UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di Laurea in Valorizzazione e Tutela dell'ambiente e del Territorio Montano

VALUTAZIONE AMBIENTALE DI UNA STALLA DI MONTAGNA PER BOVINE DA LATTE E RIPROGETTAZIONE STRUTTURALE PER IL BENESSERE ANIMALE

Relatore: Elisabetta Riva
Correlatore: Giorgio Mario Provolo

Elaborato finale di:
Claudia Riva

Anno accademico 2024 – 2025

1. Riassunto

Il presente studio si concentra sulla raccolta e sull'analisi dei parametri ambientali all'interno di una stalla di montagna per vacche da latte, ubicata nella provincia autonoma di Trento, al fine di valutare il benessere animale, un tema sempre più rilevante a livello accademico e legislativo. Oltre all'aspetto ambientale è stata valutata anche la relazione che intercorre tra ambiente di stabulazione e produzione di latte, sia a livello quantitativo che qualitativo.

L'analisi dei dati ambientali è stata effettuata attraverso l'installazione di due centraline all'interno della struttura che hanno misurato temperatura, umidità, gas nocivi, illuminazione, rumore e polveri sottili da luglio 2024 a gennaio 2025. Inoltre, sono stati utilizzati i dati proveniente da stazioni metereologiche esterne.

Le informazioni sulla produzione di latte sono state raccolte indirettamente attraverso i controlli funzionali, ovvero rilevazioni periodiche delle performance produttive e riproduttive degli animali effettuate, nell'azienda, dall'Associazione Italiana Allevatori (AIA).

L'analisi dei dati raccolti ha permesso di identificare i punti di forza, le criticità e i possibili miglioramenti per l'azienda.

L'umidità relativa pur restando tra il 50 % e l'80 %, presenta picchi superiori all'80% in inverno, questa condizione unita a basse temperature può favorire la proliferazione di batteri e muffe. L'indice termo-igrometrico (THI) all'interno della stalla è sempre più alto rispetto all'esterno, suggerendo un accumulo di calore nella struttura. I gas nocivi (anidride carbonica, ammoniaca e acido solfidrico) sono presenti in concentrazioni elevate, indicando una scarsa ventilazione e una scarsa condizione igienica, legata alla pulizia della pavimentazione dagli effluenti, che avviene due volte al giorno. Per quanto riguarda l'illuminazione, i dati analizzati hanno evidenziato che l'ambiente in cui vivevano le bovine, non raggiungeva i limiti minimi stabiliti di 150 - 200 lux; un ambiente buio influisce negativamente sulla produzione e sulla riproduttività degli animali.

Anche in presenza di un ambiente non ideale al benessere animale, l'azienda ha dimostrato una buona produttività, sebbene inferiore alla media della Frisona Italiana, con una produzione media di 23,7 ± 5,6 kg a capo e una discreta qualità del latte. Il tenore proteico, che ha raggiunto una media del 3,7 % ± 0,4 e quello di grasso il 4,4 % ± 0,6. Tuttavia, lo studio ha sottolineato che con un ambiente di stabulazione ottimale, la

produzione potrebbe essere significativamente maggiore. A questo proposito, è stato proposto un progetto per valorizzare e migliorare l'azienda agendo su vari aspetti della struttura, degli impianti e della gestione.

L'investimento in una nuova struttura e in tecnologie moderne ha lo scopo di migliorare il benessere animale, portando a un incremento della produttività e a una riduzione dei costi esterni (ad esempio, quelli veterinari). Si stima che un microclima ottimale potrebbe portare a un aumento medio annuo della produzione di circa il 5%.

A seguito delle criticità rilevate, lo studio si propone quindi di agire con interventi mirati per migliorare il benessere animale, stimando un impatto positivo sia sulla produttività che sulla sostenibilità economica dell'allevamento, con un potenziale aumento dei ricavi e un ritorno dell'investimento a lungo termine.

INDICE

1. Riassunto 3
2. Introduzione 9
2.1. Benessere animale 9
2.2. Benessere animale e strutture di allevamento 10
2.3. Microclima nelle strutture d'allevamento 11
2.4. Controllo climatico della stalla 20
2.4.1. Ventilazione naturale 21
2.4.2. Ventilazione artificiale 22
2.4.3. Sistemi di raffrescamento 23
2.4.4. Il Robot di mungitura 24
2.5. Sostenibilità di un allevamento di bovine da latte 24
2.6. Frisona Italiana 26
3. Scopo del lavoro 29
4. Materiali e metodi 30
4.1. Descrizione azienda 30
4.2. Attività svolte 39
4.3. Strumenti per la misurazione dei parametri ambientali 39
4.3.1. Sistema *IoT (Internet of Things)* 39
4.3.2. Sistema IBT System 40
4.4. Raccolta dati 43
4.4.1. Raccolta dei dati all'interno dello stabile 43
4.4.2. Problematiche centraline 43
4.5. Controlli funzionali 44
4.6. Elaborazione dei dati 45
4.6.1. Dati ambientali 45
4.6.2. Dati gas nocivi 46
4.6.3. Dati controlli funzionali 46
4.6.1. Riprogettazione della stalla 47
5. Risultati e discussione 48
5.1. Dati ambientali generali 48
5.1.1. Analisi temperatura 50
5.1.2. Analisi umidità 53
5.1.3. Analisi THI 56
5.1.4. Analisi gas nocivi 59

5.1.5. Analisi particolato 68
5.1.6. Analisi illuminazione e rumore 72
5.2. Produzione 76
5.2.1. Produzione e THI 76
5.2.2. Qualità della produzione 79
5.3. Progettazione 84
5.3.1. Inquadramento cartografico 87
5.4. Ristrutturazione stalla esistente 92
5.5. Nuova struttura 93
5.5.1. Orientamento ed esposizione 93
5.5.2. Forma, dimensione e ventilazione naturale 93
5.5.3. Illuminazione 94
5.5.4. Pavimentazione 94
5.5.5. Disposizione e dimensionamento zona interna 95
5.5.6. Zona di alimentazione 95
5.5.7. Corsia di smistamento e passaggi 96
5.5.8. Zona di mungitura 96
5.5.9. Zona di riposo 97
5.5.10. Riepilogo generale della nuova struttura 98
5.1. Valutazione dei costi di costruzione 100
6. Conclusione 102
7. Bibliografia / sitografia 105

2. Introduzione

2.1. Benessere animale

La tematica del benessere animale sta acquisendo negli ultimi anni un'importanza crescente, sia in ambito accademico che legislativo, e il rispetto del benessere animale è ad oggi un requisito fondamentale delle aziende per i consumatori.

L'attenzione sul tema del benessere animale è cresciuta dopo la pubblicazione nel 1964 del libro di Ruth Harrison, che denunciava le condizioni dell'allevamento intensivo. La pubblicazione ha portato alla stesura del *Brambell Report* (Carenzi e Verga, 2009), uno dei primi report ufficiali sul benessere degli animali da reddito, redatto nel 1965.

Oltre che riconoscere l'animale come "essere senziente", ovvero capace di provare emozioni, questo documento ha introdotto, nel mondo dell'allevamento degli animali da reddito, il concetto di "bisogno", definito Broom *et al.* (1998) come una carenza che l'animale cerca di colmare.

Carenzi e Verga (2009), alla luce di questi fatti, hanno definito nel loro libro le così dette "5 libertà" per valutare il benessere animale:

1. Libertà dalla fame, sete e malnutrizione: garantire accesso a cibo e acqua adeguati;
2. Libertà dal disagio fisico e termico: fornire un riparo e un'area di riposo confortevole;
3. Libertà da dolori, lesioni e malattie: assicurare prevenzione, diagnosi rapida e cure;
4. Libertà di esprimere i normali modelli comportamentali: offrire spazio sufficiente, strutture adeguate e la compagnia di altri animali della stessa specie;
5. Libertà di non provare paura o angoscia: creare condizioni che prevengano la sofferenza mentale.

La soddisfazione delle cinque libertà rappresenta un obiettivo fondamentale per una gestione ottimale dell'allevamento:

"Il benessere è uno stato di salute completo, sia fisico che mentale, in cui l'animale è in armonia con il suo ambiente" (Hughes, 1976).

Pertanto, un animale gode di benessere quando è a suo agio nell'ambiente circostante. È essenziale considerare che le esigenze ambientali, fisiologiche, immunitarie e comportamentali variano notevolmente tra le diverse specie.

La nuova Politica Agricola Comune (PAC) 2023-2027 pone un forte accento sulla sostenibilità degli allevamenti, in linea con le strategie europee *"Green Deal*" e "*Farm to Fork*". In questo contesto, il benessere animale è diventato un obiettivo strategico fondamentale, incentivato attraverso vari meccanismi, tra cui: eco-schemi e sostegno settoriale accoppiato.

Il Piano Strategico della PAC (PSP) per l'Italia ha introdotto gli Eco-schemi come pagamenti volontari che premiano gli agricoltori che adottano pratiche più sostenibili. In particolare, l'Eco-schema 1 incentiva la riduzione dell'uso di antibiotici e il miglioramento del benessere animale. Per accedere a questo sostegno, gli allevamenti devono aderire a sistemi di monitoraggio come *ClassyFarm*. Anche gli aiuti accoppiati al settore zootecnico sono in gran parte condizionati all'utilizzo di strumenti come *ClassyFarm*, queste misure offrono un incentivo concreto agli allevatori di montagna per mantenere pratiche tradizionali legate al benessere animale e alla conservazione del paesaggio.

In conclusione, le politiche agricole attuali e i dati scientifici supportano un modello di allevamento in montagna che integra la produttività con il benessere animale e la cura del territorio. Le pratiche tradizionali, se modernizzate con le conoscenze attuali, rappresentano un'opportunità unica per creare un futuro più sostenibile e redditizio per la zootecnia alpina.

2.2. Benessere animale nelle strutture di allevamento

Le strutture di stabulazione e le modalità di gestione della stalla influenzano in modo notevole il benessere e la salute delle bovine (Algers *et al.*, 2009; Abeni e Bertoni, 2009; Provolo *et al.*, 2020). Tra i fattori che incidono maggiormente sulle condizioni degli animali rientrano le caratteristiche e la gestione dell'area di riposo, la tipologia di pavimentazione, la disponibilità di cibo e acqua, l'igiene degli ambienti e degli impianti, le condizioni microclimatiche e la densità di allevamento (Paganini, 2022).

Con l'attuale cambiamento climatico, lo stress da caldo rappresenta una sfida significativa per gli allevamenti di bovini da latte, rendendo necessario l'adattamento delle strutture e delle strategie di gestione per salvaguardare il benessere degli animali (Provolo *et al.*,

2020). Come confermato da Gauly *et al.* (2013), lo stress termico non solo compromette la salute e il benessere delle vacche, ma influisce negativamente anche sulla produzione di latte e sulla fertilità delle bovine, con evidenti ripercussioni sulla redditività e sulla sostenibilità ambientale delle aziende.

Nonostante la rapida evoluzione degli allevamenti da latte, che ha portato a notevoli progressi nel miglioramento genetico e nelle tecniche di allevamento per aumentare la produttività (sia a livello qualitativo che quantitativo), spesso gli allevatori non hanno a disposizione gli strumenti necessari per valutare delle strutture e della gestione della stalla. Questo rende difficile l'individuazione dei punti critici e l'intervento mirato per migliorare il benessere animale (Provolo *et al.*, 2020).

I risultati della produzione sono fortemente influenzati non solo dalla struttura e dalle attrezzature di una stalla, ma anche da come queste interagiscono con l'ambiente circostante e con il benessere degli animali. In questo contesto, ciò che conta non è solo il modo in cui la struttura e le attrezzature sono state progettate, ma anche la gestione complessiva dell'allevamento e la capacità di introdurre costantemente miglioramenti.

2.3. Microclima nelle strutture d'allevamento

L'ambiente in cui vive un animale è l'insieme dei fattori esterni che ne influenzano la salute, il comportamento, il metabolismo e la produttività. Un ambiente ottimale è cruciale per il benessere e la salute degli animali, permettendo loro di esprimere al meglio il proprio potenziale produttivo. Per questo, l'ambiente di allevamento è uno degli aspetti centrali della normativa europea sul benessere animale (Rossi *et al.*, 2004; Abeni *et al.*, 2024).

I fattori più significativi, che concorrono a determinare le condizioni all'interno della struttura d'allevamento, sono parametri quantificabili e misurabili che possono essere oggetto di monitoraggio e controllo. È importante ricordare che, secondo la Direttiva 98/58 CE del 20 luglio 1998, garantire condizioni adeguate agli animali è fondamentale per la protezione degli animali negli allevamenti e per il personale che lavora al loro interno.

I parametri che, generalmente, vengono considerati sono: temperatura, umidità dell'aria e velocità dell'aria. Altri aspetti, non meno importati, riguardano la qualità dell'aria, l'illuminazione, il rumore e gli aspetti strutturali.

Velocità dell'aria

Nel periodo invernale le bovine tendono a soffrire in presenza di correnti di aria fredda, in quanto favoriscono un aumento della dispersione del calore; nei periodi caldi, invece, una maggiore velocità dell'aria all'interno del ricovero è positiva e accelera l'evaporazione e la dispersione del calore. Per questi motivi è necessario evitare nei periodi freddi l'esposizione a venti dominati (utilizzare tamponamenti o teli frangivento), e favorire una buona ventilazione (naturale e forzata) nei l periodo estivo (Provolo *et al.*, 2020).

Temperatura

La temperatura è il parametro più importante e più semplice da controllare all'interno ricovero. Per le bovine i livelli di temperatura ottimali sono correlati all'età, alla razza ed al livello alimentare, secondo alcuni studi la zona di comfort termico va dai -5 °C e i 25 °C (Provolo *et al.*, 2020; Paganini 2022). I bovini sono animali omeotermi; tendono, cioè, a mantenere costante la temperatura del corpo, grazie ad un complesso sistema di termoregolazione. Tale sistema è efficace entro un certo campo di variazione della temperatura esterna al di fuori del quale l'animale non è più in grado di mantenere il suo stato di omotermia, ovvero garantire un equilibrio dinamico tra il calore prodotto dall'organismo e il calore ceduto all'ambiente circostante. In assenza di equilibrio prevalgono situazioni di ipotermia o ipertermia, sino ad arrivare alla morte da freddo o da caldo.

Il campo di temperature all'interno del quale la produzione di calore è minima, ed è quindi massima l'energia dell'alimento che resta disponibile per la produzione, si indica come zona di termo - neutralità, di comfort o di benessere (; Provolo *et al.*, 2020; Bernabucci *et al.*, 2021). Tale zona di massima produttività, è delimitata dalle temperature critiche inferiore (-5 °C) e superiore (25 °C) al di là delle quali l'organismo deve spendere energia aggiuntiva per mantenere l'omotermia (*Figura 1*).

Analizzando la curva della temperatura interna del corpo dell'animale è possibile individuare tre zone termiche:

- Zona di omeotermia (C – C') nella quale la temperatura viene mantenuta costante e si evidenzia la zona di neutralità termica. Nella zona di neutralità è possibile osservare un calo del calore metabolico.

- Zona di ipotermia (D – C) in cui la produzione di calore metabolico non è sufficiente a mantenere la temperatura corporea.
- Zona di ipertermia (C' – D'), in quest'area la temperatura corporea e il calore metabolico aumentano. La quantità di calore prodotta non riesce ad essere smaltita dall'animale che rischi di andare incontro a stress da caldo o in casi estremi alla morte.

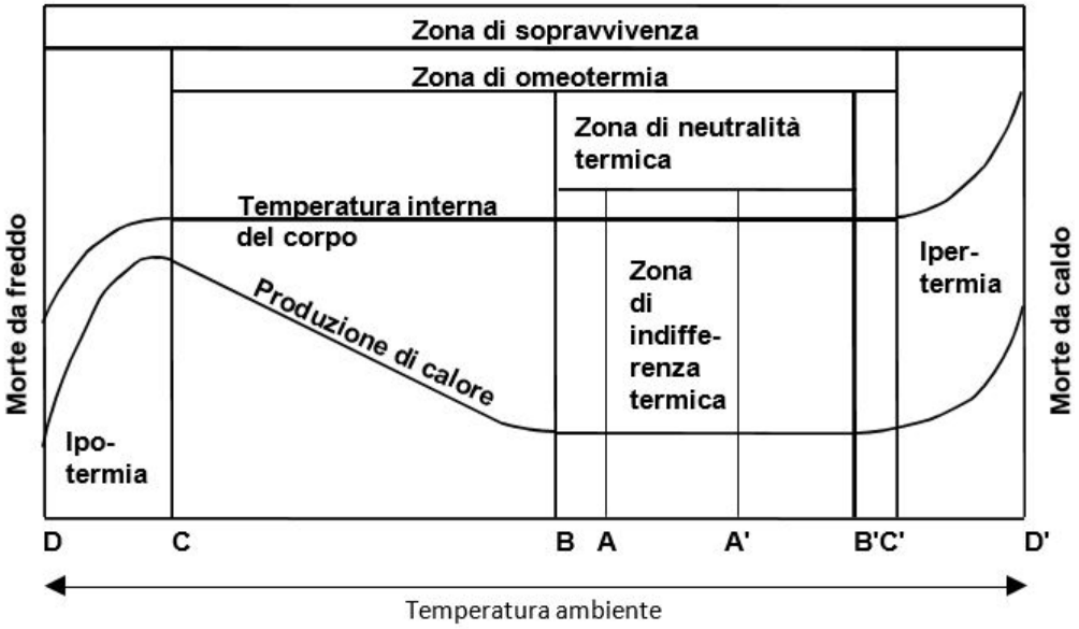

Figura 1: Variazioni della temperatura corporea in relazione all'aumento o alla riduzione della temperatura ambientale. URL: https://www.blv.admin.ch/dam/blv/it/dokumente/tiere/nutztierhaltung/rinder/fachinformationen-rind/5-d-rinder-stallklima.pdf.download.pdf/5_i_Rinder_Stallklima.pdf

L'animale è un sistema termodinamico aperto, che ha uno scambio di materia ed energia continua con l'ambiente che lo circonda. L'organismo utilizza e trasforma questa energia seguendo i principi della termodinamica. La termodinamica è quella branca della fisica che studia tutti i fenomeni per cui avvengono scambi di calore tra più sistemi fisici.
La trasmissione del calore avviene attraverso la forma di calore sensibile, ovvero grazie alla differenza di temperatura dell'ambiente e del corpo dell'animale, oppure attraverso calore latente con l'emissione di vapore acqueo. Quest'ultima, nei bovini, diventa prevalente nel caso in cui ci si trova in una situazione di ipertermia, ovvero quando la differenza tra la temperatura del corpo dell'animale e dell'ambiente è limitata.

Gli animali omeotermi trasmettono calore sensibile per conduzione e per convezione, rispettivamente attraverso il contatto con la pavimentazione e un flusso d'aria che rasenta il corpo dell'animale. Un'ulteriore percentuale del calore viene scambiata per irraggiamento, che avviene in entrambe le direzioni e dipende dalla temperatura degli elementi strutturali e dall'animale. Nel caso dei bovini gli elementi strutturali che influenzano l'irraggiamento sono le pareti e la copertura dell'edificio (Abeni *et al.*, 2024). Se le superfici hanno temperature elevate, aumenta la trasmissione del calore verso gli animali, al contrario se le superfici presentano temperature basse aumenta la trasmissione di calore da parte degli animali, che si raffreddano e richiedono un consumo maggiore di energia per mantenere la temperatura corporea (Provolo *et al.*, 2020).
È perciò necessario e cruciale mantenere l'ambiente più possibile vicino alle esigenze delle bovine, ovvero nella zona di neutralità termica. Così come la temperatura anche l'umidità dell'aria all'interno dell'edificio deve essere controllata (Abeni *et al.*, 2024).

Umidità dell'aria

L'umidità relativa, così come la temperatura è un altro parametro microclimatico rilevante. Essa indica la percentuale di vapore acqueo presente nell'aria. La presenza di un'umidità elevata in combinazione con alte temperature impedisce lo smaltimento del calore corporeo, con basse temperature; invece, la perdita di calore corporeo viene favorita. Le bovine in lattazione iniziano a manifestare segni di stress termico a una temperatura di 25 °C, con un'umidità superiore all' 80 %. Con una temperatura di 26°C, invece, lo stress si manifesta in maniera moderata già con un'umidità superiore al 60 % (Provolo *et al.*, 2020).

Temperature Humidity – Index (THI)

L'indice termo-igrometrico (THI) è un valore che combina temperatura e umidità relativa per misurare lo stress termico degli animali. Gli animali superano la loro zona di termo-neutralità, e quindi soffrono il caldo, sia in condizioni di alta temperatura e bassa umidità, sia in condizioni di bassa temperatura ma con un'elevata umidità.
Un valore di THI superiore a 72 o 68 è generalmente considerato una soglia critica che indica l'inizio dello stress da calore per il bestiame (Mader *et al.*, 2006; Polsky *et al.*, 2017; Leliveld *et al.*, 2022).

Tuttavia, alcuni studi (Provolo *et al.*, 2007) hanno rilevato che già con un THI superiore a 66 (corrispondente a temperature tra 20-22°C), le bovine iniziano a mostrare cambiamenti comportamentali, come una diminuzione del tempo trascorso nelle cuccette. Questo stress da caldo porta a conseguenze dirette sulla produzione: gli animali tendono a nutrirsi meno, con un calo nell'ingestione di sostanza secca che può arrivare al 9-10%. Di conseguenza, la produzione di latte può ridursi fino al 21%, con una minor concentrazione di grassi e proteine nel prodotto finale (Bernabucci *et al.*, 2010).

I valori di THI variano non solo in base alla specie, ma anche in funzione della sua attitudine produttiva, dello stadio fisiologico (accrescimento, lattazione, gravidanza) e del genotipo dell'animale.

Il calcolo di questo indice avviene attraverso diverse formule (Bohmanova *et al.*, 2007) (*Tabella 1*).

FORMULA THI	***FONTE***
THI = (0,15 x Tdb + 0,85 x Twb) x 1,8 + 32	*Bianca, 1962*
THI = (0,35 x Tdb + 0,65 x Twb) x 1,8 + 32	*Bianca, 1962*
THI = [0,4 x (Tdb + Twb)] x 1,8 + 32 + 15	*Thom, 1959*
THI = (0,55 x Tdb + 0,2 x Tdb) x 1,8 + 32 + 17,5	*NRC, 1971*
THI = (1,8 x Tdb +32) – (0,55 - 0,0055 x RH) x (1,8 x Tdb -26) = (0,81 x Tdb + 0,143 x RH) + 0,0099 x RH x Tdb + 46,3	*NRC, 1971*
THI = (Tdb + Twb) x 0,72 + 40,6	*NRC, 1971*
THI = (Tdb + 0,36 x Tdb) + 41,2	*Yousef, 1985*
THI = (1,8 x Tdb +32) – (0,55 - 0,0055 x RH) x (1,8 x Tdb -26,8)	*NRC, 1971*
THI = (0,8 x Tdb) + [(RH/100) X (Tdb – 14,4)] + 46,4	*Mader et al., 2006*

Tabella 1: Forme utilizzabili per il calcolo del Tempertature Humidity Index (Bohmanova et al., 2007)

Una delle formule più utilizzate è (NRC, 1971):

$$THI = (1{,}8 \times TA + 32) - (0{,}55 - 0{,}55 \times UR/100) \cdot [(1{,}8 \times TA + 32) - 58]$$

Dove TA indica la temperatura ambientale (°C) e UR la umidità relativa (%).

Stabiliti i valori del THI, per mezzo delle formule indicate nella *Tabella 1,* è possibile classificarli in quattro categorie, che esprimono i livelli di disagio termico e stress dell'animale (*Figura 2*):

- < 73 stress nullo, zona di termo-neutralità (blu);
- Tra 73 e 78 stress moderato (giallo);
- Tra 79 e 84 stress elevato (arancione);
- > 84 emergenza (rosso).

	Umidità relativa (%)																			
Temperatura °C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
22	64	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
23	70	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73
24	72	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
25	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
26	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	77	77	78	78	79
27	69	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	79	80	81
28	70	70	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
29	71	71	72	73	73	74	75	76	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
30	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
31	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88
32	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90
33	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91
34	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	84	88	89	90	91	92	93
35	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
36	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	97
37	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	93	94	95	96	97	99
38	78	79	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100
39	79	80	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	94	95	96	98	99	100	101	102
40	80	81	82	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104
41	81	82	83	85	86	87	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103	104	106
42	82	83	84	86	87	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	104	105	106	108
43	83	84	85	87	88	90	91	92	94	95	97	98	100	101	102	104	105	107	108	109
44	83	85	86	88	89	91	92	94	95	97	98	99	101	102	104	105	107	108	110	111

	Termoneutralità
	Rischio minimo
	Allerta
	Emergenza

Figura 2: Valori di THI (Temperature - Humidity Index) calcolati a partire dai diversi valori di temperatura e umidità relativa. URL: https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17005

Secondo alcuni ricercatori (Ravagnolo *et al.,*2000), il *Temperature - Humidity Index* (THI) non si limita a misurare lo stress da calore negli animali, ma fornisce informazioni dirette sui suoi effetti sulla produzione. Questi studiosi hanno dimostrato che, quando il THI supera il valore di 72, si verifica una riduzione della produzione di latte di 0,2 kg per ogni unità di aumento dell'indice. Studi più recenti hanno evidenziato che a partire da un certo livello di stress da calore, indicato dalla soglia critica del THI (*Temperature -*

Humidity Index), gli animali tendono a nutrirsi di meno, con un calo del 9-10 % nell'ingestione di sostanza secca. Questo porta a una diminuzione della produzione di latte, che può ridursi del 21 %, e a una conseguente minor presenza di grassi e proteine nel latte stesso (Bernabucci *et al.*, 2010).

De Campos e collaboratori (2022) suggeriscono che la composizione del latte, in particolare i livelli di grassi e proteine, sia più sensibile allo stress da calore rispetto alla quantità. Ricerche eseguite da Cowley e altri ricercatori (2015) hanno evidenziato che il caldo eccessivo disturba il metabolismo dell'azoto, provocando una diminuzione del tenore proteico nel latte. Nello specifico, si riduce la sintesi di alfa e beta-caseina, proteine fondamentali per la produzione di casearia (Bernabucci *et al.*, 2010). Guo e collaboratori (2018) ipotizzano che, in situazioni di stress, gli amminoacidi utilizzati per sostenere la risposta immunitaria e la produzione di glucosio (gluconeogenesi), invece che per la sintesi di latte nella mammella.

Come per il tenore proteico, anche la composizione lipidica del latte subisce alterazioni a causa dello stress da calore (Liu *et al.*, 2017). Il grasso è una delle componenti più variabili e riveste un ruolo fondamentale per le proprietà fisiche, la lavorabilità e le caratteristiche organolettiche dei prodotti lattiero-caseari. La sua concentrazione è influenzata da molteplici fattori, inclusi la dieta, la genetica dell'animale e il suo stato fisiologico (Palmquist *et al.*, 2020). La reazione delle vacche al caldo dipende da diversi fattori, tra cui la razza e la gestione dell'allevamento. La progettazione della stalla e le pratiche gestionali (garantire adeguati livelli di ombreggiamento e ventilazione) rappresentano uno dei mezzi che consentono di mitigare l'impatto negativo dello stress da caldo sul loro comportamento e sulla loro alimentazione (Lelived LMC *et al.*, 2025).

Illuminazione

All'interno delle strutture di stabulazione, l'illuminazione svolge un ruolo fondamentale per gli animali e per gli operatori. Per quel che concerne gli animali una buona luminosità influisce positivamente sulla produzione e sulla riproduttività (Dimo *et al.*, 2023; Abeni *et al.*, 2024).

Il livello di luminosità richiesto varia in base alle diverse categorie di animali, per gli ambienti di stabulazione si consiglia generalmente un livello di luminosità compreso tra i 150 lux e i 200 lux (Abeni *et al.*, 2024). Nella Direttiva 98/58/CE viene scritto: "*Gli*

animali custoditi nei fabbricati non devono essere tenuti costantemente al buio o esposti ad illuminazione artificiale senza un adeguato periodo di riposo. Se la luce naturale disponibile è insufficiente a soddisfare le esigenze comportamentali e fisiologiche degli animali, occorre provvedere ad una adeguata illuminazione artificiale".

Rumore

Gli animali sono molto più sensibili delle persone ai rumori, per questo motivo è necessario che negli edifici zootecnici vengano adottate delle misure preventive atte a non provocare paura o stress. Le onde sonore sono generate dai movimenti vibratori delle particelle che si propagano provocando delle variazioni di pressione. La pressione sonora (rumore) è definita attraverso l'ampiezza dell'onda sonora, misurata in decibel (dB) (Abeni *et al.*, 2024). Nelle zone agricole i livelli massimi di ammessi sono pari a 55 dB di giorno e 48 dB nelle ore notturne; nelle stalle il livello non deve superare i 65 dB in maniera continua e 80 dB per brevi periodi (Provolo *et al.*, 2020).

Qualità dell'aria

Con qualità dell'aria si fa riferimento alla presenza di inquinanti nell'atmosfera, ovvero sostanze che possono arrecare danno. Negli ambienti zootecnici questo parametro fa di riferimento alle condizioni interne all'edificio e considera l'impatto che potrebbe avere sugli animali e sugli operatori.
I principali gas che vengono considerati per verificare la condizione all'interno delle strutture d'allevamento sono l'anidride carbonica, l'ammoniaca e l'acido solfidrico. Un ulteriore parametro che influenza la qualità dell'aria è la presenza di polveri sottili, in particolare quelle con dimensioni minori o uguali a 2,5 µm.

Anidride carbonica (CO_2)

Prodotta dalla respirazione animale e dalla decomposizione delle deiezioni, la sua concentrazione nell'aria, che si aggira intorno ai 420 ppm, può aumentare notevolmente in stalle con scarsa ventilazione. L'esposizione a lungo termine a concentrazioni di CO_2 superiori a 1000-2000 ppm può causare una riduzione dell'appetito, un aumento della frequenza respiratoria e, in casi estremi, intossicazione cronica. Questo può portare a una

minore resistenza alle malattie e a una ridotta produttività (Vtoryi *et al.*,2017). L'anidride carbonica è un gas pesante (densità relativa: 1,976 kg/m^3), inodore e incolore, è possibile quindi che le concentrazioni maggiori si trovino in prossimità delle pavimentazioni e non all'altezza a cui sono state poste le centraline (2,50 m dal suolo). La concentrazione di anidride carbonica all'interno della struttura dipende per la maggior parte dalla tipologia di edificio, dal sistema di ventilazione e dalla densità degli animali (Jovović *et al.*, 2015). Un insufficiente ricambio d'aria può infatti causare un aumento dell'umidità e la formazione di condensa sulle superfici fredde, creando un ambiente insalubre. Per garantire il benessere degli animali durante i mesi più freddi, è fondamentale mantenere una ventilazione minima continua (Faustini *et al.*, 2014). La portata di ventilazione invernale che sarebbe utile garantire nella stalla è di 80-100 m3/h per vacca in lattazione, a seconda del livello produttivo (Provolo *et al.*, 2020). Nella stagione calda, il sistema di ventilazione deve essere molto più potente. L'obiettivo principale è rimuovere non solo i gas e gli agenti patogeni, ma anche il calore corporeo degli animali e il calore solare (Faustini *et al.*, 2014). Per questo motivo la velocità dell'aria deve essere elevata (ottimale 4-5 m/s) per garantire un buon scambio termico con la cute delle bovine. In estate le portate d'aria superano i 700 m3 /h per capo (Provolo *et al.*, 2020)

Ammoniaca (NH_3):

Questo gas, derivante dalla degradazione della sostanza organica, può avere effetti dannosi sulle vie respiratorie degli animali, favorendo patologie polmonari. Inoltre, causa eutrofizzazione e acidificazione dell'ambiente e contribuisce alla formazione di polveri sottili. Diverse ricerche hanno stabilito che le concentrazioni di ammoniaca (NH_3) sono notevolmente più elevate nei mesi caldi e si riducono in quelli freddi (Shin J. *Et al.*, 2025). Questo fenomeno è legato all'aumento delle temperature e dell'umidità, condizioni che accelerano la conversione dell'urea presente nel letame in ammoniaca gassosa (Bleizgys *et al.*, 2023). Le temperature più basse, al contrario, rallentano tale processo. L'effetto dannoso di questo gas sugli animali è a carico delle vie respiratorie: esso favorisce infatti lo sviluppo di patologie polmonari.

