

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip. TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**VALUTAZIONE DEI RISCHI CONNESSI ALL'IMPIEGO DI
CARRI MISCELATORI A GUIDA AUTONOMA**

RELATORE:

Dott. Francesco Marinello

LAUREANDO:

Samuele Lovisotto

Matricola n. 2003753

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

RIASSUNTO

Il settore zootecnico guarda sempre più all'automazione ed al controllo computerizzato delle operazioni nel tentativo di aumentare la produttività e l'economicità della produzione. Esse dipendono largamente dalla scelta del sistema di alimentazione del bestiame adottata. Il razionamento unifeed (alimento unico), introdotto negli allevamenti bovini a partire dagli anni '60 a seguito della diffusione dei primi carri miscelatori, si è dimostrato il metodo migliore di alimentazione dei ruminanti, essendo più vicino alla loro fisiologia. Il recente sviluppo di sistemi automatici per la preparazione e distribuzione di razioni unifeed o razione totalmente miscelata (TMR, total mixed ration) potrebbe rivoluzionare le modalità operative, affidando a dispositivi automatici parte dei compiti di preparazione e distribuzione della razione, limitando la necessità dell'intervento umano e suoi eventuali errori.

Il presente lavoro ha valutato i possibili rischi operativi connessi all'impiego di carri miscelatori a guida autonoma confrontandoli con quelli di carri miscelatori convenzionali. È stata creata una descrizione dei modelli di carri miscelatori autonomi (autonomous mixer wagon, AMW) presenti nel mercato. I risultati di questo lavoro hanno evidenziato che i rischi operativi sono molteplici, perciò devono essere sviluppati e integrati adeguati sistemi di sicurezza in grado di evitare o prevenire l'incidente.

ABSTRACT

The livestock sector is increasingly looking to automation and computerised control of operations in an attempt to increase productivity and cost-effectiveness of production. These depend largely on the choice of livestock feeding system adopted. Unifeed rationing (single feed), introduced on cattle farms since the 1960s following the spread of the first mixer wagons, has proved to be the best method of feeding ruminants, being closer to their physiology. The recent development of automatic systems for the preparation and distribution of unifeed rations or total mixed rations (TMR) could revolutionise operations, assigning part of the ration preparation and distribution tasks to automatic devices, limiting the necessity of human intervention and possible errors.

This work assessed the possible operational risks associated with the use of self-driving mixer wagons by comparing them with those of conventional mixer wagons. A description of autonomous mixer wagon (AMW) models on the market was created. The Results of this work showed that the operational risks are manifold, therefore appropriate safety systems must be developed and integrated to avoid or prevent accidents.

SOMMARIO

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	2
SOMMARIO	3
Capitolo 1	5
INTRODUZIONE	5
1.1 Introduzione	5
1.2 Il presente lavoro.....	6
Capitolo 2	7
LA GESTIONE DEGLI ALIMENTI IN STALLA	7
2.1 Importanza della meccanizzazione nell'alimentazione.....	7
2.2 Il razionamento unifeed	8
2.3 I carri miscelatori.....	9
2.4 Le diverse tipologie di carri miscelatori.....	13
2.5 Carri miscelatori a guida autonoma	16
Capitolo 3	21
CASO STUDIO.....	21
3.1 Analisi dei rischi ed altri elementi di attenzione sui carri miscelatori.....	21
3.1.1 Fase di carico dei prodotti.....	22
3.1.2 Fase di miscelazione e/o di trinciatura dei prodotti	22
3.1.3 Fase di scarico della miscela.....	23
3.1.4 Operazioni svolte da operatori	24
3.2 Modelli di carri miscelatori autonomi sul mercato	31
3.2.1 Dimensioni e capacità di carico.....	32
3.2.2 Operazioni svolte.....	34
3.2.3 Potenza richiesta per il funzionamento	34
3.3 Rischi legati ai veicoli elettrici	35
Capitolo 4	37
CONCLUSIONI	37
BIBLIOGRAFIA	39
Documenti e articoli scientifici consultati	39
Siti web consultati	40

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1.1 Introduzione

L'agricoltura è uno dei cinque ambiti lavorativi più automatizzabili (McKinsey Institute, 2017). 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. L'introduzione della tecnica "unifeed", nota anche con l'acronimo di TMR, ovvero Total Mixed Ration, è 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. Essa ha rappresentato una tappa molto importante nella gestione organizzativa e alimentare degli allevamenti soprattutto bovini. Le prime notizie sulla somministrazione di razioni "complete" a vacche da latte risalgono agli anni '50 del secolo scorso (Harshbarger, 1952). Si tratta di una tecnica radicata nel tempo alla cui diffusione hanno contribuito fattori concomitanti tra cui, nei primi anni '60, lo sviluppo dei primi carri miscelatori, un uso maggiore di concentrati e sottoprodotti agroindustriali nell'alimentazione zootecnica e l'aumento della dimensione media delle mandrie. Basti pensare che nel 2014 negli Stati Uniti d'America, quasi il 90% delle mandrie di grandi dimensioni (>500 vacche) era alimentato con razioni unifeed (USDA National Animal Health Monitoring System, 2014). Tale operatività è possibile grazie alla disponibilità di carri miscelatori (in inglese feed-mixer wagon), utilizzati nell'allevamento per miscelare e preparare il TMR. Sono comunemente costituiti da un contenitore, solitamente un cassone, da un sistema di miscelazione e da un sistema di distribuzione del prodotto; generalmente sono provvisti di un sistema di desilazione per il carico dei prodotti da miscelare. Sono molto diversificati nella progettazione, a partire dalla grandezza del cassone, dal tipo di coclee (verticali o orizzontali), dal numero di coltelli, dalla presenza di dispositivi come desilatori e mulini di taglio dei foraggi. Il carro miscelatore consente di caricare gli ingredienti nella giusta proporzione grazie alla presenza di un sistema di pesatura interposto tra il telaio ed il cassone. Questo assicura che tutto l'alimento somministrato agli animali contenga gli elementi nutritivi nelle proporzioni desiderate e

che essi siano distribuiti in modo omogeneo in tutto il volume del TMR. L'uso di carri miscelatori permette di risparmiare tempo ed energia nella preparazione dell'alimento e assicura una maggiore precisione nella dieta, difficilmente raggiungibile con il razionamento manuale o con quello singolo per ogni alimento, come avveniva in passato. Come ogni macchina operatrice, anche i carri miscelatori non sono esenti di rischi e pericoli connessi al loro uso, in quanto dotati di dispositivi che possono, e in molti casi hanno, causato infortuni o incidenti anche mortali. In questo contesto la predisposizione di linee guida di sicurezza per i carri miscelatori (ISPESL, 2009) e l'introduzione di nuove potenziali e, in larga parte, ignote problematiche legate alla recente introduzione di sistemi autonomi per l'alimentazione (AFS, Automatic Feeding System), non può trascurare gli aspetti legati alla progettazione e utilizzo in sicurezza di queste macchine. Alla fine di questo lavoro è stato fatto un elenco con breve descrizione delle attuali proposte di mercato di AFS e di sistemi in fase di sperimentazione.

1.2 Il presente lavoro

Il presente lavoro di tesi si è posto come obiettivo quello di valutare i rischi connessi all'impiego di carri miscelatori a guida autonoma e la creazione di una raccolta dei alcuni dei modelli presenti attualmente nel mercato globale. La raccolta dei dati è stata effettuata attraverso ricerche su internet di articoli scientifici; riviste e forum di meccanica agraria; video-interviste su internet e siti web dei costruttori. Le ricerche riguardo le normative per questo lavoro sono state eseguite paragonando gli AFS a carri miscelatori semoventi con operatore, non essendoci ancora linee guida specifiche per quelli autonomi.

LA GESTIONE DEGLI ALIMENTI IN STALLA

2.1 Importanza della meccanizzazione nell'alimentazione

Nel contesto globale dell'agricoltura, l'alimentazione del bestiame rappresenta un elemento chiave per garantire una produzione che soddisfi le richieste di mercato con prodotti zootecnici di alta qualità. La corretta gestione dell'alimentazione è essenziale non solo per il benessere e la salute degli animali, ma anche per ottimizzare la produzione stessa, ridurre i costi e mitigare l'impatto ambientale del settore, aspetto fondamentale dell'agricoltura moderna. Negli ultimi decenni, la meccanizzazione ha rivoluzionato profondamente ogni settore produttivo, tra i quali l'allevamento del bestiame. La meccanizzazione nell'alimentazione zootecnica riguarda l'impiego di macchinari, attrezzature e, sempre più spesso, di sistemi automatizzati allo scopo di migliorare l'efficienza produttiva e ridurre l'impegno di tempo richiesto, che può essere così investito in altre mansioni. Così non solo si migliora l'efficienza e la precisione, ma si contribuisce anche a promuovere il benessere animale e ridurre gli sprechi, obiettivi ribaditi anche nel Piano strategico della PAC nel periodo 2023-2027. L'automazione in zootecnia rappresenta perciò una delle più innovative e promettenti frontiere nell'ambito dell'allevamento.

