelini N., Ricci R., Chinello M., Contiero B., Andrighetto I. 2020. Effect of total mixed ration processing time on ration consistency and beef cattle performance during the early fattening period. *Animal Feed Science and Technology*, 262, 114421

nuove modalità operative applicabili in campo per valutare in tempo reale e a basso costo l'effettiva omogeneità dell'unifeed distribuito in mangiatoia²².

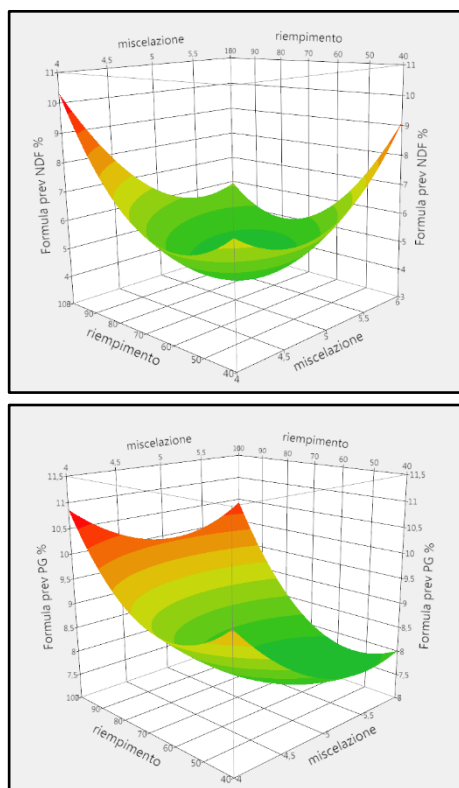


Figura 7. Superfici di risposta del CV (%) di PG (in alto) e NDF (in basso) in funzione del livello di riempimento del cassone del carro trinciamiscelatore.

²² Serva L., Marchesini G., Garbin E., Tenti S., Mirisola M., Segato S., Gerardi G., Andrightto I. 2016. *Use of a portable NIR instrument for the evaluation of the homogeneity of the distributed unifeed in the manger.* In: Atti del Simposio SISNIR, Proceedings of the 7th Simposio Italiano di Spettroscopia NIR, Milano, Italy (12–14 Ottobre 2016), pp. 138–142

La spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS) è stata utilizzata da Tangorra et al. (2022)²³ per determinare il tempo ottimale di miscelazione valutando l'omogeneità della razione unifeed direttamente all'interno del cassone di un carro trinciamiscelatore. A tal fine, uno spettrofotometro a serie di diodi (950-1650 nm), con un modello di calibrazione per la previsione dei principali parametri chimici della razione (sostanza secca, ceneri, proteina, estratto etereo, NDF, ADF, amido), è stato montato sul fondo del cassone di un carro trinciamiscelatore semovente orizzontale, vicino al nastro trasportatore di scarico (figura 8), ed è stato integrato in un sistema di misura in linea e in tempo reale che viene attivato durante la fase di miscelazione. L'implementazione di uno specifico algoritmo ha permesso di calcolare il tempo di miscelazione necessario per ottenere una razione omogenea sotto il profilo chimico e, conseguentemente, di determinare il momento ottimale di scarico in mangiatoia. I risultati hanno evidenziato buone capacità predittive del sistema nel rilevare in tempo reale il contenuto di sostanza secca, NDF e amido della razione.

Valutazione in tempo reale del contenuto di umidità dei componenti di una razione

La variazione del contenuto di umidità è un fenomeno particolarmente evidente negli insilati, dove il fronte di carico può presentare differenze anche di molti punti percentuali (figura 9). Questo significa che, a parità di massa di alimento tal quale prelevata, la differenza in termini di sostanza secca e di nutrienti può essere considerevole, portando alla preparazione e distribuzione di razioni diverse da quelle formulate.

²³ Tangorra F.M., Perricone V., Agazzi A., Calcante A., Savoini G., Costa A. 2022. *Calculation of the Mixing Time as a Function of the Dairy Cow Diet Chemical Homogeneity Inside the Mixing Hopper*. Lecture Notes in Civil Engineering Volume 252 LNCE, pp. 60 – 66.

Recentemente sono state sviluppate soluzioni, basate sulla spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS), per misurare in tempo reale l'umidità e alcuni parametri chiave (proteine grezze, amido, lipidi, ADF, NDF) degli alimenti durante la fase di carico nel cassone del carro trinciamiscelatore. Questi sistemi prevedono l'installazione di un analizzatore NIR in corrispondenza dell'apparato fresante, interfacciato con il sistema di pesatura del carro e con uno specifico software che gestisce l'inventario degli ingredienti e la preparazione delle ricette. In questo modo il peso degli ingredienti viene ricalcolato automaticamente in funzione del loro contenuto di umidità ottenendo così razioni con caratteristiche chimico-nutrizionali più costanti e vicine alla formulazione teorica.

Un'alternativa per misurare il contenuto di umidità dei foraggi è rappresentata dai sensori a microonde. Quando penetrano nel materiale da misurare, le microonde provocano la rotazione delle molecole d'acqua libere. Ciò comporta una riduzione della velocità delle microonde (sfasamento) e della loro intensità (attenuazione). L'entità di questi cambiamenti può essere correlata al contenuto di acqua del campione e, quindi, alla sua sostanza secca²⁴. Poiché il campo di microonde penetra di qualche centimetro nel campione, l'acqua non viene rilevata solo in superficie ma anche nel cuore del prodotto. Inoltre, fattori quali il colore, la composizione disomogenea o la polvere non hanno alcun effetto o solo un effetto trascurabile sulle prestazioni di misura. Perricone et al. (2019)²⁵ hanno implementato un sistema basato su un risonatore a microonde per misurare in tempo reale e in continuo il contenuto di umidità degli insilati durante la fase di carico nel carro trinciamiscelatore (figura 10). I risultati preliminari hanno evidenziato che le

²⁴ Trabelsi S., Nelson S., Lewis M. 2008. Microwave moisture sensor for grain and seed. *Biological Engineering Transactions*, 1(2), 195-202.

²⁵ Perricone V., Costa A., Calcante A., Agazzi A., Savoini G., Sesan E., Chiara M., Tangorra F.M. 2019. *TMR mixer wagon real time moisture measurement of animal forages*. IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), Portici, Italy, 2019, pp. 247-250.

doi: [10.1109/MetroAgriFor.2019.8909273](https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909273).

prestazioni del sensore a microonde, in termini di accuratezza e ripetibilità, sembrano essere adeguate a misurare in tempo reale il contenuto di umidità degli insilati, consentendo di correggere la quantità di prodotto caricato in funzione dell'effettiva umidità. Ciò dovrebbe aumentare la consistenza della razione a tutto vantaggio della salute e delle prestazioni degli animali.



Figura 8. A sinistra: analizzatore NIR montato all'esterno del cassone di miscelazione. A destra: interfaccia ottica dell'analizzatore. La posizione sul fondo del cassone in prossimità del nastro trasportatore di scarico fa sì che un flusso continuo di materiale investa l'interfaccia ottica durante la fase sia di miscelazione, sia di scarico permettendo di monitorare l'omogeneità della razione in continuo (Immagine dell'autore).

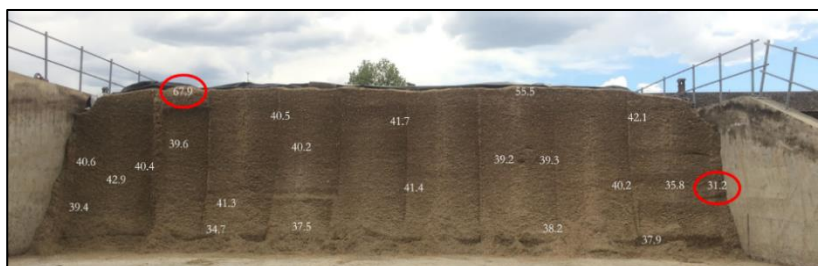


Figura 9. Variazioni di umidità (valori percentuali) riscontrabili sul fronte di una trincea di silomais (Immagine dell'autore).

Conclusioni

L'applicazione della tecnica unifeed consente di migliorare il benessere della bovina, aumentare la produzione di latte, ottimizzare i flussi di lavoro connessi alla preparazione e distribuzione della razione, portando a una sensibile riduzione dei costi di manodopera legati al processo di alimentazione. Complessivamente questi aspetti hanno determinato l'ampia diffusione della tecnica unifeed tra gli allevatori di vacche da latte sebbene sussistano alcune criticità. Tra queste, il livello di riempimento del carro trinciamiscelatore, i tempi di trinciamiscelazione e la variazione del contenuto di umidità dei componenti utilizzati sono elementi spesso trascurati che mettono a rischio la buona riuscita della razione. L'implementazione di sistemi basati sulla spettrometria nel vicino infrarosso (NIRS) e sull'impiego di sensori a microonde può compensare queste criticità contribuendo a ridurre le inefficienze del processo.

I sistemi automatici per l'unifeed: le soluzioni tecnologiche

Andrea Lazzari, Simone Giovinazzo e Maurizio Cutini

CREA - Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio

Sommario

Il razionamento bovino e la tecnica di alimentazione oggi più utilizzata: l'unifeed (o Total Mixed Ration - TMR), sono soggetti ad una forte variabilità dipendente da fattori umani, animali o di campo.

La tecnologia, grazie all'utilizzo di: idonea e apposita sensoristica, spingiforaggio automatici e sistemi completamente automatici per l'unifeed (Automatic Feeding System - AFS) fornisce un supporto agli allevatori nella preparazione e distribuzione della razione e nella gestione della mangiatoia riducendo il più possibile la variabilità e l'errore.

I sensori NIR e i sensori ottici da applicare al carro miscelatore sono un primo aiuto per l'allevatore nella preparazione della razione bovina; i primi permettono di controllare con precisione la quantità di alimento caricata sulla base delle proprie caratteristiche chimiche, i secondi permettono di valutare l'omogeneità della razione e la lunghezza della fibra per definire il tempo corretto di miscelazione.

Gli spingiforaggio automatici consentono di automatizzare l'operazione di riavvicinamento dell'unifeed in mangiatoia, sollevando l'allevatore da questa operazione ripetitiva e migliorando le prestazioni animali, avendo a disposizione e alla distanza corretta il cibo.

Infine, la tecnologia più innovativa e in forte espansione, che ha meritato uno studio ancora più approfondito: gli AFS. Essi sono disponibili in differenti tipologie e livelli tecnologici rendendoli perfettamente adattabili a qualsiasi tipo di allevamento e territorio.

Introduzione

Il settore zootecnico bovino nazionale si trova ad affrontare un contesto generale inedito che pone nuove sfide agli allevatori. Lo scenario attuale vede la riduzione del numero di allevamenti (-28%) e dei capi allevati (-7%) in contrapposizione con l'aumento della dimensione media della mandria²⁶. Regione Lombardia segue anch'essa la tendenza italiana, anzi, grazie alle peculiarità del territorio e alle caratteristiche dei prodotti che garantiscono un'elevata redditività, l'aumento della dimensione media della mandria è maggiormente estremizzato, fino ad arrivare a valori superiori a 150 capi/azienda²⁷. Tuttavia, l'aumento delle dimensioni non è sufficiente a garantire la competitività delle aziende zootecniche, perciò, le nuove tecnologie afferenti all'alimentazione di precisione possono incrementare la redditività e la produttività aziendale riducendo di pari passo gli sprechi. Non solo, la tecnologia ci permette di raccogliere numerosi dati e informazioni che possono essere utilizzati dall'allevatore a supporto delle proprie decisioni (smart decision).

Ulteriori vantaggi derivanti dell'inserimento in stalla di tecnologie per l'alimentazione possono essere visualizzati nella tecnica di preparazione e distribuzione della razione bovina, ovvero l'unifeed (o Total Mixed Ration - TMR). Infatti, la tecnica di alimentazione unifeed, già dettagliatamente spiegata nel capitolo precedente, e ormai indispensabile nell'allevamento bovino odierno, è soggetta a numerosi errori. La razione formulata dall'alimentarista,

²⁶ ISTAT, 2012. 6° Censimento generale dell'agricoltura - Risultati definitivi. [pdf] Disponibile a: <https://www.istat.it/it/files//2012/07/sintesi.pdf> [14/12/2022].

²⁷ Pretolani, R., Rama, D., 2017. *Il sistema agroalimentare della Lombardia – rapporto 2017*. Milano: Franco Angeli.

pienamente rispondente alle esigenze degli animali, viene difficilmente rispettata durante le fasi di preparazione, distribuzione e successiva gestione della mangiatoia così che la razione effettivamente assunta dagli animali è differente da quanto pianificato. Ciò a causa dei seguenti errori²⁸:

- La variabilità degli ingredienti;
- Errori di carico all'interno del carro miscelatore;
- Errori di scarico dell'unifeed in mangiatoia;
- La selezione applicata dagli animali;
- Errori e distrazione dell'uomo addetto alla preparazione del carro.

In questa condizione di forte variabilità e incertezza la tecnologia può essere un valido aiuto per aumentare la precisione nel razionamento, con conseguente beneficio per la fisiologia degli animali, le loro produzioni e la redditività dell'allevamento²⁹.

Uno degli obiettivi del progetto AUTOFEED è stato proprio quello di approfondire tutte le tecnologie disponibili a supporto dell'alimentazione bovina, siano esse già mature e presenti sul mercato (seppur a volte poco conosciute), oppure di recente invenzione.

Le tecnologie che si affronteranno nei paragrafi successivi sono:

1. Sensoristica (NIR e sensori ottici) applicati al carro miscelatore;
2. Spingiforaggio automatici;
3. Sistemi automatici di alimentazione (Automatic Feeding System - AFS).

Questi ultimi avranno un focus particolare data la loro recente introduzione sul mercato e la ancor ridotta diffusione sul territorio nazionale.

²⁸ Rossow, H.A., Aly, S.S., 2013. Variation in nutrients formulated and nutrients supplied on 5 California dairies. *Journal of Dairy Science*, 96(11), pp. 7371-7381.

²⁹ Bisaglia C., 2021. Il progetto «AutoFeed» Automazione dell'alimentazione per gli allevamenti bovini della Lombardia. [pdf] Disponibile a: <https://autofeed.crea.gov.it/lautomazione-dellalimentazione-per-le-bovine-da-latte-perche-si-perche-no/> [14/12/2022]

Parte tecnica

1. Sensoristica applicata al carro miscelatore

Un primo livello di automazione è rappresentato dai sensori applicati al carro miscelatore in grado di fornire all'allevatore un supporto nella preparazione della razione riducendo il più possibile gli errori. Grazie ad essi, la razione preparata e distribuita risulta più simile alla razione formulata.

1.1 I sensori NIR

I sensori NIR utilizzati sul carro miscelatore permettono un'analisi qualitativa dei prodotti in modo veloce, non distruttivo, non invasivo e senza alcuna preparazione preliminare del campione da misurare. La spettroscopia NIR è una metodica di tipo fisico basata sull'assorbimento di radiazioni elettromagnetiche nella zona del vicino infrarosso, in lunghezze d'onda comprese tra 780 e 2500 nm³⁰. Il NIR, solitamente installato sulla fresa del carro miscelatore (figura 1), prevede l'analisi delle componenti della razione in maniera istantanea (in-line) durante il carico, correggendo automaticamente, grazie all'elaborazione della centralina e al computer di bordo, le quantità caricate, sulla base della sostanza secca del prodotto oppure per un principio alimentare scelto (amido, proteina, ecc.). In figura 2 viene riassunto il principio di funzionamento del sistema NIR. Tale tecnologia ha mostrato differenze nel carico delle quantità degli ingredienti fino a $\pm 250-350$ kg/SS. In linea con quanto espresso in bibliografia³¹, la tecnologia NIR ha permesso di ottenere una TMR più costante nel tempo e una conseguente riduzione degli sprechi e dei costi, il tutto a vantaggio

³⁰ Berardo N., Locatelli S., 2009. Applicazioni della spettroscopia nel vicino infrarosso (NIR) nel settore agro-alimentare. [online] Disponibile a: <https://ndt.net> [07/03/2023]

³¹ Piccioli-Cappelli, F., Calegari, F., Calamari, L., Bani, P., Minuti, A., 2019. Application of a NIR device for precision feeding in dairy farms: effect on metabolic conditions and milk production. *Italian journal of animal science*. 18(1), pp. 754-765.

di una maggiore resa e una maggiore efficienza economica dell'allevamento.



Figura 1. Sensore NIR installato sulla fresa del carro miscelatore (Immagine dell'autore)

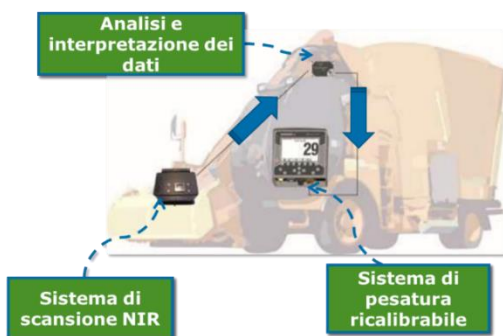


Figura 2. Esempificazione del funzionamento di un sistema di scansione NIR (Immagine dell'autore)

1.2 I sensori ottici

Un'altra categoria di sistemi di supporto alla razione da applicare al carro sono i sensori ottici per la valutazione della correttezza di miscelazione. All'interno del progetto AUTOFEED si è voluto testare e utilizzare un sensore appartenente a tale categoria, seppur in fase embrionale. Tale sistema misura l'omogeneità e la lunghezza della

fibra definendo il tempo corretto di miscelazione, evitando sovra- o sotto miscelazioni.

Il sensore consiste in una fotocamera digitale in grado di scattare numerose immagini durante la fase di miscelazione della razione. Nel caso studiato, l'installazione è avvenuta vicino al boccaporto per lo scarico in mangiatoia, posizione in cui il flusso di materiale è costante e compatto sulle superfici interne del carro. Il monitoraggio in tempo reale della miscelazione è garantito grazie al collegamento con lo smartphone dell'operatore attraverso una rete dati propria. Con il procedere della miscelazione, il sensore acquisisce una immagine al secondo calcolandone l'omogeneità, associandola poi, attraverso un processo di machine learning, all'omogeneità della razione finita (precedentemente impostata e memorizzata dal sensore). Il confronto tra le due omogeneità scaturisce un punteggio che indica, per una finestra dinamica di 15 immagini, il numero di acquisizioni caratterizzate da un'omogeneità adeguata. Contemporaneamente, viene svolta la stessa operazione per la lunghezza della fibra con la differenza che l'immagine in questo caso viene sottoposta ad un processo di segmentazione che ne distingue l'oggetto di interesse dal resto dello sfondo in cui si trova (figura 3).



Figura 3. Installazione del sensore sul carro e connessione attraverso smartphone (a sinistra). Software di gestione del sensore e immagini acquisite all'inizio e alla fine della miscelazione (a destra).

Tale sistema, mediante algoritmi di machine learning, dopo essere stato istruito da un operatore esperto, ad ogni razione e miscelata preparata riceve un feedback sull'esito della valutazione così da continuare ad *istruirsi* per arrivare ad affinare sempre di più la sua precisione. Al momento, la bibliografia riguardante questo tipo di applicazione è ancora modesta, ma si può affermare che lo strumento, testato e valutato all'interno del progetto, si è dimostrato valido nell'individuazione della corretta miscelata. Questa tecnologia può supportare l'allevatore, anche il meno esperto, nella preparazione della miscelata, permettendo di raggiungere un'adeguata ripetitività giornaliera della razione che garantisce un miglior benessere agli animali allevati.

2. Gli spingiforaggio automatici

Successivamente alla distribuzione dell'alimento, la gestione della mangiatoia è un altro fattore importante per avere la razione formulata ai bovini (teorica) il più possibile uguale a quella assunta dagli stessi. Gli animali, durante la loro permanenza in mangiatoia, effettuano, con la lingua oppure con il muso stesso, un'azione di ricerca delle componenti più appetibili all'interno della razione: tale comportamento è definito *feed sorting*. Ciò fa sì che la razione venga sospinta sempre più lontano dalla mangiatoia rendendola inaccessibile agli animali (figura 4).

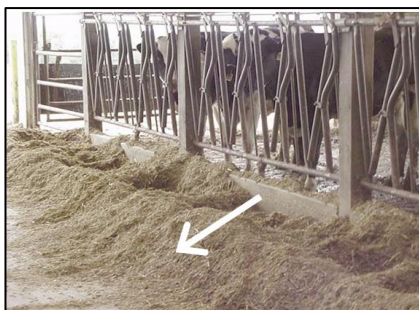


Figura 4. Effetto del *feed sorting* sulla razione distribuita in mangiatoia (Fonte: Bisaglia, 2021)

È di basilare importanza, dunque, effettuare durante la giornata delle operazioni di “spinta” del foraggio verso la mangiatoia. Tali operazioni, vengono solitamente svolte dall’allevatore a mano oppure mediante l’utilizzo di piccole macchine semoventi o trainate da trattore. La frequenza con cui si riavvicina il foraggio è importantissima al fine di mantenere costante o aumentare l’ingestione degli animali: maggiore sarà l’ingestione maggiore sarà la produzione di latte o carne^{32,33}. Non solo: la spinta del foraggio rende più difficile la demiscelazione della TMR, riducendo il *feed sorting* degli animali³³. Tuttavia, lo svolgimento di tale operazione richiede una disponibilità di personale che spesso non è presente in azienda, oppure, seppur presente, non riesce a garantire un numero sufficiente di “spinte” giornaliere, perdendo parte della potenziale produzione degli animali.

Ancora una volta la tecnologia viene in aiuto grazie alla realizzazione di macchine spingiforaggio (*feed pusher*) completamente automatizzate in grado di garantire numerosi passaggi di “spinta” giornalieri, anche di notte quando gli operatori aziendali non sono presenti. I *feed pusher* possono compiere fino a 10-12 riavvicinamenti/giorno della razione in mangiatoia. La bibliografia scientifica sottolinea quanto questi sistemi siano importantissimi per aumentare il potenziale produttivo dell’azienda, risparmiare sui costi (perdite di prodotto e di produzione) e garantire una regolare ingestione da parte degli animali. Inoltre, tali sistemi presentano un ritorno sull’investimento elevato (87,8%) con un payback period di soli 407 giorni³⁴.

³² Yuan, K., 2020. How Profitable is Pushing Up Feed?. [online] Disponibile a: <https://www.qlf.com/news/how-profitable-is-pushing-up-feed/> [19/12/2022].

³³ Pesenti, A., 2019. La razione è importante, ma non è tutto: il segreto è come la gestisci. [online] Disponibile a: <https://ferreromangimi.it/it/blog/gestione-razione-allevamento> [19/12/2022].

³⁴ Nabokov, V.I., Novopashin, L.A., Denyozhko, L.V., Sadov, A.A., Ziablitckaia, N.V., Volkova, S.A., Speshilova, I.V. 2020. Applications of feed pusher robots on cattle farmings and its economic efficiency. *International Transaction Journal of*

Gli spingiforaggio automatici presenti sul mercato si dividono principalmente in due categorie: sistemi guidati su binario o sistemi semoventi.

I primi si caratterizzano per la presenza di un binario su cui la macchina scorre; il binario può essere sia al centro della corsia di foraggiamento oppure direttamente in prossimità della rastrelliera (sopra la testa degli animali). Le modalità con cui il foraggio viene ravvicinato sono le più diverse: principalmente si trovano sistemi con ala metallica inclinata che, durante il loro avanzamento, provvedono a spingere verso la mangiatoia la TMR, oppure sistemi a tappeto mobile o nastro che riavvicinano la razione grazie al movimento degli stessi (figura 5).

I sistemi semoventi, i più sviluppati nel mercato degli spingiforaggio, invece, utilizzano appositi sensori magnetici inseriti nella pavimentazione della stalla, oppure il muretto della rastrelliera per potersi muovere e orientare. L'energia cinetica è garantita da batterie ricaricabili appositamente installate all'interno del robot: ad ogni fine corsa lo spingiforaggio torna autonomamente alla postazione di ricarica.



Figura 5. Esempi di sistemi spingiforaggio guidati. A sinistra sistema con ala inclinata; a destra sistema a tappeto mobile (Fonte: Dairymaster.com, Wasserbauer.at)

Anche i sistemi semoventi sono caratterizzati da differenti modalità di riavvicinamento della razione. I sistemi a tamburo rotante sfruttano il movimento rotatorio del tamburo del robot e la velocità di avanzamento per spingere il foraggio verso gli animali; diversamente, i sistemi a coclea possiedono una vite senza fine in movimento che provvede sia al riavvicinamento della razione sia al rimescolamento della stessa³⁵ (figura 6).



Figura 6. Esempi di sistemi spingiforaggio semoventi. A sinistra sistema a tamburo rotante; a destra sistema a coclea (Fonte: Immagine dell'autore)

Esistono anche altri sistemi semoventi che sfruttano differenti tecniche di riavvicinamento; tuttavia, sono molto poco sviluppati negli allevamenti italiani.

3. Sistemi Automatici di alimentazione (AFS)

Il livello massimo di automatizzazione per la razione bovina è rappresentato dai sistemi automatici per l'unifeed (Automatic Feeding System - AFS). Tali sistemi provvedono automaticamente alla preparazione della TMR e anche alla spinta del foraggio durante le ore della giornata.

³⁵ Lazzari, A. 2021. I sistemi automatici per la distribuzione e il riavvicinamento della razione unifeed - Soluzioni tecnologiche. [pdf] Disponibile a: <https://autofeed.crea.gov.it/lautomazione-dellalimentazione-per-le-bovine-da-latte-perche-si-perche-no/> [20/12/2022]

Attualmente, nel mondo, sono presenti circa 20 aziende costruttrici e più di 1250 robot installati³⁶; il mercato risulta in forte espansione e si prevede in futuro un esponenziale aumento delle installazioni. In Italia, sono ancora poche le installazioni di sistemi AFS, ma anche in questo caso si sta registrando un forte aumento delle vendite a favore di questa nuova tecnologia. L'offerta di mercato di tali sistemi è molto ampia e permette all'allevatore una scelta fra numerosi modelli e tipologie che meglio si possono adattare alle condizioni di allevamento (stabulazione, struttura, ecc...). Due sono, ad oggi, gli elementi chiave che costituiscono un sistema automatico per l'unifeed: la cucina e il sistema di distribuzione³⁷.

3.1 La cucina

La cucina è un luogo sempre coperto, inserito direttamente nella stalla oppure all'esterno della stessa, dove vengono stoccati tutti gli alimenti che compongono la razione e avviene la preparazione e miscelazione della TMR. L'edificio deve essere in grado di accogliere tutte le attrezzature previste, dipendenti dalla tipologia di AFS scelto e, inoltre, deve essere di facile accesso per i mezzi agricoli destinati al riempimento della cucina stessa. La cucina deve essere progettata in modo da conservare tutti gli alimenti nel rispetto delle norme igieniche e di sicurezza, con soluzioni che proteggano da calore e luce solare diretta, con una buona ventilazione ed evitino l'accesso a fauna selvatica³⁷. Le attrezzature principali che ricadono all'interno del locale cucina sono, a seconda della tipologia: gru autocaricanti, container inclinati per lo scarico dei prodotti per gravità e container orizzontali di conservazione degli alimenti con nastro trasportatore di carico, il miscelatore e il carro di

³⁶ Oberschätzl-kopp, R., Haidn, B., Peis, R., Reiter, K., Bernhardt, H. 2016. *Effects of an automatic feeding system with dynamicfeed delivery times on the behaviour of dairy cows*. pp 1-8 in Proc. of CIGR-AgEng 2016 Conference, Aarhus, Denmark.

³⁷ Rossi, P., Brambilla, M., Giovinazzo, S., Lazzari, A., Bisaglia, C., 2021. Inserire in stalla i sistemi automatici di alimentazione. *Informatore Zootecnico*. 13/2021 pp. 39-45.

distribuzione, oppure solamente il carro trinciamiscelatore laddove sia stata installata questa opzione (figura 7).

Esiste inoltre, una terza possibilità allo studio da parte dei costruttori: l'automazione dei sili orizzontali in modo da ridimensionare (o eliminare) la cucina.



