



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e
Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

**“L’UTILIZZO DI SENSORI E SISTEMI AUTOMATICI
NELLA GESTIONE DELLE VACCHE DA LATTE”**

**“SENSORS AND AUTOMATIC SYSTEMS TO SUPPORT
THE MANAGEMENT OF DAIRY COWS”**

Relatore

Prof. Luigi Gallo

Laureanda:

Romina Schiavo

Matricola n.:

1222246

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

“L’unico modo per fare un buon lavoro è amare quello che fate.

Se ancora non l’avete trovato, continuate a cercare.

Non accontentatevi.”

Steve Jobs

INDICE GENERALE

RIASSUNTO	3
ABSTRACT	5
Capitolo 1: INNOVAZIONI TECNOLOGICHE E AGRICOLTURA 4.0	7
1.1 TECNOLOGIE INNOVATIVE DELL'AGRICOLTURA 4.0	8
1.2 SETTORI AGRICOLI COINVOLTI NELL'USO DELLA TECNOLOGIA 4.0	10
Capitolo 2: LA TECNOLOGIA APPLICATA ALL'ALLEVAMENTO DELLE BOVINE DA LATTE	13
2.1 LA TECNOLOGIA NIRS	13
2.2 LA TECNOLOGIA IoT	16
2.2.1 Il robot di mungitura	20
2.2.2 Sistemi automatici di miscelazione ed alimentazione	22
2.2.3 Sensori per la previsione del parto	24
2.2.4 Strumenti per il controllo dello stato generale delle bovine.....	26
2.2.5 I boli ruminali	29
Capitolo 3: LO STRESS DA CALDO E STRATEGIE DI DIFESA	31
3.1 EFFETTI SULL'INGESTIONE	32
3.2 EFFETTI SULLA PRODUZIONE DI LATTE	32
3.3 EFFETTI SULLA RIPRODUZIONE	33
3.4 EFFETTI SUL SISTEMA IMMUNITARIO	34

3.5	STRATEGIE DI DIFESA	35
3.5.1	Strutture di allevamento	36
3.5.2	Strategie di difesa manageriali	44
Capitolo 4: SISTEMI AUTOMATICI PER LA GESTIONE DELL'AMBIENTE NEGLI EDIFICI ZOOTECNICI		47
4.1	SENSORI AMBIENTALI	47
4.2	SISTEMI AUTOMATICI	48
4.3	INDICE THI	51
CONCLUSIONE		56
BIBLIOGRAFIA		58

RIASSUNTO

Le innovazioni che nei secoli hanno interessato il settore agricolo hanno consentito di aumentare progressivamente le rese produttive riducendo nel contempo l'impiego di manodopera e la fatica fisica. La rivoluzione che stiamo vivendo in questi anni, nota col termine "agricoltura 4.0", grazie ad una raccolta massiva di dati raccolti dal campo e sfruttando nuove tecnologie digitali, può offrire grandi contributi alla gestione dei fattori produttivi. Per far questo vengono utilizzati nuovi strumenti come sensori di diverse tipologie, machine learning, intelligenza artificiale e robotica, le quali sono facilmente adattabili ai diversi settori dell'agricoltura. In particolare, nel settore dell'allevamento, sono state introdotte delle attrezzature che permettono di migliorare la gestione delle bovine da latte. La zootecnia di precisione ha portato nelle stalle innovazioni come la tecnologia NIRS e la tecnologia IoT. Quest'ultima, grazie ai numerosi strumenti commercializzati, consente di spaziare su più ambiti come la creazione di impianti automatizzati per la mungitura e per l'alimentazione, ma anche oggetti quali podometri, collari, marchi auricolari elettronici, per il monitoraggio di diversi parametri dei singoli capi. Tra le varie problematiche dell'allevamento bovino in cui la tecnologia 4.0 può dare un aiuto è presente anche la gestione dello stress da caldo. È una condizione degli animali che porta ingenti perdite dal punto di vista economico, perché incide negativamente sull'ingestione, sulla produzione, sulla fertilità e anche sulla salute. Per ovviare a questo problema da tempo sono state adottate soluzioni di tipo strutturale ma anche manageriale. Per quanto riguarda l'offerta tecnologica, quest'ultima dà l'opportunità di creare un ambiente intelligente per la gestione dello stress da caldo e permette

di raggiungere l'obiettivo in maniera più efficiente con la minima introduzione di input.

ABSTRACT

The innovations that over the centuries have affected the agricultural sector have made it possible to progressively increase production yields while reducing the use of labor and physical fatigue. The revolution we are experiencing in recent years, known as "agriculture 4.0", thanks to a massive collection of data collected from the field and exploiting new digital technologies, can offer great contributions to the management of production factors. To do this, new tools are used such as sensors of different types, machine learning, artificial intelligence and robotics, which are easily adaptable to different sectors of agriculture. In the livestock sector, equipment has been introduced to improve the management of dairy cows. Precision livestock farming has brought innovations such as NIRS technology and IoT technology to the barns. The last one, thanks to the numerous tools marketed, allows you to range over several areas such as the creation of automated systems for milking and feeding, but also objects such as pedometers, collars, electronic ear tags, for monitoring different parameters of individual animals. Among the various problems of cattle breeding in which technology 4.0 can help, there is also the management of heat stress. It is a condition of animals that brings huge losses from an economic point of view, because it negatively affects ingestion, production, fertility and health. To avoid this problem, structural and managerial solutions have been adopted for some time. As for the technological offer, it gives the opportunity to create an intelligent environment for the management of heat stress and allows to achieve the goal more efficiently with the minimum introduction of inputs.

Capitolo 1: INNOVAZIONI TECNOLOGICHE E AGRICOLTURA 4.0

Nel corso della storia l'agricoltura è cambiata molto. Con le varie rivoluzioni che si sono susseguite negli anni si è passati dalla necessità di avere molta manodopera per ottenere scarse rese, ad oggi, in cui si riesce ad ottenere una produzione soddisfacente con poche ore di lavoro grazie all'introduzione di mezzi meccanici più evoluti. Attualmente ci troviamo di fronte alla quarta rivoluzione dell'agricoltura che sta portando nuove tecnologie che renderanno il settore agricolo ancora più efficiente. Questa continua evoluzione e ricerca della massimizzazione della produzione con minori input è spinta dalle necessità di soddisfare la maggiore domanda alimentare della popolazione in continua crescita e di utilizzare più consapevolmente le risorse ambientali ormai sempre più carenti (Sharma et al., 2022). L'agricoltura 4.0 è rappresentata dall'evoluzione dell'agricoltura di precisione. L'innovazione introdotta, che la rende migliore rispetto alle precedenti, è la creazione di sistemi in grado di raccogliere ed elaborare i dati forniti da determinate apparecchiature, e in base ad essi, riuscire a dare supporto digitale nel processo gestionale dell'attività all'agricoltore. I vantaggi dell'agricoltura di precisione sono numerosi e vanno dalla minor necessità di manodopera con maggior produttività, al minor degrado ambientale e maggior benessere per gli animali. Tutto questo riesce a farlo anche con una notevole riduzione degli input che comporta anche un discreto risparmio economico. Nonostante i numerosi lati positivi, bisogna lavorare anche sugli agricoltori che risultano essere diffidenti verso queste nuove tecnologie (Barrett and Rose, 2022). I benefici possono essere comunque molto diversi perché dipendono soprattutto dal campo di applicazione e dalla tecnologia utilizzata.

1.1 TECNOLOGIE INNOVATIVE DELL'AGRICOLTURA 4.0

Le tecnologie sviluppate in agricoltura con questa rivoluzione sono le seguenti e alcune di esse si sono già ampiamente diffuse (Maffezzoli et al., 2022):

- Internet delle cose (IoT): è una rete che permette la connessione di più elementi per il rilevamento, trasmissione, monitoraggio e risposte applicative. Per farlo prevede più blocchi. Il primo è quello adibito alla percezione e raccolta dati costituito principalmente da sensori, il secondo prevede la funzione della trasmissione delle informazioni tramite rete. Successivamente si passa al livello di elaborazione operato dal controllo intelligente o modelli di previsione basati su dati noti ed infine quello di applicazione tramite cloud computing o servizi di rete (Chen and Yang, 2019).
- Analisi dei dati e big data: è la raccolta e l'analisi di grandi quantità di dati attraverso diverse tecniche, i quali vengono elaborati a volumi, velocità e varietà elevate. Nell'aspetto pratico consentono di controllare un'attività in tempo reale (Saggi and Jain, 2018).
- Intelligenza artificiale (AI) e machine learning (ML): sono due processi che sfruttano degli algoritmi per l'elaborazione dei dati. Quindi, sono in grado di acquisire ed elaborare i dati per poi fornire delle previsioni future sulla base dello storico, ed offrire dei metodi di risoluzione del problema (Sharma et al., 2022).
- Cloud computing e sistema cyber-fisico (CPS): è una tecnologia utilizzata per velocizzare i tempi di risposta dei dispositivi e migliorare i servizi, ed è sempre integrata in altri processi (Lee et al., 2015).
- Elaborazione delle immagini: le immagini vengono raccolte per estrapolare i dati utili presenti in esse. Viene molto usata per controllare le fasi di crescita e la salute delle colture (Barbedo, 2019).

- Sistema informativo geografico (GIS) e analisi: consente la raccolta di dati riguardanti la geolocalizzazione delle aree ed è molto importante perché riesce ad associare i dati raccolti con altri sistemi, per esempio l'elaborazione delle immagini, con la loro posizione per la creazione di mappe (Figura 1.1) (J. Kim et al., 2019).
- Robotica e automazione: comprende macchinari in grado di svolgere delle mansioni in maniera automatica, diminuendo così la necessità di manodopera e molte volte aumentando la qualità e la produzione (Oztemel and Gursev, 2020).
- Droni e veicoli aerei senza pilota (UAV) (Figura 1.2): sono strumenti che volano indipendenti e uniscono in un unico elemento più tecnologie elencate prima. Molto versatili perché utili sia per l'attività di monitoraggio, sia per le attività incluse in un processo produttivo, per esempio per la distribuzione di agrofarmaci (J. Kim et al., 2019).
- Tecnologie della comunicazione: rappresenta la via astratta dove vengono scambiate le informazioni tra mezzi digitali. Alcuni esempi sono le reti wireless, 5G (Ayaz et al., 2019).
- Blockchain: tecnologia che permette la conservazione dei documenti in maniera più sicura. Viene sfruttata soprattutto per la tracciabilità lungo la filiera.
- Realtà aumentata e realtà virtuale (AR e VR): meno sfruttate nell'attività agricola, anche se meritano di essere studiate perché potrebbero dare un grande aiuto per la creazione di statistiche sulle colture e aggiornamenti meteo (Maffezzoli et al., 2022).

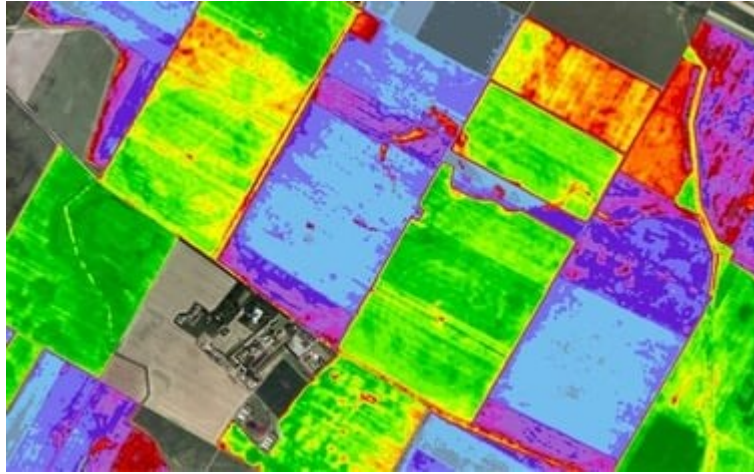


Figura 1.1: Mappa di terreni agricoli creata con l'elaborazione delle immagini secondo un determinato parametro (R&S Forigo, 2018).



Figura 1.2: L'utilizzo di droni durante il processo produttivo, per l'apporto di input in campo (Luca Masali, 2015).

1.2 SETTORI AGRICOLI COINVOLTI NELL'USO DELLA TECNOLOGIA 4.0

La nuova tecnologia importata dalla rivoluzione agricola viene applicata in molti ambiti della produzione agricola. Molti interventi di agricoltura di precisione hanno riguardato e riguardano l'agronomia e le colture erbacee. Di seguito vengono riportate le principali attività che sono state interessate dall'agricoltura di precisione:

- Gestione delle risorse idriche: molte tecnologie si stanno adottando per riuscire ad ottimizzare l'utilizzo dell'acqua dolce, irrigando solo quando serve al fine di diminuire le perdite vista la scarsità della risorsa.
- Gestione e monitoraggio delle colture: vengono utilizzati mezzi per raccogliere i dati sulle piante per poter programmare i vari processi produttivi, come il calcolo degli input necessari per la crescita della coltura oppure il rilevamento di situazioni di malattia per poter intervenire subito.
- Previsione e monitoraggio microclimatico di precisione: consiste nel controllo e previsione delle condizioni climatiche al fine di garantire un adeguato ambiente di crescita per le piante.
- Gestione agrochimica e fertilizzante: vengono usati nuovi mezzi che consentono il giusto dosaggio degli input in modo da diminuire la loro quantità consumata, ridurre i costi e salvaguardare l'ambiente.
- Monitoraggio del territorio e del suolo: sono applicati dei mezzi che servono per rilevare le risorse del suolo e per orientare la scelta della coltura coltivata per ottenere la massima resa.
- Regolazione e monitoraggio del bestiame (crescita e salute): si utilizzano degli strumenti di monitoraggio delle funzioni degli animali.
- Coltivazione in serra: in questo settore la tecnologia ha dato un gran contributo e ha creato diversi sistemi per agevolare il lavoro umano e

aumentare la produttività delle piante come per esempio l'agricoltura verticale.