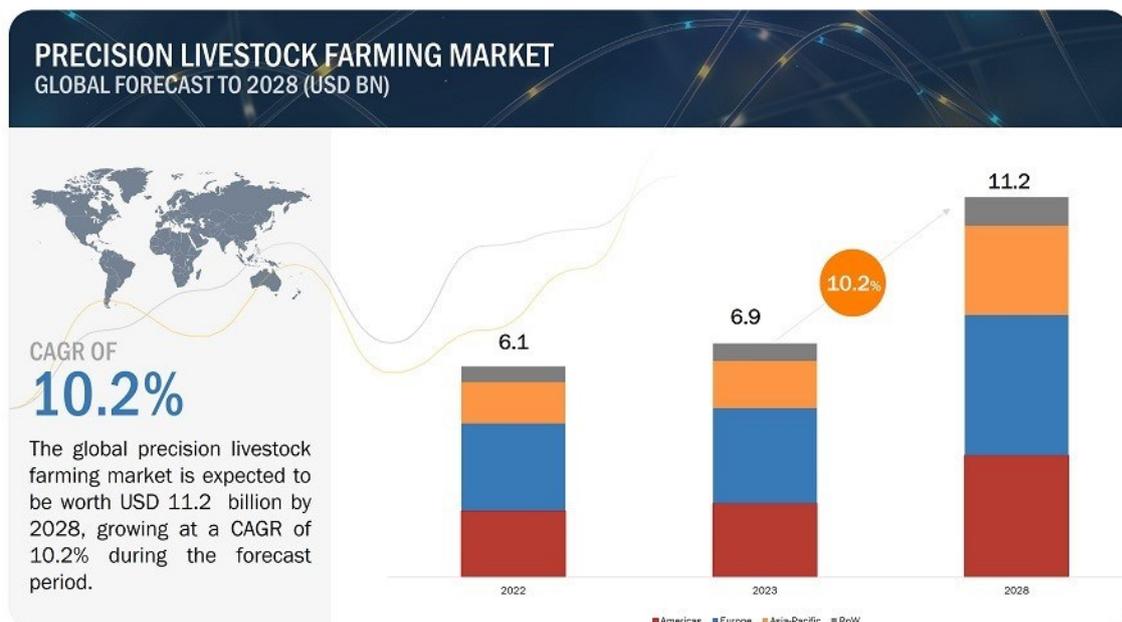


Figura 2.1: Previsione globale dell'andamento di mercato delle tecnologie di precisione per l'allevamento (fonte: www.marketsandmarkets.com)

2.2 Il razionamento unifeed

La tecnica di alimentazione unifeed è diventata, negli ultimi decenni, una delle modalità di alimentazione di riferimento (Linn, 1995; Barmore, 2002). Questa modalità di razionamento, che trae il nome dal termine “unique feed” (alimento unico) o TMR (Total Mixed Ration, razione totalmente miscelata), si basa sulla meccanizzazione totale di tutto il processo di prelievo, preparazione, miscelazione e distribuzione della razione per mezzo di tramogge mobili, trainate o semoventi, dotate di sistemi di miscelazione di vario tipo. Una o più volte al giorno, la miscela risultante viene distribuita in mangiatoia cosicché ogni animale ne abbia accesso. La miscelazione è dunque fondamentale e da eseguire correttamente al fine di evitare la selezione dei componenti del TMR da parte degli animali, fornendo un apporto energetico e proteico bilanciato. Questa modalità di razionamento è strettamente dipendente dalla disponibilità di un discreto livello di meccanizzazione aziendale, di cui il carro miscelatore (fisso, trainato o semovente) costituisce l’attrezzatura principale e indispensabile. Questo è il fattore principale che ha portato alla diffusione di questa tecnica solo dalla metà degli anni ’60 (McCullough, 1994). La possibilità di operare con diversi foraggi e diverse quantità relative degli stessi, ha portato a sviluppare negli anni diversi metodi di preparazione, senza tuttavia modificare il piano alimentare di base. Il sistema comunemente adottato negli allevamenti soprattutto bovini, si basa sulla presenza di un operatore che, ad orari prestabiliti, esegue le operazioni di preparazione e di distribuzione della miscela in mangiatoia. La manodopera, pertanto, svolge un ruolo importante anche nell’applicazione di una tecnica ad elevato livello di meccanizzazione come l’unifeed. L’utilizzo del tempo per le operazioni in stalla è rigidamente determinato dagli orari delle lavorazioni indifferibili quali la mungitura, l’alimentazione, la pulizia e la cura degli animali; tra le attività quotidiane è stato stimato che il 25% del tempo trascorso in allevamento sia dedicato alle operazioni correlate con l’alimentazione (Belt, 1983; Bisaglia, 2004). In tale contesto, la recente introduzione di sistemi automatici per la preparazione e distribuzione di razioni unifeed, potrebbe rivoluzionare tali modalità operative sfruttando tutti i vantaggi nutrizionali derivanti dal fornire alla mandria l’unifeed, ma affidando a dispositivi automatici buona parte dei compiti di preparazione e distribuzione della razione, evitando la rigidità dell’intervento umano, ed i possibili errori, potendone impostare frequenza e orari di intervento.

2.3 I carri miscelatori

Nel suo schema più generale, il carro miscelatore o, più propriamente, trincia-miscelatore è costituito da un telaio, su cui poggia il cassone per mezzo dell'interposizione di celle di carico per la pesatura degli ingredienti (Figura 2.2), e dal sistema di trincia-miscelazione caratterizzato da una o più coclee orizzontali o verticali provviste di organi di taglio, chiamati coltelli. Si tratta di macchine operatrici che possono essere stazionarie, trainate oppure con propulsione autonoma, dette semoventi. Solitamente, in quelle trainate e in quelle semovente è presente una fresa desilatrice per il carico dei prodotti, costituita da un cilindro rotante sul quale sono montati radialmente dei coltelli; la rotazione avviene grazie a un motore idraulico. La fresa è sorretta da bracci incernierati al telaio che compiono, a comando, i movimenti di traslazione verticali verso il basso e verso l'alto, grazie alla spinta di uno o più martinetti idraulici, in modo da desilare i prodotti e caricarli, al tempo stesso, nel cassone.

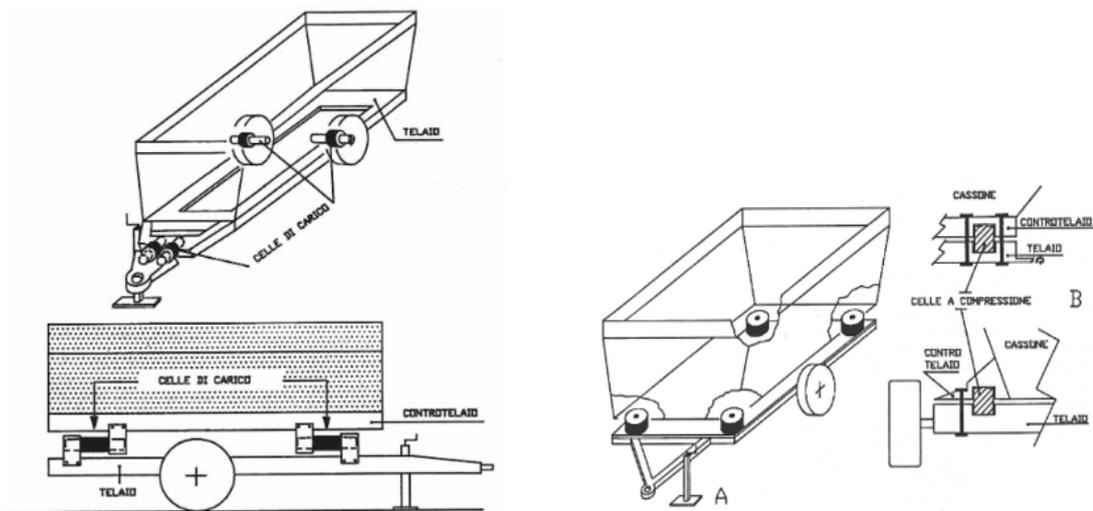


Figura 2.2: Disposizione delle celle di carico sul telaio di un carro miscelatore trainato (fonte: Alimentazione zootecnica; E. Gasparetto, D. Pessina)

L'azionamento dei vari organi del carro miscelatore avviene per collegamento diretto con un motore elettrico o endotermico o idraulico nel caso di carri miscelatori stazionari e semoventi o per mezzo della presa di potenza (pdp) della trattrice per quanto riguarda quelli trainati. In questi ultimi, all'ingresso della catena cinematica si ha comunemente un regime di rotazione di circa 540 giri/min che viene ridotto alle coclee di miscelazione fino a 10-25 giri/min.

Il moto, sugli attuali modelli in commercio, viene trasmesso e ridotto da:

- trasmissioni meccaniche a ruote dentate e catene;

- trasmissioni meccaniche con riduttore epicicloidale;
- trasmissioni miste (idrostatica e meccanica).

La soluzione tradizionale è quella meccanica a ruote dentate e catene. Quella con riduttore epicicloidale è più semplice della precedente e più compatta. La terza soluzione prevede la trasformazione della potenza meccanica disponibile alla pdp in potenza idraulica, per mezzo di una o più pompe, e la riconversione dell'energia idraulica in energia meccanica, per mezzo di uno o più motori idraulici che comandano direttamente le coclee del carro miscelatore. Quest'ultima è una soluzione affidabile, sempre più adottata sui carri miscelatori, con il vantaggio di smorzare le sollecitazioni trasmesse al trattore e permette, inoltre, l'istantanea inversione del moto di rotazione delle coclee in caso di necessità, ma con lo svantaggio di essere costosa e di avere un basso rendimento di trasmissione. La trasmissione del moto alle coclee superiori (Figura 2.3), la cui velocità di rotazione è generalmente compresa fra 5 e 15 giri/min, è solitamente derivata dalle coclee inferiori mediante una trasmissione meccanica a ruote dentate e catena.