Acido solfidrico (H_2S)

Prodotto dalla decomposizione anaerobica delle deiezioni, ha un odore caratteristico di uova marce ed è percepibile anche a basse concentrazioni. Durante la movimentazione dei liquami, i suoi livelli possono diventare letali per animali e operatori.

La soglia di tossicità dell'idrogeno solforato (H_2S) per gli animali varia a seconda della specie e della durata dell'esposizione, ma generalmente concentrazioni superiori a 100 ppm possono essere letali. Nelle zone di stabulazione i limiti accettabili per gli animali e per i lavoratori sono di 10 ppm come definito dal TLV-TWA (Abeni *et al.*, 2024; Ji-Qin Ni *et al.*, 2012).

Polveri sottili

Le frazioni di polvere più dannose alla salute corrispondono alle particelle con diametro inferiore ai 10 µm (PM_{10}), ovvero quelle che interessano l'apparato respiratorio. Di queste, quelle con diametro inferiore ai 4 – 5 µm (PM_5) possono arrivare a livello polmonare (frazione respirabile). In particolare, le particelle con diametro inferiore ai 2,5 µm ($PM_{2,5}$) sono considerate le più dannose; esse possono infatti depositarsi a livello alveolare (Abeni *et al.*, 2024). Il particolato è generato in parte dalle attività all'interno della stalla, come il movimento degli animali, la loro alimentazione, e la gestione della lettiera e in parte deriva dall'aria esterna.

2.4. Controllo climatico della stalla

Il benessere animale è strettamente collegato alle condizioni ambientali interne alle strutture di stabulazione. Il controllo ambientale riveste di conseguenza un ruolo importante negli allevamenti, in quanto da esso dipendono la salute e la capacità produttiva degli animali. Di fronte alle nuove esigenze dettate dai cambiamenti climatici, l'importanza di una corretta gestione sarà sempre più necessaria.

Conoscere le condizioni ambientali della struttura è necessario per poter effettuare interventi efficaci e garantire il mantenimento di livelli di qualità dell'aria adeguati.

Il controllo climatico negli allevamenti si basa sull'adozione di soluzioni tecniche e costruttive per limitare l'ingresso di calore dall'esterno ed eliminare quello prodotto in eccesso all'interno. Queste soluzioni si dividono in due categorie principali:

- Soluzioni Passive: queste soluzioni si basano su interventi strutturali. Riguardano la geometria e l'orientamento dell'edificio, le proprietà termiche dei materiali e la disposizione degli spazi. Lo scopo di queste tecniche è ridurre l'impatto delle variazioni climatiche esterne sul microclima interno.
- Soluzioni Attive: prevedono l'utilizzo di impianti e attrezzature specifiche per modificare attivamente i parametri microclimatici. Il loro obiettivo è favorire la dispersione del calore da parte degli animali, intervenendo su fattori come la velocità dell'aria, l'umidità relativa e la temperatura.

2.4.1. Ventilazione naturale

La ventilazione naturale è relazionata alla tipologia di struttura e alle modalità con cui essa è stata costruita. L'orientamento è il primo parametro che garantisce un'efficacie ventilazione naturale e può essere regolato tramite l'utilizzo di tamponamenti, teli, reti ecc. Per sfruttare al meglio le correnti d'aria che si generano grazie all'orientamento, occorre evitare ostacoli in entrata e in uscita dell'aria. Un qualsiasi ostacolo del movimento genera zone meno areate in cui si accumula umidità, gas e polveri (Paganini, 2022).

Un altro fattore che influenza la ventilazione naturale è l'altezza della struttura, che in relazione alla pendenza e alla tipologia di copertura deve consentire un'adeguata aerazione: è consigliabile un'altezza alla gronda tra i 3,5 m e i 4,5 m; una pendenza della copertura compresa tra il 25 % e il 35 %, che genera un buon effetto camino se viene predisposto un cupolino al colmo che procede lungo tutta la lunghezza della struttura (Provolo *et al.*, 2020; Paganini, 2022).

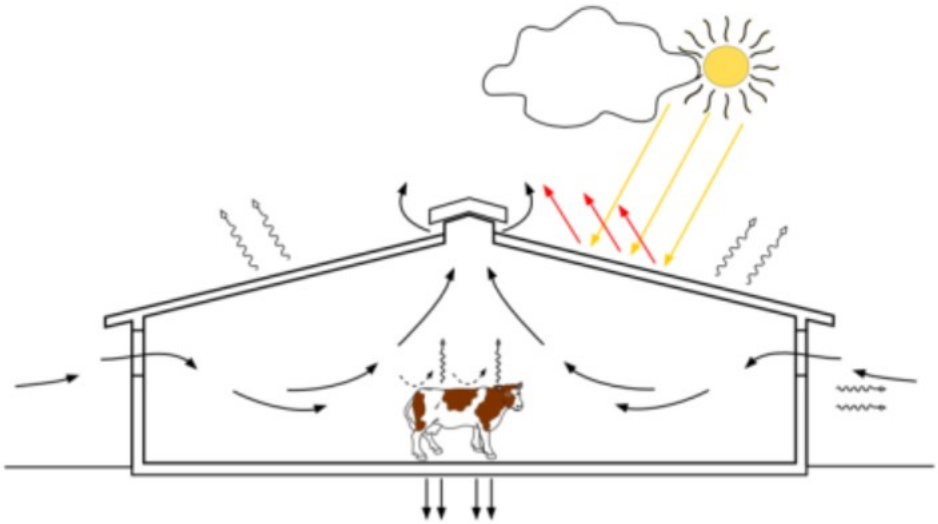

Figura 3: Principali movimenti dell'aria all'interno della struttura e principali scambi termici animale - ambiente, ambiente interno - struttura e struttura - ambiente esterno (Provolo et al., 2020).

L'efficacia della ventilazione è aumentata dalla coibentazione della copertura: un minor temperatura della superficie inferiore della copertura favorisce il movimento dell'aria calda verso e un ricircolo nelle zone più basse.

Una buona coibentazione può essere ottenuta tramite l'utilizzo di pannelli sandwich con strato di poliuretano oppure con l'inserimento di un pannello isolante, lana roccia o fibra di legno (Paganini, 2022).

2.4.2. Ventilazione artificiale

Anche in presenza di una valida aerazione naturale, una movimentazione meccanica dell'aria, quando la velocità è inferiore a 0,9 m/s e la temperatura sale al di sopra dei 24 °C, è necessaria (Paganini, 2022).

Gli impianti di ventilazione artificiale possono essere di due tipologie principali: ad asse verticale e ad asse orizzontale. Nel primo caso il movimento dell'aria verso il basso (perpendicolare alla pavimentazione) ha l'obiettivo di facilitare lo scambio termico degli animali e mantenere asciutte le lettiere evitando di creare l'ambiente adatto alla crescita di batteri patogeni. Nel secondo caso il movimento dell'aria avviene in maniera parallela alla pavimentazione. Questa tipologia di ventilatori garantisce un movimento di grandi masse d'aria lento che garantisce un clima più omogeneo all'interno del ricovero (Paganini, 2022).

Una combinazione delle due tipologie, ovvero ventilatori ad asse inclinato, permette di unire la velocità dell'aria degli impianti ad asse verticale (4 – 5 m/s) alla massa movimentata dagli impianti ad asse orizzontale, con un direzionamento dell'aria verso l'uscita (Provolo *et al.*, 2020; Paganini, 2022).

2.4.3. Sistemi di raffrescamento

Quando la ventilazione, che sia forzata o naturale, non è sufficiente a mantenere le condizioni microclimatiche adatte, si può aggiungere l'uso dei sistemi di raffrescamento. Questi sistemi basano il loro funzionamento sul calore sottratto all'ambiente, per trasformare l'acqua da liquida a vapore acqueo. Il passaggio dell'acqua allo stato gassoso avviene attraverso la nebulizzazione dell'acqua (*air cooling*) o evaporando l'acqua che bagna gli animali (*animal cooling*) (Provolo *et al.*, 2020).

Queste tecniche consentono di diminuire la temperatura all'interno degli allevamenti, ma è necessario un livello di umidità adeguato poiché più è elevata la percentuale di umidità relativa meno acqua si riesce ad evaporare, rischiando che l'acqua in eccesso si accumuli sul pavimento causando possibili scivolamenti degli animali e proliferazione di batteri.

Il sistema di raffrescamento *air cooling* è controllato da apposite centraline dotate di sensori di temperatura che attivano i ventilatori se la temperatura supera un primo valore soglia e la nebulizzazione se si supera la seconda soglia.

Una soluzione altrettanto efficacie per ridurre le temperature negli allevamenti è la bagnatura diretta degli animali, detta *animal cooling*. Questa tecnica utilizza ugelli a bassa pressione che non nebulizzano l'acqua, ma la distribuiscono in modo tale da bagnare gli animali. Con l'utilizzo di questa tipologia di sistema è necessario possedere un sistema di ventilazione che assicuri l'evaporazione dell'acqua. La limitazione di questo sistema è che può essere utilizzato solamente nelle zone in cui non è presente materiale di lettiera, di conseguenza è adoperato solamente nella zona di alimentazione e nelle sale di attesa per la mungitura (Provolo *et al.*, 2020; Paganini, 2022; Abeni *et al.*, 2024).

2.4.4. Il Robot di mungitura

Il sistema di mungitura automatica (AMS – Automatic Milking System), porterebbe a molteplici vantaggi per l'allevatore: riduzione del carico di lavoro, aumento del benessere animale con conseguente aumento della produzione (qualitativa e quantitativa) e riduzione della manodopera.

Oltre al monitoraggio del processo di mungitura (stimolazione, pre - dipping, mungitura, post - dipping), del comportamento, dell'alimentazione e della salute degli animali, il robot di mungitura permette di analizzare la composizione del latte. In questo modo è in grado di rilevare eventuali anomalie all'interno del latte, che verrebbe subito deviato in un contenitore separato. Poiché il sistema di controllo è associato al software di un computer collegato all'AMS i dati raccolti vengono automaticamente archiviati nel sistema. L'archiviazione dei dati automatica e il controllo istantaneo della qualità del latte consentono all'allevatore di gestire individualmente le bovine in lattazione (Bhoj *et al.*, 2022).

2.5. Sostenibilità di un allevamento di bovine da latte

Sostenibilità ambientale è un concetto che si riferisce alla capacità di soddisfare i bisogni di oggi senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i loro. Al giorno d'oggi i prodotti di origine animale che derivano da una produzione che rispetta l'ambiente e l'animale sono sempre più graditi e richiesti (Abeni *et al.*, 2024).

Negli ultimi decenni, l'intero settore zootecnico nazionale ha subito notevoli cambiamenti, anche a causa di nuove normative. Questi progressi hanno portato a un significativo miglioramento della sostenibilità ambientale, sia in modo diretto che indiretto. Come indicato da Ronchi *et al.* (2021), i principali fattori che hanno contribuito a questo progresso includono:

- Miglioramento genetico: selezione di animali più sani e produttivi;
- Benessere animale: adozione di pratiche che migliorano la salute e la qualità della vita degli animali;
- Controllo e tracciabilità: maggiore attenzione all'uso dei farmaci veterinari;
- Tecnologie e innovazioni: introduzione di nuovi metodi e strumenti, specialmente nell'alimentazione e nella nutrizione animale.

L'industria zootecnica ha compiuto significativi progressi in termini di sostenibilità grazie a diverse innovazioni. Le nuove tecnologie introdotte hanno migliorato notevolmente l'efficienza e ridotto l'impatto ambientale (Ronchi *et al.*, 2021).

Sistemi di monitoraggio all'avanguardia, come i sensori che registrano parametri ambientali (come l'indice di temperatura e umidità - THI) e il comportamento animale (riposo, ruminazione, respirazione), permettono agli allevatori di prendere decisioni più precise e razionali, migliorando il benessere degli animali e di conseguenza, le loro performance produttive. L'introduzione di sistemi che permetto di conoscere la composizione degli alimenti ha reso possibile un'alimentazione di precisione, con mangimi, foraggi e piani alimentari più specifici che riducono gli sprechi e migliorano la produzione delle bovine sia a livello qualitativo che quantitativo (Ronchi *et al.*, 2021).

L'inserimento dell'automazione, attraverso robot e sistemi automatici per la distribuzione delle razioni e la gestione della mungitura, riduce il lavoro manuale e migliora la costanza delle operazioni, arrivando ad aumentare la produzione di latte del 10-15% senza compromettere il benessere animale (Ronchi *et al.*, 2021; Paganini, 2022).

Tutti questi progressi sono affiancati da un continuo miglioramento genetico e del benessere animale.

I programmi di selezione genetica, potenziati dalla genomica, hanno dato priorità a caratteristiche che migliorano l'efficienza alimentare e riducono l'impatto ambientale, come la diminuzione delle emissioni di azoto e metano. Un'innovazione chiave è stata la disponibilità di seme sessato, che ha permesso agli allevatori di fare scelte di selezione mirate e di usare l'incrocio con tori da carne (Ronchi *et al.*, 2021). Inoltre, l'Italia, come parte del Piano Nazionale di Contrasto dell'Antibiotico Resistenza (PNCAR 2022-2025), ha implementato misure per migliorare il benessere animale e ridurre il consumo di antibiotici. L'adozione di spazi più ampi, un migliore controllo di igiene, temperatura e ventilazione, e una maggiore disponibilità di punti di abbeverata e alimentazione hanno ridotto drasticamente le patologie. Anche i sistemi di tracciamento più efficaci hanno contribuito a diminuire l'uso di antimicrobici, aumentando la sicurezza dei prodotti di origine animale (PNCAR 2022-25; Ronchi *et al.*, 2021).

La maggior parte dei sistemi zootecnici italiani contribuisce a diversi servizi ambientali e culturali, non solo alla produzione di alimento (FAO, 2021). Questi sistemi sono fondamentali per il mantenimento del paesaggio rurale, degli equilibri ecologici e della

biodiversità, specialmente nelle aree collinari e montane. L'abbandono di queste attività può portare a gravi danni economici, sociali e ambientali (Ramanzin *et al.*, 2019).
Tuttavia, il settore deve confrontarsi anche con gli effetti dei cambiamenti climatici, con fenomeni estremi come piogge intense, periodi di siccità, ondate di calore e squilibri dei periodi stagionali (JRC Technical Report, 2020). Questi fenomeni hanno effetti diretti e indiretti sugli allevamenti bovini:

- Effetti indiretti: riduzione della disponibilità di foraggi, aumento del rischio di patologie vegetali, e diffusione di agenti patogeni tropicali (Nardone *et al.*, 2010).
- Effetti diretti: lo stress da caldo causa una riduzione del 20% della produzione di latte (Bernabucci *et al.*, 2014) e ne compromette la qualità (Vitali *et al.*, 2019). Provoca inoltre alterazioni metaboliche e un aumento della mortalità estiva (Vitali *et al.*, 2015), oltre a compromettere la funzionalità riproduttiva (Dimo *et al.*, 2023).

Per contrastare questi impatti, la ricerca si concentra sulla selezione di animali più resilienti al caldo (Macciotta *et al.*, 2017) e su sistemi di allevamento che si integrino meglio con l'ambiente agricolo (Pulina *et al.*, 2017). La selezione genomica offre un contributo essenziale, poiché permette di migliorare tratti come la resistenza alle malattie e l'efficienza alimentare, che sono meno ereditabili (Weller *et al.*, 2017).
In questo contesto si inserisce la Precision Livestock Farming (PLF), che può rendere l'uso delle risorse più efficiente, lavorando sugli input che il sistema offre (coltivazione e razionamento). Con la PLF si assiste l'allevatore nella gestione degli animali salvaguardando benessere, salute e bisogni di quest'ultimi. L'utilizzo di questa strategia consente di monitorare in modo continuo gli animali sotto vari aspetti e sembra essere un approccio efficace per contribuire alla diminuzione delle emissioni di gas serra (Abeni *et al.*, 2024). Studi effettuati da Gerber e collaboratori, nel 2013, e da altri ricercatori hanno dimostrato che applicare una zootecnia di precisione per migliorare l'efficienza aziendale e ottimizzare l'uso delle risorse è un'ottima strategia per diminuire l'impatto ambientale.

2.6. Frisona Italiana

La Frisona, conosciuta anche come Holstein o Frisona Holstein, è la razza bovina più diffusa al mondo e in Italia. La sua notorietà deriva dall'eccezionale produttività e dall'ottima qualità del latte che produce. Originaria del Nord dell'Olanda, in Europa era

inizialmente considerata una razza a duplice attitudine. Tuttavia, grazie a incroci con ceppi americani e canadesi, la selezione si è concentrata sulla produzione lattiera (https://www.anafi.it/)

Il Libro Genealogico della Frisona Italiana, istituito nel 1977, è gestito dall'Associazione Nazionale Allevatori della Razza Frisona, Bruna e Jersey Italiana (ANAFIBJ).

La Frisona Italiana si distingue per il suo mantello pezzato, prevalentemente bianco e nero, anche se a volte si possono trovare esemplari con pezzatura rossa. L'estensione delle macchie varia da animale ad animale. Le femmine adulte raggiungono un'altezza al garrese tra i 130 e i 150 cm e possono pesare fino a 800 kg. I tori, invece, sono più imponenti, con un'altezza tra i 140 e i 160 cm e un peso massimo di 1.100 kg.

Figura 4: Caratteristiche morfologiche standard di una vacca Frisona Italiana (ANAFIBJ).

Nel 2023, la produzione media annuale della razza Frisona Italiana si attesta intorno agli 11.000 kg di latte per capo, con un tenore medio di grasso del 3,86% e di proteine del 3,38%. In questo anno sono state registrati un totale di 8.903 allevamenti e 1.136.874 vacche, con una media di vacche per allevamento di 128 (https://www.anafi.it/).

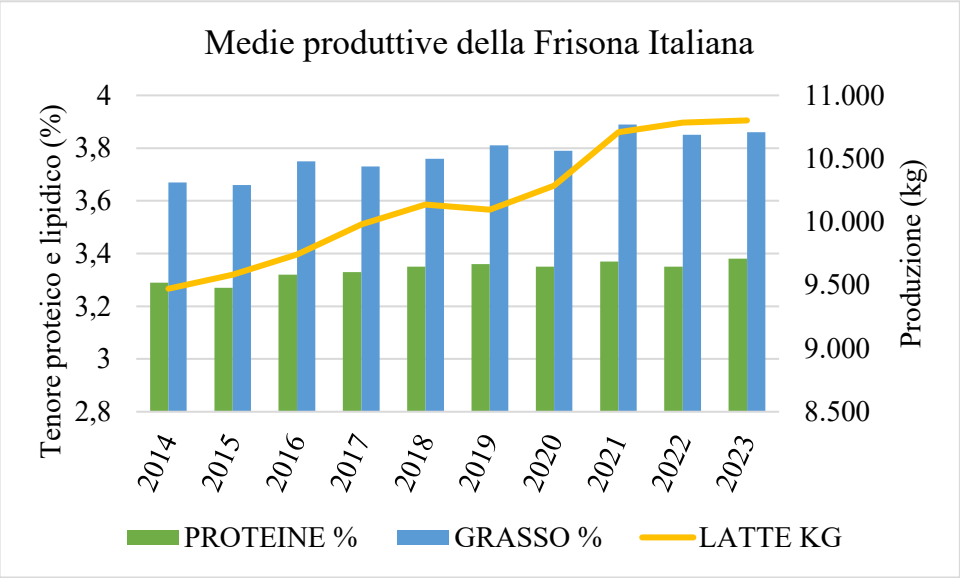

Grafico 1: Andamento quantitativo e qualitativo della produzione di latte della Frisona Italiana dal 2014 al 2023. URL: https://www.anafi.it/it/pubblicazioni-statistiche/medie-produzioni-nazionali-2023

Il *Grafico 1* mostra come tra il 2014 e il 2023, l'aumento della produzione di latte è stato accompagnato da un incremento della percentuale di grasso, salita dal 3,67% al 3,86%. Le proteine, invece, hanno mostrato fluttuazioni meno evidenti, raggiungendo un picco del 3,38% proprio nel 2023.

3. Scopo del lavoro

Il progetto si propone di analizzare e monitorare le condizioni ambientali di un allevamento di bovine da latte, situato in provincia di Trento, per valutarne l'impatto sul benessere animale e sulla produzione. A tal fine, è stato utilizzato un sistema *IoT*, denominato N11 e sviluppato da *IBT Systems*, che raccoglie dati in tempo reale su vari parametri come temperatura, umidità, concentrazione di gas, rumore e illuminazione. I dati raccolti inizialmente, sono stati utilizzati per valutare la qualità dell'aria all'interno della stalla, al fine di giudicare le condizioni ambientali in cui gli animali vivono e in cui il personale lavora.

Inoltre i dati raccolti sono stati impiegati per progettare la costruzione di una nuova stalla nell'azienda e la ristrutturazione dello stabile oggetto di studio, al fine di definire un'idea di miglioramento delle condizioni ambientali e di benessere degli animali e delle persone.

4. Materiali e metodi

4.1. Descrizione azienda

Lo studio è stato svolto presso una stalla di bovine da latte situata a Sclemo, una frazione del comune di Stenico in Provincia Autonoma di Trento situata a 753 m s.l.m.

L'edificio che oggi ospita la stalla è stato una officina meccanica fino al 1985, anno del fallimento dell'attività e di acquisizione da parte della famiglia che tuttora ne è proprietaria.

L'azienda si estende su una superficie di 64 ettari (ha) e gestisce un allevamento di 60 capi bovini, inclusi vacche in lattazione (37), manze, vitelli e vacche in asciutta (con una media, nel periodo di osservazione, di 6 capi). Il piano di rimonta aziendale prevede una sostituzione del 10% dei capi, mentre la restante parte è destinata alla produzione di carne o alla vendita.

La tipologia di allevamento scelta dall'azienda è la stabulazione libera, senza pascolo, per tutti i mesi dell'anno per tutti i capi.

Per quanto riguarda le razze, la maggior parte dei capi allevati (vacche da latte, manze e vitelli) è di razza Frisona Italiana, la restante parte è di razza Jersey Italiana, Pezzata Rossa Italiana e incroci con Blu Belga per i vitelli da carne.

La struttura negli anni è stata ampliata fino a raggiungere le dimensioni attuali di 24 m x 15 m, così da ospitare, come durante il periodo di osservazione, circa 60 capi (vacche in lattazione, manze, manzette, vitelli).

La stalla è composta da: un edificio principale (vecchia rimessa) dove vengono stabulate le bovine in lattazione, un'area all'aperto dedicata alle vacche in asciutta, un settore esterno per le manze e i vitelli da carne e diversi box singoli per i vitellini (*Figura 5*).

Figura 5: Foto della stalla oggetto di studio rappresentanti: A) Vista frontale dell'edificio principale; B) Area esterna adibita alle vacche in asciutta; C) Area esterna adibita a vitelli da carne e alle manze divisi per età; D) Box singoli per vitellini.

La struttura principale si sviluppa su due piani: il piano terra, dove vengono stabulate le bovine, ha un'altezza di 4 m, mentre il piano superiore, utilizzato come magazzino, è alto 3 m per un'altezza totale di 7 m. Il piano terreno è caratterizzato da un soffitto in cemento armato senza aperture.

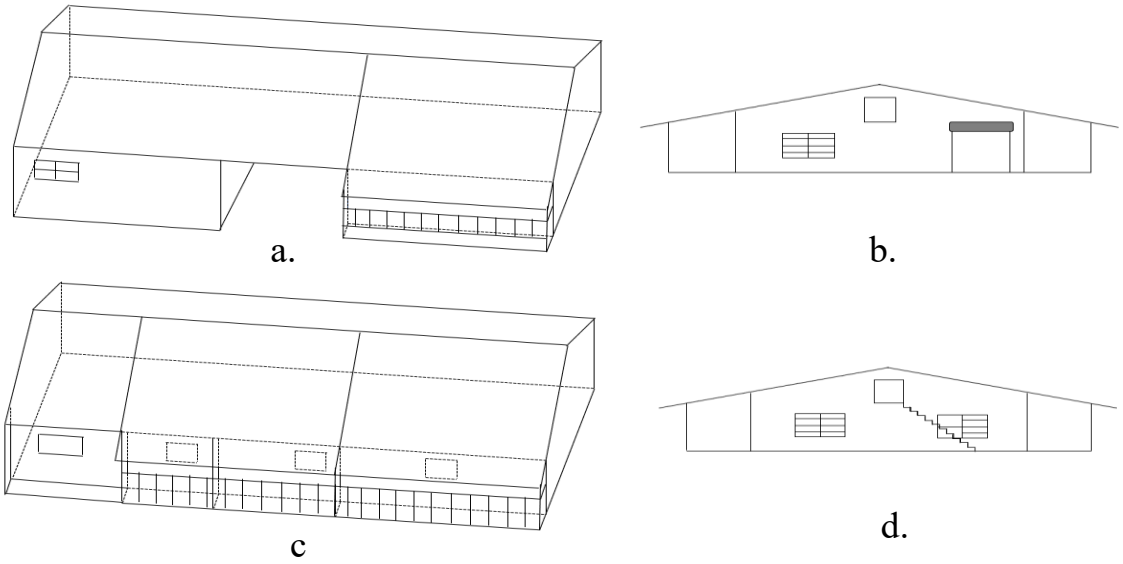

Figura 6: Modello delle varie viste della stalla: a) vista laterale lato nord (area esterna per vacche in asciutta); b) vista frontale lato ovest (entrata principale dello stabile); c) vista laterale lato sud (area esterna per manze e vitelli); d) vista frontale lato est (retro dello stabile).

Nella stalla principale è presente una zona di alimentazione larga 3,5 m con una capacità della rastrelliera pari al 100 % dei capi stabulati (37 catture per 37 vacche in lattazione), una zona di riposo a cuccette con una corsia di smistamento di 2 m e una corsia di foraggiamento di 4,5 m, utilizzata per distribuire la razione giornaliera.

Le cuccette sono disposte in due file da 15 ai lati della zona di riposo, posizionate con sistemazione "groppa a groppa", ovvero con le vacche rivolgono la testa verso l'esterno della struttura, e sono divise da una corsia di smistamento che permette il passaggio degli animali (*Figura 7)*.

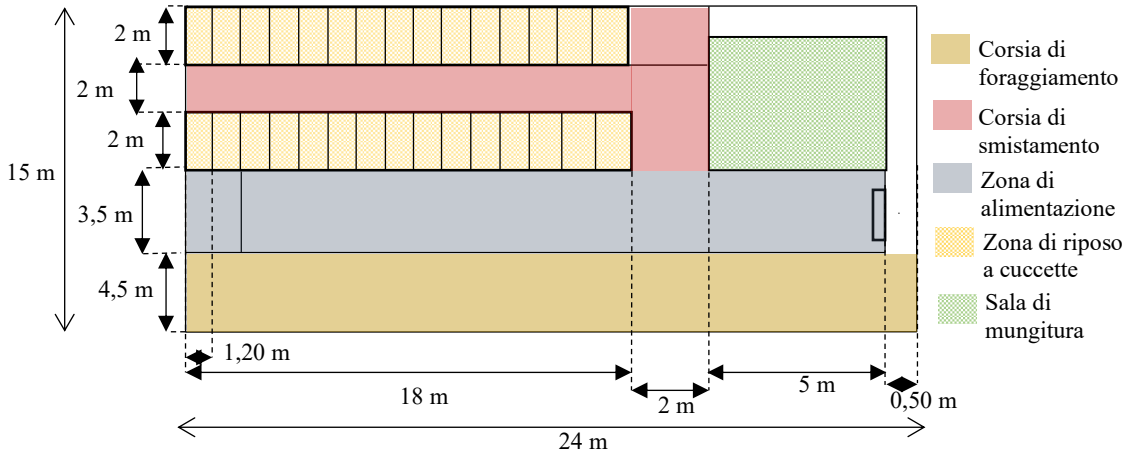

Figura 7: planimetria della struttura principale interna dell'azienda, con evidenziate: sala di mungitura, zona di riposo a cuccette, zona di alimentazione, corsia di foraggiamento e corsia di smistamento.

Le cuccette presentano queste caratteristiche (*Figura 8)*:

- Lunghezza totale di 2,00 m (lunghezza corpo 1,70 m e lunghezza testa di 0,30 m);
- Larghezza di 1,20 m
- Gradino di 0,20 m;
- Fermo al piede, in media, pari a 1,70 m (il valore è risultato variabile nelle diverse misurazioni effettuate);
- Battifianco di 1,60 m;
- Tubo antifuga posizionato a circa 0,95 m di altezza;
- Tubo allineatore, sopra il battifianco, a una lunghezza di 1,70 m.

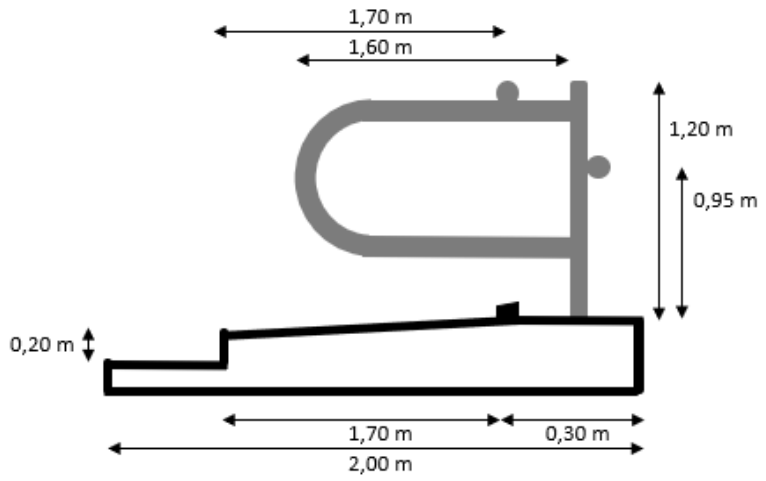

Figura 8: Modello cuccetta della zona di riposo con relative misure

La pavimentazione è caratterizzata da una sistemazione a "pavimento pieno" sia nella zona di riposo sia nella zona di alimentazione.

La gestione dei reflui, di queste zone, avviene grazie all'impiego di un raschiatore ad asta rigida, attivato due volte al giorno, manualmente e durante l'orario di mungitura (5:30 – 6:00 e 17:00 – 18:00).

Figura 9: Foto dell'area interna dello stabile dedicata alle vacche in lattazione

I reflui vengono raccolti in apposite vasche interrate al di sotto della struttura, rispettivamente di 350 m^2 per le vacche in asciutta e in lattazione e 150 m^2 per le manze. Lo stoccaggio dei reflui è di minimo 120 giorni (C.R.P.A., 2009)

La pulizia delle cuccette avviene invece tutti i giorni, due volte al giorno, mentre la sostituzione totale della paglia è prevista ogni due settimane.

L'area adibita alle vacche in asciutta è situata all'esterno sul lato sinistro della stalla principale collegata mediante un cancello manuale. In questa area le vacche non hanno a disposizione delle cuccette, ma la zona di riposo è costituita da lettiera permanente in paglia sostituita ogni due settimane. Quando non sono presenti vacche in asciutta, l'area esterna è a disposizione di tutte le vacche. Anche l'area dedicata ai vitelli e alle manze è posta all'esterno della struttura, ma sul lato destro della stalla principale. In questo spazio gli animali poggiano su una pavimentazione "grigliata" e sono divisi in base all'età e al sesso. Come specificato in precedenza, i vitellini sono invece posti in box singoli (*Figura 5)*.

