

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.

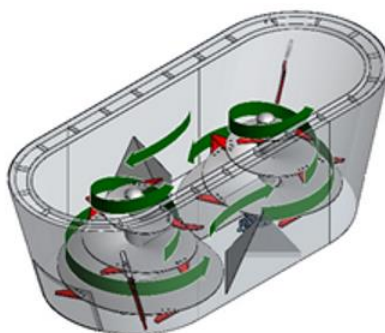


Figura 3. Esempio di flusso di miscelazione con 2 coclee verticali. La rotazione delle coclee determina sia il sollevamento verticale del materiale, creando un ciclo di miscelazione "sopra-sotto", sia lo spostamento dello stesso tra la parte anteriore e posteriore del miscelatore (Fonte: <https://sgariboldi.it>).

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>).

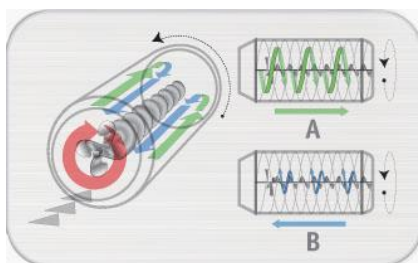


Figura 5. Flusso di miscelazione in un sistema a botte rotante: (A) le spirali poste sulla parete interna della botte in rotazione spingono il prodotto verso la parte posteriore della botte; (B) la coclea centrale, ruotando in senso contrario alla botte, riporta il prodotto verso la parte anteriore della 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.

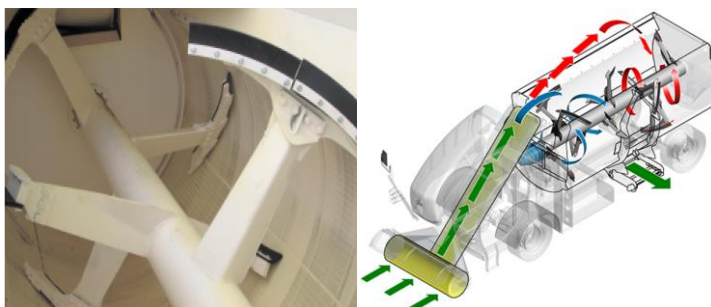


Figura 6. A sinistra: particolare di un sistema di miscelazione a pale. A destra: flussi di miscelazione in un carro trinciamicelatore semovente a pale. In alcuni modelli, la possibilità di variare la velocità di rotazione del tappeto di carico consente di distribuire uniformemente gli ingredienti lungo 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.

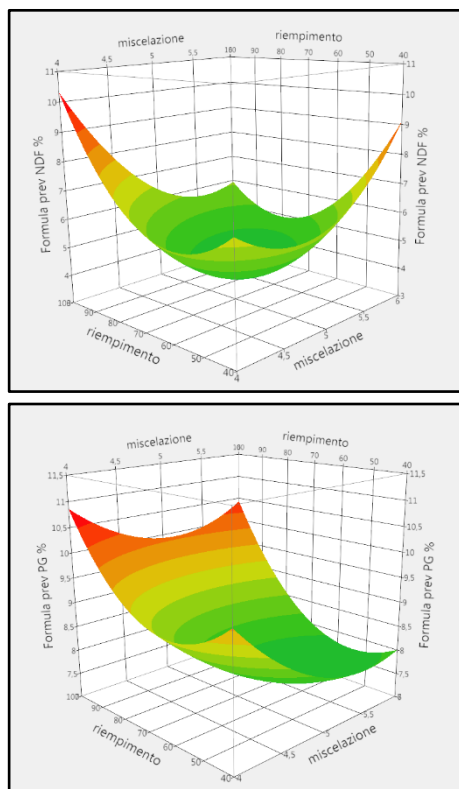


Figura 7. Superfici di risposta del CV (%) di PG (in alto) e NDF (in basso) in funzione del livello di riempimento del cassone del carro trinciamiscelatore.

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).

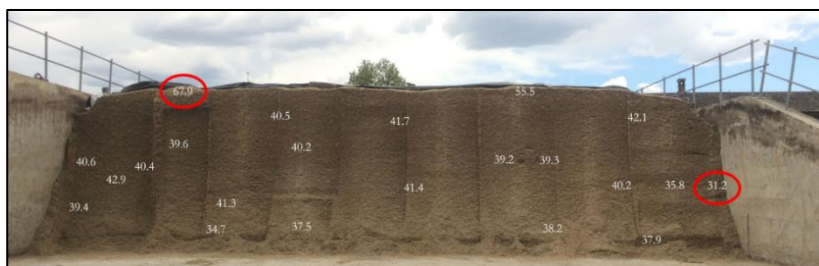


Figura 9. Variazioni di umidità (valori percentuali) riscontrabili sul fronte di una trincea di silomais (Immagine dell'autore).

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.