- Sistema di navigazione di veicoli e macchinari autonomi: consiste in mezzi automatici, che spaziano da robot e macchine agricole, che svolgono autonomamente il lavoro, grazie ai sistemi di raccolta dati e ai logaritmi per la loro elaborazione.
- Idroponica ed acquaponica: grazie alle tecnologie c'è un utilizzo più efficiente delle risorse quali acqua, fertilizzanti, pesticidi.
- Monitoraggio del prodotto lungo la filiera: sono stati introdotti nuovi elementi che tracciano il percorso di un prodotto finito lungo la filiera (Maffezzoli et al., 2022).

Anche il settore delle produzioni animali è però stato interessato da diverse innovazioni tecnologiche che possono essere inquadrare all'interno della tecnologia 4.0. Alcune di queste applicazioni verranno descritte nel capitolo seguente.

Capitolo 2: LA TECNOLOGIA APPLICATA ALL'ALLEVAMENTO DELLE BOVINE DA LATTE

La tecnologia sta offrendo molti vantaggi in molti settori agricoli, tra questi anche l'allevamento. La zootecnia di precisione rappresenta un nuovo metodo per migliorare le performances produttive del bestiame. I nuovi strumenti introdotti hanno lo scopo di controllare la salute degli animali attraverso il monitoraggio dei loro parametri e garantire la massima condizione di benessere grazie alla gestione delle condizioni ambientali. La raccolta dei dati in tempo reale di ogni singolo capo permette di attuare soluzioni tempestive o preventive al fine di migliorare il management della mandria. Gli strumenti considerati più adatti per raggiungere l'obiettivo sono i sensori che possono essere collocati all'interno dell'edificio, incorporati in apparecchi indossabili dagli animali oppure presenti in strumenti utilizzati dall'operatore. I sensori raccolgono dati e, in diverse maniere, scambiano informazioni con l'uomo. Qualche progetto è stato condotto per sviluppare sensori di diverse tipologie utili alla misurazione di molti parametri, come lo stress da caldo, la comparsa di zoppie, l'inizio di malattie, ma anche per il monitoraggio del normale comportamento dei bovini quali ruminazione, inizio del parto, deambulazione (Jukan et al., 2017). È stata prodotta anche una vasta gamma di sensori dedicati ad altre funzioni come la rilevazione dei parametri ambientali e la misurazione della composizione dei mangimi.

2.1 LA TECNOLOGIA NIRS

La continua ricerca per una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse sta indirizzando l'allevamento ad utilizzare il minor quantitativo di materie prime,

pur mantenendo la massima produzione. A seguito di queste necessità, si è prestata maggiore attenzione alla dieta sia dei monogastrici che dei ruminanti. Sono state ideate diverse metodologie per il rilevamento della composizione dei mangimi, al fine di realizzare una razione perfetta, tenendo conto delle caratteristiche del singolo alimento. Le tecniche di analisi praticate nel passato sono state pian piano abbandonate a causa degli elevati costi e tempi prolungati e anche per il fatto di doversi affidare a terze figure con manodopera qualificata per eseguire il lavoro. Sono state sostituite, quindi, con nuove metodologie che prevedono l'utilizzo di equazioni di regressione basate su parametri chimici oppure l'utilizzo della spettroscopia di riflettanza nel vicino infrarosso (NIRS¹). Sono molto più efficienti perché permettono di ottenere la composizione chimica degli alimenti in minor tempo, con minori costi e con alta precisione. Sono già stati condotti degli studi che paragonavano l'efficienza tra queste due nuove pratiche ed è risultato che il NIRS presenta maggior precisione nel quantificare la quantità di elementi nei mangimi e nei foraggi rispetto alla prima (Pereira-Crespo et al., 2022).

La spettrometria nel vicino infrarosso determina la composizione chimica di un alimento. Per farlo utilizza uno spettro luminoso che emana luce infrarossa (800-2500 nm), le cui lunghezze d'onda interagiscono con i legami chimici tra gli atomi delle molecole organiche del campione, come idrogeno, azoto. La sostanza organica, quindi, assorbe una determinata quantità di luce che dipende dal numero di legami chimici che contiene. Perciò per determinare la quantità di elemento, lo spettrometro va a quantificare quanta luce infrarossa è stata assorbita dal campione, rilevando la luce persa ossia quella che passa attraverso il campione e quella che viene riflessa dal campione.

¹ NIRS=Near Infrared Spectroscopy

Questa tecnica è veloce, offre l'opportunità di recuperare il materiale perché nell'analisi non viene distrutto e può risultare più economica delle altre, dopo aver fatto l'investimento iniziale. Presenta anche dei limiti perché non è in grado di quantificare la sostanza minerale in maniera precisa a causa di contaminazioni di sabbia o terra molto frequenti nei foraggi. Inoltre, in presenza di alimenti molto umidi, c'è il rischio di ottenere un risultato alterato perché i vari elementi non vengono ben rilevati a causa della presenza dell'acqua che assorbe in grandi quantità la luce infrarossa. Infine, è uno strumento che richiede di essere ben calibrato perché rileva le quantità di elemento indirettamente, paragonando i risultati dello spettro delle misurazioni eseguite in azienda, allo spettro infrarosso dei risultati delle misurazioni effettuate in laboratorio con metodi di riferimento. Questa tecnologia è già usata in laboratori per svolgere alcune analisi e anche da ditte mangimistiche per rilevare la qualità dei vari lotti di materie prime. Potrebbe anche essere utilizzato in aziende agricole per valutare quotidianamente il contenuto della razione, ma anche per verificare l'effettiva digeribilità di un alimento, andando ad analizzare il contenuto delle feci, così da seguire in maniera più precisa l'intero processo di alimentazione e correggere la razione qualora ci fossero degli sprechi (BASTIANELLI et al., 2019). Il problema principale per le aziende è l'adozione dell'attrezzatura da laboratorio per condurre queste analisi, ma sono stati creati vari dispositivi NIR portatili (Figura 2.1) che permettono agli allevatori di misurare le qualità chimiche e fisiche della razione con precisione ogni giorno, in maniera semplice, pratica e veloce (Serva et al., 2021).



Figura 2.1: Nir portatile (Paolo Berzaghi, 2019).

2.2 LA TECNOLOGIA IoT

La fonte principale per il monitoraggio dei parametri chiave degli animali allevati è la tecnologia IoT. Si tratta di un sistema che crea interconnessione tra oggetti intelligenti per lo scambio di informazioni, con lo scopo di informare l'allevatore in tempo reale delle condizioni della mandria.

Questa tecnologia prevede quattro livelli principali (Figura 2.2):

- Il livello fisico o di rilevamento: serve per la raccolta dei parametri dell'animale come temperatura, ruminazione, movimento, ecc. Gli elementi principali utilizzati per questo scopo sono i sensori.
- Il livello di rete o di trasmissione: ha la funzione di trasmettere i dati rilevati dal livello precedente e indirizzarli verso il livello applicativo per l'elaborazione delle informazioni. Per farlo si utilizzano i gateway di connessione che sopperiscono al problema dei sensori di non riuscire a connettersi alla rete, per inviare i dati al prossimo livello. Si servono di reti che usano Internet, come la rete WIFI, Loran oppure Zigbee per il trasferimento delle informazioni.

- Il livello di trasporto: funge da interconnessione tra il livello di rete e quello applicativo. È composto da due elementi principali: il server che analizza ed elabora i dati e controlla la loro affidabilità, e il cloud dove vengono archiviati tutti i dati raccolti.
- Il livello di applicazione: è la piattaforma dove, tramite rete, arrivano i dati elaborati dal server e vengono inviati ai dispositivi degli agricoltori. Questo livello può avvalersi di applicazioni per raccogliere i dati in un'unica piattaforma, dove è possibile anche gestire i vari elementi di questa tecnologia.



Figura 2.2: Struttura dei 4 livelli di IoT, con alcuni esempi di strumentazione quali collari, ear tag (Faoro et al., 2022).

Questo sistema viene applicato in più settori zootecnici e nell'ambito dell'allevamento delle bovine da latte può essere adibita a più mansioni. Come illustra la figura 2.3 questa tecnologia permette il monitoraggio delle varie funzioni degli animali, il controllo e la previsione degli elementi collegati alla fertilità del bestiame, la geolocalizzazione, dà la possibilità di automatizzare alcune mansioni umane ed infine offre una vasta tipologia di sensori che possono essere sfruttati per le creazioni di sistemi efficienti nel controllo dell'ambiente in cui vive la mandria.

A livello pratico, molte aziende stanno proponendo e hanno già immesso sul mercato da tempo nuove tecnologie che hanno portato alla più efficiente gestione dell'allevamento sia per un costante controllo da parte delle macchine, sia per maggior precisione nell'effettuare alcuni processi produttivi. Qui di seguito riportiamo le relative innovazioni (Farooq et al., 2022).

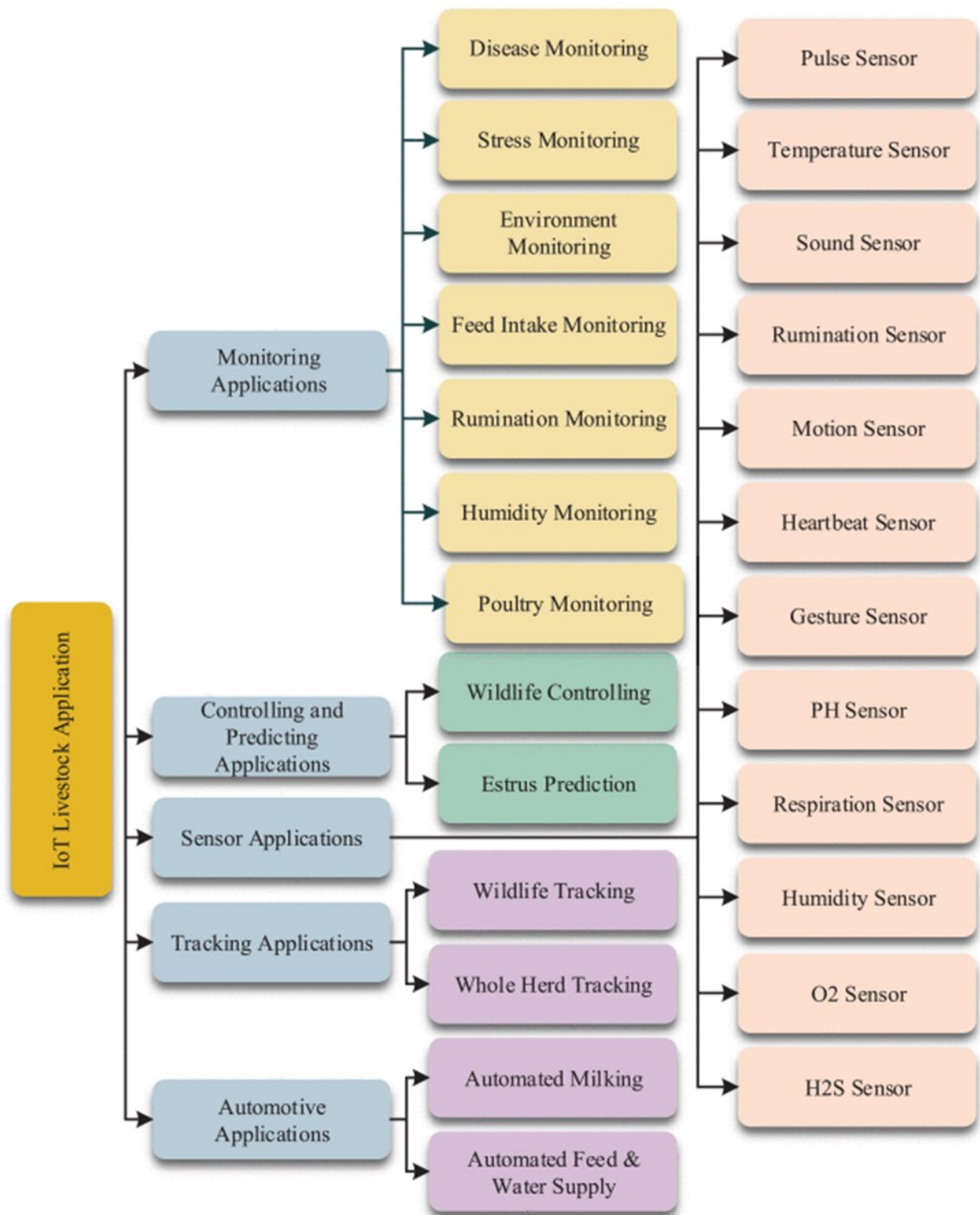


Figura 2.3: Applicazioni della tecnologia IoT in allevamento. (Faoro et al., 2022).