Figura 10: Foto dell'ingresso della sala di mungitura (sala d'attesa)

Figura 11: Foto di uno dei lati della sala di mungitura con evidenziate le poste, la fossa del mungitore e il piano di calpestio.

All'interno della stalla principale è situata la zona di mungitura, composta da: sala di mungitura, sala d'attesa per la mungitura (in corrispondenza della zona di alimentazione (*Figura 10 - 11)*) e sala di stoccaggio del latte (*Figura 12)*.

La sala di mungitura è costituita da un impianto a “spina di pesce 4+4”. Questo tipo di installazione prevede che gli animali si dispongano a gruppi di 4 con un angolo di circa 32° rispetto al profilo della fossa del mungitore (C.R.P.A., 1999).
Il piano di calpestio degli animali è costituito da piastrelle in pietra grezza e da una grata lungo il bordo della “fossa (del mungitore)” (*Figura 11)*. La zona di calpestio è collegata alla “fossa (del mungitore)” da una scala metallica. Quest’ultima è rivestita interamente da piastrelle di ceramica, per permettere una più accurata pulizia (*Figura 11)*. La pavimentazione in questo caso è realizzata con una pendenza verso il centro della fossa stessa, dove è stato istallato un pozzetto di raccolta.

Figura 12: Foto della sala di stoccaggio del latte.

All’interno della sala di stoccaggio del latte si trova la vasca di refrigerazione e il pannello di controllo per il lavaggio dell’impianto di mungitura (*Figura 12)*.
Gli animali vengono munti due volte al giorno: alle 05:30 e alle 18:00. Agli stessi orari viene attivato manualmente il raschiatore nella zona di riposo, e successivamente nella zona di alimentazione una volta finita la mungitura. Il latte, conservato all’interno della vasca di refrigerazione, dopo le mungiture, viene conferito totalmente al Consorzio Latte Trento, che si occupa della trasformazione del latte nei vari prodotti. Il ritiro e il pagamento del latte da parte del Consorzio avvengono solo se il latte rispetta determinati

parametri: qualitativi (percentuale di grasso e proteine), igienici (carica batterica) e sanitari (cellule somatiche).

Il pagamento del latte a qualità è un sistema che ricompensa i produttori in base alle caratteristiche del latte prodotto, incentivando la produzione e il miglioramento continuo. L'alimentazione e il benessere animale in questo campo giocano un ruolo fondamentale poiché influenzano la qualità del latte e di conseguenza il compenso dell'allevatore dalla vendita di esso (Campiotti, 2021)

In merito all'alimentazione, la razione è costituita sia da alimenti autoprodotti (fieno, avena, erba medica) che da alimenti acquistati, quali: i concentrati proteici (farina di estrazione di soia), energetici (farina di mais) e integratori (mangime complementare minerale).

La razione distribuita è in relazione alla categoria di cui fanno parte le bovine (vacche in lattazione, vacche in asciutta, manze e vitelli).

Per quel che concerne le vacche in lattazione, la razione è caratterizzata da così detto Unifeed ("piatto unico") o TMR (Total Mixed Ration), distribuito una volta al giorno, dopo la mungitura della mattina, tramite carro miscelatore (*Figura 13)*. All'interno della TMR sono presenti a capo:

- 10 kg fasciato di medica;
- 3,5 kg fieno;
- 4 kg fieno fasciato;
- 3,5 kg fasciato di avena;
- 2 kg farina di estrazione di soia
- 7 kg mix di fioccato e farina di mais;
- Mangime complementare minerale per vacche da latte.

Figura 13: Foto del carro miscelatore.

Siccome la miscelata viene distribuita una volta al giorno, è necessario riavvicinarla più volte alla mangiatoia, in modo tale che gli animali ne possano usufruire continuamente.

Anche la razione destinata alle manze e vitelli da carne viene distribuita tramite carro Unifeed.

All'interno del "piatto unico" sono presenti a capo:

- 9 kg fieno fasciato (secondo taglio)
- 4 kg fieno (primo taglio)

Solo per i vitelli da carne viene aggiunto un concentrato energetico (farina di mais), tramite paletta, e vengono aggiunti 4 l di latte.

Per quanto riguarda i vitellini, maschi e femmine, la razione è caratterizzata esclusivamente da latte, che viene somministrato manualmente tre volte al giorno tramite secchiello o biberon per una quantità pari a circa 5 l a capo.

Le vacche in asciutta ricevono invece come razione 1,5 kg (a capo) di Unifeed identico a quello delle manze e fieno di primo taglio *ad libitum*.

4.2. Attività svolte

Per l'avvio dello studio all'interno dell'azienda sono state recuperate, presso l'Università degli Studi di Milano, due centraline (nodi), un *gateway,* per la trasmissione dei dati alla dashboard, due caricatori (uno portatile e uno normale) e due supporti per le centraline (strettoi in acciaio con piastra magnetica all'apice). Successivamente al recupero del materiale, è stata raggiunta la stalla oggetto di studio e sono state effettuate l'accensione e l'istallazione delle centraline. In contemporanea il *gateway* è stato collegato alla corrente (in modo che potesse inviare i dati raccolti), in un punto che non recasse disturbo all'allevatore.

Dopo aver collocato tutto le attrezzature, è stato necessario verificare che tutto funzionasse correttamente e che i dati venissero trasmessi. Per questo motivo, sono stati aspettati 10 min (dall'accensione delle centraline e dall'attacco del *gateway*) e poi è stata controllata la dashboard dove vengono inviati i dati per verificare l'effettiva registrazione dei parametri da parte delle centraline.

Ogni giorno, insieme alla raccolta dei dati ambientali, sono stati raccolti in una tabella Excel i litri di latti ritirati in azienda dal Consorzio Latte Trento. Questo lavoro è sto possibile grazie alla collaborazione dell'allevatore, che puntualmente inviava la foto dello scontrino cartaceo consegnatoli al ritiro del latte.

4.3. Strumenti per la misurazione dei parametri ambientali

4.3.1. Sistema *IoT (Internet of Things)*

Nell'allevamento moderno, il benessere degli animali e l'impatto ambientale sono temi sempre più importanti. Per garantire che gli animali vivano in condizioni ottimali e per monitorare l'inquinamento, è fondamentale tenere sotto controllo i fattori ambientali.

Per questo, è stata sviluppata e installata, in diversi allevamenti di bestiame, una soluzione tecnologica. Si tratta di un sistema *IoT* (*Internet Of Things*), che si basa su piccoli dispositivi, chiamati nodi, posizionati all'interno delle stalle in punti specifici (rilevanti dal punto di vista costruttivo).

Ogni nodo raccoglie i dati grezzi dai diversi sensori, li elabora direttamente sul posto e poi li invia a un *gateway*.

I *gateway* fungono da "ponte" tra i nodi e il *cloud* e possono essere alimentati dalla normale rete elettrica o da pannelli solari con batteria di riserva (*Figura 14)*.

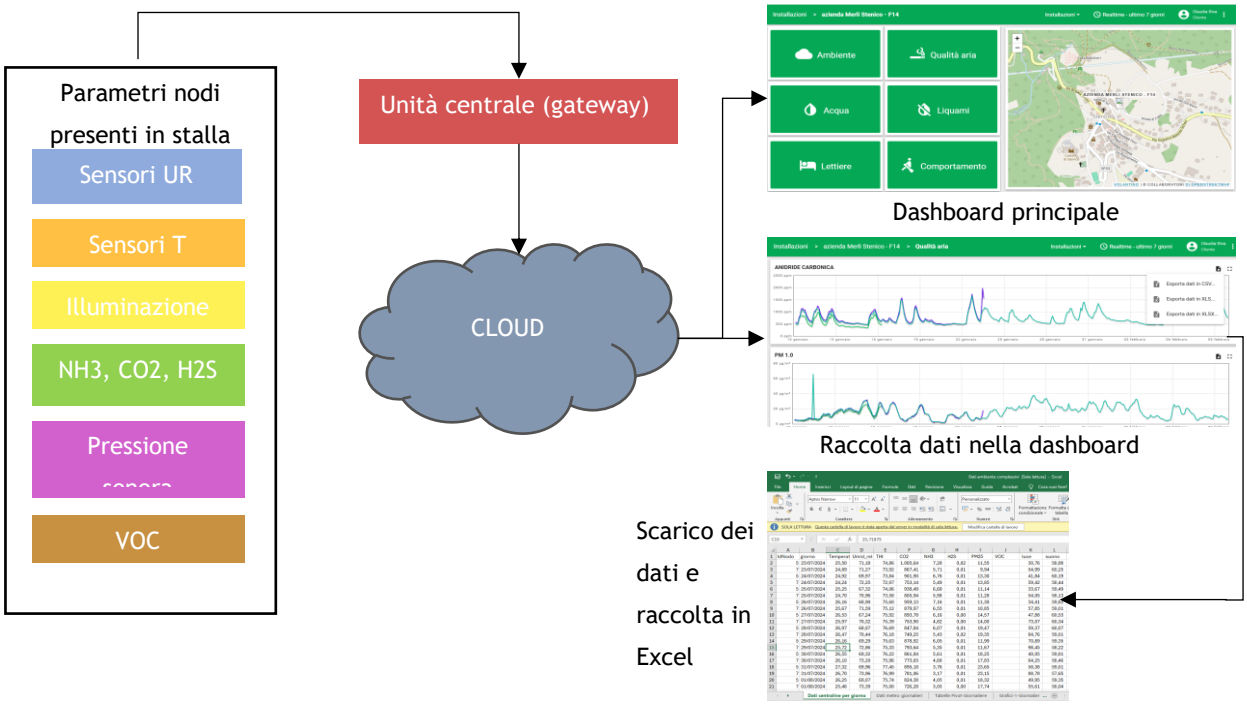

Figura 14: Schema del funzionamento del sistema IBT System e dello scarico dei dati

I dati raccolti da tutti i sensori vengono poi visualizzati su una *dashboard*, che offre una panoramica completa in tempo reale di tutte le condizioni ambientali.
L'utilizzo di questi dati è estremamente utile al fine di permettere agli allevatori di gestire in modo più sostenibile la loro attività, migliorando il benessere e il comfort dei propri animali.

4.3.2. Sistema IBT System

In quest'ottica, *IBT Systems* di Milano, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università di Milano, ha sviluppato un multi-sensore chiamato N11 (Provolo *et al.*, 2024).
Il nodo N11, sostanzialmente, è composto da quattro componenti:

- Una scheda principale che collega tutte le varie componenti. La scheda è stata progettata su misura e integrata in contenitore di plastica, pensato per resistere all'ambiente della stalla.
- Un alimentatore in grado di garantire autonomia. Difatti le batterie interne assicurano circa 20-25 giorni di funzionamento continuo al nodo stesso.
- Un'unità di elaborazione costituita da un microprocessore a basso consumo energetico che gestisce tutte le varie operazioni. Quest'ultimo è dotato di una doppia connettività *wireless*: il *Bluetooth Low Energy* (BLE) e una radio personalizzata per inviare i dati al *gateway*.
- I sensori, alcuni montati direttamente sulla scheda principale, altri presenti direttamente sulle schede di espansione specializzate per ottimizzare i processi di posizionamento e le misurazioni.

I sensori del nodo N11 (*Figura 15)* sono in grado di rilevare numerosi parametri ambientali, tra cui: temperatura, umidità, pressione sonora, illuminazione, concentrazione di gas elettrochimici (anidride carbonica, ammoniaca, idrogeno solforato), presenza di polveri sottili e composti organici volatili (VOC).

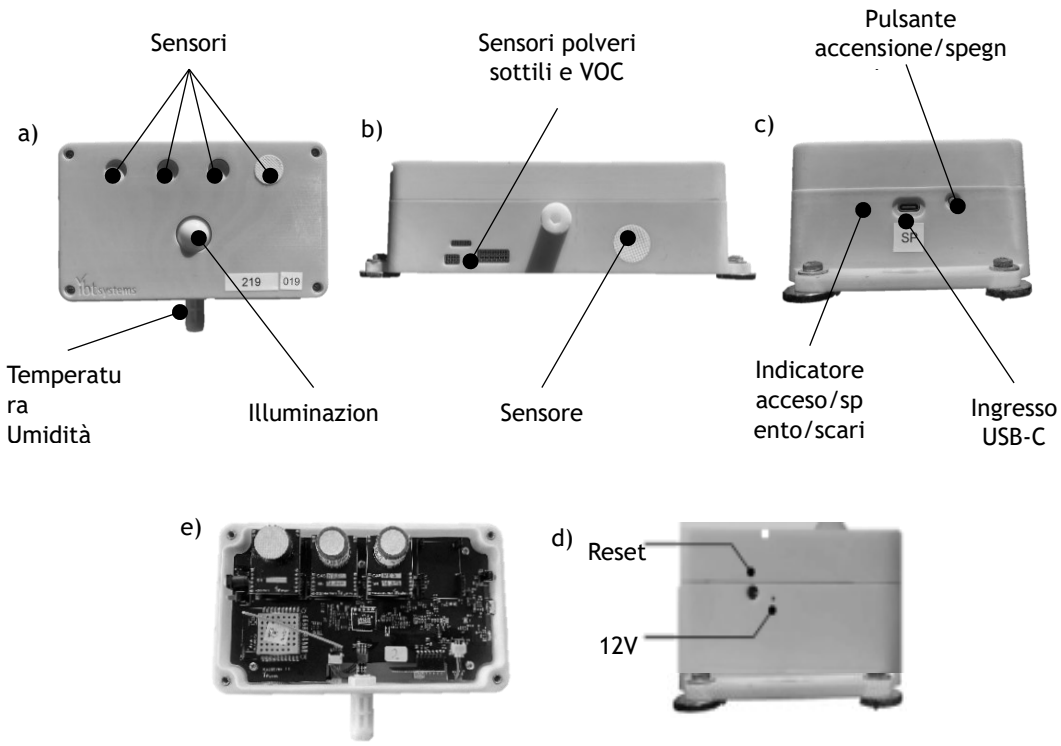

Figura 15: Visione delle diverse parti del nodo N11 (centralina 219): a) parte superiore; b) parte frontale; c) parte laterale destra; d) parte laterale sinistra; e) visione interna del sistema della centralina.

Il modo in cui i sensori operano varia a seconda della tipologia di segnale: analogico o digitale. Il segnale analogico è gestito direttamente dal *software* del nodo (che controlla ogni aspetto della misurazione), mentre il segnale digitale il digitale monitora internamente il processo di raccolta dati restituendoli a intervalli predefiniti.

I dati inviati dai nodi seguono una logica di campionamento ben definita: i dati relativi a temperatura e umidità vengono misurati ogni 10 minuti, mentre le misurazioni corrispondenti ai gas elettrochimici si verificano ogni 10 secondi (sistema restituisce poi i dati mediati su un tempo pari a 10 minuti). I dati relativi alla pressione sonora vengono rilevati ogni 10 secondi ed elaborati dal sistema che, oltre a individuare il valore massimo e minimo, esegue una media aritmetica relativa a un arco temporale di 10 minuti. In merito alla concentrazione dell'anidride carbonica e all'illuminazione presenti in stalla, i dati vengono misurati ogni minuto e, anche in questo caso, il sistema restituisce un risultato mediato sui dieci minuti. Le polveri sottili e i VOC vengono invece misurati ogni 15 minuti.

Con questo metodo, ogni dieci minuti, il nodo è in grado di raccoglie ed elaborare tutte le misurazioni disponibili, inviandole successivamente al *gateway* tramite un pacchetto di dati compresso. In questo modo viene fornito un quadro completo delle condizioni ambientali dell'allevamento (Provolo *et al.*, 2024).

4.4. Raccolta dati

4.4.1. Raccolta dei dati all'interno dello stabile

Il 23 luglio 2024 sono stati installati all'interno della stalla oggetto di studio, due nodi N11 (centraline) sviluppati da IBT Systems in collaborazione con l'Università di Milano. Questi dispositivi sono stati posizionati sulle due colonne portanti dell'edificio a un'altezza di 2,50 metri, a partire dal muretto in calcestruzzo che divide zona di alimentazione dalla zona di riposo, per evitare che gli animali potessero raggiungerli e danneggiarli. Le centraline erano sostenute da uno strettoio in acciaio (stretto alla colonna) con piastra magnetica alla base (dove veniva posizionata la centralina con piedini magnetici).

I nodi utilizzati sono forniti di una batteria che deve essere ricaricata circa ogni 20 giorni. Per questo motivo l'allevatore doveva staccarle dalla piastra magnetica e ricaricarle tramite un cavo con ingresso USB-C, per poi riposizionarle sul supporto.

Il nodo N11 è in grado di rilevare di parametri ambientali (temperatura, umidità, gas nocivi, illuminazione, rumore e polveri sottili) con una logica di campionamento specifica per ogni parametro.

Ogni 10 minuti, i nodi hanno raccolto le varie misurazioni, le hanno elaborate e inviate al gateway, che ha successivamente inviato i dati alla dashboard da cui sono stati in seguito scaricati in formato .xlsx (formato file Excel predefinito basato su XML) per essere elaborati attraverso i fogli di calcolo (Excel).

4.4.2. Problematiche centraline

La struttura nella quale sono state posizionate le centraline ha un'altezza di 4 m e non presenta aperture nella parte superiore (soffitto pieno in cemento armato con aperture solamente sui lati della struttura). A causa di questa conformazione la stalla non permette un buon ricircolo dell'aria e, di conseguenza, un allontanamento delle polveri sottili

presenti. Nel lungo periodo questa condizione ha avuto ripercussioni sulle centraline: ostruzione dei sensori con seguente malfunzionamento dei componenti principali dei nodi.

L'ostruzione dei sensori ha bloccato la rilevazione dei vari parametri, in particolare temperatura, umidità e THI, e ha causato una serie di problemi tecnici alla batteria (non manteneva la carica o non si caricava) e alla scheda principale. Questi malfunzionamenti hanno comportato l'assenza di dati nel periodo compreso tra il 24 ottobre 2024 e il 17 novembre 2024.

Al fine di proseguire la raccolta dei dati, le centraline difettose sono state sostituite da due nuove, completamente funzionanti, che hanno però iniziato a presentare gli stessi problemi dopo due mesi all'interno della stalla. Il 31 gennaio 2025 entrambe le nuove centraline trasmettevano solamente i valori di rumore ed illuminazione, ed è stata conclusa la fase di monitoraggio.

4.5. Controlli funzionali

I dati riguardanti la produzione di latte dell'azienda sono stati raccolti indirettamente. Le informazioni sono state ricavate in modo mediato, attraverso i controlli funzionali mensili I risultati trasmessi dall'ARA in formato PDF all'allevatore contengono informazioni relative all'intera mandria e alle singole bovine.

All'interno del report i capi vengono raggruppati per gruppo produttivo e ogni vacca presente viene riassunta su due righe (https://alleva-menti.unimi.it/wp-content/uploads/sites/92/2024/12/Scheda-Controlli-funzionali-DEF-1.pdf).

I controlli funzionali effettuati sono stati utili a raccogliere informazioni relative al numero di capi in lattazione al momento del controllo, ai capi a rischio acidosi, al gruppo produttivo, alla qualità del latte (% grasso, % proteine, % caseina, % urea e cellule somatiche) e alla quantità (produzione media a capo e totale), al numero di lattazione e ai giorni inter-parto. Di questi parametri sono stati utilizzati principalmente i dati relativi agli aspetti qualitativi del latte (% grasso, % proteine e cellule somatiche) e quelli riguardanti l'aspetto quantitativo (media produzione a capo e totale).

4.6. Elaborazione dei dati

4.6.1. Dati ambientali

L'elaborazione dei dati ambientali si è concentrata sulle rilevazioni eseguite dalle centraline all'interno della struttura oggetto di studio e sulle rilevazioni della stazione meteo presente vicino al paese dove è ubicata la stalla.

La prima operazione eseguita è stata quella di scaricare i dati riguardanti l'ambiente esterno allo stabile. Questo è stato possibile grazie a una stazione meteo presente a San Lorenzo in Banale, un paese distante 2,5 km in linea d'aria da Sclemo. I dati raccolti dalla stazione meteo sono stati scaricati e trasferiti su un foglio di calcolo, essi riguardavano temperatura, umidità, velocità e direzione del vento. Tra i parametri scaricati mancava il THI, per questo motivo, il primo lavoro è stato calcolare, per il periodo oggetto di studio, il *Temperature - Humidity Index* (THI) sulla base della temperatura e dell'umidità esterne misurate dalla stazione meteo.

In questo studio è stata utilizzata la formula sviluppata dal *National Research Counsil* (NRC, 1971; Yan *et al.*, 2021):

$$THI = (1{,}8 \times TA + 32) - (0{,}55 - 0{,}55 \times UR/100) \cdot [(1{,}8 \times TA + 32) - 58]$$

Dove TA è la temperatura espressa in gradi centigradi (*°C)* e UR è l'umidità relativa misurata in percentuale (*%).* Calcolare il THI al di fuori dello stabile ha permesso di effettuare in un secondo tempo un confronto tra il THI presente all'interno (registrato dalle centraline) e all'esterno della stalla.

L'elaborazione dei dati ha previsto la realizzazione di grafici rappresentanti gli andamenti medi di tutti parametri. Oltre all'analisi degli andamenti generali su tutto il periodo di misurazione, i valori sono stati confrontati sulla base di tre distinti periodi: estate, autunno e inverno. I dati di temperatura, umidità e THI, sono stati anche confrontati con i valori registrati all'esterno della stalla.

La valutazione dei dati generali e stagionali hanno permesso di verificare l'eventuale relazione tra l'andamento di alcuni parametri e l'applicazione di determinate pratiche di gestione dell'allevamento, descritte dall'allevatore, come la concentrazione di ammoniaca e il passaggio del raschiatore, la presenza di polveri sottili e il cambio della lettiera, della paglia nelle cuccette e la distribuzione della razione.

4.6.2. Dati gas nocivi

Per i gas oggetto di analisi (anidride carbonica, ammoniaca e acido solfidrico) sono stati stabiliti dei limiti di esposizione per garantire la sicurezza dei lavoratori. Questi limiti sono espressi in termini di concentrazione massima consentita in base alla durata dell'esposizione. L'indicatore principale utilizzato a questo scopo è il Valore Limite di Soglia - Media Ponderata nel Tempo (TLV-TWA). Esso definisce la più alta concentrazione media di una sostanza nociva presente nell'aria a cui un lavoratore può essere esposto durante un turno di 8 ore giornaliere e 40 ore settimanali, senza subire effetti dannosi sulla propria salute. Tale definizione è fornita dal *Canadian Center for Occupational Health and Safety* (CCOHS).
La *Tabella 2* rappresenta i limiti utilizzati nello studio per la valutazione della qualità all'interno della stalla basati sulle informazioni fornite dal CCOHS.

GAS NOCIVO	***LIMITE CONSENTITO ANIMALI***
Anidride carbonica (CO_2)	*2500 ppm animali e 5000 ppm lavoratori*
Ammoniaca (NH_3)	*10 ppm*
Acido solfidrico (H_2S)	*100 ppm*

Tabella 2: Tabella riassuntiva dei valori limite stabiliti dal CCOHS attraverso

4.6.3. Dati controlli funzionali

Sulla base delle informazioni riportate dai controlli funzionali, per ogni mese è stata costruita una tabella che rappresentava i valori medi di tenore proteico, tenore lipidico, cellule somatiche e produzione divisi per la categoria delle bovine (primipara, secondipara e pluripara), e totali dell'azienda. Successivamente i valori raccolti nelle tabelle mensili sono stati divisi in ulteriori tabelle per rappresentare le medie dei parametri analizzati divise per categoria. Queste nuove tabelle sono state utilizzate per la costruzione di grafici in cui è possibile osservare i cambiamenti della produzione (qualitativa e quantitativa) dell'azienda in relazione alla categoria delle bovine. Il secondo passo è stato costruire con i dati precedentemente elaborati, un grafico che metta in relazione la produzione, divisa per il numero di lattazione delle bovine, e il THI presente all'interno della stalla.

Qualità del latte

Un buon latte, alla stalla, dovrebbe presentare le seguenti caratteristiche: grasso > 3,75 % (pagamento > 3,80 %); proteine > 3,25 % (pagamento > 3,30 %); caseina > 2,50 %; cellule somatiche < 200.000 cellule/ml e carica batterica < 60.000 UFC/ml (IZSLER, 2020).

GRASSO (per linea centesimale)	< 3,70 g/dl	-0,2065 euro x 1.000 litri (-0,4 lire/litro)
	3,70 – 3,80 g/dl	Franchigia
	> 3,80 g/dl	+0,2065 euro x 1.000 litri (0,4 lire/litro)
PROTEINE (per linea centesimale)	< 3,25 g/dl	-0,4648 euro x 1.000 litri (-0,4 lire/litro)
	3,25 – 3,30 g/dl	Franchigia
	> 3,30 g/dl	+0,4648 euro x 1.000 litri (0,9 lire/litro)
CARICA BATTERICA (per ml)	< 30,000	+2,0658 euro x 1.000 litri (4 lire/litro)
	30,000 – 100,000	Franchigia
	> 100,000	-5,1646 euro x 1.000 litri (-10 lire/litro)
CELLULE SOMATICHE (per ml)	< 150,000	+5,1646 euro x 1.000 litri (10 lire/litro)
	150,000 – 300,000	+2,5823 euro x 1.000 litri (5 lire/litro)
	300,301 – 350,000	Franchigia
	350,001 – 400,000	-2,5823 euro x 1.000 litri (-5 lire/litro)
	> 400,000 (*)	-5,1646 euro x 1.000 litri (-10 lire/litro)

(*) annullamento eventuali premi per proteine. Ai premi ed alle penalità va aggiunta l'IVA di legge al 10%. Premi e detrazioni sono calcolati e liquidati su media ponderata trimestrale per i parametri "grasso" e "proteine", sono invece calcolati e liquidati su media geometrica

Figura 16: Tabella parametri di pagamento dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna (IZSLER), 2009

Nella *Figura 16* sono stati riportati i parametri di pagamento del latte sviluppati dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna (IZSLER), aggiornato al 2009.

4.6.1. Riprogettazione della stalla

Sulla base della valutazione della qualità ambientale e del benessere degli animali, è stata considerata l'opportunità di riprogettare la struttura. Il progetto si è basato su criteri che garantiscano il benessere degli animali e, allo stesso tempo, la soddisfazione dell'allevatore in termini di efficienza economica e sicurezza del lavoro.

Per la riprogettazione sono stati presi in esame diversi parametri costruttivi, tra cui: l'orientamento, l'esposizione e i materiali, nonché forma e dimensione della stalla, illuminazione ed impiantistica. Sono state inoltre definite le dimensioni ottimali degli spazi interni (zona di riposo, corsie, zona di alimentazione e mungitura, sala d'attesa e corsia di foraggiamento).

Particolare attenzione è stata dedicata alla ventilazione, sia naturale (dipendente dall'orientamento della struttura, dalle dimensioni e dalla forma) che forzata, alla pavimentazione e all'illuminazione (Provolo G. *et al.*, 2020).

Infine, è stata valutata l'integrazione di sistemi automatici come robot di mungitura e robot per raccolta dei reflui per ottimizzare ulteriormente il lavoro e la gestione, oltre ad apportare un efficientamento dell'attività aziendale.

5. Risultati e discussione

5.1. Dati ambientali generali

In questo capitolo, verranno analizzati e confrontati i dati relativi alla temperatura, all'umidità relativa (UR), al *Temperature - Humidity Index* (THI), sia all'interno che all'esterno della stalla oggetto di studio. Inoltre, saranno descritti i grafici inerenti alla relazione tra THI e produzione, alle concentrazioni di gas (anidride carbonica, ammoniaca e acido solfidrico), alla presenza di polveri sottili ($PM_{2,5}$), all'illuminazione e alla pressione sonora. I grafici riguardano i dati raccolti durante l'intero periodo di studio: dal 23 luglio 2024 al 31 gennaio 2025. La zona del diagramma che non presenta rilevazioni, è dovuta a una mancata registrazione dei dati da parte delle centraline causata a sua volta da problemi tecnici al sensore e alla scheda principale.

Successivamente all'analisi dei dati ambientali classificati per periodo di studio, sono state eseguite elaborazioni a livello stagionale per tutti i parametri. Il giorno di cambio della stagione è stato scelto sulla base dei valori di temperatura che hanno mostrato in due occasioni dei cali nelle registrazioni da un giorno all'altro: l'11/09/24 (da estate ad

autunno) e il 23/11/24 (da autunno a inverno). Questo ha permesso di analizzare nello specifico i cambiamenti all'interno della struttura per quanto riguarda la qualità ambientale.

I grafici complessivi del periodo di studio sono stati costruite utilizzando le medie giornaliere effettuate facendo la media dei valori orari registrati ogni giorno, mentre le elaborazioni stagionali sono state effettuate utilizzando le medie orarie del giorno per ogni stagione.

5.1.1. Analisi temperatura

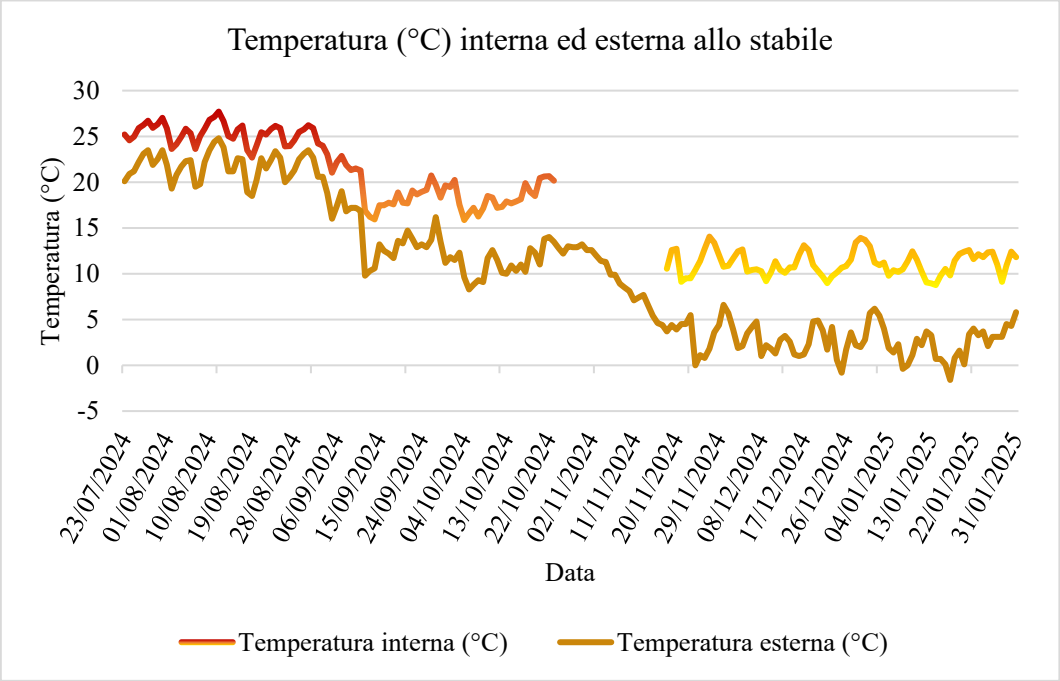

Grafico 2: Andamento della temperatura interna ed esterna allo stabile nel periodo oggetto di studio.