Figura 7. Esempi di edifici dedicati a cucina. In alto, a sinistra: cucina con container e scarico per gravità. In alto, a destra: cucina con gru automatica di carico. In basso, al centro: cucina con container e nastro trasportatore (Immagini dell'autore)

3.2 I livelli di automazione

Gli AFS presentano numerosi modelli a differenti livelli di automazione che possono essere classificati in tre categorie principali (figura 8)³⁸:

- **Tipo 1** Nel *primo livello di automazione* (figura 9a) la tecnologia automatizza solo la trinciamiscelazione e la distribuzione dell'unifeed. Il miscelatore è stazionario e deve essere riempito da un operatore che preleva i vari componenti della razione dalle strutture di stoccaggio presenti in azienda. Il prelievo può avvenire

³⁸ Haidn B., Leicher C., 2017. *Automatisches Füttern - Neues aus Praxis und Forschung*. In: *Automatische Grundfuttermittelvorgabe für Rinder*. Bayerische Landesanstalt für Land-wirtschaft pp. 47-49.

mediante l'utilizzo di trattore dotato di caricatore frontale (o caricatore telescopico) oppure mediante gru a carro ponte, soprattutto negli allevamenti di montagna. Il livello 1 di automazione è il più semplice da adottare e si adatta al meglio nei contesti produttivi in cui è presente un solo gruppo di animali; l'operatore è sollevato dall'incarico della preparazione completa della razione (deve infatti riempire il miscelatore, solitamente stazionario, con gli ingredienti) e può prestare maggiore attenzione al controllo della mandria e dell'impianto stesso³⁹;

– **Tipo 2:** Nel *secondo livello di automazione* (figura 9b), la tecnologia automatizza la trinciamiscelazione, il riempimento del carro e la distribuzione della razione. Rispetto al livello precedente, qui è automatizzata anche l'operazione di riempimento del carro. In questo modo è possibile preparare, più volte al giorno, razioni differenti per diversi gruppi di animali. La cucina, perciò, deve disporre di uno spazio sufficiente in cui inserire, in modo temporaneo, tutte le componenti alimentari della razione. Gli alimenti sono inseriti in appositi container metallici a svuotamento meccanico oppure in sezioni a pavimento con gru che provvede al carico automatico degli stessi. A seconda della stagione e della grandezza del deposito, la cucina deve essere caricata da un operatore ogni 1-3 giorni³⁷. È bene evitare che i componenti della razione restino troppo a lungo nello stoccaggio in quanto si potrebbero avere effetti negativi sulla qualità dell'unifeed, a causa di degradazioni e ossidazioni indesiderate avvenute nel componente alimentare⁴⁰. Il riempimento automatizzato del carro, elemento chiave di questa tecnologia, avviene tramite gru, oppure direttamente dai container destinati allo stoccaggio degli alimenti, che veicolano, a loro volta, il prodotto all'interno del carro per mezzo di nastri trasportatori ad azionamento elettrico oppure per gravità.

³⁹ Haidn, B., 2015. *Automatic feeding-news from practice and research*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. pp. 20-36.

⁴⁰ Oberschätzl, R., Haidn, B., 2014. *Automatic Feeding Systems for Cattle Technology – Performance – Notes on Planning*. DLG Committee for Technology in Animal Production. DLG Expert Knowledge, Series 398.

– **Tipo 3:** Nel *terzo livello di automazione* (figura 9c) tutte le operazioni, dal carico degli alimenti alla distribuzione, sono automatizzate. Ciò significa che il carro automatico trincia-miscelatore riceve o preleva gli ingredienti della razione direttamente dai silos; non è più necessario disporre del locale cucina con possibili ricadute sulla qualità della razione e sull'edilizia aziendale³⁷. Questo tipo di macchine, pur di prossima messa in commercio, al momento si limitano a pochi modelli tutti ad uno stato pressoché prototipale.



Figura 8. Le possibili tipologie di AFS e gli ambiti di automazione raggiungibili (Fonte: Rossi et al., 2021)³⁷

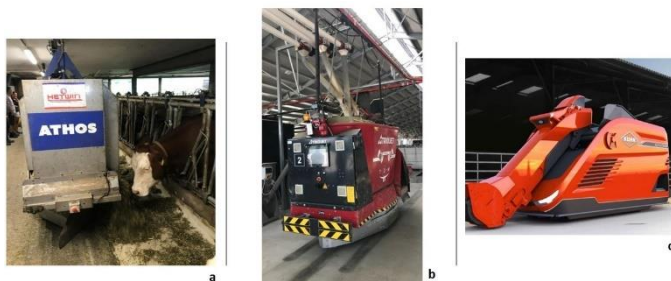


Figura 9. Esempi di differenti livelli di automazione: Livello I di automazione (a); livello II di automazione (b); livello III di automazione (c) (Fonte: Immagini dell'autore; www.kuhn.it)

3.3 Il sistema di distribuzione

La figura 10 riassume tutte le tipologie di sistemi distributori presenti che possono essere suddivisi in due macrocategorie (si ricorda che in tutti i casi è necessario disporre di un locale adibito a cucina):

- Stazionari, fondamentalmente basati sull'unica tipologia dei nastri trasportatori;
- Mobili, che comprendono carri sospesi su rotaia, carri guidati e carri semoventi.

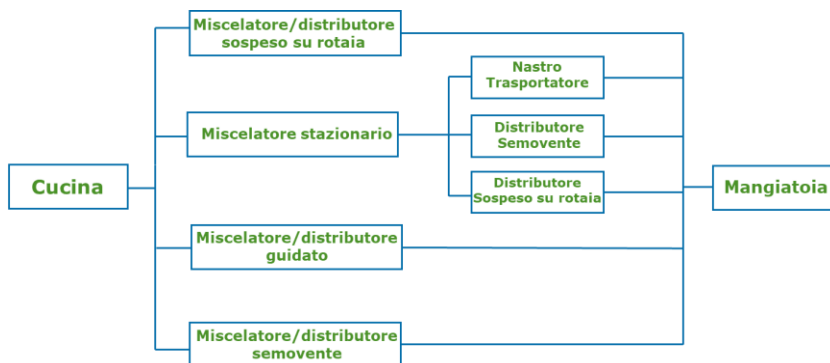


Figura 10. Sistemi di distribuzione attualmente presenti sul mercato degli AFS (Fonte: Haidn, 2014; elab. CREA, 2021)

I carri mobili sospesi e semoventi possono operare secondo due modalità: distribuire una razione già miscelata in cucina, oppure miscelare e distribuire gli ingredienti che dalla cucina sono prelevati.

Sistemi sospesi. Questi possono essere sia solo distributori sia miscelatori-distributori. Sono caratterizzati da vagoni di piccole dimensioni (1-3 m³) sospesi e vincolati su una rotaia che ne fornisce la direzione e l'energia per il movimento. Il binario/rotaia è installato lungo la mangiatoia degli animali e viene ancorato alla struttura portante della stalla. Di fondamentale importanza, perciò, è la verifica che la stalla sostenga il peso dell'attrezzatura, anche

quando piena di alimento, ma soprattutto resista alle vibrazioni dovute all'energia cinetica data dal movimento del carro⁴¹.

Sistemi guidati. Questi sistemi sono attualmente disponibili solo nella versione miscelatore-distributore e sono caratterizzati da un binario/linea che fornisce energia elettrica per il funzionamento e provvede anche a fornire direzione al carro. A differenza del sistema precedente, il carro è dotato di ruote gommate sterzanti: questo permette non solo il direzionamento, ma anche di scaricare al suolo il peso dell'attrezzatura evitando così di gravare sulla struttura della stalla. Il binario, in questo caso, può essere installato lungo la corsia di foraggiamento degli animali oppure direttamente in rastrelliera, sopra la testa degli animali stessi.

Sistemi semoventi. Queste macchine possono essere presenti in due versioni (solo distributore e/o miscelatore-distributore). Sono sistemi automatici caratterizzati da vagoni di piccole dimensioni (fino a 4 m³) che si muovono in stalla grazie a batterie che ne forniscono l'energia necessaria e ad appositi sensori (o piastre) magnetici installati nella pavimentazione della struttura che ne forniscono la direzione. I carri sono tutti dotati di ruote gommate sterzanti che ne permettono il movimento in stalla. Il robot ricarica le proprie batterie all'interno del locale cucina, durante il carico e la miscelazione degli ingredienti³⁵.

In figura 11 si riportano alcuni esempi dei differenti sistemi di distribuzione.

Risultati

1. Analisi del contesto commerciale mondiale dei robot spingiforaggio.

L'automatizzazione della spinta del foraggio è un primo passo verso l'adozione di sistemi automatizzati a supporto della preparazione e

⁴¹ Rossi, P., 2021. Le considerazioni per l'inserimento in stalla. [pdf] Disponibile a: <https://autofeed.crea.gov.it/automazione-dell'alimentazione-per-le-bovine-da-latte-perche-si-perche-no/> [21/12/2022]

gestione della razione. Tali sistemi sono oggi diffusi e adottati in numerose aziende bovine in Italia.

All'interno del progetto AUTOFEED, è stata svolta un'analisi sul web alla ricerca di tutti i modelli disponibili, e le relative case costruttrici, degli spingiforaggio. I robot trovati sono stati poi suddivisi sulla base delle categorie esposte nel capitolo 2 del paragrafo precedente.



Figura 11. Differenti tipologie costruttive del sistema di distribuzione: a) sospeso solo distributore; b) guidato miscelatore-distributore; c) sospeso miscelatore-distributore; d,e,f) semovente miscelatore-distributore (Fonte: immagini dell'autore)

L'analisi ha evidenziato come, nel mercato mondiale degli spingiforaggio, prevalga la soluzione semovente con modalità di spinta a tamburo rotante (58%), seguiti poi dai sistemi di tipo semovente con coclea di spinta (21%) e infine i sistemi guidati (14%) (figura 12). In totale sono state identificate 22 case costruttrici con 29 modelli totali prodotti.

2. Analisi del contesto commerciale mondiale e italiano dei robot AFS.

La stessa analisi effettuata sui robot spingiforaggio è stata svolta anche per quanto riguarda i sistemi automatici per l'unifeed (AFS). La situazione sul mercato mondiale è differente rispetto agli

spingiforaggio. Innanzitutto, il mercato di queste macchine si può definire in una fase post-embrionale, con ancora pochi modelli installati rispetto al numero di aziende agricole presenti nel mondo. Tuttavia, si registra una forte espansione negli ultimi anni di tale tecnologia, dovuta soprattutto alla mancanza di manodopera specializzata ma, anche, al naturale ricambio generazionale che sta avvenendo negli allevamenti.

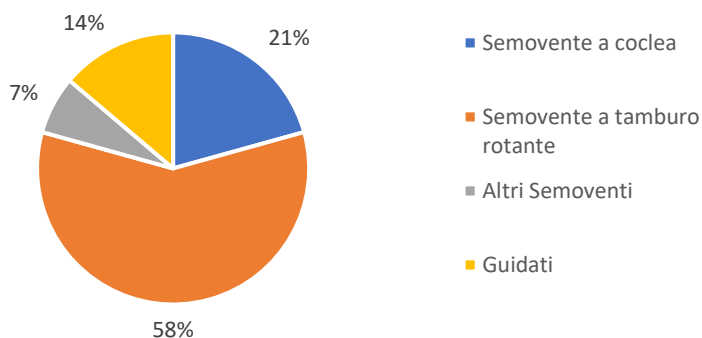


Figura 12. Situazione del mercato mondiale dei robot spingiforaggio (Fonte: CREA)

L'analisi del contesto commerciale mondiale ha evidenziato 25 costruttori di AFS e un totale di 49 modelli di robot prodotti. La ricerca è stata effettuata sui portali web o sui siti dei costruttori; successivamente sono stati classificati tutti i modelli trovati sulla base di quanto esposto nel capitolo 3.3 del paragrafo precedente. Le singole aziende costruttrici inseriscono nel loro listino di vendita numerosi modelli, ciò permette loro di potersi adattare alla forte eterogeneità di allevamenti che è presente a livello mondiale.

L'indagine ha rilevato che la tipologia di robot più diffusi nel mercato sono quelli sospesi (37%), seguiti da quelli semoventi (33%) siano essi sia miscelatori-distributori oppure soltanto distributori. Successivamente troviamo sistemi guidati (12%) e sistemi a nastro trasportatore (12%). Sul mercato, ma ancora in fase prototipale, troviamo pochi modelli di robot completamente automatizzati (6%),

dove tutte le fasi della preparazione e distribuzione della razione sono automatizzate (figura 13).

A livello italiano, il mercato degli AFS è ancora in una fase primordiale ma, grazie agli incentivi messi in atto dallo Stato e ai numerosi vantaggi che esso può portare all'allevamento, sta cominciando un periodo di espansione.

Grazie al supporto dei costruttori che attualmente sono presenti in Italia, è stato possibile effettuare un'analisi dei robot installati e la loro tipologia.

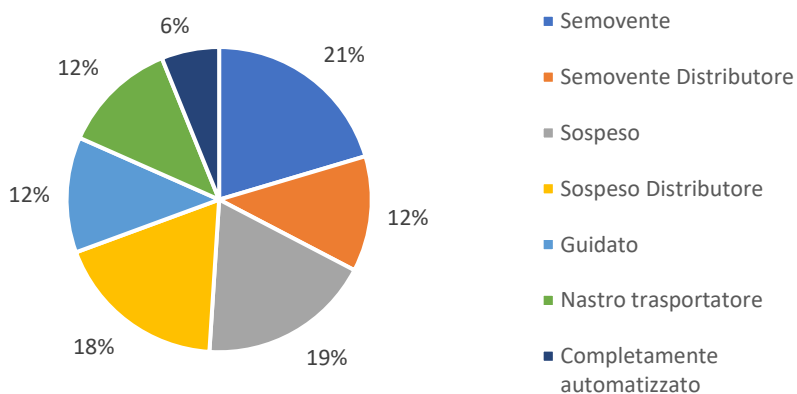


Figura 13. Situazione del mercato mondiale degli AFS (Fonte: CREA)

Attualmente sono presenti in Italia 101 impianti automatizzati installati, di cui più della metà rientrano nella categoria “semoventi miscelatori - distributori” (63%), seguiti poi dai sistemi sospesi (26%). I sistemi guidati e a nastro trasportatore risultano ancora poco installati nel nostro paese. In figura 14 è possibile osservare la distribuzione dei vari modelli di AFS in Italia.

Dalla valutazione dei dati forniti dai costruttori è stato possibile, inoltre, analizzare il contesto orografico delle installazioni degli AFS. Nelle zone di allevamento montane è risultata una forte eterogeneità delle differenti tipologie costruttive installate; tuttavia, a conferma della situazione italiana, i sistemi più diffusi sono quello semovente e quello sospeso. Al contrario, nelle zone di

pianura prevale l'installazione di robot semoventi, ricadenti tutti nella tipologia miscelatore - distributore (figura 15). Nelle zone collinari prevale la tipologia semovente, seppur gli allevamenti ricadenti in tale zona altimetrica sono pochi. Da codesta analisi si evince la forte adattabilità di questi sistemi alle differenti tipologie di allevamento, come già sostenuto precedentemente, ma soprattutto alla differente orografia del territorio.

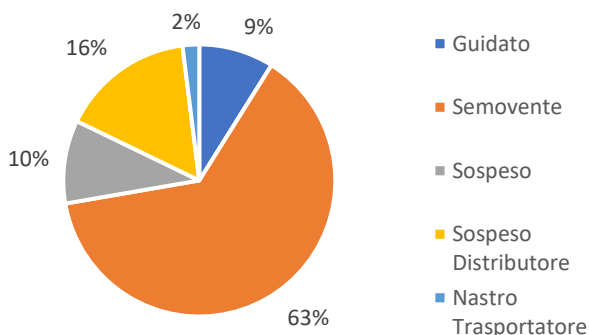


Figura 14. Installazioni di AFS in Italia suddivise per tipologia costruttiva (Fonte: CREA, 2021)

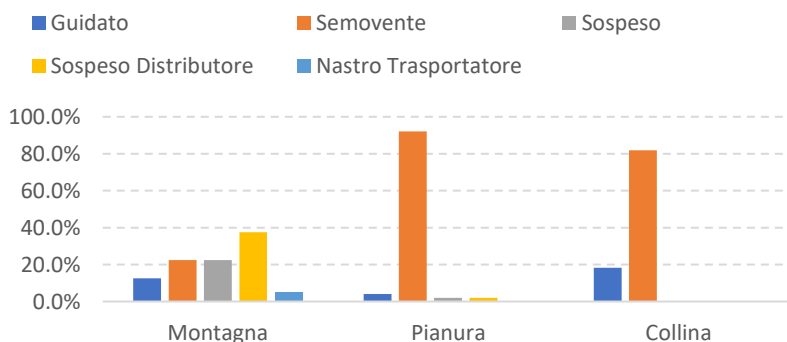


Figura 15. Distribuzione delle differenti tipologie costruttive di AFS nelle tre aree orografiche principali italiane (Fonte: CREA, 2021)

Conclusioni

La tecnologia applicata all'alimentazione bovina fornisce un valido supporto all'allevatore nella preparazione, distribuzione e gestione della TMR. La sensoristica applicata al carro miscelatore si è rivelata un ottimo aiuto a supporto della preparazione della razione, riducendo il più possibile gli errori e migliorando, conseguentemente, il benessere animale. L'inserimento in stalla di soluzioni robotiche, in cui l'operatore è svincolato dalle operazioni ripetitive di preparazione della razione e gestione della mangiatoia porta ad un miglioramento delle condizioni sociali dei lavoratori. Infatti, gli operatori possono dedicarsi ad operazioni più importanti per l'allevamento a tutto beneficio della stalla e degli animali. Non solo le condizioni dell'uomo migliorano, anche le condizioni di benessere degli animali cambiano in meglio, con conseguente miglioramento della produttività e dell'efficienza economica dell'allevamento. L'analisi commerciale mondiale, e italiana soprattutto, mostrano come l'adozione di sistemi tecnologicamente avanzati per l'alimentazione in allevamento sia ancora bassa ma si prevede negli anni un forte espansione, soprattutto per i benefici che essa porta agli animali e all'uomo.

Aspetti tecnici ed economici per l'inserimento in stalla di un AFS

Paolo Rossi

Fondazione CRPA Studi Ricerche - ETS

Sommario

L'introduzione in azienda di un sistema automatico di alimentazione (AFS) comporta una serie di valutazioni preliminari che riguardano le possibili soluzioni tecniche proposte sul mercato, le caratteristiche dell'allevamento e la sua dimensione, il tipo di alimentazione e gli alimenti utilizzati, l'eventuale dotazione di strutture utilizzabili ecc. L'analisi tecnico-economica degli AFS e il confronto con sistemi di alimentazione convenzionali ha preso le mosse dalla progettazione di 4 insediamenti bovini di differente dimensione (3 da latte e uno da ingrasso), con allestimento di cucina e impianto completo. Per questi modelli di aziende sono stati redatti i computi metrici estimativi relativi a strutture, impianti e attrezzature, allo scopo di ottenere i costi di costruzione totali e suddivisi per tipi di lavori e di opere. Il confronto economico ha permesso di valutare i costi annui di gestione delle due soluzioni, considerando i costi parziali per quote, macchine, manodopera ed energia elettrica. Infine, è stata svolta la valutazione della redditività degli investimenti.

Introduzione

Fra le diverse attività svolte in un allevamento bovino, l'alimentazione riveste un ruolo decisivo, sia per gli effetti che ha sugli animali e sulla produzione, sia per gli aspetti economici. L'alimentazione rappresenta la voce più rilevante del costo di produzione del latte vaccino e della carne bovina; infatti, ai costi per l'acquisto e la produzione di foraggi, mangimi e integratori si

devono aggiungere gli oneri per manodopera e macchine necessarie per la preparazione e la distribuzione degli alimenti.

La proposta di impianti automatici di alimentazione (AFS) di diversa tipologia amplia di molto il ventaglio di possibili soluzioni adottabili dalle aziende per l'alimentazione dei bovini; ma questo fatto comporta la necessità ancora più pressante di affrontare la progettazione della stalla (nuova o da ristrutturare) con una visione olistica, ovvero con la consapevolezza che tutti gli elementi della stalla (struttura, organizzazione interna, ambiente, impianti, attrezzature ecc.) devono collaborare insieme per raggiungere l'obiettivo fondamentale, che è quello di fornire benessere e salute agli animali e reddito per l'allevatore.

Gli impianti automatici si caratterizzano per un'area specifica, detta cucina, diversamente allestita, dove vengono stoccati temporaneamente gli alimenti previsti nella razione delle diverse categorie bovine e dove staziona il carro distributore durante la fase di caricamento e miscelazione.

Il posizionamento della cucina, in particolare rispetto alle stalle da servire, e la sua idoneità nello stoccare e preparare l'alimento, influiscono sulla scelta dell'AFS. Va poi posta attenzione ai percorsi che il carro deve effettuare, in modo tale da ridurre al minimo i tempi morti, considerando anche l'eventuale presenza di dislivelli e/o pendenze lungo il percorso, che possono indirizzare verso una tipologia costruttiva rispetto a un'altra.

Non bisogna dimenticare anche la possibilità offerta da questi sistemi di ridurre sia la larghezza della corsia di foraggiamento sia (moderatamente) il numero di poste in mangiatoia, a vantaggio dei costi di costruzione o al possibile incremento della superficie di riposo per gli animali. Tuttavia, è bene sottolineare che, in caso di malfunzionamento del carro automatico, la corsia di foraggiamento deve essere accessibile anche ad altre tipologie di meccanizzazione per garantire la continuità del razionamento. La corsia di foraggiamento può essere addirittura eliminata laddove si utilizzino nastri trasportatori nella mangiatoia.

Infine, nel caso si voglia installare una tipologia sospesa, bisogna considerare l'aspetto prettamente strutturale della stalla. Il peso del carro, la sua energia cinetica e le vibrazioni che ne derivano possono precluderne l'installazione in alcuni ricoveri, soprattutto se di costruzione datata.

Da queste considerazioni derivano numerosi schemi di installazione possibili, alcuni dei quali sono illustrati nelle figure 1-5. Negli schemi le aree verdi rappresentano le zone di riposo, le aree rosse sono le zone di alimentazione, le aree magenta sono le zone di mungitura e le aree bianche evidenziano la cucina, le aree di movimentazione del carro distributore ed eventuali corridoi di servizio. I primi 3 schemi fanno riferimento allo stesso tipo di stalla per bovine da latte, con 2 aree di stabulazione simmetriche e 2 corsie di foraggiamento laterali.

Il primo schema (figura 1) prevede un impianto di tipo semplificato, con cucina dotata di carro trincia-miscelatore stazionario a funzionamento elettrico che viene caricato di foraggi tramite mezzi meccanici aziendali (carri telescopici/trattori con forche o benne) e di mangimi concentrati in modo automatico tramite le coclee dei sili verticali. La distribuzione può avvenire con una delle tipologie di carro distributore già note: carro semovente autonomo a batterie; carro sospeso o vincolato a monorotaia con possibilità di prelevare direttamente l'energia elettrica di rete; carro semovente collegato a una catenaria elettrica (come una locomotiva elettrica collegata alla linea tramite pantografo).

Nel secondo schema (figura 2) è presente un impianto più complesso dotato di stoccaggi temporanei. La cucina prevede una serie di bunker per lo stoccaggio delle diverse tipologie di foraggi (fieni, insilati, paglia), installati su piedi di supporto allo scopo di porre lo scarico del bunker ad un'altezza maggiore del carro distributore; in questo modo il carico dei foraggi nel carro-robot avviene automaticamente e direttamente per caduta, con lo spostamento programmato del robot al di sotto dei diversi bunker. Anche i mangimi vengono caricati nel carro distributore in modo automatico tramite le coclee dei sili verticali.

La figura 3 mostra una cucina di diversa concezione, organizzata con aree di stoccaggio a terra su pavimento e con divisori fra uno spazio e l'altro per mantenere separati i diversi foraggi. Il prelevamento degli alimenti e il loro carico nel carro-robot sono automatici tramite benna bivalve montata su carro ponte, in modo da permettere rapidi movimenti verticali e orizzontali (sia longitudinali che trasversali). In questo caso deve essere posta grande attenzione all'aspetto della sicurezza, precludendo in modo tassativo il possibile ingresso di persone/animali nell'area di stoccaggio durante la fase di prelevamento dei foraggi. Ancora una volta i mangimi vengono caricati nel carro distributore in modo automatico tramite le coclee dei silo verticali.

Il quarto schema (figura 4) è una stalla per bovine da latte di tipo doppio e simmetrico, ma con zone di alimentazione poste nella parte centrale del fabbricato e assenza della corsia di foraggiamento; infatti, la distribuzione dell'alimento avviene con un nastro trasportatore posto direttamente nella mangiatoia doppia che serve entrambi i lati della stalla. La cucina prevede un impianto con bunker di stoccaggio in serie che scaricano su un nastro trasportatore; questo trasferisce i foraggi al carro trincia-miscelatore stazionario che riceve anche i mangimi concentrati dalle coclee dei silo verticali. Il carro, ultimata la preparazione del piatto unico, provvede allo scarico sul nastro trasportatore che entra nella stalla fino al termine della mangiatoia.

Infine, la stalla per bovini da ingrasso illustrata nella figura 5 è organizzata su 4 file di box e 4 fronti mangiatoia, 2 interni e 2 esterni, con 3 corsie di foraggiamento. La cucina prevede pianali di stoccaggio in serie a terra con lama di taglio scorrevole che permette lo scarico del materiale nel nastro trasportatore; questo, a sua volta, trasferisce l'alimento al carro miscelatore semovente.

