



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**STRESS TERMICO NELLE BOVINE DA  
LATTE: SOLUZIONI E SFIDE PER UN  
ALLEVAMENTO RESILIENTE**

*THERMAL STRESS IN DAIRY COWS: SOLUTIONS  
AND CHALLENGES FOR RESILIENT FARMING*

TIPO TESI: Compilativa

Studente:  
SARA PORZIO  
Matricola: 1104768

Relatore:  
DOTT. SIMONE CECCOBELLI

Correlatore:  
PROF. MARINA PASQUINI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

*A chi c'è sempre stato.  
A chi se né andato.  
A chi ha creduto in me fin dall'inizio.  
E fino alla fine  
A te che più di chiunque altro avresti voluto esserci.*

A MIA NONNA ROSA

## INDICE

1.	Introduzione .....	1
2.	Sistema allevatorio dei bovini da latte in Italia .....	3
2.1.	Patrimonio bovino nazionale .....	3
2.2.	Tipologie di allevamento .....	5
2.3.	Principali razze da latte – caratteristiche morfologiche e dati produttivi ...	11
2.3.1.	Frisona Italiana .....	11
2.3.2.	Bruna Alpina .....	13
2.3.3.	Jersey .....	15
2.3.4.	Pezzata Rossa Italiana.....	16
3.	Stress da caldo - il problema e i fattori correlati .....	18
3.1.	Indice di disagio bioclimatico .....	21
3.2.	Altri indici di stress.....	26
3.3.	Metodi di rilevazione .....	28
3.3.1.	Apparecchiature a bassa frequenza .....	29
3.3.2.	Apparecchiature ad alta frequenza.....	30
4.	Principali problematiche di adattamento al calore.....	32
4.1.	Effetti del calore sull'ingestione e sulla digestione degli alimenti .....	32
4.2.	Effetti del calore sulla produzione qualitativa e quantitativa di latte.....	33
4.3.	Effetti legati alla riproduzione .....	35
5.	Strategie per ridurre gli effetti dello stress termico .....	37
5.1.	Soluzioni tecnico-costruttive per il controllo del microclima .....	37
5.1.1.	Soluzioni di tipo passivo.....	40
5.1.2.	Soluzioni di tipo attivo.....	40
5.2.	Alimentazione e stress da caldo .....	44
5.3.	Strategie di selezione genetica per contrastare gli effetti del caldo .....	46
6.	Conclusioni .....	50
7.	Bibliografia .....	52
8.	Sitografia.....	61
	Ringraziamenti.....	62

# 1. Introduzione

L'allevamento della bovina da latte si è fortemente evoluto negli ultimi anni, con l'acquisizione di nuove conoscenze e lo sviluppo di tecnologie innovative, prestando sempre crescente attenzione al benessere e al confort animale. Negli ultimi anni, per far fronte ad una continua crescita della popolazione, è stato necessario aumentare la produzione di prodotti di origine animale con il fine di soddisfarne le richieste; questo è stato possibile attraverso il miglioramento genetico, che si basa su una selezione genetica dei migliori riproduttori della popolazione. Fino ad oggi, la selezione non aveva considerato caratteristiche di resilienza ai cambiamenti climatici, rendendo i bovini da latte particolarmente vulnerabili. Per questo motivo, l'ipertermia indotta dall'ambiente può provocare negli animali da latte significative perdite di produzione, oltre a influire negativamente su diversi parametri, tra cui la crescita e la riproduzione. Negli ultimi anni, a causa del cambiamento climatico, si sono verificate ondate di calore sempre più intense e durature, causando un forte stress nei bovini che, in seguito al miglioramento genetico, hanno una scarsa capacità di adattamento. I bovini da latte sono stati identificati come una delle specie zootecniche più suscettibili alle temperature elevate e all'umidità al di fuori delle zone di termoneutralità. Pertanto, quando si valuta lo stress da calore (Heat Stress) nei bovini da latte, vengono in genere utilizzati gli indici di temperatura e umidità (THI). Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi tipi di sensori e attrezzature per supportare gli allevatori e permettere loro di intervenire prima che i bovini siano eccessivamente stressati dal caldo. Questi sensori misurano lo stato termico dell'animale, la frequenza respiratoria e cardiaca, ma allo stesso tempo misurano anche i parametri ambientali, tra cui radiazione solare, umidità e precipitazioni.

Nel presente elaborato, dopo aver analizzato il problema dello stress da calore, sono state approfondite le principali conseguenze di questo sul bestiame, tra cui effetti negativi sulla digestione, sulla produzione qualitativa e quantitativa di latte e sulla riproduzione. Il bovino, sottoposto ad elevate temperature, subisce anche alterazioni a livello ruminale (acidosi e bilancio energetico negativo). Durante il periodo estivo si verificano sempre più frequentemente riduzione della fertilità, strettamente associata a cambiamenti fisiologici dell'animale conseguenti all'esposizione prolungata al caldo

estremo. Questi cambiamenti possono avere effetti negativi sulla riproduzione sia in maniera immediata che duratura, nei mesi successivi. Lo stress da calore influisce negativamente anche sul comportamento estrale naturale, andando a ridurre sia la durata dell'estro che l'intensità della manifestazione, ed è responsabile di una diminuzione di circa il 20% dei tassi di concepimento.

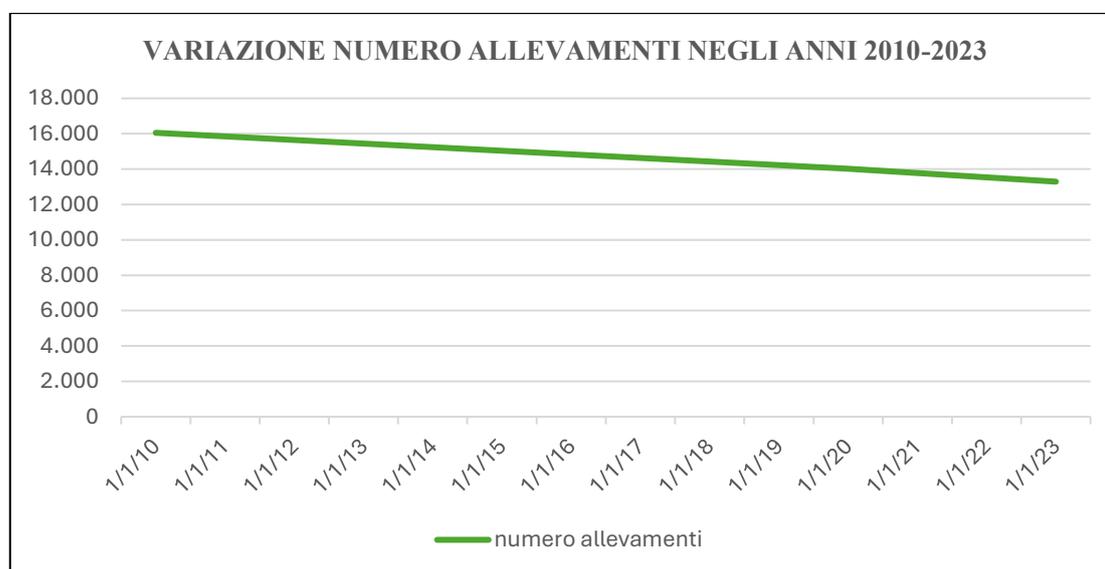
Infine, nell'elaborato vengono proposte alcune soluzioni per contrastare le alte temperature, come ad esempio garantire una ventilazione adeguata all'interno della struttura di stabulazione, progettare una struttura in maniera ottimale e finalizzata a mitigare gli stress sugli animali, attuare regimi di alimentazione corretti che vadano a compensare il calo di ingestione frequentemente osservato nel periodo estivo, ed infine ricorrere alla selezione genetica con l'obiettivo mirato di aumentare la termotolleranza nella popolazione allevata.

## 2. Sistema allevatorio dei bovini da latte in Italia

### 2.1. Patrimonio bovino nazionale

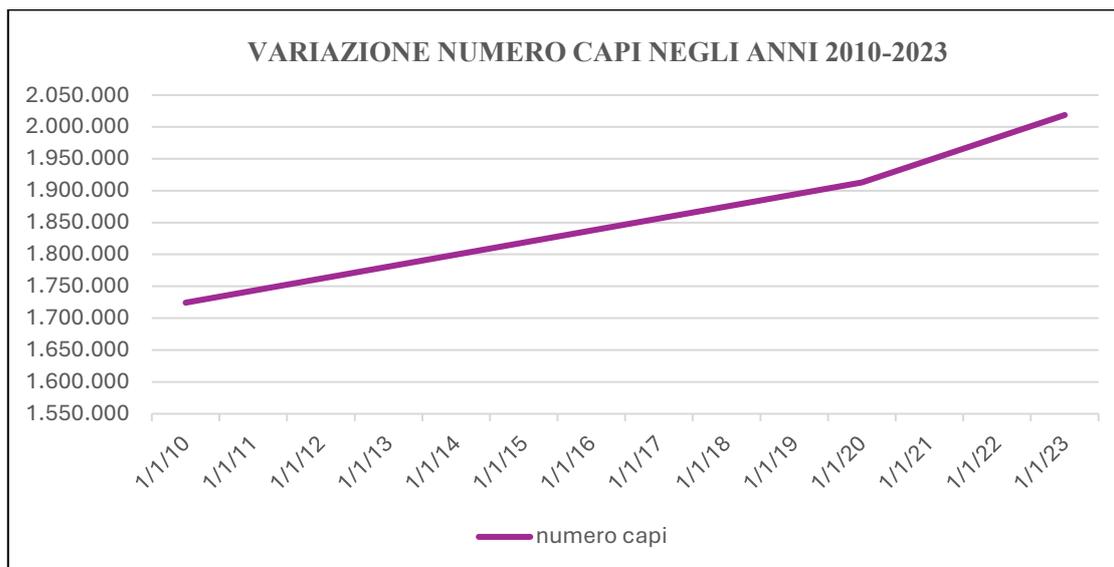
Negli ultimi decenni, il sistema produttivo italiano dei bovini da latte si è orientato prevalentemente sull'incremento della performance degli animali e sull'aumento del numero di capi allevati per stalla, con lo scopo di massimizzare il più possibile la produzione di latte per azienda. Questo ha portato a un'intensa attività di selezione degli animali orientata alla produzione, che ha determinato, negli ultimi 40 anni, quasi a raddoppiare la produzione media di latte per capo per le due principali razze bovine da latte allevate in Italia, Frisona e Bruna.