Soluzioni idrauliche sono adottate per l'apertura e la chiusura della saracinesca/che del/dei boccaporto/i, per l'azionamento degli organi di scarico quali nastri a tappeto o a catene, dell'apparato desilatore, dell'eventuale mulino di pretrinciatura degli affienati in fase di carico (Figura 2.4), per variare l'altezza da terra della parte posteriore dei carri miscelatori trainati per permettere il carico con la fresa desilatrice. Si usano in questi casi una o più pompe idrauliche di piccola cilindrata ed attuatori lineari e rotativi.

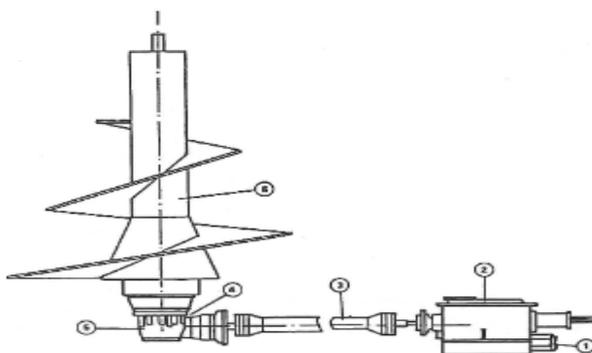


Figura 2.3: Trasmissione del moto dalla pdp della trattoria alla coclea di miscelazione (fonte: Alimentazione zootecnica; E. Gasparetto, D. Pessina)

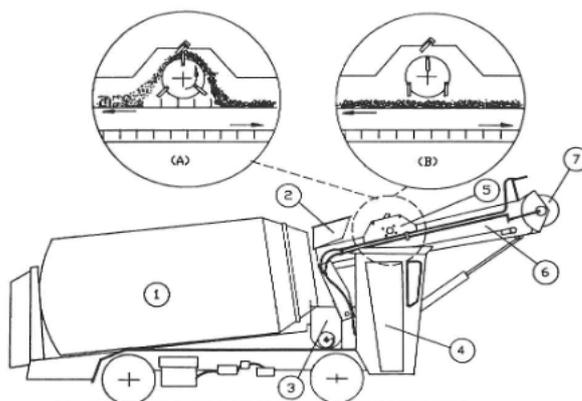


Figura 2.4: Mulino a coltelli presente sul braccio desilatore di un carro miscelatore semovente (fonte: Alimentazione zootecnica; E. Gasparetto, D. Pessina)

Dal punto di vista funzionale, si distinguono varie architetture di seguito descritte.

Nei sistemi a 3 - 5 coclee orizzontali, una o due coclee sono disposte nella parte inferiore del cassone, comunemente a forma di tronco di piramide a base rettangolare rovesciato con volumi 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, mentre la miscelazione si basa sulla creazione di flussi di ingredienti generati dall'azione combinata (longitudinale e radiale) di tutte le coclee.

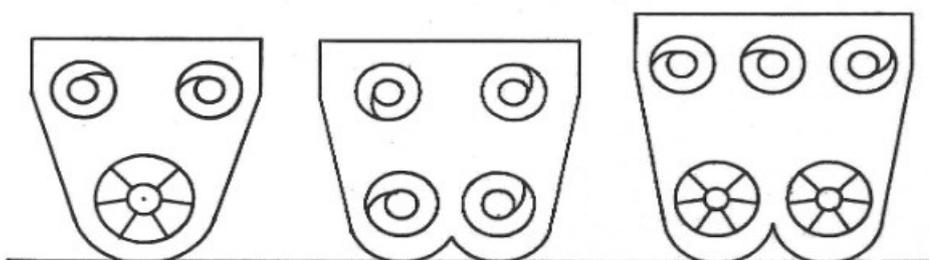


Figura 2.5: Varie disposizioni delle coclee sui carri miscelatori, vista frontale o posteriore (fonte: Alimentazione zootecnica; E. Gasparetto, D. Pessina)

I sistemi a 1 o 2 coclee orizzontali, sviluppati per garantire poca manutenzione, minori costi di acquisto e richiedere basse potenze, sono dotati di una o due coclee contropiralate disposte nella parte inferiore del cassone provviste di coltelli per la trinciatura e la miscelazione dei prodotti anche a fibra lunga. Si caratterizzano per l'ampia luce di carico, che facilita l'introduzione dall'alto di prodotti voluminosi come i fieni.

I sistemi a coclee verticali (Figura 2.6) 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 necessità di sfaldatura preventiva.

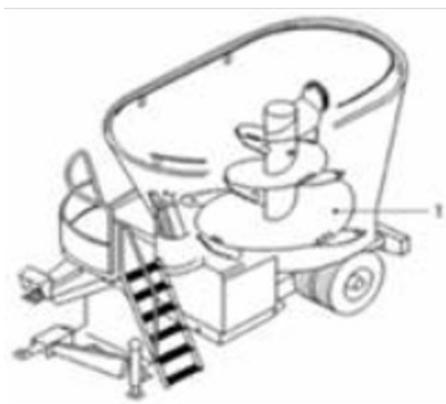


Figura 2.6: Coclea verticale su carro miscelatore trainato (fonte: Multisicuragri)

I sistemi a botte rotante (Figura 2.8) sono adottati solo su carri miscelatori semoventi e sono di vecchia concezione, caratterizzati da un cilindro rotante obliquo e spiralato internamente, dentro il 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 2.4).

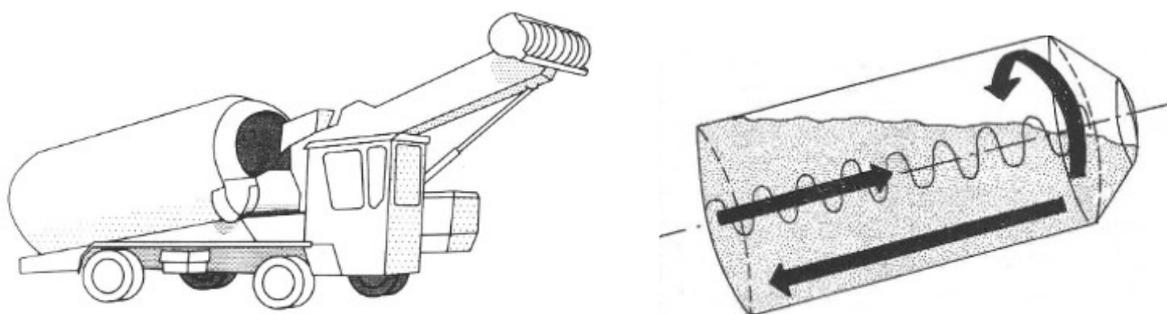


Figura 2.7: Carro miscelatore con sistema a botte rotante (fonte: Alimentazione zootecnica; E. Gasparetto, D. Pessina)

Figura 2.8: Principio di funzionamento del sistema di miscelazione a botte rotante con coclea controrotante (fonte: Alimentazione zootecnica; E. Gasparetto, D. Pessina)

Nei sistemi di miscelazione a pale, su un albero disposto orizzontalmente al centro della vasca di miscelazione sono inserite delle pale inclinate che, ruotando, miscelano il prodotto. 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 in fase di distribuzione. 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.

Guardando il mercato generale nel panorama europeo, si possono ipotizzare oggi i seguenti volumi di vendita (UNACOMA, 2008):

- 7.500 carri miscelatori/anno (60% a coclea verticale);
- 2.000 carri miscelatori/anno in Germania (90% a coclea verticale; 300 semoventi);
- 1.000-1.200 carri miscelatori/anno in Italia (40% a coclea verticale; 200 semoventi);
- 200 carri miscelatori/anno in Austria e Svizzera;
- 400-500 sistemi automatici in Europa (stima) con circa 20 costruttori.

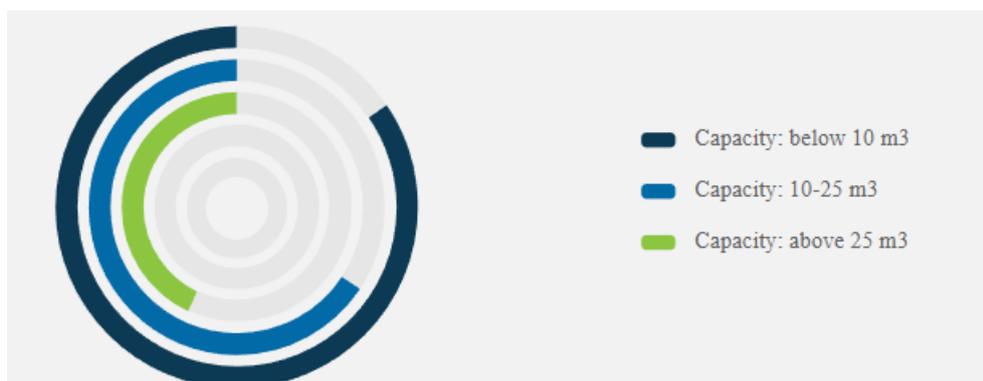


Figura 2.9: Quote di mercato dei carri miscelatori suddivisi per capacità di carico (fonte: www.businessresearchinsights.com)

2.4 Le diverse tipologie di carri miscelatori

Per i carri miscelatori stazionari si ricorre alla realizzazione di impianti fissi per la miscelazione e la distribuzione. Soprattutto in allevamenti bovini gli impianti fissi adottati sono carri stazionari, vale a dire carri miscelatori privi di ruote o altri sistemi di traslazione. Gli impieghi aziendali sono principalmente due: il lavoro in impianti di produzione di biogas, dove è soltanto necessario miscelare gli ingredienti da inviare al biodigestore, e quello in stalle con sistemi di alimentazione definibili 'a due tempi'. Qui il carro miscelatore stazionario esegue la miscelazione dei prodotti che saranno poi distribuiti dalle unità mobili, siano essi carri miscelatori semoventi movimentati da un operatore sia carri miscelatori autonomi. Per lo scarico del prodotto vengono utilizzati trasportatori a coclea

o a nastro o che prevedono lo scorrimento di dischetti di trasporto in materiale plastico, collegati tra di loro da una fune all'interno di una tubazione; talvolta questi veicolano l'alimento dal sito di preparazione direttamente all'interno della mangiatoia in stalla. Tali sistemi di miscelazione e di trasporto sono azionati da motori elettrici.