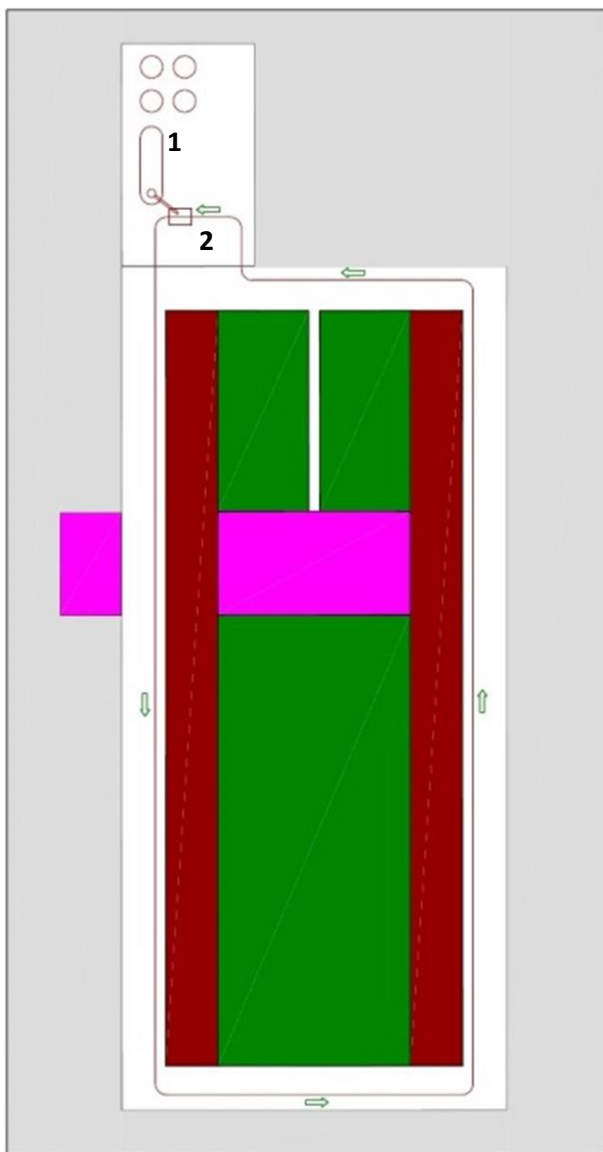


Figura 1. Stalla per bovine da latte: cucina con carro trincia-miscelatore stazionario (1) e distribuzione con carro semovente (2)

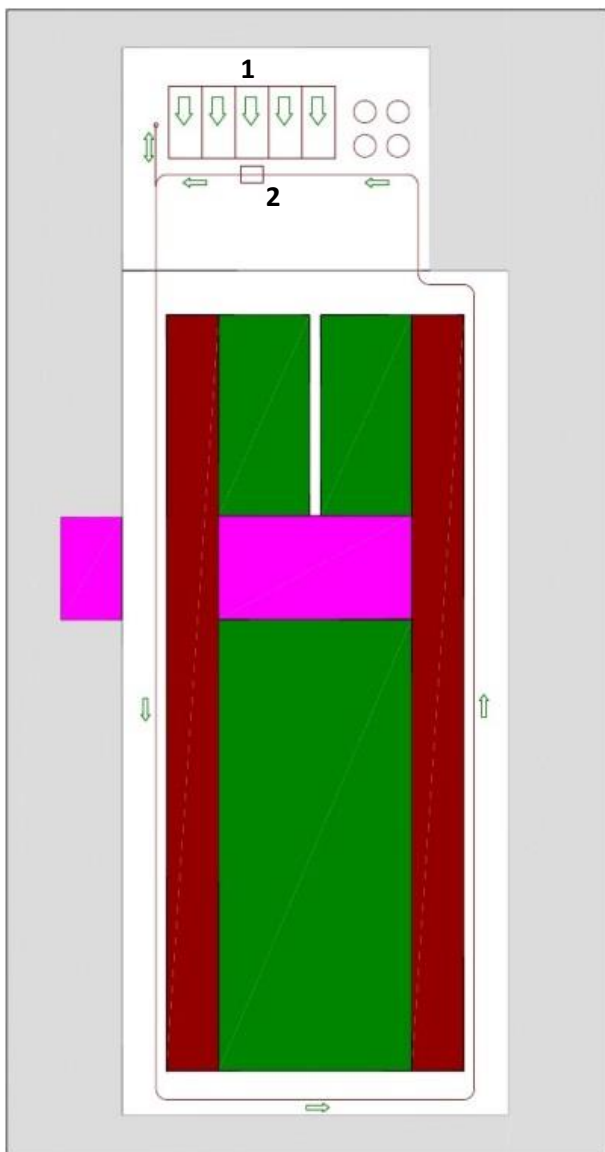


Figura 2. Stalla per bovine da latte: cucina con bunker di stoccaggio in serie (1) e distribuzione con carro semovente (2)

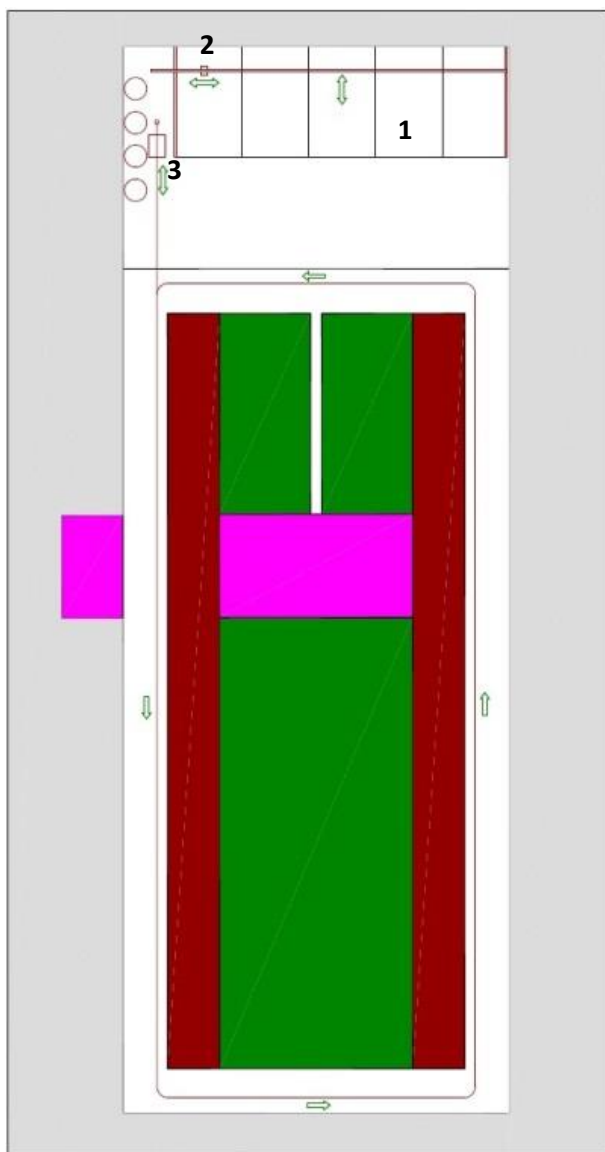


Figura 3. Stalla per bovine da latte: cucina con stoccaggio a terra (1), caricatore a pinza su carro-ponte (2) e distribuzione con carro semovente (3)

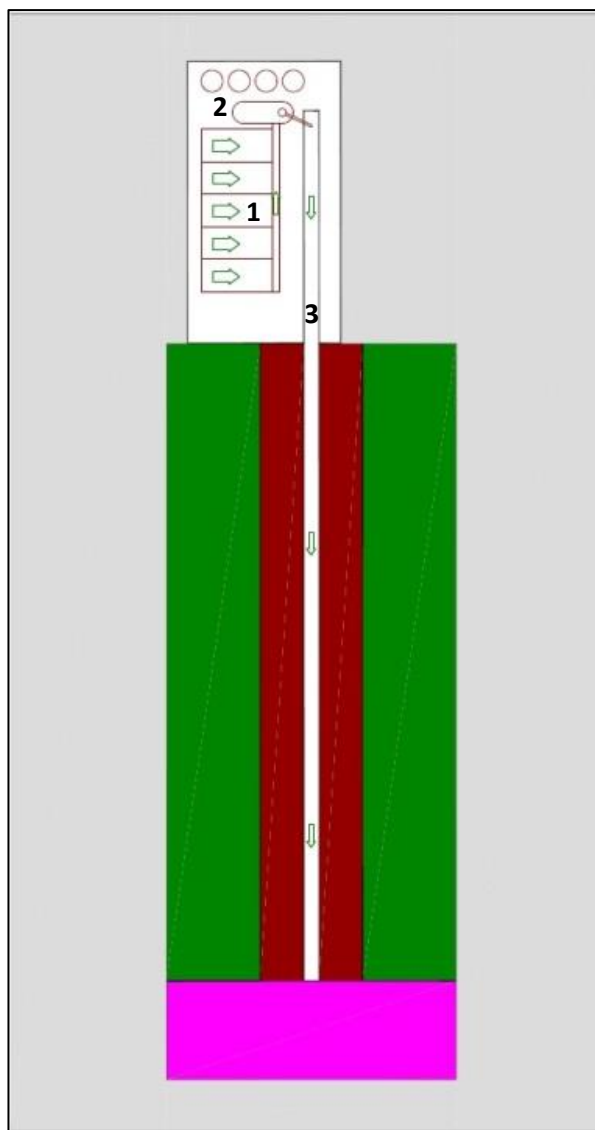


Figura 4. Stalla per bovine da latte: cucina con bunker di stoccaggio in serie (1), carro trincia-miscelatore stazionario (2) e distribuzione con nastro trasportatore lineare in mangiatoia (3).

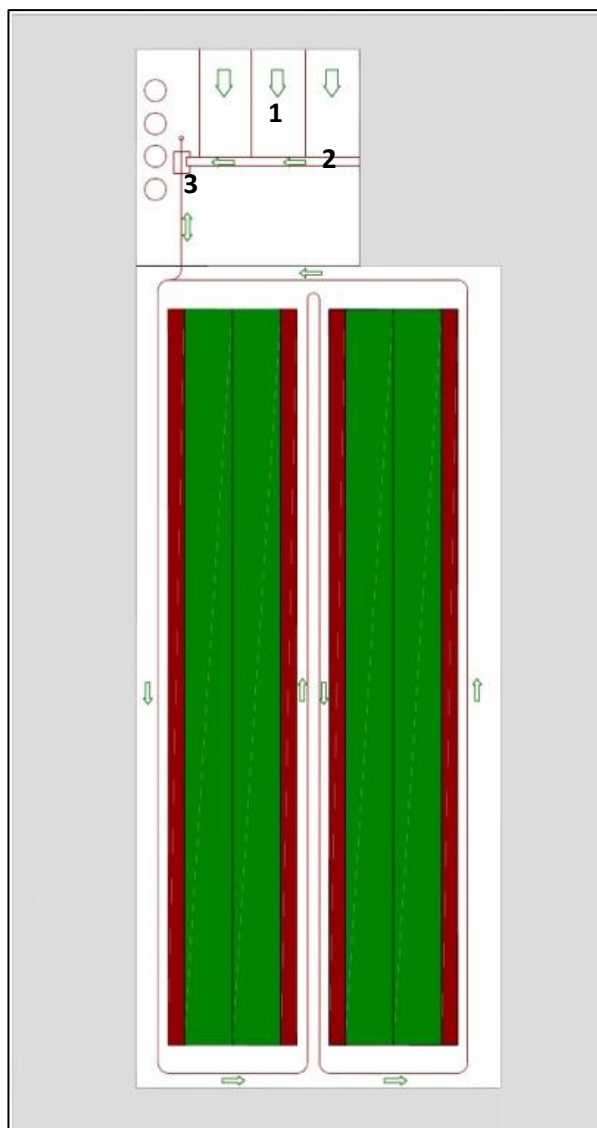


Figura 5. Stalla per bovini da ingrasso: cucina con pianali di stoccaggio in serie a terra (1), nastro trasportatore e distribuzione con carro semovente

1. Analisi preliminare dei dati statistici degli allevamenti lombardi

La zootecnia bovina della Lombardia è di grande rilevanza nel contesto nazionale.

Per il comparto da latte la regione si pone nettamente al vertice, sia per numero di allevamenti, sia per numero di capi. Le statistiche relative al 2021 ci dicono che in Lombardia vengono allevati 1.129.075 bovini da latte (il 42% del totale nazionale) in 5.207 allevamenti (il 21% del totale nazionale), per una media generale di circa 217 capi per allevamento.

Per le finalità di questo progetto, ovviamente, è più interessante restringere il campo di analisi agli allevamenti che, almeno potenzialmente, potrebbero essere interessati a impianti automatici di alimentazione. Quindi, fra le diverse classi di capienza codificate, si eliminano quelle corrispondenti a dimensioni dell'allevamento molto modeste, inferiori a 50 capi: si tratta nel complesso di 28.394 capi e di 1.438 allevamenti.

Al netto di questi allevamenti, si può ridefinire il quadro di riferimento: 1.100.681 capi e 3.769 allevamenti, per una media di **292** capi per allevamento.

La medesima analisi può essere fatta per il comparto da carne della regione, che per il 2021 annovera 332.652 bovini in 5.941 allevamenti, per una media generale di circa 56 capi per allevamento.

Anche in questo caso è più interessante riferirsi agli allevamenti potenzialmente interessati a impianti automatici di alimentazione, provvedendo a eliminare, per gli allevamenti da carne, quelli con capienze inferiori a 100 capi: si tratta nel complesso di 50.607 capi e di 5.351 allevamenti.

Al netto di questi allevamenti, si può ridefinire il quadro di riferimento: 282.045 capi e 590 allevamenti, per una media di **478** capi per allevamento.

La prima attività prevista in questa fase è la definizione di 4 modelli di stalla a stabulazione libera per bovini, con riferimento a interventi di nuova costruzione che già prevedono l'adozione di sistemi

automatici di alimentazione (AFS).

Si prevede l'allestimento di 3 progetti base per il comparto bovino da latte e di un progetto base per il comparto bovino da carne; a questi progetti base sarà poi applicata la tecnologia AFS, in una configurazione scelta fra le diverse che vengono proposte sul mercato, che rappresenterà il caso di studio.

2. Dimensionamento e progettazione degli allevamenti da latte

Sulla base della struttura attuale del comparto bovino da latte della Lombardia descritta in precedenza, sono stati definiti 3 allevamenti tipo di dimensione crescente:

- P) con capienza di circa 180 capi;
- M) con capienza di circa 300 capi;
- G) con capienza di circa 550 capi.

Mediante apposito programma di calcolo messo a punto da CRPA si procede al dimensionamento analitico delle 3 mandrie di progetto, con riferimento alla componente vacche e alla componente rimonta, partendo dalle seguenti assunzioni relative ai principali parametri riproduttivi e produttivi:

- interparto medio d'allevamento (IMA) = 400 d
- media parti/vacca per carriera = 3
- durata media fase asciutta = 65 d
- durata media fase vacche fresche = 42 d
- produzione unitaria di picco = 45 kg/d vacca
- mortalità vacche = 3%
- età media primo concepimento = 16 mesi
- età vitelle allo svezzamento = 84 d
- periodo pre-svezzamento in box individuali = 42 d
- n. vitelli nati vivi per 100 parti = 98
- mortalità vitelli pre-svezzamento = 6%
- mortalità dopo svezzamento e fino al primo parto = 1%

Con questi dati di base il programma restituisce i seguenti altri parametri:

- quota di rimonta = 30,3%
- numero medio parti/anno per vacca = 0,91
- età media manza al primo parto = 25,2 mesi
- durata media lattazioni (esclusa l'ultima) = 332 d
- durata media ultima lattazione = 190 d
- durata totale periodo di produzione per vacca = 993 d
- durata totale periodo di lattazione per vacca (giornilatte) uguale a 854 d
- durata totale periodo di asciutta per vacca = 130 d
- produzione totale per vacca nella carriera = 28.903 kg
- produzione unitaria annua = 10.631 kg/vacca
- produzione unitaria media nella lattazione normale = 33,84 kg/d vacca

Il numero di capi mediamente presenti è indicato nella tabella 1, distintamente per le 3 mandrie.

Tabella 1. Capi mediamente presenti nei 3 allevamenti da latte

Gruppo	Mandria	Mandria	Mandria
	P	M	G
Vacche fresche (box 1)	13	20	37
Vacche medie e stanche (box 2)	74	122	222
Vacche asciutte (box 3)	13	23	41
Manze gravide (box 4)	25	42	76
Manze vuote (box 5)	14	23	42
Manzette (box 6)	21	35	63
Vitelle svezzate (box 7)	12	19	34
Vitelle pre-svezzamento in box (box 8)	5	8	14
Vitelle pre-svezzamento in box singolo	5	8	15
Totale	182	300	544

La mandria delle vacche viene suddivisa in almeno 3 gruppi:

- gruppo vacche fresche (lattazione),
- gruppo vacche medie e stanche (lattazione),
- gruppo vacche asciutte.

Il numero di posti di progetto, che normalmente è superiore alla presenza media, per avere una certa tolleranza nella gestione dei diversi box, soprattutto per la rimonta e per la fase di asciutta, viene calcolato con una maggiorazione rispetto alla presenza media del 2-5%.

Ovviamente, l'atto progettuale non sempre può rispettare in pieno il dimensionamento teorico, perché ci sono limiti tecnici o opportunità diverse nello sfruttamento delle superfici coperte e degli spazi a disposizione degli animali.

In tabella 2 si riporta il dimensionamento effettivo di progetto (numero di posti) delle 3 soluzioni, sulla base dei layout previsti e degli spazi disponibili.

Le stalle progettate, però, non prevedono i posti destinati ai vitelli pre-svezzamento, perché in molti casi questi trovano collocazione in box singoli e box multipli prefabbricati da esterno.

Nel dimensionamento delle stalle sono stati considerati, invece, i posti necessari per gli altri usi (box parto, box infermeria-isolamento).

Considerando le finalità del progetto, non sono state progettate la zona di mungitura e l'area esterna per lo stoccaggio e il trattamento degli effluenti zootecnici, perché queste aree non hanno rilevanza per i confronti che si faranno fra sistemi di alimentazione differenti; è però compresa nel progetto la pre-vasca interrata di prima raccolta (pozzetto di sollevamento).

Tabella 2. Dimensionamento di progetto dei 3 allevamenti da latte (numero di posti)

Gruppo	Mandria P	Mandria M	Mandria G
Vacche fresche (box 1)	13	54	50
Vacche medie e stanche (box 2)	75	90	214
Vacche asciutte fase 1 (box 3)	12	24	38
Box parto (box P)	5	8	14
Manze gravide (box 4)	28	45	81
Manze vuote (box 5)	15	25	45
Manzette (box 6)	23	37	64
Vitelle svezzate (box 7)	13	20	36
Box infermeria-isolamento (box I)	7	7	13
Totale	191	310	555

La progettazione delle stalle, ovviamente, si è basata sui più aggiornati riferimenti dell'edilizia zootecnica, con particolare riguardo alle numerose pubblicazioni di CRPA in questo campo. Sono state mantenute caratteristiche comuni a tutte le stalle, come il tipo di struttura portante in profilati d'acciaio zincato, la copertura a 2 falde in pannelli coibentati tipo sandwich e l'impianto di asportazione degli effluenti dalle corsie del tipo a raschiatori meccanici con trazione a cavo, il tutto allo scopo di rendere il confronto fra le diverse stalle il più corretto possibile. Per la mandria P si prevede un solo corpo stalla, mentre per le mandrie M e G si prevedono due distinti corpi stalla; la dimensione degli ultimi due allevamenti, infatti, ha reso necessaria la suddivisione della mandria in due macro-gruppi.

I dati riportati in tabella 3 riassumono le principali caratteristiche dimensionali delle stalle progettate; le superfici considerate sono le seguenti:

- **SS** = Superficie di Stabulazione a disposizione degli animali per le diverse attività (riposare, mangiare, bere, camminare ecc.), comprese aree di parto e infermeria;
- **SCf** = Superficie Coperta delle corsie di foraggiamento, comprese mangiatoie (è una quota di SCs);
- **SCs** = Superficie Coperta totale delle stalle;
- **SCc** = Superficie Coperta totale dell'area della "cucina";
- **ST** = Superficie totale dei Tetti in proiezione orizzontale;
- **SI** = Superficie totale occupata dall'insediamento, incluse pavimentazioni esterne e aree esterne non pavimentate ma comprese fra gli edifici.

Nel loro complesso, gli edifici per l'allevamento hanno una superficie coperta di circa 1.970 m² per P, di circa 3.360 m² per M e di 5.660 m². Le principali superficie unitarie, parametrata al numero di posti, sono riassunte nella tabella 4.

Tabella 3. Superfici di progetto (m²) dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I)

Tipo di Superficie	Mandria P	Mandria M	Mandria G	Mandria I
SS	1.675	2.744	4.797	4.350
SCf	248	534	718	779
SCs	1.967	3.362	5.660	5.276
SCc	143	143	191	143
ST	2.476	4.060	6.781	6.305
SI	2.871	4.555	7.533	8.028

Tabella 4. Superfici unitarie di progetto ($m^2/posto$) dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I)

Tipo di Superficie	Mandria P	Mandria M	Mandria G	Mandria I
SS	8,77	8,85	8,64	6,36
SCf	1,30	1,72	1,29	1,14
SCs	10,30	10,84	10,20	7,71
SCc	0,75	0,46	0,34	0,21
ST	12,97	13,10	12,22	9,22
SI	15,03	14,69	13,57	11,74

La superficie di stabulazione (SS) si assesta su una media di 8,75 $m^2/posto$, con una variabilità molto modesta fra le diverse mandrie, a riprova che la progettazione è stata condotta in modo uniforme per i 3 insediamenti. Per quanto riguarda la superficie coperta delle corsie di foraggiamento (SCf), la mandria M presenta un valore maggiore (1,7 contro 1,3 $m^2/posto$), giustificato dal fatto che in questo schema la stalla 2 è l'unica ad avere una corsia di foraggiamento laterale che serve una sola fila di box. Questo effetto si vede anche sulla superficie coperta totale delle stalle (SCs), con il valore di M maggiore rispetto agli altri due schemi. La superficie coperta unitaria della cucina, ovviamente, si riduce all'aumentare del numero di posti, passando da 0,75 $m^2/posto$ per P a 0,34 $m^2/posto$ per G.

3. Dimensionamento e progettazione dell'allevamento da carne

Nel caso dell'allevamento da carne, il dimensionamento ha seguito una logica diversa: è stata calcolata una mandria che fosse gestibile

da un impianto automatico dotata di un singolo carro-robot. La mandria di progetto, stimata in circa 650 capi, è stata poi adattata nel corso della progettazione, allo scopo di ottenere strutture d'allevamento adeguate e in linea con i più aggiornati standard tecnici di riferimento.

Sono state mantenute caratteristiche comuni alle stalle progettate per il comparto latte, come il tipo di struttura portante in profilati d'acciaio zincato, la copertura a 2 falde in pannelli coibentati tipo sandwich e l'impianto di asportazione degli effluenti dalle corsie del tipo a raschiatori meccanici con trazione a cavo.

Vista la dimensione della mandria, è stato scelto di suddividere i capi in due stalle uguali, anche allo scopo di semplificare il processo di progettazione e di calcolo dei costi di costruzione.

Nel dimensionamento delle stalle sono stati considerati i posti necessari per i box infermeria-isolamento.

La soluzione stabulativa adottata prevede box con zona di riposo a lettiera e zona di alimentazione a pavimento pieno con pulizia mediante raschiatore meccanico; il dimensionamento di progetto è basato su box di limitata capienza (9 capi) e superficie unitaria che fa riferimento al recente *Disciplinare per la valutazione degli allevamenti di bovini da carne* della Regione Emilia-Romagna (parametro 4.5.1.3), per il livello soglia Base di almeno 4,5 m²/capo in zona di riposo a lettiera.

Le due stalle previste sono sostanzialmente uguali (le differenze sono di dettaglio) e ciascuna prevede 38 box, dei quali uno è il box destinato a infermeria e isolamento; in totale, quindi, sono previsti 74 box per allevamento e 2 box per infermeria, per un totale di 666 capi allevabili e di 684 posti disponibili.

Nell'ultima colonna della già citata tabella 3 vengono riassunte le principali caratteristiche dimensionali dell'insediamento progettato; nel loro complesso, gli edifici per l'allevamento hanno una superficie coperta di circa 5.276 m².

Le principali superficie unitarie, parametrizzate al numero di posti, sono riassunte nella tabella 4.

La superficie di stabulazione (SS) risulta pari a 6,36 m²/posto, più

bassa di circa 2,4 m²/posto rispetto alle stalle da latte.

Anche la superficie coperta unitaria della cucina è decisamente più bassa di quella degli allevamenti da latte, benché la superficie coperta totale della cucina sia identica a quella delle mandrie P e M.

4. Progettazione di massima del sistema automatico di alimentazione

Gli impianti AFS vengono proposti da numerose ditte e in differenti tipologie e modelli; l'analisi del mercato italiano è già stata affrontata e descritta in altro capitolo del presente lavoro e a quello si rimanda per gli approfondimenti.

Le tipologie di AFS si distinguono per il tipo di cucina e per il tipo di carro distributore. Le diverse ditte hanno studiato soluzioni che possono adattarsi al tipo di allevamento e al numero di capi da alimentare, con proposte anche molto diversificate.

Questo lavoro di analisi e confronto ha imposto giocoforza la scelta di un modello al quale riferirsi sia per gli aspetti tecnici, sia per quelli economici.

In sintesi, l'AFS in questione è costituito da una cucina di preparazione con cassoni di stoccaggio (bunker) dei diversi alimenti, posti in serie in numero adeguato alle esigenze dell'azienda, e da un nastro trasportatore posto a terra, al disotto delle frese dei bunker, per il trasferimento degli alimenti al carro-robot, con elevatore terminale.

Il carro è di tipo semovente autonomo, della capacità massima di 2,2 m³, con movimento guidato da apposite calamite poste a intervalli regolari nel pavimento, lungo i tragitti che il carro deve compiere per svolgere la sua attività.

L'area di sosta del carro per il carico dei diversi componenti della razione è anche la zona di ricarica delle batterie che forniscono l'energia elettrica al carro stesso.

Il dimensionamento dell'AFS per i bovini da latte è fatto con riferimento al numero di posti e non alla presenza media dei capi; questo per avere un maggior margine di sicurezza.

La razione alimentare è stata definita anche grazie ai dati raccolti nelle aziende partner del progetto; il tipo di alimentazione, ovviamente, è a piatto unico (*TMR = Total Mixed Ration*), comunemente noto come unifeed.

Gli alimenti di base previsti nella razione dei bovini da latte sono i seguenti:

- fieno di loietto o di prato stabile;
- fieno di medica;
- silosorgo;
- silomais;
- mangime concentrato.

Il dimensionamento dell'AFS per i vitelloni da ingrasso è stato fatto con riferimento al peso vivo medio (525 kg), nell'ipotesi che ci siano cicli sfalsati per lotti di animali e che quindi la presenza media faccia riferimento allo stesso peso medio.

Gli alimenti di base previsti nella razione dei bovini da ingrasso sono i seguenti:

- silomais;
- mangime concentrato.

Grazie a un foglio elettronico appositamente predisposto, è stato possibile calcolare tutti i parametri necessari per la verifica della potenzialità dell'impianto e per la scelta del numero e della dimensione dei bunker per i foraggi e dei sili verticali per i concentrati.

Nella tabella 5 si riporta la razione media giornaliera per le diverse categorie di bovine da latte considerate, con il consumo totale per capo; tali consumi sono alla base dei calcoli per il dimensionamento dell'impianto.

Per quanto riguarda l'allevamento da ingrasso, la razione giornaliera di base ipotizzata, riferita al peso medio, è la seguente: 12 kg di silomais e 5,2 kg di mangime concentrato.

Tabella 5. Razione media giornaliera per le categorie presenti nell'allevamento bovino da latte.

Tipo di alimento	Vacca lattazione	Vacca asciutta	Manza 18-24 mesi	Manza 12-18 mesi	Manzetta 6-12 mesi
Mangime concentrato	14,0	2,0	3,0	2,0	2,0
Fieno di loietto o prato stabile	2,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Fieno di medica	0,0	8,0	4,0	3,0	4,0
Silosorgo	18,0	0,0	12,0	10,0	4,0
Silomais	20,0	5,0	0,0	0,0	0,0
Totale (kg/capo)	54,0	15	20	15	10

In tabella 6 viene mostrata, per la mandria P, la parte dello schema di calcolo relativa alla verifica del funzionamento del carro-robot; le principali verifiche vengono svolte sul totale di massa distribuita giornalmente (massimo di 12.000 kg/d per un carro), sul volume distribuito per ogni passaggio (considerando un riempimento massimo pari al 95% del volume totale del carro) e sul tempo totale di funzionamento del carro (con un massimo di 20 h/d).

Nell'esempio mostrato le vacche in lattazione ricevono 9 pasti/d mentre tutte le altre categorie ricevono 2 pasti/d, per un totale di 17 pasti/d che il carro deve preparare e distribuire.

Infine, nella tabella 7 si riporta lo schema di calcolo per i bunker e per i silo verticali, sempre prendendo come esempio la mandria P. I bunker hanno larghezza utile e altezza utile standard (rispettivamente di 2 m e di 1,5 m), mentre la lunghezza è variabile (4 o 6 m).

Ovviamente, questi calcoli sono ripetuti per ogni insediamento progettato, così che in tabella 8 si può riportare il dimensionamento dell'impianto e della cucina per le 4 soluzioni prospettate. Solo per la mandria G sono necessari 2 carri, che si alternano nel lavoro di preparazione e distribuzione dell'alimento. Per questo motivo, la cucina G ha una maggiore superficie coperta.

Tabella 5. Razione media giornaliera per le categorie presenti nell'allevamento bovino da latte.

Tipo di alimento	Vacca lattazione	Vacca asciutta	Manza 18-24 mesi	Manza 12-18 mesi	Manzetta 6-12 mesi
Mangime concentrato	14,0	2,0	3,0	2,0	2,0
Fieno di loietto o prato stabile	2,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Fieno di medica	0,0	8,0	4,0	3,0	4,0
Silosorgo	18,0	0,0	12,0	10,0	4,0
Silomais	20,0	5,0	0,0	0,0	0,0
Totale (kg/capo)	54,0	15	20	15	10

Tabella 6. Calcoli per la verifica del funzionamento del carro-robot (esempio riferito alla mandria P)

Descrizione	Vacca	Vacca	Manza	Manza	Manzetta	Totale
	lattazione	asciutta	18-24 mesi	12-18 mesi	6-12 mesi	
Capi	88	17	28	15	36	184
Totale in massa (kg/d)	4.752	255	560	225	360	6.152
Stima peso di volume miscela (kg/m ³)	300	300	300	300	300	
Totale in volume (m ³ /d)	15,8	0,9	1,9	0,8	1,2	20,5
N. pasti per capo al d	9	2	2	2	2	
N. passaggi carro al d	9	2	2	2	2	17
N. passaggi per 1 pasto per tutti	1	1	1	1	1	
Alimento per pasto (kg/capo)	6,00	7,50	10,00	7,50	5,00	
Massa distribuita per passaggio	528	128	280	113	180	
Volume distribuito per passaggio (m ³)	1,76	0,43	0,93	0,38	0,60	1,76
Capi serviti per pasto in media	88	17	28	15	36	

Tabella 6. Calcoli per la verifica del funzionamento del carro-robot (esempio riferito alla mandria P) [continua dalla precedente]

Descrizione	Vacca lattazione	Vacca asciutta	Manza		Totale
			18-24 mesi	12-18 mesi	
Capi serviti per pasto in media	88	17	28	15	36
Percorso a/r per passaggio (m)	160	146	116	84	66
Tempo a/r per passaggio (min)	16	15	12	8	7
Totale tempo movimento (min/d)	144	29	23	17	13
Tempo medio preparazione carro (min/d)	25	6	13	5	8
Totale tempo preparazione (min/d)	222	12	26	11	17
Tempo totale funzionamento carro (min/d)					517

Tabella 7. Calcoli per il dimensionamento dei bunker di stoccaggio e dei silli verticali (esempio riferito alla mandria P)

Consumi giornalieri	Massa (kg)	Peso di volume (kg/m ³)	Volume (m ³)	Giorni Autonomia	Volume necessario (m ³)
Fieno di loietto o prato stabile	204	150	1,4	6	8,16
Fieno di medica	437	150	2,9	3	8,74
Silo sorgo	2.214	500	4,4	2	8,86
Silomais	1.845	500	3,7	2	7,38
Totale	4.700				

Consumi giornalieri	Bunker lungo (m)	Stima capacità bunker (m ³)	N. Bunker	N. Carichi/anno per bunker	Tempo per un carico (min)	Tempo totale
Fieno di loietto o prato stabile	4	9,0	1	61	8	8
Fieno di medica	4	9,0	1	122	8	16
Silo sorgo	4	9,0	1	183	12	37
Silomais	4	9,0	1	183	12	37
Totale						97

Consumi giornalieri mangimi finiti	Massa (kg)	Peso di volume (kg/m ³)	Volume (m ³)	Autonomia (d)	Volume necessario (m ³)	N. silli	Volume (m ³ /silo)	Capien za di 1 silo	Capien za silo scelto (t)
Mangimi concentrati	1.452	600	2,4	15	36,30	4	9,08	5,45	6

Tabella 8. Dimensionamento della cucina e dell'impianto automatico di alimentazione per i 4 insediamenti progettati

Descrizione	Mandria P	Mandria M	Mandria G	Mandria I
N. carri-robot	1	1	2	1
N. bunker 4 m	4	1	0	4
N. bunker 6 m	0	3	5	0
N. sili verticali:				
- da 6 t	4	0	0	0
- da 9 t	0	4	0	0
- da 13,5 t	0	0	5	4
Superficie coperta (m ²)	143	143	191	143

5. Dimensionamento del carro unifeed nell'ipotesi di allevamento senza AFS

L'ipotesi di confronto con il sistema AFS è l'alimentazione unifeed convenzionale svolta con i classici carri trincia-miscelatori trainati o semoventi. Essendo gli AFS impianti ad elevato livello tecnologico, si è scelto di adottare carri semoventi per un confronto più corretto in termini di dotazioni tecnologiche.