Tra il 2010 e il 2023, il panorama degli allevamenti da latte in Italia ha subito una forte contrazione, passando da 16.053 allevamenti nel 2010, a 14.021 nel 2020, perdendo circa 2.000 allevamenti nel corso di un decennio (Grafico 1). Ancora più preoccupante risulta la contrazione verificatasi negli ultimi tre anni. In questo breve periodo, si è assistito ad una ulteriore perdita di 732 allevamenti, con un calo che porta il numero totale a 13.289 unità nel 2023 (Anagrafe Nazionale Zootecnica – BDN, 2024).



**Grafico 1.** *Variazione del numero di allevamenti di bovini da latte nel periodo 2010-2023 (fonte: BDN, 2024)*

Nello stesso periodo, a fronte della significativa diminuzione degli allevamenti presenti sul territorio nazionale, si è contemporaneamente registrato un aumento della consistenza media del bestiame per allevamento (Grafico 2). Tra il 2010 e il 2020 il numero di capi è aumentato di circa 188.000 unità, mentre tra il 2020 e il 2023 l'aumento dei capi bovini è stato di circa 106.000 unità (Anagrafe Nazionale Zootecnica – BDN, 2024).



**Grafico 2.** *Variazione del numero medio di capi per allevamento nel periodo 2010-2023 (fonte: BDN, 2024)*

Secondo i dati della Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN), in Italia vengono allevati circa 2 milioni di bovini da latte, concentrati principalmente nelle regioni del Nord Italia. Quasi il 60% di questi bovini si trova tra Lombardia (42%) ed Emilia-Romagna (18%). In Lombardia sono presenti 3.537 allevamenti con complessivamente 853.387 capi, mentre in Emilia-Romagna 2.589 allevamenti, in cui si registrano 439.957 capi in totale. Rimanendo nel contesto delle regioni del Nord Italia, il Veneto presenta 2.580 allevamenti e 239.262 capi allevati.

In definitiva, le regioni del Nord Italia si confermano come le principali aree di allevamento di bestiame bovino da latte, concentrando oltre il 70% della produzione nazionale. Seguono poi le altre regioni, con quote percentuali via via inferiori. Nella tabella sottostante vengono riportati il numero dei capi e degli allevamenti suddivisi per regione italiana, sulla base dei dati aggiornati del 31 dicembre 2023 (Tabella 1). I

dati totali mostrano la presenza di 13.289 allevamenti e di 2.018.731 capi di bestiame sul territorio nazionale (Anagrafe Nazionale Zootecnica – BDN, 2024).

<b>REGIONE</b>	<b>NUMERO ALLEVAMENTI</b>	<b>NUMERO CAPI</b>
<b>LOMBARDIA</b>	3.537	853.387
<b>EMILIA ROMAGNA</b>	2.589	439.957
<b>VENETO</b>	2.580	239.262
<b>PIEMONTE</b>	1.296	229.011
<b>LAZIO</b>	657	58.099
<b>TRENTO</b>	755	32.283
<b>CAMPANIA</b>	205	16.180
<b>FRIULI VENEZIA GIULIA</b>	324	32.605
<b>SICILIA</b>	273	23.182
<b>PUGLIA</b>	174	17.546
<b>TOSCANA</b>	148	13.046
<b>BASILICATA</b>	121	15.057
<b>SARDEGNA</b>	111	10.414
<b>CALABRIA</b>	98	13.032
<b>UMBRIA</b>	94	10.260
<b>ABRUZZO</b>	73	3.882
<b>MOLISE</b>	71	3.769
<b>MARCHE</b>	68	5.675
<b>LIGURIA</b>	65	1.323
<b>BOLZANO</b>	50	761
<b>TOTALE</b>	<b>13.289</b>	<b>2.018.731</b>

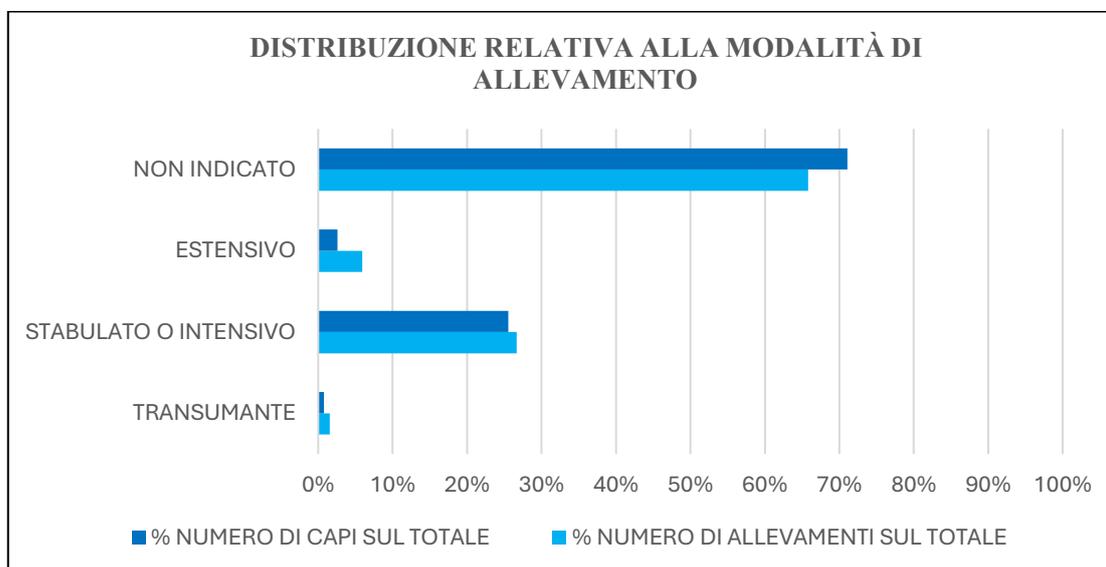
*Tabella 1. Numero di allevamenti e di capi suddivisi per regione italiana (fonte: BDN, 2024)*

## **2.2. Tipologie di allevamento**

In Italia, due distinti modelli caratterizzano la gestione degli allevamenti: allevamenti intensivi e allevamenti estensivi (Grafico 3).

Negli allevamenti intensivi, l'obiettivo primario è massimizzare le performance produttive degli animali, durante il ciclo produttivo. A tal fine, gli animali vengono allevati in spazi confinati con un'alimentazione controllata, densità spesso elevate e accesso limitato o nullo a pascoli esterni. Al contrario gli allevamenti estensivi, si basano su una gestione degli animali in aree aperte, con accesso a pascoli rispettandone

le esigenze fisiologiche e ricercando una maggiore qualità dei prodotti da essi realizzati, rispetto alla quantità degli stessi (BDN, 2024).



**Grafico 3.** Distribuzione di capi e allevamenti relativa alla modalità di allevamento

L'allevamento della bovina da latte si è fortemente evoluto negli anni, acquisendo nuove conoscenze e implementando tecnologie innovative. Tra le tematiche di maggiore attenzione in questo processo evolutivo, il benessere e il comfort animale hanno assunto un ruolo centrale. Come precedentemente riportato, l'aumento della produzione individuale delle bovine ha portato a una maggiore redditività degli allevamenti, con conseguenti maggiori esigenze e criticità per gli stessi animali. In questo contesto, le strutture di stabulazione, nel loro complesso, sono state considerate come elementi poco significativi nel contribuire alla buona riuscita dell'allevamento; invece, le strutture per bovini da latte hanno un grande impatto sulle condizioni microclimatiche dell'ambiente di stabulazione.

Gli elementi strutturali che costituiscono il ricovero degli animali stabulati sono un fattore determinante per il loro benessere. Infatti, la funzione primaria delle strutture di stabulazione è quella di assicurare agli animali le migliori condizioni ambientali possibili. Questo è fondamentale per la salute e la produttività delle bovine, in quanto solo in condizioni ottimali possono esprimere il loro pieno potenziale. Le vacche da latte, sebbene capaci di adattarsi ad un'ampia varietà di condizioni ambientali,

ottengono le migliori produzioni quali/quantitative, all'interno di una zona di neutralità termica, dove la bovina esprime la sua massima produttività.

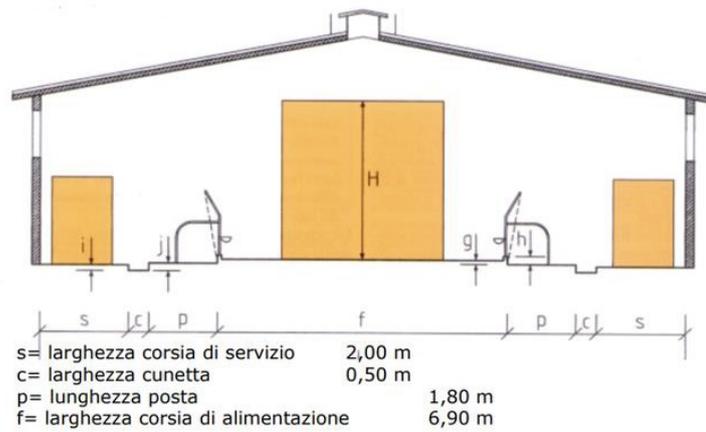
Per questo motivo, la progettazione e la realizzazione di strutture di stabulazione adeguate, che tengano conto delle esigenze fisiologiche e comportamentali degli animali, risultano essenziali per garantire il loro benessere e ottimizzare la produzione. La progettazione di una stalla, sia essa di nuova costruzione o un riadattamento di un fabbricato esistente, richiede un'attenta valutazione di molteplici fattori per garantire il benessere degli animali e l'efficienza dell'allevamento. Oltre a considerare le problematiche generali e gli aspetti funzionali, è fondamentale individuare il giusto rapporto animale/ambiente, ottimizzando lo spazio e le risorse a disposizione. Negli ultimi decenni, il settore dell'allevamento ha subito una profonda trasformazione, con passaggio graduale da sistemi di stabulazione fissa a quelli liberi. Questo cambiamento è stato accompagnato dall'abbandono graduale della lettiera permanente, ancora presente in molte aziende, a favore di zone di riposo con cuccette.