Figura 2.10: Carri miscelatori stazionari con differente modalità di scarico (fonte: Zago; Trioliet)



Figura 2.11: Carro miscelatore stazionario azionato da motore elettrico con sistema di distribuzione su binario sospeso (fonte: DeLaval)

La soluzione guidata da un binario con carrello sospeso appare in declino, almeno per quanto riguarda i nuovi investimenti. Ciò non toglie che rivestano un ruolo importante nel panorama degli AFS. Si tratta di un sistema composto da un carro miscelatore stazionario che prepara il TMR e lo scarica, tramite un nastro trasportatore, in un cassone che scorrendo su un binario, sia esso sospeso o non, giunge in prossimità della mangiatoia dove scarica il suo contenuto. Il processo risulta quindi semplificato per l'operatore per quanto riguarda la fase di distribuzione, che può così essere completamente

automatizzata; tuttavia, con le attuali tecnologie è possibile rendere automatica anche la fase di preparazione del TMR grazie all'uso di impianti di carico comandati da sistemi elettronici.

I carri miscelatori trainati e semoventi sono la tipologia più diffusa ed utilizzata nelle realtà italiane, grazie alla loro versatilità e relativa semplicità di utilizzo. Sicuramente, la presenza di molteplici costruttori con i loro innumerevoli modelli sul mercato ha influito sulla loro popolarità. Il carro miscelatore trainato (Figura 2.12), per operare, necessita della potenza fornita dalla trattrice agricola tramite pdp mentre in quello semovente (Figura 2.13) essa deriva da un motore endotermico o elettrico. A differenziare maggiormente i carri miscelatori trainati da quelli semoventi è la visibilità che questi offrono: nel primo caso l'operatore lavora all'interno della cabina della trattrice agricola, dove si portano generalmente i comandi ed esegue le lavorazioni in retromarcia, aiutandosi con l'ausilio di specchi o telecamere durante le fasi di manovra e caricamento; mentre nel secondo caso, l'operatore gode di un'ottima visibilità dall'interno della cabina del carro semovente in quanto la fresa desilatrice è frontale al carro stesso. Solo talvolta l'operatore esegue alcune operazioni da terra come il caricamento di prodotti sfusi, l'attivazione di organi accessori oppure le operazioni di collegamento alla trattrice agricola, esponendo così l'operatore a rischi. Va evidenziato che per il funzionamento di entrambe le tipologie, trainate o semoventi, è necessario un solo operatore; dunque, la presenza di altre persone durante il loro utilizzo aumenta notevolmente i rischi di infortunio.



*Figura 2.12: Carro miscelatore trainato
(fonte: Kuhn)*



*Figura 2.13: Carro miscelatore semovente
(fonte: Faresin)*

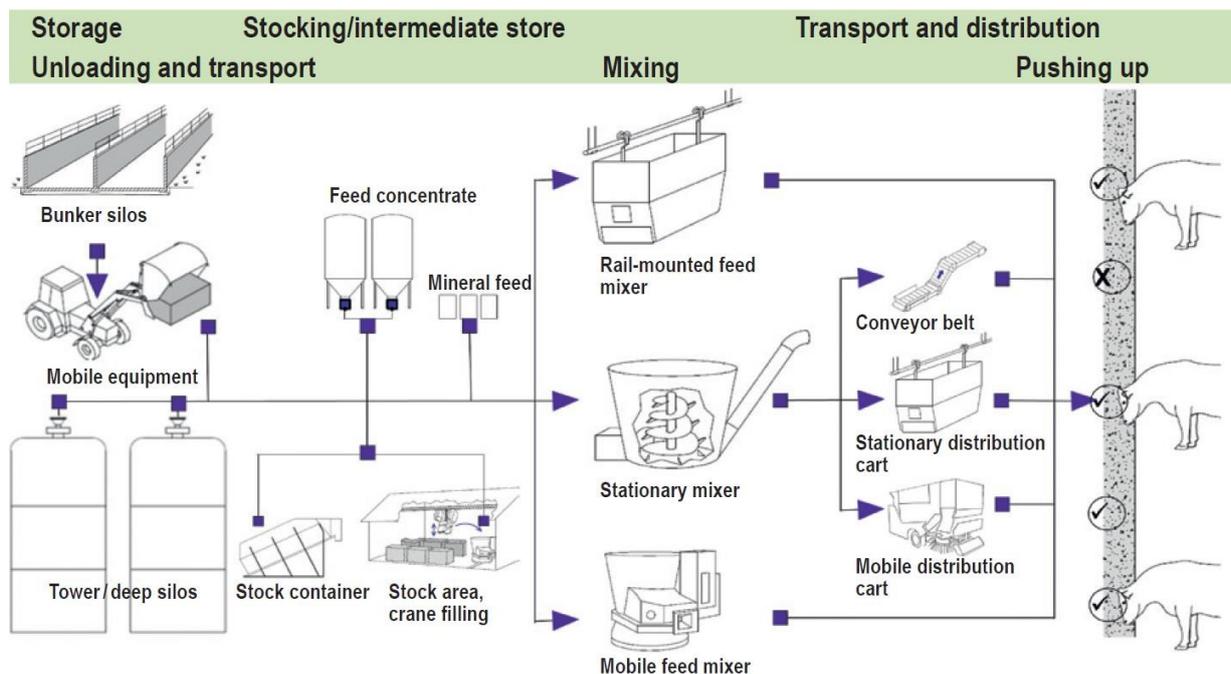


Figura 2.14: Schema rappresentativo delle possibili modalità di automazione dell'alimentazione (fonte: DLG)

2.5 Carri miscelatori a guida autonoma

I carri miscelatori a guida autonoma sono stati concepiti per ridurre i fabbisogni di manodopera e stimolare le visite da parte delle bovine dell'area di alimentazione (L'Informatore Agrario, 2012), grazie alla presenza costante di TMR a loro disposizione. Solo a partire dai primi anni 2000 alcuni costruttori hanno iniziato a proporre sistemi automatici per l'unifeed, conosciuti come automatic feeding systems (AFS), tra i quali rientrano i carri miscelatori o trinciamiscelatori a guida autonoma (AMW, Automatic mixer wagon). La differenza primaria tra i ben noti carri miscelatori e i sistemi a guida autonoma consiste nel fatto che i primi si basano su macchine (trainate o semoventi) azionate sempre da un operatore e aventi un volume di carico dimensionato per distribuire la razione una o due volte al giorno; al contrario, negli AFS l'allevatore non è direttamente coinvolto nella preparazione e distribuzione della razione, perciò l'orario di distribuzione è programmabile. Quest'ultima caratteristica rende possibile variare a piacimento il numero di distribuzioni giornaliere (L'Informatore Agrario, 2012). Sono sistemi automatici caratterizzati da vagoni con capacità di carico 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 gommaste 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 ingredienti (Lazzari, A. 2021).

Attualmente, nel mondo, sono presenti circa 20 aziende costruttrici e più di 1.250 robot installati (Oberschätzl-kopp et al. 2016). 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. In Italia, sono ancora poche (circa 101) le installazioni di sistemi AFS (Figura 2.15) ma, anche in questo caso, si sta registrando un forte aumento delle vendite se confrontato con i dati di un'indagine conoscitiva effettuata da Bisaglia et al. (2017), sostenuto da varie ragioni d'acquisto (Figura 2.16).



Figura 2.15: Allevamenti bovini che hanno installato tecnologia AFS in Italia, dati 2021 (fonte: CREA)



Figura 2.16: Principali ragioni d'acquisto degli AFS (fonte: L'informatore agrario)

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. Due sono comunque gli elementi chiave che costituiscono un sistema automatico per l'unifeed: la cucina e il sistema di distribuzione (Rossi et al. 2021). La cucina deve essere un luogo necessariamente coperto, inserito direttamente nella stalla oppure nei pressi della stessa; in essa vengono stoccati tutti gli alimenti che compongono la razione ed avviene la preparazione e miscelazione del TMR. La cucina deve essere progettata in modo da conservare tutti gli alimenti nel rispetto delle norme igieniche e di sicurezza e, inoltre, deve essere di facile accesso per i mezzi agricoli destinati al riempimento della

cucina stessa (Rossi et al. 2021). Le attrezzature principali che ricadono all'interno del locale cucina sono: gru autocaricanti, silos-container per lo scarico dei prodotti, silos-container di conservazione degli alimenti, il miscelatore con nastro trasportatore per il carico dei carri di distribuzione; oppure solamente il carro trincia-miscelatore a guida autonoma, il vero e proprio AMW.