Si è quindi reso necessario un dimensionamento di progetto dei carri, a partire dagli stessi dati di alimentazione adottati per il dimensionamento degli AFS; in particolare, il dato più importante è il volume della miscelata da distribuire.

Nella tabella 9 si riportano i principali dati di calcolo e il volume finale del carro per ogni mandria considerata.

Le tipologie di carro scelte sono le seguenti:

- per mandria P: carro semovente a 2 coclee con miscelazione verticale, capacità di 18 m³, dimensioni (La x Lu x Al) di 9,64 x 2,49 x 2,7 m, prezzo stimato di 150.000 €;

- per mandria I: carro semovente a 2 coclee con miscelazione verticale, capacità di 22 m³, dimensioni (La x Lu x Al) di 10 x 2,47 x 3,03 m, prezzo stimato di 170.000 €;
- per mandrie M e G: carro semovente a 2 coclee con miscelazione verticale, capacità di 28 m³, dimensioni (La x Lu x Al) di 10,3 x 2,55 x 3,39 m, prezzo stimato di 200.000 €;

Tabella 9. Dimensionamento dei carri trincia-miscelatori semoventi per i 4 insediamenti progettati, nell'ipotesi di alimentazione senza AFS e con riferimento alla sola razione per le vacche in lattazione (P, M e G) e alla razione media per i vitelloni (I)

Mandria	Unifeed richiesto (m ³ /d)	N. distr./d	Unifeed (m ³ /distr.)	Vol. sicurezza unifeed (m ³ /distr.)	Vol. carro scelto (m ³)
P	15,8	1	15,8	17,4	18
M	25,9	1	25,9	28	28
G	47,5	2	23,8	26,1	28
I	38,2	2	19,1	21	22

6. Stima dei costi di costruzione degli insediamenti con AFS

Per la computazione dei costi di costruzione delle stalle è stato utilizzato un programma informatico già disponibile presso il CRPA e quindi già noto al personale incaricato allo svolgimento di questa fase del lavoro.

Il primo passo per la computazione dei costi di costruzione delle stalle è la creazione dell'Elenco Prezzi Unitari (EPU), ovvero l'insieme delle voci di costo da utilizzare nella redazione dei computi. L'EPU altro non è che il listino specifico per un determinato lavoro o per un insieme di lavori simili e la sua creazione, in genere, prende le mosse proprio da uno o più prezziari di riferimento. Nel caso specifico si è scelto il Prezzario Edilizia Rurale del CRPA, che in parte deriva dall'ultima versione del *Prezzario per opere e*

interventi in agricoltura realizzato del CRPA per la Regione Emilia-Romagna; questo prezzario, oltre ad avere tutte le voci necessarie per computare le opere edili, prevede una sezione molto dettagliata e completa delle opere speciali, delle attrezzature e degli impianti per l'edilizia zootecnica, e i prezzi delle voci possono essere considerati perfettamente conformi anche alla realtà produttiva lombarda, vista la vicinanza delle due regioni e la similitudine di molti aspetti relativi all'allevamento bovino.

Come detto, il calcolo analitico dei costi di costruzione di un fabbricato è stato eseguito mediante computo metrico estimativo (CME); questa metodologia consiste nella moltiplicazione delle quantità delle singole lavorazioni o opere per i relativi prezzi unitari desunti dall'EPU, e nella sommatoria di tutti i sub-totali ottenuti. L'utilizzo di uno specifico software di cantieristica consente anche la suddivisione del costo totale di costruzione in singole sezioni della struttura o in singole categorie di lavori. Per questo è stato necessario attribuire i diversi lavori da computare, cioè le diverse voci di EPU, a un certo numero di lotti, mappali e opere, con lo scopo di poter scorporare il costo complessivo in tanti sub-totali.

La classificazione dei lavori per la computazione delle stalle è di seguito riportata.

LOTTE

(primo livello di suddivisione)

01. Stalla 1 (St.1)

02. Stalla 2 (St.2)

03. Cucina

MAPPALI

(secondo livello di suddivisione)

01. Opere edili St. 1

02. Impianti/attrezzature St.1

03. Opere edili St. 2

04. Impianti/attrezzature St.2

05. Opere edili cucina

06. Impianti/attrezzature cucina

OPERE

(terzo livello di suddivisione, per grandi categorie di lavori)

- | | |
|---|---|
| 01. Scavi e rinterrì | 06. Lattoneria, fognature e canalizzazioni |
| 02. Fondazioni, struttura portante e copertura | 07. Impianto idrico |
| 03. Vespai, basamenti e pavimenti | 08. Impianto elettrico |
| 04. Opere in elevazione e tamponamenti | 09. Impianti movimentazione effluenti |
| 05. Serramenti | 10. Impianto di alimentazione |
| | 11. Attrezzature. |

Per ognuno dei 4 insediamenti zootecnici progettati è stato redatto il relativo CME, a partire dai disegni di progetto e dall'EPU specifico. In seguito all'input dei dati delle quantità, il programma svolge in automatico i calcoli e restituisce il costo complessivo e i sub-totali dei diversi gruppi e sottogruppi di lavori. La pagina finale di ogni computo restituisce i costi totali e sub-totali per lotti, mappali e opere. Dall'importo complessivo sono sempre escluse le spese tecniche di progettazione e direzione lavori, le spese per allacciamenti idrici ed elettrici e l'IVA di legge.

I valori di costo della tabella finale riassuntiva di ciascun computo sono stati trascritti in una scheda riassuntiva di *Excel*, con lo scopo di calcolare in automatico i costi per Opera e i costi a parametro, ovvero i costi unitari riferiti a singoli parametri significativi (come il capo e il metroquadro di superficie). Le schede dei costi totali così create sono riportate nelle tabelle 10, 11, 12, 13.

Tabella 10. Scheda riassuntiva dei costi di costruzione dell'insediamento P

LAVORI	COSTI (euro)	INCIDENZA (%)
Scavi e rinterrì	17.792	2,01
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	423.939	48,00
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	150.771	17,07
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	89.669	10,15
Serramenti	30.038	3,40
Lattomeria, fognature e canalizzazioni	10.175	1,15
<i>Opere edili stalla</i>	722.384	81,79
Impianto idrico	10.388	1,18
Impianto elettrico	65.244	7,39
Impianto movimentazione effluenti	24.418	2,76
Attrezzature	60.822	6,89
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	160.872	18,21
TOTALE STALLA P	883.256	100,00
Scavi e rinterrì	1.755	0,51
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	42.144	12,17
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	26.726	7,72
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	6.184	1,79
Lattomeria, fognature e canalizzazioni	1.044	0,30
<i>Opere edili cucina</i>	77.853	22,48
Impianto idrico	689	0,20
Impianto elettrico	10.482	3,03
Impianto di alimentazione	257.223	74,29
<i>Impianti e attrezzature cucina</i>	268.394	77,52
TOTALE CUCINA P	346.247	100,00
Scavi e rinterrì	19.547	1,59
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	466.083	37,91
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	177.497	14,44
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	95.853	7,80
Serramenti	30.038	2,44
Lattomeria, fognature e canalizzazioni	11.219	0,91
<i>Totale opere edili</i>	800.237	65,09
Impianto idrico e di riscaldamento	11.077	0,90
Impianto elettrico	75.726	6,16
Impianto movimentazione effluenti	24.418	1,99
Impianto di alimentazione	257.223	20,92
Attrezzature	60.822	4,95
<i>Totale impianti e attrezzature</i>	429.266	34,91
TOTALE GENERALE	1.229.503	100,00

Tabella 11. Scheda riassuntiva dei costi di costruzione dell'insediamento M

LAVORI	COSTI (euro)	INCIDENZA (%)
Scavi e rinterri	17.175	1,99
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	407.920	47,26
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	144.566	16,75
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	98.219	11,38
Serramenti	32.102	3,72
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	10.078	1,17
<i>Opere edili stalla</i>	<i>710.060</i>	<i>82,26</i>
Impianto idrico	8.486	0,98
Impianto elettrico	56.501	6,55
Impianto movimentazione effluenti	37.384	4,33
Attrezzature	50.737	5,88
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	<i>153.108</i>	<i>17,74</i>
TOTALE STALLA M1	863.168	100,00
Scavi e rinterri	14.639	2,34
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	315.286	50,50
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	119.041	19,07
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	39.009	6,25
Serramenti	25.297	4,05
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	11.412	1,83
<i>Opere edili stalla</i>	<i>524.684</i>	<i>84,04</i>
Impianto idrico	7.743	1,24
Impianto elettrico	47.245	7,57
Impianto movimentazione effluenti	9.426	1,51
Attrezzature	35.218	5,64
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	<i>99.632</i>	<i>15,96</i>
TOTALE STALLA M2	624.316	100,00
Scavi e rinterri	1.755	0,46
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	42.144	11,14
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	26.893	7,11
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	6.184	1,64
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	1.044	0,28
<i>Opere edili cucina</i>	<i>78.020</i>	<i>20,63</i>
Impianto idrico	734	0,19
Impianto elettrico	10.482	2,77
Impianto di alimentazione	288.982	76,41
<i>Impianti e attrezzature cucina</i>	<i>300.198</i>	<i>79,37</i>
TOTALE CUCINA	378.218	100,00
Scavi e rinterri	33.569	1,80
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	765.350	41,02
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	290.500	15,57
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	143.412	7,69
Serramenti	57.399	3,08
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	22.534	1,21
<i>Totale opere edili</i>	<i>1.312.764</i>	<i>70,36</i>
Impianto idrico e di riscaldamento	16.963	0,91
Impianto elettrico	114.228	6,12
Impianto movimentazione effluenti	46.810	2,51
Impianto di alimentazione	288.982	15,49
Attrezzature	85.955	4,61
<i>Totale impianti e attrezzature</i>	<i>552.938</i>	<i>29,64</i>
TOTALE GENERALE	1.865.702	100,00

Tabella 12. Scheda riassuntiva dei costi di costruzione dell'insediamento G

LAVORI	COSTI (euro)	INCIDENZA (%)
Scavi e rinterrì	25.531	1,97
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	625.163	48,31
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	215.182	16,63
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	146.331	11,31
Serramenti	50.922	3,93
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	13.559	1,05
<i>Opere edili stalla</i>	<i>1.076.688</i>	<i>83,20</i>
Impianto idrico	12.824	0,99
Impianto elettrico	84.425	6,52
Impianto movimentazione effluenti	38.964	3,01
Attrezzature	81.250	6,28
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	<i>217.463</i>	<i>16,80</i>
TOTALE STALLA G1	1.294.151	100,00
Scavi e rinterrì	24.118	2,20
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	570.281	52,03
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	197.600	18,03
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	80.242	7,32
Serramenti	42.672	3,89
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	12.407	1,13
<i>Opere edili stalla</i>	<i>927.320</i>	<i>84,61</i>
Impianto idrico	11.880	1,08
Impianto elettrico	84.311	7,69
Impianto movimentazione effluenti	16.852	1,54
Attrezzature	55.627	5,08
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	<i>168.670</i>	<i>15,39</i>
TOTALE STALLA G2	1.095.990	100,00
Scavi e rinterrì	3.063	0,53
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	61.743	10,70
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	52.647	9,13
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	7.394	1,28
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	1.218	0,21
<i>Opere edili cucina</i>	<i>126.065</i>	<i>21,86</i>
Impianto idrico	899	0,16
Impianto elettrico	13.358	2,32
Impianto di alimentazione	436.484	75,67
<i>Impianti e attrezzature cucina</i>	<i>450.741</i>	<i>78,14</i>
TOTALE CUCINA	576.806	100,00
Scavi e rinterrì	52.712	1,78
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	1.257.187	42,37
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	465.429	15,69
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	233.967	7,89
Serramenti	93.594	3,15
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	27.184	0,92
<i>Totale opere edili</i>	<i>2.130.073</i>	<i>71,79</i>
Impianto idrico e di riscaldamento	25.603	0,86
Impianto elettrico	182.094	6,14
Impianto movimentazione effluenti	55.816	1,88
Impianto di alimentazione	436.484	14,71
Attrezzature	136.877	4,61
<i>Totale impianti e attrezzature</i>	<i>836.874</i>	<i>28,21</i>
TOTALE GENERALE	2.966.947	100,00

Tabella 13. Scheda riassuntiva dei costi di costruzione dell'insediamento I

LAVORI	COSTI (euro)	INCIDENZA (%)
Scavi e rinterrì	27.421	2,32
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	581.879	49,18
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	201.924	17,07
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	83.748	7,08
Serramenti	50.922	4,30
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	13.411	1,13
<i>Opere edili stalla</i>	<i>959.305</i>	<i>81,09</i>
Impianto idrico	8.513	0,72
Impianto elettrico	76.345	6,45
Impianto movimentazione effluenti	23.822	2,01
Attrezzature	115.058	9,73
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	<i>223.738</i>	<i>18,91</i>
TOTALE STALLA II	1.183.043	100,00
Scavi e rinterrì	25.693	2,21
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	581.672	50,09
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	201.425	17,34
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	71.575	6,16
Serramenti	50.922	4,38
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	13.411	1,15
<i>Opere edili stalla</i>	<i>944.698</i>	<i>81,34</i>
Impianto idrico	8.513	0,73
Impianto elettrico	76.345	6,57
Impianto movimentazione effluenti	16.752	1,44
Attrezzature	115.058	9,91
<i>Impianti e attrezzature stalla</i>	<i>216.668</i>	<i>18,66</i>
TOTALE STALLA I2	1.161.366	100,00
Scavi e rinterrì	1.683	0,50
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	42.144	12,41
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	24.986	7,36
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	6.184	1,82
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	1.044	0,31
<i>Opere edili cucina</i>	<i>76.041</i>	<i>22,38</i>
Impianto idrico	689	0,20
Impianto elettrico	10.482	3,09
Impianto di alimentazione	252.489	74,33
<i>Impianti e attrezzature cucina</i>	<i>263.660</i>	<i>77,62</i>
TOTALE CUCINA	339.701	100,00
Scavi e rinterrì	54.797	2,04
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	1.205.695	44,92
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	428.335	15,96
Opere in elevazione, tamponamenti, intonaci e tinteggi	161.507	6,02
Serramenti	101.844	3,79
Lattoneria, fognature e canalizzazioni	27.866	1,04
<i>Totale opere edili</i>	<i>1.980.044</i>	<i>73,77</i>
Impianto idrico e di riscaldamento	17.715	0,66
Impianto elettrico	163.172	6,08
Impianto movimentazione effluenti	40.574	1,51
Impianto di alimentazione	252.489	9,41
Attrezzature	230.116	8,57
<i>Totale impianti e attrezzature</i>	<i>704.066</i>	<i>26,23</i>
TOTALE GENERALE	2.684.110	100,00

Nella figura 6 si riporta il grafico della linea di tendenza del costo di costruzione totale di stalle per bovine da latte con impianti automatici di alimentazione, costruito a partire dai valori di costo totale delle 3 mandrie e adottando una polinomiale di ordine 2. Tale grafico permette la stima preliminare del costo di stalle da latte complete (vacche, rimonta e vitelle post-svezzamento), con AFS e con capienza complessiva variabile da 200 a 800 posti. Come detto, rimangono esclusi i costi per la zona di mungitura e per le strutture di stoccaggio degli effluenti.

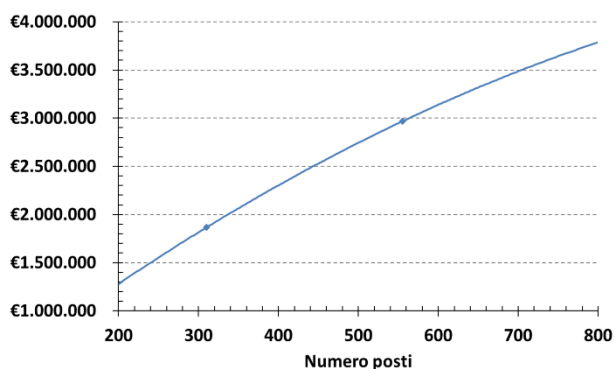


Figura 6. Linea di tendenza del costo totale di costruzione di stalle per bovine da latte con AFS

In tabella 14 vengono riassunte le incidenze percentuali delle diverse opere sul costo totale di costruzione (Totale generale).

Con riferimento alle sole 3 strutture da latte, la voce più rilevante è ovviamente “Fondazioni, struttura portante e copertura”, che si attesta in media sul 40,5%. Al secondo posto, come dato medio, la voce “Impianto di alimentazione”, con il 17% d’incidenza, ma con una discreta variabilità, passando da un massimo del 21% circa per P a un minimo del 14,7% per G. La terza opera di grande rilevanza è “Vespai, basamenti, massetti e pavimenti”, con una media del 15,2% e una modesta variabilità nei diversi insediamenti (leggero aumento all’aumentare del numero di posti).

Tabella 14 Scheda riassuntiva dell'incidenza delle Opere sul costo totale di costruzione

Opera	Incidenza %				
	P	M	G	I	
Scavi e rinterrì	1,59	1,80	1,78	2,04	
Fondazioni, struttura portante e copertura edifici	37,91	41,02	42,37	44,92	
Vespai, basamenti, massetti e pavimenti	14,44	15,57	15,69	15,96	
Opere in elevazione e tamponamenti	7,80	7,69	7,89	6,02	
Serramenti	2,44	3,08	3,15	3,79	
Lattoneria, Fognature e canalizzazioni	0,91	1,21	0,92	1,04	
Totale opere edili	65,09	70,36	71,79	73,77	
Impianto idrico e di riscaldamento	0,90	0,91	0,86	0,66	
Impianto elettrico	6,16	6,12	6,14	6,08	
Impianto movimentazione effluenti	1,99	2,51	1,88	1,51	
Impianto di alimentazione	20,92	15,49	14,71	9,41	
Attrezzature	4,95	4,61	4,61	8,57	
Totale impianti e attrezzature	34,91	29,64	28,21	26,23	
TOTALE GENERALE	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tutte le altre opere hanno incidenze più modeste, con il massimo raggiunto da “Opere in elevazione e tamponamenti” (in media il 7,8%) e da “Impianto elettrico” (in media il 6,1%).

Dando un’occhiata ai Mappali, si nota che mentre il “Totale opere edili” ha un’incidenza che tende ad aumentare al crescere della capienza della stalla (in media il 69%), il “Totale impianti e attrezzature” ha incidenza con andamento contrario (in media il 31%).

Relativamente all’allevamento da ingrasso, il “Totale opere edili” ha un’incidenza ancora maggiore rispetto alle stalle da latte (quasi il 74%), mentre per il mappale “Totale impianti e attrezzature” incide di più la voce “Attrezzature” (8,6% contro una media del 4,7% per il latte) e molto meno quella “Impianto di alimentazione” (9,4%).

I valori di superficie coperta (SC) per posto hanno grande influenza sul costo a posto (o a capo) e sul costo a metroquadrato delle stalle, vista la nota relazione fra costo di costruzione di un edificio e superficie coperta dell’edificio stesso. In linea generale, le stalle che presentano il più basso valore di SC per posto sono anche quelle che hanno il più basso costo per posto e il più alto costo per 1 m² di SC.

Il costo del corpo stalla, riferito alla capienza, varia da un minimo di 3.427 €/posto per la I a un massimo di 4.798 €/posto per la M (tabella 15); in media, il costo delle stalle da latte è pari a 4.576 €/posto.

Il corpo stalla costa in media 437 €/m² di superficie coperta dello stesso corpo stalla, con una variabilità tutto sommato modesta, da 401 della stalla G2 a 467 della stalla M1.

La cucina, ovviamente completa dell’AFS, ha un costo per unità di superficie coperta molto più alto, variabile dai 2.375 €/m² dello schema I ai 3.020 €/m² dello schema G.

Il costo totale della stalla e della cucina riferito alla superficie del tetto in proiezione piana (ST) registra una media di 455 €/m², con un minimo di 426 €/m² per I e un massimo di 497 €/m² per P.

7. Stima dei costi di costruzione degli insediamenti senza AFS

Allo scopo di poter poi fare un confronto fra l’impostazione degli

allevamenti con AFS e l'impostazione convenzionale con carro unifeed trainato o semovente, è stato necessario rivedere parzialmente i progetti degli stessi insediamenti; in particolare, è stata eliminata la cucina AFS ed è stata inserita un'area di preparazione della miscelata più adatta al movimento e allo stazionamento di mezzi meccanici di grande dimensione.

Tabella 15. Costi di costruzione unitari (€/posto ed €/m²) dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I).

Tipo di costo*	Mandria	Mandria	Mandria	Mandria
	P	M	G	I
Stalle per posto	4.624	4.798	4.307	3.427
Totale per posto	6.437	6.018	5.346	3.924
Stalle per 1 m ² di SS	527	542	498	539
Stalla 1 per 1 m ² di SCs	449	467	442	448
Stalla 2 per 1 m ² di SCs	-	412	401	440
Cucina per 1 m ² di SCc	2.421	2.645	3.020	2.375
Totale per 1 m ² di SC	583	532	507	495
Totale per 1 m ² di ST	497	460	438	426

* SS = Superficie di stabulazione, comprese aree di parto e infermeria.

SCs = Superficie coperta totale delle stalle.

SCc = Superficie coperta totale dell'area della "cucina".

SC = Superficie coperta totale (SCs + SCc).

ST = Superficie totale dei tetti in proiezione orizzontale.

Il capannone ipotizzato, del tipo in elementi prefabbricati d'acciaio zincato con altezza libera di 6,5 m, può essere considerato una

porzione di un ipotetico fienile. La sua superficie è parametrata alla dimensione del carro unifeed semovente ipotizzato per ogni allevamento, assumendo che l'area interna utile sia la superficie occupata dal carro (lunghezza x larghezza) più un'area di rispetto; la superficie dell'area complessiva da prevedere nella cucina è di seguito indicata:

- per mandria P: superficie occupata dal carro 24 m², superficie cucina 183 m²;
- per mandria M: superficie occupata dal carro 26,7 m², superficie cucina 192 m²;
- per mandria G: superficie occupata dal carro 26,7 m², superficie cucina 192 m²;
- per mandria I: superficie occupata dal carro 24,7 m², superficie cucina 187 m².

La stima del costo del capannone con le caratteristiche indicate viene fatta con riferimento alla curva del costo di costruzione riportata nel grafico di figura 7, ottenuta da elaborazione di una serie di computi metrici estimativi di CRPA.

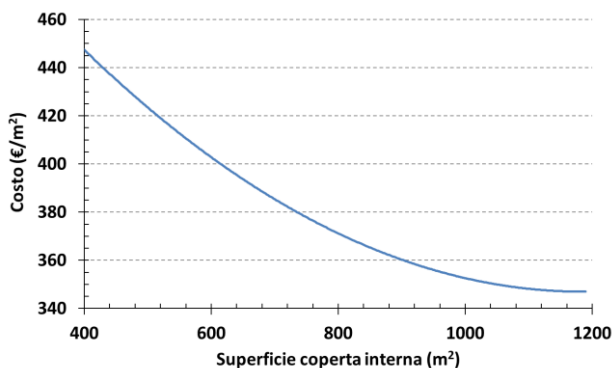


Figura 7. Linea di tendenza del costo unitario di costruzione (in €/m² di superficie coperta interna) di capannoni prefabbricati di acciaio zincato uso fienile con altezza libera di 6,5 m

Si assume che il capannone dov'è inserita l'area di preparazione degli alimenti abbia una superficie coperta di 800 m² per tutti gli

insediamenti e si imputa il costo unitario corrispondente, di 370 €/m², alla quota di superficie sopra indicata:

- per mandria P: $183 \times 370 = 67.710$ €;
- per mandria M: $192 \times 370 = 71.040$ €;
- per mandria G: $192 \times 370 = 71.040$ €;
- per mandria I: $187 \times 370 = 69.190$ €.

I costi sono imputabili per il 92% al mappale Opere edili; questi costi, stimati per la cucina nella situazione con alimentazione convenzionale con carro unifeed semovente, saranno utilizzati nel confronto economico fra le due ipotesi considerate.

8. Calcolo dei costi di gestione annui per le due tipologie di alimentazione

Gli elementi di costo da valutare per procedere all'analisi economica e al confronto fra le due tipologie di alimentazione sono i seguenti:

- quote di ammortamento, manutenzione e assicurazione per strutture, impianti e attrezzature delle stalle e delle cucine;
- costo complessivo delle macchine necessarie nelle stalle senza AFS (carro trincia-miscelatore e avvicinatore di foraggio in mangiatoia) e in quelle con AFS (macchina desilatrice);
- manodopera per la conduzione delle macchine e per il controllo degli impianti;
- consumi elettrici per la preparazione e la distribuzione dell'*unifeed*.

Per le 4 mandrie si è provveduto a predisporre le varianti del progetto per l'alimentazione con carro unifeed convenzionale semovente; nelle tabelle 16 e 17 si riassumono i costi di costruzione nelle due ipotesi (con e senza AFS), distinguendo fra opere edili e impianti-attrezzature, perché ciò sarà funzionale alla successiva fase di calcolo delle quote. Il totale delle opere edili è molto simile nelle due situazioni, perché le stalle sono le stesse e le cucine non sono molto diverse, anche se quelle ipotizzate per la soluzione senza AFS costano meno.

Tabella 16. Costi totali di costruzione suddivisi per mappali dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I) nella situazione con AFS

Opera	Costo di costruzione (€)			
	P	M	G	I
Opere edili stalle	722.384	1.234.744	2.004.008	1.904.003
Opere edili cucina	77.853	78.020	126.065	76.041
Totale opere edili	800.237	1.312.764	2.130.073	1.980.044
Impianti e attrezzature stalle	160.872	252.740	386.133	440.406
Impianti e attrezzature cucina	268.394	300.198	450.471	263.660
Totale impianti e attrezzature	429.266	552.938	836.874	704.066
TOTALE GENERALE	1.299.503	1.865.702	1.966.947	2.684.110

Tabella 17. Costi totali di costruzione suddivisi per mappali dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I) nella situazione senza AFS

Opera	Costo di costruzione (€)			
	P	M	G	I
Opere edili stalle	722.384	1.234.744	2.004.008	1.904.003
Opere edili cucina	62.300	65.350	65.350	63.650
Totale opere edili	784.684	1.300.094	2.069.358	1.967.653
Impianti e attrezzature stalle	160.872	252.740	386.133	440.406
Impianti e attrezzature cucina	19.679	21.364	28.945	24.049
Totale impianti e attrezzature	180.551	274.104	415.078	464.455
TOTALE GENERALE	965.235	1.574.198	2.484.436	2.432.108

Molto diversi, invece, i costi imputabili alle attrezzature e agli impianti zootecnici, perché qui incidono in modo consistente gli impianti automatici di alimentazione; in media, il maggior costo di questa macro-area della soluzione AFS è del 98% rispetto al costo della soluzione senza AFS, ma con ampia variabilità: +138% per la mandria P, +101% per le mandrie M e G e +52% per la mandria I.

Quote

L'incidenza annua dei costi di costruzione è rappresentata dalla quota di ammortamento (Q_{amm}) sul capitale investito, calcolata come rata annua, costante, limitata e posticipata; il calcolo viene svolto con riferimento ai due mappali distinti delle "Opere edili" e degli "Impianti e attrezzature", perché si fissa un tempo diverso da inserire nella formula: 25 anni per le prime e 12 anni per i secondi. Il tasso d'interesse è fissato al 4%.