2.2.1 IL ROBOT DI MUNGITURA

Il robot di mungitura (AMS²) (Figura 2.4) è nato nel 1992, e nel corso degli anni è stato perfezionato nei minimi particolari, tanto da diventare un eccellente strumento che si è diffuso esponenzialmente negli allevamenti di tutto il mondo. Si tratta di un sistema automatico che svolge l'attività di mungitura. È composto da varie parti specifiche per ogni fase del lavoro. Sono presenti dei cancelli di preselezione, una struttura di contenimento, un sistema computerizzato per il riconoscimento delle bovine, dei sensori per la rilevazione dei capezzoli, un braccio robotico per l'attacco del gruppo mungitore, un sistema di pulizia e disinfezione dei capezzoli, un sistema di distribuzione del mangime.

A livello pratico, la bovina si dirige verso il robot di mungitura volontariamente oppure in maniera guidata. Questo dipende molto dal posizionamento del robot nella stalla. Ci sono due strategie principali: la prima prevede la creazione di un flusso libero, dove gli animali sono liberi di andare autonomamente presso l'AMS. La seconda possibilità, invece, è quella di costruire un flusso guidato, dove i robot di mungitura sono collocati prima oppure dopo la corsia di alimentazione, in modo tale che l'animale se vuole andare a nutrirsi oppure a riposarsi è obbligato a passare per questo sistema. Nel momento in cui la bovina da latte si trova presso il robot di mungitura, viene avviata la prima fase del lavoro, ovvero il riconoscimento che può avvenire già all'esterno della struttura di contenimento. Questo processo viene effettuato dal sistema computerizzato che identifica l'animale grazie all'elemento RFID³ solitamente inserito nel collare oppure nel podometro. Il computer, quindi, controllando i vari dati della bovina decide se è il suo turno oppure no. In caso negativo, se il riconoscimento

² AMS= automatic milking system= sistema automatico di mungitura

³ RFID=Radio Frequency Identification

avviene esternamente al robot, i cancelli di preselezione non faranno entrare l'animale, mentre se il riconoscimento avviene all'interno del robot di mungitura, l'animale viene rilasciato subito. Nel caso in cui la vacca dev'essere munta, si avviano le vere e proprie fasi di mungitura; quindi, dopo che i sensori individuano i capezzoli si procede con la loro pulizia tramite l'utilizzo di acqua, aria e rulli. Successivamente il braccio robotico attacca il gruppo mungitore alla mammella della bovina. Con il rilevamento del flusso di latte, il robot decide il momento dello stacco automatico che può essere individuale di ogni tettarella per evitare una sovra mungitura. Infine, si conclude il processo con la disinfezione dei capezzoli e il rilascio degli animali (Aldo Calcante, 2022; Filho et al., 2020). Il robot di mungitura è dotato anche di altri elementi automatici che svolgono funzioni secondarie, ma non meno importanti oltre a quella per cui è stato creato. Possiede un sistema di alimentazione automatico che ha la funzione di erogare la giusta quantità di razione in base all'animale che entra nella postazione. Questo elemento serve principalmente a garantire una adeguata frequentazione del robot, come dimostrato da diversi studi. Inoltre, può essere dotato oppure no, secondo la volontà dell'allevatore, di sistemi di rilevazione del peso degli animali o di sistemi per il rilevamento del BCS⁴, che permettono di avere informazioni aggiuntive sul singolo animale e sull'intera mandria (Rossi and Motta, 2020). Il sistema computerizzato offre anche la possibilità di registrare numerosi dati specifici di ogni capo per farli visionare dall'operatore tramite tecnologia IoT. Infatti, le informazioni raccolte da strumenti di misurazione vengono elaborate e conservate in software. I parametri rilevati durante la mungitura riguardano più aspetti della produzione di latte come il peso, con i rispettivi dati di

⁴ BCS=body condition score

frequenza, durata di permanenza nella posta e flusso di latte per capezzolo. Ci sono poi dei sensori utili alla determinazione della qualità del latte che ne misurano i contenuti di proteine, grassi, cellule somatiche e altri elementi anomali come sangue o anche alti livelli di cellule che indicano degli stati di infiammazione, per cui viene inviato un allarme all'allevatore (Aldo Calcante, 2022).

I robot di mungitura, quindi, sono in grado di offrire numerosi lati positivi sia per l'uomo, come minor tempo di lavoro, minori costi per la minor manodopera, ma soprattutto per gli animali che producono di più e con maggior qualità grazie al maggior numero di mungiture al giorno che consente di mantenere le cellule somatiche a livelli bassi e di ridurre la pressione endomammaria. Inoltre permette il costante monitoraggio della salute degli animali grazie ai parametri quotidianamente rilevati (Filho et al., 2020).

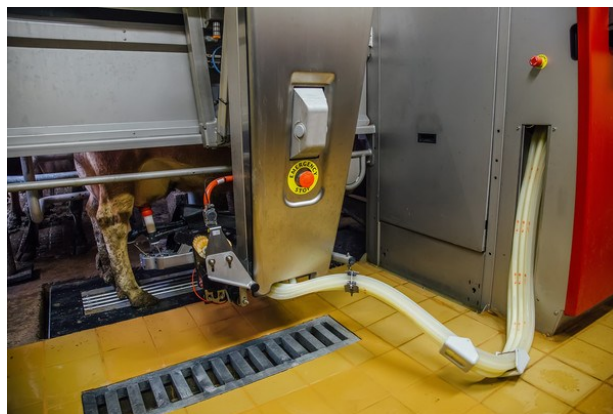


Figura 2.4: Robot di mungitura (Domenico Pessina, 2017).

2.2.2 SISTEMI AUTOMATIZZATI DI MISCELAZIONE E ALIMENTAZIONE

Con il passare degli anni le operazioni per nutrire gli animali sono diventate sempre meno manuali. L'evoluzione della tecnologia e della meccanica ha visto entrare nel mercato i carri miscelatori che svolgono il lavoro di miscelazione e

distribuzione dell'alimento, guidati dall'uomo. Attualmente si punta sempre più all'uso di mezzi più autonomi, con l'obiettivo di diminuire il tempo di lavoro dell'allevatore per questa mansione. Per questi motivi sono state ideate delle apparecchiature di alimentazione che possono servirsi di una linea fissa come l'utilizzo di nastri trasportatori, oppure di mezzi mobili quali carri di alimentazione elettrica e robot automatici. Gli ultimi sono altamente tecnologici e permettono di soddisfare questa mansione, ma anche raccogliere dati come il numero di corse, la quantità di cibo scaricato e il numero di capi di bestiame serviti (Vaculík and Smejtková, 2019). Infatti, negli ultimi anni, con i robot di mungitura, si stanno espandendo anche questi sistemi di alimentazione automatica che prevedono l'utilizzo di robot. È una soluzione che oltre a raccogliere dati sul bestiame, offre altri vantaggi, infatti, permette di avere meno costi sia perché non ci sono perdite di cibo, sia perché riduce la manodopera adibita alla miscelazione e distribuzione degli alimenti.

Sul mercato sono presenti diverse linee tecnologiche, destinate all'alimentazione che possono svolgere alcune mansioni oppure possono occuparsi dell'intera procedura. Il macchinario di base è un robot (Figura 2.5) che, dopo essere stato caricato, miscela i vari componenti della razione e li distribuisce in mangiatoia, seguendo la rotaia su cui scorre. Inoltre, compie più passaggi per spingere l'alimentazione più vicina agli animali, in modo che possa essere sempre disponibile. Le soluzioni più evolute prevedono anche dei macchinari adibiti al riempimento del robot con foraggio e mangimi e anche degli attrezzi per il trasporto automatico del singolo alimento dal silos al robot che dosa e miscela la razione (Wardal et al., 2021).



Figura 2.5: Robot per l'automatizzazione dell'alimentazione delle bovine da latte (Massimo Brambilla, 2021).

2.2.3 SENSORI PER LA PREVISIONE DEL PARTO

Il parto è un evento che interessa tutte le bovine per l'inizio della produzione di latte. È importante che durante questa fase ci sia assistenza da parte degli operatori per facilitare questa operazione per il miglior benessere sia della vacca che del vitello, soprattutto quando si verificano situazioni difficili come la distocia.

Alcune ricerche hanno certificato che l'intervento dell'allevatore nel momento di inizio del parto, riduce notevolmente la possibilità di comparsa di alcune patologie per la bovina, quali metrite clinica o lacerazioni vaginali. Per questo motivo sono stati ideati alcuni strumenti dotati di sensori, che vengono collocati in diverse parti della bovina e hanno il compito di rilevare questo momento ed avvisare tempestivamente l'operatore tramite rete. Tra questi elementi esistono i sensori vulvari, che vengono applicati all'interno della vulva tramite una piccola operazione veterinaria. Hanno lo scopo di rilevare la separazione tra le labbra vulvari al passaggio del sacco embrionale che contiene il feto. È un metodo invasivo, ma consente di individuare l'inizio del parto con alta precisione. Ci sono poi i sensori intravaginali che vengono posti vicino alla cervice tramite

un'operazione svolta dall'operatore con guanti sterili. Nel momento del parto vengono espulsi, quindi rilevano valori differenti di un particolare parametro tra l'interno e l'esterno dell'animale. A quel punto si genera un allarme che avvisa l'allevatore tramite rete dell'inizio del parto. Ne esistono di due tipi principali: il primo sensore rileva la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno dell'animale, ma può avere dei problemi nella stagione calda a causa dello stress da caldo; il secondo è un sensore fisico per la luce che misura la diversa luminosità nei due luoghi, ma può avere dei problemi se il parto avviene nelle ore buie (Lopez-Gatius and Szenci, 2022). Altri sensori, come inclinometri ed accelerometri, vengono utilizzati per monitorare l'attività della coda in previsione del parto. Questi dispositivi vengono chiamati Moocall (Figura 2.6) e sono meno invasivi dei precedenti perché sono costituiti da un bracciale contenente entrambi i sensori, che viene collocato alla base della coda. Ad ogni ora ne monitora i movimenti e se i dati presentano notevole differenza con gli algoritmi del sistema, viene generato un allarme che tramite rete avvisa l'allevatore. Il momento del parto può essere determinato da questi sensori in maniera più precisa integrando altri dispositivi come collari e podometri utili al rilevamento delle attività dell'animale (Giaretta et al., 2021). È noto, infatti, che nei giorni prima del parto, oltre a presentare mammelle più gonfie con edema, le bovine da latte cambiano il loro comportamento. Hanno maggior tendenza ad isolarsi e risultano essere più agitate riducendo il loro tempo di riposo, ed aumentando l'attività in piedi, soprattutto nelle ultime due ore. Inoltre, anche la loro postura cambia, infatti la coda si presenta alzata soprattutto nelle sei ore precedenti al parto (Jensen, 2012). Alcune prove sperimentali hanno determinato però l'effetto negativo degli strumenti attaccati alla coda, infatti, nei casi studiati più volte si sono verificate

questi eventi ed avvisare l'operatore che deve svolgere alcune operazioni necessarie nel tempo utile. Per tale scopo sono stati utilizzati diversi tipi di sensori, ma gli accelerometri tridimensionali indossabili risultano essere quelli più performanti (Bovo et al., 2020), spesso associati a sensori GPS⁵ (Schlecht et al., 2004). Ne esistono di svariate tipologie e differiscono nella parte del corpo dove vengono applicati. I più utilizzati sono i collari, a seguire i podometri e i tag sull'orecchio (Smith et al., 2016). Il podometro (Figura 2.7) è costituito da un accelerometro contenuto in un piccolo contenitore impermeabile legato alla gamba tramite un cinturino. Viene collocato nella gamba posteriore e in base alla posizione che assume, indica l'attività svolta dall'animale. Questo strumento serve prevalentemente ad ottenere dati sul tempo di riposo e sulla deambulazione (Robert et al., 2009). I collari (Figura 2.8) invece appaiono più adatti per il monitoraggio del comportamento alimentare che va dall'ingestione al tempo di ruminazione, ma risultano anche efficienti nella raccolta dati sul movimento degli animali. Questo strumento è composto da un accelerometro tridimensionale protetto da una custodia impermeabile, posizionato a sinistra del collo e da un pesetto che serve per mantenere il giusto collocamento del sensore (Leso et al., 2021). Sono stati creati anche dei marchi auricolari elettronici (Figura 2.9), che con la dotazione di un accelerometro, consentono il monitoraggio della posizione, ruminazione e attività dell'animale (Reiter et al., 2018).

⁵ GPS= global positioning system



Figura 2.7: Podometro per la rilevazione del movimento (“Rilevamento calori Heatseeker II - Enne Effe,” n.d.).



Figura 2.8: Collare per bovine da latte per la rilevazione dei parametri fisiologici (Alessandro Amadei, 2020).



Figura 2.9: Marchi auricolari elettronici (“SenseHub Dairy - Allflex Livestock Intelligence Italy,” n.d.).

