



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO



ACCADEMIA DEI GEORGOFILI

Convegno

Razionalizzazione dei sistemi colturali e zootecnici per la salvaguardia ambientale

LA ROBOTICA DI STALLA PER LA RAZIONALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI

Aspetti gestionali e ambientali

Aldo Calcante

DiSAA - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Introduzione



La robotica di stalla può essere d'aiuto?

La robotica negli allevamenti zootecnici

Robot di mungitura (AMS)

50.000 AMS nel mondo, circa 2000 in Italia



Robot spingiforaggio (FP)



Robot di alimentazione (AFS)

Oltre 1500 AFS nel mondo; circa 20 costruttori



La mungitura meccanizzata: analisi energetica

Impianto a lattodotto

Funzionamento giornaliero della pompa del vuoto (h)*	Funzionamento giornaliero della pompa del latte (h)*	Consumo giornaliero della pompa del vuoto (kWh)	Consumo giornaliero della pompa del latte(kWh)	Consumo giornaliero dell'impianto a lattodotto (kWh)	Produzione giornaliera di latte (kg/gg)	Consumo totale per 100L di latte (kWh/100 L)
4,90	0,28	23,50	0.16	23,66	880,4	2,69

*inclusi i tempi di lavaggio dell'impianto



Fonte: Calcante, 2024

Sala di mungitura

Consumo totale
per 100L di latte
(kWh/100 L)

2,54 – 4,14



Fonte: Rossi e Gastaldo, 2012



La mungitura robotizzata: analisi energetica

Robot di mungitura (AMS)

Azienda	Consumo giornaliero AMS (kWh)	Consumo giornaliero utenze accessorie (kWh)	Consumo totale giornaliero (kWh)	Consumo totale per capo (kWh)	Consumo totale per mungitura (kWh)	Consumo totale per 100L di latte (kWh/100L)
1	33,50	16,06	49,41	0,66	0,35	3,06
2	19,97	40,35	60,32	0,99	0,33	2,44
3	28,82	16,61	45,43	0,67	0,24	2,07
4	36,71*	32,11	68,82*	0,59*	0,21*	1,80*
5	51,52	29,82	81,34	0,70	0,27	2,25
6	52,99	31,17	84,16	0,69	0,27	2,03
Avg.	37,25	27,69	64,91	0,72	0,28	2,28

* Sistema di pulizia con vapore disabilitato

1-2-3-6 AMS a box singolo

4-5 AMS a box doppio



Fonte: Calcante et al., 2016
Calcante, 2023



Il valore aggiunto del robot di mungitura (AMS)



Incremento medio produzione di latte: +14%*

*Fonte: Tangorra et al., 2022



I robot spingiforaggio (FP)

Sistemi automatici vincolati



Sistemi automatici a navigazione



+ 2-3% di s.s. ingerita già con 4 avvicinamenti/giorno

Razione sempre disponibile in mangiatoia

Evidenti vantaggi di tipo operativo

«Effetto richiamo ?»