Gli AFS presentano numerosi modelli a differenti livelli di automazione che possono essere classificati in tre categorie principali (Haidn et al. 2017):

- Tipo 1: la tecnologia automatizza solo la trincia-miscelazione e la distribuzione dell'unifeed (figura 2.17, a). Il miscelatore è stazionario e deve perciò essere riempito da un operatore che preleva i vari componenti della razione dalle strutture di stoccaggio presenti in azienda. Il prelievo può avvenire mediante l'utilizzo di trattore dotato di caricatore frontale oppure con un caricatore telescopico oppure mediante gru a carroponente, comune 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 distribuzione della razione (deve solo riempire il miscelatore, solitamente stazionario, con gli ingredienti) e può prestare maggiore attenzione al controllo della mandria e dell'impianto stesso (Haidn, B. 2015).
- Tipo 2: la tecnologia automatizza la trincia-miscelazione, il riempimento del carro e la distribuzione della razione (figura 2.17, b). Rispetto al livello precedente, qui è dunque automatizzata anche l'operazione di riempimento del carro miscelatore. In questo modo è possibile preparare in automatico, 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 a svuotamento meccanico oppure in sezioni a pavimento con gru che provvede al carico automatico degli stessi (Figura 2.18). A seconda della stagione e della grandezza del deposito, la cucina deve essere caricata da un operatore ogni 1-3 giorni (Rossi et al. 2021). 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 alimentare (Oberschätzl, Haidn, 2014). 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.

- Tipo 3: tutte le operazioni sono automatizzate, dal carico degli alimenti alla distribuzione; ciò significa che il carro trinciamiscelatore automatico (figura 2.17, c) preleva, tramite organi desilatori, gli ingredienti della razione direttamente dai silos; non è dunque necessario disporre del locale cucina (Rossi et al. 2021). Questo tipo di macchine, seppur di prossima messa in commercio, al momento si limitano a pochi modelli tutti ad uno stato pressoché prototipale.



Figura 2.17: Esempi di differenti livelli di automazione: tipo 1 (a), tipo 2 (b) e tipo 3 (c). (fonte: Hetwin; Trioliet; Kuhn)

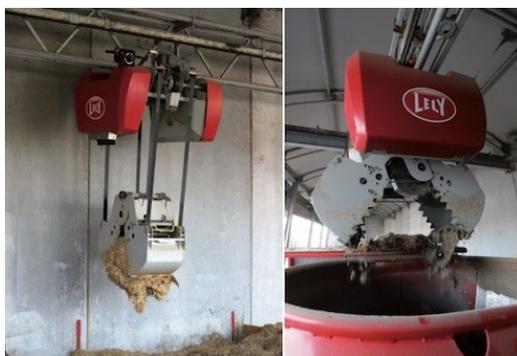


Figura 2.18: Gru per il carico automatico degli ingredienti (fonte: AgroNotizie)

Anche il modo in cui ogni sistema trasporta e distribuisce il TMR in corsia di alimentazione, distingue gli AFS in due categorie: quelli che si muovono su un percorso prestabilito fatto solitamente di un binario sospeso, e quelli invece che si spostano su ruote, seguendo un filo elettrico per induzione, una traccia magnetica inserita nel cemento della pavimentazione o un tracciato satellitare preimpostato.

Tutti questi sistemi però necessitano di adeguata messa a punto e di un continuo controllo nel loro funzionamento, per garantire la massima efficienza e ridurre al minimo eventuali errori o rischi connessi al loro uso in allevamento quali schiacciamento, impatto, trascinamento, pericoli legati agli interventi di manutenzione, ecc. .

Capitolo 3

CASO STUDIO

3.1 Analisi dei rischi ed altri elementi di attenzione sui carri miscelatori

La diffusione pressoché generalizzata del carro trincia-miscelatore e, più in generale, delle attrezzature per la preparazione della razione completa ha imposto, a seguito di incidenti anche mortali, accurati studi per approfondire la natura dei pericoli e le possibili soluzioni di prevenzione. In generale, tutte le macchine vendute dopo il 1995, e quindi anche quelle agricole, devono essere conformi alla Direttiva CE 89/392 che, con le sue successive modificazioni e integrazioni, stabilisce dei criteri generali di sicurezza ed ergonomia da osservare. In Italia, per i carri trincia-miscelatori è operante un comitato tecnico dell'Ispeal (fonte ENAMA).

Le lavorazioni che contraddistinguono i carri miscelatori si possono riassumere nelle seguenti: caricamento dei componenti del TMR; miscelazione dei prodotti; trasporto e scarico della miscela in mangiatoia. Durante queste operazioni, i rischi sono molteplici e sono stati riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 3.1: Principali rischi operativi (fonte: ENAMA)

Rischi	Normativa	Soluzioni
Rischio di investimento	DPR 547/55 art. 182 D.lgs. 359/99	I posti di manovra dei veicoli di trasporto e distribuzione devono permettere la perfetta visibilità di tutta la zona di azione ed avere un sufficiente margine di sicurezza in relazione all'ingombro del veicolo. Quando il campo di visione diretto è insufficiente per la sicurezza, devono essere adottati dispositivi ausiliari per migliorarne la visibilità (specchi, telecamere, dispositivi acustici, ecc.).
Errori di manovra	DPR 547/55 art. 77	I comandi di accensione e/o partenza delle macchine devono essere collocati in modo da evitare innesti accidentali o essere provvisti di dispositivi atti a conseguire lo stesso scopo. È

		opportuno tenere un margine di sicurezza negli spazi di manovra e nelle vie di transito, soprattutto nel caso vi siano passaggi stretti.
Pericoli derivanti dagli impianti idraulici	DPR 547/55 art. 244 UNI EN 982:1997 UNI EN 1553:2001 punto 4.1.7.3 DPR 547/55 art.241 UNI EN 1553:2001 punti 4.1.8.2 e 4.3.3	Le prese olio e gli innesti rapidi delle macchine devono essere dotate di un codice di riconoscimento per evitare errori di connessione. Gli intervalli per la sostituzione dei tubi flessibili devono essere riportati nel manuale di istruzioni. Gli impianti idraulici devono possedere i necessari requisiti di resistenza e di idoneità all'uso cui sono destinati. I tubi idraulici devono essere protetti in modo da evitare fuoriuscite di liquido in caso di rotture. La macchina deve essere dotata di idonei dispositivi per supportare tutti i tubi idraulici.
Rottura impianto elettrico	DPR 547/55 art. 267	La macchina deve essere progettata, costruita ed equipaggiata in modo da prevenire o da consentire di prevenire tutti i rischi dovuti all'energia elettrica (scariche di corrente, incendi di componenti elettriche o delle batterie, ecc.).

3.1.1 Fase di carico dei prodotti

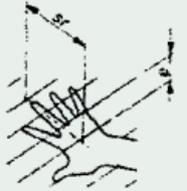
Gli utensili di taglio e di carico della fresa desilatrice possono essere pericolosi anche se non sono in uso; perciò, devono essere protetti durante lo spostamento e la distribuzione. Questa protezione deve coprire completamente la traiettoria dell'utensile sui lati e gli utensili di taglio e di carico sul fronte di lavoro. Nel caso di utensili rotativi, il riparo frontale deve essere autochiudente e deve estendersi sul fronte di lavoro almeno di 110° dalla verticale passante per l'asse degli utensili di taglio e di carico (fonte INAIL).

3.1.2 Fase di miscelazione e/o di trinciatura dei prodotti

Nel caso dei carri miscelatori-distributori, durante la fase di carico dei prodotti avviene simultaneamente anche la miscelazione e/o la trinciatura degli stessi tramite la rotazione

della coclea o le coclee presenti all'interno del cassone di carico. In questo caso le sole possibilità di entrare in contatto con questi organi sono o la caduta dall'alto, in quanto fisicamente irraggiungibile/i se non tramite scale o piattaforme rialzate (in questi ultimi casi si rimanda al rischio di caduta dall'alto) o tramite il contatto con i sistemi di trasmissione del moto (pulegge, catene, cinghie, ingranaggi, ecc.); questi devono essere protetti con idonei ripari totalmente chiusi o rispondenti alla norma UNI EN 294:1993 (vedi Tabella 3.2) con fissaggio ottenuto con sistemi che richiedono l'uso di utensili per la loro apertura.

Tabella 3.2: Dimensioni in mm delle aperture delle griglie di protezione previste dalla UNI EN 294:1993 (fonte ENAMA)

Parte del corpo	Figura	Apertura (2)	Distanza di sicurezza s_r		
			A feritoia	Quadra	Circolare
Mano		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	≥ 850 (3)	≥ 120	≥ 120

3.1.3 Fase di scarico della miscela

Durante la fase di scarico, occorre mantenersi ad una distanza di sicurezza dal veicolo per evitare i rischi di impigliamento, trascinamento e pizzicamento nell'organo di scarico (vedi Tabella 3.3). L'organo di scarico è costituito o da una catenaria, formata da due catene parallele collegate tra loro da traversine metalliche tali da formare una sorta di tappeto mobile, oppure da un tappeto mobile in gomma; questi raccolgono dalla bocca di scarico il prodotto e, ruotando, lo convogliano verso il bordo esterno per farlo cadere nella mangiatoia. Ultimamente, si stanno diffondendo i tappeti mobili in gomma in quanto permettono di abbattere sensibilmente il rumore emesso dal loro funzionamento e riducono il rischio di impigliamento, spesso presente con il sistema a catenaria. Durante lo spostamento della macchina e lo scarico della miscela in mangiatoia, gli organi di taglio della fresa desilatrice, nei veicoli che ne sono provvisti, devono essere protetti con idonei carter mobili posteriori e laterali.