Negli allevamenti a stabulazione fissa, gli animali occupano in maniera permanente lo stesso spazio individuale, detto posta, e possono essere vincolati ad una rastrelliera, soprattutto durante la fase di somministrazione della razione. Questo tipo di sistema di allevamento è ormai impiegato solo in allevamenti di piccole dimensioni con un numero limitato di capi allevati. All'interno degli allevamenti, gli animali possono essere disposti in due modi principali:

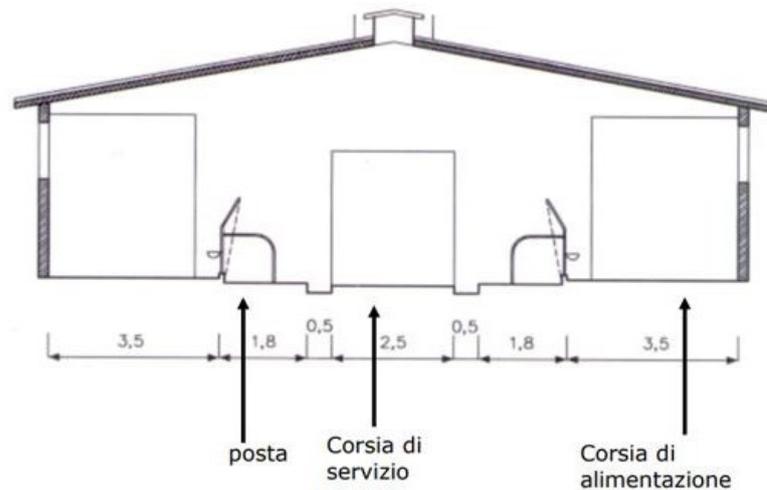
- in fila singola: gli animali sono allineati uno dietro l'altro su un lato della struttura.
- su due file: gli animali sono divisi in due gruppi che si fronteggiano su i lati di una corsia centrale.

A seconda della disposizione scelta, cambia anche il metodo di distribuzione della razione:

- disposizione "testa a testa": gli animali si affacciano sulla corsia centrale, che diventa così la loro mangiatoia. Questo metodo facilita la distribuzione della razione, che viene effettuata su ciascun lato della corsia (Figura 1).
- disposizione "groppe a groppe": in questo caso, sono presenti due corsie laterali per la distribuzione del cibo, una per ogni fila di animali (Figura 2).



**Figura 1.** Stalla a stabulazione fissa con disposizione “testa a testa”  
(fonte: [www.docenti.unina.it](http://www.docenti.unina.it))



**Figura 2.** Stalla a stabulazione fissa con disposizione “groppe a groppe”  
(fonte: [www.docenti.unina.it](http://www.docenti.unina.it))

Negli allevamenti a stabulazione libera, gli animali sono allevati all’interno di stalle, ma hanno la possibilità di muoversi liberamente all’interno di esse e nei paddock esterni. Queste tipologie di stalle possono essere di diversi tipi: stalle chiuse, stalle aperte (in cui gli animali sono all’aperto o in aree coperte da tettoie), ed infine stalle miste.

Inoltre, in queste tipologie di stalle abbiamo una suddivisione in più aree, al fine di agevolare il movimento degli animali:

- zona di riposo,
- zona di alimentazione,
- zona di esercizio.

Le stalle a stabulazione libera si distinguono, a seconda dell'organizzazione della zona di riposo, in stalle con lettiera permanente e stalle con cuccette.

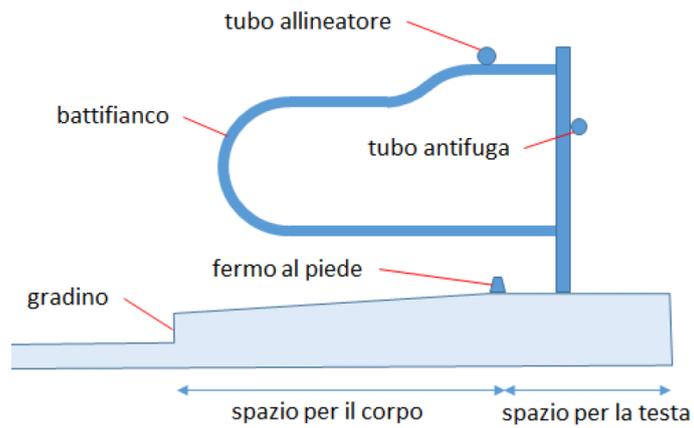
Per quanto riguarda le stalle con lettiera permanente, troviamo una zona di riposo organizzata in aree collettive, nelle quali alla pavimentazione viene aggiunta paglia per far sì che la lettiera si mantenga adeguatamente asciutta. Tuttavia, la gestione della lettiera può risultare impegnativa e richiede un notevole consumo di paglia. Inoltre, questo sistema presenta un rischio maggiore di insorgenza di malattie podali e di problemi respiratori dovuti all'accumulo di ammoniaca.

Nel comparto bovino da latte, la stalla libera con zona di riposo a cuccette, è indubbiamente la soluzione più diffusa ed è oggi quella più adottata sia nelle nuove costruzioni, sia nelle ristrutturazioni. La principale caratteristica è che la zona di riposo è suddivisa in aree singole, ben delimitate, e separate dalle zone di passaggio e di alimentazione. Questo fatto comporta un evidente miglioramento dello stato di pulizia della zona di riposo, da cui derivano anche migliori condizioni igienico-ambientali.

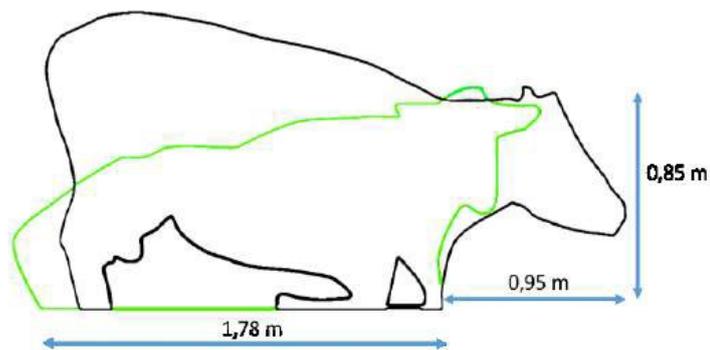
Come nel caso precedente, esistono zone di riposo con due file di cuccette disposte “groppe a groppa” e una corsia di spostamento centrale; una seconda tipologia prevede due file di cuccette disposte “testa a testa”.

La cuccetta è un'area a pianta rettangolare, chiusa su tre lati e aperta sul quarto, destinata al riposo di un singolo animale. Gli elementi base di una cuccetta sono (Figura 3):

- superficie per il riposo: deve garantire benessere e igiene all'individuo e deve essere necessariamente rialzata rispetto al pavimento della corsia di spostamento.
- battifianchi laterali: necessari per guidare l'animale nelle fasi d'ingresso e d'uscita.
- barre di delimitazione anteriore: per limitare l'eccessivo avanzamento degli animali.



**Figura 3.** Elementi caratteristici di una cuccetta  
(fonte: <https://costruzionirurali.unimi.it>)



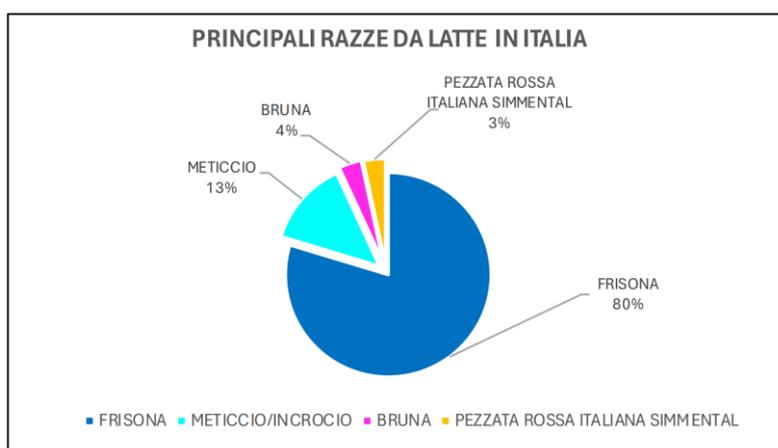
**Figura 4.** Dimensioni consigliate di una cuccetta per consentire l'estensione dell'animale quando si alza in posizione eretta. I valori si riferiscono a un animale di 700 kg di peso  
(fonte: <https://costruzionirurali.unimi.it>)

Una cuccetta deve essere ben progettata (Figura 4) poiché l'esperienza di tanti allevatori e tecnici dimostra che in molti casi si possono commettere errori nel dimensionamento, portando ad uno scarso utilizzo di questa da parte dell'animale, con effetti deleteri sul benessere e sulle sue performance.

## 2.3. Principali razze da latte – caratteristiche morfologiche e dati produttivi

Le razze bovine predominanti sul territorio nazionale e destinate alla produzione di latte sono principalmente 4 (Grafico 4):

- Frisona Italiana,
- Bruna Alpina,
- Jersey,
- Pezzata rossa italiana.



**Grafico 4.** Distribuzione in percentuale delle principali razze bovine da latte in Italia (fonte: BDN, 2024)

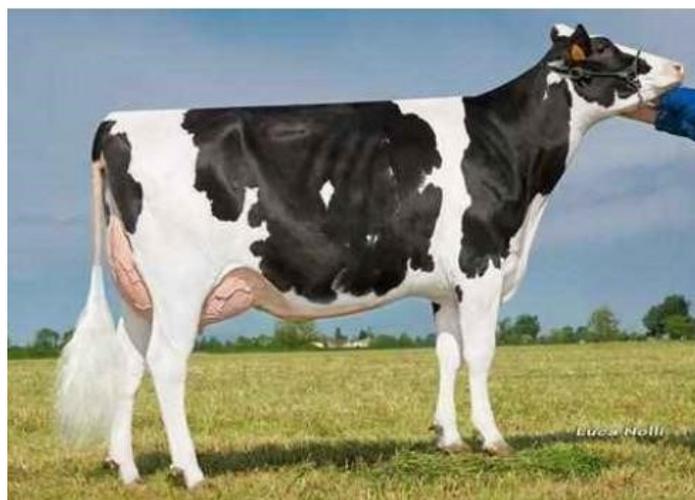
### 2.3.1. Frisona Italiana

La Frisona, conosciuta anche come Holstein o Frisona Holstein, regna indiscussa nel panorama mondiale delle razze bovine, vantando il titolo di razza più diffusa sia a livello nazionale che internazionale. La sua fama deriva dalla sua straordinaria capacità produttiva, unita a un'ottima qualità del latte (Figura 5). Originaria del Nord dell'Olanda, la Frisona è oggi diffusa in tutto il mondo. Inizialmente in Europa era impiegata come razza a duplice attitudine; tuttavia, la selezione è stata indirizzata verso la produzione di latte, grazie ad una serie di incroci con i ceppi americano e canadese ([www.anafi.it](http://www.anafi.it)).