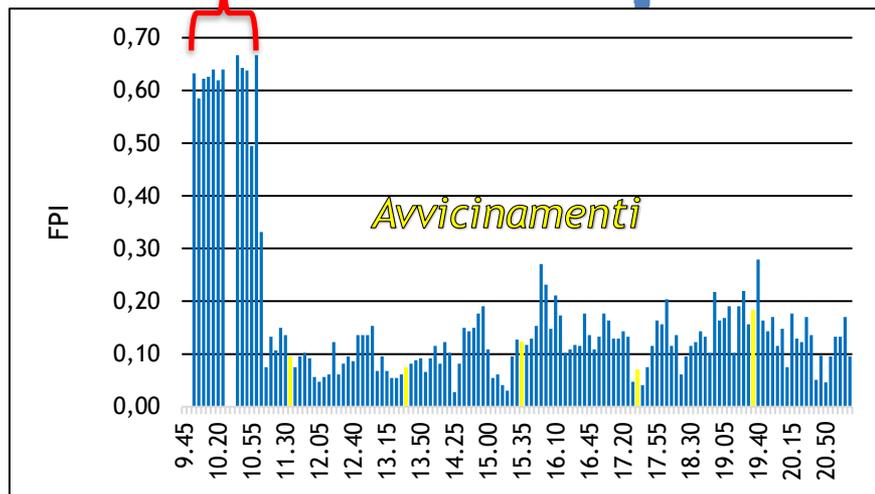
Fonte: Brambilla e Bisaglia, 2023



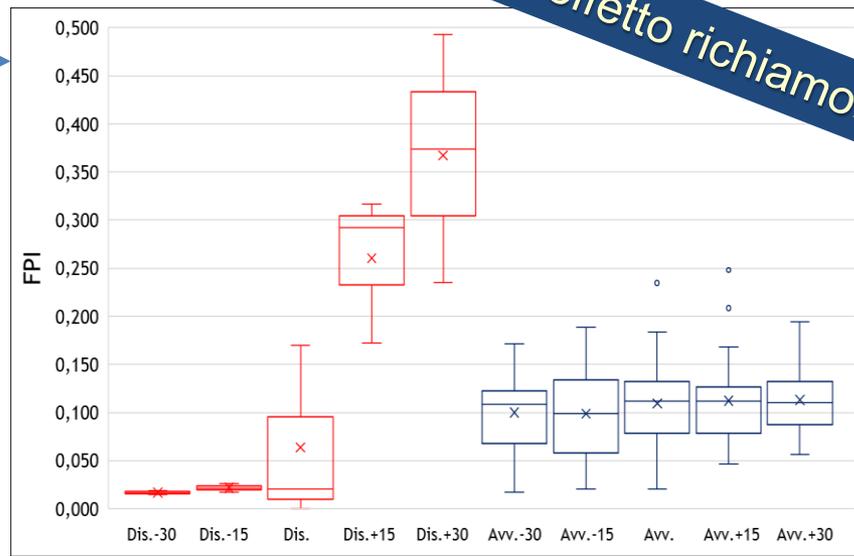
Spingiforaggio: analisi del «Feeding Place Index»

$$\text{FPI} = \frac{\text{Capi in mangiatoia}}{\text{Posti disponibili in mangiatoia}}$$

Distribuzione



Andamento del FPI durante la prima giornata



FPI medio in tre giornate consecutive

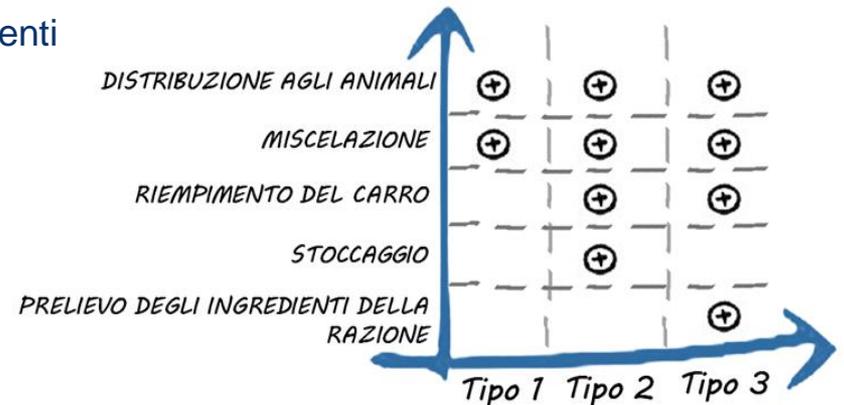
Fonte: Stabilini e Calcante, 2022
Tangorra e Calcante, 2022



I sistemi automatici di alimentazione (AFS)

Tre livelli di automazione

- 1° Livello:** la tecnologia automatizza solo la trinciamiscelazione e la distribuzione dell'unifeed. Il miscelatore è stazionario e deve essere riempito da un operatore che preleva i vari componenti della razione dalle strutture di stoccaggio presenti in azienda.
- 2° Livello:** la tecnologia automatizza la trinciamiscelazione, il riempimento del carro e la distribuzione della razione.
- 3° Livello:** tutte le operazioni, dal carico degli alimenti alla distribuzione, sono automatizzate.



Fonte: Brambilla e Bisaglia, 2023

Requisiti ottimali di un sistema di alimentazione

- **Precisione nella preparazione della razione;**
- **Maggiore sostenibilità:** aumento dell'efficienza delle risorse impiegate con conseguente generale riduzione dell'impatto ambientale.
- **Rapido adattamento del sistema alle diverse condizioni di lavoro** (es. numero di capi e stagionalità).
- **Ridotti consumi energetici** per l'utilizzatore finale → minori costi.