2.2.5 I BOLI RUMINALI

I boli ruminali (Figura 2.10) devono essere posizionati nel rumine e sono applicati tramite uno strumento specifico che può essere gestito dal personale di stalla dopo opportuna formazione (Pfeiffer et al., 2021). Hanno la funzione di monitorare le condizioni del rumine per controllare la comparsa di casi di acidosi sub-acuta o clinica che è facilmente sviluppabile dalle bovine che assumono grande quantità di concentrati per sostenere l'alta produzione. Sfruttano dei sensori di temperatura e pH per raccogliere i dati relativi alle condizioni dello stomaco e tramite rete inviano i dati per essere analizzati e successivamente per informare gli allevatori sulla salute della mandria. L'affidamento alla tecnologia IoT per questa mansione ha permesso di superare i problemi delle invenzioni precedenti collegate all'alto consumo energetico e alla bassa trasmissione di informazioni (Zabasta et al., 2020).



Figura 2.10: Bolo ruminale per il monitoraggio dei parametri intestinali ("Bolo di pH ruminale - Tutti i fabbricanti del settore agricolo," n.d.).

Tra le diverse problematiche che possono essere approcciate con l'utilizzo della tecnologia innovativa 4.0, può essere menzionato anche lo stress da caldo, una

condizione la cui frequenza ed entità tendono a crescere negli ultimi anni anche alle nostre latitudini, complici i noti fenomeni di riscaldamento globale. Dati gli effetti diversificati sul benessere, la produttività e l'efficienza economica degli animali, verranno nel prossimo capitolo descritte alcune principali caratteristiche dello stress da caldo nelle vacche da latte (Shu et al., 2021).

Capitolo 3: LO STRESS DA CALDO E STRATEGIE DI DIFESA

Le bovine da latte sono animali omeotermi, ovvero hanno la capacità di mantenere la loro temperatura corporea costante, in maniera indipendente rispetto alle condizioni esterne. Per farlo adottano due metodi per la dissipazione del calore: la perdita di calore sensibile, detta anche non evaporativa e la perdita di calore latente o evaporativa (Zhou et al., 2022). In condizioni termoneutrali, l'animale sfrutta la perdita di calore latente che include i meccanismi di irraggiamento, convezione e conduzione. All'aumentare della temperatura, il metodo diviene meno efficace, quindi passa alla dispersione evaporativa che prevede l'abbassamento della temperatura corporea per mezzo della sudorazione e l'aumento della frequenza respiratoria. Anche i benefici di quest'ultimo meccanismo possono venire meno a causa di altri fattori, come l'umidità relativa e la velocità dell'aria. Nel momento in cui l'animale non riesce a mantenere l'omotermia, entra in una condizione di stress da caldo perché non è più in grado di disperdere un'adeguata quantità di calore per rimanere dentro il corretto range di temperatura corporea (West, 2003) di 38,4-39,1°C. L'animale quindi, oltre ad avere temperatura corporea maggiore, presenta frequenza respiratoria e cardiaca superiore al normale che lo porta ad essere in una situazione di disagio, che lo induce a sviluppare problematiche su più fronti, ad esempio sul metabolismo, sul sistema ormonale, sul sistema immunitario, sulla fisiologia (Das et al., 2016).

3.1 EFFETTI SULL'INGESTIONE

Lo stress da caldo diminuisce fortemente l'ingestione sia perché dà direttamente un effetto negativo sul centro dell'appetito dell'ipotalamo, sia perché l'animale cerca di diminuire la fonte di calore endogeno provocato dall'assunzione di mangime, assumendone in minori quantità. Questo comportamento viene adottato già a temperature di 25°C e porta l'animale ad una situazione di bilancio energetico negativo che induce alla perdita di peso, maggiori disordini metabolici e peggiori performances produttive e riproduttive (Das et al., 2016).

Lo stress da caldo, attraverso diverse vie, è responsabile anche dell'alterazione del microbioma ruminale. Esso riduce il tempo di ruminazione, rendendo più lento il passaggio del bolo nell'intestino e causando minor produzione di saliva. Di conseguenza c'è la riduzione del potere tampone che provoca un'alterazione del microbioma ruminale con eccessiva produzione di lattato. Questo fenomeno, unito ad altri squilibri dei metaboliti ruminali causati dalla minore ingestione di sostanza secca, rendono il pH del rumine acido, facendo diventare gli animali più suscettibili a patologie metaboliche come l'acidosi ruminale sub-acuta (SARA) con conseguente diminuzione di produzione di latte (S. H. Kim et al., 2022).

3.2 EFFETTI SULLA PRODUZIONE DI LATTE

Lo stress da caldo incide negativamente sul tempo di ruminazione, il quale è direttamente proporzionale alla produzione di latte. Nel momento di stress c'è una diminuzione di resa che varia a seconda dei caratteri intrinseci di ogni singolo individuo, quali numero di lattazione, lo stadio di lattazione, la produzione di latte e lo stadio di gravidanza. Da diversi studi è emerso che i

soggetti che dimostrano un declino più marcato e meno graduale del livello di latte prodotto, sono quelli con i valori maggiori dei quattro parametri citati (Müschner-Siemens et al., 2020). Oltre all'aspetto quantitativo, lo stress da caldo va ad incidere anche sulla componente qualitativa. Varie ricerche hanno dimostrato che i titoli del latte come proteine e grassi sono più sensibili al fenomeno, rispetto alla produzione, perché già a temperature inferiori iniziano a cambiare, mentre la quantità rimane la stessa. Nei casi di stress quindi vengono rilevati titoli minori sia di grasso che di proteine, dovuto ad una ridotta sintesi proteica, e ad un innalzamento delle cellule somatiche (de Campos et al., 2022).

3.3 EFFETTI SULLA RIPRODUZIONE

Lo stress da caldo incide negativamente sulla riproduzione. Considerando dei numeri, si è notato che nella stagione estiva il tasso di concepimento si può abbassare in media anche del 18,5% rispetto al tasso invernale. La perdita di fertilità è da attribuire a diverse cause che riguardano più aspetti dell'animale. Il primo tra questi è la presenza di fattori riproduttivi compromessi, come gli ovociti e gli spermatozoi, ma anche l'utero stesso che, a causa dell'ipertermia, può presentare delle alterazioni già a livello del corno uterino, che rende meno favorevole l'inizio di una gravidanza. Un'altra influente motivazione è lo squilibrio del quadro ormonale. Nel periodo estivo, infatti, in alcune prove sono state rilevate concentrazioni anomale di alcuni ormoni, come l'inibina e l'estradiolo, che hanno portato ad un'irregolare crescita dei follicoli ovarici, andando ad influire sull'entità e la durata dell'estro. Anche l'alta presenza di FSH⁶ unita alla bassa quantità di LH⁷ ha causato

⁶ FSH=follicle-stimulating hormone: ormone follicolo-stimolante

⁷ HS=luteinizing hormone: ormone luteinizzante

problemi sulla formazione di un corpo luteo inadatto per una gravidanza e anche sulla formazione di cisti persistenti. Ultimo, ma non meno importante, è il basso livello di progesterone rilevato, che determina una minore sopravvivenza dell'embrione (Roth, 2020).

3.4 EFFETTI SUL SISTEMA IMMUNITARIO

L'impatto sul sistema immunitario è molto variabile tra i diversi individui, e può portare effetti più lievi, ma anche più gravi come la morte. Questo dipende anche dal tipo di stress a cui il soggetto è sottoposto, se acuto oppure cronico. È noto che nel primo caso, con l'innalzamento delle temperature, ci sia un'adeguata produzione di cortisolo che ha la funzione di andare a sollecitare il sistema immunitario. Se però questa situazione si prolunga, le bovine da latte possono entrare in una condizione di stress cronico che conduce all'eccessiva produzione dell'ormone citato, il quale dà l'effetto opposto. Altera le funzioni immunitarie cellulari, silenziando i geni utili per la sintesi dei globuli bianchi, rendendo così gli animali più deboli. Questa situazione può aggravare il quadro già compromesso di vacche che si trovano in periodi di elevato stress come quello di transizione, a tal punto da rovinare le performances produttive nell'arco di tutta la lattazione e influire sulla minore qualità del colostro a discapito della salute del vitello (Bagath et al., 2019). Il periodo di transizione è un momento di forte abbattimento per l'animale, perché necessita di un grande apporto energetico per sostenere la lattazione. Inoltre, in caso di stress termico, bisogna considerare la ridotta assunzione di sostanza secca per limitare la produzione di calore endogeno. I due eventi, qualora si verificassero insieme, causerebbero un marcato NEB⁸ che

⁸ NEB= bilancio energetico negativo

porterebbe ad una forte mobilitazione delle riserve corporee di grasso. Vari studi hanno studiato questo caso e hanno notato la maggior quantità nel sangue, per periodi prolungati di NEFA⁹, BHB¹⁰ e trigliceridi nelle vacche che partoriscono nel periodo estivo, piuttosto che nel periodo invernale. Queste sostanze sono derivanti, infatti, dall'eccessiva mobilitazione delle riserve corporee e condizionano negativamente la riproduzione (Turk et al., 2015), ma soprattutto la salute perché facilitano la comparsa di patologie metaboliche più gravi, come la chetosi che crea le condizioni ideali per la comparsa di altre patologie, ad esempio la metrite. La chetosi include anche una condizione di stress ossidativo, cioè uno squilibrio tra antiossidanti e ossidanti nel corpo, caratterizzato da alti livelli di ROS (Shi et al., 2015). Per concludere, si deve considerare anche l'ambiente in cui vive la vacca che nel periodo estivo presenta condizioni elevate di caldo ed umidità favorevoli alla crescita batterica, che sommato alla maggiore suscettibilità delle bovine, può aumentare l'incidenza di mastiti croniche e acute (Rakib et al., 2020).

3.5: STRATEGIE DI DIFESA

Per evitare riduzioni di produzione e quindi di reddito, è necessario che gli allevamenti di bovine da latte, adottino delle soluzioni per annullare o limitare gli effetti dello stress da caldo. Cosa ancora più urgente da attuare, considerando i cambiamenti climatici che stanno portando ad ondate di calore più lunghe e più intense rispetto alla norma. Ci sono diversi approcci su cui poter lavorare per migliorare il benessere degli animali durante il periodo estivo. Come primo punto, si può considerare la componente strutturale che può dotarsi di elementi per migliorare la

⁹ NEFA= acidi grassi non esterificati

¹⁰ BHB= betaidrossibutirrato

ventilazione (Cao et al., 2022) oltre a progettare la stalla con giusti orientamenti e accorgimenti per favorire l'areazione naturale (Tomasello et al., 2019). Come seconda cosa si possono applicare alcune modifiche sulla gestione della mandria. Ad esempio modificare la razione secondo le esigenze degli animali, andando a considerare la minore ingestione in questo periodo, quindi fornendo la giusta quantità di nutrienti per il loro fabbisogno (Miller-Cushon et al., 2019). Se necessario, si possono anche integrare dei minerali nella dieta, per dare un ulteriore aiuto agli animali in stress (Razia Sultana et al., 2022). Per quanto riguarda la gestione del piano riproduttivo, che risulta essere più problematico durante l'estate, si possono introdurre dei trattamenti con ormoni, per regolarizzare l'ovulazione degli animali (Pereira et al., 2013). Un altro fattore di management da analizzare per mitigare gli effetti del caldo, anche se meno considerato, può essere l'adozione di una strategia che punta sulla selezione genetica di genotipi che presentano maggior tolleranza rispetto al problema (Pryce et al., 2022).

3.5.1 STRUTTURE DI ALLEVAMENTO

La gestione dello stress da caldo comincia già nella progettazione dell'edificio zootecnico andando a valorizzare sistemi di raffrescamento passivi, ovvero quegli elementi che senza la necessità di elettricità, offrono un beneficio per il controllo della temperatura ambientale. L'obiettivo durante questa fase è quello di ottenere il minor riscaldamento dello stabilimento tramite una sua intelligente disposizione. Ovviamente solo questo non basta, quindi dev'essere sempre prevista l'integrazione con altri elementi meccanici, perché i sistemi passivi di ventilazione sono fortemente dipendenti dalle condizioni climatiche. Nonostante questo, sono dei fattori da non tralasciare perché consentono il risparmio di energia elettrica, quindi un risparmio economico e una ridotta

emissione di gas (Rong et al., 2016).

Il primo fattore a cui prestare attenzione è la struttura della stalla che deve garantire il massimo confort agli animali, sia nella stagione calda ma anche in quella fredda. Viene progettata in base al tipo di ventilazione che più è conforme al luogo di ubicazione e alla volontà dell'allevatore. I più comuni modelli di ventilazione sfruttati sono:

- La ventilazione naturale: questo sistema si serve unicamente delle correnti d'aria. Per farlo sfrutta l'orientamento e la disposizione delle aperture nell'edificio. La struttura ideale che utilizza questo modello deve essere orientata in maniera tale da avere il lato maggiore perpendicolare alla direzione principale del vento, per aumentarne l'ingresso. Il tetto è preferibile a falde piuttosto che con singola pendenza per minori problemi di surriscaldamento e dotato di uno o più colmi, secondo la larghezza della struttura. La sua inclinazione dev'essere compresa tra il 25-30% per massimizzare l'effetto camino, ovvero il processo per cui i gas vengono convogliati fuori per lo spostamento di masse d'aria con diversa densità, causato dalla differenza di temperatura tra l'aria interna alla stalla e quella esterna. Inoltre, deve avere anche la possibilità di rimuovere le pareti laterali per creare un ambiente più aperto al fine di migliorare la distribuzione dell'aria fresca nei periodi più caldi (Sguerrini, 2016).