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

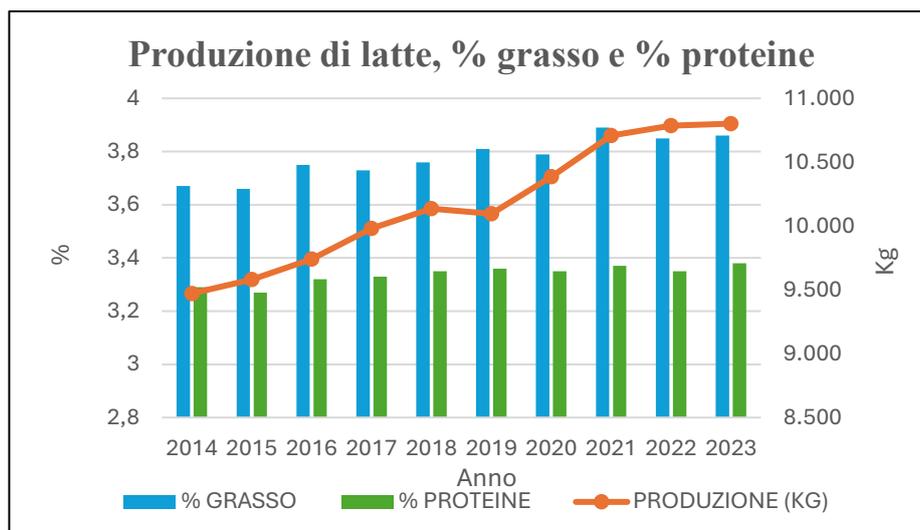
La razza bovina Frisona Italiana si contraddistingue per il suo mantello pezzato nero e raramente pezzato rosso. L'estensione della pezzatura può variare da capo a capo. Le vacche adulte raggiungono un'altezza al garrese che può oscillare tra i 130 e 150 cm e con un peso che può arrivare a 800 kg. I tori possono raggiungere altezze al garrese tra i 140 e 160 cm ed un peso massimo di 1.100 kg.

I capi di Frisona Italiana nel territorio nazionale nel 2023 superano di poco i 2.000.000 di individui ed una produzione media di 11.000 kg di latte all'anno, con un titolo medio di 3,9% di grasso e 3,36% di proteine ([www.anafi.it](http://www.anafi.it)).



*Figura 5. Tipo morfologico standard di una vacca Frisona Italiana  
(fonte: [www.anafi.it](http://www.anafi.it))*

Prendendo in considerazione il periodo dal 2014-2023 si è osservato, in concomitanza con l'aumento del latte prodotto (kg), un incremento della percentuale di grasso, passata dal 3,67% al 3,86%. Per quanto concerne la percentuale di proteine, queste hanno subito fluttuazioni meno marcate rispetto al grasso, con un picco raggiunto proprio nel 2023, pari al 3,38% ([www.anafi.it](http://www.anafi.it)).



**Grafico 5.** *Variazione annua della produzione di latte (kg) e la relativa crescita percentuale di grasso e proteine negli anni 2014-2023 in Frisona Italiana (fonte: [www.anafi.it](http://www.anafi.it))*

### 2.3.2. Bruna Alpina

La Bruna Alpina, conosciuta anche come Brown Swiss, è una razza molto diffusa e apprezzata per l'elevata qualità del latte, superiore persino alla razza Frisona (Figura 6). In passato, era la razza più diffusa in Italia. Originaria della Svizzera, dove viene allevata da secoli, la Bruna Alpina si è adattata perfettamente alle difficili condizioni montane grazie ad una attenta selezione naturale.

Oggi rappresenta la seconda razza per importanza, in Svizzera, dopo la Simmental, ed ha contribuito a formare diversi ceppi, che in comune hanno una grande resistenza fisica, produttività elevata e ottima adattabilità. In passato la Bruna Alpina veniva considerata come razza a duplice attitudine (latte e carne), al contrario oggi è considerata una razza prettamente da latte. L'aspetto distintivo della Bruna Alpina è il mantello bruno uniforme, con sfumature più chiare o scure a seconda della zona del corpo. Il musello e la cute sono pigmentati neri, una caratteristica che serve a proteggere l'animale dalle radiazioni solari intense tipiche delle zone montane. Le femmine adulte possono raggiungere un peso che si aggira tra i 500-700 kg ([www.agraria.org](http://www.agraria.org)).



**Figura 6.** Tipo morfologico standard di una vacca Bruna

(fonte: [www.anarb.it](http://www.anarb.it))

La Bruna Alpina è la seconda razza più allevata in Italia, e la selezione genetica è curata dall'Associazione Nazionale Allevatori Razza Bruna (ANARB). Le sue origini si riconducono a ceppi svizzeri e austriaci, adattatisi perfettamente al clima italiano. Un successivo miglioramento è stato ottenuto attraverso accoppiamenti con la Brown Swiss Americana, finalizzato all'ottimizzazione delle caratteristiche lattifere e all'incremento della competitività rispetto ad altre razze. Un aspetto peculiare della selezione riguarda l'incremento nella popolazione dell'allele B nella k-caseina del latte. La k-caseina presenta due alleli: A e B. Il genotipo omozigote AA, è sfavorevole alla caseificazione, mentre l'eterozigote AB e l'omozigote BB, sono entrambi favorevoli. Nella Bruna Alpina, la frequenza dell'allele B è presente per oltre l'80 % (<https://www.anarb.it/portfolio/assemblea-generale-anarb-2024/>), contro il 47 % nella Frisona (<https://www.anafi.it/media/latteco2/articoli/2022/14-BN-Set-Ott-2022.pdf>). Questa differenza si traduce in una qualità decisamente superiore del latte di Bruna, sia in termini di contenuto proteico che di grasso, sia per l'attitudine alla caseificazione rispetto al latte di Frisona, che in parte compensa la sua minore produzione quantitativa di latte.

La produzione annua della Bruna Alpina si aggira intorno ai 7.000 kg di latte, con un titolo in grasso del 4% e un tenore in proteine di 3,48% ([www.anarb.it](http://www.anarb.it)).

### 2.3.3. Jersey

La razza Jersey, considerata la seconda razza da latte al mondo, vanta una diffusione in Europa ma anche negli Stati Uniti, Canada, Sud-Africa. Particolarmente adatta ai climi caldo-umidi, si distingue rispetto alla Frisona Italiana, per la sua maggiore rusticità (Figura 7). La Jersey è un animale di piccola taglia, considerata la più piccola razza bovine allevata nel mondo. Le femmine hanno un peso medio che si aggira tra i 400-500 kg, al contrario i tori si aggirano tra i 500-600 kg, risultando di mole decisamente inferiore rispetto alla razza Frisona.

Nonostante le dimensioni contenute, la produzione di latte annua si aggira sui 6.600 kg circa. Un vero punto di forza della Jersey risiede nella qualità eccezionale del suo latte. Rispetto alla Frisona, vanta un contenuto di grasso decisamente superiore (4,88%) e una percentuale di proteine notevolmente più alta (3,92%). Inoltre, si distingue per elevate quantità di calcio e l'alta frequenza del genotipo BB per la k-caseina. Queste caratteristiche rendono il suo latte particolarmente apprezzato per la produzione di formaggi pregiati. Per l'elevata ricchezza in grasso del suo latte, la Jersey viene spesso allevata insieme a soggetti di razza Frisona per garantire un titolo lipidico del latte massale più elevato ([www.anafi.it](http://www.anafi.it)).



*Figura 7. Tipo morfologico standard di una vacca Jersey (fonte: [www.anafi.it](http://www.anafi.it))*

### **2.3.4. Pezzata Rossa Italiana**

La razza Pezzata Rossa Italiana è originaria della valle del Simme nel Bernese (Svizzera), e per questo motivo è anche la razza più rappresentata in Svizzera (Figura 8). A differenza di altre razze, la Simmental si distingue per essere una razza a duplice attitudine: latte e carne. La razza è caratterizzata da un mantello pezzato rosso – fromentino, mentre la parte ventrale e la testa sono di colorazione bianca. La sua importanza storica è notevole, in quanto ha svolto un ruolo fondamentale come progenitore per molti altri ceppi europei: italiano, tedesco, francese. In Italia, la Simmental è conosciuta anche come “Friulana”, nome che deriva dal luogo in cui venne introdotta per la prima volta all’inizio del XX secolo. La sua diffusione in Friuli avvenne grazie all’incrocio tra vacche autoctone con tori di razza Simmental. La Pezzata Rossa Italiana vanta una notevole produzione di latte annua, che si aggira intorno ai 7.400 kg. Questo latte si distingue per le sue eccellenti qualità casearie, con un tenore di grasso del 3,9% e un contenuto di proteine del 3,4% (dati al 2023). Per queste sue caratteristiche, il latte della Pezzata Rossa Italiana concorre anche alla produzione del Parmigiano Reggiano. Oltre alle doti produttive eccezionali, la Pezzata Rossa Italiana è apprezzata per l’ottima capacità materna ed il suo temperamento docile, con la possibilità di essere allevata anche con il sistema “linea vacca-vitello” utilizzato per la produzione di carne. La razza è inoltre apprezzata per la sua elevata fertilità ([www.anapri.eu](http://www.anapri.eu)). L’A.N.A.P.R.I. (Associazione Nazionale Allevatori Pezzata Rossa Italiana) è l’ente preposto alla gestione genetica della razza. L’Associazione, che detiene il Libro Genealogico, applicando rigorosi criteri di selezione, garantisce il continuo miglioramento delle caratteristiche della razza.