Il *Grafico 2* mostra le variazioni della temperatura interna ed esterna all'edificio: nelle settimane, dal 23 luglio all'11 settembre, la temperatura interna oscilla tra i 20 °C e i 27 °C, mentre quella esterna è più bassa, variando tra i 16 °C e i 25 °C. questo indica un non adeguato isolamento della struttura. Una buona coibentazione permetterebbe di avere la temperatura interna della stalla uguale o leggermente inferiore a quella esterna, aiutandogli animali a mantenere il loro comfort termico e riducendo il rischio di stress (sia da freddo che da caldo) (Provolo G. *et al.*, 2020).

Dal 12 settembre, entrambe le temperature mostrano una decrescita costante. La temperatura esterna si mantiene tra gli 8 °C e i 15 °C, con un picco il 28 settembre a 16 °C, mentre la temperatura interna varia costantemente tra i 15°C e i 21°C.

Dal 24 ottobre la temperatura esterna presenta un calo notevole: da 13°C passa a 0 °C il 23 novembre per poi stabilizzarsi tra gli 0 °C e i 6 °C. Per quanto riguarda la temperatura interna, dal 17 novembre al 31 gennaio, viene mantenuto un valore tra gli 8 °C e i 15 °C. Una situazione termica ottimale, per una bovina in lattazione, si presenta in condizioni di temperatura comprese tra -5 °C e 25 °C. Questo *range* termico definisce la zona di

neutralità termica, ovvero intervallo di temperatura in cui è minima la produzione di calore e massima l'energia utilizzabile dall'animale per la produzione (Manenti *et al.*, 2001; Provolo G. *et al.*, 2020). All'interno dello stabile i valori registrati, indicano che la temperatura media, nel periodo estivo, arriva a 27 °C, questo valore è superiore al valore massimo definito dal *range* termico che definisce la zona di termo-neutralità delle bovine, indicando un possibile avvicinamento alla zona di iper-termia (*Figura 1)*.

Le zone del *Grafico* in cui sono evidenti dei cali della temperatura (11/09/2024 e 23/11/2024), sono stati utilizzati come valori di cambio stagione per le analisi successive.

5.1.1.1. Analisi stagionale temperatura

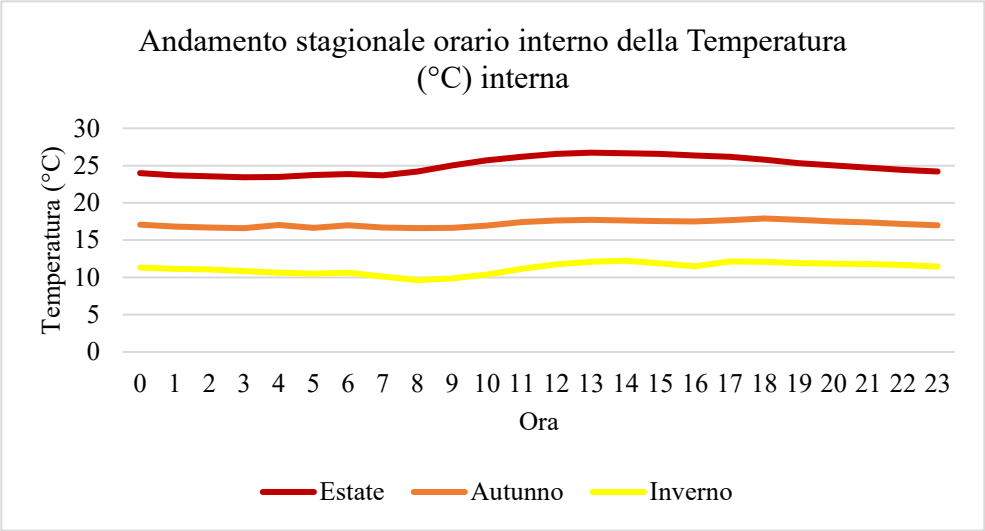

Grafico 3: Andamento orario delle temperature (°C), all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

Analizzando il *Grafico 3* emerge un quadro chiaro del rapporto tra temperature interne ed esterne nelle diverse stagioni.

Durante l'estate, le temperature interne mantengono valori al di sopra dei 20 °. Una temperatura così elevata all'interno della struttura è indice di un problema. Se si osserva la temperatura esterna (*Grafico 2),* è possibile notare che mantiene valori costantemente inferiori di circa 4 °C, quindi all'interno della stalla fa molto più caldo rispetto all'esterno. Anche in autunno, la temperatura interna è costantemente più alta di quella esterna. La differenza, tra le due temperature, aumenta man mano che la stagione autunnale avanza:

le temperature esterne scendono notevolmente, arrivando anche sotto i 5 °C, mentre quelle interne rimangono tra i 15 °C e i 20 °C, *range* termico che può essere definito ottimale per la bovina (Provolo et al., 2020; Paganini, 2022). Nel periodo invernale, la temperatura interna si stabilizza tra i 10 °C e i 15 °C, mentre quella esterna è molto più variabile. Le escursioni termiche esterne registrate sono ampie, con valori che vanno da circa 6 °C a temperature negative, ma sempre al di sotto della temperatura interna. Le temperature registrate in questa stagione, come per l'autunno, si sono rilevate adeguate al comfort delle bovine. In entrambi i casi i valori si trovano all'interno della zona di omeotermia descritta nella *Figura 1.*

Osservando i grafici è possibile notare una similarità nell'andamento, le linee di tutte e tre le stagioni descrivono andamenti paralleli tra loro con valori interni superiori ai valori esterni

Un tale andamento è corretto se ci si trova in un periodo autunnale o invernale. In queste occasioni, per assicurare il benessere animale, i valori della temperatura all'interno della stalla devono essere mantenuti superiori a quelli esterni. Nei periodi caldi, al contrario, è consigliabile mantenere temperature interne inferiori o simili a quelle esterne, questo perché un'elevata temperatura interna associata ad elevata umidità relativa, è uno dei fattori che innesca lo stress da caldo nelle bovine (Provolo G. et al, 2020).

La coibentazione delle strutture riduce il trasferimento di calore mantenendo una condizione termica più favorevole sia d'inverno, sia d'estate (Provolo G. *et al.*, 2020).

Nel complesso la struttura (sulla base di questo parametro) sembra presentare delle criticità nella coibentazione: in estate il calore viene trattenuto all'interno, generando possibili situazioni di stress nelle bovine (Provolo *et al.*, 2020; Bernabucci *et al.*, 2021), situazione invece utile nelle stagioni successive per mantenere le temperature a livelli ottimali.

5.1.2. Analisi umidità

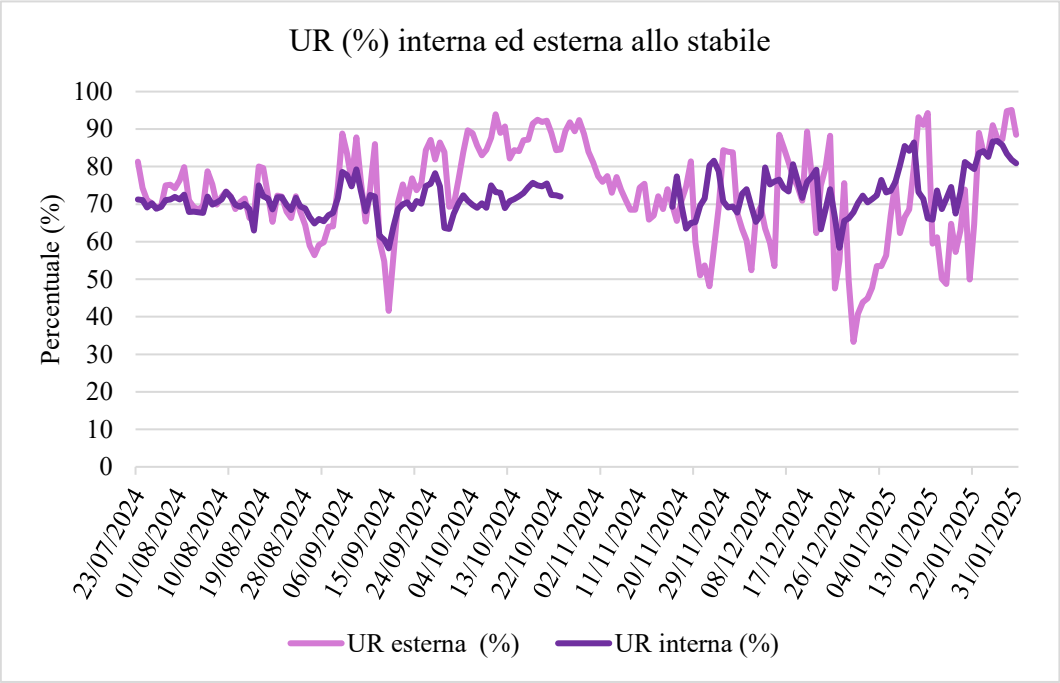

Grafico 4: Andamento dell'umidità relativa (UR), interna ed esterna allo stabile, nel periodo oggetto di studio.

Per quanto riguarda l'umidità relativa (UR), descritta nel *Grafico 4*, dal 23 luglio al 3 settembre, i valori interni alla struttura oscillano, senza considerevoli picchi, tra il 60 % e il 75 %, mentre l'UR esterna è più variabile, con picchi che superano l'80 % tra il 4 settembre e il 12 settembre.

Nel periodo successivo, si osserva una maggiore oscillazione di entrambi i valori. L'umidità interna presenta variazioni frequenti tra il 60 % e l'80 %, fino ai primi di gennaio, dove si è registrato picco pari a 86 % (9 gennaio), mentre l'umidità esterna mostra variazioni più ampie, toccando minimi sotto il 40 % dopo il 27 dicembre e massimi che superano il 90 % l'11 gennaio, il 12 gennaio e il 30 gennaio.

L'umidità relativa ottimale per le bovine si aggira tra il 50 % e l'80 % (Provolo G. *et al.*, 2020).

Dalla descrizione del *Grafico 4* è possibile notare che la struttura è riuscita a mantenere all'interno dei livelli ottimali di umidità (tra il 50 % e l'80 %) per il benessere animale, questi valori, sebbene rientrino nell'intervallo descritto precedentemente, si aggirano

spesso tra il 70 % e l'80 %, indicando comunque un'elevata presenza di umidità che abbinata ad alte temperature o basse temperature, descritte nei *Grafici 2 e 3,* può generare problemi (Abeni *et al.*, 2024).

5.1.2.1. Analisi stagionale umidità

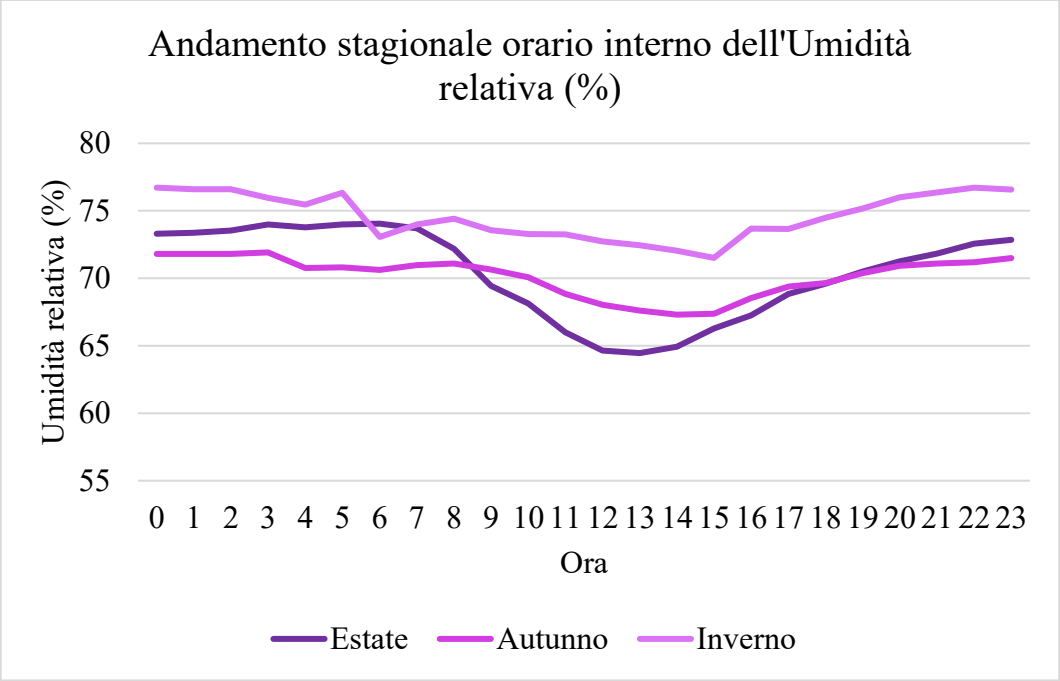

Grafico 5: Andamento orario dell'Umidità relativa (%), all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

All'interno del *Grafico 5*, è stata rappresentata, a livello stagionale, l'umidità relativa interna ed esterna alla struttura. I diagrammi mostrano più nel dettaglio l'andamento descritto precedentemente.

All'interno della stalla, come mostrato nel *Grafico 4,* l'umidità relativa mantiene dei valori quasi ottimali compresi tra il 50 % e l'80 %, e solo in alcuni casi, nel periodo invernale, supera l'80 %.

Il *Grafico 5*, mostra che l'umidità relativa invernale è più alta rispetto alle altre due stagioni, che registrano variazioni comprese tra il 65 % e il 75 %. Tutti e tre gli andamenti registrano dei cali di umidità nelle ore in cui si registrano le temperature più alte (*Grafico 3),* ovvero tra le 10 e le 16.

Nel periodo invernale, un'umidità troppo elevata, associata alle basse temperature della stagione, potrebbe originare problemi di proliferazione batterica e muffe, nonché causare del disagio agli animali a cui viene impedita o resa difficoltosa la gestione del calore corporeo. La stalla oggetto di studio sebbene mantenga dei valori adeguati, è sempre vicino a registrare valori limite, di conseguenza, per garantire il benessere delle vacche da latte durante le diverse stagioni è possibile adottare soluzioni edilizie e impiantistiche atte a migliorare le condizioni ambientali di allevamento aiutando gli animali nella dispersione del calore (Ferrari P. *et al.*, 2006).

5.1.3. Analisi THI

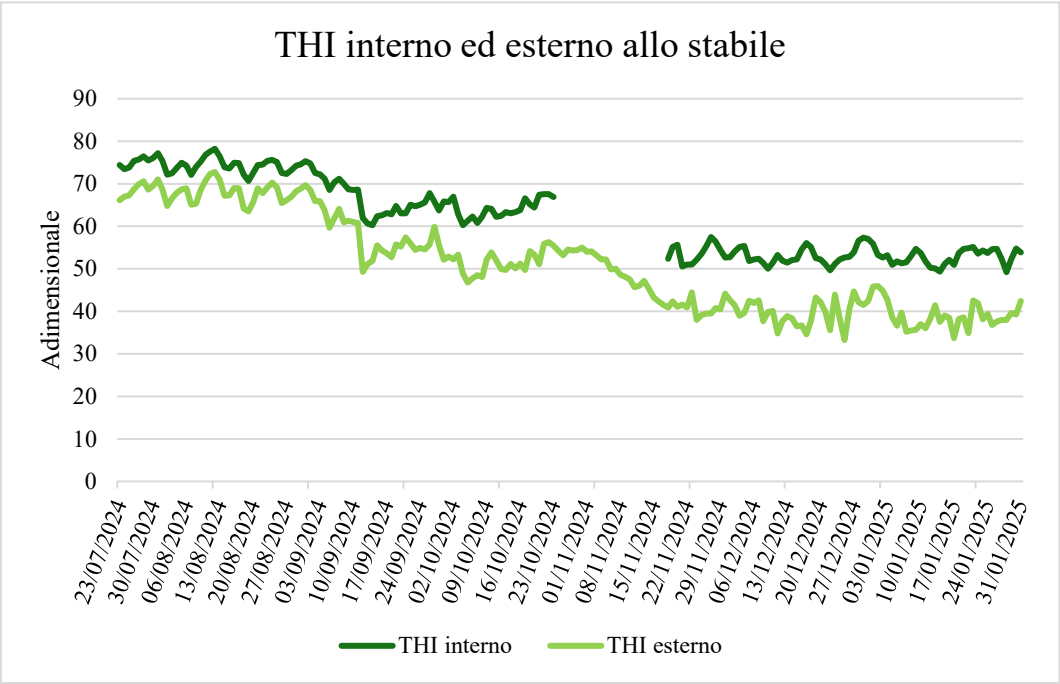

Grafico 6: Andamento del THI, interno ed esterno allo stabile, nel periodo oggetto di studio.

L'andamento del THI è rappresentato attraverso il *Grafico 6.* Nel periodo tra il 23 di luglio e l'11 settembre, il THI interno si aggira intorno al 70 e all'80, mentre quello esterno si mantiene tra il 62 e il 70. Entrambi i valori diminuiscono a partire dal 12 settembre, per poi stabilizzarsi in un intervallo più basso: il THI interno oscilla fino al 23 ottobre tra il 60 e 70, senza avere picchi al di sopra di quest'ultimo, mentre il THI esterno. scende si aggira intorno al 46 e al 60 tra il 12 settembre e il 23 ottobre.

A partire dal 24 ottobre, il THI esterno decresce in maniera costante fino al 17 novembre, dal quale si mantiene tra il 30 e il 45 fino al 31 gennaio, mentre il THI interno a cominciare dal 17 novembre assume valori tra il 49 e il 57.

Un THI superiore a 72 è generalmente considerato un valore critico per il bestiame, indicando l'inizio dello stress da calore (Mader *et al.*, 2006).

Ad oggi, si può affermare, successivamente allo studio in diverse aziende, che, già intorno a valori di THI superiori a 66 (temperatura 20 – 22 °C), le bovine manifestano

cambiamenti nel comportamento con diminuzione del tempo di utilizzo delle cuccette (Provolo *et al.*, 2007).

5.1.3.1. Analisi stagionale THI

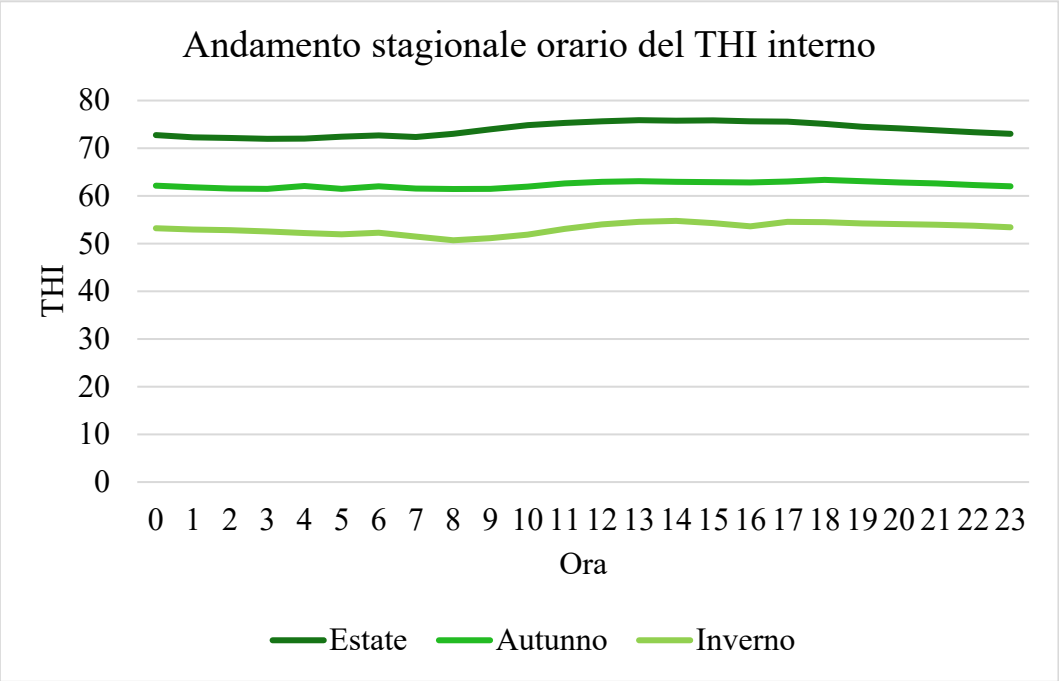

Grafico 7: Andamento orario del THI all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

Il *Grafico 7* mostra l'andamento durante le tre stagioni. Nel periodo estivo è possibile osservare come il THI interno è costantemente più alto del THI esterno visibile al *Grafico 6*. Entrambi i valori si mantengono in un intervallo relativamente stabile con valori superiori al 72 all'interno della struttura, sottolineando una criticità importante della struttura. I valori elevati, in questo periodo, suggeriscono che, con temperature esterne elevate, l'ambiente interno della stalla è soggetto ad accumulo di calore, probabilmente a causa della presenza degli animali e di un ricambio d'aria limitato. Gli altri due andamenti, relativi all'autunno e all'inverno, mostrano una tendenza molto simile. Il THI interno si mantiene superiore al THI esterno (*Grafico 6)*, con una differenza marcata rispetto al periodo estivo. I valori registrati, sono complessivamente più bassi pari a valori compresi tra il 60 e il 70 per il periodo autunnale e tra il 50 e il 60 nel periodo invernale. Le leggere

fluttuazioni del THI esterno si riflettono sul THI interno, ma la temperatura interna rimane costantemente più elevata, indicando l'effetto isolante della stalla e la continua produzione di calore da parte degli animali. Come sottolineato da Ravagnolo e collaboratori (2000), il THI è un indicatore cruciale per quantificare lo stress da calore e il suo impatto sulla produzione.

I grafici mostrano chiaramente che l'ambiente interno di una stalla, indipendentemente dalla stagione, può essere una fonte di stress termico.

Nel complesso la struttura raggiunge valori di THI critici soprattutto nel periodo estivo, andando oltre il 72. Questi valori evidenziano l'assenza nella struttura di una ventilazione (naturale o artificiale) adeguata a mantenere dei livelli microclimatici ottimali, che porta all'accumulo del calore prodotto dagli animali e dalla struttura.

5.1.4. Analisi gas nocivi

5.1.4.1. Analisi CO_2

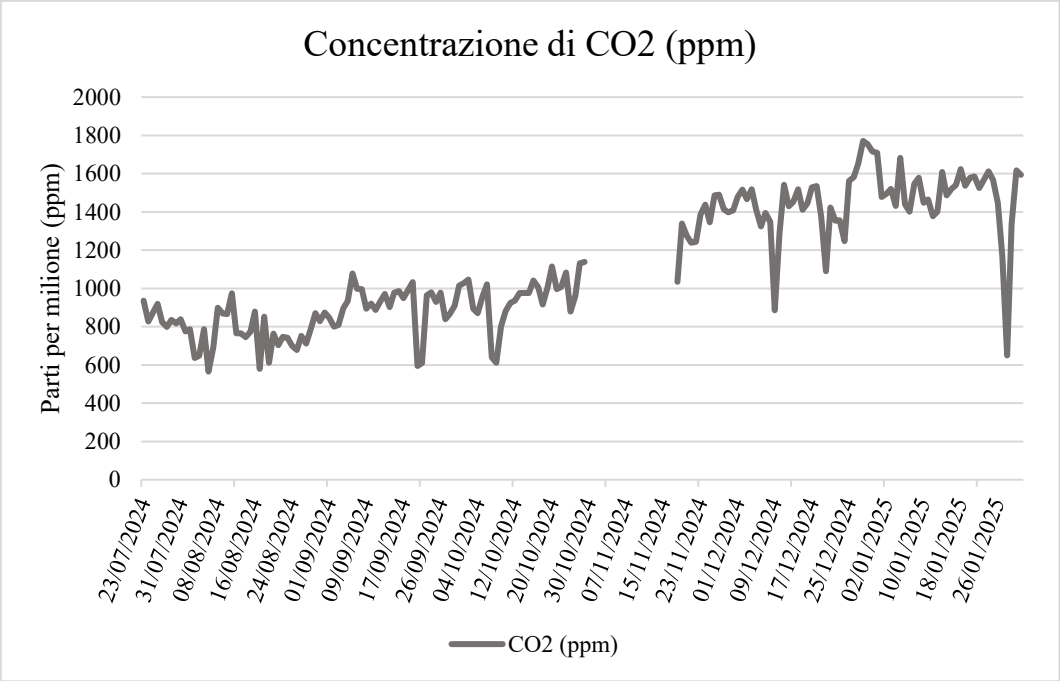

Grafico 8: Andamento della concentrazione di CO_2, all'interno dello stabile, nel periodo oggetto di studio.

Per quel che concerne l'anidride carbonica (CO_2), dal *Grafico 8* è possibile notare un aumento costante della concentrazione, presente all'interno della struttura, per il periodo che va da luglio a gennaio. I valori tipici di CO_2 nell'aria esterna si aggirano intorno ai 420 ppm, ma possono variare leggermente a seconda della posizione geografica e del periodo dell'anno (Provolo G. *et al.*, 2020).

In particolare, dal 23 luglio al 29 ottobre, i valori di concentrazione oscillano principalmente intorno ai 500 ppm e i 1000 ppm, con alcuni picchi al di sopra dei 1000 ppm. Nel periodo dal 17 novembre al 25 dicembre la concentrazione si è mantenuta tra i 1000 ppm e i 1500 ppm, nei giorni successivi, dal 26 dicembre al 31 gennaio i hanno raggiunto picchi vicini ai 1700 ppm.

Inoltre, è possibile notare che dal 17 novembre al 31 gennaio si sono verificati dei bruschi cali di concentrazione, probabilmente dovuti a attività di gestione all'interno della struttura.

I valori invernali (dal 23/12/2024 al 31/01/2025) mostrati nel *Grafico 14*, con picchi vicini a 1700 ppm, sono significativamente superiori ai livelli considerati ottimali per le bovine nel lungo periodo.

La letteratura scientifica attribuisce all'anidride carbonica (CO_2) valori limite di esposizione (TLV-TWA) pari a 5000 ppm per i lavoratori, mentre per evitare effetti negativi sulla salute degli animali è consigliabile un valore limite di 2500 ppm (Abeni, 2024).

5.1.4.1.1. Analisi stagionale CO_2

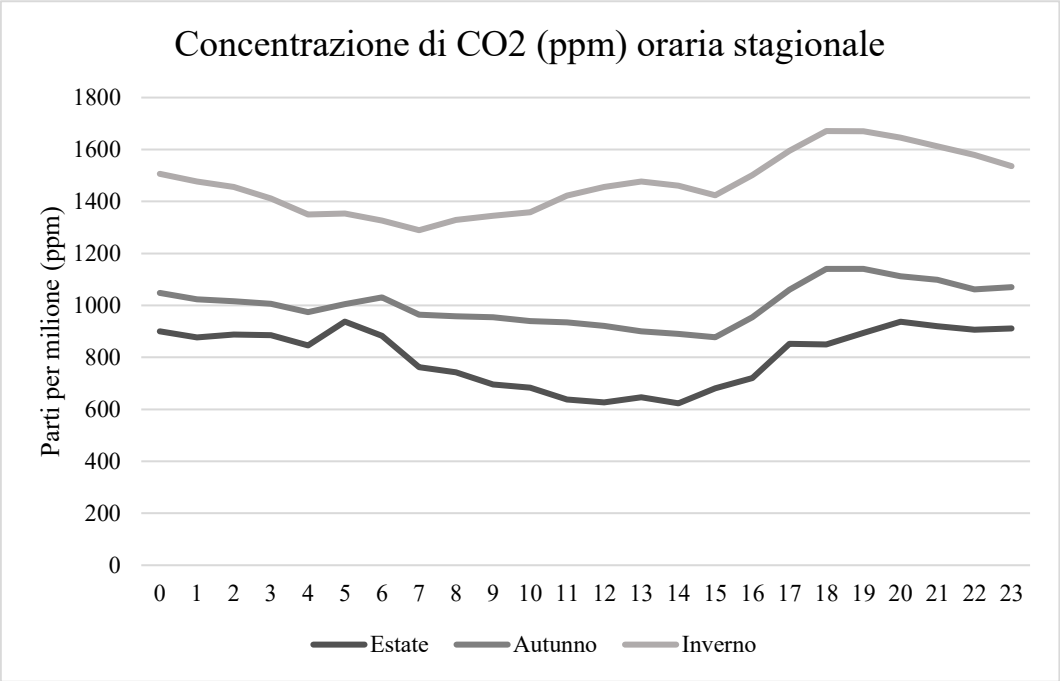

Grafico 9: Andamento orario della concentrazione di CO_2, all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

Il *Grafico 9* mostra l'andamento orario della concentrazione di anidride carbonica (CO_2), espressa in parti per milione (ppm), all'interno della stalla, nelle tre diverse stagioni (estate, autunno e inverno) che hanno caratterizzato il periodo di studio.

Facendo riferimento al *Grafico* 8, riguardante l'andamento lungo tutto il periodo, è possibile notare un aumento della concentrazione dell'anidride carbonica andando verso il periodo invernale. Durante l'estate, i livelli di CO_2 si sono mantenuti al di sotto delle altre stagioni. La concentrazione, in questa stagione, oscilla tra i 600 ppm e 900 ppm, con i valori più bassi registrati tra le ore 11 e le ore 14. Al contrario i valori maggiori si sono registrati durante la notte con un andamento tra gli 800 ppm e i 900 ppm. Probabilmente dovuto a un aumento dell'attività degli animali nelle ore notturne a causa di un clima più fresco. Gli animali produrrebbero quindi meno calore metabolico durante il giorno e di più durante le ore notturne (Aharoni *et al.*, 2005).

In autunno, la concentrazione di CO2 è più elevata rispetto all'estate, essa oscilla tra i 900 ppm e i 1.100 ppm. In questo periodo si osserva un picco nelle prime ore del mattino e un altro più pronunciato nel tardo pomeriggio (tra i 1000 ppm e i 1100 ppm). L'inverno

registra i livelli di CO_2 più alti: la concentrazione si mantiene costantemente sopra i 1.200 ppm, raggiungendo un picco di 1.671 ppm in tarda serata.

L'analisi effettuata suggerisce che l'attuale struttura presenta degli svantaggi a livello strutturale che riguardano il ricircolo dell'aria. In presenza di un'adeguata ventilazione naturale la struttura potrebbe favorire di una qualità dell'aria migliore diminuendo sia la concentrazione di anidride carbonica che il calore corporeo degli animali.

5.1.4.2. Analisi NH_3

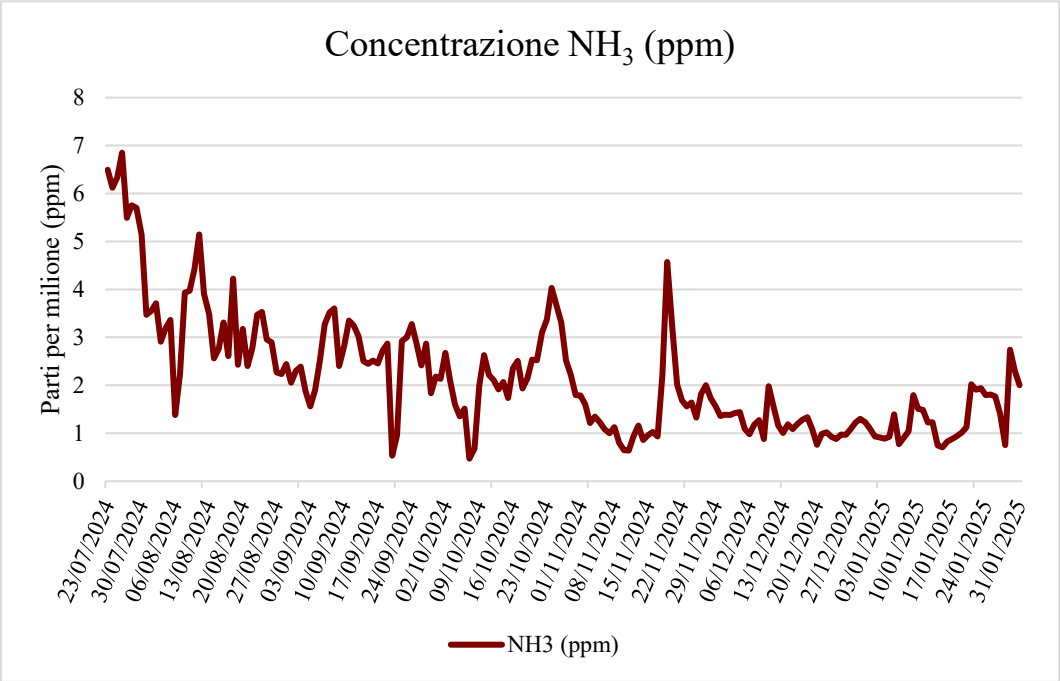

Grafico 10: Andamento della concentrazione di NH_3, all'interno dello stabile, durante il periodo oggetto di studio.