- La ventilazione a tunnel (Figura 3.1): questo sistema sfrutta completamente aria prodotta da ventilatori; quindi consente la creazione di una struttura più chiusa, dotata di un tetto con bassa inclinazione e pareti laterali che possono essere chiuse con tende oppure aperte. Questo metodo punta a ricreare la forma del tunnel che ha la funzione di mantenere la velocità dell'aria lungo lo stabile. L'aria quindi si muove perpendicolarmente alle cuccette e assume maggiore potenza nella corsia di alimentazione (Mondaca, 2019) dove sono localizzati un maggior numero di ventilatori ad alta potenza, spesso associati ad un impianto di nebulizzatori (Dikmen et al., 2020).
- La ventilazione trasversale (Figura 3.1): anche questo sistema sfrutta solo aria prodotta da ventilatori e viene utilizzato in strutture con alte pareti laterali e bassa inclinazione del tetto. In questo caso l'aria scorre parallelamente agli animali nelle cuccette e nella corsia di alimentazione. Solitamente il flusso d'aria è regolato da un impianto di ventilatori di aspirazione e uno di scarico che si collocano nelle due pareti opposte.
- La ventilazione ibrida (Figura 3.2): il sistema utilizza una struttura dotata di un colmo e tende a creare un ambiente in pressione. In questo metodo si sfrutta la ventilazione naturale, integrata da ventilatori collocati lateralmente, qualora la prima non bastasse nei periodi più caldi. Lungo i lati della struttura, quindi, entra aria fresca, che verrà poi convogliata verso il colmo della stalla dove ci saranno dei ventilatori di scarico per espellere l'aria esausta ricca di gas (Mondaca, 2019) .

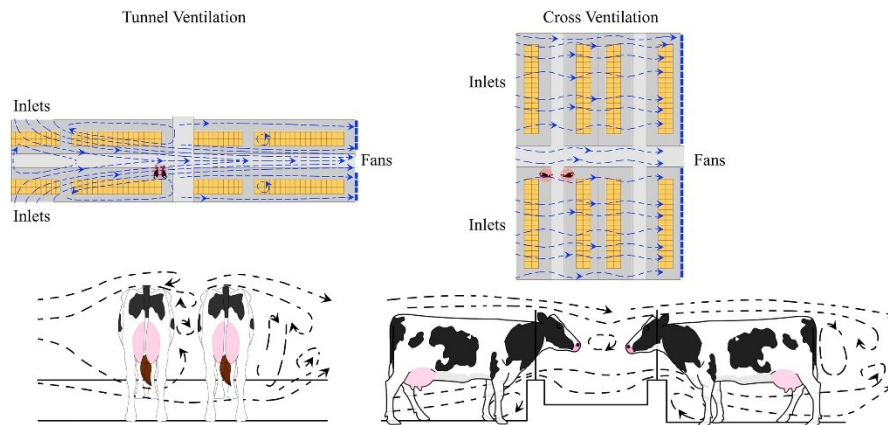
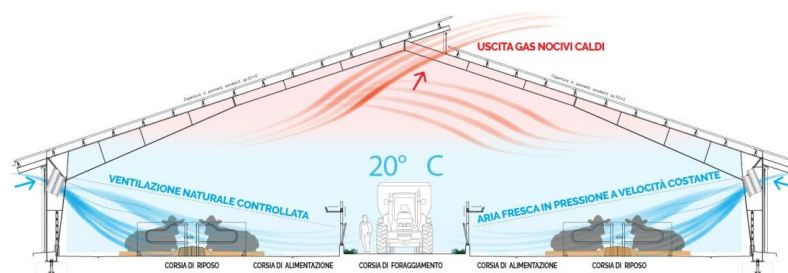


Figura 3.1: rappresentazione a sinistra l'andamento dell'aria nella ventilazione a tunnel, a destra l'andamento dell'aria nella ventilazione trasversale (Mondaca, 2019).



HYBRID VENTILATION | Ventilazione in pressione

Figura 3.2: La ventilazione ibrida ("Stress da caldo ? Nuova ventilazione ibrida a pressione," n.d.).

Un altro aspetto strutturale da considerare che può contribuire al mantenimento di un ambiente più fresco all'interno dell'edificio è l'involucro edilizio. Dev'essere dotato di un buon isolamento per controllare meglio la temperatura interna dello stabile senza che si verifichino repentini cambiamenti e introduca la possibilità di ridurre la necessità di raffrescamento (Vox et al., 2016).

Un altro elemento importante è il tetto che, oltre a mantenere la temperatura stabile perché anch'esso dotato di isolamento, serve per la protezione dai raggi del sole. Questa funzione può essere integrata da strutture di ombreggiamento, quali tettoie o sporgenze a sbalzo, ben collocate per avere il giusto beneficio e non un effetto contrario (De Masi et al., 2021). Successivamente, durante la fase di progettazione, si possono analizzare e valutare l'applicazione di elementi che si collocano nella stalla per aumentare le strategie utili all'abbattimento dello stress da caldo. Sono molto diverse tra loro, e sfruttano meccanismi di raffreddamento differenti.

Una prima opzione da esaminare è la lettiera con cui l'animale è a diretto contatto (Fournel et al., 2017). Quando le bovine sono sdraiate, perdono superficie utile per la dispersione del calore, perciò, nei periodi caratterizzati da alte temperature, tendono ad aumentare il loro tempo in piedi, limitando quello di riposo (Heinicke et al., 2019). La scelta di lettiera più fresca è una soluzione per ridurre questo comportamento, che sfrutta il raffreddamento conduttivo tra la superficie della postazione e l'animale. Per ottenere cuccette più fredde ci sono due vie che si possono prendere: l'utilizzo di materiali con determinate qualità termiche oppure l'introduzione di innovazioni più efficienti nella dissipazione del calore. Alcuni studi hanno confrontato più tipologie di lettiera e dopo diverse prove i risultati hanno confermato che il materiale più efficiente per la dissipazione del calore è la sabbia perché possiede maggiori capacità di termodispersione rispetto ad altri materiali quali paglia e trucioli di legno (Fournel et al., 2017).

Un'altra tecnica, molto diffusa in America e che sta prendendo piede anche in Italia, è quella di utilizzare materassi composti da due guaine di gomma rafforzata al cui interno viene immessa dell'acqua. Questi tappetini possono essere in superficie oppure interrati sotto uno strato di lettiera. È un sistema a

ciclo chiuso dove circola acqua che viene raffreddata da un refrigeratore e poi immessa nei tappetini tramite una pompa. Quando arriva al di sotto della lettiera, entra indirettamente a contatto con la superficie dell'animale e ne assorbe il calore, abbassando la temperatura corporea della bovina. L'acqua poi continua il suo flusso ricominciando il circuito. Questo nuovo approccio ha dei lati positivi perché consente di risparmiare molta acqua, rispetto ad altri sistemi di raffreddamento, come i nebulizzatori, e quindi va incontro alle crescenti necessità di risparmio idrico (Drwencke et al., 2020). Altri meccanismi di raffrescamento più diffusi rispetto ai precedenti, sono quelli che si servono di mezzi meccanici come le ventole o altre strutture per la creazione di flussi d'aria che permettono il raffreddamento convettivo degli animali (Herzog et al., 2021). Sul mercato esistono due principali tipologie di ventilatori che possono assumere diverse forme, e sono:

- Ventilatori LVHS¹¹ che trattano un basso volume d'aria ad alta velocità. Sono di piccole dimensioni che vanno da 0,6 m a 1,2m e sono orientati secondo i venti prevalenti e leggermente inclinati per indirizzare il loro flusso verso il basso.
- Ventilatori HVLS¹² che trattano un alto volume d'aria a bassa velocità. Sono di grandi dimensioni che vanno dai 2,4 a 7,5 m. Muovono grandi masse d'aria , ma più lentamente, infatti secondo sono stati definiti meno efficienti rispetto ai ventilatori LVHS nell'abbattimento dello stress da caldo (Fournel et al., 2017).

¹¹ LVHS=low volume, high speed

¹² HVLS=high volume, low speed

Altre strutture che servono per la creazione di flussi d'aria sono:

- Deflettori (Figura 3.3): sono degli elementi fissi che servono per indirizzare un flusso d'aria conferendogli velocità. Sono molto utilizzati per i sistemi di ventilazione trasversale.
- Tubi a pressione positiva (Figura 3.4): costituiti da strutture a tubo con dei fori dai quali fuoriesce aria. Hanno un effetto simile ai ventilatori HVLS, infatti sono utili per il ricambio d'aria, ma poco efficaci per abbattere lo stress da caldo.

Questi elementi vengono scelti in base al sistema di ventilazione adottato nella stalla, che può comprendere anche ventole di scarico, oltre che aspirazione, oppur entrambe per rendere il sistema più efficiente (Mondaca, 2019).



Figura 3.3: deflettori installati in una stalla a ventilazione trasversale (Mondaca, 2019).



Figura 3.4: Sistemi di ventilazione a tubi a pressione positiva (Mondaca, 2019).

L'utilizzo di ventole spesso viene associato a degli impianti di bagnatura che portano notevoli effetti positivi sull'ingestione, sulla produzione e sul benessere. Si collocano sostanzialmente nelle corsie di alimentazione e sono costituiti da nebulizzatori che hanno la funzione di favorire il raffreddamento evaporativo.

Gli ugelli per la dispersione dell'acqua si distinguono in:

- Nebulizzatori ad alta pressione: producono gocce d'acqua molto piccole che evaporando nell'aria riducono la temperatura dell'ambiente. Sono più adatti per climi caldi ed asciutti, perché questo fenomeno è meno efficiente con elevata umidità relativa dell'aria.
- Nebulizzatori a bassa pressione: producono gocce più grandi che hanno la funzione di bagnare l'animale, che con il calore del suo corpo, farà evaporare l'acqua. Questo sistema è più efficace nell'abbassare la temperatura corporea del bestiame rispetto al precedente, ed è adatto anche a climi con elevata umidità relativa (Van Os, 2019).

3.5.2 STRATEGIE DI DIFESA MANAGERIALI

Le tecniche di difesa strutturali hanno una grande importanza nel fronteggiare lo stress da caldo, ma il loro successo può essere implementato con l'integrazione di strategie di gestione che riguardano sia aspetti direttamente correlati alla produzione, come l'alimentazione, ma anche aspetti secondari, come la gestione della fertilità. Per quanto riguarda l'alimentazione, ci sono stati vari studi che l'hanno considerata un fattore di stress termico, perché attraverso i processi digestivi sprigiona alte quantità di calore. È causato soprattutto dalla componente fibrosa perché i processi della sua fermentazione producono maggior calore rispetto a quella del glucosio, con il risultato di ottenere minor energia rispetto alla seconda. Quindi, per far fronte allo stress da caldo e i suoi effetti sulla minore ingestione, si sono prese in considerazione strategie che andassero a rivedere le formule delle razioni. L'idea che più è stata portata avanti è quella di somministrare miscele più ricche di concentrati e con minore quantità di fibra. Questa teoria ha diversi effetti benefici perché consente di dare l'energia necessaria per soddisfare i fabbisogni dell'animale, a fronte della ridotta ingestione, ed inoltre produce meno calore metabolico grazie alla minor fermentazione della fibra. Nelle razioni estive è comunque necessario mantenere un livello di foraggio utile all'equilibrio del rumine, già compromesso in estate, per evitare squilibri metabolici. Altri studi hanno messo in evidenza anche numerosi effetti positivi sulla performances produttive a seguito di addizioni di grasso, proteine di qualità (Renaudeau et al., 2012), alcuni minerali come cromo e selenio, e vitamine antiossidanti (Razia Sultana et al., 2022). Questa tecnica funziona bene, ma meglio se in allevamenti dotati di buoni impianti di raffrescamento. Infatti, una ricerca ha dimostrato che le bovine,

esposte a brevi o lunghi periodi di stress da caldo, hanno tendenza a selezionare i singoli alimenti nella razione, preferendo la fibra lunga rispetto ai concentrati. Questo comportamento va contro alla strategia di razionamento che viene portata avanti, e si pensa sia attribuito alla necessità dell'animale di riequilibrare il pH del rumine, che risulta più acido nella stagione estiva, soprattutto se lo stress non viene alleviato con sistemi di ventilazione (Miller-Cushon et al., 2019).