*Figura 8. Vacca Pezzata Rossa Italiana nel suo tipico ambiente di allevamento  
(fonte: [www.anapri.eu](http://www.anapri.eu)).*

### **3. Stress da caldo - il problema e i fattori correlati**

Il periodo estivo rappresenta per le razze bovine lattifere una condizione di stress che implica notevoli cali nelle quantità e qualità del latte prodotto. Particolare attenzione va data alle vacche da latte caratterizzate da alte prestazioni in quanto risultano gli animali maggiormente sensibili allo stress da caldo, per la loro alta produttività e per la difficoltà che incontrano nell'eliminazione del calore endogeno prodotto con l'ingestione di alimenti (Coppock et al., 1982).

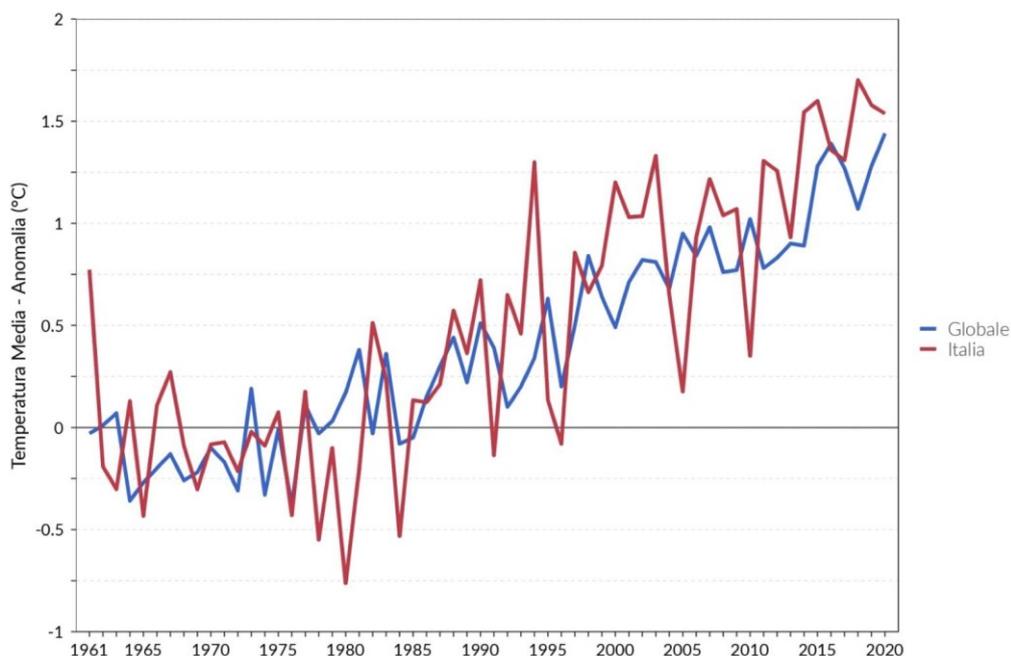
Lo status di stress può avere origini fisiologiche e/o psicologiche. Fra i fattori fisiologici rivestono particolare importanza quelli termici. Infatti, i mammiferi sono omeotermi, cioè, dotati di meccanismi di termogenesi e di dispersione del calore (termolisi) e quindi in grado, mediante meccanismi endogeni, di mantenere costante la temperatura corporea. Ciò implica per i mammiferi l'esistenza di un intervallo termico ottimale, detto zona di termoneutralità, nel quale i suddetti meccanismi funzionano perfettamente. Nei bovini da latte l'intervallo di termoneutralità è compreso tra 5 e 25 °C (Roelfeldt, 1998). Il superamento dei limiti di questo intervallo induce negli organismi motivi di stress, più o meno intensi a seconda dell'entità e del perdurare di questa condizione. L'organismo animale, quindi, deve potersi adattare alle condizioni ambientali avverse, e lo fa attraverso modificazioni dello stato neuro-endocrino, metabolico e comportamentale, con l'obiettivo finale di mantenere costante la temperatura corporea. Inoltre, queste modificazioni influenzano il consumo alimentare, le produzioni, gli aspetti riproduttivi e le funzioni immunitarie dell'animale. Quando si raggiungono circa 33 °C di temperatura esterna, nell'animale si riduce la capacità di dispersione del calore e aumenta il carico termico, con conseguente innalzamento della temperatura corporea. A questo punto intervengono meccanismi di difesa, sia di natura fisica (sudorazione, perspirazione) che di natura chimica, che si traducono in una riduzione del consumo di sostanza secca e un conseguente calo produttivo. Questa reazione ha effetti diversi in base all'età dei soggetti, del tipo di allevamento e dello stadio di lattazione (Zezza e De Palo, 2006).

Possiamo suddividere gli effetti negativi da stress da calore nei bovini da latte in tre categorie:

1. Sanitari: tra cui l'immunodepressione che comporta l'aumento della suscettibilità nei confronti di patologie, quali mastiti e acidosi.
2. Produttivi: tra cui il calo della quantità di latte prodotto e il peggioramento della qualità del latte.
3. Riproduttivi: con l'incremento dei calori silenti, la diminuzione del tasso di concepimento e l'aumento dell'intervallo interparto.

Importante è sottolineare come gli effetti negativi dello stress da caldo non si arrestano allo scomparire delle cause (elevate temperature), ma possono permanere per periodi più o meno lunghi.

Negli ultimi anni, l'aumento delle temperature è diventato una criticità reale e diffusa (Grafico 6), non più circoscritta a determinate aree del mondo, ma un problema globale affrontato e condiviso da tutti. Lo squilibrio delle condizioni climatiche, in particolare per quanto riguarda temperature e precipitazioni, persiste da diversi anni. Per questo motivo, il cambiamento climatico è al centro di numerosi dibattiti e costituisce la causa di molte problematiche.



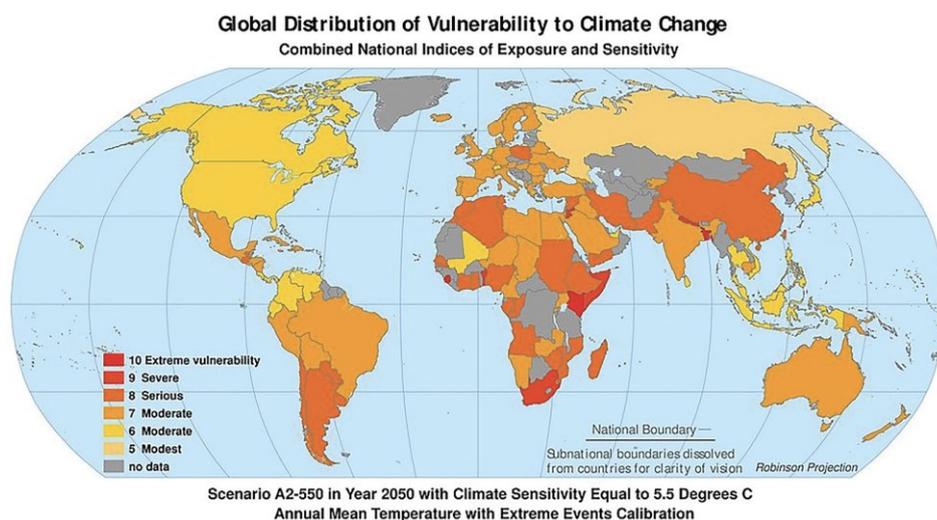
**Grafico 6.** Serie delle anomalie della temperatura media globale e in Italia rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990 (fonte: <https://editors.enea.it>).

Le variazioni dei fattori climatici hanno indubbiamente un impatto negativo sulle specie zootecniche. I cambiamenti climatici più recenti sono stati osservati in dettaglio negli ultimi 50 anni, in cui si è anche verificata una rapida crescita delle attività industriali. Gran parte dei fattori legati all'aumento della temperatura è attribuibile alle varie attività umane, tra cui l'agricoltura e l'allevamento. Tra le cause si annoverano:

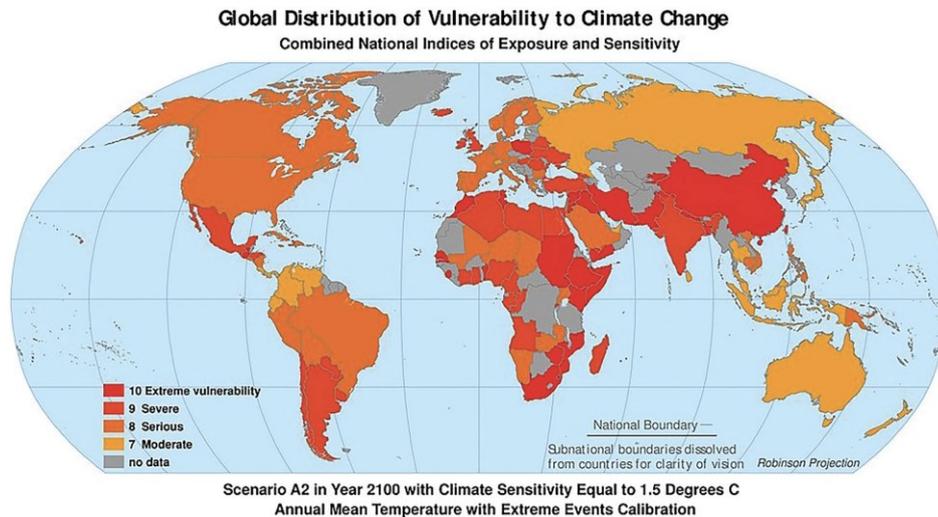
- l'aumento della concentrazione di gas serra nell'atmosfera;
- le modifiche della superficie terrestre (come ad esempio la deforestazione);
- le emissioni di metano derivanti dalle aziende agro-zootecniche.

Molti degli effetti negativi del cambiamento climatico derivano dall'aumento della gravità e della frequenza di eventi come siccità, precipitazioni intense, inondazioni e temperature elevate, con enormi conseguenze per la sostenibilità dell'agricoltura globale, i redditi dei produttori e la sicurezza alimentare.

Secondo i dati climatici forniti da Rovelli e collaboratori (2020), si stima che il riscaldamento globale aumenterà a ritmi intensi, fino a 5,5 °C entro il 2050 (Figura 9), mentre la temperatura media della superficie terrestre potrebbe aumentare di 1,5 °C entro il 2100 (Figura 10). Si prevede inoltre un aumento esponenziale del numero di giorni caldi all'anno, da 90 a 132 nelle aree di "estrema vulnerabilità", da 90 a 117 nelle aree "gravi" e da 90 a 109 nelle aree "moderate".