Tabella 3.3: Principali rischi connessi alla fase di scarico della miscela in mangiatoia (fonte ENAMA)

Rischi	Normativa	Soluzioni
Impigliamento, trascinamento	DPR 547/55 art. 68 e 73	Le aperture di scarico delle macchine devono essere provviste di idonei ripari costituiti, a seconda delle varie esigenze tecniche, da parapetti e coperture atti per forma, dimensioni e resistenza, ad evitare che il lavoratore od altre persone possano venire in contatto con tutto o parte del corpo con gli organi lavoratori o scaricatori pericolosi.
	prEN 703 :2003 punto 5.7.2	La protezione deve essere assicurata da un riparo non perforato la cui estremità inferiore si estende almeno al piano inferiore del tappeto di scarico e la cui estremità superiore è ad una distanza minima di 50 mm al di sopra del piano superiore del tappeto. All'apertura di scarico è fornita una protezione sufficiente contro l'accesso diretto quando frontalmente la distanza orizzontale di sicurezza tra la traiettoria esterna delle coclee e il bordo esterno del tappeto di scarico è almeno pari a 550 mm (misurata in tutte le condizioni di distribuzione) e, lateralmente, è almeno pari a 550 mm.
Pizzicamento	prEN 703 :2003 punto 5.7.2	La distanza tra il riparo laterale e il tappeto di scarico deve essere ≤ 8 mm o ≥ 25 mm su ciascun lato. Nel caso di tappeti di scarico a catena deve essere prevista una distanza minima di 25 mm tra la piastra e le traverse.

3.1.4 Operazioni svolte da operatori

Nella gestione di un sistema di alimentazione automatizzato, molte sono le operazioni necessarie per mantenere in efficienza e sotto controllo il sistema stesso. Sono state

create le seguenti categorie, per le quali sono di seguito individuati i rischi e le relative misure preventive (vedi Tabelle 3.4, 3.5, 3.6): regolazioni e rifornimenti, pulizia e manutenzione, salita e discesa dalla macchina e/o dalle piattaforme di ispezione. In ogni situazione, occorre prestare attenzione alle istruzioni ed agli avvertimenti, forniti dai pittogrammi di sicurezza posti in prossimità dei punti della macchina dove possono essere presenti rischi residui.

Tabella 3.4: Principali rischi connessi alle fasi di regolazione e rifornimento (fonte: ENAMA)

Rischi	Normativa	Soluzioni
Impigliamento, trascinarsi, taglio	DPR 547/55 artt. 41, 42, 55, 56, 59 e 61 UNI EN 1553 :2001 punto 4.1.7.1	La macchina deve essere costruita in modo tale da assicurare che, quando viene utilizzata secondo il suo impiego previsto, l'operatore è protetto dagli elementi di trasmissione quali pulegge, alberi, ingranaggi, volani, ventole, cinghie e catene di trasmissione. Le protezioni devono essere bloccate con sistemi che richiedano per l'apertura l'impiego di attrezzi speciali in dotazione all'operatore. Le protezioni possono essere costruite anche con una rete o maglia saldata rigida. Se è previsto un accesso frequente per la manutenzione o le regolazioni, i ripari devono essere collegati alla macchina con cerniere e devono potersi aprire solo con l'ausilio di appositi attrezzi; la chiusura dovrà essere automatica. Se non sono utilizzati i ripari di cui sopra, allora la macchina deve essere munita di ripari mobili interbloccati (che provocano l'arresto del movimento prima che sia possibile raggiungere la zona pericolosa), oppure di ripari mobili dotati di un dispositivo che impedisca la loro apertura fino a quando gli elementi mobili di trasmissione di potenza sono in movimento.
Contatto accidentale con fluidi	UNI EN 1553:2001 punto 4.2.6.2	Il riempimento, lo scarico ed il recupero dei fluidi di servizio devono avvenire in condizioni di sicurezza.

		Le aperture di riempimento devono essere poste a non più di 1500 mm da terra o dalla piattaforma.
--	--	---

Le cadute nelle fasi di salita e di discesa dalla macchina e/o dalle piattaforme di ispezione sono piuttosto ricorrenti e possono determinare infortuni con lesioni di vario genere, soprattutto se si considera che si trovano ad altezze spesso superiori ad un metro. Nella tabella 3.2 sono riportati i principali rischi connessi all'accesso alle piattaforme di ispezione dei carri miscelatori.

Tabella 3.5: Principali rischi connessi all'accesso alle piattaforme di ispezione (fonte: ENAMA)

Rischi	Normativa	Soluzioni
Caduta dall'alto	DPR 547/55 art. 16 UNI EN 1553:2001 punto 4.1.5.1, 4.1.5.2	Se l'altezza verticale del pavimento del posto di lavoro e/o della cabina rispetto al livello del suolo supera i 550 mm, devono essere previsti dei mezzi d'accesso. Se sono utilizzate delle scalette, la loro inclinazione deve essere compresa tra 70° e 90° rispetto all'orizzontale. Ogni gradino deve avere una superficie antiscivolo e un arresto laterale su ciascun lato. Le parti mobili dei mezzi d'accesso non devono, durante il loro azionamento, causare pericoli di cesoiamento, schiacciamento o movimenti incontrollabili. Su entrambi i lati dei mezzi d'accesso devono essere previste delle maniglie o dei corrimano. Le maniglie ed i corrimano devono essere progettati in modo tale che, in qualsiasi momento, l'operatore possa sempre mantenere un supporto con tre punti di contatto. Il diametro della sezione dei corrimano e delle maniglie deve essere compreso tra 25 mm e 35 mm. L'estremità inferiore dei corrimano e delle maniglie deve essere situata ad un'altezza dal terreno non superiore a 1500 mm. Intorno ai corrimano e alle maniglie deve essere previsto

		<p>uno spazio libero di almeno 50 mm per la mano. Deve essere previsto un corrimano/una maniglia ad un'altezza compresa tra 800 mm e 1100 mm al di sopra del gradino/piolo più alto dei mezzi d'accesso. Le maniglie devono avere una lunghezza di almeno 150 mm.</p>
Caduta dall'alto	<p>DPR 547/55 art. 8, 26 e 27</p> <p>UNI EN 1553:2001 punto 4.1.5.3</p>	<p>La piattaforma della zona di ispezione deve essere piana e con superficie antiscivolo, tale da consentire anche lo scolo dei liquidi, ed essere munita da ogni lato aperto di parapetto con arresto al piede. Non è necessario il parapetto con arresto al piede se la macchina di per se stessa garantisce una protezione almeno equivalente.</p> <p>L'arresto al piede (tranne all'entrata della piattaforma), deve essere situato lungo tutto il bordo o a non più di 50 mm dal suo bordo esterno e deve essere alto almeno 75 mm. Deve essere prevista una barra ad una distanza non inferiore a 1000 mm e non superiore a 1100 mm al di sopra della piattaforma. Deve essere previsto un corrente intermedio tale che la distanza verticale tra due correnti qualunque o tra un corrente e l'arresto al piede non superi i 500 mm.</p>

Non ci devono essere punti di cesoiamento o di schiacciamento all'interno della zona di raggiungibilità delle mani e dei piedi dell'operatore. Se sono utilizzati dei segni grafici, essi devono essere conformi alle ISO 3767-1 e ISO 3767-2 ed illustrati nel manuale di istruzioni.

Gli interventi di pulizia e manutenzione sui carri miscelatori possono essere condotti in tempi diversi e con varie periodicità: possono essere eseguiti direttamente nella stalla durante gli intervalli di lavoro o presso l'officina aziendale, se sono richiesti tempi più lunghi ed il supporto di attrezzature specifiche. È tuttavia da tenere presente che gli interventi effettuabili nell'ambito aziendale possono essere ricondotti a quelli di manutenzione ordinaria previsti nel manuale di istruzioni. Per evitare ripercussioni sulla sicurezza

generale del veicolo semovente, il locale adibito a ‘cucina’ deve essere un’area coperta ed asciutta.

Tabella 3.6: Principali rischi connessi alle fasi di pulizia e manutenzione (fonte: ENAMA)

Rischi	Normativa	Soluzioni
Pericoli legati agli interventi di manutenzione	DPR 547/55 art. 49	È vietato compiere su organi in moto qualsiasi operazione di riparazione o registrazione. Del divieto indicato devono essere resi a conoscenza i lavoratori mediante avvisi chiaramente visibili. Qualora sia necessario eseguire tali operazioni durante il moto, si devono adottare adeguate cautele a difesa della incolumità del lavoratore.
	DPR 547/55 art. 375 e 376	Per l'esecuzione dei lavori di riparazione e di manutenzione devono essere adottate misure, usate attrezzature e disposte opere provvisorie, tali da consentire l'effettuazione dei lavori in condizioni di sicurezza. Questi lavori devono essere eseguiti a macchina ferma. Qualora ciò non sia tecnicamente possibile, devono essere adottate misure e cautele supplementari atte a garantire l'incolumità sia dei lavoratori addetti che delle altre persone. L'accesso per i normali lavori di manutenzione e riparazione ai posti elevati di parti di macchine deve essere reso sicuro ed agevole mediante l'impiego di mezzi appropriati quali andatoie, passerelle, scale, staffe o altri idonei dispositivi.
	UNI EN 1553:2001 punto 4.2.6.1	Le operazioni periodiche di lubrificazione e di manutenzione, indicate nel manuale di istruzioni, devono poter essere eseguite con la sorgente di potenza arrestata. Nel caso in cui non sia tecnicamente possibile, la macchina deve essere progettata in maniera tale che non sia consentito l'accesso alle parti pericolose, attraverso l'uso di ripari o di altri dispositivi di protezione e/o grazie alla ubicazione di tali parti. I componenti che