Inoltre, vengono calcolate le quote annue di manutenzione (Q_{man}), in percentuale sul valore dell'investimento, distinte per i seguenti 3 mappali:

- opere edili: 0,5%;
- impianti e attrezzature stalle: 1%
- impianti e attrezzature cucina: 2%

Infine, si calcolano le quote di assicurazione (Q_{ass}), allo 0,1% sul totale del costo di costruzione.

La tabella 18 riassume i valori delle quote: l'aumento delle quote passando dalla soluzione convenzionale a quella con AFS è del 43% per P, del 30% circa per M e G e del 16% per I.

Tabella 18. Quote annue di ammortamento, manutenzione e assicurazione (Q_{amm} ; Q_{man} ; Q_{ass}) dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I) nelle due situazioni a confronto

Opera	Valore delle quote annue (€)			
	P	M	G	I
	Con AFS			
Opere edili - Q_{amm}	51.225	84.033	136.350	126.746
Impianti e attrezzature - Q_{amm}	45.739	58.917	89.171	75.020
Opere edili - Q_{man}	4.001	6.564	10.650	9.900
Impianti e attrezzature stalle - Q_{man}	1.609	2.527	3.861	4.404
Impianti e attrezzature cucina - Q_{man}	5.368	6.004	9.015	5.273
Assicurazione - Q_{ass}	1.230	1.866	2.967	2.684
Totale quote con AFS	109.171	159.911	252.014	224.028
	Senza AFS			
Opere edili - Q_{amm}	50.229	82.333	132.464	125.953
Impianti e attrezzature - Q_{amm}	19.238	29.206	44.227	49.489
Opere edili - Q_{man}	3.923	6.500	10.347	9.838
Impianti e attrezzature stalle - Q_{man}	1.609	2.527	3.861	4.404
Impianti e attrezzature cucina - Q_{man}	394	427	579	481
Assicurazione - Q_{ass}	965	1.574	2.484	2.432
Totale quote senza AFS	76.358	123.457	193.962	192.597

Macchine

Si parte dall'assunto che le macchine utilizzate per il carico dei fieni nel carro semovente o nei bunker dell'AFS abbiano lo stesso impegno in termini di tempo e di costi, anche se con modalità un po' diverse; quindi, non si considerano questi costi nell'analisi economica.

Le macchine che invece devono essere valutate sono le seguenti:

- con AFS: cantiere di lavoro costituito da trattore da 80 kW con taglia blocchi portato per insilato, per il prelevamento dell'insilato dalle trincee e il carico nei bunker dell'AFS. Questo cantiere consente il trasporto di un blocco di circa 2,85 m³;
- senza AFS: carro trincia-miscelatore semovente, come descritto in precedenza;
- senza AFS: macchina semovente per l'avvicinamento del foraggio in mangiatoia, analoga a ranghinatore a pettini.

Il costo delle macchine viene stimato con uno specifico programma di CRPA, che richiede l'input di una serie di dati, quali costo della macchina a nuovo, potenza, anni di vita, ore/anno di lavoro ecc. Il costo unitario restituito è comprensivo di costi fissi (quota di ammortamento, assicurazione, ricovero) e di costi variabili (manutenzioni, riparazioni, combustibili, lubrificanti), esclusa la sola manodopera per la conduzione del mezzo, che sarà stimata a parte.

Il costo orario delle singole macchine moltiplicato per le ore di lavoro annuo calcolate in ogni insediamento fornisce il costo totale annuo da imputare alla stessa macchina; questi valori sono riportati in tabella 19.

Tabella 19. Costo annuo delle macchine considerate nel confronto economico per i 3 allevamenti da latte (P, M, G) e per quello da carne (I)

Macchine	Costo unitario (€/h)	Impiego (h/anno)	Costo totale (€/anno)
Trattore con taglia blocchi (P)	84,46	225	19.003
Trattore con taglia blocchi (M)	62,74	338	21.207
Trattore con taglia blocchi (G)	41,15	675	27.779
Trattore con taglia blocchi (I)	51,98	450	23.391
Carro semovente 18 m ³ (P)	62,86	733	46.076
Carro semovente 28 m ³ (M)	76,04	1.108	84.256
Carro semovente 28 m ³ (G)	71,97	2.092	150.561
Carro semovente 22 m ³ (I)	60,35	1.725	104.099
Avvicinatore semovente (P)	20,08	322	6.466
Avvicinatore semovente (M)	15,26	541	8.253
Avvicinatore semovente (G)	12,40	914	11.338
Avvicinatore semovente (I)	13,38	740	9.899

Ovviamente, i costi maggiori sono a carico dei carri unifeed semoventi; se si rapporta il costo annuo al numero di posti presenti nelle stalle si può notare come i costi dei carri nelle aziende da latte siano abbastanza simili (da 241 a 272 €/posto anno), mentre nell'azienda da carne il costo è minore (156 €/posto anno). Gli altri costi annui riferiti al posto stalla tendono a calare all'aumentare del numero di posti: ciò è molto evidente nel caso del trattore con desilatore, dove il costo per l'insediamento più piccolo (P) è 99 €/posto, mentre nell'insediamento da latte più grande (G) è 50 €/posto. Su questo risultato incide il fatto che una macchina meno utilizzata (meno ore/anno) ha un costo orario maggiore di una macchina più utilizzata.

Manodopera

La manodopera considerata è quella impiegata nelle operazioni connesse all'alimentazione, quindi quelle legate all'impiego di macchine che richiedono un operatore, come quelle illustrate in precedenza. Inoltre, per l'AFS è stata valutata la manodopera necessaria al controllo quotidiano dell'impianto automatico e dei suoi diversi componenti, anche relativamente all'adeguatezza della distribuzione dell'alimento in mangiatoia; è stato ipotizzato un percorso a piedi lungo tutte le mangiatoie per 2 volte al giorno; quindi, il tempo è funzione della lunghezza del percorso.

Il costo unitario della manodopera fa riferimento a una tariffa oraria 2022 per operaio agricolo specializzato a tempo indeterminato, pari a 14 €/h.

Nella tabella 20 si riassumono i costi della manodopera, distinti per insediamento e per tipo di alimentazione. Si ricorda che tali costi non sono tutti quelli imputabili alla manodopera per l'alimentazione, ma solo quelli relativi a lavori diversi nelle due situazioni ipotizzate.

Tabella 20. Costo annuo della manodopera per le operazioni connesse all'alimentazione per i 3 allevamenti da latte (P, M, G) e per quello da carne (I) nelle due situazioni ipotizzate

Descrizione	P €/anno	M €/anno	G €/anno	I €/anno
A) Con AFS				
Per macchina desilatrice	3.276	4.921	9.828	6.552
Per controllo impianto	971	1.797	2.359	2.487
Totale A	4.247	6.718	12.187	9.039
B) Senza AFS				
Per carro unifeed semovente	5.991	8.933	17.479	15.783
Per avvicinatore semovente	4.688	7.877	13.308	10.774
Totale B	10.679	16.810	30.787	26.557

Consumi energetici

Questi consumi sono solo quelli relativi all'energia elettrica necessaria per il funzionamento degli impianti automatici di alimentazione, perché i consumi di gasolio sono già compresi nel costo orario delle macchine. Non si considerano i gruppi di traino delle coclee dei sili verticali per il mangime, perché questi ci sono anche nella soluzione senza AFS e si assume che i consumi siano uguali nelle due ipotesi (perché le quantità di mangime sono le stesse). I consumi di energia elettrica sono imputabili ai diversi motori che sono presenti nell'AFS, fra i quali quelli dei bunker di stoccaggio (avanzamento pianale, azionamento frese), quelli del nastro trasportatore e quelli del carro-robot. A ciascun motore è stata attribuita una potenza di targa e con metodologia analitica sono stati stimati i tempi di funzionamento nell'arco della giornata,

valutando una potenza effettiva erogata pari a una quota della potenza massima, in base al tipo di lavoro. I consumi sono stati stimati distintamente per la fase di preparazione del carro (funzionamento della cucina) e per la fase di distribuzione della TMR. I tabulati di calcolo hanno restituito il consumo di energia elettrica per il funzionamento degli AFS dei diversi insediamenti progettati. In tabella 21 sono riportati i dati più interessanti dell'elaborazione, compresi alcuni consumi unitari riferiti all'alimento distribuito o al numero di capi. Negli allevamenti da latte si stima una media di consumo di 54,32 kWh/anno per capo, con un valore più alto in G a causa del maggior numero di passaggi che i carri devono compiere nell'arco della giornata. Rispetto alla massa di TMR distribuita i consumi sono abbastanza allineati, con un minimo di 4 kWh/t (M) e un massimo di 4,9 kWh/t (G e I). I costi totali per gli allevamenti sono stati ottenuti applicando un costo unitario medio dell'energia elettrica di 0,55 €/kWh.

Tabella 21. Consumi di energia elettrica e relativi costi per il funzionamento degli AFS dei 3 allevamenti da latte (P, M, G) e di quello da carne (I)

Descrizione	P	M	G	I
Consumo per pasto vacche latt. (kWh/d)	2,04	2,15	3,15	-
Consumo totale vacche latt. (kWh/d)	18,32	30,03	75,69	-
Consumo per massa TMR totale (kWh/t)	4,37	4,04	4,9	4,86
Consumo per capo (kWh/anno)	53,29	49,16	60,51	30,5
Consumo totale allevamento (kWh/anno)	9.805	14.896	32.795	20.315
Costo totale allevamento (€/anno)	5.393	8.193	18.037	11.173

9. Analisi conclusiva

L'analisi economica finale permette di confrontare i due sistemi di alimentazione in modo equo, evitando ingerenze indebite di variabili non controllabili che spesso si presentano nelle prove di campo; la metodologia impostata ha puntato alla standardizzazione di molti aspetti che hanno influenza sui costi finali, ponendo le due soluzioni a confronto sullo stesso piano di partenza e valutando i diversi parametri con criterio estimativo.

I risultati sono esposti negli schemi sintetici delle tabelle 22, 23, 24, 25, uno per ogni insediamento ipotizzato.

Tabella 22. Mandria P: confronto fra i costi di gestione annui nelle due ipotesi a confronto (AFS=impianto automatico di alimentazione; CONV=alimentazione unifeed convenzionale)

Voci di costo	AFS (€)	CONV (€)	Differenza (€)	Differenza (%)
Totale quote	109.171	76.358	32.813	30,1
Macchine	19.003	52.542	-33.539	-176,5
Manodopera	4.247	10.679	-6.432	-151,4
Energia elettrica	5.393	0	5.393	100,0
TOTALE	137.814	139.579	-1.765	-1,3
Totale per posto	722	731		

Tabella 23. Mandria M: confronto fra i costi di gestione annui nelle due ipotesi a confronto (AFS=impianto automatico di alimentazione; CONV=alimentazione unifeed convenzionale)

Voci di costo	AFS (€)	CONV (€)	Differenza (€)	Differenza (%)
Totale quote	159.911	123.457	36.454	22,8
Macchine	21.207	92.509	-71.302	-336,2
Manodopera	6.718	16.810	-10.092	-150,2
Energia elettrica	8.193	0	8.193	100,0
TOTALE	196.029	232.776	-36.747	-18,7
Totale per posto	632	751		

Tabella 24. Mandria G: confronto fra i costi di gestione annui nelle due ipotesi a confronto (AFS=impianto automatico di alimentazione; CONV=alimentazione unifeed convenzionale)

Voci di costo	AFS (€)	CONV (€)	Differenza (€)	Differenza (%)
Totale quote	252.014	193.962	58.052	23,0
Macchine	27.779	161.899	-134.120	-482,8
Manodopera	12.187	30.787	-18.600	-152,6
Energia elettrica	18.037	0	18.037	100,0
TOTALE	310.017	386.648	-76.631	-24,7
Totale per posto	559	697		

Tabella 25. Mandria I: confronto fra i costi di gestione annui nelle due ipotesi a confronto (AFS=impianto automatico di alimentazione; CONV=alimentazione unifeed convenzionale)

Voci di costo	AFS (€)	CONV (€)	Differenza (€)	Differenza (%)
Totale quote	224.028	192.597	31.431	14,0
Macchine	23.391	113.998	-90.607	-387,4
Manodopera	9.039	26.557	-17.518	-193,8
Energia elettrica	11.173	0	11.173	100,0
TOTALE	267.631	333.152	-65.521	-24,5
Totale per posto	391	487		

Il primo risultato evidente è il fatto che in tutti i casi la soluzione AFS ha un costo inferiore rispetto a quella convenzionale; l'entità della differenza è molto simile nei due insediamenti più grandi (G da latte e I da carne), con una riduzione del 24% circa. Molto buono anche il risultato nell'azienda media da latte (M), con una riduzione a favore dell'AFS di quasi il 19%; nell'azienda da latte più piccola (P), invece, la differenza è molto modesta (-1,3%), in linea con quanto si poteva prevedere, perché per un'azienda di dimensioni ridotte l'incidenza del costo dell'impianto automatico di alimentazione è molto consistente; infatti, se si verifica l'andamento del totale quote delle 4 tabelle, ci si accorge che la differenza maggiore a sfavore della soluzione AFS è proprio per la mandria P (+30%). Altro aspetto che riduce il vantaggio dell'AFS nella piccola azienda è il costo relativamente alto della macchina per il prelevamento dell'insilato e il trasporto in cucina, che deriva dal costo orario elevato, a sua volta conseguenza del numero limitato di ore lavorate rispetto alle altre aziende.

Bisogna dire che il contesto temporale delle stime è stato

influenzato dai costi energetici elevati, in particolare per quanto riguarda l'energia elettrica, e questo ha ovviamente un effetto sul risultato finale. In situazioni diverse, con l'energia elettrica a costi 2021 (0,21 €/kWh anziché 0,55 €/kWh), il vantaggio dei sistemi AFS sarebbe stato ancora maggiore, senza considerare il fatto che oggi un'azienda attenta alle problematiche del consumo energetico e dell'impatto ambientale delle attività produttive potrebbe tranquillamente investire sulla produzione aziendale di energia elettrica, ad esempio con il fotovoltaico, avendo ulteriori vantaggi nell'adozione di sistemi automatici di alimentazione a funzionamento elettrico.

In conclusione, gli AFS sono tecnologie molto evolute, che possono rappresentare un'importante innovazione nell'allevamento bovino da latte e da carne.

Ovviamente, la loro installazione deve integrarsi con le strutture d'allevamento, con modalità che possono essere differenti per le strutture nuove e per quelle esistenti; anche le dimensioni dell'azienda e delle strutture d'allevamento possono influenzare la progettazione dell'impianto e il suo allestimento.

La valutazione economica restituisce valori positivi nel confronto con i cantieri convenzionali di alimentazione unifeed e può essere ancora migliore nel caso di utilizzo di energia elettrica autoprodotta in azienda.

Il passaggio da energia da combustibili a energia elettrica è anche l'aspetto vincente dal punto di vista dell'impatto ambientale, con forte riduzione del consumo di gasolio e limitazione del rumore e dell'inquinamento dell'aria all'interno delle stalle.

Analisi costi/benefici e valutazione della redditività degli investimenti

I sistemi automatici di alimentazione, come si è scritto in altra parte di questa relazione, consentono anche benefici diretti per gli animali allevati: basti pensare alla maggiore tranquillità dei bovini, che imparano presto di poter contare su un numero maggiore di pasti giornalieri e che quindi riducono gli atteggiamenti conflittuali legati alla competizione alimentare, con vantaggi per il benessere, oppure

il fatto che l'alimentazione in numerosi pasti, soprattutto per le vacche da latte ad alta produzione, permette la riduzione delle problematiche a carico dell'apparato digerente e le dismetabolie (fra cui l'acidosi ruminale e la possibile conseguente laminite subclinica), con evidenti benefici dal punto di vista della produzione e dell'attività riproduttiva.

Fra gli aspetti positivi che si possono elencare ricordiamo:

- alimento sempre fresco in mangiatoia;
- minori rischi di errori in fase di preparazione della miscelata e ottima uniformità della razione;
- minore possibilità di selezionare l'alimento da parte dell'animale e ridotta presenza di residui in mangiatoia (sprechi ridotti);
- aumento dell'ingestione di sostanza secca;
- aumento della produzione di latte (fino a 3,3 kg/d in più per vacca);
- maggiore efficienza alimentare e minore incidenza delle problematiche digestive;
- miglioramento della qualità del latte (grasso e proteine);
- aumento dell'incremento medio giornaliero dei vitelloni;
- ridotta competizione alla mangiatoia, più tranquillità e maggiore benessere animale;
- minore disparità di alimentazione fra bovine dominanti e bovine ai livelli più bassi della scala gerarchica;
- meno tempo trascorso in piedi alla ricerca dell'alimento e più tempo in riposo, con conseguenti benefici per produzione di latte, ruminazione e sanità dei piedi.

Nell'analisi costi/benefici, quindi, si è resa necessaria la stima di alcuni possibili vantaggi che hanno incidenza sui costi di produzione dell'azienda e quindi anche sulla valutazione della redditività degli investimenti.

L'analisi è stata condotta mediante lo strumento del valore attuale netto (VAN), molto usato per la valutazione della redditività di un investimento; esso rappresenta la sommatoria attualizzata dei futuri

flussi di cassa positivi e negativi generati dal progetto, al netto del costo dell'intervento ipotizzato. In pratica, il VAN indica l'ammontare dell'eventuale ricchezza generata dall'investimento, riferito al momento zero, cioè quello dell'ipotetico investimento. Un VAN positivo indica la validità del progetto, perché i futuri ricavi derivanti dall'investimento superano l'ammontare dell'investimento stesso e delle eventuali nuove spese. Ovviamente, i ricavi possono essere rappresentati anche da mancati esborsi, per economie di processo e/o riduzione dei costi di produzione.

In pratica, per le voci attive e passive dell'analisi si devono considerare tutti i minori o maggiori costi e ricavi che l'investimento può generare.

Nel caso di più investimenti alternativi posti a confronto, sarà conveniente optare per quello che presenta il VAN maggiore, ma per il raffronto diretto è necessario che la durata presunta sia uguale.

Il VAN può essere calcolato in modo comparativo, ad esempio mettendo a confronto una soluzione ritenuta innovativa rispetto a un'altra più convenzionale, che rappresenta il riferimento di partenza; in questo caso si utilizzano come valori delle differenze di costi fra le due soluzioni e se il VAN risulta positivo vorrà dire che la soluzione testata è conveniente rispetto al riferimento.

In alternativa, il calcolo si ripete per entrambe le soluzioni ipotizzate, andando a definire per ciascuna i maggiori e minori costi e i maggiori e minori ricavi previsti in seguito all'investimento, con riferimento a una soluzione di partenza, cioè quella ipoteticamente presente in azienda e che deve essere sostituita; la soluzione che avrà il VAN più alto sarà quella da preferire.

Nel caso in esame si ipotizza che l'azienda si trovi nella situazione di dover decidere se investire in un nuovo impianto automatico di alimentazione oppure in un nuovo carro trincia-miscelatore semovente, dovendo sostituire un vecchio carro trainato e il relativo trattore, e per ciascuna delle due ipotesi abbia la necessità di costruire la relativa cucina.

Per la situazione di riferimento (BASE) è stato ipotizzato un carro unifeed trainato da trattrice e per questo cantiere di lavoro sono

stati calcolati i costi necessari per la successiva stima del VAN. Ovviamente, per ogni azienda ipotizzata è stato scelto un carro adeguato, della capacità identica a quello semovente considerato nella valutazione economica:

- per mandria P: carro a 2 coclee con miscelazione verticale, capacità di 18 m³ e trattore da 80 kW;
- per mandria I: carro a 2 coclee con miscelazione verticale, capacità di 22 m³ e trattore da 90 kW;
- per mandrie M e G: carro a 2 coclee con miscelazione verticale, capacità di 28 m³ e trattore da 115 kW.

Si considera il cantiere di lavoro (carro e trattore) nella condizione iniziale a nuovo, come se fosse stato appena comprato, e non nella condizione di fine vita utile; infatti, se il cantiere è da cambiare, l'alternativa alle due ipotesi d'investimento è quella di ricomprare lo stesso cantiere di lavoro già in uso.

I tempi macchina per il carico del carro e la miscelazione (carro fermo) sono gli stessi già ipotizzati per i carri semoventi, mentre i tempi di movimento e distribuzione sono stati aumentati, riducendo le velocità medie, per tenere conto della maggiore difficoltà di manovra di questo cantiere di lavoro rispetto ai carri semoventi.

Per le macchine è necessario però ricalcolare il costo orario, detraendo la quota di reintegrazione del capitale, perché lo stesso capitale è già inserito in negativo nell'investimento iniziale. Questi costi per tutte le soluzioni previste sono riportati in tabella 26.

La valutazione dell'impiego di manodopera per le operazioni connesse all'alimentazione è stata fatta nel modo già adottato per il carro semovente CONV e in tabella 27 sono riportati i valori di costo.

Tabella 26. Costi annui delle macchine considerati nella valutazione del VAN per i 3 allevamenti da latte (P, M, G) e per quello da carne (I), per le soluzioni CONV e AFS e per la soluzione di riferimento (BASE), al netto della quota di reintegrazione

Soluzione	Macchine	Costo unitario (€/h)	Impiego (h/anno)	Costo totale (€/anno)
AFS	Trattore con taglia blocchi (P)	59,06	225	13.288
	Trattore con taglia blocchi (M)	45,84	338	15.492
	Trattore con taglia blocchi (G)	32,69	675	22.065
	Trattore con taglia blocchi (I)	39,28	450	17.677
CONV	Carro semovente 18 m ³ (P)	49,35	733	36.170
	Carro semovente 28 m ³ (M)	62,94	1.108	69.736
	Carro semovente 28 m ³ (G)	59,27	2.092	123.996
	Carro semovente 22 m ³ (I)	49,12	1.725	84.727
CONV e BASE	Avvicinatore semovente (P)	15,08	322	4.856
	Avvicinatore semovente (M)	12,30	541	6.653
	Avvicinatore semovente (G)	10,65	914	9.738
	Avvicinatore semovente (I)	11,21	740	8.299
BASE	Carro 18 m ³ + trattore (P)	35,41	750	26.555
	Carro 28 m ³ + trattore (M)	45,57	1.131	51.535
	Carro 28 m ³ + trattore (G)	41,33	2.151	88.912
	Carro 22 m ³ + trattore (I)	33,57	1.812	60.836

Tabella 27. Costo annuo della manodopera per le operazioni connesse all'alimentazione per la soluzione di riferimento (BASE)

Descrizione	P €/anno	M €/anno	G €/anno	I €/anno
Per carro + trattore	6.239	9.253	18.353	17.050
Per avvicinatore semovente	4.688	7.877	13.308	10.774
TOTALE	10.927	17.130	31.661	27.824

L'aspetto più delicato dell'analisi VAN è la determinazione del tasso di attualizzazione; in genere si fa riferimento al tasso di un investimento a basso rischio di analoga durata, aggiungendo l'eventuale premio per il rischio, oppure si può fare riferimento al costo medio ponderato del capitale. Si tratta, in sostanza, del costo opportunità per l'azienda e quindi rappresenta il rendimento minimo che si accetta dall'investimento in questione, in rapporto con investimenti alternativi.

In questa analisi il tasso di attualizzazione è stato fissato al 3% e il periodo di calcolo è stato impostato sui 12 anni, uguale al periodo di ammortamento per gli impianti e le attrezzature.

Allevamenti da latte: VAN per CONV

In questo scenario la soluzione con carro semovente convenzionale (CONV) viene confrontata con la soluzione di partenza (BASE)

L'analisi è stata condotta per ognuno dei 3 insediamenti da latte progettati, confrontando ciascuno con il rispettivo riferimento BASE e assumendo che si ottengano benefici produttivi limitati a favore della soluzione CONV, per il fatto che la preparazione del carro avviene in un'area coperta appositamente realizzata e che si utilizza un carro nuovo con prestazioni nettamente migliori. Si assume un miglioramento della produzione media di latte rispetto alla soluzione BASE di 0,5 kg/d per vacca in lattazione, nell'ipotesi che non si modifichino le altre voci di costo.

L'investimento da inserire in negativo nel foglio di calcolo del VAN è dato da:

- costo totale della nuova cucina;
- costo del carro semovente.

Altro dato necessario per il calcolo del VAN è l'eventuale valore residuo del bene a fine periodo; si considera che dopo i 12 anni gli impianti e le macchine abbiano un valore residuo pari al 10% del valore a nuovo, mentre la componente edile abbia un valore residuo pari al 50% del valore a nuovo.

Parte attiva

Nella parte attiva dello schema di calcolo si prevedono il maggior ricavo dalla vendita del latte e il minor costo di manodopera.

Il dato necessario alla stima del maggior ricavo è stato ottenuto dal costo medio di produzione di aziende lombarde da latte per Grana Padano e latte alimentare elaborati dal CRPA nell'ambito del progetto *Latte Digitale* della Regione Lombardia e riferiti all'anno 2020: 45,73 €/100 kg latte.

Il minor costo per la manodopera di cui l'azienda ipotetica può beneficiare è ottenuto per differenza dai costi già calcolati per le due soluzioni CONV e BASE.

Parte passiva

In tutti gli scenari, i maggiori costi che l'azienda deve sostenere sono i seguenti:

- maggiore incidenza delle quote annue (ammortamento, manutenzione e assicurazione);
- maggiore costo per le macchine impiegate per l'alimentazione.

Le quote devono essere ricalcolate con riferimento ai soli mappali "Opere edili cucina" e "Impianti e attrezzature cucina", escludendo i mappali riferiti alle stalle, perché non rilevanti in questo contesto; gli importi di riferimento sono evidenziati in tabella 28.

Inoltre, le quote di ammortamento devono essere ricalcolate al netto del capitale investito, in quanto questo è già inserito in negativo nello schema di calcolo del VAN; le quote ricalcolate sono espresse in tabella 29.

Tabella 28. Prospetto degli investimenti (costi in €) per la cucina delle due ipotesi d'investimento (AFS=impianto automatico di alimentazione; CONV=alimentazione unifeed convenzionale) per il calcolo del VAN

Descrizione	Mandria P	Mandria M	Mandria G	Mandria I
Opere edili cucina AFS	77.853	78.020	126.065	76.041
Impianti e attrez. cucina AFS	268.394	300.198	450.741	263.660
TOTALE AFS	346.247	378.218	576.806	339.701
Opere edili cucina CONV	62.300	65.350	65.350	63.650
Impianti e attrez. cucina CONV	19.679	21.364	28.945	24.049
TOTALE CONV	81.979	86.714	94.295	87.699

Tabella 29. Quote annue (in €) per il calcolo del VAN delle due ipotesi AFS e CONV al netto del capitale investito

Descrizione	Mandria P	Mandria M	Mandria G	Mandria I
Opere edili AFS - Q_{amm}	1.869	1.873	3.027	1.826
Impianti e attrezzature AFS - Q_{amm}	6.232	6.970	10.466	6.122
Opere edili AFS - Q_{man}	389	390	630	380
Impianti e attrezzature AFS - Q_{man}	5.368	6.004	9.015	5.273
AFS - Q_{ass}	346	378	577	340
TOTALE QUOTE AFS	14.204	15.615	23.715	13.941
Opere edili CONV - Q_{amm}	1.496	1.569	1.569	1.528
Impianti e attrezzature CONV - Q_{amm}	457	496	672	558
Opere edili CONV - Q_{man}	312	327	327	318
Impianti e attrezzature CONV - Q_{man}	394	427	579	481
CONV - Q_{ass}	82	87	94	88
TOTALE QUOTE CONV	2.740	2.906	3.241	2.973

Il maggior costo delle macchine, per ogni allevamento, si ottiene per differenza fra il costo del carro semovente e il costo del carro trainato + trattore, con riferimento alla tabella 26.

Risultati

Il confronto fra soluzione CONV e soluzione BASE di riferimento restituisce un VAN sempre nettamente negativo, con il risultato peggiore per l'allevamento M (-197.000 €), mentre l'allevamento più piccolo e quello più grande raggiungono più o meno lo stesso VAN negativo (circa -160.000 €). Il risultato era atteso, essendo prevista la realizzazione di un'area cucina e non potendosi prevedere dei benefici importanti nel passaggio da situazione di partenza con carro trainato a situazione con carro semovente. Anzi, proprio la voce macchine è quella più negativa, con un costo annuo della soluzione CONV nettamente più alto.

Allevamenti da latte: VAN per AFS

In questo secondo scenario la soluzione con impianto automatico di alimentazione (AFS) viene confrontata con la soluzione di partenza (BASE).

L'analisi è stata condotta per ognuno dei 3 insediamenti e con riferimento a uno scenario "tranquillo", nel senso che i benefici produttivi e sanitari a favore dell'AFS sono fissati su valori medio-bassi rispetto a quelli desunti dall'esperienza di allevatori che hanno già attuato tale investimento.