Confronto carro trinciamiscelatore tradizionale - AFS

Adattamento del carro trinciamiscelatore alle diverse condizioni operative

- Il combustibile necessario per preparare mezzo carro (ad es. in estate) **NON** è la metà di quello che occorre per preparare un carro intero, e non sempre il risultato è ottimale.
- Il carro **NON** sempre si adatta bene alla consistenza numerica della mandria.

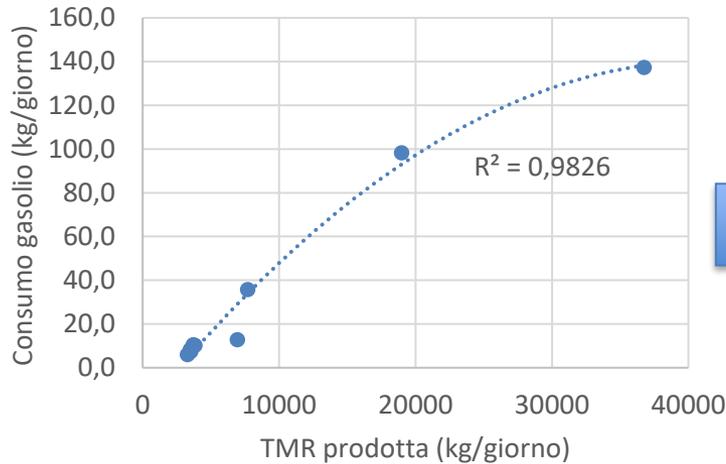
Esempio:

Stagione	Numero di capi	TMR prodotta (kg/gg)	Razione/capo (kg/gg)	Volume cassone carro t-m (m ³)
Inverno 2021	746	11279,7	15,1	50
Estate 2021	981	21619,5	22,0	97
Inverno 2022	1026	19948,7	19,4	89
Estate 2022	952	19062,9	20,0	85

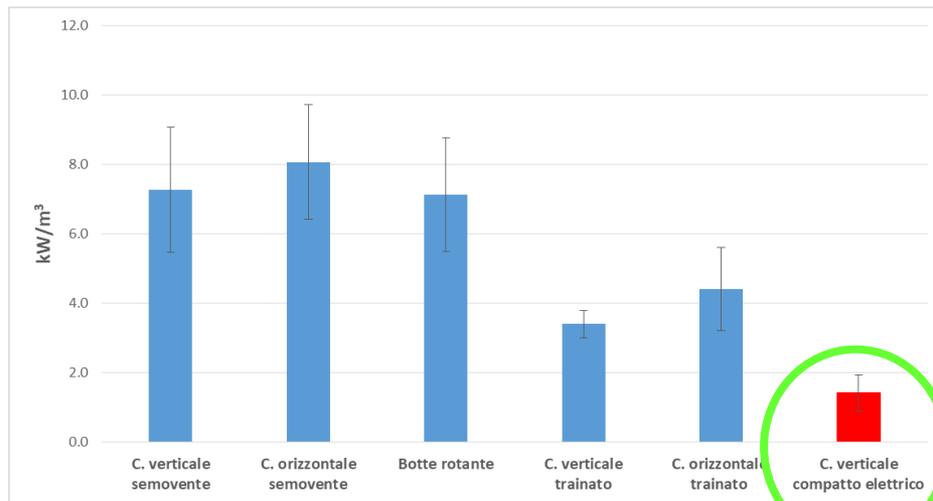
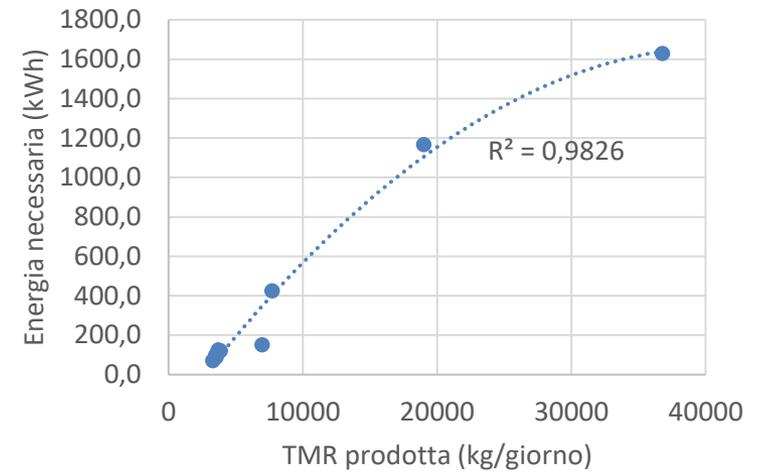
Quindi:



Le richieste energetiche del carro trinciamiscelatore



PCI del gasolio:
11.86 kWh/kg



Fonte: Calcante, 2023

Dati dichiarati dai costruttori, anno 2022

L'elettrico nella preparazione dell'unifeed può essere una soluzione?

- **Maggiore capacità di controllo:** un attuatore elettrico risponde in modo rapido e preciso, modulando con estrema flessibilità intensità ed entità di una azione;
- **Maggiore semplicità dal punto di vista meccanico:** maggiore flessibilità e rendimento delle trasmissioni elettriche;
- **Maggior rendimento dei motori** (95% vs. 38-40%);
- **Minori consumi energetici** per lo svolgimento del processo produttivo;
- **Riduzione di emissioni inquinanti, rumore, vibrazioni;**
- **Maggiore sostenibilità:** una maggiore capacità di controllo permette di ottimizzare il processo produttivo con una generale riduzione dell'impatto ambientale.

Adattabilità alle diverse condizioni di lavoro (produzione unifeed, numero capi e stagionalità)



Con un distinguo...

Azionamento con motore endotermico



Azionamento con motore elettrico



AFS: consumi energetici

Caso studio 1

420 capi in lattazione

Produzione TMR giornaliera: 19000 kg

Prima: Carro trincia-miscelatore verticale trainato da 30 m³
+ trattore da 110 kW potenza motore

Dopo: 1 AFS con 2 MFR (2° livello di automazione)

Sistema	Consumo energia (kWh/gg)	Consumo energia (kWh/100 kg TMR)
Carro trincia miscelatore	1357,6	7,15
AFS	40,2	0,21

-97%
Energia

Caso studio 2

120 capi in lattazione

Produzione TMR giornaliera: 7500 kg

Prima: Carro a botte rotante semovente da 21 m³
115 kW potenza motore

Dopo: 1 AFS con 1 MFR (2° livello di automazione)

Sistema	Consumo energia (kWh/gg)	Consumo energia (kWh/100 kg TMR)
Carro trincia miscelatore	347,67	4,64
AFS	31,32	0,41

-92%
Energia



AFS: sostenibilità ambientale

Caso studio 1

420 capi in lattazione

Produzione TMR giornaliera: 19000 kg

Prima: Carro trincia-miscelatore verticale trainato da 30 m³
+ trattore da 110 kW potenza motore

Dopo: 1 AFS con 2 MFR (2° livello di automazione)

Sistema	Consumo energia (kWh/100 kg TMR)	CO ₂ emessa (kg/100 kg TMR)
Carro trincia miscelatore	7,15*	1,9
AFS	0,21**	0,1

-95%
Emissioni
CO₂

Caso studio 2

120 capi in lattazione

Produzione TMR giornaliera: 7500 kg

Prima: Carro a botte rotante semovente da 21 m³
115 kW potenza motore

Dopo: 1 AFS con 1 MFR (2° livello di automazione)

Sistema	Consumo energia (kWh/100 kg TMR)	CO ₂ emessa (kg/100 kg TMR)
Carro trincia miscelatore	4,64**	1,2
AFS	0,41*	0,2