		richiedono una manutenzione frequente devono essere facilmente accessibili.
Schiacciamento e cesoiamento	UNI EN 1553:2001 punto 4.1.7.3 prEN 703:2003 punto 5.5	Per permettere all'operatore di eseguire i lavori di manutenzione e riparazione di parti della macchina in posizione elevata, devono essere previsti dei supporti meccanici o altri dispositivi di bloccaggio per evitare un abbassamento non intenzionale. Tali dispositivi devono essere posti sul cilindro idraulico o sulle tubazioni che conducono al cilindro idraulico. In quest'ultimo caso le tubazioni devono essere progettate per resistere ad una pressione 4 volte superiore alla pressione di esercizio mentre i supporti meccanici devono resistere ad un carico pari a 1,5 volte il carico massimo ammissibile.
Scivolamento durante l'accesso a zone di manutenzione	DPR 547/55 art. 8, 16, 26 e 27 UNI EN 1553:2001 punto 4.1.6	Le scale devono essere munite di parapetto, corrimano e/o maniglie e gradini piani che devono avere una superficie antidrucciolevole. La piattaforma di servizio deve essere piana, presentare una superficie antidrucciolevole, permettere lo scolo dei liquidi ed essere munita da ogni lato aperto di parapetto normale con arresto al piede. I mezzi d'accesso alle zone di manutenzione devono avere delle superfici d'appoggio per i piedi, e delle maniglie ed una inclinazione compresa tra 80° e 90°. I gradini devono avere una superficie antidrucciolo e devono impedire lo scivolamento laterale e l'accumulo di fango.
Infortunio elettrico	DPR 547/55 art. 267 UNI EN 1553:2001 punto 4.2.5.1	La macchina deve essere progettata, costruita ed equipaggiata in modo da prevenire o da consentire di prevenire tutti i rischi dovuti all'energia elettrica. La batteria deve essere bloccata per rimanere in posizione anche se la macchina si ribalta. Essa deve essere posizionata in maniera tale che la

		<p>sua manutenzione e la sua sostituzione possano essere eseguite da terra o da una piattaforma. Deve essere possibile isolare elettricamente la batteria per mezzo di un interruttore tra la massa e la batteria, che può essere accessibile da terra o dalla piattaforma o una connessione tra la massa e la batteria che può essere smontata senza l'ausilio di utensili.</p>
	DPR 547/55 art. 297	<p>Le parti elettriche a tensione > 25 Volt verso terra se a corrente alternata, ed a 50 Volt verso terra se a corrente continua, devono essere protette mediante copertura.</p>
	<p>DPR 547/55 art. 283</p> <p>CEI EN 60204-1:1998, punto 13.7</p>	<p>I conduttori elettrici flessibili devono avere un idoneo rivestimento isolante atto a resistere anche alla usura meccanica.</p> <p>I cavi sottoposti a condizioni di usura gravose devono essere adatti a proteggere contro l'abrasione e l'attorcigliamento.</p>

3.2 Modelli di carri miscelatori autonomi sul mercato

L'analisi del contesto commerciale mondiale ha evidenziato 25 costruttori di AFS (Automatic Feeding System) e un totale di 49 modelli di robot prodotti (fonte CREA). L'indagine ha rilevato che la tipologia di robot più diffusi nel mercato sono quelli sospesi su binario (37%), seguiti da quelli semoventi (33%) siano essi miscelatori-distributori oppure soltanto distributori. Successivamente troviamo sistemi guidati (12%) e sistemi a nastro trasportatore (12%), non considerati in questo Lavoro. Ancora in fase prototipale ma comunque disponibili sul mercato, troviamo alcuni modelli di robot completamente automatizzati (6%), dove tutte le fasi sono automatizzate, dalla preparazione alla distribuzione della razione. 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 (Bisaglia et al., 2017). Nella tabella 3.7 sono stati riportati alcuni dei costruttori ed i loro rispettivi modelli di AFS presenti sul mercato globale, distinti per tipologia costruttiva.

Tabella 3.7: Elenco dei principali costruttori di AFS differenziati per tipologia (fonte: CREA)

Tipologia	Costruttore	Modello
Miscelatore distributore semovente	Agro Contact	SMD-5100
	GEA	Dairy Feed F4500
	Hetwin	Aranom Mix; Aranom cut&mix
	Lely	Vector
	Sieplo	Feedr
	Trioliet	Triomatic WP 2
	Wasserbauer	Shuttle Eco
Miscelatore distributore su rotaia	Agro Contact	serie SM
	GEA	MixFeeder
	Hetwin	Aramis II
	One2feed	Automatic Feeding Mixer
	Pellon	TMR Robot

	Schauer/Rovibec	Dec SR
	Trioliet	Triomativ HP 2
Distributore su rotaia	DeLaval	Optimat
	GEA	Free Stall Feeder
	Hetwin	Athos
	Kuhn/TKS	K2 Easy feeder
	Pellon	Combi Robot
	ValMetal	Daf
Distributore semovente	Cormall	Multifeeder
	Jeantil	Automatic feeding
	Lucas	G I-Ron-Mix System
	Seko	Saturn 7
Autocaricante miscelatore distributore semovente	Euromilk	Qube
	Kuhn	Aura
	Shuitemaker	Innovado

Attualmente sul mercato esistono diverse configurazioni possibili per automatizzare il processo di alimentazione del bestiame, come illustrato nel capitolo precedente (vedi paragrafo 2.5). Tuttavia, si rende necessaria un'ulteriore classificazione per assegnare ad ogni categoria il rischio adeguato. Con il presente lavoro sono state individuate tre categorie principali con cui possono essere differenziati i carri miscelatori a guida autonoma, che sono le seguenti: le dimensioni della macchina e la capacità di carico del cassone; le operazioni eseguite e la potenza necessaria al suo funzionamento, sia essa derivata da motore elettrico o da motore endotermico.

3.2.1 Dimensioni e capacità di carico

Per dimensioni della macchina operatrice si intende la larghezza, la lunghezza e l'altezza totali, che vanno a definirne l'ingombro complessivo. La capacità di carico invece è il volume interno del cassone di carico, disponibile appunto per il carico ed il trasporto del TMR. In base a questo sono stati distinti i carri miscelatori in piccoli, nei quali la capacità

di carico è inferiore ai 3 m³, ed in medio-grandi, con capacità di carico superiore. A rientrare nella prima categoria sono soprattutto gli AFS con cucina fissa e vagone di distribuzione con spostamento su binario; esso è installato lungo la parte superiore della mangiatoia degli animali e viene ancorato alla struttura portante della stalla. Esistono tuttavia modelli di carri miscelatori-distributori autonomi con spostamento su gomma rientranti in questa categoria. In generale, quelli con capacità di carico inferiore ai 3 m³ si addicono maggiormente a realtà con ridotte dimensioni aziendali e un numero contenuto di capi allevati e viceversa per quelli con capacità superiore.

I rischi che derivano dalla loro operatività sono perciò in funzione delle loro dimensioni: a maggior volumetria del cassone corrisponde un maggiore ingombro laterale e longitudinale per cui, nelle operazioni soprattutto più complesse come possono essere quelle di curvatura, gli spazi di manovra sono proporzionali alla capacità di carico. Ne consegue che, con carri miscelatori medio-grandi aventi spostamento principalmente su gomma, le zone di sicurezza da garantire devono essere maggiori mentre su quelli più piccoli, solitamente a carrello su binario, sono sufficienti spazi di manovra più contenuti con minori controlli di intrusione di persone nelle medesime aree. Gli incidenti che si possono venire a creare se queste distanze di sicurezza non vengono considerate sono principalmente di impigliamento, trascinamento e/o investimento degli operatori, spesso in seguito a mancata attenzione nei pressi del robot. A prevenzione di ciò sono consigliate le seguenti distanze minime: nel caso di sistemi a rotaia, si prevede una larghezza di mangiatoia minima di 2-2.5 m con sistemi a scarico unilaterale e 2.5-3 m se avviene ambo i lati, ovvero con corsia di alimentazione centrale rispetto alla stalla (fonte DLG). È da prestare particolare nel caso vi siano passaggi con strettoie o la presenza di ostacoli lungo il suo cammino. Nel caso di carri con capacità di carico superiore ai 3 m³, gli spazi di manovra sono più ampi perciò lo deve essere anche la corsia di alimentazione: la larghezza minima nel caso di scarico unilaterale deve essere di 2.5-3 m mentre nel caso di scarico su due lati deve essere di 3.5-5 m. Si tratta di dimensioni funzionali che si sono rivelate efficaci (fonte DLG). È consigliato, in caso di guasto del sistema, di tenere una larghezza minima che garantisca la possibilità di percorrere la corsia di alimentazione con mezzi di soccorso per recuperare il 'veicolo'. Inoltre, se le corsie di alimentazione sono troppo strette, c'è il rischio di mescolare le diverse razioni dei diversi gruppi di animali, nel caso si trovassero uno di fronte all'altro.