In particolare, si assume che l'inserimento in azienda dell'AFS porti a un miglioramento della produzione media di latte, rispetto alla soluzione BASE, di 1 kg/d per vacca in lattazione, comprensivo anche della valorizzazione del miglioramento della qualità del latte (più grasso e più caseina) e nell'ipotesi che non si modifichino le altre voci di costo; in pratica, si assume che questo miglioramento sia solo imputabile alla maggiore efficienza alimentare derivante dal modo di operare dell'AFS rispetto a un'alimentazione convenzionale.

Altro beneficio stimato è il migliore stato di salute generale della mandria, conseguente ai numerosi aspetti positivi che sono stati elencati in precedenza; il valore assegnato a questo beneficio è una minore incidenza delle spese veterinarie (da intendersi come spese

per veterinario, medicinali e inseminazioni), calcolata in percentuale rispetto all'entità totale media di queste spese in allevamento. Si assume una riduzione del 5%.

L'investimento da inserire in negativo nel foglio di calcolo del VAN è dato dal costo totale della nuova cucina.

Altro dato necessario per il calcolo del VAN è l'eventuale valore residuo del bene a fine periodo; si considera che dopo i 12 anni gli impianti e le macchine abbiano un valore residuo pari al 10% del valore a nuovo, mentre la componente edile abbia un valore residuo pari al 50% del valore a nuovo.

Parte attiva

Nella parte attiva dello schema di calcolo si prevedono il maggior ricavo dalla vendita del latte, le minori spese veterinarie, il minor costo delle macchine e il minor costo di manodopera.

I dati necessari per i primi due elementi sono stati ottenuti dal costo medio di produzione di aziende lombarde da latte per Grana Padano e latte alimentare elaborati dal CRPA nell'ambito del progetto Latte Digitale della Regione Lombardia e riferiti all'anno 2020:

- ricavo dalla vendita del latte = 45,73 €/100 kg latte
- spese veterinarie = 2,38 €/100 kg latte

Per i minori costi delle macchine e della manodopera si segue la stessa procedura già descritta in precedenza, inserendo le differenze degli importi calcolati nella sezione attiva del VAN.

Parte passiva

In tutti gli scenari, i maggiori costi che l'azienda deve sostenere sono i seguenti:

- maggiore incidenza delle quote annue (ammortamento, manutenzione e assicurazione);
- maggiore costo per l'energia elettrica necessaria al funzionamento dell'impianto automatico di alimentazione.

Per le quote valgono le stesse indicazioni già fornite per il confronto CONV-BASE (tabella 29), mentre il maggior costo dell'energia elettrica è riportato nella già nota tabella 21.

Risultati

Il confronto fra soluzione AFS e soluzione BASE di riferimento restituisce un VAN sempre positivo, a dimostrazione del fatto che questo tipo d'investimento è molto interessante anche dal punto di vista economico-finanziario; il confronto indiretto con la soluzione CONV è nettamente a favore di AFS.

In valore assoluto, il VAN ha un andamento crescente per le aziende da latte, con circa 80.000 € per l'azienda più piccola (P) e oltre 1.000.000 di € per quella più grande (G), con l'azienda media (M) che si pone a metà strada (circa 500.000 €); quindi, viene confermato il fatto che la redditività dell'investimento cresce all'aumentare del numero di capi serviti. Si confermano, inoltre, i risultati dell'analisi economica e cioè che l'AFS è conveniente rispetto al carro semovente convenzionale.

L'indice *mm*, definito moltiplicatore dell'investimento, che rappresenta l'aumento relativo del VAN rispetto all'investimento stesso, ha ovviamente un andamento simile al VAN, attestandosi su 1,23 per P, su 2,32 per M e su 2,77 per G.

Ultima considerazione sul *Pay Back Period (PBP)*, ovvero il tempo necessario affinché i ricavi netti generati dal progetto pareggino il costo dell'investimento ipotizzato; ovviamente, il PBP più alto (7,85 anni) è quello dell'azienda P, che ha il VAN positivo più basso. Le altre 2 aziende mostrano un PBP abbastanza simile, pari a 3,96 anni per M e a 3,39 anni per G.

Allevamento da carne: VAN per CONV

In questo scenario la soluzione con carro semovente (CONV) viene confrontata con la soluzione di partenza (BASE). L'analisi è stata condotta per l'unico insediamento da carne progettato (I).

Nella situazione BASE si allevano maschi e femmine in uguale numero (333 + 333 posti), con pesi vivi iniziali rispettivamente di 350 kg/capo e 270 kg/capo e pesi vivi finali rispettivamente di 660 kg/capo e 520 kg/capo. La durata del ciclo per entrambi i gruppi è di 355 d (1,028 cicli/anno) e l'incremento medio giornaliero (IMG) è di 873 g/d per i maschi e di 704 g/d per le femmine. Il totale della produzione annuale di peso vivo è pari a 398.840 kg.

Si assume che l'inserimento in azienda del nuovo carro semovente porti a un modesto miglioramento dell'IMG dei vitelloni rispetto alla soluzione BASE, fissato sul 2%: i maschi passano a un IMG di 890 g/d, mentre le femmine passano a un IMG di 718 g/d. Il risultato di questo miglioramento è l'aumento della produzione annua di peso vivo a parità di durata del ciclo d'allevamento, che passa a 402.558 kg, con un incremento di 3.718 kg/anno.

L'investimento da inserire in negativo nel foglio di calcolo del VAN è dato da:

- costo totale della nuova cucina;
- costo del carro semovente.

Altro dato necessario per il calcolo del VAN è l'eventuale valore residuo del bene a fine periodo; si considera che dopo i 12 anni gli impianti e le macchine abbiano un valore residuo pari al 10% del valore a nuovo, mentre la componente edile abbia un valore residuo pari al 50% del valore a nuovo.

Parte attiva

Nella parte attiva dello schema di calcolo si prevedono il maggior ricavo dalla vendita degli animali e il minor costo della manodopera. Il dato necessario alla stima del maggior ricavo è stato ottenuto dal prezzo medio di vendita dei vitelloni Limousine e Charolaise nell'Area Nordest d'Italia, desunto dall'Osservatorio Mercati Agricoli della rivista L'Informatore Agrario (n. 33 del 2022): 3,37 €/kg peso vivo.

Il minor costo per la manodopera di cui l'azienda ipotetica può beneficiare è ottenuto per differenza dai costi già calcolati per le due soluzioni CONV e BASE.

Parte passiva

In tutti gli scenari, i maggiori costi che l'azienda deve sostenere sono i seguenti:

- maggiore incidenza delle quote annue (ammortamento, manutenzione e assicurazione);
- maggiore costo per le macchine impiegate per l'alimentazione.

Come per gli allevamenti da latte, le quote devono essere ricalcolate con riferimento ai soli mappali “Opere edili cucina” e “Impianti e attrezzature cucina”, escludendo i mappali riferiti alle stalle, e al netto del capitale investito (tabelle 28 e 29).

Il maggior costo delle macchine, per ogni allevamento, si ottiene per differenza fra il costo del carro semovente e il costo del carro trainato + trattore, con riferimento alla tabella 26.

Risultati

Il confronto fra soluzione CONV e soluzione BASE di riferimento, come per gli allevamenti da latte, restituisce un VAN nettamente negativo, in questo caso ancora più rilevante e pari a -352.000 €, soprattutto imputabile al modesto vantaggio economico derivante dalla maggiore produzione.

Allevamento da carne: VAN per AFS

In questo scenario la soluzione con impianto automatico (AFS) viene confrontata con la soluzione di partenza (BASE). L'analisi è stata condotta per l'unico insediamento da carne progettato (I).

Si assume che l'inserimento in azienda dell'AFS porti a un miglioramento dell'incremento medio giornaliero (IMG) dei vitelloni rispetto alla soluzione BASE, fissato sul 5% circa: i maschi passano a un IMG di 915 g/d, mentre le femmine passano a un IMG di 738 g/d. Il risultato di questo miglioramento è l'aumento della produzione annua di peso vivo a parità di durata del ciclo d'allevamento, che passa a 407.966 kg, con un incremento di 9.126 kg/anno.

Altro beneficio stimato è il migliore stato di salute generale della mandria, conseguente ai numerosi aspetti positivi che sono stati elencati in precedenza; il valore assegnato a questo beneficio è una minore incidenza delle spese veterinarie (da intendersi come spese per veterinario e medicinali), calcolata in percentuale rispetto all'entità totale media di queste spese in allevamento. Si assume una riduzione del 5%.

L'investimento da inserire in negativo nel foglio di calcolo del VAN è dato dal costo totale della nuova cucina.

Altro dato necessario per il calcolo del VAN è l'eventuale valore residuo del bene a fine periodo; si considera che dopo i 12 anni gli impianti e le macchine abbiano un valore residuo pari al 10% del

valore a nuovo, mentre la componente edile abbia un valore residuo pari al 50% del valore a nuovo.

Parte attiva

Nella parte attiva dello schema di calcolo si prevedono il maggior ricavo dalla vendita degli animali, le minori spese veterinarie, il minor costo delle macchine e il minor costo di manodopera.

Per il primo elemento si è adottato lo stesso criterio di calcolo del precedente confronto, mentre per il secondo elemento si è fatto riferimento ai dati economici raccolti presso l'azienda partner del progetto che alleva bovini da ingrasso; in questa azienda il costo annuo imputabile alle spese veterinarie e medicinali è pari a 0,07 €/d per capo. Per i minori costi delle macchine e della manodopera si segue la stessa procedura già descritta in precedenza, inserendo le differenze degli importi calcolati nella sezione attiva del VAN.

Parte passiva

In tutti gli scenari, i maggiori costi che l'azienda deve sostenere sono i seguenti:

- maggiore incidenza delle quote annue (ammortamento, manutenzione e assicurazione);
- maggiore costo per l'energia elettrica necessaria al funzionamento dell'impianto automatico di alimentazione.

Per le quote valgono le stesse indicazioni già fornite per il confronto CONV-BASE (tabella 29), mentre il maggior costo dell'energia elettrica è riportato nella già nota tabella 21.

Risultati

Il confronto fra soluzione AFS e soluzione BASE di riferimento restituisce un VAN positivo, pari a circa 469.000 €, con un indice *mm* (moltiplicatore dell'investimento) di 2,38. Si conferma quindi, come per gli allevamenti da latte, la validità di questo investimento in senso assoluto e anche rispetto alla soluzione alternativa ipotizzata (CONV).

Il *Pay Back Period (PBP)* si posiziona su un valore di 3,84 anni, simile a quello ottenuto nell'azienda più grande da latte.

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.

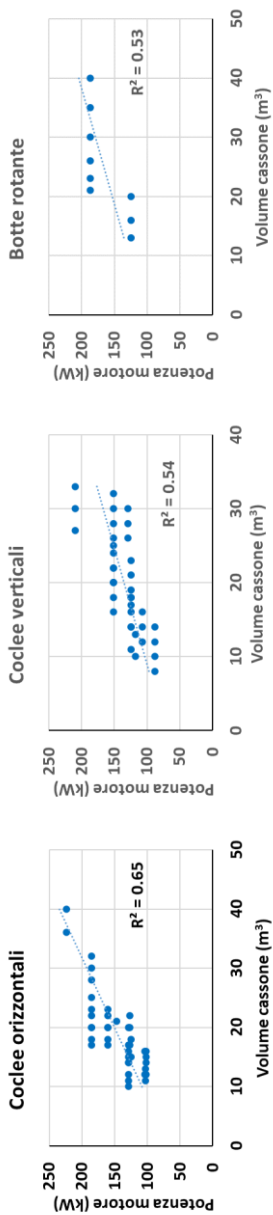


Figura 1. Regressione lineare tra il volume del cassone e la potenza motore delle tre tipologie di carri trincia-miscelatori semoventi disponibili sul mercato (dati forniti dai costruttori, anno 2022).

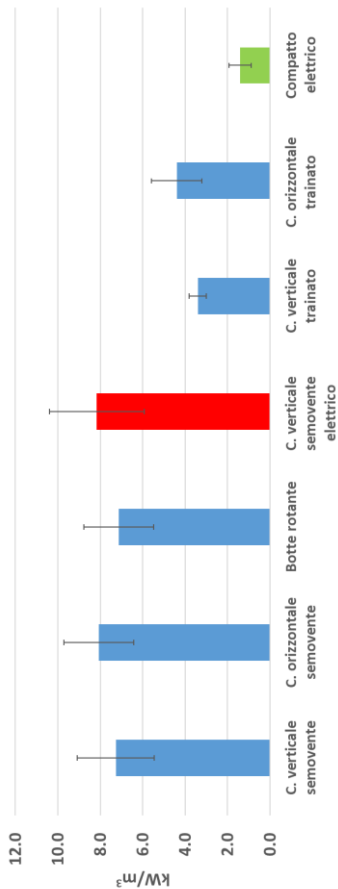


Figura 2. Potenza installata per unità di volume del cassone per le tipologie di carri trincia-miscelatori presenti sul mercato (dati forniti dai costruttori, anno 2022).

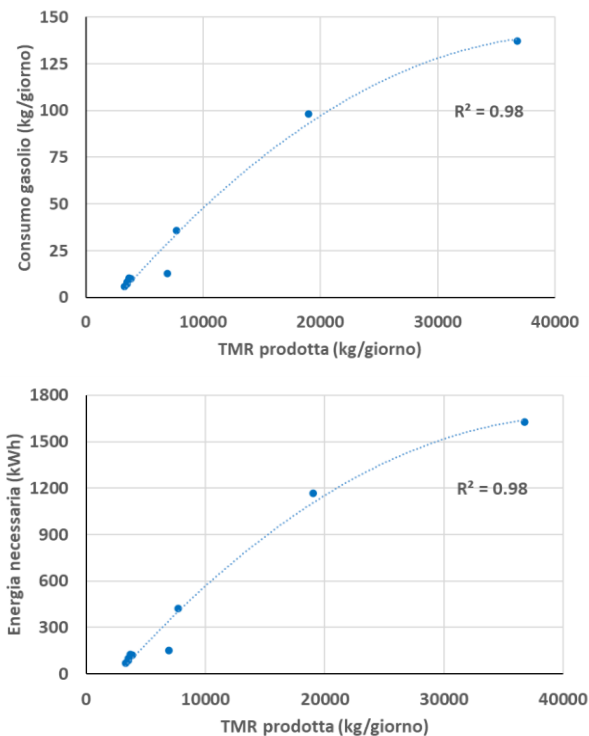


Figura 3. Consumo giornaliero di gasolio (in alto) e assorbimento di energia (in basso) per la produzione della TMR nelle aziende partner del progetto Autofeed (PCI del gasolio = 11,86 kWh/kg).

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 Grundfuttermvorlage 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 ($\cos \varphi$).

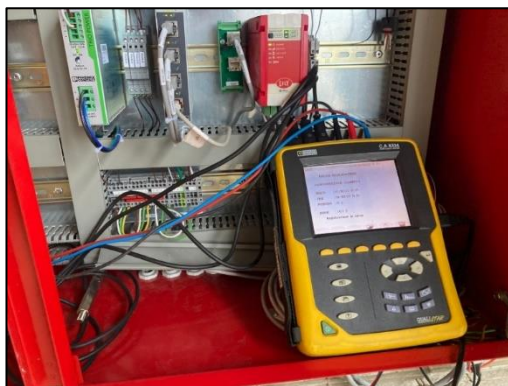


Figura 4. L'analizzatore di rete elettrica trifase applicato al quadro elettrico dell'AFS di una delle aziende partner del progetto Autofeed

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.

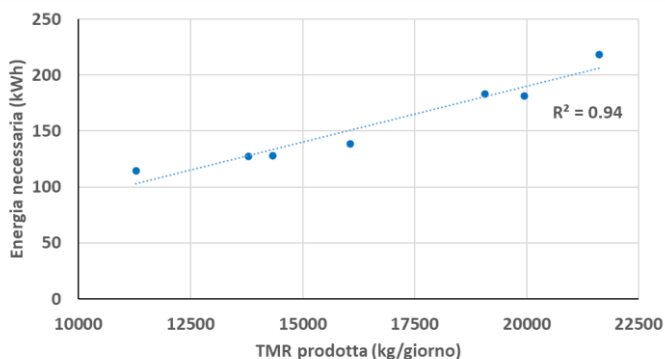


Figura 5. Assorbimento di energia elettrica per la produzione della TMR con AFS nelle aziende partner del progetto Autofeed.

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.

Il comportamento degli animali con i robot di alimentazione

Ambra Motta, Marzia Borciani e Matilde Gastaldo

Fondazione CRPA Studi Ricerche - ETS

Sommario

Con l'introduzione di sistemi automatici per la distribuzione e l'avvicinamento frequente della razione è possibile, da una parte, rendere flessibile il lavoro dell'allevatore e, dall'altra, incrementare il livello di benessere degli animali, riducendo la competizione alimentare in rastrelliera e lo stress. Gli animali, infatti, associano al frequente passaggio dei vagoni semoventi la costante presenza di alimento e questo riduce la voracità delle dominanti e abbatte lo stress da attesa delle sottoposte, aumentando l'ingestione volontaria degli animali nelle 24 ore.

Per valutare la risposta degli animali a questi sistemi automatici conosciuti come Automatic Feeding System (AFS), il progetto ha previsto un'attività specifica: l'osservazione del comportamento degli animali in rastrelliera attraverso la registrazione del numero di animali presenti alla mangiatoia e del numero dei conflitti manifestati nelle fasi di distribuzione e avvicinamento.

Introduzione

Per poter assicurare un buon accesso all'alimento ed evitare che gli animali entrino in competizione tra loro è bene garantire un corretto rapporto posti in mangiatoia/numero capi presenti e un corretto spazio alla mangiatoia.

Il numero ottimale di posti disponibili varia in base alla tipologia di rastrelliera, al tipo di alimentazione e a quello di distribuzione dell'alimento.

Le rastrelliere possono essere di due tipi:

- rastrelliera con posti delimitati provvista di sistemi di autocattura con o senza sistemi antisoffocamento;
- rastrelliera a due tubi orizzontali, solitamente più comune negli allevamenti di bovini da carne.

Altra variabile da considerare è il tipo di alimentazione. In caso di alimentazione contemporanea il numero di posti ottimale deve essere pari al 100% dei capi presenti, mentre nel caso di alimentazione continua, ovvero quando l'alimento è presente in mangiatoia per almeno 18 h/d, al 70% dei capi presenti.

Infatti, con l'alimentazione contemporanea tutti gli animali si recano alla rastrelliera nello stesso momento (ovvero quello della distribuzione) mentre con l'alimentazione continua c'è un accesso alternato alla mangiatoia.

Infine, l'ultima variabile da considerare è il tipo di distribuzione dell'alimento: tradizionale oppure automatica. In questo secondo caso gli animali hanno a disposizione piccole quantità di alimento fresco più volte al giorno. La distribuzione dell'alimento in numerosi pasti giornalieri limita la competizione alla rastrelliera (quindi un minore stress) e migliora la funzione digestiva dei singoli animali.

Lo spazio (o fronte) alla mangiatoia è lo spazio lineare generalmente espresso in centimetri assegnato a ciascun capo per alimentarsi. Nel caso di rastrelliera autocatturante è dato dalla distanza fra l'interasse dei due tubi verticali che delimitano un singolo posto, mentre in quello di rastrelliera a 2 tubi orizzontali si calcola dividendo la sua lunghezza totale per il numero totale di bovini che la possono utilizzare. Per le vacche si raccomanda un fronte alla mangiatoia di 72 cm/vacca e per i bovini da carne varia in base al peso finale degli animali, si parte da un fronte di 54 cm per capi fino a 400 kg a 74 cm per capi di peso superiore a 700 kg.

Un altro aspetto importante è la gestione dell'alimento in mangiatoia. Gli animali quando scartano/selezionano l'alimento alla

ricerca degli ingredienti più appetibili, tendono a spingerlo lontano dalla mangiatoia. Per questo motivo, risulta necessario riavvicinare l'alimento in mangiatoia. Quest'azione può essere svolta da un operatore manualmente o attraverso sistemi automatici. Nel primo caso la necessità di manodopera può essere un fattore limitante in quanto il numero di avvicinamenti che si riescono ad effettuare nell'arco di una giornata è spesso limitato e insufficiente.

Parte tecnica

L'attività di progetto ha previsto l'osservazione degli animali alla rastrelliera e, in particolare, la valutazione del comportamento delle vacche alla mangiatoia con verifica della frequentazione e delle conflittualità in tutte le aziende partner del progetto. Nell'arco della durata del progetto (24 mesi) sono stati eseguiti complessivamente 8 rilievi per singola azienda, due rilievi per ogni stagione.

Le aziende coinvolte presentano le seguenti situazioni:

- Azienda A, allevamento di bovine da latte con distribuzione e avvicinamento tradizionale dell'alimento;
- Azienda B, allevamento di bovine da latte con distribuzione e avvicinamento tradizionale dell'alimento;
- Azienda C, allevamento di bovine da latte con sistema tradizionale di distribuzione dell'alimento e sistema automatico dell'avvicinamento, mediante un robot spingiforaggio;
- Azienda D, allevamento di bovine da latte dotato di impianto automatico di preparazione, distribuzione e avvicinamento dell'unifeed;
- Azienda E, allevamento di bovini da ingrasso dotato di impianto automatico di preparazione, distribuzione e avvicinamento dell'unifeed

L'Azienda E, poiché è l'unica azienda che alleva bovini da ingrasso è stata trattata separatamente.

In ogni azienda sono stati raccolti i seguenti dati, in gruppi di vacche in lattazione o in box di bovini da ingrasso:

- numero di vacche in rastrelliera;
- numero di conflitti in rastrelliera.

Nello specifico, per quanto riguarda i conflitti, sono stati considerati i seguenti:

Per le vacche da latte:

- Conflitto 1 - vacca con la testa dentro la rastrelliera che disturba con la testa un'altra vacca. Ambo gli animali permangono in rastrelliera;
- Conflitto 2 - vacca con la testa dentro la rastrelliera che disturba con la testa un'altra vacca. La vacca disturbata abbandona la rastrelliera;
- Conflitto 3 - vacca in rastrelliera non fa entrare un'altra vacca nella cattura vicina;
- Conflitto 4 - vacca in corsia di alimentazione che fa uscire un'altra vacca dal posto in rastrelliera in cui stava sostando.

Per i bovini da ingrasso

- Conflitto 1 - bovino con la testa dentro la rastrelliera che disturba con la testa un altro bovino. Nessuno dei due bovini abbandona la rastrelliera;
- Conflitto 2 - bovino con la testa dentro la rastrelliera che disturba con la testa un altro bovino. Il bovino disturbato abbandona la rastrelliera;
- Conflitto 3 - bovino in corsia/zona di alimentazione che impedisce ad un altro bovino di entrare in rastrelliera. Il bovino che ha impedito entra in rastrelliera;
- Conflitto 4 - bovino in corsia/zona di alimentazione che impedisce ad un altro bovino di entrare in rastrelliera. Entrambi entrano in rastrelliera.
- Conflitto 5 - bovino in corsia/zona di alimentazione che disturba un altro bovino con la testa dentro la rastrelliera. Il bovino disturbatore si impossessa del posto del bovino disturbato.

I rilievi sono stati eseguiti mediante osservazione diretta da parte di operatori formati, senza l'impiego di telecamere a circuito chiuso. In particolare, per ogni azienda sono stati eseguiti 4 rilievi della durata di circa 5 ore, in concomitanza dei mesi centrali di ogni stagione.

Le osservazioni sono state eseguite nelle fasi di distribuzione dell'alimento e in quelle successive. Il rilievo è iniziato 5/10 minuti prima della distribuzione ed è durato circa 5-6 ore. Questo periodo di osservazione ha permesso di osservare in ogni azienda almeno 1 distribuzione e 1 avvicinamento.

Mediante apposite checklist (figura 1), l'osservatore ha registrato il numero dei capi presenti in rastrelliera ad intervalli regolari di 10 minuti e il numero di conflitti manifestati *in continuum*.

Durante le sessioni di osservazioni sono state installate 2 sonde termo-igrometriche (figura 2) con alimentazione autonoma a batteria, per il rilievo della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria in zona di alimentazione (all'interno dell'edificio) e una all'esterno, ciò allo scopo di avere riferimenti microclimatici precisi nelle giornate di rilievo poiché i parametri ambientali possono condizionare la routine di alimentazione delle vacche.

Nome Azienda								
Data								
Numero di vacche								
Numero autocatture								
Numero cuccette								
Numero razioni								
Numero piatti avanzati								
Tempo percorrenza carro/robot in mangiatoia								
	Numero animali	Episodi di conflitto						Note
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4			
5 Minuti prima della distribuzione								
Avvio carro miscelatore								
Fine rastrelliera								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								
ogni 10 min								

Figura 1. Esempio di scheda di raccolta dati (checklist)



Figura 2. Sonda termo-igrometrica

Azienda A

In questa azienda la distribuzione dell'alimento mediante carro unifeed tradizionale (un solo passaggio) avviene subito dopo la fine della mungitura, verso le 6:45. Un operatore dell'azienda, oltre alla distribuzione dell'unifeed, provvede all'avvicinamento dell'alimento alla mangiatoria almeno 7 volte nell'arco della giornata, in genere nei seguenti orari: 8:00, 10:00, 12:00, 14:30, 16:00, 18:30, 23:00.

Azienda B

In questa azienda la distribuzione dell'alimento viene fatta con carro unifeed di 32 m³ dotato di sensore NIR sulla fresa di desilamento e di sensore ottico nel cassone di trincia-miscelazione. Vengono fatti due passaggi, il primo subito dopo la fine della mungitura verso le 6:15, il secondo verso le 11:00 (rabbocco). Come per l'azienda A, l'avvicinamento viene eseguito da un operatore circa 5 volte nell'arco della giornata, in genere nei seguenti orari: 13:30, 18:00, 21:00, 23:30, 4:00.

Azienda C

In questa azienda la distribuzione dell'alimento mediante carro unifeed tradizionale (due passaggi) avviene subito dopo la fine della mungitura verso le 7:30 e verso le 11:00 (rabbocco). A differenza delle Aziende A e B, in questa azienda l'avvicinamento viene eseguito da un robot spingiforaggio che effettua circa 9 passaggi nell'arco della giornata.

Azienda D

In questa azienda la distribuzione e l'avvicinamento dell'alimento avviene in modo automatico. Il carro semovente fa un passaggio circa ogni 60 minuti e può distribuire o avvicinare in base al residuo presente in rastrelliera.

Azienda E

In questa azienda la distribuzione e l'avvicinamento dell'alimento avviene in modo automatico. Il carro semovente fa un passaggio circa ogni 30 minuti e può distribuire o avvicinare. La distribuzione avviene in base al residuo (≤ 16 cm) presente in ogni box.

Risultati

Vacche da latte

Per uniformare l'analisi, vista la diversità nella gestione della distribuzione e dell'avvicinamento delle aziende coinvolte, si è deciso di valutare la prima distribuzione e il successivo avvicinamento.

La frequentazione è espressa come percentuale delle vacche in rastrelliera sul totale dei capi del gruppo, mentre i conflitti sono espressi come percentuale degli eventi conflittuali sul numero di vacche presenti in quel momento in rastrelliera.

Nelle Aziende B, C e D la percentuale delle vacche presenti in rastrelliera si mantiene abbastanza costante sia alla distribuzione, sia all'avvicinamento (figura 3).

L'Azienda A si differenzia nettamente dalle altre con una percentuale molto alta di vacche presenti in rastrelliera al momento della distribuzione. La percentuale delle vacche inoltre è molto variabile, lo dimostra la linea della deviazione standard al momento della distribuzione e dell'avvicinamento.

Questo dato può essere spiegato dal fatto che l'Azienda A effettua una singola distribuzione e la maggior parte delle vacche si reca alla rastrelliera appena è presente l'alimento. Questa differenza non si riscontra nelle Aziende B e C probabilmente perché entrambe le aziende effettuano una seconda distribuzione in tarda mattinata.

Viste le differenze riscontrate al momento della distribuzione, è stata effettuata un'ulteriore analisi in relazione alla stagione (figura 4).