Per limitare lo stress da caldo si può ricorrere anche ad un approccio diverso. La selezione genetica per la tolleranza al calore è una pratica meno conosciuta, ma si sta sviluppando molto in Australia per l'impossibilità dell'utilizzo di sistemi di raffrescamento nei tanti allevamenti a pascolo. I geni in questione conferiscono resilienza al calore, cioè la capacità di mantenere la normotermia in condizioni di umidità e temperatura elevata, aumentando le condizioni di benessere dell'animale rispetto agli altri. Potrebbe diventare un'efficiente soluzione perché è una resistenza propria dell'animale e non dipende solo dalle caratteristiche dell'edificio. Inoltre, con il susseguirsi delle generazioni questa capacità può migliorare per un effetto cumulativo perché si è scoperto essere un carattere ereditabile e poligenico, ovvero interessa più elementi che portano a questo beneficio. C'è ancora molto da lavorare a riguardo perché gli studi hanno notato che, con la crescente tolleranza al calore, si manifestano perdite dal punto di vista produttivo, ma si è visto anche un effetto positivo sulla fertilità (Pryce et al., 2022).

Le strategie di difesa comprendono anche le pratiche per limitare gli effetti dello stress da caldo, per questo bisogna analizzare anche aspetti secondari, ma che hanno un forte impatto sull'andamento aziendale. Si tratta della fertilità della mandria, che sottoposta a questo stress presenta un'attività ovarica rallentata o assente. Questo fenomeno è dovuto alla forte alterazione ormonale che si

presenta nei periodi estivi molto intensi, e compromette le varie fasi dell'ovulazione rendendo gli animali meno predisposti al concepimento. Vari studi hanno dimostrato che con l'utilizzo di GnRH¹³, soprattutto all'inizio dell'estro, si possono innalzare i tassi di concepimento nei periodi critici dell'anno. L'effetto di questo ormone migliora l'ovulazione in tutte le sue fasi (Roth et al., 2021) e rende più facile individuare il giusto momento per la fecondazione artificiale, perché dopo aver eseguito il trattamento si deve aspettare un tempo determinato e poi si procede all'inseminazione senza la necessità di rilevare l'estro (Pereira et al., 2013).

¹³ GnRH= gonadotropin-releasing hormone= gonadotropine

Capitolo 4: SISTEMI AUTOMATICI PER LA GESTIONE DELL'AMBIENTE NEGLI EDIFICI ZOOTECNICI

4.1 SENSORI AMBIENTALI

La zootecnia di precisione ha lo scopo di raccogliere moltissimi dati al fine di poterli analizzare ed archiviare per la previsione di determinati eventi, ma anche per avere delle indicazioni per la gestione dell'azienda. Molto importante è poter controllare l'ambiente dove risiede la mandria, perché influisce notevolmente sul suo benessere e quindi anche sulla sua produzione. Anche per questo caso vengono sfruttate le unità di base dei sistemi di precisione ovvero i sensori al fine di raccogliere informazioni sulle condizioni ambientali. Ne esistono di diverse tipologie (Bovo et al., 2020):

- Sensore di temperatura: servono per monitorare la temperatura che può essere sia quella dell'animale, sia quella interna ed esterna dell'edificio zootecnico, in base alla strumentazione adottata.
- Sensore di umidità: serve per misurare l'umidità dell'ambiente.
- Sensore di anidride carbonica (CO₂): misura la quantità di gas nell'aria, in particolare la quantità di anidride carbonica prodotta dalla respirazione degli animali, che fa diminuire il livello di ossigeno nella struttura.
- Sensore di idrogeno solforato (H₂S): serve per misurare la concentrazione di idrogeno solforato nell'aria, che se inspirato in grandi quantità dai bovini, può portare problemi di ossidazione cellulare e di circolazione sanguigna (Farooq et al., 2022).

- sensore della velocità del vento: serve per misurare la velocità del vento. È composto da tre pale che vengono azionate dal flusso d'aria. Il dispositivo ruota ed aziona i sensori interni che raccolgono i dati sull'intensità del vento e producono output che verrà utilizzato per il calcolo della velocità (Pyngkodi et al., 2022).

4.2 SISTEMI AUTOMATICI

Gli allevatori che possiedono allevamenti di bovine da latte ad alto rendimento devono tenere conto anche della maggiore possibilità di insorgenza di patologie e della minor tolleranza a stress, soprattutto allo stress da caldo a causa dell'alto calore metabolico sviluppato. Per questo l'operatore deve essere in grado di attuare giuste scelte gestionali e investire su nuovi impianti per mantenere elevata la produzione sia dal punto di vista qualitativo e quantitativo. Molti studi hanno dimostrato che un'ottima gestione dell'allevamento deriva da un ottimo sistema di monitoraggio. Molte sono state le innovazioni a riguardo collocate sul singolo animale per il controllo delle sue funzioni, ma è giusto dare importanza anche a sistemi di monitoraggio delle condizioni ambientali al fine di proporre sistemi automatici per la sua gestione (Giorgio Provolo, 2020).

Per la gestione dell'ambiente zootecnico ci sono molte ricerche passate e nuove che stanno andando avanti tutt'ora, ma una soluzione già efficiente e presente soprattutto nelle stalle italiane, è l'utilizzo di un impianto di raffrescamento regolato dall'indice THI, che entra in azione automaticamente secondo la necessità del momento (Alessandro Amadei, 2021).

Il sistema è dotato di varie componenti che servono per il suo funzionamento. Gli strumenti per il monitoraggio servono a rilevare i livelli di temperatura, umidità e velocità del vento con gli appositi sensori, che successivamente

invieranno i dati ad una centralina che avrà il compito di azionare in modo selettivo e modulare le unità di raffreddamento in base alle precise necessità dell'allevamento. Questo metodo consentirà quindi di ridurre gli sprechi idrici ma anche quelli energetici (Giorgio Provolo, 2020). Per quanto riguarda la fase di applicazione, possiamo dire che è un sistema che sfrutta il raffrescamento all'israeliana cioè una combinazione tra momenti di bagnatura e momenti di ventilazione forzata. Questo meccanismo si serve del raffreddamento diretto dell'animale perché favorisce la dissipazione di calore per via evaporativa. Studiata ancora sessant'anni fa, oggi continua a migliorarsi rimanendo più efficiente, economico e adatto sia al clima caldo-secco, ma soprattutto al clima caldo-umido rispetto al raffreddamento indiretto (Israel Flamenbaum, 2016). L'impianto viene adattato secondo la struttura della stalla, e viene differenziato in base alla zona di collocazione nello stabilimento e agli animali a cui verrà destinato. Iniziando dalle generazioni più giovani, la ventilazione della vitellaia non è indirizzata tanto al raffrescamento degli animali, ma piuttosto ha la funzione di rimuovere sostanze nocive come l'ammoniaca e anche mantenere asciutte le lettiere. Per farlo si prediligono ventilatori HVLS in modo da distribuire omogeneamente l'aria all'interno del capannone e non creare addensamenti di animali presso la fonte dell'aria fresca. Le vacche ad alto rendimento, invece, vengono gestite in due modi diversi a seconda della zona. Nell'area di riposo vengono utilizzati ventilatori HVLS (Figura 4.1) che hanno lo stesso obiettivo di quelli per la vitellaia, cioè distribuire l'aria in modo omogeneo a bassa velocità. In mangiatoia, invece, si creano le condizioni per la massima dissipazione del calore grazie all'utilizzo dell'acqua. Lungo la corsia di alimentazione sono distribuiti dei radar che servono a rilevare la presenza delle bovine. Nel momento in cui queste si stanno

alimentando e se le condizioni ambientali richiedono l'intervento di raffrescamento, i nebulizzatori a goccia grossa bagnano la superficie degli animali. Successivamente, con l'accensione dei ventilatori LVHS (Figura 4.2), si genera un flusso d'aria che favorisce il processo di evaporazione acqua lasciando la superficie dell'animale più fredda (Alessandro Amadei, 2020). La giusta combinazione tra tempo di bagnatura, tempi di pausa tra una bagnatura e l'altra e tempi di azionamento dei ventilatori ad alta e bassa velocità vengono controllati automaticamente secondo i livelli di THI (Alessandro Amadei, 2021).



Figura 4.1: ventilatori HVLS collocati in zona di riposo (“CMP - Animal Welfare | Galleria fotografica e installazioni CMP,” n.d.).



Figura 4.2: Ventilazione in corsia di alimentazione con ventilatori LVHS e sensori rileva presenza (“Un alleato contro lo stress da caldo – Coolibri,” n.d.).

4.3 INDICE THI

L'indice di temperatura-umidità è l'indice più utilizzato per determinare lo stress da caldo sulle bovine da latte. È molto semplice, ma allo stesso tempo esaustivo perché prende in considerazione due parametri che influiscono pesantemente sui meccanismi di dissipazione del calore dei bovini (Yan et al., 2021). La temperatura ambientale, al di sopra di un certo valore, influisce sulla termoneutralità degli animali, che di conseguenza tendono ad innalzare la loro temperatura corporea e dissipare il calore attraverso la sudorazione. Però a parità di temperatura, il carico termico subito dal bestiame può essere differente, a seconda dell'umidità relativa. Se quest'ultimo parametro è elevato, la capacità di disperdere il calore per evaporazione sarà minore, e quindi l'animale entrerà prima in condizioni di stress (Ekine-Dzivenu et al., 2020).

La temperatura e l'umidità vengono considerate e introdotte nella formula per il calcolo dell'indice temperatura-umidità:

$$THI = (1,8 \times T + 32) - (0,55 - 0,0055 \times RH) \times (1,8 \times T - 26)$$

Dove

T= temperatura espressa in °C

RH = umidità relativa espressa in %

Il risultato dell'operazione dà un valore che può rientrare in un determinato range in base al quale viene classificato il livello di stress, come descritto dall'immagine 4.3:

- $THI < 68$ nessun carico termico
- $68 \leq THI < 72$ lieve carico termico
- $72 \leq THI < 80$ moderato carico termico
- $80 \leq THI < 89$ forte carico termico
- $89 \geq THI$ carico termico d'emergenza

THI - Indice bioclimatico								
Ti (°C)	UR (%)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
20	62,7	63,8	64,9	65,9	66,8	67,7	68,5	69,4
21	63,9	65,1	66,2	67,2	68,2	69,1	70,0	70,8
22	65,2	66,4	67,5	68,5	69,5	70,5	71,4	72,3
23	66,4	67,6	68,8	69,8	70,9	71,8	72,8	73,7
24	67,6	68,9	70,0	71,2	72,3	73,3	74,2	75,2
25	68,8	70,2	71,4	72,6	73,6	74,7	75,7	76,6
26	70,0	71,4	72,7	73,9	75,0	76,1	77,0	78,0
27	71,3	72,7	74,0	75,2	76,4	77,5	78,5	79,5
28	72,6	74,0	75,3	76,6	77,8	78,8	79,9	80,9
29	73,8	75,2	76,6	77,9	79,1	80,3	81,4	82,4
30	75,0	76,5	78,0	79,3	80,5	81,6	82,7	83,8
31	76,2	77,8	79,3	80,6	81,9	83,1	84,2	85,2
32	77,5	79,0	80,6	81,9	83,2	84,4	85,6	86,7
33	78,7	80,3	81,9	83,3	84,6	85,8	87,0	88,1
34	79,9	81,6	83,2	84,7	86,0	87,3	88,4	89,6
35	81,1	82,9	84,5	86,0	87,4	88,6	89,8	91,0
36	82,4	84,2	85,8	87,3	88,8	90,1	91,3	92,4
37	83,6	85,5	87,1	88,7	90,1	91,4	92,7	93,9
38	84,8	86,8	88,5	90,1	91,5	92,9	94,1	95,3
39	86,0	88,0	89,8	91,4	92,9	94,2	95,5	96,8
40	87,3	89,3	91,1	92,7	94,2	95,7	97,0	98,2

Figura 3.3: Valori THI in relazione a temperatura e umidità (Alessandro Gastaldo, 2020).

Questi 4 livelli sono caratterizzati da alterazioni fisiologiche più o meno intense. Ovviamente queste adattamenti corporei dell'animale non dipendono solo dalle condizioni esterne, ma anche dalle condizioni intrinseche del soggetto quali razza, età, numero di lattazione (Heinicke et al., 2019). Come si può notare dai grafici in figura 4.4, notiamo che all'aumentare dell'indice THI aumenta sia la respirazione che la temperatura rettale e si possono distinguere due punti dove l'innalzamento dei valori inizia a crescere più velocemente rispetto a punteggi inferiori e sono rispettivamente THI=69 per la temperatura rettale, e THI=67 per la frequenza respiratoria. Questi due valori sono indicativi, perché possono oscillare in base a condizioni secondarie come il livello di produzione, ma anche la postura, ovvero se l'animale è in piedi oppure sdraiato.

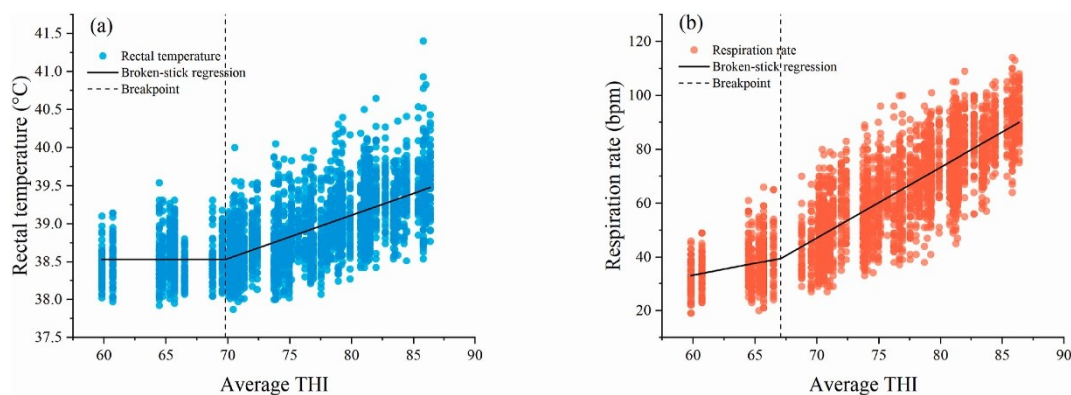


Figura 4.4: Andamento della temperatura rettale e della frequenza respiratoria secondo indice THI (Yan et al., 2021).