3.2.2 Operazioni svolte

Le operazioni che possono svolgere i carri miscelatori a guida autonoma, secondo i differenti tipi di automazione (vedi 2.5) sono le seguenti: 1 - la distribuzione del TMR in mangiatoia precedentemente miscelato da una cucina fissa; 2 - la miscelazione dei prodotti direttamente nel carro che provvederà anche alla distribuzione in mangiatoia; 3 - la desilazione autonoma dei prodotti direttamente dai silos orizzontali (trincee), la miscelazione e la distribuzione in mangiatoia. Ai differenti tipi di automazione e capacità operative dei carri miscelatori a guida autonoma sono correlati dunque differenti gravità di rischio. Per quanto riguarda i primi, i rischi operativi sono moderati in quanto eseguono la sola fase di trasporto e distribuzione; dunque, è necessario prestare attenzione alle fasi di manovra e scarico della miscelata in mangiatoia (vedi paragrafo 3.1.3). Negli altri due, i rischi operativi sono maggiori: le operazioni di carico dei prodotti all'interno dei cassoni tramite gru automatizzate presenti nel locale cucina o, nel caso di carri con caricamento autonomo, operate direttamente nei silos, sono ad elevato rischio proprio per la presenza di elementi e organi in movimento. In particolare, si vuole far riferimento alla desilazione dei prodotti in quanto la rotazione dell'organo desilatore pregiudica una fase critica del processo di preparazione del TMR e, non essendo sorvegliata dal personale, necessita di spazi di manovra con margini di sicurezza più ampi. Inoltre, per permettere il caricamento dei vari prodotti all'interno degli spazi aziendali è necessario predisporre vie di trasferimento opportunamente pavimentate e segnalate al fine di evitare il rischio di investimento degli operatori presenti nel centro aziendale; in riferimento a questo, molti carri miscelatori a guida autonoma presenti sul mercato sono dotati di appositi sensori che inducono l'arresto della corsa del veicolo nel momento in cui riconoscono la presenza di ostacoli lungo il loro percorso.

3.2.3 Potenza richiesta per il funzionamento

I carri miscelatori più piccoli, fino ai 3 m³, dispongono di motori con potenze contenute che arrivano generalmente ad un massimo di 45 kW, siano essi generati da un motore endotermico o elettrico. Per cubature superiori, la potenza richiesta è proporzionalmente maggiore in relazione alla capacità di carico, con un range che va da 50 kW ad un massimo di 90-95 kW. Attualmente, i carri miscelatori a guida autonoma presenti sul mercato si dividono in due categorie rispetto l'origine della potenza: quelli alimentati da motore endotermico e quelli alimentati da motori elettrici. Nel caso di motore endotermico, i

possibili rischi connessi derivano dalla presenza di alta temperatura dovuta al funzionamento del motore stesso e dalla presenza di idrocarburi.

I carri miscelatori elettrici possono ricevere l'alimentazione direttamente da un cavo connesso al carro stesso o da batterie installate a bordo del robot. La ricarica di queste ultime avviene all'interno del locale cucina: è dunque la fase più critica in quanto il rischio di una scarica di corrente o di surriscaldamento e/o incendio delle batterie del veicolo è elevato. Inoltre, data la possibile presenza di operatori nelle vicinanze, non è da escludere la possibilità, in caso di malfunzionamento, di folgorazione o elettrocuzione, cioè una scarica accidentale di corrente elettrica che l'operatore subisce sul proprio corpo, soprattutto in caso di pavimentazione bagnata. La macchina, perciò, deve essere progettata ed equipaggiata in modo da prevenire o da consentire di prevenire tutti i rischi dovuti all'energia elettrica.

3.3 Rischi legati ai veicoli elettrici

Il veicolo elettrico propriamente detto, chiamato EV dall'inglese electric vehicle, è un veicolo che utilizza energia elettrica accumulata in apposite batterie per il suo movimento. L'energia accumulata nelle batterie solitamente deriva dalla rete elettrica, con la quale esse vengono caricate durante la sosta nel 'locale cucina' ed avviene tramite collegamento autonomo alla stazione di ricarica. Le batterie utilizzate in questo genere di veicoli sfruttano tre tipologie di tecnologia: il nichel-metil-idrato (NiMH); il piombo-gel (PbGel/Silicon) e gli ioni di Litio (Li). L'efficienza, in termini di rendimento, è molto buona se confrontata con i veicoli alimentati da motori a combustione interna; infatti, i motori elettrici garantiscono un notevole spunto avendo una notevole coppia motrice ad un basso numero di giri. Tuttavia, i veicoli elettrici soffrono di un principale problema, il "thermal runaway". Secondo il NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, un'agenzia federale americana), le batterie dei veicoli elettrici possono incendiarsi a seguito di urti meccanici, di problemi elettrici o termici. In pratica all'interno della batteria agli ioni di litio si crea uno squilibrio termico del sistema che determina un aumento incontrollato e inarrestabile della temperatura, una reazione a catena che porta prima alla combustione e poi a uno scoppio. Per evitare questo, le batterie devono essere progettate per essere sicure e dotate di sistemi di sicurezza a prevenzione di incendi e folgorazione. Alcuni suggerimenti per ridurre il rischio di folgorazione sono di non toccare la batteria o i cavi elettrici di un'auto elettrica se sono danneggiati o esposti e, se si verifica un incidente, non avvicinarsi al

veicolo fino a quando non è stato dichiarato sicuro dai vigili del fuoco o da tecnici specializzati. Si tratta di casi del tutto eccezionali ma comunque spingono a porre l'accento sul tema della sicurezza.

Capitolo 4

CONCLUSIONI

La tecnologia applicata all'alimentazione zootecnica fornisce un valido supporto all'allevatore nella gestione degli alimenti. 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 netto miglioramento delle condizioni dei lavoratori. In questo Lavoro, dopo aver caratterizzato la gestione degli alimenti negli allevamenti zootecnici quale è la tecnica 'unifeed' e descritto la struttura delle diverse tipologie di carri miscelatori, è stato creato un elenco dei modelli di alcuni dei sistemi di alimentazione autonomi presenti sul mercato attuale. Sono state individuate tre classificazioni principali con le quali distinguere i modelli di carri miscelatori a guida autonoma e, per ognuna di esse, sono stati elencati e valutati i rischi operativi ed altri elementi di attenzione connessi al loro uso facendo riferimento a quelli messi a punto dall'ENAMA, l'Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola.

Dall'analisi del contesto commerciale risulta evidente come lo sviluppo sia ancora ad uno stadio preliminare, poiché il numero dei modelli in commercio è molto contenuto, e l'adozione da parte delle aziende zootecniche sia ancora bassa. Tuttavia, si prevede per il prossimo futuro una forte espansione anche considerando l'impatto che questa categoria ha sulle aziende stesse sia in termini di efficienza sia di risparmio economico. Sorge dunque spontaneo sostenere lo sforzo dei costruttori nello sviluppare questi sistemi, soprattutto se prevedono soluzioni elettrificate che ben si affiancano all'attuale obiettivo di raggiungimento del carbon neutrality.

I rischi operativi degli AFS sono molteplici e principalmente dovuti a pericoli di impigliamento e/o trascinarsi negli organi in movimento, errori di manovra, schiacciamento e all'elettricità nelle soluzioni a propulsione elettrica. A prevenzione di questi, sono da adottare adeguate misure di sicurezza proporzionate alle caratteristiche dei carri miscelatori (dimensioni, capacità di carico, operazioni svolte e potenza richiesta), alla realtà aziendale in cui questi andranno ad operare ed al grado di automazione dell'AFS stesso. Questo Lavoro vuole inoltre evidenziare come le attuali linee guida non riportino alcuna indicazione riguardo i rischi specifici alle soluzioni elettrificate presenti attualmente nel settore degli AFS.

BIBLIOGRAFIA

Documenti e articoli scientifici consultati

Bisaglia, C., Brambilla, M. 2017. *'Automazione dell'unifeed: casi concreti in Italia'*. L'Informatore Agrario, 43(36), Supplemento, pp. 35-38. URL https://autofeed.crea.gov.it/wp-content/uploads/2023/04/LIBRO-BISAGLIA_05042023.pdf (consultato a ottobre 2023)

C. Bisaglia, Z. Belle, G. Van Den Berg, J. C.A.M. Pompe. *'Unifeed, carri miscelatori e sistemi automatici'*. L'Informatore Agrario, n°38/2012, p.56-57

DLG e. V., 2014 DLG Expert Knowledge Series 398 Automatic Feeding Systems for Cattle. URL <https://www.dlg.org/en/agriculture/topics/expert-knowledge/automatic-feeding-systems-for-cattle>

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

Feed mixer market size. Summary (online)

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

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

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

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

McKinsey Global Institute. *'A future that works: automation, employment and productivity.'* (McKinsey et al., 2017)

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

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.

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.

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

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

Siti web consultati

Enciclopedia multimediale “Wikipedia” (consultato a ottobre 2023)

<http://web.tiscali.it/professina/Alimzoot/Alimzoot.htm> (consultato a ottobre 2023)

http://www.sirsrer.com/teca/wp-content/uploads/2019/03/KA_2135.pdf (consultato a ottobre 2023)

<https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/mixer-wagons-market-103367> (consultato a ottobre 2023)

https://www.dinamica-fp.com/images/dinamica/sicuragri/macchine_miscelatori.html (consultato a ottobre 2023)

<https://www.euroconsumatori.eu/articolo/2065-auto-elettriche-motore-ecco-qual-probabilita-incendiarsi#:~:text=Auto%20Elettriche%3A%20rischio%20di%20folgorazione&text=Esiste%20la%20possibilit%C3%A0%20di%20rischio,gli%20incendi%20e%20le%20folgorazioni>. (consultato a novembre 2023)

<https://www.fortunebusinessinsights.com/feed-mixer-market-103270> [12/01/2023] (consultato a ottobre 2023)

<https://www.inail.it/cs/internet/docs/adeguamento-delle-macchine.pdf?section=attivita>

<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/precision-livestock-farming-market-29706557.html> (consultato a ottobre 2023)