-84%
Emissioni
CO₂



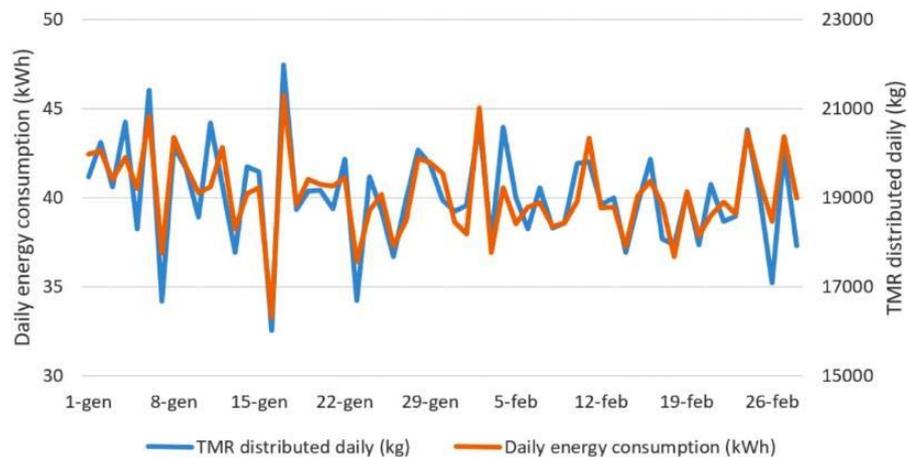
Autoproduzione energia elettrica

* Energia meccanica da gasolio (Fatt. emissivo = 3,15 kg CO₂/kg)

** Energia elettrica da mix energetico (Fatt. emissivo = 0,4046 kg CO₂/kWh)

AFS: adattabilità a diverse condizioni di lavoro

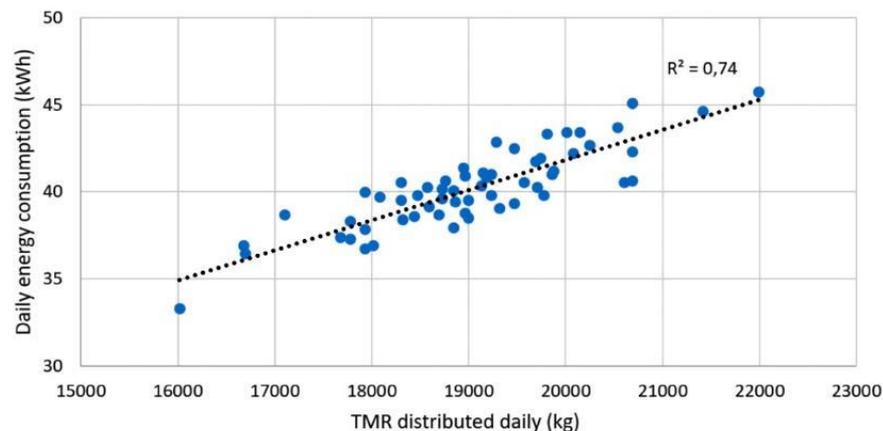
Produzione unifeed



Azienda da latte



Fonte: Tangorra e Calcante, 2018



AFS: adattabilità a diverse condizioni operative

Azienda da latte

1 AFS
+
2 MFR

Stagione	N° di capi	TMR prodotta (kg/gg)	Consumo energia (kWh/100 kg TMR)
Estate 2021	371	13796,1	0,32
Inverno 2022	388	16058,1	0,29
Estate 2022	376	14332,3	0,29

nessun effetto stagionale



AFS: adattabilità a diverse condizioni operative

Azienda da carne

1 AFS
+
2 MFR

Stagione	N° di capi	TMR prodotta (kg/gg)	Consumo energia (kWh/100 kg TMR)
Inverno 2021	746	11279,7	0,34
Estate 2021	981	21619,5	0,34
Inverno 2022	1026	19948,7	0,30
Estate 2022	952	19062,9	0,31

Nessun effetto stagionale

Nessun effetto numerosità della mandria



AFS: l'importanza dei dati tecnici

Attraverso il **monitoraggio giornaliero** di un **software di gestione del sistema alimentare**, si possono tenere sotto controllo fino al **65% dei costi aziendali***

Alimentazione - Panoramica													
03/03/2021 16:35													
Media Somma	Data	Collocazione	N. animali	N. somministrazioni	Totale distribuito (Kg di prodotto)				Somministrato per vacca (kg ss) -		Somministrato per vacca (kg) - Totale		Costo alimentare - Totale
	1		743	122	Totale	Foraggi	Minerali	Acqua	Concentrato XXX	Totale		14,7	877,14
	28/02/2021	riepilogo totale	780		65543	61147	119,6	0,000000	4276,2				
	28/02/2021	riepilogo totale	780		121	10490	9746	19,7	0,0	723,8		6,4	13,4
	27/02/2021	riepilogo totale	780		129	11355	10602	20,4	0,0	733,1		6,9	14,6
	26/02/2021	riepilogo totale	780		124	11081	10349	20,3	0,0	711,6		6,7	14,2
	25/02/2021	riepilogo totale	769		139	12810	11956	23,1	0,0	831,4		7,9	16,7
	24/02/2021	riepilogo totale	690		114	9749	9104	17,2	0,0	628,5		6,7	14,1
	23/02/2021	riepilogo totale	661		107	10058	9392	18,7	0,0	647,8		7,2	15,2