L'andamento dell'ammoniaca (NH_3) all'interno della struttura è invece rappresentato dal *Grafico 10,* in cui si evidenziano notevoli differenze a livello stagionale. Le concentrazioni di ammoniaca più elevate sono state registrate durante il periodo caldo, dal 23 luglio al 12 agosto, con picchi il di 6,8 ppm il 26 luglio e 5,1 ppm l'11 agosto. Nel periodo dal 12 agosto al 23 novembre l'andamento oscilla tra i 5 ppm e gli 0,5 ppm. Con picchi saltuari. Il valore più basso registrato all'interno della struttura è stato pari a 0,47 ppm, il 7 ottobre. A partire da fine novembre, i valori sono rimasti costanti tra gli 0,5 ppm e i 2 ppm, con un picco pari a 2,7 ppm registrato il 29 gennaio.

Il *Grafico 10* mostra che la tendenza dell'ammoniaca ad aumentare quando le temperature sono elevate e a diminuire con temperature basse, evidenziando i valori massimi di NH_3 durante l'estate e quelli minimi nel periodo invernale.

Pur essendo sotto la soglia limite stabilita dal CCOHS (10 ppm), i valori registrati durante il periodo risultano comunque elevati.

5.1.4.2.1. Analisi stagionale NH_3

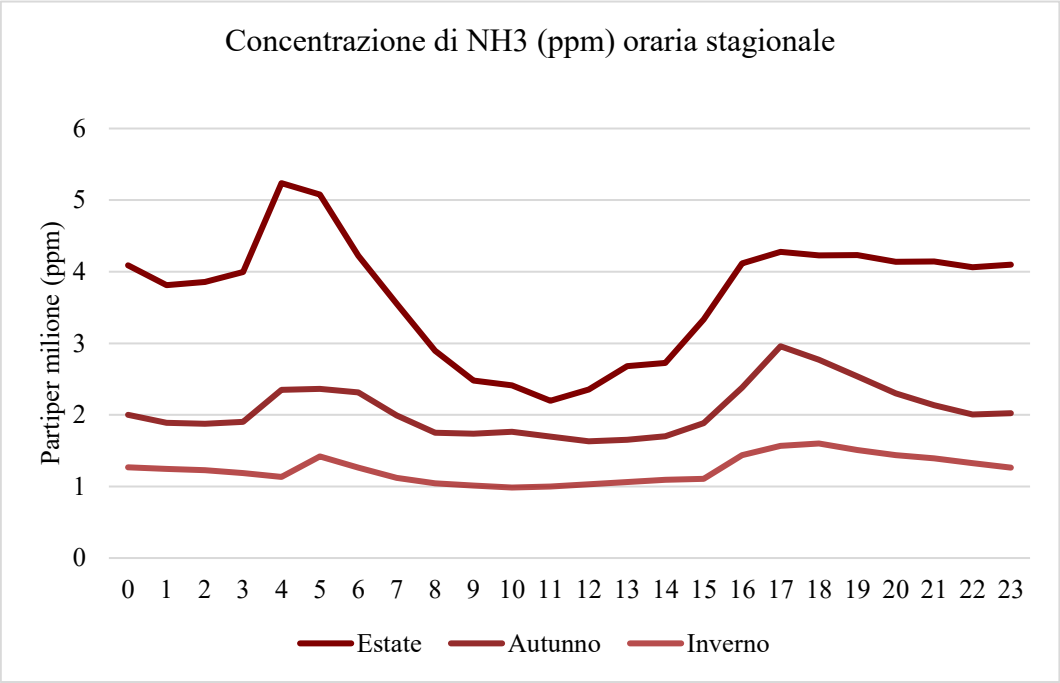

Grafico 11: Andamento orario della concentrazione di NH_3, all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

Le concentrazioni di ammoniaca rappresentate all'interno del *Grafico 11* mostrano delle variazioni significative tra le stagioni, questo probabilmente dovuto all'influenza della temperatura e della ventilazione all'interno dello stabile.

Il periodo estivo registra i valori di ammoniaca più alti, con un picco mattutino intorno alle 4:00-5:00, che supera i 5 ppm, e un secondo picco serale, che raggiunge circa 4,5 ppm. Il calo durante le ore centrali del giorno può essere attribuito a una maggiore ventilazione naturale, che disperde il gas, e a una minor attività delle bovine. Gli animali, di fronte a condizioni ambientali sfavorevoli, attivano specifiche risposte fisiologiche e comportamentali. A livello comportamentale, gli animali modificano le loro abitudini per minimizzare il carico di calore corporeo. Tendono a ridurre i movimenti, ad aumentare l'assunzione di acqua e a cercare zone d'ombra (Nienaber *et al.*, 2007; Polsky *et al.*, 2017).

In autunno, le concentrazioni di ammoniaca si mantengono a un livello intermedio, oscillando tra 1,8 ppm e 2,5 ppm. Anche in questo caso è presente un andamento a due

picchi, uno mattutino (tra l 3:00 e le 8:00) e uno serale (dopo le 16:00), seppur meno pronunciati rispetto all'estate.

L'inverno mostra i livelli più bassi di ammoniaca, quasi costantemente sotto i 2 ppm. Una delle cause che determina la minore concentrazione di questo gas in questa stagione è la bassa temperatura, che rallenta l'attività microbica e di conseguenza la produzione di ammoniaca dalla degradazione del letame. Le emissioni di NH_3 aumentano con l'aumentare della temperatura dell'aria (Sanchis *et al.*, 2019; Qu *et al.*, 2021).

Anche in inverno si possono notare leggere fluttuazioni orarie.

L'andamento a due picchi, osservato in tutte le stagioni, riflette le attività giornaliere all'interno della stalla che cambiano i parametri dell'aria. Difatti, l'allevatore, al mattino e alla sera, durante l'orario di mungitura (proprio quando si verificano gli aumenti di NH_3), attiva il raschiatore per pulire la zona di riposo e la zona di alimentazione.

5.1.4.3. Analisi H_2S

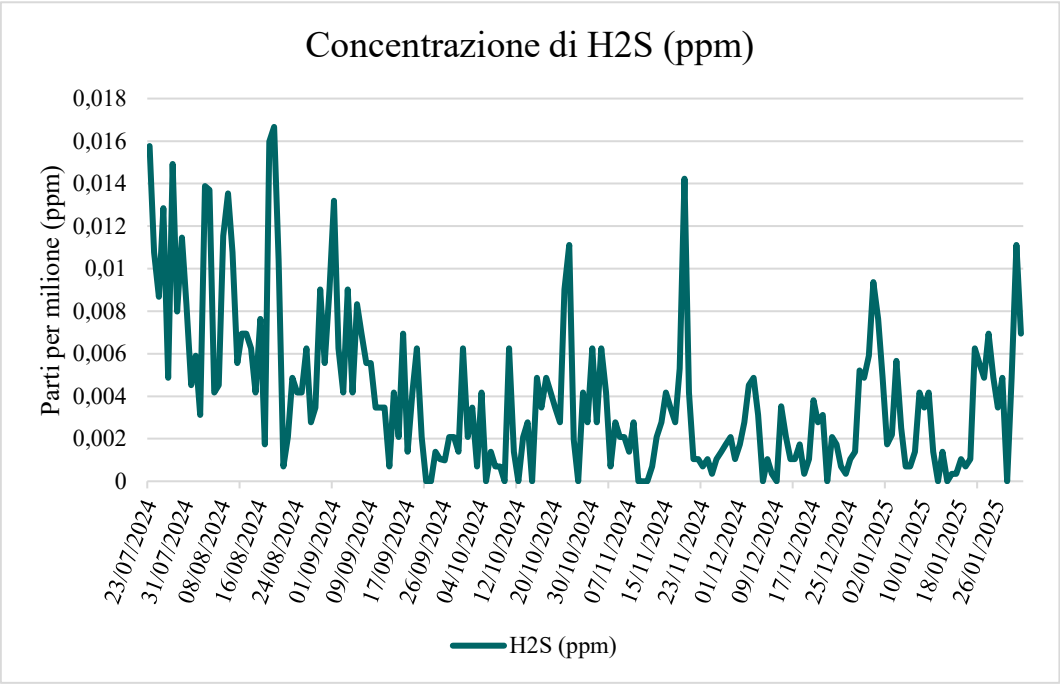

Grafico 12: Andamento della concentrazione di H_2S, all'interno dello stabile, nel periodo oggetto di studio.

Nel *Grafico 12* mostra l'evoluzione della concentrazione di acido solfidrico (H_2S) durante il periodo di studio. L'idrogeno solforato si forma principalmente dalla decomposizione anaerobica di materiale organico ricco di zolfo, come proteine e solfati, presente nel letame. L'odore caratteristico di uova marce, prodotto dalla degradazione, è percepibile anche a basse concentrazioni inferiori a 1 ppm. Questo processo avviene tipicamente in ambienti sigillati (anaerobici), come possono essere le fosse di stoccaggio del liquame (Abeni *et al.*, 2024).

Nel diagramma è evidente come i livelli di H_2S si sono mantenuti, lungo tutto il periodo, costantemente al di sotto di 0,018 ppm, con fluttuazioni minime. Si osservano picchi saltuari: il 19 agosto, il 1° settembre, il 23 novembre, il 19 novembre, il 30 dicembre e il 30 gennaio, ma l'andamento generale mostra concentrazioni per lo più al di sotto degli 0,006 ppm e spesso pari a 0 ppm. A differenza dell'ammoniaca, il cui andamento stagionale è molto marcato (*Grafico 11)*, l'acido solfidrico presenta variazioni meno

pronunciate, sebbene si possa notare una leggera tendenza verso valori più bassi nel periodo invernale.

La soglia di tossicità dell'idrogeno solforato nelle zone di stabulazione è di 10 ppm; il *Grafico 12* mostra che livelli di H_2S, all'interno della struttura si sono mantenuti al di sotto dei limiti considerati pericolosi. Suggerendo dei miglioramenti a livello di impianto di ventilazione e/o gestioni igienica questi valori potrebbero ridursi ancora.

5.1.4.3.1. Analisi stagionale H_2S

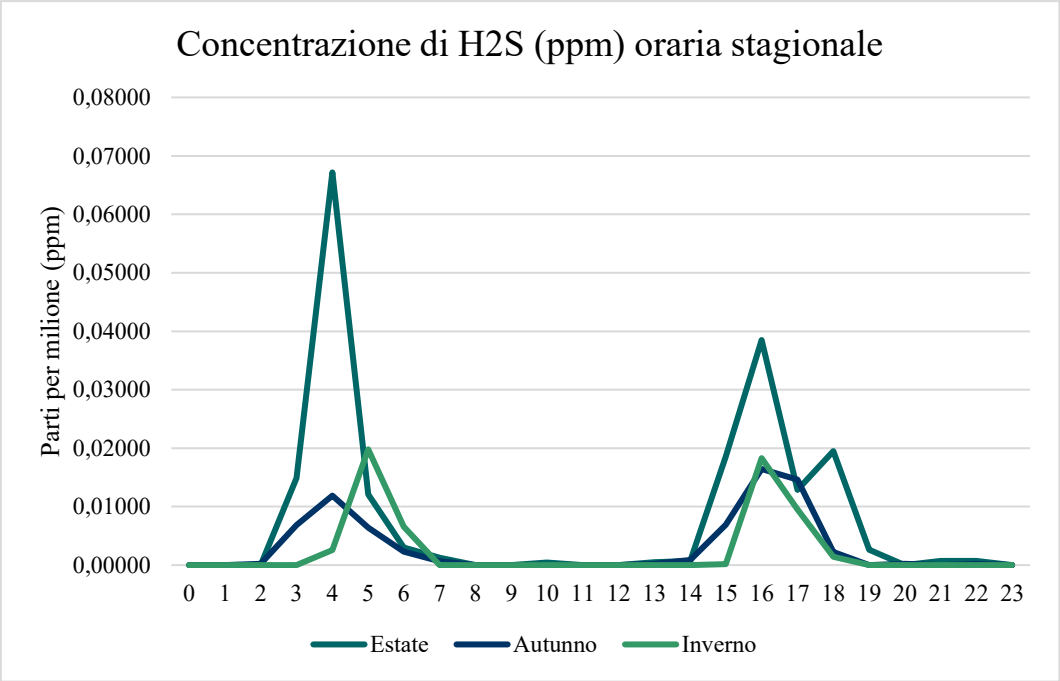

Grafico 13: Andamento orario della concentrazione di H_2S, all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

Il *Grafico 13* mostra l'andamento orario stagionale della concentrazione di acido solfidrico (H_2S) all'interno della stalla.

La concentrazione di H_2S raggiunge il suo picco massimo in estate, superando gli 0,06 ppm. Si osserva un picco molto pronunciato al mattino presto, tra le 4:00 e le 5:00, e un secondo picco meno elevato nel pomeriggio, intorno alle 16:00. In autunno, i livelli di H_2S sono significativamente inferiori rispetto all'estate, con un picco mattutino che raggiunge circa 0,01 ppm e un picco pomeridiano simile, intorno alle 16:00.

Il periodo invernale registra i valori più bassi dell'estate, ma lievemente superiori al periodo autunnale, con valori nei due picchi pari a circa 0,019 ppm. Come per le altre stagioni si nota un aumento al mattino presto e nel tardo pomeriggio, con le concentrazioni che rimangono al di sotto degli 0,02 ppm.

Le concentrazioni di idrogeno solforato riportate nel *Grafico 13* sono in generale basse. Tuttavia, anche a basse concentrazioni, la presenza di acido solfidrico indica una decomposizione anaerobica della materia organica (liquame), presente nella struttura, rilevabile dalle centraline durante la movimentazione del liquame.

5.1.5. Analisi particolato

Oltre all'andamento delle concentrazioni dei gas (CO_2, NH_3 e H_2S) presenti all'interno dello stabile, sono stati raccolti dati inerenti alla formazione di polveri sottili, con particolare attenzione al particolato 2,5 ($PM_{2,5}$).

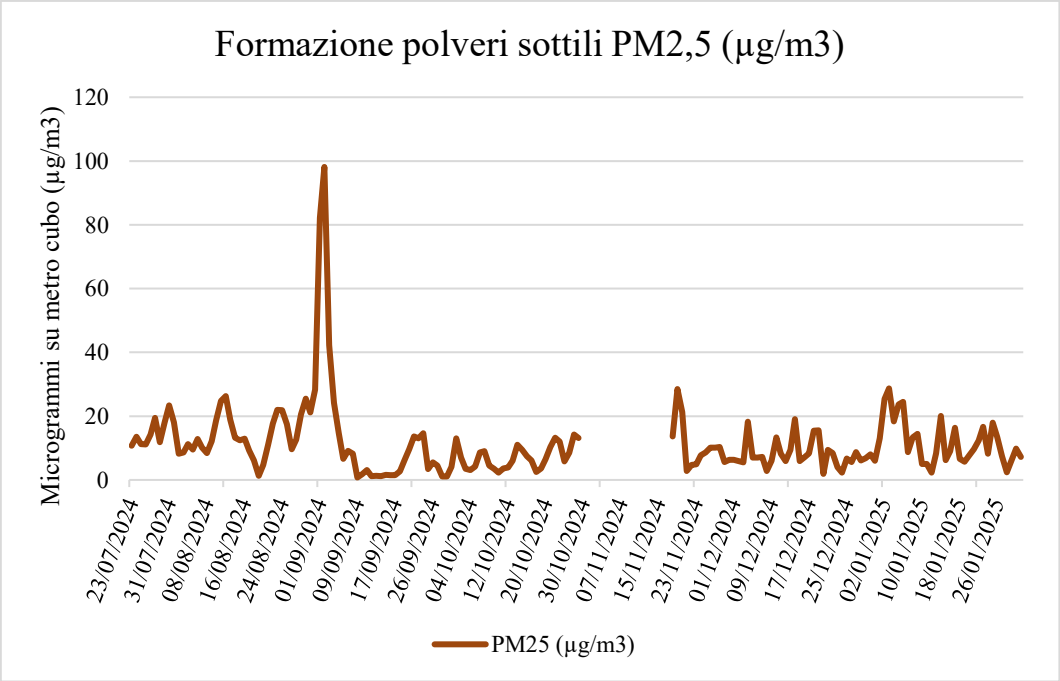

Grafico 14: Andamento del particolato PM2,5, all'interno dello stabile, nel periodo oggetto di studio.

Il *Grafico 14* descrive l'andamento del particolato più dannoso ($PM_{2,5}$) che viene misurato in microgrammi su metro cubo ($\mu g/m^3$).

Dal grafico si evidenziano concentrazioni di $PM_{2,5}$ elevate, con valori che oscillano tra 10 e 30 µg/m³. Il dato più rilevante è un picco molto pronunciato che si verifica il 2 settembre, che raggiunge quasi 100 µg/m³. Dopo questo evento, i livelli tornano a valori relativamente stabili tra gli 0 e i 30 µg/m³. I valori mostrati sono molto variabili e sembrano non mostrare una tendenza stagionale come nel caso delle concentrazioni di ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico. La presenza di $PM_{2,5}$ all'interno dello stabile appare invece influenzata da attività specifiche come le pratiche gestionali (pulizia delle lettiere, distribuzione razione, pulizia della corsia di foraggiamento).

Il picco massimo di $PM_{2,5}$ osservato nel *Grafico* è probabilmente correlato a un evento tra quelli sopra indicati.

In termini di adeguatezza, i vari livelli di $PM_{2,5}$ giornalieri osservati nel *Grafico 14* sono risultati, superiori ai valori limite annuali di 25 µg/m³ stabiliti dalla normativa italiana (D. Lgs. 155/2010). Inoltre, gli stessi dati si sono dimostrati superiori ai limiti (più restrittivi) raccomandati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), rispettivamente pari a 5 µg/m³ per l'esposizione a lungo termine e 15 µg/m³ per l'esposizione a breve termine (ISS, 2021).

5.1.5.1. Analisi stagionale Particolato ($PM_{2,5}$)

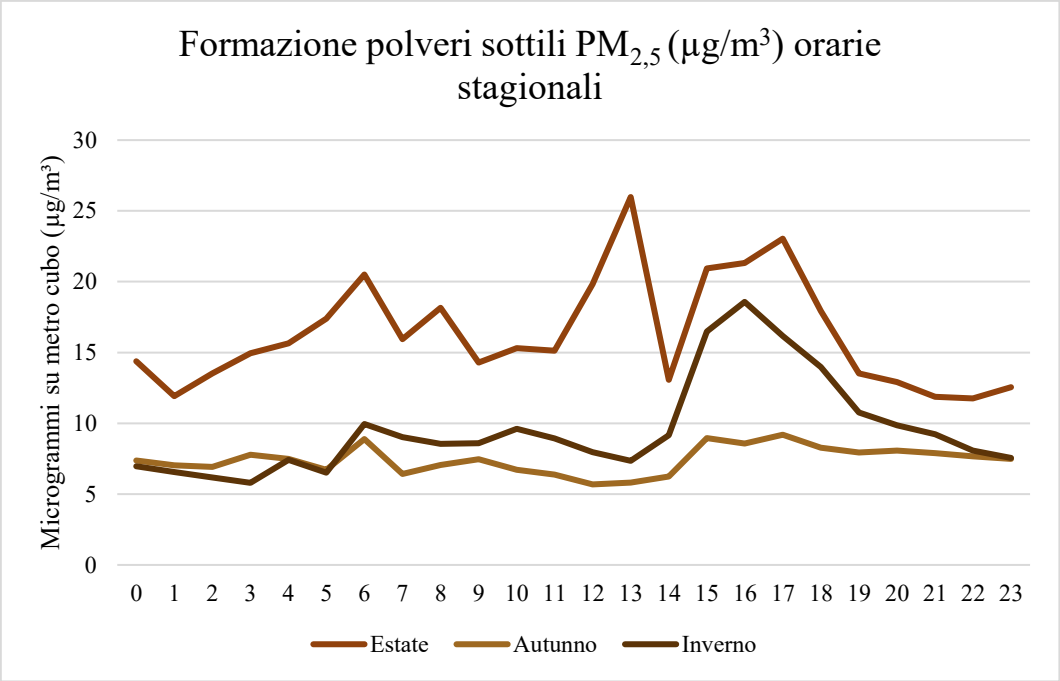

Grafico 15: Andamento orario delle polveri sottili $PM_{2,5}$, all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

L'andamento delle $PM_{2,5}$ illustrato nel *Grafico 15* mostra una correlazione tra le stagioni, con l'estate che presenta i valori più elevati e l'autunno quelli più bassi.

L'estate registra le concentrazioni più alte, con fluttuazioni più significative durante la giornata. In particolare, si osservano due picchi: uno al mattino (6:00-7:00), che raggiunge circa 20 µg/m^3, e un altro molto più alto nel primo pomeriggio (13:00-14:00), che supera i 25 µg/m^3. Nel periodo autunnale le concentrazioni più basse sono più basse, i valori vengono mantenuti costanti per quasi tutta la giornata, con valori che oscillano tra 6 µg/m^3 e 8 µg/m^3.

Nella stagione più fredda i valori sono risultati intermedi, tra gli 8 µg/m^3 e i 18 µg/m^3, mostrando un andamento simile a quello estivo soprattutto nelle ore serali, con picchi importanti.

L'elevata concentrazione di polveri in estate potrebbe essere dovuta all'attività degli animali in condizioni di siccità (ad esempio, al sollevamento di polvere da paglia secca o dal suolo) combinata con una ventilazione naturale non sufficiente a disperdere le particelle, che di conseguenza tendono ad accumularsi. Riassumendo la stalla, presenta

nuovamente criticità a causa dell'assenza di una ventilazione adeguata che mitighi la formazione delle polveri sottili.

5.1.6. Analisi illuminazione e rumore

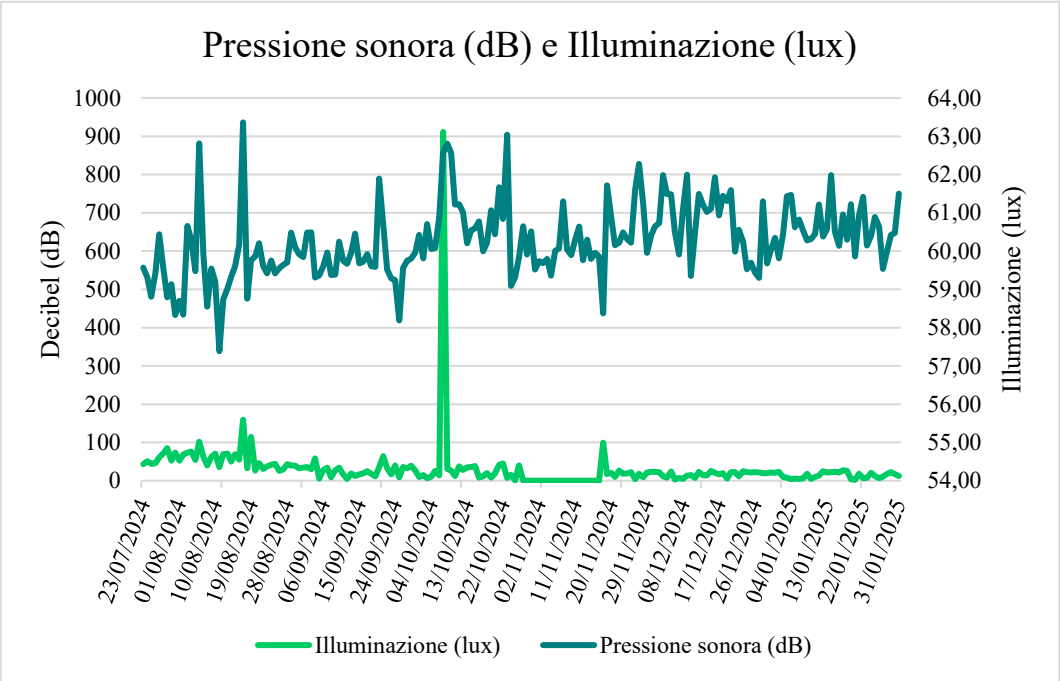

Grafico 16: Andamento della Pressione sonora (dB) e dell'Illuminazione (lux), all'interno dello stabile, nel periodo oggetto di studio.

L'andamento, nel periodo di studio (23/07/2024 – 31/01/2025), della pressione sonora, in decibel (dB), e dell'illuminazione, in lux, è stato rappresentato attraverso il *Grafico 16.*

I livelli di rumore all'interno della struttura si mantengono in un intervallo relativamente costante, tra 58 e 63 dB. Si notano picchi occasionali che raggiungono quasi 64 dB, seguiti da cali altrettanto rapidi. Questi valori sono tipici degli ambienti zootecnici, dove i suoni sono prodotti dall'attività degli animali stessi (es. muggiti, calpestio), dalle attrezzature di alimentazione e mungitura, o dall'ingresso di veicoli (Dimo *et al.*, 2023).

Per quel che concerne il livello di illuminazione, esso rimane generalmente basso, oscillando tra 50 e 60 lux. Tuttavia, si osserva un picco molto evidente che supera i 900 lux. Questo picco anomalo è probabilmente legato ad attività di gestione, come l'accensione di luci molto intense.

I valori registrati all'interno della struttura si sono rivelati ottimali a livello di pressione sonora, tuttavia per quanto riguarda l'illuminazione, il *Grafico 16* evidenzia una costante carenza di luminosità.

Il livello di pressione sonora nelle stalle non deve superare i 65 dB, nel lungo periodo, e 80 dB, nel breve periodo (Provolo *et al.*, 2020). I valori medi del *Grafico*, che non superano i 64 dB, non dovrebbero rappresentare un rischio.

Un'illuminazione inadeguata può influire negativamente sulla produzione di latte e sul comportamento riproduttivo delle vacche (Dimo *et al.*, 2023). Un livello minimo di 150-200 lux per 16-18 ore al giorno è spesso raccomandato per ottimizzare la produttività (Provolo *et al.*, 2020).

5.1.6.1. Analisi illuminazione stagionale

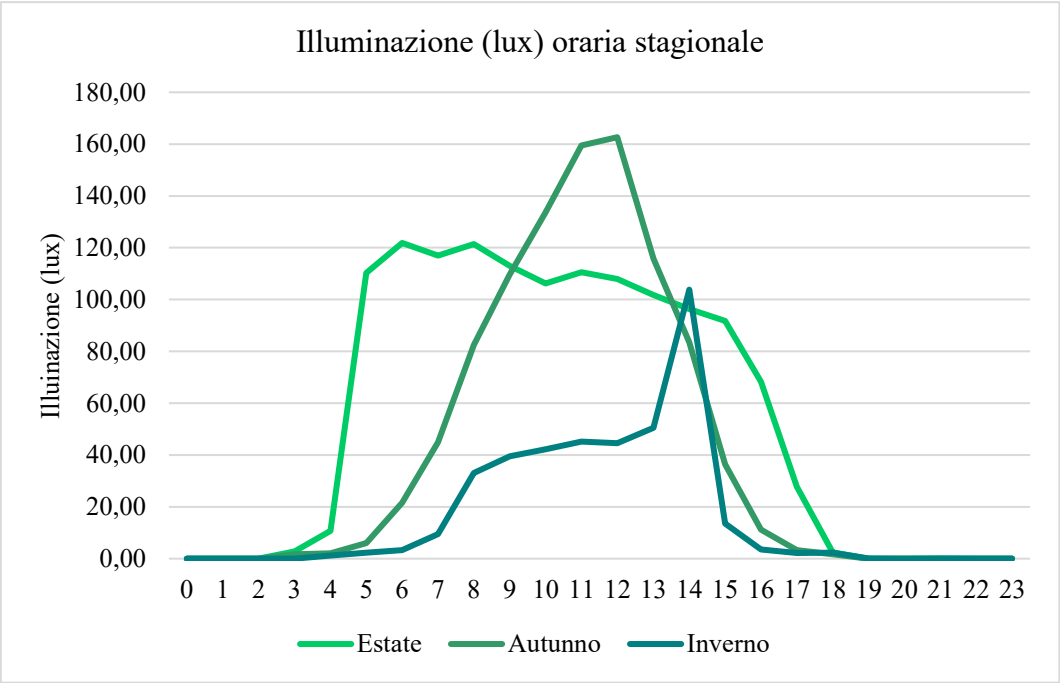

Grafico 17: Andamento orario dell'illuminazione (lux), all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

L'andamento dell'illuminazione (*Grafico 17)* segue una curva tipica della luce solare, con variazioni significative a seconda della stagione. In estate, è presente a partire dalle 4:00 del mattino, raggiunge il picco massimo di circa 120 lux tra le 6:00 e le 12:00, e poi scende gradualmente fino a zero lux intorno alle 20:00.

La curva autunnale si discosta nettamente dalle altre. L'illuminazione inizia a salire più tardi, intorno alle 6:00, ma raggiunge il picco massimo più elevato, oltre 160 lux, tra le 11:00 e le 12:00. Il calo è rapido e i valori tornano a zero intorno alle 18:00.

L'inverno presenta il periodo di luce più breve e i livelli di illuminazione più bassi. L'illuminazione sale solo a partire dalle 7:00, raggiunge circa i 45 lux alle 12:00, poi raggiunge un picco di 100 lux alle 14:00. Successivamente scende rapidamente a zero lux intorno alle 16:00.

Il *Grafico* 17 evidenzia chiaramente l'influenza della luce solare naturale sull'illuminazione all'interno della stalla. Le differenze tra le curve riflettono la variazione della durata del giorno e dell'intensità della luce solare nelle diverse stagioni. L'andamento in autunno, con un picco di intensità più elevato, potrebbe essere dovuto a un diverso angolo di incidenza della luce che, in alcune condizioni, può penetrare più direttamente all'interno della struttura. In inverno, la minore durata della luce e l'intensità ridotta sono evidenti. È possibile che la bassa luminosità in questo periodo sia dovuta, oltre che alla luce naturale, alla chiusura nelle ore notturne e a volte pomeridiane della porta principale per mantenere il calore all'interno.