Altri parametri fortemente influenzati sono la produzione e la qualità del latte. Come si può notare dal grafico 4.5, la produzione tende a diminuire con un andamento simile tra gli animali con diverso numero di parti, e si riesce a

identificare un valore critico di THI, da cui inizia la minor produzione, che si aggira intorno a 70-72.

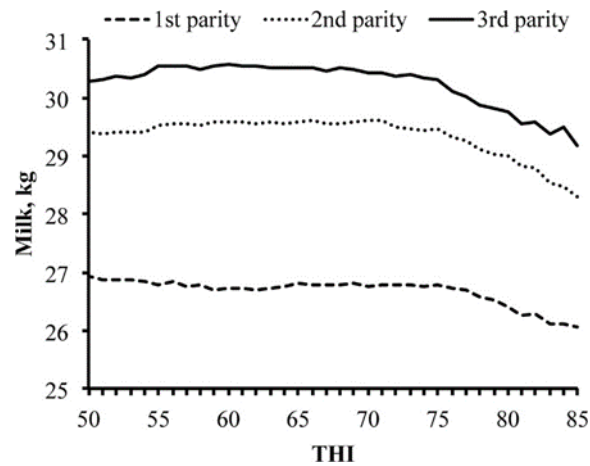


Figura 4.5: Andamento della produzione di latte in relazione all'indice THI. (Bernabucci et al., 2014)

Per quanto riguarda la qualità del latte in relazione all'indice THI, notiamo secondo i grafici riportati in figura 4.6, che la perdita di grasso nelle tre categorie di soggetti avviene in maniera simile identificando come soglia critica $THI = 71,5$. Nella perdita di proteina si assiste invece a maggiore variabilità, perché risulta essere più marcata nei soggetti alla prima lattazione che iniziano a modificarne il contenuto già a $THI=65$, mentre i soggetti con maggior numero di parti iniziano a presentare un minor valore proteico a $THI 72-76$.

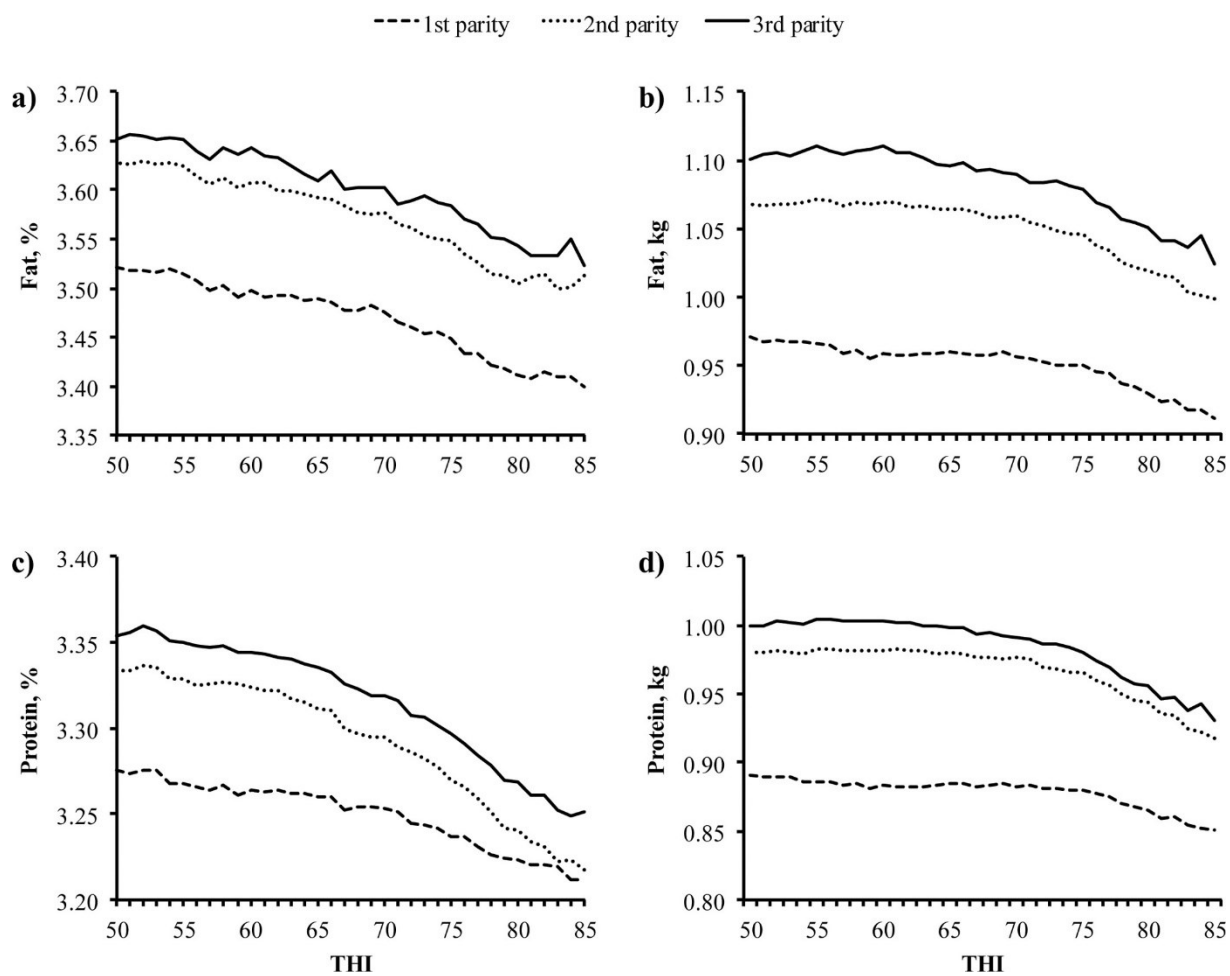


Figura 4.6: Contenuto di proteine e grasso nel latte in relazione all'indice THI. (Bernabucci et al., 2014)

CONCLUSIONE

La zootecnia di precisione offre nuove soluzioni alle aziende che attualmente si muovono in uno scenario in cui è fondamentale aumentare il numero di capi allevati per unità aziendale, ma non è presente la quantità di manodopera sufficiente. La nuova tecnologia è molto importante perché, a fronte di queste due condizioni, riesce ad aiutare l'allevatore dove da solo non riuscirebbe ad arrivare in maniera così efficiente. I benefici forniti da questo nuovo approccio agevolano le pratiche di monitoraggio ma anche vere e proprie mansioni per la gestione della mandria (Achour et al., 2022). Tutto questo è possibile con l'utilizzo di nuovi strumenti molto diversi tra loro perché sono stati pensati per specifiche destinazioni d'uso. Nella maggior parte dei casi, sono costituiti da un elemento comune, ovvero un sensore, che permette la rilevazione di dati. A seconda del tipo di sensore e dell'informazione da rilevare, quindi, sono stati progettati accessori o macchinari che lo ancorassero presso corpi mobili piuttosto che luoghi fissi al fine di controllare determinati parametri per lo svolgimento di un'attività. Alcuni esempi sono gli accelerometri posizionati in diverse parti del corpo dell'animale per monitorare il comportamento di ogni singolo individuo per conoscerne lo stato di benessere. Altri sensori invece possono essere collocati all'interno di macchinari o sistemi automatici per lo svolgimento di pratiche quotidiane nell'allevamento delle bovine da latte, come la mungitura oppure il controllo dell'alimentazione.

Sostanzialmente questo nuovo approccio tecnologico permette di mantenere il benessere degli animali elevato al fine di aumentare le performances produttive e la longevità degli animali, tramite pratiche di monitoraggio che rendono possibile prevenire un problema, oppure ne consentono una tempestiva risoluzione (Farooq et al., 2022).

Tra i vari compiti che devono essere gestiti dall'allevatore, c'è anche la gestione dell'ambiente dove risiedono gli animali che dev'essere idonea a mantenere condizioni di comfort elevato. Questione messa sempre a più dura prova a causa del cambiamento climatico che ha reso le stagioni più calde ed intense, creando così un problema di stress da caldo anche nei luoghi dove prima non veniva percepito in maniera così grave. L'elevato carico termico, infatti, sta diventando un problema molto duro per gli allevatori che si ritrovano a gestire una mandria che rende meno sia a livello produttivo che riproduttivo, ma soprattutto presenta forte stress che influisce molto negativamente sul sistema immunitario (Park et al., 2022). Anche in questo caso, la zootecnia di precisione può giocare un ruolo importante perché cerca di alleggerire il calore percepito dalle bovine, alleviandone gli effetti. Il suo intento è quello di creare un ambiente intelligente, che in base alle condizioni dell'ambiente esterno rilevate da sensori, attua autonomamente una soluzione per la gestione dei flussi d'aria e d'acqua al fine di creare un ambiente favorevole al benessere delle bovine. Lo fa in maniera più efficiente rispetto ai comuni impianti di ventilazione, perché regola gli input tramite l'utilizzo di diversi sensori, in base alle vere necessità dell'edificio, riducendo così gli sprechi (Giorgio Provolo, 2020).

BIBLIOGRAFIA

- Achour, B., Belkadi, M., Aoudjit, R., Laghrouche, M., Lalam, M., Daoui, M. (2022). Classification of dairy cows' behavior by energy-efficient sensor. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 8(2), 165–182.
- Aldo Calcante. (2022, February). I robot di mungitura. Mondo Macchina/Machinery World.
- Alessandro Amadei. (2020). Regalate alle vostre vacche un'estate al fresco - Allevatori TOP - Tecnologia. *Allevatori TOP*.
- Alessandro Amadei. (2020b). Salute e benessere al top con SenseHub - Allevatori TOP - Tecnologia. *Allevatori Top*.
- Alessandro Amadei. (2021). Non siamo mica gli americani... - Allevatori TOP - Gestione mandria. *Allevatori TOP*.
- Alessandro Amedei. (2021). Non siamo mica gli americani... - Allevatori TOP - Gestione mandria.
- Alessandro Gastaldo. (2020, November 11). Combattere l'heat stress nelle vacche da latte - Allevatori TOP - <https://www.allevatori.top/gestione-mandria/2020/11/11/misurare-lrsquoheat-stress-nelle-vacche-da-latte/128> consultatp il 07/10/2022
- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access*, 7, 129551–129583.
- Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V. P., Pragna, P., Lees, A. M., Sejian, V. (2019). The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science*, 126, 94–102.

- Barbedo, J. G. A. (2019). Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 482–492.
- Barrett, H., Rose, D. C. (2022). Perceptions of the Fourth Agricultural Revolution: What's In, What's Out, and What Consequences are Anticipated? *Sociologia Ruralis*, 62(2), 162–189.
- BASTIANELLI, D., BONNAL, L., BARRE, P., NABENEZA, S., SALGADO, P., ANDUEZA, D. (2019). La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires. *INRA Productions Animales*, 31(3), 237–254.
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 471–486.
- Bolo di pH ruminale - Tutti i fabbricanti del settore agricolo. (n.d.). <https://www.agriexpo.online/it/fabbricante-agricolo/bolo-ph-ruminale-11017.html> consultato il 24/10/2022
- Bovo, M., Benni, S., Barbaresi, A., Santolini, E., Agrusti, M., Torreggiani, D., Tassinari, P. (2020). A Smart Monitoring System for a Future Smarter Dairy Farming. *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2020 - Proceedings*, 165–169.
- Cao, M., Rong, L., Choi, C. Y., Wang, K., Wang, X. (2022). Computational evaluation of air jet cooling from a perforated air ducting system to mitigate heat stress of cows in free stalls. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199(June), 107198.
- Chen, J., Yang, A. (2019). Intelligent Agriculture and Its Key Technologies Based

on Internet of Things Architecture. *IEEE Access*, 7, 77134–77141.

CMP - Animal Welfare | Galleria fotografica e installazioni CMP. (n.d.).
<https://www.cmp-impianti.com/galleria-installazioni/> consultato il
13/10/2022

Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati, Kumar, R. (2016).
Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review.
Veterinary World, 9(3), 260.

de Campos, I. L., Chud, T. C. S., Oliveira, H. R., Baes, C. F., Cánovas, A., Schenkel,
F. S. (2022). 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, 102(2), 368–381.

De Masi, R. F., Ruggiero, S., Tariello, F., Vanoli, G. P. (2021). Passive envelope
solutions to aid design of sustainable livestock buildings in Mediterranean
climate. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127444.

Dikmen, S., Larson, C. C., De Vries, A., Hansen, P. J. (2020). Effectiveness of
tunnel ventilation as dairy cow housing in hot climates: rectal temperatures
during heat stress and seasonal variation in milk yield. *Tropical Animal
Health and Production*, 52(5), 2687–2693.