Alimentazione - Giri di distribuzione XXXX																						
03/03/2021 16:38																						
Data	Collocazione	Nome Rastrelliera	Intervallo	Nome razione	MFR	Somministrato totale (kg)	Silomais	Pastone	Far mais terra	Paglia	bicar di sodio	Mangime	Far Mais Silo									
1						(kg)	kg %	kg %	kg %	kg %	kg %	kg %	kg %									
28/02/2021 23:49	Box18	Interno	Sx	Box18	04:17	ARRIVO	1	98,3	51,9	52,8	23,5	23,9	13,4	13,6	0,2	0,2	9,3	9,5				
28/02/2021 23:49	Box23	Interno	Dx	Box23	04:17	ARRIVO	1	92,3	48,7	52,8	22,0	23,9	12,6	13,6	0,2	0,2	8,7	9,5				
28/02/2021 23:19	Box 1	Esterno	Sx	Box 1	02:56	Femmine finiss.	2	77,0	46,9	60,9	18,4	23,9	0,0	0,0	6,5	8,4	0,1	0,2	5,1	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box 8	Esterno	Sx	Box 8	02:56	Femmine finiss.	2	79,3	48,3	60,9	19,0	23,9	0,0	0,0	6,7	8,4	0,2	0,2	5,3	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box 9	Interno	Sx	Box 9	02:56	Femmine finiss.	2	70,6	43,0	60,9	16,9	23,9	0,0	0,0	5,9	8,4	0,1	0,2	4,7	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box10	Interno	Sx	Box10	02:56	Femmine finiss.	2	75,7	46,1	60,9	18,1	23,9	0,0	0,0	6,3	8,4	0,1	0,2	5,0	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box11	Interno	Sx	Box11	04:41	Femmine finiss.	2	77,1	47,0	60,9	18,4	23,9	0,0	0,0	6,5	8,4	0,1	0,2	5,1	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box12	Interno	Sx	Box12	06:31	Femmine finiss.	2	71,3	43,4	60,9	17,1	23,9	0,0	0,0	6,0	8,4	0,1	0,2	4,7	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box13	Interno	Sx	Box13	02:56	Femmine finiss.	2	77,7	47,3	60,9	18,6	23,9	0,0	0,0	6,5	8,4	0,1	0,2	5,1	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 23:19	Box26	Interno	Dx	Box26	02:56	Femmine finiss.	2	65,9	40,1	60,9	15,7	23,9	0,0	0,0	5,5	8,4	0,1	0,2	4,4	6,6	0,0	0,0
28/02/2021 22:27	Box 3	Tettoia	Sx	Box 3T	10:52	ARRIVO	1	101,5	55,9	55,1	21,7	21,3	14,3	14,1	0,2	0,2	9,5	9,3				
28/02/2021 22:27	Box22	Interno	Dx	Box22	02:55	ARRIVO	1	99,7	54,9	55,1	21,3	21,3	14,1	14,1	0,2	0,2	9,3	9,3				
28/02/2021 22:27	Box24	Interno	Dx	Box24	02:55	ARRIVO	1	97,6	53,7	55,1	20,8	21,3	13,8	14,1	0,2	0,2	9,1	9,3				
28/02/2021 22:27	Box25	Interno	Dx	Box25	02:55	ARRIVO	1	94,4	52,0	55,1	20,1	21,3	13,3	14,1	0,2	0,2	8,8	9,3				
28/02/2021 21:23	Box 4	Esterno	Sx	Box 4	06:15	Femmine finiss.	2	77,1	46,9	60,9	18,1	23,5	0,0	0,0	6,8	8,8	0,1	0,2	5,1	6,6	0,0	0,0



maggior capacità decisionale → migliore gestione aziendale

*Fonte: Campiotti, 2023



Conclusioni

AMS: consumi energetici in linea con i tradizionali impianti di mungitura. Maggiore produzione, miglioramento della qualità della vita degli operatori, monitoraggio automatico dei singoli capi