**Figura 9.** Scenario al 2050 con sensibilità climatica pari a 5,5°C di temperatura media annua con calibrazione degli eventi estremi (fonte: [www.sedac.ciesin.columbia.edu/mva/ccv/](http://www.sedac.ciesin.columbia.edu/mva/ccv/))



**Figura 10.** Scenario al 2100 con sensibilità climatica pari a 1,5°C di temperatura media annua con calibrazione degli eventi estremi (fonte: [www.sedac.ciesin.columbia.edu/mva/ccv/](http://www.sedac.ciesin.columbia.edu/mva/ccv/))

Gli effetti negativi del cambiamento climatico hanno costretto gli allevatori ad adottare misure di mitigazione e adattamento. Queste misure richiedono agli allevatori di fare investimenti a medio-lungo termine per ridurre le perdite economiche, dovute al calo delle produzioni nei periodi eccessivamente caldi. Le misure di “adattamento” nella maggior parte delle aziende sono già state attuate, e sono state finalizzate ad interventi per migliorare il microclima della stalla (Rovelli et al., 2020).

### 3.1. Indice di disagio bioclimatico

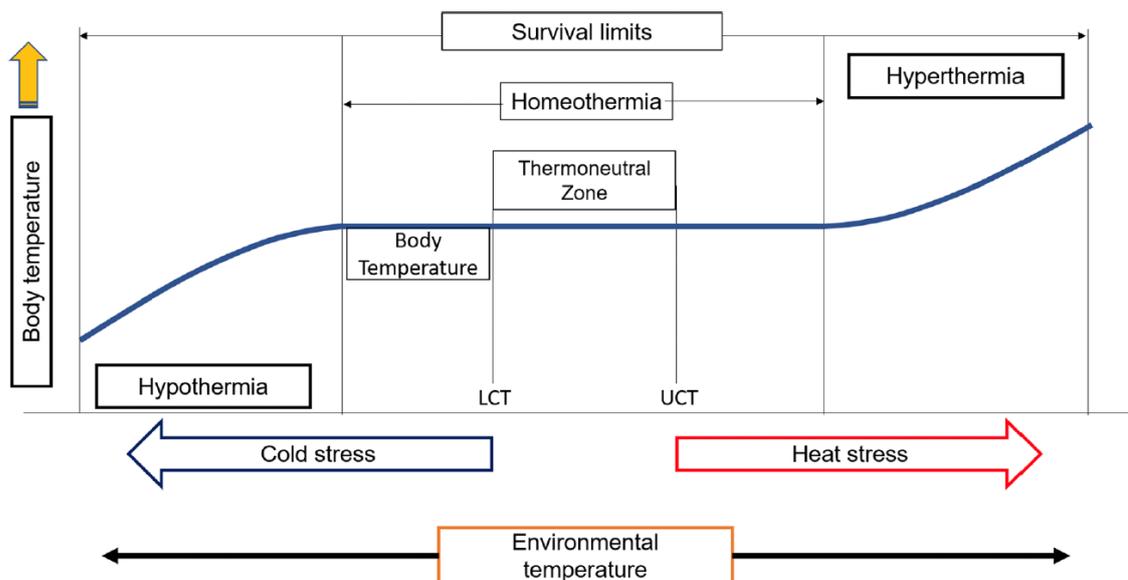
L'obiettivo principale della biometeorologia animale è spiegare come il corpo degli animali reagisce ai cambiamenti climatici, utilizzando indici biometeorologici, espressi tramite formule empiriche. Questi indici permettono di valutare le condizioni soggettive di benessere o disagio dell'animale, in relazione alla combinazione di diversi fattori ambientali, quali temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria e radiazione solare (Ji et al., 2020).

#### *Temperatura*

La temperatura dell'aria è indubbiamente il fattore climatico più importante, poiché è stata dimostrata la sua influenza diretta sulla produzione di latte, sul consumo di alimento, sull'accrescimento, sullo stato sanitario e su alcuni aspetti legati alla sfera

riproduttiva (Armstrong, 1994). Tuttavia, la sola temperatura dell'aria non sempre è sufficiente per determinare il livello termico dell'ambiente di allevamento; infatti, le condizioni termiche nelle quali si trovano i bovini possono variare significativamente in base all'interazione della temperatura con l'umidità.

Come già detto in precedenza, i bovini sono animali omeotermi, ossia in grado di mantenere costante la propria temperatura corporea. Esiste un intervallo di temperature ambientali detto "zona di comfort termico o di termoneutralità", in cui l'animale si trova in uno stato di benessere e riesce a mantenere la propria temperatura corporea senza dover variare il metabolismo, l'attività muscolare o il livello produttivo. La zona di termoneutralità è delimitata da due valori: la temperatura critica inferiore, al di sotto del quale l'animale è costretto ad aumentare la produzione di calore e ridurre le perdite, e la temperatura critica superiore, oltre la quale esso deve cercare di disperdere il calore in eccesso riducendo l'ingestione alimentare e l'attività motoria (Figura 11).



**Figura 11.** Variazioni della temperatura corporea in relazione all'aumento o alla riduzione della temperatura ambientale (LCT = temperatura critica inferiore; UCT = temperatura critica superiore) (fonte: Dos Santos et al., 2021)

Le migliori performance produttive quanti/qualitative si hanno appunto nella zona di comfort termico, che corrisponde all'intervallo di temperature in cui è minima la produzione di calore endogeno ed è massima la quota di energia destinata alla

produzione del latte. Nel caso della bovina da latte la zona di comfort termico è compresa tra il limite inferiore di  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ed il limite superiore di  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Berry e colleghi (1964) hanno evidenziato un calo della produzione di bovine in lattazione esposte ad una temperatura oltre i  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una riduzione del 5% per ogni grado in più. In anni più recenti sono giunti alle stesse conclusioni anche Ravagnolo e collaboratori (2000), ma con analisi condotte per più anni in una pluralità di allevamenti. È stato inoltre dimostrato che l'effetto dell'esposizione ad alte temperature risulta in parte o addirittura totalmente mitigato dalle temperature basse del periodo notturno. In particolare, Frazzi e collaboratori (2003) hanno rilevato che quando la temperatura notturna scende al di sotto di  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , gli effetti negativi delle alte temperature diurne (fino a  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) risultano praticamente nulli.

#### *Umidità relativa*

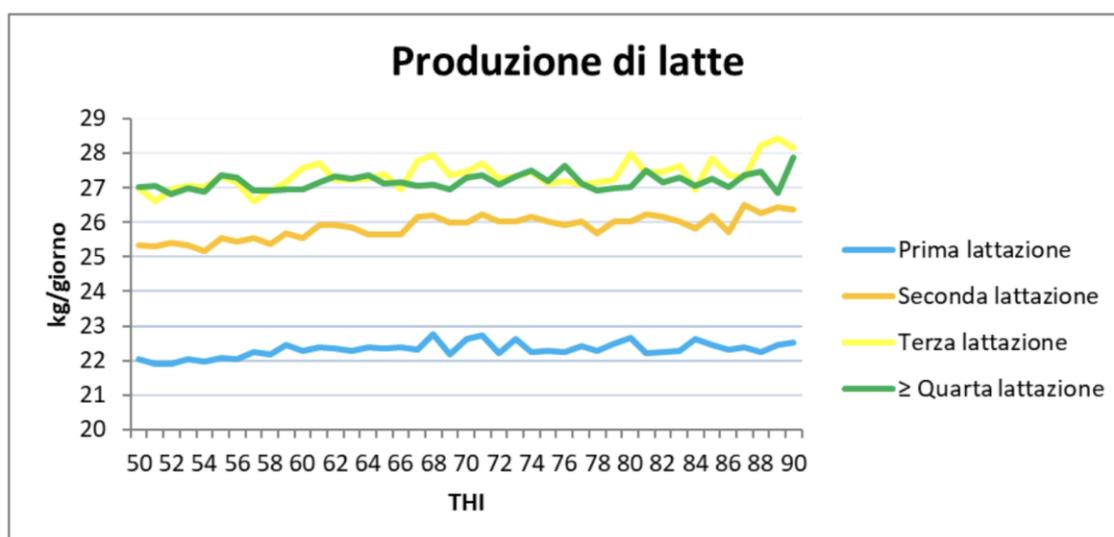
L'umidità relativa rappresenta un altro parametro microclimatico di elevata importanza. Essa indica la percentuale di vapore acqueo presente nell'aria rispetto alla massima quantità che l'aria può contenere ad una data temperatura. Per gli animali da reddito, l'umidità relativa ottimale si colloca tra il 50 % e l'80 %. Essi riescono ad adattarsi sia a lievi oscillazioni che a significative variazioni di tale parametro. Tuttavia, il problema sorge quando l'umidità elevata si combina con un'elevata temperatura dell'aria, impedendo agli animali di dissipare efficacemente il calore corporeo. Analizzando la figura dello stato di stress termico (Figura 12), che mette in relazione umidità e temperatura, si osserva che le bovine in lattazione iniziano a manifestare segni di stress termico a una temperatura di  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con un'umidità superiore all'80 %. Con una temperatura di  $26^{\circ}\text{C}$ , invece, lo stress si manifesta in maniera moderata già con un'umidità superiore al 60 %.

#### *Temperature Humidity Index (THI)*

L'indice termo-igrometrico (THI) rappresenta la combinazione tra i valori della temperatura e quelli dell'umidità relativa (Figura 12). Tali valori possono riferirsi sia a temperature elevate con bassa umidità sia a temperature relativamente basse con elevata umidità, poiché in entrambi i casi gli animali superano la zona di termoneutralità. Alcuni ricercatori hanno determinato per i bovini i valori minimo,

medio e massimo del THI, rispettivamente pari a 64, 75 e 86. Ravagnolo e collaboratori (2000) affermano che il THI serve a quantificare lo stress da calore ma, ancor meglio, gli effetti di tale stress sulla produzione. In particolare, questi autori indicano che per valori del THI superiori a 72, ogni incremento di un'unità comporta una riduzione della produzione di latte pari a 0,2 kg.

I valori di THI che rientrano nell'intervallo di termoneutralità variano non solo in base alla specie, ma anche in funzione della sua attitudine produttiva, dello stadio fisiologico (accrescimento, lattazione, gravidanza) e del genotipo dell'animale (Grafico 7).