Domenico Pessina. (2017). Il robot di mungitura e la stalla automatizzata.
Mondo Machine.

Drwencke, A. M., Tresoldi, G., Stevens, M. M., Narayanan, V., Carrasco, A. V.,
Mitloehner, F. M., ... Tucker, C. B. (2020). Innovative cooling strategies:
Dairy cow responses and water and energy use. *Journal of Dairy Science*,
103(6), 5440–5454.

Ekine-Dzivenu, C. C., Mrode, R., Oyieng, E., Komwihangilo, D., Lyatuu, E., Msuta,

- G., ... Okeyo, A. M. (2020). Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Sahara African climate. *Livestock Science*, 242, 104314.
- Farooq, M. S., Sohail, O. O., Abid, A., Rasheed, S. (2022). A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Livestock Environment. *IEEE Access*, 10, 9483–9505.
- Filho, L. M. S., Lopes, M. A., Brito, S. C., Rossi, G., Conti, L., Barbari, M. (2020). Robotic milking of dairy cows: a review. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(6), 2833–2850.
- Fournel, S., Ouellet, V., Charbonneau, É. (2017). Practices for alleviating heat stress of dairy cows in humid continental climates: A literature review. *Animals*, 7(5), 1–23.
- Giaretta, E., Marliani, G., Postiglione, G., Magazzù, G., Pantò, F., Mari, G., ... Mordenti, A. (2021). Calving time identified by the automatic detection of tail movements and rumination time, and observation of cow behavioural changes. *Animal*, 15(1), 100071.
- Giorgio Provolo. (2020). Monitorare la stalla per dare più benessere. *Informatore Zootecnico*.
- Heinicke, J., Ibscher, S., Belik, V., Amon, T. (2019). Cow individual activity response to the accumulation of heat load duration. *Journal of Thermal Biology*, 82, 23–32.
- Herzog, A., Winckler, C., Hörtenhuber, S., Zollitsch, W. (2021). Environmental impacts of implementing basket fans for heat abatement in dairy farms. *Animal*, 15(7), 100274.
- Israel Flamenbaum. (2016). Aspetti produttivi, riproduttivi, economici ed

ambientali del raffreddamento delle bovine da latte in climi caldi – il caso di Israele. *Ruminantia*

Jensen, M. B. (2012). Behaviour around the time of calving in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 139(3–4), 195–202.

Jukan, A., Masip-Bruin, X., Amla, N. (2017). Smart computing and sensing technologies for animal welfare: A systematic review. *ACM Computing Surveys*, 50(1).

Kim, J., Kim, S., Ju, C., Son, H. Il. (2019). Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. *IEEE Access*, 7, 105100–105115.

Kim, S. H., Ramos, S. C., Valencia, R. A., Cho, Y. Il, Lee, S. S. (2022). Heat Stress: Effects on Rumen Microbes and Host Physiology, and Strategies to Alleviate the Negative Impacts on Lactating Dairy Cows. *Frontiers in Microbiology*, 13.

Lee, J., Bagheri, B., Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.

Leso, L., Becciolini, V., Rossi, G., Camiciottoli, S., Barbari, M. (2021). Validation of a Commercial Collar-Based Sensor for Monitoring Eating and Ruminating Behaviour of Dairy Cows. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 11(10).

Lopez-Gatius, F., Szenci, O. (2022). Accuracy to Predict the Onset of Calving in Dairy Farms by Using Different Precision Livestock Farming Devices. *Animals 2022, Vol. 12, Page 2006, 12(15), 2006*.

Luca Masali. (2015). Treviso, sfida tra droni agricoli: giovedì i vincitori -

- DronEzine. *Dronezine*. Retrieved from <https://www.dronezine.it/21909/treviso-sfida-tra-droni-agricoli-giovedi-i-vincitori/>
- Maffezzoli, F., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., Renga, F. (2022). Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. *Futures*, *142*, 102998.
- Massimo Brambilla, P. R. (2021). Alimentazione dei bovini: i livelli di automazione. *INFORMATORE ZOOTECNICO*.
- Miller-Cushon, E. K., Dayton, A. M., Horvath, K. C., Monteiro, A. P. A., Weng, X., Tao, S. (2019). Effects of acute and chronic heat stress on feed sorting behaviour of lactating dairy cows. *Animal*, *13*(9), 2044–2051.
- Mondaca, M. R. (2019). Ventilation Systems for Adult Dairy Cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *35*(1), 139–156.
- Moocall calving sensor - birth control for cows. (n.d.). <https://agrarzone.com/moocall-calving-sensor> consultato il 24/10/2022
- Müschner-Siemens, T., Hoffmann, G., Ammon, C., Amon, T. (2020). Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology*, *88*, 102484.
- Oztemel, E., Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *31*(1), 127–182.
- Paolo Berzaghi. (2019, February 18). Alimentazione di precisione, il ruolo del Nir portatile - Zootecnia - AgroNotizie. <https://agronotizie.imagelinenetwork.com/zootecnia/2019/02/18/alimentazione-di-precisione-il-ruolo-del-nir-portatile/61840> consultato 01/10/2022

- Park, T., Ma, L., Gao, S., Bu, D., Yu, Z. (2022). Heat stress impacts the multi-domain ruminal microbiota and some of the functional features independent of its effect on feed intake in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1).
- Pereira-Crespo, S., Botana, A., Veiga, M., González, L., Resch, C., García-Souto, V., ... Flores-Calvete, G. (2022). Prediction of quality of total mixed ration for dairy cows by near infrared reflectance spectroscopy and empirical equations.
[Http://Www.Tandfonline.Com/Action/JournalInformation?Show=aimsScope&journalCode=taar20#.VsXoziCLRhE](http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?show=aimsScope&journalCode=taar20#.VsXoziCLRhE), 50(1), 69–79.
- Pereira, M. H. C., Rodrigues, A. D. P., Martins, T., Oliveira, W. V. C., Silveira, P. S. A., Wiltbank, M. C., Vasconcelos, J. L. M. (2013). Timed artificial insemination programs during the summer in lactating dairy cows: Comparison of the 5-d Cosynch protocol with an estrogen/progesterone-based protocol. *Journal of Dairy Science*, 96(11), 6904–6914.
- Pfeiffer, J., Spykman, O., Gandorfer, M. (2021). Sensor and Video: Two Complementary Approaches for Evaluation of Dairy Cow Behavior after Calving Sensor Attachment. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 11(7).
- Pryce, J. E., Nguyen, T. T. T., Cheruiyot, E. K., Marett, L., Garner, J. B., Haile-Mariam, M., ... Haile-Mariam, M. (2022). Impact of hot weather on animal performance and genetic strategies to minimise the effect. *Animal Production Science*, 62(8), 726–735.
- Pyingkodi, M., Thenmozhi, K., Nanthini, K., Karthikeyan, M., Palarimath, S., Erajavignesh, V., Kumar, G. B. A. (2022). Sensor Based Smart Agriculture with IoT Technologies: A Review. In *2022 International Conference on*

Computer Communication and Informatics, ICCCI 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

R&S Forigo. (2018, March 1). Agricoltura di precisione: Cos'è e come si applica. <https://www.forigo.it/news/agricoltura-di-precisione-cose-e-come-si-applica> consultato il 23/10/2022.

Rakib, M. R. H., Zhou, M., Xu, S., Liu, Y., Asfandyar Khan, M., Han, B., Gao, J. (2020). Effect of heat stress on udder health of dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 87(3), 315–321.

Razia Sultana, J., Sarat Chandra, A., Raghunandan, T., Gnana Prakash, M., Venkateswarlu, M., Ramana, D. B. V. (2022). Effect of dietary chromium, vitamin E and selenium supplementation on biochemical and physiological parameters of Holstein Friesian cows under heat stress. *Indian Journal of Animal Sciences*, 92(7), 858–864.

Reiter, S., Sattlecker, G., Lidauer, L., Kicking, F., Öhlschuster, M., Auer, W., ... Iwersen, M. (2018). Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3398–3411.

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. L., Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707–728.

Rilevamento calore Heatseeker II - Enne Effe. (n.d.). https://www.enneeffe.com/prodotti_boumatic/rilevamento-calore-heatseeker2/ consultato il 24/10/2022.

Robert, B., White, B. J., Renter, D. G., Larson, R. L. (2009). Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in

cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 67(1–2), 80–84.

Rong, L., Bjerg, B., Batzanas, T., Zhang, G. (2016). Mechanisms of natural ventilation in livestock buildings: Perspectives on past achievements and future challenges. *Biosystems Engineering*, 151, 200–217.

Rossi, P., Motta, A. (2020). Quando il robot di mungitura diventa una valida alternativa \$ \$, 14–18.

Roth, Z. (2020). Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress - Experiences from the past and lessons for the present. *Theriogenology*, 155, 150–156.

Roth, Z., Kressel, Y. Z., Lavon, Y., Kalo, D., Wolfenson, D. (2021). Administration of gnrh at onset of estrus, determined by automatic activity monitoring, to improve dairy cow fertility during the summer and autumn. *Animals*, 11(8).

Saggi, M. K., Jain, S. (2018). A survey towards an integration of big data analytics to big insights for value-creation. *Information Processing and Management*, 54(5), 758–790.

Schlecht, E., Hülsebusch, C., Mahler, F., Becker, K. (2004). The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, 85(3–4), 185–202.

SenseHub Dairy - Allflex Livestock Intelligence Italy. (n.d.). <https://www.allflex.global/it/product/soluzione-sensehub-per-vacche-da-latte/> consultato il 24/10/2022.

Serva, L., Magrin, L., Marchesini, G., Andrighetto, I. (2021). Assessment of the effectiveness of a portable NIRS instrument in controlling the mixer wagon tuning and ration management. *Animals*, 11(12), 3566.

Sguerrini, R. (2016). Stress da caldo con la ventilazione naturale. *INFORMATORE*

ZOOTECNICO, (0), 20–28.

Sharma, V., Tripathi, A. K., Mittal, H. (2022). Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, 107217.

Shi, X., Li, D., Deng, Q., Li, Y., Sun, G., Yuan, X., ... Liu, G. (2015). NEFAs activate the oxidative stress-mediated NF- κ B signaling pathway to induce inflammatory response in calf hepatocytes. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 145, 103–112.

Shu, H., Wang, W., Guo, L., Bindelle, J. (2021). Recent Advances on Early Detection of Heat Strain in Dairy Cows Using Animal-Based Indicators: A Review. *Animals* 2021, Vol. 11, Page 980, 11(4), 980.

Smith, D., Rahman, A., Bishop-Hurley, G. J., Hills, J., Shahriar, S., Henry, D., Rawnsley, R. (2016). Behavior classification of cows fitted with motion collars: Decomposing multi-class classification into a set of binary problems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 131, 40–50.

Stress da caldo? Nuova ventilazione ibrida a pressione. (n.d.). <https://www.rotaguido.it/nuovo-sistema-di-ventilazione-per-bovine-hybrid-ventilation> consultato il 13/10/2022.

Tomasello, N., Valenti, F., Cascone, G., Porto, S. M. C. (2019). Development of a CFD model to simulate natural ventilation in a semi-open free-stall barn for dairy cows. *Buildings*, 9(8).

Turk, R., Podpečan, O., Mrkun, J., Flegar-Meštrić, Z., Perkov, S., Zrimšek, P. (2015). The Effect of Seasonal Thermal Stress on Lipid Mobilisation, Antioxidant Status and Reproductive Performance in Dairy Cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 50(4), 595–603.

- Un alleato contro lo stress da caldo – Coolibri. (n.d.).
<https://www.coolibri.it/raffrescamento/> consultato il 26/10/2022.
- Vaculík, P., Smejtková, A. (2019). Assessment of selected parameters of automatic and conventional equipment used in cattle feeding. *Agronomy Research*, 17(3), 879–889.
- Van Os, J. M. C. (2019). Considerations for Cooling Dairy Cows with Water. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 35(1), 157–173.
- Vox, G., Maneta, A., Schettini, E. (2016). Evaluation of the radiometric properties of roofing materials for livestock buildings and their effect on the surface temperature. *Biosystems Engineering*, 144, 26–37.
- Wardal, W. J., Mazur, K. E., Roman, K., Roman, M., Majchrzak, M. (2021). Assessment of cumulative energy needs for chosen technologies of cattle feeding in barns with conventional (Cfs) and automated feeding systems (afs). *Energies*, 14(24).
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144.
- Yan, G., Liu, K., Hao, Z., Shi, Z., Li, H. (2021). The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress. *Journal of Thermal Biology*, 100, 103041.
- Zabasta, A., Kunicina, N., Grunde, U., Judvaitis, J., Sematovica, I. (2020). Implementation of IoT Concept for Early Diagnostic of Subacute Rumen Acidosis in Cows. *2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2020*.
- Zhou, M., Huynh, T. T. T., Groot Koerkamp, P. W. G., van Dixhoorn, I. D. E.,

Amon, T., Aarnink, A. J. A. (2022). Effects of increasing air temperature on skin and respiration heat loss from dairy cows at different relative humidity and air velocity levels. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 7061–7078.