AFS: consumi energetici ridotti di molto rispetto ai sistemi convenzionali → minori costi di produzione dell'unifeed e minori emissioni

Grande adattabilità a diverse condizioni di lavoro → flessibilità e modularità

AMS e AFS insieme forniscono un'ampia quantità di dati tecnici, produttivi, fisiologici, economici, ecc. il cui incrocio offre un prezioso supporto al processo decisionale all'allevatore

La robotica di stalla, se utilizzata consapevolmente, permette la razionalizzazione degli interventi, minori costi di produzione e un minore impatto sull'ambiente





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO



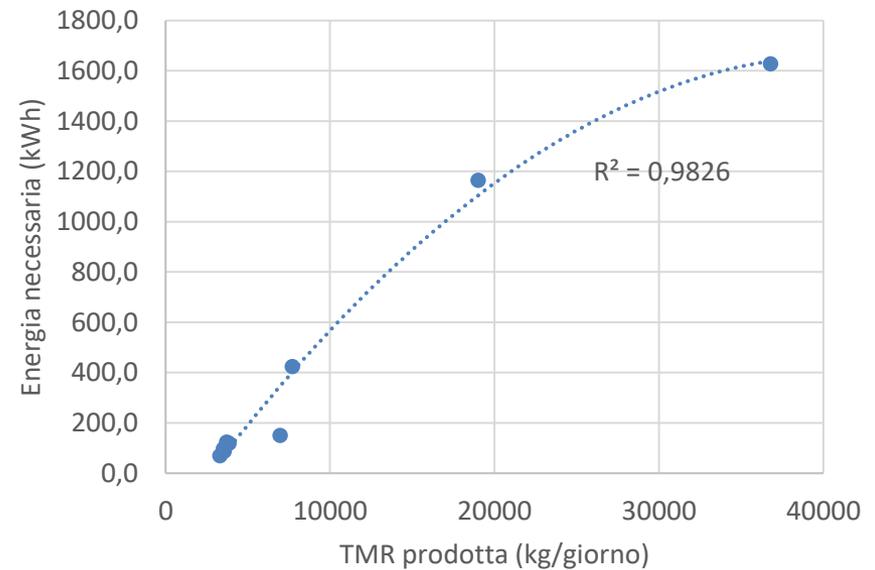
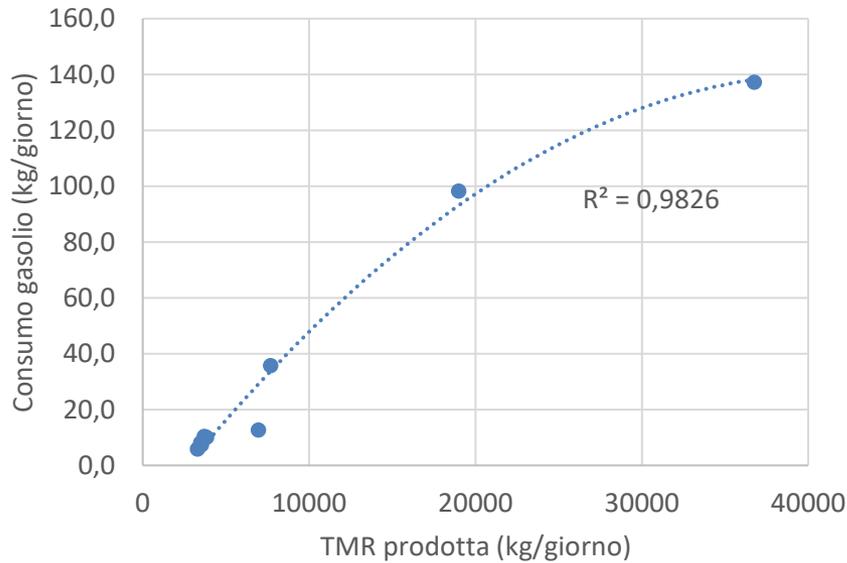
Grazie per l'attenzione

aldo.calcante@unimi.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

I consumi energetici del carro trinciamiscelatore



PCI del gasolio: 11.86 kWh/kg

Fonte: Calcante, 2023