5.1.6.2. Analisi rumore stagionale

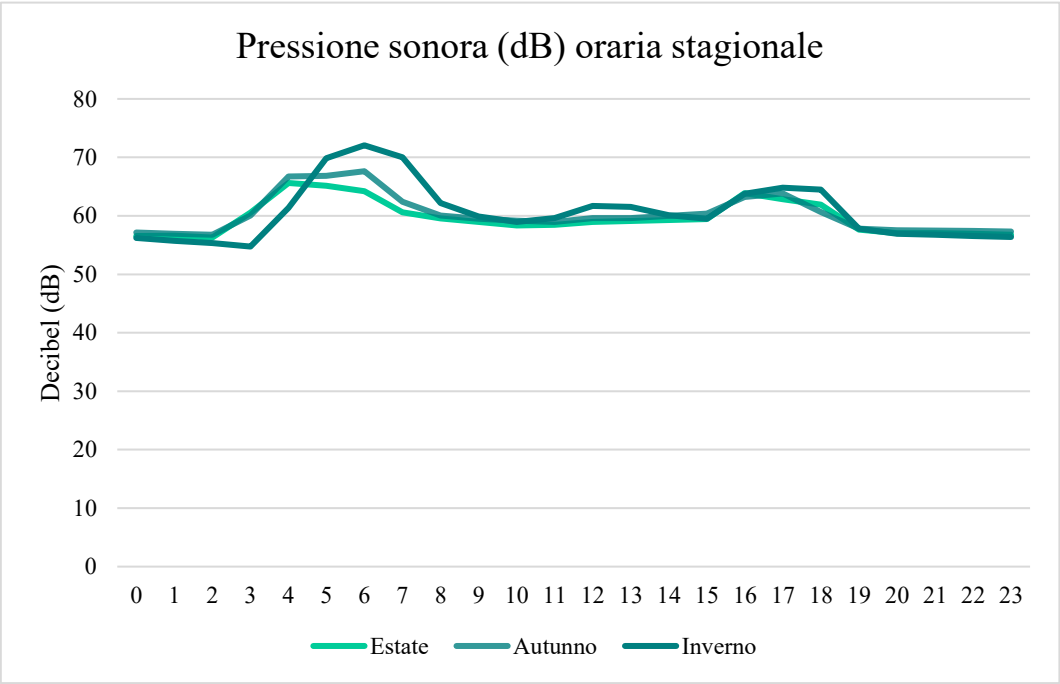

Grafico 18: Andamento orario della Pressione sonora (dB), all'interno dello stabile, nelle tre stagioni (estate, autunno e inverno).

Osservando il *Grafico 18,* inerente alla pressione sonora stagionale, si nota un andamento quasi uguale in tutti e tre i casi.

Il *Grafico 18* evidenzia come la pressione sonora in una stalla sia fortemente influenzata dalle attività quotidiane, più che dalla stagionalità. I picchi di rumore al mattino presto e nel tardo pomeriggio coincidono con le ore di mungitura e alimentazione (la mattina), ovvero i momenti di maggiore attività sia degli animali che delle attrezzature. Il calo di rumore durante la notte e nelle ore centrali del giorno riflette i periodi di riposo. I valori più alti registrati in autunno e in inverno potrebbero essere correlati a una minore ventilazione naturale e a una chiusura della porta principale, che tende a confinare i suoni all'interno dell'ambiente.

5.2. Produzione

L'analisi della produzione si è concentrata su parametri chiave: produzione media giornaliera (kg/giorno), cellule somatiche, tenore lipidico e tenore proteico del latte elaborati nel grafico a livello giornaliero e mensile.

5.2.1. Produzione e THI

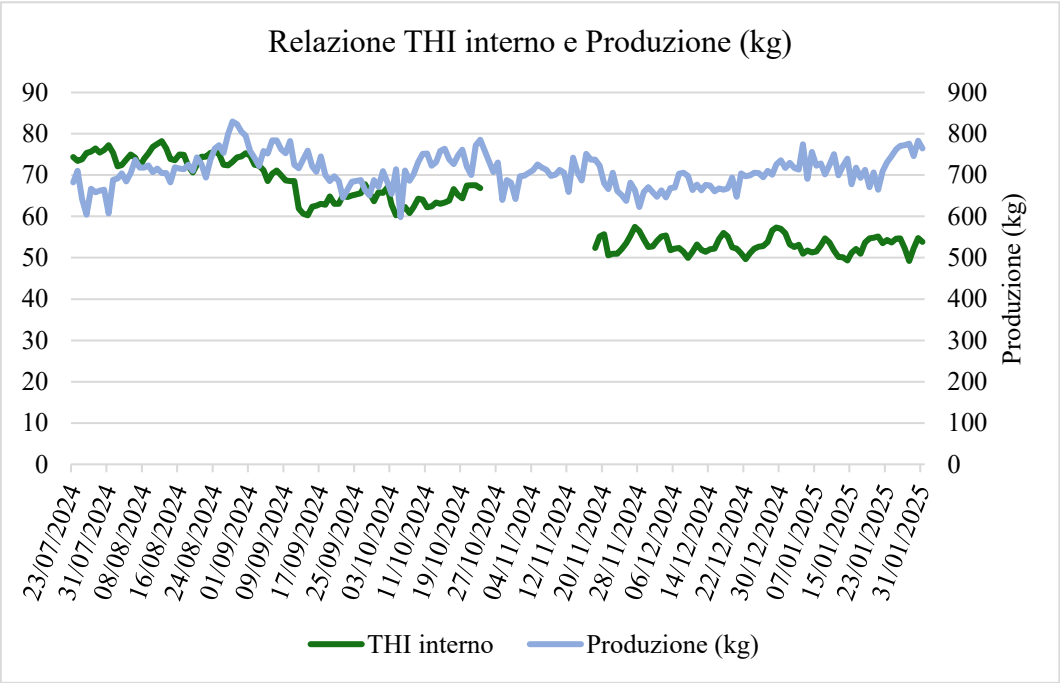

Grafico 19: Andamento giornaliero della produzione (kg) in relazione al THI interno allo stabile nel periodo oggetto di studio

Nel *Grafico 19 è* possibile osservare come, nel periodo di studio (23 luglio 2024 – 31 gennaio 2025), la produzione sia stata lievemente influenzata dalla qualità dall'ambiente in cui erano stabulate le bovine. In particolare, è stato analizzato l'andamento della produzione giornaliera in relazione parametro ambientale *Temperature - Humidity Index* (THI). I dati relativi alla produzione giornaliera sono stati direttamente forniti dall'allevatore ogni mattina attraverso una foto dello scontrino dei litri ritirati dal Consorzio Latte Trento.

Nel periodo estivo, dal 23 luglio all'11 settembre, il THI all'interno della struttura si aggira intono a dei valori superiori a quello che viene definito il *comfort termico* (o

neutralità termica) della bovina. Valori di THI superiori al 72, influenzano il comportamento delle bovine, con risultati negativi sulla quantità e qualità della produzione (Bernabucci *et al.*, 2021).

Se si osserva il *Grafico 19* si nota che la produzione in questo periodo si aggirava intorno a valori pari a 600 kg e i 780 kg, l'unico picco superiori a 780 kg si è verificato il 29 agosto (823,4 kg), con valori di THI compresi tra il 70 e l'80.

Dal 12 settembre i valori di THI diminuiscono, ma la produzione mantiene dei livelli costanti tra i 600 kg e i 780 kg. A partire dal periodo invernale la produzione è aumentata leggermente, oscillando tra i 670 kg e i 780 kg.

In sintesi, a una diminuzione del THI è stato rilevato, seppur lieve, un aumento della produzione.

Categoria	Produzione latte media (kg)	Tenore lipidico medio (%)	Tenore proteico medio (%)	Cellule somatiche (log10)
Primipare	21,9	4,3	3,6	4,8
Secondipare	23,2	4,5	3,8	5,0
Pluripare	25,9	4,3	3,6	5,1
Media tot.	23,7	4,4	3,7	5,0
Ds tot.	5,6	0,6	0,4	0,6
Totale	23,7 ± 5,6	4,4 ± 0,6	3,7 ± 0,4	5,0 ± 0,6

Tabella 3: Valori medi complessivi dei controlli funzionali effettuati durante il periodo di studio.

Nella *Tabella 3* vengono mostrati i valori medi complessivi dei dati utilizzati nello studio, ricavati dei vari controlli funzionali effettuati dal Consorzio Latte Trento ogni mese in azienda.

Sebbene i valori ambientali descrivano un ambiente di stabulazione non adatto a soddisfare a pieno il benessere animale, osservando la *Tabella 3*, la produzione e la qualità del latte non sembrano esserne influenzate in maniera eccessiva.

Dai dati medi dei controlli funzionali raccolti sembra che il latte mantenga lungo tutto il periodo valori che permettono all'allevatore di ottenere il premio alla vendita del latte.

Alla luce dei dati appena osservati, in merito alla produzione (quantità), si nota che l'azienda ha un buon livello di produzione, ma considerando la razza allevata e la struttura dove le bovine vivono, si potrebbe ottenere una produzione maggiore.
Il miglioramento delle condizioni ambientali e del benessere delle bovine può comportare un beneficio in termini sia di quantità e qualità del latte prodotto, sia in termini di salute, questo apporta anche un beneficio a livello economico da parte dell'allevatore.

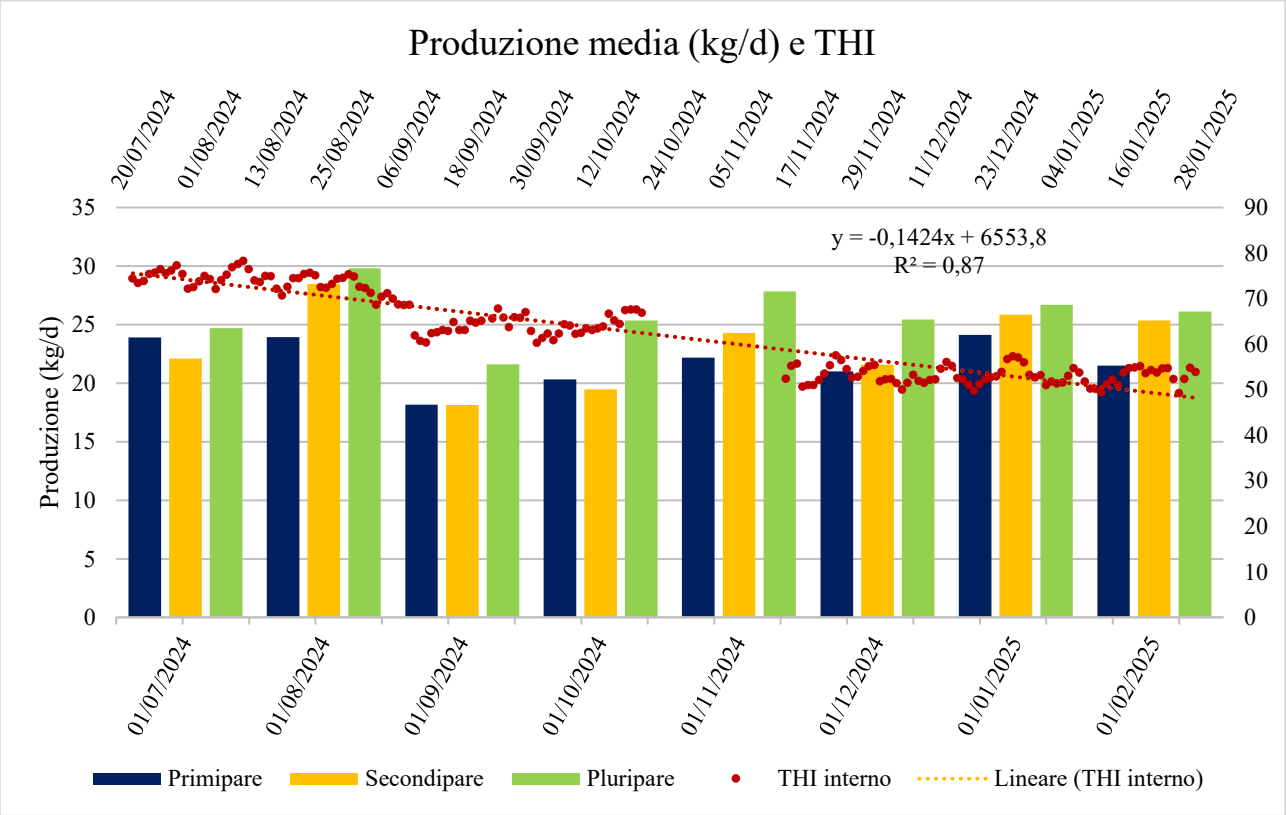

Grafico 20: Influenza del THI sulla produzione dei diversi gruppi produttivi presenti in azienda, nel periodo oggetto di studio.

Il *Grafico 20* mette in relazione la produzione media (kg), dell'azienda, con il THI interno della struttura (indice per valutare lo stress da calore).
La produzione media per gruppo (primipare, secondipare e pluripare) mostra una certa variabilità: nel periodo di studio, le pluripare hanno mantenuto una produzione media giornaliera costantemente superiore alle altre due categorie, che invece hanno presentato fluttuazioni più frequenti con valori medi inferiori. Le primipare sembrano essere la categoria che risente maggiormente la presenza di un THI elevato: la produzione media

minima registrata per le primipare è stata pari a 18 kg/d il primo di settembre. Quel giorno il THI all'interno della stalla era pari a 74,8, superiore al valore soglia (68 – 72) stabilito per il benessere animale (Provolo *et al.*, 2007), ma comunque inferiore al THI registrato a luglio e ad agosto.

5.2.2. Qualità della produzione

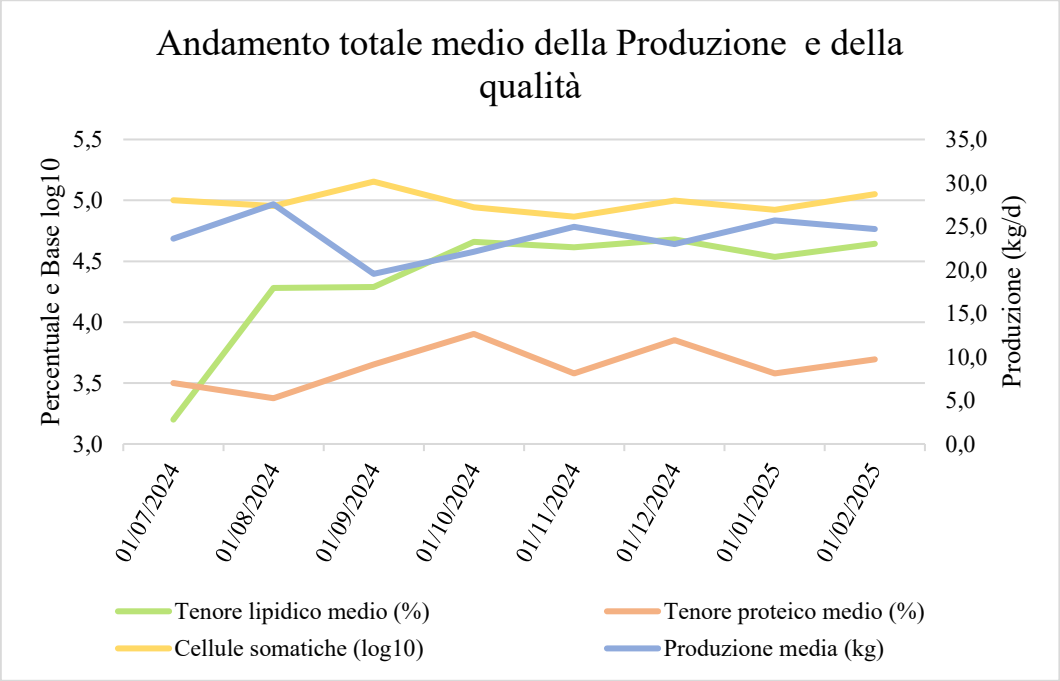

Grafico 21: Andamento generale quali - quantitativo della produzione(kg/d) di latte dell'azienda nel periodo oggetto di studio.

Nel *Grafico 21* viene presentata una visione d'insieme della quantità e della qualità della produzione di latte nell'azienda.

In generale, la produzione media giornaliera è rimasta compresa tra i 20 kg/d e i 30 kg/d, mentre i parametri qualitativi, quali tenore lipidico, tenore proteico e cellule somatiche hanno subito delle variazioni.

Per quanto riguarda il tenore lipidico medio, l'andamento mostra un progressivo aumento, a partire da luglio con un valore pari a 3,2 % (valore minimo registrato), che sembra poi stabilizzarsi per il resto del periodo tra il 4,5 % e il 5,0 %.

Come nel caso del tenore lipidico, il tenore proteico presenta un progressivo aumento a partire dalla fine del periodo estivo, ma a differenza dei grassi, le proteine presentano delle fluttuazioni più ampie, con valori che variano frequentemente tra il 3,5 % e il 4 %. Sebbene la maggioranza delle bovine sia Frisona Italiana, l'azienda presenta dei buoni livelli di proteine nel latte. Solitamente, il tenore proteico medio del latte di Frisona Italiana è pari a 3,32 % (Sandrucci *et al.*, 2022)

Per quanto riguarda la quantità di cellule somatiche presenti nel latte, i valori oscillano tra 4,9 e 5,2 (valori in scala log10), suggerendo una condizione di potenziale stress o infiammazione nella mandria. Secondo l'IZSLER (2020) un buon latte, in azienda, dovrebbe avere cellule somatiche < 200.000 cellule/ml e carica batterica < 60.000 UFC/ml.

Dalle analisi effettuate durante i controlli funzionali, da parte dell'ARA per il Consorzio Latte Trento (a cui l'azienda conferisce il latte per la produzione lattiero – casearia), è stato possibile analizzare i parametri qualitativi, quali percentuale di grasso, percentuale di proteine e cellule somatiche, suddivisi nelle varie categorie di bovine (primipare, secondipare e pluripare). I valori medi delle secondipare si sono dimostrati superiori ai tenori medi degli altri gruppi produttivi (*Grafico 23 e Grafico 24)*. Tuttavia, questa categoria ha presentato criticità a livello di cellule somatiche, con valori compresi tra 4,8 log10 e i 5,2 log10 (*Grafico 22),* pari rispettivamente a circa 63.095 cellule/ml e circa 158.489 cellule/ml.

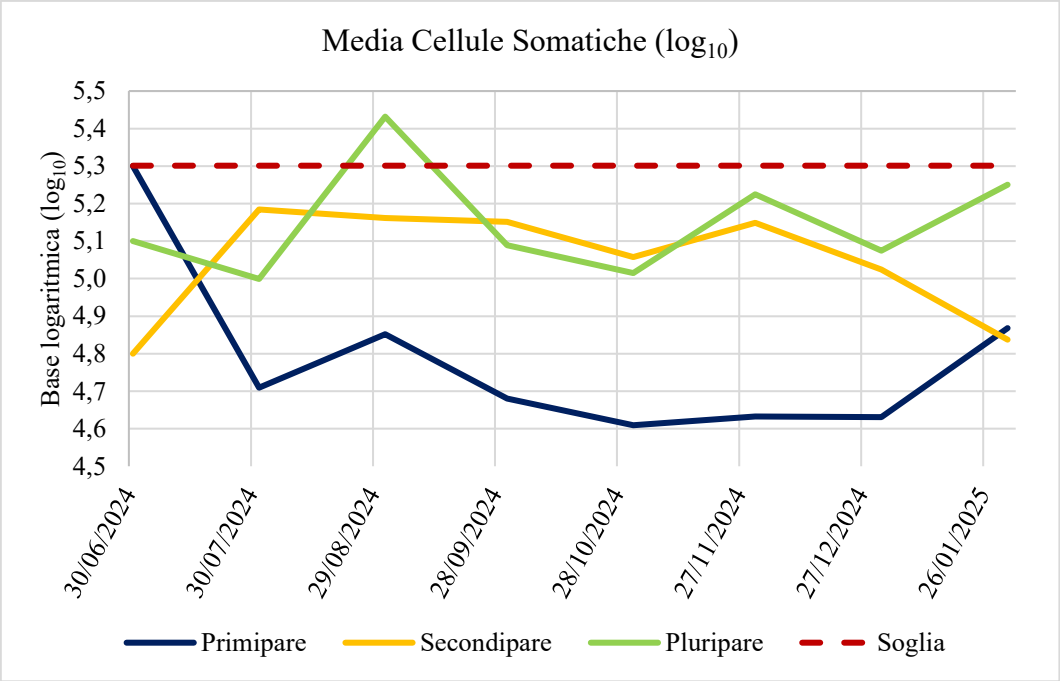

Grafico 22: Andamento delle cellule somatiche all'interno del latte dei tre gruppi produttivi, nel periodo oggetto di studio.

Quest'ultimo, anche se non superiore a 200.000 cellule/ml, risulta vicino ai valori soglia e quindi critico.

Le primipare, al contrario, hanno presentato i valori di cellule somatiche più bassi pari a 4,6 $\log_{10}$, ovvero circa 63.095 cellule/ml, e solo in un caso pari a 5,3 $\log_{10}$, circa 199.526 cellule/ml. Per questo gruppo produttivo il valore soglia da considerare è pari 100.000 cellule/ml perché essendo alla prima lattazione non dovrebbero presentare problemi al tessuto mammario (Zanini, 2017). Analizzando l'andamento delle primipare l'anomalia verificatasi a luglio con una registrazione di 199.526 cellule/ml potrebbe essere una risposta delle bovine allo stress da caldo del periodo estivo.

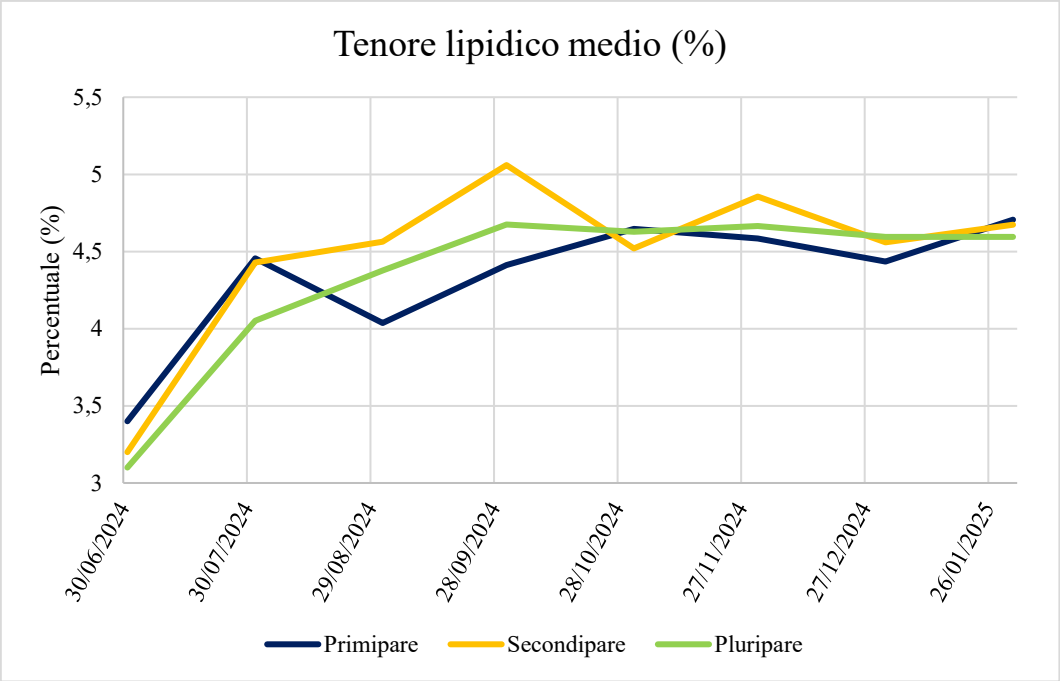

Grafico 23: Andamento del tenore lipidico nel latte dei tre gruppi produttivi, nel periodo oggetto di studio.

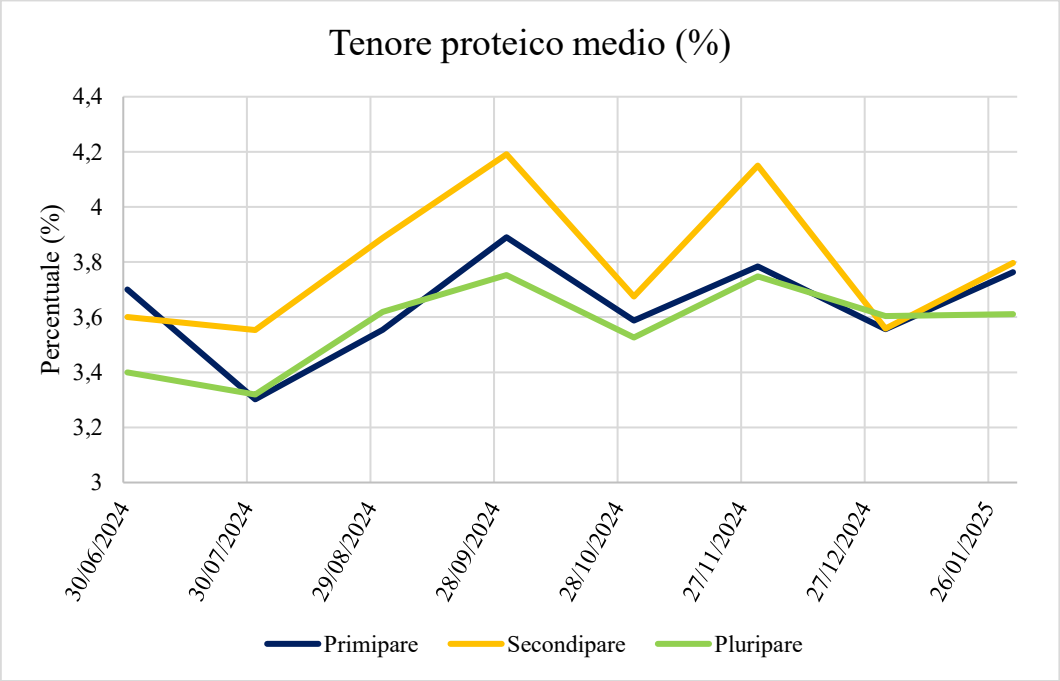

Grafico 24: Andamento del tenore proteico nel latte dei tre gruppi produttivi, nel periodo oggetto di studio.

Per quel che concerne il tenore lipidico e proteico (*Grafico 23 e Grafico 24)* le primipare presentano una situazione intermedia tra secondipare e pluripare con una percentuale di grasso che aumenta progressivamente con l'arrivo della stagione fredda, con variazioni meno frequenti di quelle delle secondipare, e proteine che oscillano tra il 3,2 % nel periodo estivo e tra il 3,6 % e il 3,9 % nel periodo autunnale - invernale.

Riguardo l'andamento del tenore lipidico e proteico, le pluripare sembrano avere un progressivo aumento di grasso con lievi fluttuazioni e un livello proteico inferiore alle altre categorie, che oscilla frequentemente tra il 3,5 % e il 3,7 % (*Grafico 23 e Grafico 24*).

Nonostante la produzione di latte mostri una leggera diminuzione nel periodo caldo, anche se la produzione massima si è registrata ad agosto, il tenore di grasso e di proteine del latte aumenta, raggiungendo un picco in settembre. Questo comportamento potrebbe essere spiegato da un meccanismo di compensazione e una diversa mobilizzazione delle riserve corporee.

L'elevato numero di cellule somatiche nel latte durante l'estate indica un disagio termico, da parte delle bovine, che compromette seriamente la qualità del prodotto e potrebbe, se mantenuto, causare problemi di salute alla bovina (Bertocchi *et al.*, 2012).

In conclusione, i dati raccolti, suggeriscono che il THI abbia influenzato lievemente la produzione dell'azienda e allo stesso tempo i valori delle cellule somatiche. In particolare nelle pluripare lo stress da calore, insieme ad altri fattori come lo stato di lattazione avanzato, può influire negativamente sulla salute della mammella e sulla qualità del latte (Vitali *et al.*, 2020).

5.3. Progettazione

L'analisi dei parametri ambientali effettuata nell'azienda, durante il periodo di studio, suggerisce che l'attuale struttura è insufficiente per garantire il benessere animale e ottimizzare la produzione. Per ottenere un miglioramento generale dell'azienda è necessario agire su vari aspetti relativi alla struttura, all'impiantistica (ventilazione, illuminazione, raffrescamento ecc.), alle attrezzature (strettamente legate all'impiantistica) e alla gestione (sanitaria, alimentare, tecnica di allevamento).

Quando si progetta una stalla, è fondamentale considerare una serie di fattori per garantirne l'efficacia e la sostenibilità. La struttura deve innanzitutto adattarsi all'esigenza dell'allevatore, tenendo conto del modello di allevamento, dell'organizzazione, della disponibilità di manodopera e delle attrezzature.

Un'attenzione particolare va posta al benessere degli animali, assicurando superfici e volumi adatti, aree funzionali dedicate a riposo, alimentazione ed esercizio, pavimentazioni idonee e attrezzature di stalla appropriate. Gli strumenti per l'alimentazione devono inoltre garantire accesso illimitato all'alimento e all'acqua.

Un altro aspetto cruciale è il controllo ambientale. È necessario minimizzare le variazioni microclimatiche (temperatura, umidità e THI) per rimanere negli standard di riferimento per la categoria di bovini allevata e per mantenere i livelli di polveri e gas tossici al di sotto delle soglie di sicurezza. Questo assicura un ambiente salubre per gli animali e per chi vi lavora.

La struttura deve, inoltre, assicurare la sicurezza del lavoro e la facilità di gestione. Una progettazione ben pensata mira a ridurre la fatica fisica e a consentire un facile controllo di tutte le fasi di produzione. Allo stesso tempo, è importante che la struttura faciliti la rimozione e lo stoccaggio degli effluenti zootecnici e la cura delle lettiere, riducendo il più possibile l'impatto ambientale. Infine, è necessario considerare la possibilità di una futura espansione dell'attività e dell'implementazione di nuove tecnologie.

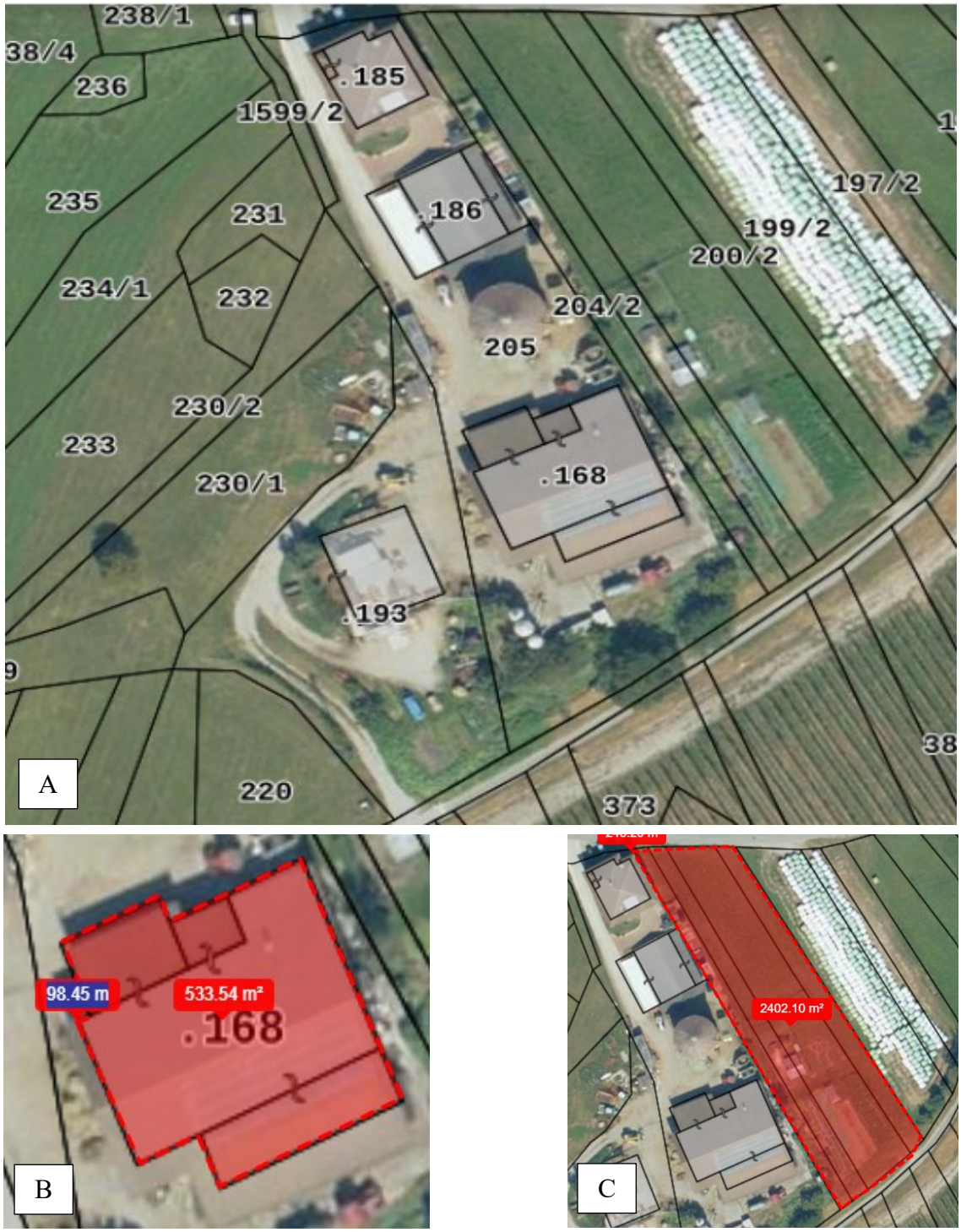

Figura 17: Estratti della CTP (Carta Tecnica Provinciale), con rappresentati: A) Particelle catastali; B) Superfice totale della struttura attuale; C) Superficie complessiva dell'area per la nuova struttura. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva,particelle,linee_vestizione,ammcat,numeri_particelle&X=5101654.01&Y=645440

L'azienda oggetto di studio si sviluppa su una superficie di 533,54 m^2 (*Figura 17)*. Al suo interno le condizioni ambientali e di benessere sono risultate critiche,
per questo motivo è stata proposta una ristrutturazione del vecchio ricovero che ospiterà le vacche in asciutta, la rimonta e i vitelli da carne, mentre le vacche in lattazione saranno trasferite in un nuovo ricovero. La nuova struttura si svilupperà sulle particelle catastali 204/2 e 200/2, visibili nella *Figura 17*, con un'area complessiva di 2402,10 m^2.
Lo spazio di stabulazione per manze e vacche varia in base alla categoria bovina e alla tipologia di stabulazione adottata. Per le manze è necessario prevedere almeno 6,6 m^2 per capo se la stabulazione è a lettiera, con 4,5 m^2 dedicati alla zona di riposo. In caso di stabulazione su fessurato o a cuccette, la superficie minima scende a 5,2 m^2 per capo, di cui 4,2 m^2 per la zona di riposo. Per le vacche da latte, la superficie richiesta aumenta: 10 m^2 per capo in stabulazione a lettiera, 7 m^2 per il riposo, e 8 m^2 per capo con stabulazione a cuccette, con 5,4 m^2 per il riposo (Gastaldo *et al.*, 2025).
Prima di analizzare i dettagli del progetto è stato necessario effettuare un'indagine territoriale dell'area.