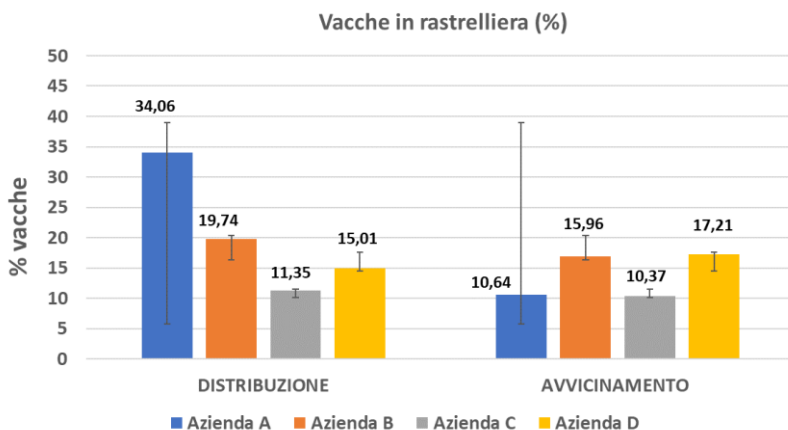


Figura 3. Percentuale media delle vacche presenti in rastrelliera alla distribuzione e all'avvicinamento in relazione all'azienda (frequentazione)

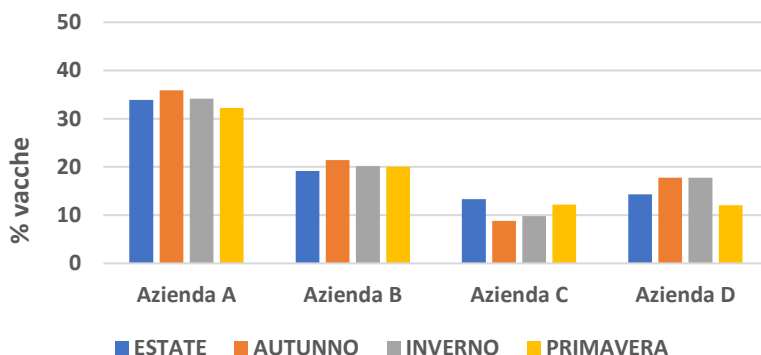


Figura 4. Percentuale media delle vacche presenti in rastrelliera dopo la distribuzione in relazione all'azienda e alla stagione (frequentazione)

La situazione è la medesima, in tutte le stagioni la frequentazione è maggiore nell'Azienda A. Non sussiste però una differenza significativa in relazione alla stagione. I dati rilevati dalle sonde

igrometriche installate nel periodo di osservazione non hanno evidenziato differenze significative con i dati comportamentali rilevati.

Come evidenziato nella precedente figura 3, la presenza di sistemi automatici di distribuzione dell'alimento fa sì che al momento della distribuzione la percentuale di vacche alla rastrelliera sia inferiore, garantendo in questo modo una maggiore turnazione.

Per quanto riguarda i conflitti, questi risultano manifestarsi in percentuale maggiore, seppur non di tanto, nelle aziende con distribuzione tradizionale ovvero A e B (figura 5).

Nell'azienda D la presenza di AFS limita il numero dei conflitti al momento della distribuzione (10,57%), percentuale che si mantiene pressoché costante nella fase di avvicinamento (9,76%).

La differenza che si può riscontrare nell'Azienda C, nonostante la distribuzione sia tradizionale, è dovuta alla ridotta densità degli animali. Nel gruppo osservato, infatti, sono presenti meno animali rispetto al numero di posti disponibili in rastrelliera e per questo motivo le vacche non hanno motivo di entrare in competizione tra loro.

Un ultimo dato interessante è la distribuzione dei conflitti nelle aziende. Fatto 100% il totale dei conflitti registrati in ogni azienda durante le osservazioni si può notare come i conflitti di tipo 4 siano maggiori nell'Azienda A e B. Mentre nelle altre due i conflitti che si sono manifestati in percentuale maggiore sono di tipo 1 (figura 6).

Il conflitto di tipo 3, in tutte le aziende, risulta essere poco frequente; ciò è un fatto positivo in quanto il conflitto in questione impedisce ad una vacca l'accesso alla rastrelliera. Il conflitto 4, volendo definire una scala di gravità, segue il conflitto di tipo 3, perché c'è un'azione prevaricante di un soggetto su un altro che si stava alimentando.

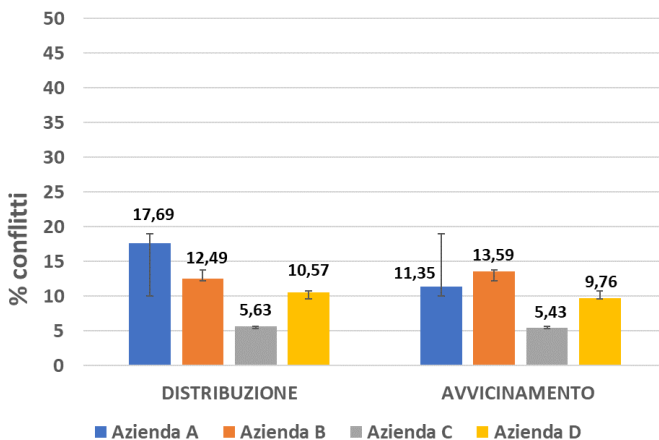


Figura 5. Frequenza media dei conflitti in rastrelliera al momento della distribuzione e all'avvicinamento (conflittualità)

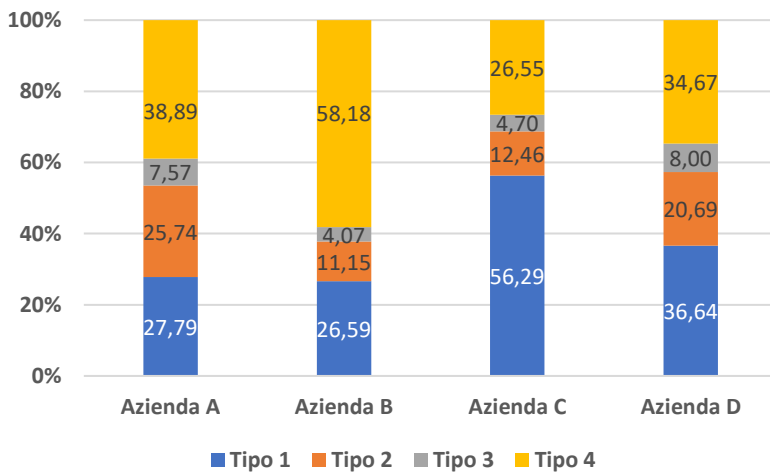


Figura 6. Distribuzione dei conflitti in rastrelliera nelle aziende partner

Bovini da carne

Per quanto riguarda l'Azienda E, non è stato possibile effettuare un confronto con altre realtà in quanto l'unica azienda con bovini da ingrasso. L'analisi effettuata ha riguardato le percentuali medie relative al numero di animali presenti in mangiatoia e alla percentuale media dei conflitti manifestati durante il periodo di osservazione. Come per le vacche, la frequentazione è espressa come percentuale dei bovini in rastrelliera sul totale dei capi del gruppo osservato, mentre i conflitti sono espressi come percentuale degli eventi conflittuali sul numero di bovini presenti in quel momento in rastrelliera.

In tabella 1 per ogni rilievo viene riportata la percentuale di bovini da ingrasso presenti al momento della distribuzione e nei successivi 30 minuti (prima del successivo passaggio del robot di alimentazione), mentre in tabella 2 è riportata quella al momento dell'avvicinamento e nei 30 minuti successivi. Come si evince dalla tabella 1 i rilievi in cui la percentuale di bovini da ingrasso è maggiore sono i rilievi 3 e 7, ovvero il primo rilievo invernale e il secondo rilievo autunnale. Le percentuali minori si riscontrano nel rilievo 6, quello estivo. In media, le percentuali maggiori (17,45% e 16,23%) sono state registrate a fine rastrelliera e dieci minuti dopo la fine della distribuzione.

La percentuale di bovini da ingrasso presenti in rastrelliera all'avvicinamento risulta maggiore nei rilievi 4 e 7 che corrispondono al primo rilievo primaverile e al secondo rilievo autunnale. Anche in questo caso le percentuali minori si riscontrano nel rilievo 6, ovvero il secondo rilievo estivo. In media, le percentuali maggiori (13,81% e 12,21%) sono state registrate nei 20 minuti successivi alla fine dell'avvicinamento. Il numero di bovini in rastrelliera prima, durante e dopo l'avvicinamento si mantiene costante, intorno al 12% (tabella 2). In tabella 3 viene riportato il numero complessivo dei conflitti (sommatoria dei conflitti di tipo 1, 2, 3, 4 e 5) osservati in rastrelliera al momento della distribuzione e nei 30 minuti successivi (prima del successivo passaggio del robot di alimentazione), mentre in tabella 4 il numero complessivo dei conflitti al momento dell'avvicinamento e nei 30 minuti successivi.

Tabella 1. Percentuale media di bovini da ingrasso presenti al momento della distribuzione e nel periodo successivo

	Rilievi										Media (%)
	n. 1 (%)	n. 2 (%)	n. 3 (%)	n. 4 (%)	n. 5 (%)	n. 6 (%)	n. 7 (%)	n. 8 (%)			
5 min. prima della distribuzione	12,89	5,97	21,24	16,09	11,49	1,55	17,54	9,36	12,02		
Avvio carro miscelatore	12,89	5,97	21,24	16,09	5,75	5,67	16,37	12,28	12,03		
Fine rastrelliera	12,89	10,45	30,57	22,99	21,26	9,28	23,98	8,19	17,45		
dopo 10 min	8,76	11,94	18,65	14,37	25,86	8,76	23,98	17,54	16,23		
dopo 20 min	5,67	8,96	17,62	15,52	21,84	9,28	19,30	14,04	14,03		
dopo 30 min	8,25	8,96	16,06	15,52	15,52	1,55	17,54	8,77	11,52		

Tabella 2. Percentuale media di bovini da ingrasso presenti al momento dell'avvicinamento e nel periodo successivo

	Rilievi								Media (%)
	n. 1 (%)	n. 2 (%)	n. 3 (%)	n. 4 (%)	n. 5 (%)	n. 6 (%)	n. 7 (%)	n. 8 (%)	
Avvio avvicinamento	10,82	5,47	13,99	13,22	6,90	2,58	19,88	9,94	10,35
Fine rastrelliera	10,82	5,47	7,25	21,84	14,37	7,73	23,39	4,68	11,95
dopo 10 min	11,34	8,96	17,10	18,39	12,64	9,28	18,13	14,62	13,81
dopo 20 min	5,67	9,45	17,62	14,37	15,52	4,64	16,37	14,04	12,21
dopo 30 min	9,28	4,48	14,51	19,54	16,09	5,67	12,28	7,60	11,18

Tabella 3. Percentuale media dei conflitti manifestati alla distribuzione e nel periodo successivo

	Rilievi								Media (%)
	n. 1 (%)	n. 2 (%)	n. 3 (%)	n. 4 (%)	n. 5 (%)	n. 6 (%)	n. 7 (%)	n. 8 (%)	
5 minuti prima della distribuzione	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,05	3,88
Avvio carro miscelatore	0,00	9,52	10,17	22,50	16,22	5,56	9,76	0,00	9,22
Fine rastrelliera	12,00	8,33	5,56	12,00	8,89	11,76	7,32	26,67	11,57
dopo 10 min	5,88	11,11	2,94	7,41	10,53	5,56	33,33	4,17	10,12
dopo 20 min	9,09	0,00	3,23	0,00	0,00	0,00	6,67	13,33	4,04
dopo 30 min	18,75	18,75	0,00	16,67	0,00	0,00	11,11	0,00	8,16

Tabella 4. Percentuale media dei conflitti manifestati all'avvicinamento e nel periodo successivo

	Rilievi								Media (%)	
	n. 1 (%)	n. 2 (%)	n. 3 (%)	n. 4 (%)	n. 5 (%)	n. 6 (%)	n. 7 (%)	n. 8 (%)		
Avvio riavvicinamento	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
Fine rastrelliera	9,52	0,00	0,00	5,26	4,00	0,00	0,00	27,50	0,00	5,79
dopo 10 min	27,27	11,11	3,03	0,00	13,64	0,00	0,00	22,58	4,00	10,20
dopo 20 min	18,18	21,05	2,94	12,00	7,41	0,00	0,00	7,14	0,00	8,59
dopo 30 min	5,56	33,33	0,00	5,88	17,86	0,00	0,00	14,29	7,69	10,58

Le percentuali maggiori (11,57% e 10,12%) sono state registrate nei 10 minuti successivi alla fine della distribuzione (tabella 3). Come per la fase di distribuzione, anche all'avvicinamento le frequenze maggiori sono state registrate dopo 10 minuti dalla fine dello stesso. Al rilievo 6, sia alla distribuzione sia all'avvicinamento, non sono stati registrati conflitti (tabella 4). Anche nei bovini da ingrasso è stata valutata la distribuzione dei conflitti osservati nell'Azienda E in relazione alla stagione (figura 7).

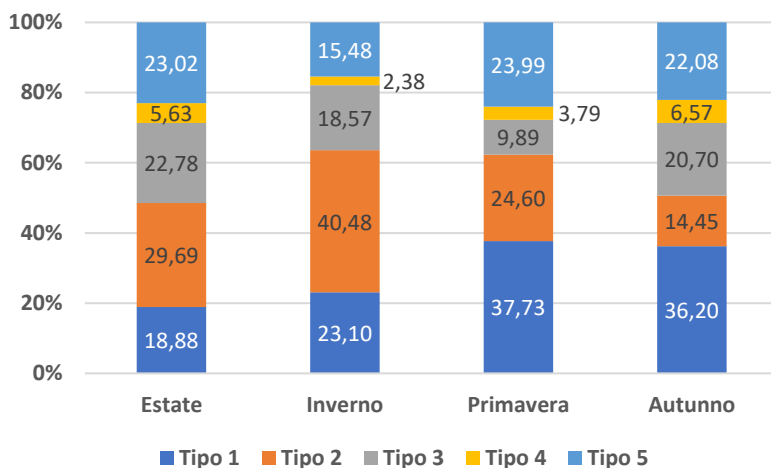


Figura 7. Distribuzione dei conflitti in rastrelliera nell'azienda partner

Fatto 100% il totale dei conflitti registrati, si può notare come, in tutte le stagioni, i conflitti di tipo 4 risultano essere poco frequenti, mentre i conflitti di tipo 3 si manifestano con una maggiore frequenza soprattutto in estate (22,78%), inverno (18,57%) e in autunno (20,70%). Frequenze periodiche di quest'ultimo conflitto non sono positive in quanto il conflitto in questione impedisce ad un bovino l'accesso alla rastrelliera. Il conflitto di tipo 5, analogo al conflitto 4 nelle vacche da latte, è stato manifestato con una frequenza media pari a 21,14%.

Conclusioni

Le osservazioni comportamentali hanno permesso di valutare la risposta degli animali a sistemi automatici per la distribuzione e l'avvicinamento dell'alimento, evidenziando come l'adozione di questi sistemi permetta una frequenza regolare e costante degli animali in rastrelliera, di conseguenza gli animali risultano meno stressati nell'approccio all'alimento. Inoltre, consentono una limitazione dei conflitti alla rastrelliera rispetto alla distribuzione tradizionale con carro miscelatore.

In generale, è bene ricordare che non è sufficiente l'installazione di un AFS per assicurare un buon accesso all'alimento ed evitare che gli animali entrino in competizione, in primis è necessario garantire:

- un corretto rapporto posti in mangiatoia/numero capi presenti;
- un corretto spazio alla mangiatoia.

Le aziende partner: esempi di applicazione dei sistemi automatici

Simone Giovinazzo e Andrea Lazzari

CREA - Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviglio

Sommario

Il gruppo operativo Autofeed è un partenariato di ricerca per l'innovazione in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura che si è avvalso, per il raggiungimento dei propri obiettivi, della collaborazione di cinque allevamenti lombardi di bovini da latte e da carne, ciascuno di essi in possesso di diverse soluzioni tecnologiche afferenti ai processi di automazione del razionamento unifeed. Il coinvolgimento di queste realtà aziendali ad indirizzo zootecnico nel progetto ha permesso di operare una valutazione delle condizioni di impiego dei sistemi di automazione alle operazioni di razionamento e gestione della razione bovina e di comprendere il punto di vista dell'allevatore: sia nel caso in cui abbia già acquistato tali tecnologie, sia nel caso in cui stia valutando tale investimento. A tal fine è stata realizzata un'indagine, presso le aziende visitate nel corso del progetto, attraverso la somministrazione agli allevatori di un questionario conoscitivo che permettesse di mettere in risalto le loro opinioni.

I risultati ottenuti hanno evidenziato i numerosi vantaggi derivanti dall'installazione di questi sistemi in azienda, come il miglioramento dell'efficienza produttiva coniugata ad una ottimizzazione della

sostenibilità economica, ambientale e sociale dell'allevamento⁵¹. Ecco, perciò, che l'automazione nel settore zootecnico può contribuire ad affrontare le numerose sfide che interessano oggi il comparto produttivo bovino indirizzandolo verso una produzione più efficiente che si impegni a ridurre il consumo di risorse oltre che ad una maggior tutela dell'ambiente e del benessere dell'animale allevato.

Introduzione

Gli *AFS - Automatic Feeding Systems*, rappresentano l'ultima frontiera della robotizzazione del razionamento unifeed in stalla. Insieme alla mungitura e alla gestione delle deiezioni, l'automazione dell'alimentazione raffigura un'innovazione radicale che si accompagna a profondi cambiamenti nella modalità di gestione dell'allevamento bovino. Da un punto di vista commerciale, il primo sistema robotizzato in grado di automatizzare le operazioni di riempimento del carro, così come la miscelazione e distribuzione della razione agli animali fu introdotto nel 2004, in un allevamento bovino localizzato in Olanda⁵². Attualmente, secondo un'indagine condotta nel 2022⁵³, il mercato degli AFS si caratterizza per l'esistenza di 20 aziende produttrici a livello mondiale, e di 38 modelli attualmente in vendita, ciascuno di questi con proprietà tali da poter rispondere alle diverse esigenze gestionali e strutturali proprie di ogni allevamento.

⁵¹ Brambilla, M., Bisaglia, C., Giovinazzo, S., Lazzari, A. 2022 'Zootecnia e sostenibilità: quando automazione *fa rima* con razione.' *Open Innovation SIS-Sostenibilità, Regione Lombardia*. Disponibile al sito: <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it>

⁵² Bisaglia, C., Nydegger, F., Grothmann, A. 2009. 'L'automazione dell'unifeed e le tecnologie disponibili.' *L'Informatore Agrario*, 65(17), pp. 31-36.

⁵³ Lazzari, A., Brambilla, M., Giovinazzo, S., Bisaglia, C. 2022. 'Percorsi di scelta e prima installazione di AFS'. Disponibile al sito: <https://autofeed.crea.gov.it/wp-content/uploads/2022/11/Percorsi-di-scelta-e-prima-installazione-di-AFS-15.10.2022.pdf>

Questi sistemi di distribuzione possono essere suddivisi in stazionari, come nel caso dei nastri trasportatori, oppure mobili e questi ultimi comprendono i carri sospesi a rotaia, quelli guidati ed infine i robot semoventi, come descritto più dettagliatamente nel paragrafo “*I sistemi automatici per l’unifeed: le soluzioni tecnologiche*”. Ecco quindi, che queste tecnologie sono in grado di modulare bene la loro flessibilità, in relazione all’importante variabilità delle realtà zootecniche, come la tipologia produttiva, la consistenza della mandria, le caratteristiche strutturali della stalla o le peculiarità geografiche del territorio in cui risultano inseriti⁵⁴.

Se in Europa la comparsa del primo modello per la gestione automatica del razione bovino fece la sua apparizione per la prima volta nel 2004, secondo i dati di vendita forniti dai costruttori fu solo dal 2012 che la tecnologia iniziò a diffondersi anche in Italia. Al 2021, in Italia, risultano 101 allevamenti che hanno deciso di introdurre un sistema automatico per l’unifeed, un numero in forte crescita se confrontato con i dati di un’indagine conoscitiva effettuata da Bisaglia et al. (2017)⁵⁵, in cui si stimano una ventina di impianti produttivi con tecnologia AFS. La distribuzione territoriale degli allevamenti bovini con automazione della razione unifeed è profondamente eterogenea in Italia, come si può osservare in figura 1.

Nello specifico, la diffusione di queste soluzioni commerciali interessa prevalentemente le regioni del Nord Italia, in particolare Lombardia, e Trentino-Alto Adige, dove si concentra circa il 60% degli impianti con sistemi AFS, a cui fa seguito Veneto ed Emilia-Romagna (30%). Risulta tuttavia limitata la sua presenza specialmente nelle regioni del Centro-Sud Italia, dove la tecnologia non è ancora riuscita ad imporsi. Questa distribuzione testimonia la versatilità del sistema che riesce ad affermarsi perfettamente in

⁵⁴ Brambilla, M., Giovinazzo, S., Lazzari, A., Rossi, P., Calcante, A., Tangorra, F.M., Soffiantini, S., De Roest, K., Bettoni, A., Dellabona, L., Giusti, G., Ceriani, C., Nodari, M., Bisaglia, C. 2022. ‘Autofeed presenta le proprie attività.’ *Informatore Zootecnico*, 03/2022, pp. 32-40

⁵⁵ Bisaglia, C., Brambilla, M. 2017. ‘Automazione dell’unifeed: casi concreti in Italia’. *L’Informatore Agrario*, 43(36), Supplemento, pp. 35-38.

zone strategiche per la zootecnia da latte come i territori collinari o di pianura, ma allo stesso tempo anche in contesti produttivi di montagna.

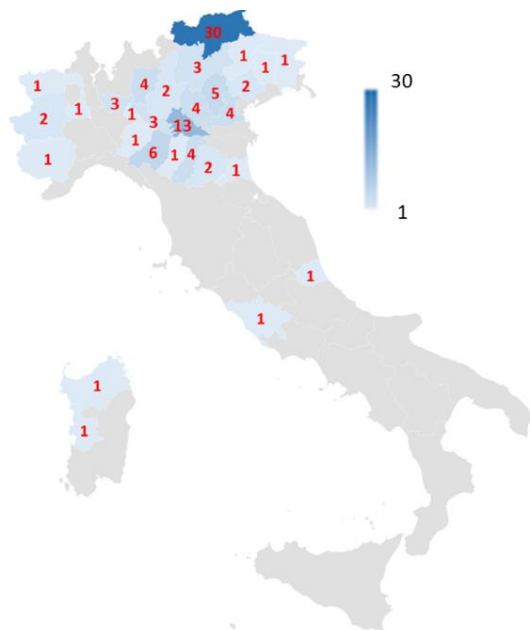


Figura 1. Localizzazione territoriale degli allevamenti bovini che hanno installato la tecnologia AFS in Italia (Elaborazione dati 2021)

Il coinvolgimento di società agricole nel progetto, così come la visita tecnica ad aziende in possesso di sistemi di automazione delle operazioni di razionamento e gestione della razione bovina, ha reso possibile redigere linee guida sull'inserimento di tali soluzioni tecnologiche in allevamento, con una valutazione degli aspetti di integrazione edilizia così come un'analisi dell'efficienza energetica, delle prestazioni zootecniche, del benessere animale e dell'impiego totale di manodopera, prevedendo così un confronto con sistemi ad alimentazione più tradizionale come i carri miscelatori unifeed o gli spingiforaggio meccanici. La partecipazione delle aziende partner ha

costituito perciò un apporto fondamentale al progetto di ricerca, che ha permesso di verificare la forte adattabilità di queste soluzioni automatiche al contesto aziendale in cui si inseriscono.

Parte tecnica

Tra le attività previste nell'ambito del Progetto di Ricerca Autofeed, la sede di Treviglio del CREA-IT si è impegnata nella realizzazione di visite guidate ad impianti produttivi presenti sul territorio nazionale, comprese le aziende partner del progetto, che hanno investito in diversi livelli di automazione dell'alimentazione bovina. L'individuazione degli allevamenti oggetto di visita tecnica è stata resa possibile solo dopo l'attuazione di un'indagine conoscitiva preliminare, mediante contatto diretto con le ditte produttrici o rivenditrici, sulla diffusione di queste soluzioni commerciali nel comparto zootecnico italiano. La missione svolta ha riguardato sia allevamenti di bovini da latte che allevamenti di bovini da carne, con diverse consistenze nel numero di capi allevati, dislocati a differenti zone altimetriche d'Italia: sono stati visitati allevamenti di montagna localizzati in Trentino-Alto Adige, così come aziende zootecniche bovine situate in ambienti collinari o pianeggianti di Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna. Le realtà in possesso di sistemi automatici dell'alimentazione visitate presentavano perciò una grossa variabilità, che la tecnologia descritta è ben in grado di modulare, adattandosi molto bene sia a strutture edilizie già esistenti, così come nella realizzazione di stalle di nuova generazione, progettate con moderni criteri olistici, in cui ogni impianto è ben integrato con tutti gli altri (sistemi robotizzati di alimentazione, mungitura e pulizia della stalla che "comunicano" tra loro scambiandosi informazioni, con l'obiettivo di ottimizzare l'efficienza dell'ambiente stalla). Sono state analizzate soluzioni con diversi livelli di meccanizzazione, dove ad essere automatizzato fosse solo la trincia-miscelazione e la distribuzione della razione: in questo caso il miscelatore è stazionario ed è l'operatore che deve provvedere al riempimento con i componenti della razione, mentre

il robot si occupa della sola distribuzione e del riavvicinamento della razione (figura 2).



Figura 2. Esempio di realtà aziendale e del sistema di razionamento in aziende visitate in cui viene automatizzata esclusivamente la trincia-miscelazione e la distribuzione della razione

Oppure ad essere automatizzato, oltre alla trincia-miscelazione e alla distribuzione, può essere anche il riempimento del carro: in questo caso la cucina deve disporre di uno spazio sufficiente in cui organizzare un deposito temporaneo, sia con gru auto-caricante, sia con container di stoccaggio a svuotamento meccanico che, sempre in automatico, alimentano il miscelatore-distributore con i diversi ingredienti dell'unifeed (figura 3).

Questo studio campionario ha voluto fornire perciò un quadro rappresentativo sulla tipologia di sistemi robotizzati presenti nel nostro Paese, ed installati a seconda degli aspetti edilizi che interessano l'ambiente di ricovero degli animali, a dimostrazione della flessibilità che contraddistingue tali soluzioni tecnologiche. Seguirà ora una breve presentazione delle aziende coinvolte nel partenariato Autofeed, con una descrizione del loro ruolo nel

progetto e del livello di automazione che hanno deciso di introdurre nel loro allevamento.



Figura 3. Foto della realtà aziendale e del sistema di razionamento in aziende visitate in cui viene automatizzata esclusivamente la trincia-miscelazione e la distribuzione della razione

Società Agricola “Fattoria Ginestra” di Bettoni Adonis e Angelo S.S.

La società agricola *Fattoria Ginestra* è un’azienda specializzata nella produzione di latte crudo bovino destinato alla produzione casearia ed ha rappresentato per il progetto l’azienda testimone, dal momento che dal punto di vista gestionale essa rappresenta l’ordinarietà delle aziende che producono latte nel territorio lombardo. Ha pertanto costituito un punto di riferimento su cui poter modellare gli effetti derivanti dall’introduzione di sistemi automatici di alimentazione in allevamento. In questo caso la distribuzione della razione viene eseguita due volte al giorno con un carro miscelatore trainato da trattore. A questa operazione segue il riavvicinamento della razione alla corsia di foraggiamento fatta sette volte al giorno con uno spingi-foraggio semovente di piccole dimensioni (figura 4).

Società Agricola Della Bona Faustino S.S.

L'azienda agricola Della Bona è specializzata nella produzione di latte bovino per il consumo fresco e per la trasformazione casearia e si caratterizza per l'installazione di sensoristica di supporto alla preparazione del carro miscelatore, come si osserva in figura 5. Nello specifico, l'allevamento è dotato di un sensore NIR sulla fresa di desilamento per la valutazione in-line della sostanza secca caricata e di un sensore ottico nel cassone di trincia-miscelazione per la misurazione della dimensione media delle componenti della razione. Il sensore NIR ha il compito di analizzare in tempo reale la composizione dell'unifeed e di correggere i quantitativi da caricare in modo da rispettare la composizione nutritiva della razione. Il sensore ottico, invece, consente di determinare la lunghezza di trinciatura ritenuta ottimale suggerendo all'operatore quando poter arrestare il processo di miscelazione, riducendo così l'errore umano e migliorando l'omogeneità della miscelata. La distribuzione della razione viene effettuata da carri miscelatori semoventi una volta al giorno.

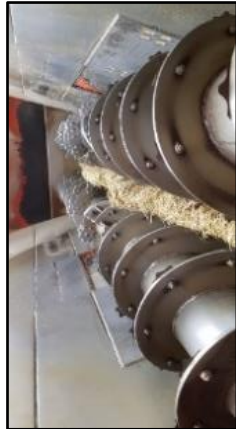


Figura 4. Foto della realtà aziendale e del sistema di razionamento nella Società Agricola Fattoria Ginestra



Figura 5. Foto della realtà aziendale e del sistema di razionamento nella Società Agricola Della Bona

Società Agricola Cervi Ciboldi Ernesto, Maria Cecilia e Maria Paola S.S.