**Grafico 7.** Produzione di latte (kg/giorno) influenzata dal THI e dal numero di lattazioni dell'animale (fonte: <https://www.ruminantia.it/quale-soglia-di-thi-ingenera-stress-da-caldo-nella-bruna-italiana-e-come-rispondono-le-brune-dal-punto-di-vista-produttivo-a-tale-condizione/>)

L'indice THI viene calcolato attraverso diverse formule la cui principale differenza risiede nel peso attribuito all'umidità relativa. Bohmanova e collaboratori (2007) hanno correlato 7 diverse formule di calcolo del THI con la produzione di latte (Schema 1), concludendo che gli indici che danno maggiore rilevanza all'umidità relativa sono più utilizzati in zone a clima umido, mentre nelle aree climatiche con bassa umidità sono preferibili gli indici che pongono maggior attenzione sulla temperatura.

Formula THI	Fonte
$THI = (0.15 \times Tdb + 0.85 \times Twb) \times 1.8 + 32$	Bianca, 1962
$THI = (0.35 \times Tdb + 0.65 \times Twb) \times 1.8 + 32$	Bianca, 1962
$THI = [0.4 \times (Tdb + Twb)] \times 1.8 + 32 + 15$	Thom, 1959
$THI = (0.55 \times Tdb + 0.2 \times Tdp) \times 1.8 + 32 + 17.5$	NRC, 1971
$THI = (1.8 \times Tdb + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times Tdb - 26) = 0.81 \times Tdb + 0.143 \times RH) + 0.0099 \times RH \times Tdb + 46.3$	NRC, 1971
$THI = (Tdb + Twb) \times 0.72 + 40.6$	NRC, 1971
$THI = Tdb + 0.36 \times Tdp) + 41.2$	Yousef, 1985

**Schema 1.** *Differenti formule utilizzabili per il calcolo del Temperature Humidity Index (Bohmanova et al., 2007)*

Di seguito è riportata la formula più comunemente utilizzata (Kelly and Bond, 1971; NOAA 1976) per il calcolo dell'indice THI:

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

dove:

TA = temperature ambientale (°C)

UR = umidità relativa (%)

Esiste anche una variante della formula di Kelly and Bond, che include la Tdb, ovvero la temperatura del bulbo secco (°C), assimilabile alla temperatura massima giornaliera.

$$THI = (1,8 \cdot Tdb + 32) - \left[\left(0,55 - 0,55 \cdot \frac{UR}{100}\right) \cdot (1,8 \cdot Tdb + 32) - 58\right]$$

dove:

Tdb = temperatura del bulbo secco (°C)

UR = umidità relativa dell'aria (%)

Una volta calcolato il THI mediante una delle formule sopra enunciate, è possibile classificare il valore ottenuto in una delle quattro categorie che stimano il livello di disagio e lo stress dell'animale (Figura 12):

- < 73: azzurro = assenza di stress
- da 73 a 78: giallo = stress moderato

- da 79 a 84: arancione = stress elevato
- > 84: rosso = estremo pericolo

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

*Figura 12. Valori di THI relativi alle classi di rischio diurne per la produttività nelle bovine da latte (fonte: [www.reteruale.it](http://www.reteruale.it))*

### 3.2. Altri indici di stress

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi tipi di sensori e attrezzature per supportare gli allevatori e ricercatori nello sviluppo di algoritmi basati su modelli predittivi. Questi strumenti potrebbero consentire di prevedere lo stato termico dell'animale, permettendo di intervenire prima che i bovini siano stressati eccessivamente dal caldo. In condizioni climatiche avverse, gli animali mostrano risposte sia fisiologiche che comportamentali: le prime mirano a mantenere l'omeostasi, mentre le seconde hanno l'obiettivo di ridurre al minimo il carico di calore corporeo.

### *Indicatori fisiologici*

L'indicatore animale più comunemente utilizzato nella rilevazione dello stress termico nelle vacche da latte è la temperatura corporea, ossia la temperatura degli organi più importanti del corpo come il cuore, il fegato e il cervello (Farooq et al., 2010). Quando le vacche sono esposte a condizioni di calore estremo, la loro temperatura interna aumenta in modo anomalo poiché non riescono a dissipare adeguatamente il calore.

Un altro metodo per identificare lo stress da caldo è il monitoraggio della temperatura superficiale dell'animale. Daltro e collaboratori (2017) hanno analizzato la temperatura di occhi, arti e mammelle, correlando questi dati con la temperatura interna.

Brown-Brandl e collaboratori (2005) hanno concluso che anche la frequenza respiratoria rappresenta un valido indicatore fisiologico dello stress da caldo, poiché si altera rapidamente senza significativi ritardi ed è costantemente influenzato da tutte le variabili dell'indice THI.

### *Indicatori comportamentali*

Uno dei primi meccanismi adottato dai bovini per contrastare lo stress da caldo è la riduzione dell'assunzione di alimento. L'animale limita l'assunzione di sostanza secca in proporzione al carico termico con l'obiettivo di ridurre la produzione di calore endogeno. Contestualmente la quantità di acqua assunta giornalmente può aumentare considerevolmente rispetto alle condizioni di normalità termica, come risposta compensatoria alle perdite idriche dovute all'evaporazione. In condizioni normali, le bovine da latte tendono a frazionare l'assunzione di alimento in piccoli pasti distribuiti nell'arco della giornata, con una maggiore concentrazione subito dopo la mungitura e dopo la distribuzione dell'alimento. Tuttavia, in presenza di stress da caldo, le bovine modificano il loro comportamento alimentare riducendo il numero di pasti, assumendo una maggiore quantità di alimento per ogni pasto e, soprattutto, andando in mangiatoia nei momenti più freschi della giornata, come durante la notte (Ammer et al., 2016).

Un ulteriore segnale che si può facilmente monitorare è il tempo che le bovine trascorrono in piedi. Questa condizione è considerata un valido meccanismo per contrastare lo stress da caldo in quanto consente di esporre all'aria una superficie

corporea maggiore, facilitando la dissipazione del calore, cosa che risulta invece più difficile quando l'animale è sdraiato (Cook et al., 2005).

### **3.3. Metodi di rilevazione**

La complessità dei meccanismi fisiologici degli animali richiede la misurazione di indicatori: corporatura, performance, comportamento e ambiente di allevamento dei bovini. Per monitorare l'ambiente si utilizzano dei sensori di temperatura e umidità sia all'interno che all'esterno della stalla, anemometri per misurare la velocità e la direzione del vento, e sensori di radiazione solare (Pilatti et al., 2019). L'ideale sarebbe disporre di sensori in grado di monitorare la temperatura corporea di un numero statisticamente significativo di animali, sia durante sessioni diagnostiche sia in tempo reale, di stalla per verificare in maniera oggettiva l'efficacia degli impianti di raffreddamento diretto o indiretto. Il monitoraggio diretto della temperatura corporea degli animali, tramite opportuni algoritmi, consentirebbe una gestione ottimale di tali impianti o dei loro aggiornamenti in tempo reale. Infatti, la semplice presenza di impianti di raffreddamento non garantisce infatti una gestione efficiente dello stress da caldo, per cui è fondamentale verificare l'efficacia attraverso il bestiame.

L'allevamento di precisione mira a fornire un monitoraggio in tempo reale in modo che gli interventi possano essere effettuati tempestivamente (Berckmans, 2017).

La temperatura corporea degli animali può essere rilevata in diverse aree corporee: reticolo-rumina, retto, vagina, orecchio oppure mediante termografia della superficie corporea.

I boli ruminanti, posizionati nel reticolo o nella giunzione tra il rumine e il reticolo, contengono un sensore di temperatura, un sistema di telemetria e una batteria, che permettono di registrare la temperatura interna all'animale. La temperatura rilevata dai boli ruminanti è generalmente superiore di 0,5 °C rispetto a quella corporea ed è influenzata dalla temperatura dell'acqua e dalla frequenza di abbeverata. La temperatura rettale è considerata la più affidabile ma bisogna sempre considerare che segue un ritmo circadiano. Al tramonto può essere superiore di 1,4 °C rispetto all'alba. Inoltre, bisogna considerare che essa può essere influenzata dall'alimentazione, dall'estro e dall'attività fisica. Tramite sensori indossabili si può misurare anche la temperatura vaginale che è altamente correlata con quella corporea e ha un andamento

molto simile a quella rettale. Si ritiene genericamente che un sensore di temperatura possa essere tenuto in vagina per un massimo di 24 giorni consecutivi, oltre i quali il rischio di irritazione e lesioni locali è molto elevato.

### **3.3.1. Apparecchiature a bassa frequenza**

Negli ultimi decenni, il rilevamento manuale è stato il metodo più comunemente utilizzato per misurare parametri fisiologici come frequenza cardiaca, frequenza di sudorazione e temperatura interna. Tuttavia, queste modalità di rilevazione possono causare stress agli animali e influenzare i risultati. Tra le apparecchiature a bassa frequenza rientrano i termometri digitali per misurazioni rettali, vaginali e cutanee e gli stetoscopi per la frequenza cardiaca.

La **temperatura rettale**, misurata inserendo un termometro digitale nel retto di animali adulti per 15-20 cm, viene utilizzata come misura convenzionale della temperatura corporea interna (Piccione et al., 2003). La temperatura rettale rimane quasi costante all'interno del range di termoneutralità ma tende ad aumentare con l'aumentare della temperatura ambientale. Sono disponibili in commercio diversi dispositivi per la misurazione di questo parametro, come i termometri digitali GLA-M500 e GLA 525/550 (termometro digitale ad alte prestazioni).

La **temperatura vaginale** è considerata ugualmente affidabile data la vicinanza al retto. La vagina, inoltre, avendo un flusso sanguigno abbondante, risulta essere più sensibile ai cambiamenti della temperatura corporea interna rispetto al retto, fornendo quindi valori più accurati. La misurazione della temperatura vaginale può essere effettuata automaticamente con un sensore posizionato nella cavità addominale. Tali misurazioni possono essere eseguite da sistemi di telemetria costituiti da un trasmettitore impiantabile e da un registratore di dati con intervallo di registrazione dei dati di 30 s (Tresoldi et al., 2020).

La **termografia a infrarossi** è un'altra promettente alternativa in rapido sviluppo, che sfrutta delle termocamere in grado di registrare la temperatura cutanea delle vacche in modo remoto e senza contatto (Daltro et al., 2017).