5.3.1. Inquadramento cartografico

La zona presa in esame per la costruzione dello stabile si trova nella frazione di Sclemo, comune di Stenico (TN). Dalla CTP (Carta Tecnica Provinciale), *Figura 18,* si osserva che l'area interessata è ubicata a un'altitudine tra i 750 m s.l.m. e i 760 m s.l.m.; più precisamente a 753 m s.l.m.

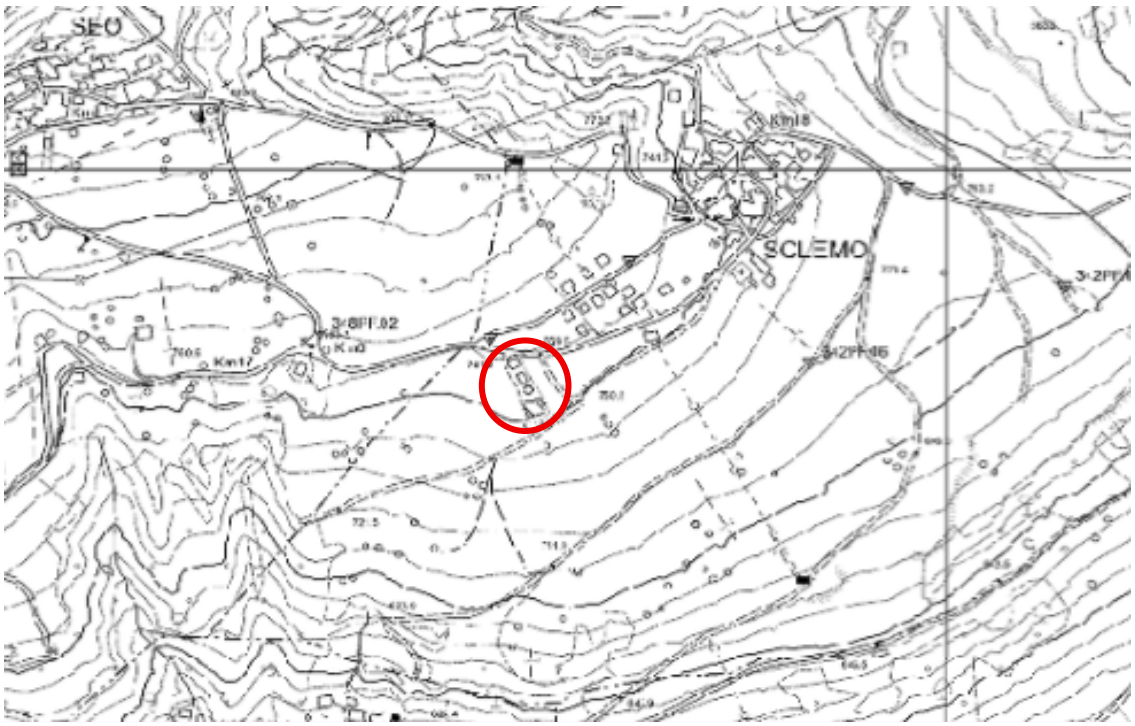

Figura 18: Estratto CTP (Carta Tecnica Provinciale), con evidenziata l'azienda oggeto di studio. Scala 1:10.000. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva&X=5101681.16&Y=645126.55&zoom=6&layers_visi

A questa altitudine, la scelta di una struttura ben coibentata, l'utilizzo di un'impiantistica moderna, per migliorare le condizioni interne dello stabile, e una buona gestione potrebbero essere un'ottima soluzione per far fronte a problemi come stress da caldo (o freddo), mastiti, zoppie. Al miglioramento delle condizioni di vita degli animali segue un aumento a livello quantitativo e qualitativo della produzione. Oltre che un aumento della fertilità delle bovine (Verdes *et al.*, 2020).

Dagli estratti cartografici successivi è possibile osservare meglio la morfologia dell'area in cui verrà posta la stalla nuova e dove è situata la stalla vecchia (*Figura 19)*, in

particolare nella *Figura 20* e nella *Figura 21* viene rappresentata rispettivamente la pendenza dell'area e la sua esposizione.

Figura 19: Estratto ortofoto 2023 dell'area ospitante l'azienda oggetto di studio. Scala 1:1.000. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva&X=5101681.16&Y=645126.55&zoom=6&layers_visi

L'esposizione della struttura è fondamentale poiché limita l'esposizione alla radiazione solare degli elementi di chiusura e quindi il surriscaldamento del ricovero; favorisce la ventilazione naturale al suo interno per la differenza di temperatura delle due pareti lunghe ed evita l'irraggiamento diretto di aree di stabulazione degli animali (Rossi *et al.*, 2012).

Figura 20: Estratto carta delle pendenze dell'area ospitante l'azienda oggetto di studio. Scala 1:1.000. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva&X=5101681.16&Y=645126.55&zoom=6&layers_visi

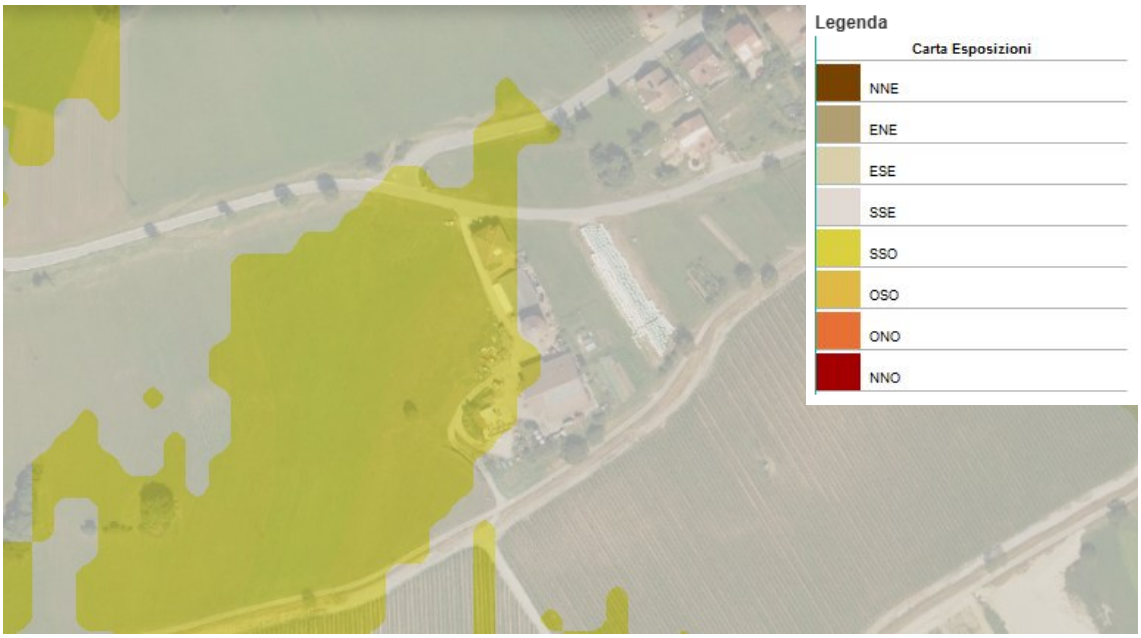

Figura 21: Estratto carta delle esposizioni dell'area ospitante l'azienda oggetto di studio. Scala 1:2.000. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva&X=5101681.16&Y=645126.55&zoom=6&layers_visi

L'azienda è situata in un'area che presenta una pendenza il 10 % e il 20 %. Le particelle che ospiteranno la nuova stalla sono caratterizzate da un'elevata pendenza verso sud, per questo motivo la costruzione necessiterà di un terrazzamento, che permetta di ottenere una piattaforma di base stabile e non in pendenza. La stabilizzazione del terreno, tramite il terrazzamento, permetterà di costruire, vasche di stoccaggio per il liquame interrate e facilmente accessibili dalla strada presente al di sotto dell'azienda (*Figura 20)*.

Per quanto riguarda l'esposizione, l'orientamento consigliabile, per la costruzione di stalle per bovine da latte, è quello che prevede l'asse maggiore del fabbricato che si sviluppa da Est a Ovest. L'attuale struttura rispetta quest'orientamento, mentre la nuova stalla verrà disposta con un orientamento Nord – Sud. Sebbene l'orientamento Est-Ovest del ricovero sia il più adatto per evitare il surriscaldamento, limitando l'esposizione, e per favorire la ventilazione naturale (Gastaldo *et al.*, 2025), la scelta dell'orientamento Nord -Sud era l'unica possibile per la nuova struttura, poiché la particella catastale scelta per la costruzione si sviluppa secondo questo orientamento (*Figura 17C)*. La scelta di questo orientamento disposizione porterà a valutare altri aspetti strutturali, come tende, reti ombreggianti e ventilatori, che aiutino a mantenere le condizioni adatte all'interno della struttura.

5.3.1.1. Analisi dei vincoli

Figura 22: Estratto Carta Uso del Suolo e Carta dei Vincoli. Scala 1:10.000. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva&X=5101681.16&Y=645126.55&zoom=6&layers_visi

Come ultimo aspetto dell'indagine territoriale, sono stati valutati i vincoli urbanistici e la presenza di aree protette nella zona. La *Figura 22* mostra i vincoli e l'uso del suolo caratterizzanti l'azienda. L'azienda si trova tra due strade principali, la loro presenza è sicuramente fondamentale per eventuali spostamenti dell'allevatore. La *Figura 22* evidenzia anche la presenza di un'"area agricola di interesse primario e pregio". Queste superfici agricole intorno all'azienda sono attualmente sfruttate dall'allevatore per produrre fieno (fasciato e secco) ed erba medica (fasciata).

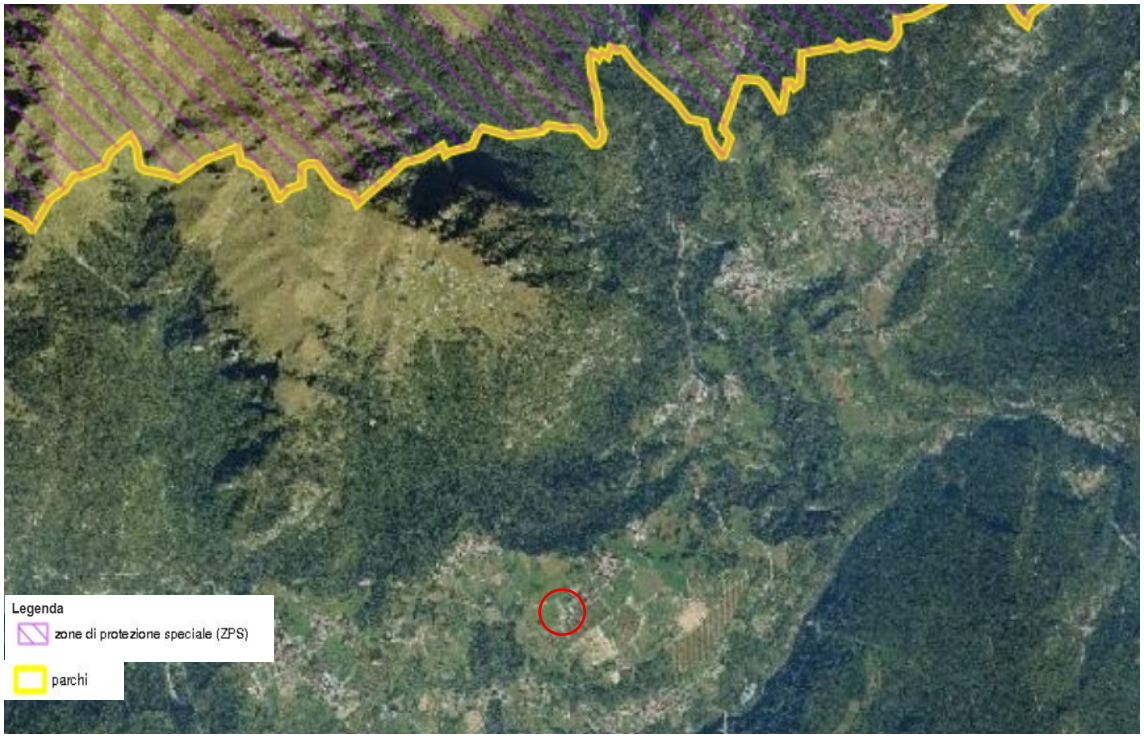

Figura 23: Estratto ortofoto con evidenziate le aree di protezione speciale (ZPS) e i parchi. URL: https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?topic=1&lang=it&bgLayer=sfondo&layers=orto2023,ammcom,ammprv,ammcva&X=5101681.16&Y=645126.55&zoom=6&layers_visi

L'area in esame risulta, come mostrato nella *Figura 23*, non essere nelle vicinanze di aree protette, Habitat Natura 2000 e parchi.

Dall'analisi dei vincoli risultano non essere presenti dei limiti che impediscano la costruzione della nuova struttura per vacche da latte.

5.4. Ristrutturazione stalla esistente

Nel caso della stalla esistente sarà necessario intervenire con alcuni accorgimenti per migliorare la ventilazione naturale, la coibentazione e la disposizione dello spazio interno. Queste modifiche risulteranno fattibili rimuovendo il primo piano della struttura, aumentando così l'altezza della struttura (passa da 3,5 m a 7 m). Per effettuare la rimozione del primo piano dovrà essere eseguita, precedentemente una verifica strutturale della fattibilità. Contemporaneamente si propone una realizzazione di una fessura al colmo con l'aggiunta cupolino di areazione. Per migliorare ulteriormente il ricircolo

d'aria, si interverrà sui tamponamenti fissi, rimuovendoli completamente o parzialmente aggiungendo una recinzione perimetrale a barre per il contenimento degli animali e teli frangivento che permettano una copertura nel periodo più freddo. Con la realizzazione del tetto a doppia falda con cupolino, si installeranno dei materiali o pannelli per migliorare la coibentazione della struttura. Le soluzioni includono l'utilizzo di pannelli isolanti come lana di roccia, polistirene espanso (EPS), o schiume espanse. Per quel che concerne lo spazio interno si prevede la realizzazione di una zona di riposo a lettiera permanente che ospiterà le bovine in asciutta, le manze (divise per età) e i vitelli da carne. La sala di mungitura attualmente presente nella stalla esistente, alla fine dei lavori per la stalla nuova, verrà completamente smantellata per aumentare lo spazio da dedicare alle bovine in asciutta, alle manze e ai vitelli.

5.5. Nuova struttura

La nuova struttura, ospitante le bovine in lattazione, come espresso precedentemente, avrà come obiettivo quello di mantenere un ambiente idoneo al benessere dell'animale e di garantire un ambiente di lavoro salubre e sicuro (sia per le persone che per gli animali).

5.5.1. Orientamento ed esposizione

Il primo passo, per la progettazione, è scegliere l'orientamento della struttura. In questo caso, per motivi di spazio e disponibilità di terreno, il fabbricato è stato predisposto un orientamento di tipo Nord – Sud. Sebbene esso non sia il migliore, era l'unico possibile per l'area a disposizione. Per correggere l'esposizione la struttura sarà dotata un impianto che permetta l'ombreggiamento e una protezione da venti e sole (teli frangivento, reti ombreggianti, sporti).

5.5.2. Forma, dimensione e ventilazione naturale

Una volta scelto l'orientamento del fabbricato, fondamentale, nella progettazione, è la possibilità di controllare i parametri climatici, che influenzano la produzione e il benessere degli animali.

La nuova struttura dell'azienda sarà caratterizzata da un prefabbricato aperto sui lati, in acciaio con tetto a doppia falda (pendenza 30 %), fessurato lungo tutta la lunghezza con cupolino di copertura. Il fabbricato sarà inoltre fornito di teli frangivento, frontalmente e

sul retro, con reti ombreggianti lungo tutto il perimetro, attivati attraverso un sistema automatizzato, per favorire l'ombreggiamento delle bovine durate gli orari di massima esposizione.

Per quanto riguarda la ventilazione, nel caso in cui la ventilazione naturale (favorita dalla struttura) non sarà sufficiente, verrà attivata la ventilazione artificiale caratterizzata da ventilatori ad asse inclinato.

5.5.3. Illuminazione

Negli allevamenti l'illuminazione può essere ottenuta in modo naturale o artificiale. L'illuminazione all'interno della stalla consente all'allevatore e agli animali di orientarsi, oltre che adempire a importanti funzioni fisiologiche (irradiamento, ritmo giorno/notte, fertilità e produzione). Nelle strutture d'allevamento una luminosità insufficiente influisce negativamente sulla fertilità e sulla produzione degli animali (Provolo *et al.*, 2020; Paganini, 2022).

Per ottenere questo livello di luminosità la nuova struttura sarà fornita di lampade led, con intensità regolabile lungo tutta la struttura. Per sfruttare al meglio la luce naturale è possibile inoltre optare per un cupolino trasparente e l'inserimento di lucernari apribili lungo le falde, che oltre a fornire luce regolano la ventilazione.

5.5.4. Pavimentazione

La pavimentazione, che verrà utilizzata per la nuova struttura, sarà piena con robot automatico per la pulizia dei reflui. Il pavimento sarà dotato di finiture profonde circa 15 mm di forma romboidale, che garantiscono un buon effetto antiscivolo. Per quanto riguarda l'asportazione dei reflui zootecnici, il robot automatico garantirà una corretta pulizia delle corsie e di conseguenza mantenere una condizione igienico - sanitaria delle bovine ottimale. I reflui raccolti verranno scaricati in una vasca apposita in testa alla stalla. Da qui i reflui verranno inviati alle vasche di stoccaggio realizzate al di sotto della struttura durante la costruzione del terrazzamento. Per stabilire la dimensione delle vasche di stoccaggio sono stati effettuati diversi calcoli, basati su 45 vacche con peso vivo (p.v.) medio pari a 600 kg/capo. Per prima cosa sono state calcolate le tonnellate per peso vivo, pari in questo caso a 27 t p.v.

Successivamente è stata calcolata la produzione degli effluenti zootecnici (liquami) per la stabulazione libera su cuccette senza paglia, pari a 33 m^3/t p.v. anno, per un totale di

891 m^3/anno. A questo punto è stato calcolato lo stoccaggio necessario attraverso la formula:

(produzione effluenti / 365) x giorni minimi stoccaggio (liquami)

Ovvero,

(891 m^3/anno / 365 giorni) x 120 giorni = 293 m^3

Le vasche avranno quindi una capacità pari a circa 6,5 m^3/capo (293 m^3).

5.5.5. Disposizione e dimensionamento zona interna

La tipologia di struttura scelta per il nuovo ricovero è la stalla a stabulazione libera con cuccette costituita da zona: di alimentazione, di riposo a cuccette, di mungitura e di alimentazione. Le aree sono funzionalmente connesse tra loro da corsie di smistamento e passaggi.

La progettazione della nuova stalla sarà effettuata sulla base di un futuro ampliamento dell'attività. Per questo motivo la struttura interna verrà costruita con l'idea di ospitare un totale di 45 capi in lattazione.

5.5.6. Zona di alimentazione

In questo caso la corsia di alimentazione avrà una larghezza pari a circa 4 m, con una capacità della rastrelliera pari al 100% (45 capi). La rastrelliera a posta singola avrà una lunghezza pari a 36 m (0,8 m/capo), in più saranno aggiunte 11 postazioni per l'area di separazione (11 x 0,8). La corsia di foraggiamento divisa dalla zona di alimentazione dalla rastrelliera e da un muretto in calcestruzzo occuperà una larghezza pari a 4 m, di cui 0,5 m adibiti a mangiatoia. La mangiatoia, per garantire una maggiore salubrità dell'alimento e una buona pulizia, sarà rivestita da un telo in PVC (polivinilcloruro) (https://www.battiniagri.it/application/files/agricoltura/deLaval/prodotti/pdf/DeLaval-Rivestimento-Mangiatoia.pdf).

Gli abbeveratoi, in totale 6, saranno multiposto e verranno installati nei passaggi vicini alla zona di alimentazione e nella zona di riposo. Essi, per consentire una corretta

assunzione di acqua verranno posti a un'altezza di 85 cm, avranno una lunghezza di circa 2 m e una profondità di circa 22 cm.

5.5.7. Corsia di smistamento e passaggi

Le corsie di smistamento e i passaggi sono elementi fondamentali che garantiscono il corretto movimento delle bovine da una zona all'altra della stalla. I passaggi saranno larghi circa 5 m, in modo tale da permettere: la presenza degli abbeveratoi, dove necessario, e il passaggio in entrambe le direzioni degli animali.
Le corsie di smistamento nella zona di riposo a cuccette avranno una larghezza pari a 4 m.

5.5.8. Zona di mungitura

Al fine di migliorare la condizione di benessere delle bovine, dell'allevatore e migliorare la produzione sia a livello qualitativo che quantitativo, l'opzione del robot di mungitura a flusso libero, sebbene costosa all'inizio, sembra essere la soluzione migliore. Le bovine saranno sottoposte a un periodo di "addestramento" che le abituerà alla mungitura automatizzata. La tipologia "a flusso libero" è un sistema che permette agli animali di recarsi liberamente al robot, in base al loro bisogno, senza essere forzati da un'operazione o da un percorso fisso come nel caso del "flusso obbligato"
Il robot di mungitura verrà posizionato in un'area della stalla che permetterà alle bovine di entrare liberamente.
Il latte munto dal robot di mungitura verrà trasportato attraverso un sistema di tubazioni alla sala di stoccaggio del latte. Nella sala il latte verrà conservato all'interno di una vasca refrigerante che manterrà un livello di temperatura tra i 4 e gli 8 °C (è importante che la temperatura non superi mai gli 8 °C, specialmente in caso di ritiri non giornalieri, e non scenda sotto i 2°C per evitare il congelamento del grasso).
Al sistema di mungitura automatizzato verrà istallato un sistema di controllo automatico dei cancelli di selezione che convoglieranno gli animali che necessitano di intervento all'area di separazione con cuccette. Il numero di cuccette nell'area di separazione sarà pari 10 cuccette.

5.5.9. Zona di riposo

L'azienda ha un maggior numero di capi appartenente alla razza Frisona Italiana. Provolo e altri ricercatori (2020), hanno predisposto che per una Frisona di 600 - 700 kg le dimensioni generalmente considerate di H (altezza al garrese) e L (lunghezza del corpo) sono rispettivamente di 1,68 m e 1,44 m. Sulla base di questi dati il progetto provvederà alla realizzazione di una zona di riposo con due file di cuccette a pavimento pieno con materassino sintetico, contrapposte "testa a testa" e una fila di cuccette singole, con le seguenti dimensioni (CRPA, 2007; Provolo *et al.*, 2020):

- Lunghezza zona per il corpo 1,72 m;
- Lunghezza zona per la testa 0,48 m;
- Larghezza utile 1,3 m;
- Altezza battifianco - gradino 0,26 m;
- Altezza tubo allineatore 1,2 m;
- Altezza tubo antifuga 0,79 m;
- Altezza gradino 0,25 m.

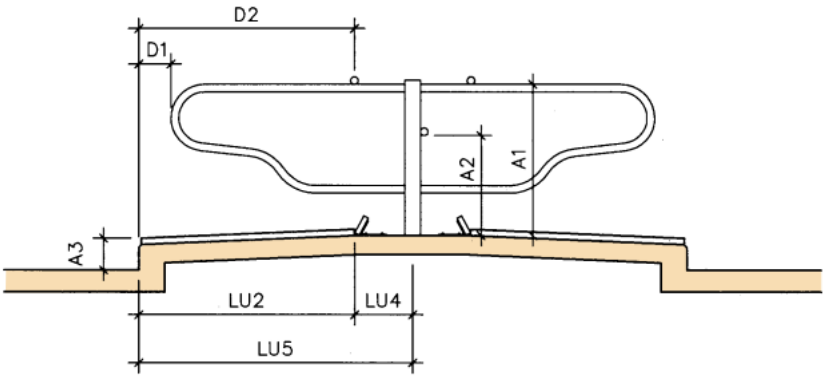

Figura 24: Parametri cuccetta a pavimento pieno con materassino, contrapposte ("testa a testa"): LU2) Zona per il corpo; LU4) Zona per la testa nelle cuccette contrapposte; LU5) Lunghezza totale di una cuccetta; A1) Altezza tubo allineatore; A2) Altezza tubo antifuga; A3) Altezza gradino; D1) Distanza fra parte posteriore del battifianco e gradino posteriore; D2) Distanza fra centro del tubo allineatore e gradino posteriore nelle cuccette con pavimento pieno. Fonte CRPA, 2007.

5.5.10. Riepilogo generale della nuova struttura

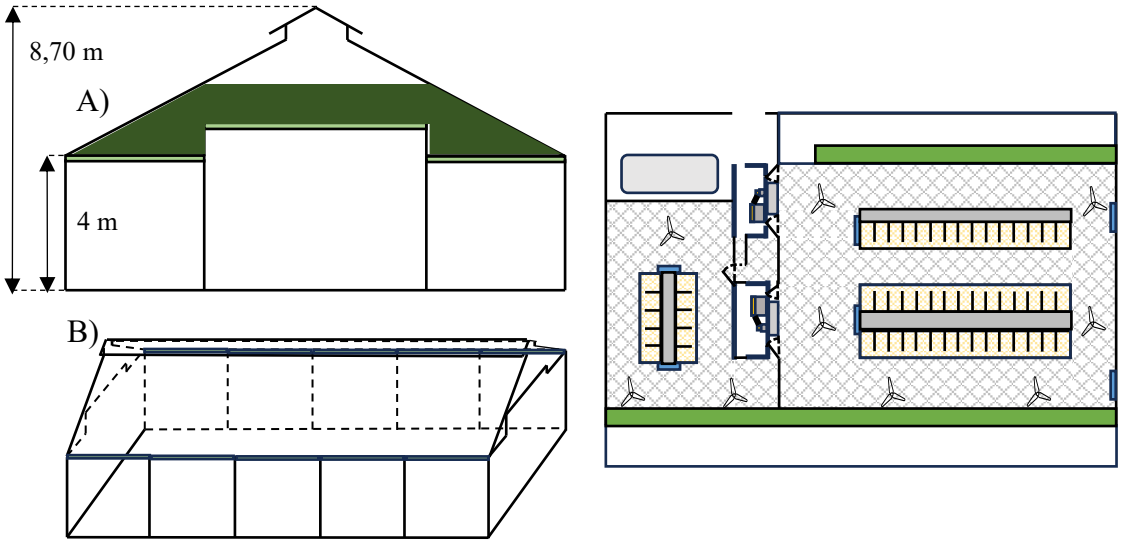

Figura 25: Modellino della nuova struttura con rappresentati: A) Facciata nord e sud (vista frontale e vista sul retro); B) Vista laterale; C) Vista dall'alto della disposizione interna.

La struttura portante della nuova stalla è costituita da un prefabbricato in acciaio aperto su tutti e quattro i lati. I lati esposti a sud e a nord prevederanno la presenza di teli frangivento sulla parte superiore e reti ombreggianti nella parte inferiore, mentre i lati laterali avranno solamente reti ombreggianti (*Figura* 25A e 25B).

L'edificio avrà un'altezza totale di 8,70 m, con un'altezza alla gronda di 4 m. Il tetto a doppia falda sarà caratterizzato da un'apertura al colmo con cupolino lungo tutta la lunghezza della struttura. L'ampiezza della fessura al colmo sarà di 0,54 m e avrà un'altezza di 0,26 m (*Figura* 25A e 25B).

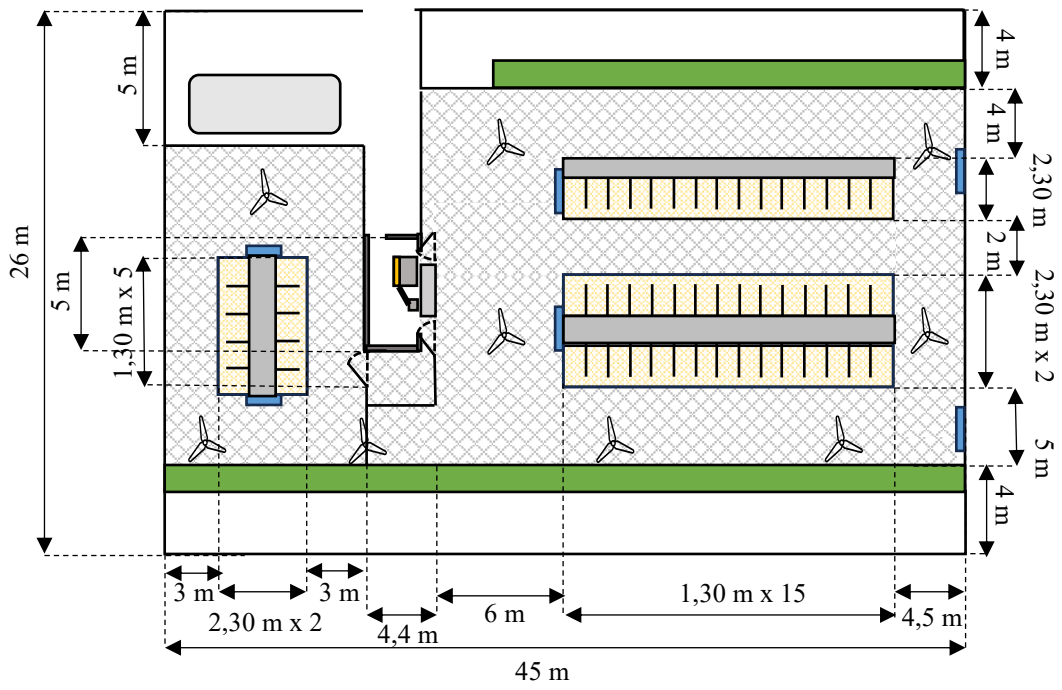

Figura 26: Vista dall'alto della nuova struttura, con misurazioni.