Anche la società agricola Cervi Ciboldi è un'azienda specializzata nella produzione di latte bovino per il consumo fresco e per la trasformazione casearia. Questa realtà zootecnica (figura 6) è stata presa in considerazione per l'adozione di un livello intermedio di automazione della razione, essendo dotata di un robot per l'avvicinamento del foraggio in mangiatoia ad alimentazione elettrica. La distribuzione della razione viene effettuata con un carro miscelatore convenzionale, successivamente un robot spingi-foraggio automatizzato semovente rotante, guidato da una banda magnetica continua integrata nel pavimento, riavvicina a frequenza programmata la razione unifeed in mangiatoia. La tecnologia adottata ha permesso, a detta dell'allevatore, un miglioramento del benessere animale e della produzione giornaliera di latte, con una semplificazione del lavoro svolto in stalla da parte dell'operatore che può dedicare più tempo agli aspetti gestionali e manageriali.

Società Agricola Giovannini Galdino e Pecchini Drusilla S.S.

L'azienda Giovannini è una società specializzata nella coltivazione di mais e nell'allevamento di vacche da latte per consumo fresco e per la caseificazione. Questa realtà ha svolto il ruolo di tester per la transizione da una gestione più tradizionale dell'alimentazione verso sistemi completamente automatizzati (figura 7). La distribuzione della razione veniva effettuata in precedenza con un carro miscelatore rotativo semovente dotato di fresa di desilamento.



Figura 6. Foto della realtà aziendale e del sistema di razionamento nella Società Agricola

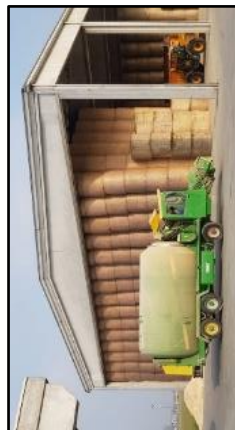


Figura 7. Foto della realtà aziendale e del sistema di razionamento nella Società Agricola Giovannini e Pecchini

Dopo la distribuzione, la razione veniva costantemente riaccostata alla corsia di foraggiamento grazie ad un robot spingi-foraggio in grado di coprire tutte le greppie. Subito dopo l'avvio del progetto l'allevamento si è dotato di un sistema di distribuzione della razione completamente automatico, caratterizzato dalla separazione tra un locale cucina con gru auto-caricante e un carro di miscelazione-distribuzione semovente in grado di effettuare un ampio numero di distribuzioni di unifeed giornaliera con un riavvicinamento continuo della razione. Tra i punti di forza dichiarati dall'allevatore, nel passaggio ad un sistema robotizzato, la riduzione del consumo energetico, la precisione nella composizione della razione e soprattutto un aumento del benessere degli animali che può essere osservato anche da un miglioramento delle caratteristiche quantitative e qualitative del latte prodotto.

Società Agricola Pieve di Nodari Gualtiero S.S.

La Società Agricola Pieve è specializzata nell'allevamento di vitelloni da carne. A differenza della Società Agricola Giovannini, l'azienda Pieve nella propria quotidianità era già in possesso di un sistema di alimentazione automatico al momento dell'avvio del progetto (figura 8). Quest'ultimo si caratterizza per un sistema di gestione della razione attraverso cui è possibile modulare la somministrazione dell'unifeed in base alla taglia e alla razza degli animali allevati. La tecnologia adottata non si discosta da quanto descritto con la Società Giovannini: anche in questo caso è presente una cucina con gru auto-caricante e due robot semoventi che si occupano della miscelazione, distribuzione e riavvicinamento della razione. L'allevatore sottolinea come l'installazione della tecnologia abbia portato dei benefici in termini di risparmio di manodopera ed energetici, inoltre è ridotta la competizione tra dominanti e recessivi proprio perché l'alimento è sempre a disposizione degli animali che si possono nutrire regolarmente senza abbuffarsi.



Figura 8. Immagini della realtà aziendale e del sistema di razionamento nella Società Agricola Pieve

Le visite condotte nel corso del progetto di ricerca hanno permesso inoltre di raccogliere utili informazioni e di ottenere dai titolari delle aziende le loro opinioni in merito alle caratteristiche e ai benefici raggiungibili con l'introduzione in azienda dei sistemi automatici di alimentazione. Ciò è stato reso possibile somministrando agli allevatori un questionario, realizzato mediante la piattaforma di Microsoft Forms®, con domande rivolte ad aziende in possesso di sistema AFS, così come ad aziende che non possiedono tale tecnologia. L'indagine svolta in presenza, mediante interviste telefoniche dirette, o compilata online (attraverso il sito AUTOFEED oppure tramite i canali Facebook e LinkedIn® del progetto dove è stata divulgata) si componeva di tre distinte parti:

- una parte introduttiva in cui si ponevano domande sulle caratteristiche dell'azienda agricola, sulla tipologia produttiva e sul livello di automazione dell'allevamento;
- una sezione rivolta ad allevatori in possesso di sistema AFS in cui sono state indagate le caratteristiche tecniche della tecnologia installata, i costi, le motivazioni che hanno portato ad investire

nell'automazione, la modalità di razionamento precedente con un confronto in termini di risparmio energetico e di manodopera, i punti di forza e di debolezza del sistema;

- una sezione rivolta ad allevatori privi di sistema AFS in cui si indaga l'interesse all'acquisto della tecnologia e la spesa che sarebbero disposti a sostenere per l'acquisto dei robot ad alimentazione automatica.

Da questo lavoro sono state ottenute complessivamente 114 risposte, di cui 105 da allevamenti presenti in Italia, le restanti 9 da aziende localizzate in Canada, Stati Uniti, Croazia, Finlandia, Francia, Germania, Paesi Bassi e Regno Unito, superando ampiamente l'obiettivo prefissato nella proposta progettuale.

Un inconveniente riscontrato nell'esecuzione del questionario, specialmente quando effettuato per via telefonica, è sicuramente rappresentato dalle tempistiche richieste per completare l'intero sondaggio che in media si sono aggirate dai 5 ai 10 minuti. La debolezza metodologica di questo approccio, nonostante l'utilizzo di molte domande con risposte a scelta multipla, ha portato ad un'adesione sottostimata rispetto al più ampio numero di aziende in possesso di tecnologia AFS (circa il 30% degli allevamenti con automazione della razione unifeed presenti in Italia hanno risposto al sondaggio).

Risultati

L'indagine campionaria svolta presso gli allevatori bovini ha raccolto l'adesione di 33 allevamenti italiani e 3 aziende di paesi esteri possessori della tecnologia AFS, il restante 68% delle risposte al questionario è stato invece ottenuto da impianti produttivi privi di un sistema automatico di alimentazione. Questo studio conoscitivo ha coinvolto sia allevamenti da latte che da carne, evidenziando un riscontro prevalente da parte di aziende di bovini da latte con una consistenza medio-piccola dei capi allevati (<500). Un interessante risultato emerso dall'elaborazione delle risposte ottenute è

rappresentato dalla maggior ricettività, da parte delle aziende produttive con robot di alimentazione, nei confronti di altre tecnologie afferenti alla zootecnia di precisione, come i robot di mungitura e gli auto-alimentatori, soluzioni in grado di fornire un supporto all'allevatore, sia a livello fisico, ma soprattutto a livello decisionale.

Il questionario condotto testimonia una maggiore diffusione di soluzioni commerciali ascrivibili al secondo livello di automazione dei sistemi AFS, dove la meccanizzazione interessa le operazioni di riempimento del carro, così come la trincia-miscelazione e la somministrazione della razione unifeed. A seconda delle caratteristiche edilizie della stalla e della geografia del territorio, emerge una netta prevalenza di modelli installati di tipo semovente (79%), seguiti dai carrelli di distribuzione guidati (15%) e dai robot sospesi su rotaia (6%). Al contrario, allevamenti più piccoli con un minor numero di capi serviti da AFS hanno optato principalmente per soluzioni afferenti al primo livello di meccanizzazione, dove il riempimento del carrello di distribuzione viene svolto manualmente da un operatore. In questo caso, la totalità degli allevatori intervistati ha implementato in stalla soluzioni tecnologiche sospese su rotaia.

L'inserimento in stalla dei sistemi automatici di alimentazione ha richiesto nel 67% dei casi interventi di edilizia zootecnica che prevedessero la costruzione di una nuova stalla, la costruzione o ristrutturazione di un locale da adibire a cucina, o ancora la cementificazione degli spazi di passaggio del robot. Rispetto alla modalità distributiva della razione precedente all'installazione del sistema AFS gli allevatori hanno dichiarato, nella maggior parte dei casi, di aver adottato un carro miscelatore per la distribuzione dell'unifeed, minore è invece la percentuale di aziende in cui era prevista la distribuzione manuale, o mediante uso di macchine, dei singoli ingredienti agli animali (figura 9).

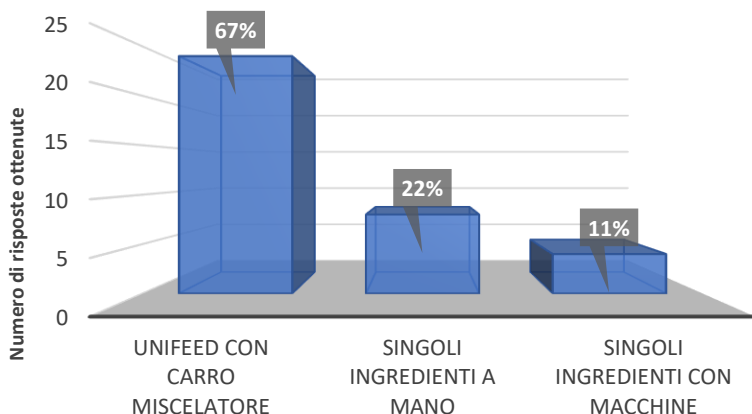


Figura 9. Modalità di distribuzione della razione prima dell'installazione di un sistema automatico di alimentazione

Il passaggio dalla distribuzione manuale o parzialmente meccanizzata all'alimentazione automatica ha permesso, secondo gli intervistati, di ridurre il tempo totale dedicato alla preparazione e somministrazione della razione, che in media, prima dell'installazione dell'AFS si aggirava sulle 4 ore. Questo ha determinato un netto risparmio in termini di manodopera che, per la totalità degli intervistati è risultato essere maggiore del 40% (figura 10), a fronte però di una trasformazione del lavoro svolto dall'operatore verso incarichi di natura manageriale e di supervisione della stalla.

Altra ricaduta positiva, secondo gli allevatori, è rappresentata da un risparmio in termini energetici, nel 42% dei casi dichiarato maggiore del 60%, tale da rendere le aziende agricole maggiormente competitive sul mercato, ma soprattutto, in grado di ridurre l'impatto ambientale dell'allevamento (figura 11).

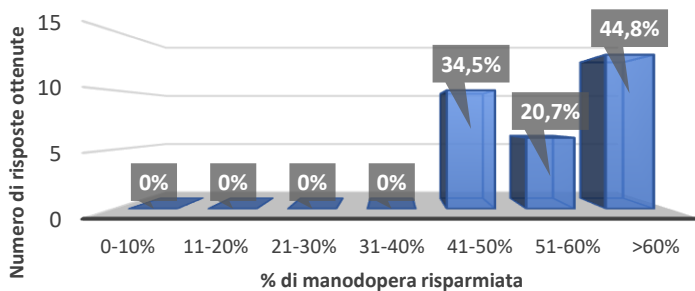


Figura 10. Risparmio percentuale di manodopera rispetto al precedente sistema di alimentazione adottato secondo gli allevatori intervistati

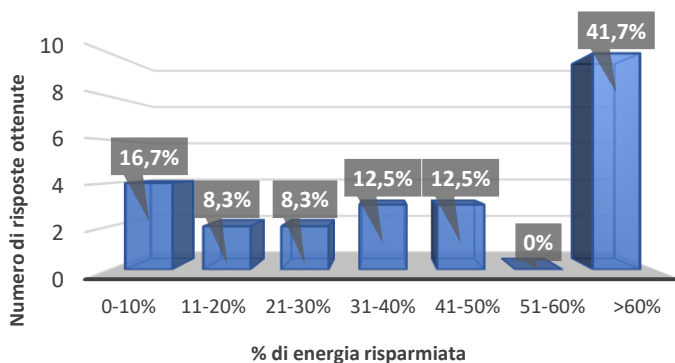


Figura 11. Risparmio energetico rispetto al precedente sistema di alimentazione adottato secondo gli allevatori intervistati

La frequenza di somministrazione della razione unifeed, con l'introduzione di un sistema automatizzato, ha subito un netto incremento passando da una media di 2 alle 10 distribuzioni giornaliere, con orari di passaggio del robot ben distribuiti nell'arco della giornata (compreso durante le ore notturne in alcuni casi). In modo analogo, è cresciuta anche l'attività di spingimento del

foraggio in mangiatoia, da una media di 5 ai 13 passaggi giornalieri. Come diretta conseguenza, l'allevatore ha potuto riscontrare un significativo aumento della quantità di razione ingerita dall'animale, in media di +2,50 kg/giorno, e soprattutto importanti benefici in termini di produzione di latte, con un incremento di resa stimato dagli intervistati di +2,94 kg/giorno.

L'automazione dell'alimentazione apre inoltre prospettive inedite nel miglioramento del benessere degli animali allevati assicurando una gestione più sostenibile degli allevamenti. Questo quanto emerge dalle risposte al questionario date dagli allevatori, in cui si segnala, dopo l'introduzione dell'AFS, un comportamento molto simile dei bovini a quello che avrebbero in natura. Gli animali riducono la competizione per il cibo, diminuiscono i residui di unifeed in mangiatoia e con esso la possibilità di contaminazioni o di fermentazioni anomale, aumenta inoltre l'attività di riposo oltre che il numero di visite alla zona di mungitura (figura 12).

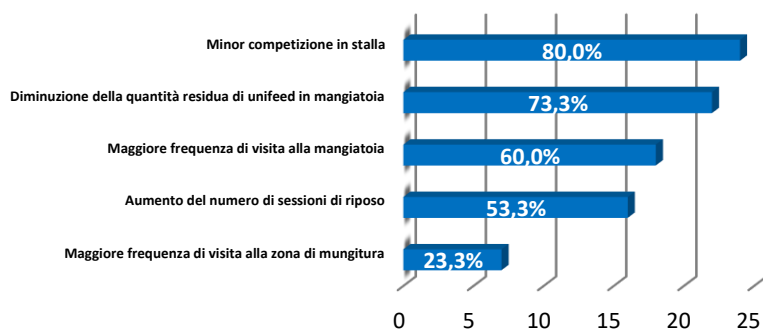


Figura 12. Comportamento animale dopo l'installazione del sistema automatico di alimentazione secondo gli allevatori intervistati

Tra le motivazioni più importanti che hanno spinto le aziende ad investire nei sistemi automatici di alimentazione hanno ottenuto voti più alti le voci relative al miglioramento del benessere animale, la maggiore accuratezza dell'alimentazione, grazie ad una riduzione

dell'incidenza dell'errore umano e l'aumentata flessibilità dell'orario di lavoro nell'arco della giornata come osservabile in tabella 1.

Agli allevatori è stato inoltre richiesto di giudicare alcuni aspetti caratteristici della tecnologia adottata, ai fini di comprendere il livello di soddisfazione generale dopo l'acquisto del sistema. Complessivamente, i punteggi ottenuti per le voci analizzate sono risultati essere tutti molto alti e superiori a 4, con l'unica eccezione rappresentata dai costi totali sostenuti per l'acquisto del sistema che ha ottenuto un punteggio medio di 3,56 (tabella 2).

Tabella 1. Motivazioni che hanno guidato l'installazione di un sistema automatico di alimentazione secondo gli allevatori intervistati con un voto da 1 a 5 (1: totale disaccordo; 2: disaccordo; 3: neutrale; 4: d'accordo; 5: totale accordo).

Motivazioni per l'installazione di un AFS	Punteggio
Maggior benessere animale	4,59
Maggiore accuratezza dell'alimentazione	4,59
Flessibilità dell'orario di lavoro	4,53
Risparmio di tempo per la preparazione della razione	4,34
Aumento delle prestazioni degli animali	4,19
Costi energetici	4,06
Riduzione della manodopera	3,97
Possibilità di avere più gruppi di alimentazione	3,84
Edilizia aziendale	2,94

Tabella 2. Valutazione di alcuni aspetti caratteristici del sistema automatico di alimentazione installato secondo gli allevatori intervistati con un voto da 1 a 5 (1: totale disaccordo; 2: disaccordo; 3: neutrale; 4: d'accordo; 5: totale accordo).

Valutazione dell'AFS installato	Punteggio
Flessibilità dell'orario di lavoro	4,88
Benessere animale	4,66
Igiene e qualità della razione	4,63
Soddisfazione generale	4,56
Affidabilità del sistema	4,34
Facilità d'uso	4,09

La sezione del questionario rivolta agli allevatori privi di sistema AFS evidenzia come il 32% degli intervistati sia interessato ad investire nell'installazione del sistema, con un'indicativa propensione di spesa compresa nel 75% delle interviste tra 500 e 1500€ per capo (figura 13).

Gli allevatori mostrano piena soddisfazione nei confronti dell'automazione dell'alimentazione e dichiarano nel 94% dei casi la loro propensione a ripetere la stessa scelta, nel restante 6% a valutare altre soluzioni automatiche. Nella maggior parte delle risposte, infatti, non si segnalano problematiche specifiche nell'utilizzo del robot, se non nel periodo iniziale di avvicinamento alla tecnologia.

Tra i vantaggi che potrebbero derivare dall'adozione di un sistema di automazione del razionamento unifeed, per questa categoria di allevatori, risaltano le voci "miglioramento del benessere animale" e "migliore qualità della razione" che hanno ottenuto i punteggi più alti, a dimostrazione di una maggiore consapevolezza del ruolo dell'automazione nel comparto produttivo della zootecnia bovina (tabella 3).

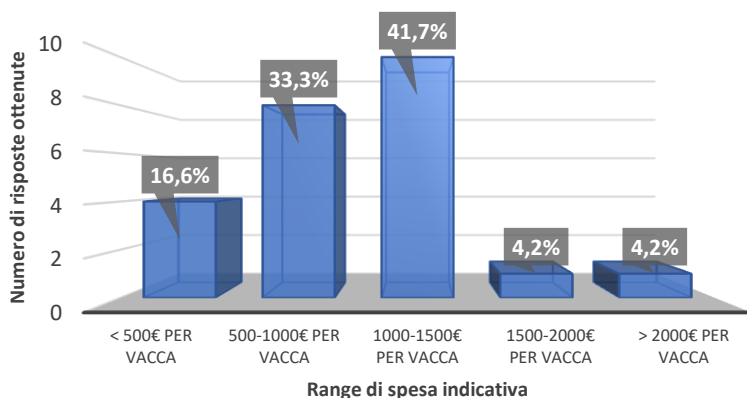


Figura 13. Propensione indicativa di spesa per l'acquisto di un sistema automatico di alimentazione secondo gli allevatori intervistati privi di tecnologia AFS

Tabella 3. Valutazione dei possibili vantaggi derivanti dall'installazione di un sistema automatico di alimentazione secondo gli allevatori intervistati privi di tecnologia AFS con un voto da 1 a 5 (1: totale disaccordo; 2: disaccordo; 3: neutrale; 4: d'accordo; 5: totale accordo).

Possibili vantaggi derivanti dall'installazione di un AFS	Punteggio
Miglioramento del benessere animale	4,42
Migliore qualità della razione	4,29
Maggiore ingestione della razione	4,15
Minore competizione tra gli animali in stalla	4,08
Maggiore produzione di latte	4,04
Riduzione dei residui in mangiatoia	3,67

Conclusioni

La partecipazione attiva delle realtà aziendali alle attività di ricerca previste nell'ambito del progetto Autofeed ha fornito un quadro d'insieme delle ricadute economiche, sociali, ambientali e produttive legate all'introduzione in stalla di moderne tecnologie automatiche afferenti alla zootecnia di precisione. L'automazione dell'alimentazione negli allevamenti bovini apporta infatti diversi vantaggi che possono così essere riassunti:

- nella progettazione edilizia della stalla i robot di alimentazione richiedono meno spazio rispetto ad un carro miscelatore convenzionale, è perciò possibile risparmiare nella larghezza della corsia di foraggiamento e nella lunghezza del fronte di mangiatoia, così da poter ampliare la zona di riposo degli animali;
- a livello gestionale questi sistemi determinano una riduzione del fabbisogno di manodopera, con un consolidamento del lavoro gestionale e di supervisione della stalla. Gli oneri del lavoro fisico diminuiscono a fronte di un aumento del lavoro mentale;
- le tecnologie di automazione alle operazioni di razionamento e gestione della razione migliorano il benessere dell'animale allevato riducendo la conflittualità in mangiatoia. Inoltre, una modalità distributiva a più alta frequenza riduce lo stress da attesa nei bovini, che possono dedicare più tempo all'attività di riposo e alla visita della zona di mungitura;
- un dosaggio più preciso dei componenti della razione, ottenuto attraverso l'uso di sensoristica di supporto alla preparazione dell'unifeed, assicura un incremento della quantità di sostanza secca ingerita dall'animale con conseguente ottimizzazione dell'efficienza produttiva;
- sotto l'aspetto energetico, rispetto alla modalità di alimentazione convenzionale, l'adozione di un robot di

alimentazione permette di ridurre significativamente i consumi, così come l'impatto ambientale dell'allevamento.

Pertanto, il progetto ha voluto fornire il proprio contributo per colmare l'ancora poca consapevolezza del ruolo dell'automazione dell'alimentazione, una barriera che ha limitato fortemente, ad oggi, la diffusione di questa tecnologia nel panorama zootecnico italiano. Il trasferimento di conoscenze emerse dall'attività di ricerca è stato reso possibile proprio a partire dagli allevatori coinvolti nel partenariato Autofeed, i diretti interessati, ossia i destinatari finali delle tecnologie descritte, che hanno potuto raccontare la loro esperienza sui robot di alimentazione, innovazione di oggi destinata ad affermarsi sempre più nel futuro, nell'ottica di una maggiore sostenibilità della filiera produttiva bovina.

Le Prospettive

Carlo Bisaglia

CREA - Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Sede di Treviso

Secondo un recente studio del McKinsey Institute⁵⁶, l'agricoltura risulterebbe essere uno dei cinque ambiti lavorativi più automatizzabili. La ragione del fatto è dovuta alla percentuale elevata (mediamente >50%) di tempo lavorativo speso in attività fisiche ripetitive eseguite in contesti stabili e dove il livello decisionale è molto ridotto.

Questo, insieme alla recentissima difficoltà a reperire manodopera qualificata - acuitasi con la pandemia da Covid-19 - rende estremamente interessante e forse inevitabile l'automazione e la robotizzazione, anche parziale, di molte operazioni agricole.

Ovviamente, operando in un contesto in cui le variabili ambientali sono numerose, non tutte le operazioni che si vorrebbe automatizzare sono tecnicamente e tecnologicamente di facile automazione, almeno allo stato attuale delle conoscenze. Un recente studio di Lenain et al. (2021)⁵⁷, ad esempio, ha classificato i sistemi automatici già presenti in agricoltura a seconda del loro livello di sviluppo industriale andando dai prototipi puri per la raccolta di frutta e ortaggi - dove i problemi tecnologici riguardano, a solo titolo di esempio, il riconoscimento del grado di maturazione dei frutti, la profondità di campo dei sistemi di visione artificiale che devono operare entro il volume delle piante, la manipolazione dei prodotti, la capacità di lavoro, ecc. - ai sistemi di diserbo fisico -

⁵⁶ McKinsey Global Institute. A future that works: automation, employment, and productivity. McKinsey&Company, 2017

⁵⁷ Lenain R., Peyrache J., Savary A., Séverac G. Agricultural robotics: part of the new deal? FIRA 2020 conclusions. With 27 agricultural robot information sheets. Éditions Quæ, 2021

dove i problemi tecnologici riguardano, ad esempio, il riconoscimento delle infestanti rispetto alla coltura nelle diverse fasi fenologiche, il trattamento sulla fila oltre che nell'interfila, la tempestività d'intervento, ecc. - fino ad arrivare ai sistemi ormai maturi e già diffusi sul mercato come i robot di mungitura e i robot per la distribuzione dell'unifeed e per il riavvicinamento della razione, questi ultimi due oggetto delle presenti linee guida.

Limitando, quindi, l'analisi delle prospettive al solo comparto zootecnico, un ulteriore elemento strategico che propenderà a favore dei sistemi automatici riguarda la possibilità di ottenere informazioni e dati che verranno forniti proprio dai robot e dai sensori "indossati" dagli animali. Già oggi, infatti, si tratta di più di venti parametri (ambientali, fisiologici, produttivi) acquisibili dai sistemi robotizzati in un allevamento bovino che consentono all'allevatore di "vedere" i propri animali con una precisione mai avuta prima e, soprattutto, con la possibilità di prevedere alcune criticità ed essere proattivo nei confronti delle problematiche sempre presenti in un contesto complesso.

Tuttavia, con l'automazione e la robotizzazione in allevamento, possiamo andare anche ben oltre gli aspetti prettamente tecnici.

Una delle prospettive da valutare è sicuramente quella del passaggio di consegne alle nuove generazioni di allevatori e allevatrici alle quali l'automazione, grazie alla loro maggior propensione verso le tecnologie digitali, offrirà una valida alternativa e forse ridurrà l'abbandono delle attività soprattutto nei contesti territoriali più difficili.

Quest'ultimo è un ulteriore aspetto da considerare in prospettiva: la tutela del territorio che, soprattutto in ambiente montano e con un numero limitato di capi, potrebbe rinascere proprio grazie all'automazione delle operazioni più ripetitive e in pieno accordo con la Dichiarazione di Dublino^{6,7} sul ruolo sociale degli allevamenti.

Proprio la maggior considerazione delle giovani generazioni nei confronti delle tecnologie digitali potrebbe creare quella "connessione" tra campi e stalla che potrebbe ulteriormente migliorare l'uso delle risorse mitigando, ad esempio, la variabilità e le perdite nel contenuto di elementi nutritivi dei foraggi.

Sull'uso delle risorse e sulla sostenibilità ambientale è emerso anche nel corso del progetto AutoFeed come l'uso di energia elettrica, soprattutto se autoprodotta, consentirà una maggior efficienza delle motorizzazioni con riduzioni nelle richieste energetiche a parità di quantitativi di razione preparata e movimentata.

Anche i costi degli investimenti per l'automazione e le preoccupazioni sulla volatilità dei prezzi dei prodotti di origine animale potrebbero essere ridimensionati pensando che le tecnologie cosiddette 4.0 sono ampiamente sostenute dal punto di vista finanziario da parte dei soggetti pubblici (UE, Stato, Regioni, ecc.) offrendo pertanto un'opzione concreta.

Infine, l'aspetto forse più importante per le finalità del progetto AutoFeed riguarda il benessere degli animali e le relative aspettative dei nuovi consumatori. Non è vero che la tecnologia è incompatibile con il benessere animale, anzi nel corso del progetto sono emersi numerosi fattori a sostegno di questo importante aspetto: innanzitutto il maggior tempo a disposizione dell'allevatore per potersi dedicare alle questioni gestionali tra cui la sorveglianza degli animali; inoltre, il comportamento e la competizione tra gli animali stessi per la mangiatoia è risultata minore ricevendo una quota della razione con maggior frequenza; infine, i dati messi a disposizione dai robot consentono di prevedere eventuali criticità (ad esempio maggiore o minore consumo di alimento, variazioni stagionali, ecc.) e agire proattivamente.

In definitiva, l'opzione verso sistemi automatici o parzialmente automatici (come, ad esempio, gli spingi-foraggio) diventerà sempre più concreta per un numero crescente di allevamenti anche in contesti molto variabili (dimensioni, specie allevata, produzione, ecc.) a patto che sia integrata in modalità di gestione sempre più avanzate ed evolute da parte degli operatori.

Le presenti linee guida, in definitiva, vorrebbero dare un contributo proprio in questa direzione.

Gruppo Operativo



Iniziativa realizzata nell'ambito del Gruppo Operativo AUTOFEED,
cofinanziato dal FEASR

Operazione 16.1.01 “Gruppi Operativi PEI” del Programma di
Sviluppo Rurale 2014 – 2020 della Regione Lombardia.

Capofila del partenariato è il CREA, Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, realizzato con la collaborazione di Fondazione CRPA Studi Ricerche – ETS, Soc. Agr. Cervi Ciboldi Ernesto, Maria Cecilia e Maria Paola s.s.; Soc. Agr. Società Agricola Della Bona Faustino s.s.; Soc. Agr. Fattoria Ginestra di Bettoni Adonis e Angelo s.s.; Soc. Agr. Giovannini Galdino e Pecchini Drusilla; Soc. Agr. Pieve di Nodari Gualtiero e C. s.s.

Autorità di gestione del Programma: Regione Lombardia



PSR LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERADICI
2014 2020



**Regione
Lombardia**

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

ISBN: 978-88-33852-41-6