La stalla avrà una larghezza complessiva di 26 m e una lunghezza di 45 m. La struttura è costruita sulla base dalla stalla a stabulazione libera a cuccette. La distribuzione degli spazi interni è così suddivisa (*Figura* 26):

- Zona di riposo con due file di cuccette, da 15 poste, a pavimento pieno con materassino sintetico contrapposte "testa a testa" e una fila singola da 15 (2,20 m x 1,30 m);
- Area di separazione posizionata alle spalle dei robot di mungitura con zona di riposo a cuccette (10 cuccette) contrapposte "testa a testa" (2,20 m x 1,30 m);
- Zona di mungitura caratterizzata da un robot di mungitura a libera entrata con ingresso unilaterale e uscita guidata automatica (cancello che si apre e chiude a seconda che la vacca deve andare nell'area di separazione o no);
- Zona di alimentazione con due corsie di alimentazione di 4 m e capacità in rastrelliera del 100 %, inoltre la corsia di foraggiamento sarà dotata di una mangiatoia rivestita di 4 m;
- Corsie di smistamento di 2 e 3 m

- Sala di stoccaggio del latte con una vasca refrigerante con capacità complessiva di 2.500 litri (3,135 m x 2,7 m x 1,510 m (https://www.fic.com/prodotto/frigomilk-g9)).

Per quanto riguarda l'impiantistica, è stato predisposto un sistema di ventilazione automatico con ventilatori ad asse inclinato nella zona di riposo e nella corsia di alimentazione e un sistema di controllo delle reti ombreggianti e dei teli frangivento (*Figura 25B e 26)*. Questi impianti potranno essere attivati automaticamente da un impianto che rileva le condizioni microclimatiche della struttura oppure manualmente dall'allevatore.

La pulizia della stalla dagli effluenti sarà garantita da un robot che raccoglierà i reflui e li scaricherà in una zona apposita della struttura (area con grata vicino al robot di mungitura nella *Figura 26)*

Saranno inoltre installati un totale di 6 abbeveratoi a vasca (2 m x 0,22 m) ad un'altezza di 0,85 m dal terreno, nelle zone di maggior passaggio e necessità per le bovine (rettangoli in blu nella *Figura* 26). Gli abbeveratoi consentiranno una continua fornitura di acqua alle bovine sia nella stagione invernale che nella stagione estiva.

5.1. Valutazione dei costi di costruzione

I costi per la costruzione di una nuova stalla e per la ristrutturazione di quella esistente comprendono una serie di elementi chiave. Le spese includono la struttura portante, i sistemi di ventilazione e raffrescamento, la pavimentazione, la zona di riposo e la zona di alimentazione. Altri costi aggiuntivi riguardano l'impianto di mungitura, la gestione dei reflui e gli abbeveratoi.

La realizzazione di una nuova stalla rappresenta un investimento importante per l'allevatore. Le Tabelle *4 e 5* mostrano i possibili costi per la ristrutturazione e per la costruzione della nuova struttura.

MATERIALI	*COSTRUZIONE*	*RISTRUTTURAZIONE*
Struttura prefabbricata compresa di tetto a doppia falda e cupolino	*190 - 390 €/capo*	
Fessura al colmo + cupolino		*400 - 450 €/m*
Cupolino		*120 - 190 €/m*
Demolizione pareti		*100 €/m2*
Pavimento in calcestruzzo	*65 - 70 €/m2*	*75 - 80 €/m2*
Posa di gomma su pavimento pieno	*75 - 80 €/m2*	*75 - 80 €/m2*
Posa di gomma su pavimento fessurato	*85 - 90 €/m2*	*85 - 90 €/m2*
Rigatura longitudinale	*6 €/m2*	*6 €/m2*
Raschiatore a fune	*10.500 - 11.500 €*	*10.500 - 11.500 €*
Rastrelliera auto catturante	*204 €/m*	*204 €/m*
Rastrelliera con tubi orizzontali	*71 €/m*	*71 €/m*
Muretto di supporto	*151 €/m*	*151 €/m*
Mangiatoia	*72 - 82 €/m*	*72 - 82 €/m*
Abbeveratoi multiposto	*640 - 810 €/m*	*641 - 810 €/m*
Cuccette in acciaio zincato	*249 €*	*249 €*
Cuccette in calcestruzzo singole	*375 €*	*375 €*
Cuccette in calcestruzzo doppie	*654 €*	*654 €*
Cuccette a pavimento pieno singole	*275 €*	*275 €*
Cuccette a pavimento pieno doppie	*488 €*	*488 €*
Materassino sintetico	*90 - 107 €/m2*	*91 - 107 €/m2*

Tabella 4: Tabella riassuntiva dei costi iniziali per la costruzione della stalla nuova e per la ristrutturazione della stalla esistente

La prima tabella elenca i costi iniziali, mentre la seconda i costi aggiuntivi per l'integrazione delle nuove tecnologie e degli impianti più complessi.

Osservando nel complesso le tabelle è chiaro che i costi per l'allevatore saranno molti e dispendiosi, ma necessari a un miglioramento generale dell'azienda.

Le spese maggiori comprendono principalmente le attrezzature per la pulizia e la mungitura automatizzata, inoltre sembrano abbondanti anche i costi che riguardano la ristrutturazione della stalla esistente. Ipotizzando che la struttura esistente ospiti la restante parte dei capi dell'azienda (60 capi – 37 capi in lattazione), i costi di una ristrutturazione completa compresa di: fessura al colmo con cupolino, demolizione pareti, mangiatoia nuova con muretto di rinforzo, cuccette nuove in pavimento pieno con materassino per vacche in asciutta, illuminazione, impianto di ventilazione e impianto con reti ombreggianti e teli frangivento, arriverebbero a circa 20.000 €.

MATERIALI	*COSTRUZIONE*	*RISTRUTTURAZIONE*
Robot pulizia	*20.000 - 22.000 €*	*20.000 - 22.000 €*
Robot mungitura	*120.000 - 140.000 €*	
Illuminazione	*5.000 €*	*5.000 €*
Impianto di ventilazione	*300 €/capo*	*300 €/capo*
Impianto reti ombreggianti	*4,27 €/m2 + costi per renderli motorizzati*	*4,27 €/m2*
Impianto telo frangivento	*7,93 €/m2 + costi per renderli motorizzati*	*7,93 €/m2*

Tabella 5: Tabella riassuntiva dei costi per l'integrazione delle nuove tecnologie e degli impianti per la costruzione della stalla nuova e la ristrutturazione della stalla esistente

A questi sono da aggiungere le ulteriori spese della nuova struttura che in media arrivano a 9000 €/capo (Gastaldo *et al.*, 2025), senza l'integrazione delle nuove tecnologie e degli impianti di illuminazione, di ventilazione, di reti ombreggianti e di teli frangivento. Inoltre, è necessario anche considerare tutti i pagamenti, che interessano la preparazione della particella catastale alla costruzione. Questi comprendono il livellamento del terreno e la costruzione delle vasche interrate, che dipendo rispettivamente dall'azienda che effettuerà i lavori e dal materiale utilizzato per l'impermeabilizzazione delle vasche per lo stoccaggio dei liquami.

6. Conclusione

Dai dati raccolti, elaborati ed analizzati nel corso dello studio, è stato possibile giungere a diverse conclusioni che riguardano le criticità, i punti di forza e i possibili miglioramenti da apportare all'azienda per ottimizzare le sue capacità.

Per quanto riguarda i punti di forza, l'azienda si distingue per la produzione di latte di buona qualità. Nonostante le condizioni ambientali non siano sempre ideali, la produzione e la qualità del latte mantengono standard elevati. Un esempio concreto è il tenore proteico che ha raggiunto, nell'azienda, una media del 3,7 % ± 0,4. Inoltre, l'allevamento della razza Frisona Italiana si rivela un'ulteriore risorsa, dato che la sua produzione media annuale si attesta intorno agli 11.000 kg di latte per capo. Ad oggi l'azienda, che per il 90 % è costituita da razza Frisona Italina, produce in media 8.650 kg/ capo ad anno.

Tuttavia, si evidenziano diverse criticità, in particolare legate al microclima della stalla. La temperatura interna è costantemente più alta di quella esterna, con una differenza media di circa 4 °C, e in inverno l'umidità relativa può superare l'80%. L'indice di stress termico (THI) raggiunge in estate valori tra 70 e 80, superando la soglia critica di 72 che causa stress da calore negli animali e che si manifesta con una riduzione dell'assunzione di cibo e un conseguente calo della produzione. Le concentrazioni di CO_2 hanno raggiunto picchi di 1700 ppm in inverno, mentre l'ammoniaca (NH_3) arriva a 6,8 ppm in estate, indicando una qualità dell'aria non ottimale. Anche i livelli di polveri sottili PM2,5 sono superiori ai valori normativi e la luminosità non raggiunge la soglia minima di 120 lux. Infine, l'elevato numero di cellule somatiche suggerisce che lo stress ambientale influisca negativamente sulla salute della mammella.

Per potenziare i punti di forza dell'azienda, che si basano sulla qualità della produzione di latte e sulla produttività della razza Frisona Italiana, è essenziale intervenire sulle criticità ambientali riscontrate. Attraverso interventi strutturali mirati e la costruzione di una nuova stalla, è possibile ottimizzare le condizioni microclimatiche e il benessere animale. La nuova struttura e le modifiche a quella esistente dovrebbero mirare a ridurre la temperatura interna, controllare l'umidità, migliorare la qualità dell'aria (diminuendo CO_2, NH_3, H_2S e $PM_{2,5}$) e aumentare la luminosità. Questi miglioramenti non solo ridurranno lo stress da calore e le problematiche legate all'elevato numero di cellule somatiche, ma creeranno un ambiente più confortevole che si rifletterà positivamente sulla salute della mandria e, di conseguenza, sulla sua produttività, garantendo che l'azienda continui a distinguersi per l'eccellenza della sua produzione lattiera.

L'investimento, oltre a portare benefici agli animali e alla produzione riduce i costi esterni dell’azienda (veterinario, energia ecc.).

Dalla costruzione della nuova stalla, si devono quindi considerare i possibili benefici economici annui basati sui risparmi ottenuti dalle migliorie apportate all’illuminazione, alla riduzione della manodopera e alla gestione dei reflui (un miglior controllo dell’igiene riduce il rischio di infezioni alle mammelle e zoppie).

In conclusione, l'investimento proposto non solo migliora il benessere animale, ma genera anche un ritorno economico significativo, rendendo il progetto un passo fondamentale per l'ottimizzazione delle capacità produttive dell'azienda a lungo termine.

7. Bibliografia / sitografia

- Abeni F.P., Nannoni E., Sandrucci A., Zootecnia di precisione e tecnologie innovative in allevamento, Point Vétérinaire Italie, 2024
- Abeni, F., Bertoni, G. (2009). Main causes of poor welfare in intensively reared dairy cows. Italian Journal of Animal Science, 8 (suppl1), 45-66.
- Algers, B., Blokhuis, H. J., Botner, A., Broom, D. M., Costa, P., Greiner, M., Hartung, J., Koenen, F. Müller-Graf, C., Mohan, R., Morton D., Osterhaus, A., Pfeiffer, D., Roberts, R., Sanaa, M., Salman, M., Sharp, J., Vannier, P., Wierup, M. (2009). Scientific opinion on welfare of dairy cows in relation to risk assessment with special reference to the impact of housing, nutrition, management, and genetics. The EFSA Journal, 1–57. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1141
- Associazione Regionale Allevatori Lombardia (ARAL), Disciplinare latte, 2013. Ultimo giorno di consultazione 08/08/2025. https://www.aral.lom.it/wp-content/uploads/2020/07/CCFF-Disciplinare_LATTE.pdf
- Associazione Regionale Allevatori Lombardia (ARAL), servizio controlli funzionali. Ultimo giorno di consultazione 08/08/2025. https://www.aral.lom.it//servizi/controlli-funzionali/
- Berman A, Horovitz T, Kaim M, Gacitua H. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. Int J Biometeorol. 2016 Oct;60(10):1453-1462. doi: 10.1007/s00484-016-1136-9. Epub 2016 Jan 27. PMID: 26817655.
- Bernabucci U., Biffani S., Buggiotti L., Vitali A., Lacetera N., Nardone A., 2014. The effect of heat stress in italian Holstein dairy cows. J dairy Science, 97: 471-486.
- Bernabucci U., Lacetera N., Baumgard L. H., Rhoads R. P., Ronchi B., Nardone A., Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants, Animal 4(7), 2010.
- Bernabucci U., Vitali A., Stress da caldo e possibili soluzioni impiantistiche. Summa, Animali da Reddito. 2021 Jul 1;16(6).
- Bertocchi L., Fusi F., Scalvenzi A., Preliminary observations on the relationship between animal welfare and milk somatic cells count, 2012, Large Animal Review. 18. 259-263.

- Bhoj S., Tarafdar A., Singh M., Gaur G. K., Smart and automatic milking systems: Benefits and prospects. In S. Sehgal, B. Singh, V. Sharma (Eds.), Smart and sustainable food technologies, pp. 87–121. Singapore: Springer, 2022.
- Bleizgys R., Naujokienė V., Emissioni di ammoniaca da letame bovino in condizioni di scambio di umidità variabile tra il letame e l'ambiente, 2023. https://doi.org/10.3390/agronomy13061555
- Bridi C., Latte Trento, solo luci nel bilancio 2023 e un futuro sostenibile, 3 Maggio 2024, Informatore Zootecnico, https://informatorezootecnico.edagricole.it/flash-news/latte-trento-solo-luci-bilancio-2023-futuro-sostenibile/#:~:text=Prezzo%20medio%20del%20latte%20a,superando%20cos%C3%AC%20gli%2080%20centesimi
- Broom D.M., 1998. Welfare, stress, and the evolution of feelings. Adv. Stud. Behav. 27:371-403.
- Cambra-López, M., A. J. S. van der Gaast, C. G. van der Gaast, and P. H. M. van der Gaast, Management strategies to improve air quality in livestock houses: a review, Journal of Environmental Quality 40.5, 2011.
- Campiotti M. Bovine da latte - Management della stalla. Guida alla corretta gestione da parte del direttore d'azienda, edizioni del L'Informatore agrario, 2021. Pagine consultate 1-20, 135-152.
- Campiotti M., Principali parametri di benessere nell'allevamento delle vacche, supplemento a L'informatore Agrario, 2003.
- Carenzi C. e Verga M., 2009. Animal welfare: review of the scientific concept and definition. Ital.J. Anim.Sci. vol. 8 (Suppl. 1):21-30.
- Cosmelli C., Principi di fisica – Capitolo 3: Termodinamica, 2019. https://www.roma1.infn.it/exp/webmqc/capitolo%203%20%20Termodinamica.pdf
- Cowley FC, Barber DG, Houlihan AV, Poppi DP. Effetti immediati e residui dello stress da calore e della riduzione dell'assunzione di latte sulla composizione delle proteine e della caseina del latte e sul metabolismo energetico. Journal of dairy science. 1° Aprile 2015;98(4):2356-68.
- De Campos I. L., Chud T. C. S., Oliveira H. R., Baes C. F., Cánovas A., Schenkel F. S., Using publicly available weather station data to investigate the effects of heat

stress on milk production traits in Canadian Holstein cattle, Canadian Journal of Animal Science, 2022, 102(2), 368–381

- Dimo D. Penev T., Marinov I., Importance of Noise Hygiene in Dairy Cattle Farming—A Review, Acoustics. 5. 1036-1045. 10.3390/acoustics5040059, 2023.
- Dimo D., Ivaylo M., Toncho P., Chonka M., Zhivka G., Animal hygienic assessment of air carbon dioxide concentration in semi-open freestall barns for dairy cows, Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2019. (Pagine consultate: 354-362).
- Dipartimento federale dell'interno (DFI), Ufficio federale della sicurezza alimentare e di veterinaria, USAV Protezione degli animali, Informazioni tecniche - Protezione degli animali - Valori climatici della stalla e loro misura nella detenzione di bovini, settembre 2013.
- DIRETTIVA (UE) 2024/2881 del parlamento europeo e del consiglio del 23 ottobre 2024 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881 (Ultima consultazione 22/08/2025)
- Dos Santos, M. M., Souza-Junior, J. B. F., Dantas, M. R. T., de Macedo Costa, L. L., An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. Environmental Science and Pollution Research, 28(24), 30471-30485, 2021.
- FAO, 2021. The contribution of livestock species and breed to ecosystem services. http://www.fao.org/3/a-i6482e.pdf
- Ferrari P., Rossi P., Gastaldo A., Come creare il clima ottimale nella stalla, Centro ricerche produzioni animali (CRPA) Reggio Emilia, Supplemento a L'Informatore Agrario, 39/2006. https://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/settori/edilizia/download/archivio-23/39012sup.pdf
- Ferreira F.C., Marcondes M.I., Santos J.E.P., De Vries A., Economic analysis of the use of in-vitro produced embryos transferred during heat stress under dairy herd constraints, Animal, 2021. 15, 100117
- Fustini M., Antenucci E., Ventilazione: qualità dell'aria, Dossier Attrezzature Di Stalla - Informatore Zootecnico,7 aprile 2014.

https://informatorezootecnico.edagricole.it/senza-categoria/ventilazione-qualita-dellaria/ (Ultima consultazione 21/08/2025)

- Galli A., Ratto S., Milanesi S., Serra M., Ferla A., Aral Lombardia, così i controlli funzionali, 2021. https://informatorezootecnico.edagricole.it/bovini-da-latte/cosi-i-controlli-funzionali/
- Gastaldo A., Rossi P., Borciani M., Motta A., Progetto SLEGAMI – Soluzioni innovative e sostenibili per migliorare il benessere animale nelle stalle fisse dell'area del Parmigiano Reggiano, Per le stalle a posta fissa 10 "investimenti" sul benessere, 2023.
- Gastaldo A., Rossi P., Borciani M., Motta A., WelfareDAIRYnet Tecniche innovative ed efficienti per migliorare il benessere animale negli allevamenti bovini da latte - Pratiche migliorative per il benessere animale strutture d'allevamento, Centro Ricerche Produzioni Animali Soc. Cons. p. A. Reggio Emilia, Pubblicato nel mese di febbraio 2025. https://divulgazione.crpa.it/
- Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Dänicke, S., Daş, G. Lohölter, M. (2013). Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe–a review. Animal, 7(05), 843-859.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. &Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Guo J., Gao S., Quan S., Zhang, Y., Bu, D., Wang, J., Blood amino acids profile responding to heat stress in dairy cows. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 2018, 31, 47–53 http://dx.doi.org/10.5713/ajas.16.0428
- Hughes B.O., 1976. Behaviour as index of welfare. pp. 1005-1018 in Proc. 5th Eur. Poultry Conf., Malta.
- Istituto Superiore di Sanità EpiCentro - L'epidemiologia per la sanità pubblica, Qualità dell'aria: le nuove linee guida dell'OMS, 2021. https://www.epicentro.iss.it/ambiente/qualita-aria-linee-guida-oms-2021 (ultima consultazione 16/08/2025)
- Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia-Romagna (IZSLER), Sistema pagamento latte in base alla qualità - Attività analitica svolta dal

"Reparto Produzione Primaria" dell'IZSLER, Dirigente Responsabile Dr. Giorgio Zanardi, anni 2000-2019. https://www.izsler.it/pls/izs_bs/v3_s2ew_consultazione.mostra_pagina?id_pagina=405 (ultima consultazione 18/08/2025).

- J. Bohmanova, I. Misztal, J.B. Cole, Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress, J. Dairy Sci., 90 (2007), pp. 1947-1956.
- Ji-Qin Ni, Lilong Chai, Lide Chen, Bill W. Bogan, Kaiying Wang, Erin L. Cortus, Albert J. Heber Teng-Teeh Lim, Claude A. Diehl, Caratteristiche delle concentrazioni di ammoniaca, acido solfidrico, anidride carbonica e particolato nei pollai alti e nei pollai a strati di letame, Ambiente atmosferico. Volume 57, settembre 2012, pagine 165-174. Characteristics of ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and particulate matter concentrations in high-rise and manure-belt layer hen houses
- Jovović V., Pandurević T., Važić, B. & Erbez M., Microclimate Parameters and Ventilation inside the Barns in the Lowland Region of Bosnia and Herzegovina. Livestock Housing Conference 20 -22 October, 2015. Journal of Animal Science of Bosnia and Herzegovina, 2, 14-18.
- JRC, 2020. Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050.Technical report.
- Julia Stuhlträger, Eberhard von Borell, Jan Langbein, Christian Nawroth, Maria Vilain Rørvang, Camille M. C. Raoult, The role of light and vision in farmed ungulates and implications for their welfare, Front. Anim. Sci., 28 January 2025 Volume 5, 2024. https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1433181
- Kumar G, Devi P, Sharma N, Somagond YM. Impatto dello stress termico sulla produzione di latte, sulla composizione e sul profilo degli acidi grassi nelle vacche da latte: una revisione. J. Entomol. Zool. Stud. 2020;8(5):1278-83. https://www.researchgate.net/profile/Gaurav-Kumar-221/publication/349898798_Impact_of_thermal_stress_on_milk_production_composition_and_fatty_acid_profile_in_dairy_cows_A_review/links/605fac1da6fdccbfea0f579b/Impact-of-thermal-stress-on-milk-production-composition-and-fatty-acid-profile-in-dairy-cows-A-review.pdf

- Leliveld LMC, Lovarelli D., Riva E., Provolo G., Comportamento e attività fisica della vacca da latte come indicatori di stress da caldo, Italian Journal of Animal Science, 24 (1), 772–783, 2025. https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2471545
- Leliveld LMC, Riva E, Mattachini G, Finzi A, Lovarelli D, Provolo G. Dairy cow behavior is affected by period, time of day and housing. Animals. 2022;12(4):512. doi: 10.3390/ani12040512.
- Liu Z., Ezernieks V., Wang J., Arachchillage N.W., Garner J.B., Wales W.J., Cocks B.G., Rochfort S., Heat Stress in Dairy Cattle Alters Lipid Composition of Milk, Sci. Rep. 2017, 7, 961. http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01120-9
- Macciotta NPP, Biffani S, Bernabucci U, Lacetera N, Vitali A, Ajmone-Marsan P, Nardone A. 2017. Derivation and genome-wide association study of a principal component-based measure of heat tolerance in dairy cattle. J Dairy Sci. 100(6):4683–4697.
- Mader, T. L., J. L. Johnson, and J. A. Hahn, Effect of heat stress on dairy cattle performance, Journal of Dairy Science 89.1, 2006. (Pagine consultate: 381-391).
- Manenti G., Gastaldo A., Salvaguardia delle condizioni di benessere delle bovine da latte in stress da caldo: interventi su microclima e alimentazione, Servizi allo Sviluppo della Regione Sicilia, Ragusa, 2001.
- Nardone A., Ronchi B., Lacetera N., Ranieri M.S., Bernabucci U., 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. Livestock Science 130: 57-69.
- Nienaber J., Hahn G. Risposte della gestione del sistema di produzione zootecnica alle sfide termiche. Int J Biometeorol 52, 149–157, 2007. https://doi.org/10.1007/s00484-007-0103-x
- NRC. A Guide to Environmental Research on Animals; National Academy of Sciences: Washington, DC, USA, 1971.
- Opuscolo CRPA 5.53. Effluenti zootecnici nelle stalle per vacche da latte COSTI DI RICOSTRUZIONE, 2009.
- Paganini M., Allevamento da latte e benessere animale – Analisi di ogni fase e di come si può migliorare, edizione Point Veterinaire Italie, 2022. (Pagine consultate 11 – 25; 29; 141 – 154)

- Palmquist DL, Harvatine KJ. Origin of fatty acids and influence of nutritional factors on milk fat, Adv Dairy Chem. 2020, 2:33–66. http://refhub.elsevier.com/S0739-7240(22)00075-3/sbref0003
- Piano Nazionale di Contrasto all'Antibiotico-Resistenza (PNCAR) 2022-2025. https://www.epicentro.iss.it/antibiotico-resistenza/pncar-2022#:~:text=Il%20Piano%20Nazionale%20di%20Contrasto,antibiotico%2Dresistenza%20nei%20prossimi%20anni%2C
- Polsky L., Von Keyserlingk M.A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare, J. Dairy Sci, 2017, 100, 8645–8657. http://doi.org/10.3168/jds.2017-12651
- Professor F. W. Rogers Brambell, F.R.S., Report of the technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems, 1965. https://ia804502.us.archive.org/29/items/b3217276x/b3217276x.pdf
- Provolo G., Brandolese C., Grotto M., Marinucci A., Fossati N., Ferrari O., Be-retta E., Riva E., An Internet of Things system to monitor environmental conditions in livestock housing, 2024.
- Provolo G., Mattachini G., Riva E., Finzi A., Perego S., Sandrucci A., De Marinis P., Sali G., Analisi e interventi migliorativi degli aspetti strutturali e gestionali della STAlla per il BENessere della bovina da Latte – LASTABEN - Strutture per bovine da latte, 2020.
- Provolo G., Riva E., Rossi E., Condizioni microclimatiche nelle strutture stabulative per bovine da latte, Quaderni della Ricerca, vol.63, maggio 2007, Milano, Regione Lombardia. (Pagine consultate 1-90).
- Pulina G, Francesconi AHD, Stefanon B, Sevi A, Calamari L, Lacetera N, Dell'Orto V, Pilla F, Ajmone Marsan P, Mele M, Rossi F, Bertoni G, Crovetto GM & Ronchi B (2017) Sustainable ruminant production to help feed the planet, Italian Journal of Animal Science, 16:1, 140-171, DOI: 10.1080/1828051X.2016.1260500
- Qu, Q.; Groot, JCJ; Zhang, K.; Schulte, RPO Effetti del sistema di stabulazione, dei metodi di misurazione e dei fattori ambientali sulla stima dei tassi di emissione di ammoniaca e metano nelle stalle da latte: una meta-analisi. Biosyst. Eng. 2021, 205, 64–75.

- Ramanzin M., Battaglini L., Bovolenta S., Gandini G., Mattiello S., Sarti F.M., Sturaro E., commissione di studio ASPA "Allevamento e Servizi Ecosistemici", Sistemi agro-zootecnici e servizi ecosistemici, Quaderno SOZOOALP n° 10 – 2019. https://www.sozooalp.it/fileadmin/superuser/Quaderni/quaderno_10/1_Ramanzin_SZA10.pdf
- Ravagnolo O., Misztal I., Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation, J Dairy Sci, 83(9):2126-30, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75095-8, PMID: 11003247, Settembre 2000.
- Ronchi B., Stradaioli G., Verini Supplizi A., Bernabucci U., Lacetera N., Accorsi P.A., Nardone A., Seren E., 2001. Influence of heat stress and feed restriction on plasma progesterone, estradiol-17beta, LH, FSH, prolactin, and cortisol in Holstein heifers. Liv. Prod. Sci., 68: 231-241.

- Ronchi B., Stradaioli G., Verini Supplizi A., Bernabucci U., Lacetera N., Accorsi P.A., Nardone A., Seren E., 2001. Influence of heat stress and feed restriction on plasma progesterone, estradiol-17beta, LH, FSH, prolactin, and cortisol in Holstein heifers. Liv. Prod. Sci., 68: 231-241.

- Rossi P., Betti S., Stalle per vacche da latte. L'Informatore agrario, 1999. Pagine consultate 69-93.
- Rossi P., Gastaldo A., Ferrari P., Ricoveri, Attrezzature e Impianti per l'allevamento dei suini, Edited by Centro ricerche produzioni animali. L'Informatore Agrario. 2004.
- Rossi P., Gastaldo A., Stalle da latte, dove l'animale vive dove l'uomo lavora, Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA, 2012. https://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/Pubblicazi/conoscer&competere/_conoscerexcompeter_n3.pdf
- Rossi P., Stabulazione, le dimensioni che fanno la differenza, articolo pubblicato sul supplemento al L'Informatore Agrario n. 3/2018 a pag. 35, 2019.
- Sanchis E., Calvet S., Del Prado A., Estellés F., Una meta-analisi degli effetti dei fattori ambientali sulle emissioni di ammoniaca dagli allevamenti di bovini da latte. Biosistemi. L'Ing. 2019 ,178 ,176–183.
- Sandrucci A., Trevisi E., Produzioni animali, EDISES, 2022 Mar. - ISBN 9788836230754.

- Setti G., Stress da caldo, dalle bovine il 20% di latte in meno, 20 Giugno 2017, Informatore Zootecnico https://informatorezootecnico.edagricole.it/in-primo-piano/20005862-2/#:~:text=Stress%20da%20caldo%20anche%20per%20gli%20animali,latte%20in%20meno%20rispetto%20ai%20periodi%20normali
- Shin J., Roh H., Kim D., Wi J., Lee S., Ahn H., Emissioni stagionali e diurne di ammoniaca da stalle di finissaggio suini con ventilazione a canale di terra, 2025. https://doi.org/10.3390/ani15131892
- Tangorra F., Calcante A., Zucali M., Progetto MungiLUX: Uso efficiente dell'illuminazione artificiale e sfruttamento intensivo della luce naturale nelle sale di mungitura, 2023. https://mungilux.unimi.it/
- Trentino-Alto Adige, Trentino-Alto Adige, tariffe prestazioni servizi veterinari, 29 novembre 2018, https://www.anmvioggi.it/images/Circolari_e_delibere_2018/Trentino_Compensi_Pubblici_BO471801.pdf
- Verdes, Sonia & Trillo, Yolanda & Peña, Ana & García Herradón, Pedro & Becerra, J.J. & Quintela Arias, Luis. (2020). Relationship between quality of facilities, animal-based welfare indicators, and measures of reproductive and productive performances on dairy farms in the northwest of Spain. Italian Journal of Animal Science. 19. 319-329. 10.1080/1828051X.2020.1743784.
- Vitali A., Felici A., Esposito S., Bernabucci U., Bertocchi L., Maresca C., Nardone A., Lacetera N., 2015. The effects of heat waves on dairy cow mortality. J. Dairy Sci., 98: 4572-4579.
- Vitali A., Felici A., Lees A. M., Giacinti G., Maresca C., Bernabucci U., Gaughan J. B., Nardone A., Lacetera N., Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle, Volume 103, Numero 9, p8378-8387, settembre 2020, J. Dairy Sci. 103:8378–8387 https://doi.org/10.3168/jds.2019-17748
- Vitali A., Segnalini M., Esposito S., Lacetera N., Nardone A., Bernabucci U., 2019. The changes of climate may threat the production of Grana Padano cheese: past, recent, and future scenarios. Italian J. of Animal Science, 18: 922-933.
- Weller JI, Ezra E, Ron M. 2017. Invited review: A perspective on the future of genomic selection in dairy cattle. J. Dairy Sci. 100(11):8633–8644.

- Y. Aharoni, A. Brosh, Y. Harari, Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: effects on intake, milk yield and energy expenditure, Livestock Production Science, Volume 92, Issue 3, 2005, Pages 207-219, ISSN 0301-6226. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622604001691
- Yan G, Shi Z, Li H. Critical *Temperature - Humidity Index* thresholds based on surface temperature for lactating dairy cows in a temperate climate. Agricolture. 2021; 11:970. doi: 10.3390/agriculture11100970.
- Zanini L., Specialista qualità latte SATA Referente tecnico A.A.L.O. (Associazione allevatori Lombardia Ovest), Conta delle cellule somatiche: inizia così la lotta alla mastite, Supplemento a L'Informatore Agrario, 2017. https://www.aral.lom.it/wp-content/uploads/2020/04/28015sup.pdf