La termografia a infrarossi può essere misurata sia con strumenti portatili che fissi. Per l'uso portatile, vengono utilizzate una fotocamera o una pistola ad infrarossi puntata alla fronte dell'animale (Peng et al., 2019). Tuttavia, il funzionamento manuale limita la frequenza della raccolta dei dati. Per fare invece un rilevamento continuo, la termocamera a infrarossi viene montata in aree specifiche della stalla, come ad esempio la sala di mungitura.

L'uso di tali sistemi presenta importanti sfide operative poiché la determinazione della temperatura delle superfici corporee esterne, dipende dalla minimizzazione di fattori che potenzialmente ostacolano tali misurazioni, come ad esempio, il pelo dell'animale, lo sporco sulla pelle, la distanza e l'esposizione diretta al sole. Per garantire un monitoraggio continuo e in tempo reale, occorrono quindi ulteriori ricerche e perfezionamenti tecnologici (Idris et al., 2021).

### **3.3.2. Apparecchiature ad alta frequenza**

I dispositivi di monitoraggio automatico della temperatura possono avere diverse applicazioni, anche se è importante specificare che la misurazione a livello del singolo animale risulterebbe molto più utile nel gestire le patologie e lo stress da caldo. Inoltre, non sono da trascurare gli elevati costi iniziali di investimento associati a tali tecnologie. Infine, per poter gestire e archiviare la mole di dati giornalmente prodotta, si rende necessario sviluppare software specifici (Koltes et al., 2018).

I sensori termici possono essere utilizzati per misurare la temperatura corporea mediante un collare, un bolo ruminale o un inserto vaginale, registrando la temperatura a determinati intervalli temporali. In alternativa, la temperatura corporea interna può essere monitorata in tempo reale utilizzando biosensori impiantabili (Chung et al., 2020).

Per il monitoraggio della **temperatura del rumine e del reticolo** vengono utilizzati i boli ruminali. Le temperature registrate in questi tratti sono maggiori della temperatura rettale a causa dell'attività microbica e dell'assunzione di acqua. Un recente studio ha infatti dimostrato che l'ingestione di grandi volumi (dal 10 al 15% del volume del rumine) di acqua fredda, con una temperatura  $< 8^{\circ}\text{C}$ , provoca un rapido abbassamento della temperatura ruminale, con un ritorno ai valori normali entro 2-3 ore (Cantor et al., 2018).

La **temperatura del timpano** viene misurata attraverso data logger posizionati nel condotto uditivo (Jara et al., 2016). Tuttavia, questo metodo può risultare poco pratico a causa della possibile rimozione o spostamento del sensore nell'orecchio, conseguenti a movimenti bruschi dell'animale (Bergen et al., 2000)).

La **temperatura della pelle** è una delle alternative per stimare la temperatura corporea interna, poiché in condizioni di stress da calore, le vacche tendono a indirizzare un maggiore flusso sanguigno verso le zone periferiche del corpo (Chung et al., 2020). La misurazione dei parametri termici sottocutanei richiede l'uso di sensori impiantabili con trasmissione wireless. Un'altra modalità di rilevazione prevede l'uso di sensori termici associati ad un collare, oppure posizionati sulla pelle al di sopra della vena caudale (Hill et al., 2016).

Come già evidenziato, gli indicatori fisiologici basati sulla **respirazione** sono considerati particolarmente utili per la valutazione dello stress termico. L'ansimare, insieme alla sudorazione, favorisce la dispersione di calore per evaporazione, contribuendo così al mantenimento dell'omeotermia. Inoltre, il sistema respiratorio inizia a dissipare calore prima ancora che i valori di temperatura misurati per via rettale o vaginale inizino ad aumentare; pertanto, il controllo del ritmo respiratorio può essere utilizzato come indicatore precoce dello stress da caldo (Bar et al., 2019). Il metodo tradizionale per misurare la frequenza respiratoria consiste nel contare manualmente i movimenti del fianco e convertirli poi in atti respiratori al minuto (BPM). Più precisamente, consiste nell'osservare l'animale e assegnare un punteggio, detto "ansimante", su una scala da 0 a 4, in base a quanto il respiro è affannoso; 0 significa non ansimare e 4 significa ansimare molto (Daltro et al., 2017). Tuttavia, l'osservazione umana non è mai precisa ed i risultati dipendono molto dall'esperienza dell'operatore.

Attualmente, la maggior parte dei metodi per la misurazione della respirazione si basa su dispositivi indossabili, come collari o cinture toraciche, che rilevano la frequenza dei movimenti toracici. In alternativa, si possono impiegare dei sensori addominali per monitorare l'espansione addominale (Strutzke et al., 2019).

## 4. Principali problematiche di adattamento al calore

La selezione intensiva dei bovini da latte finalizzata ad un'elevata produzione di latte li ha resi meno resistenti ai cambiamenti climatici, per questo motivo l'ipertermia indotta dall'ambiente porta a significative perdite di produzione, oltre ad avere un impatto negativo su una serie di parametri, tra cui la crescita e la riproduzione. Lo studio dei meccanismi biologici alterati dallo stress da caldo è fondamentale per elaborare strategie di mitigazione per migliorare la risposta fisiologica da parte dell'animale e ridurre il calo della produzione quantitativa di latte.

Negli ultimi anni, i progressi nei sistemi di mitigazione del calore hanno ridotto le perdite di produzione, ma tuttavia pochi progressi si sono realizzati sugli approcci per migliorare i meccanismi fisiologici e metabolici delle bovine sottoposte a stress termici (Sammad et al., 2020).

### 4.1. Effetti del calore sull'ingestione e sulla digestione degli alimenti

L'ingestione degli alimenti da parte dell'animale diminuisce all'aumentare della temperatura dell'ambiente, e questo comportamento viene già adottato a partire da una temperatura ambientale di 25°C; l'assunzione di mangime diminuisce per due motivi principali:

- le temperature elevate hanno un effetto negativo sul centro dell'appetito, nell'ipotalamo, il quale non induce l'animale ad avere fame (Ammer et al., 2018).
- l'animale cerca di diminuire la fonte calore endogeno causato dall'assunzione della razione, assumendone quindi minori quantità.

Le vacche in condizioni termiche neutre e con razione *ad libitum* consumano dai 12 ai 15 pasti al giorno; al contrario quando la temperatura ambientale aumenta, la frequenza si riduce a 3-5 pasti al giorno (Kadzere et al., 2002), durante i quali vengono però consumati pasti più abbondanti, che potrebbero portare a conseguenze negative nel metabolismo intestinale. Inoltre, gli animali, nel tentativo di dissipare il calore, tendono a concentrare il flusso sanguigno verso la periferia con conseguente minor afflusso di sangue nel tratto gastrointestinale.

Per compensare la minor assunzione di cibo e la grande richiesta di energia da parte dell'animale, l'allevatore tende ad aumentare la parte energetica della dieta, fornendo una razione più ricca di concentrati; tuttavia, una dieta non equilibrata, con basse percentuali di fibre, implica una riduzione del tempo di ruminazione dell'animale e comporta di conseguenza una minor produzione di saliva. La saliva è fondamentale per mantenere il pH ruminale in equilibrio e, nel caso in cui questa non fosse sufficiente, si verificherebbe una compromissione della funzionalità delle pareti ruminali, che non risulteranno più efficienti nell'assorbimento degli Acidi Grassi Volatili (AGV), ovvero i prodotti finali della scissione della cellulosa. Quest'ultimi, rimanendo all'interno del rumine, causano un ulteriore abbassamento di pH con conseguente maggiore suscettibilità dell'animale verso patologie come l'acidosi ruminale subclinica e acuta (Kim et al., 2022).

La diminuzione dell'ingestione porta l'animale ad una situazione di bilancio energetico negativo (NEBAL), che induce peggiori performance, perdita di peso e maggiori alterazioni metaboliche (Das et al., 2016). La condizione di NEBAL causa una riduzione della concentrazione di insulina, esercitando un effetto lipolitico che comporta l'asportazione, dai tessuti adiposi, di acidi grassi non esterificati (NEFA) per rispondere all'elevata richiesta energetica da parte dell'animale (Bauman et al., 1993). Le bovine che sono in bilancio energetico negativo presentano alti livelli di acidi grassi non esterificati, bassi livelli di glucosio e un'elevata presenza di corpi chetonici nel sangue, ma anche nelle urine e nel latte (Garverick et al., 2013). I chetoni si formano dall'incompleta scomposizione delle proteine e dei carboidrati e, in base alla quantità di questi corpi chetonici, l'animale può manifestare una chetosi clinica o subclinica; se invece la quantità di acidi grassi non esterificati non viene gestita in modo corretto, l'animale potrebbe manifestare sintomi di lipidosi epatica. Entrambe le patologie portano a gravi scompensi nell'animale, causandone perfino la morte.

## **4.2. Effetti del calore sulla produzione qualitativa e quantitativa di latte**

Negli ultimi anni, nel periodo estivo, si sono verificate ondate di calore sempre più intense e durature, che hanno obbligato gli animali a subire condizioni alle quali non sono adatti, causando in questo modo uno stress metabolico che principalmente si è

tradotto con un calo di produzione, sia dal punto di vista quantitativo che dal punto di vista qualitativo, con un peggioramento dei parametri di qualità del latte (Wheelock et al., 2010). È stato dimostrato che superata la soglia critica del THI, l'ingestione di sostanza secca da parte dell'animale si riduce del 9-10% e la produzione di latte subisce un calo del 21%, con una conseguente riduzione delle percentuali di grasso e proteine nel latte (Bernabucci et al., 2010). Ricerche più recenti hanno invece dimostrato che i titoli del latte, in termini di grasso e proteine, sono più sensibili al fenomeno dell'heat stress, in quanto già a temperature di poco inferiori alla soglia critica del THI iniziano a cambiare, al contrario della quantità che rimane inizialmente invariata. Nei casi di stress vengono quindi rilevati titoli proteici e lipidici nel latte minori, in seguito ad una ridotta sintesi proteica e ad un innalzamento delle cellule somatiche (De Campos et al., 2022).

La lattazione è un processo ad alta intensità energetica e metabolica che genera un'elevata quantità di calore, che mette a repentaglio il benessere degli animali. Inoltre, a causa della riduzione dell'assunzione della razione e dell'aumento del fabbisogno di mantenimento, gli animali tendono a diminuire la disponibilità di elementi nutritivi per il sistema mammario (Wang et al., 2010). La ghiandola mammaria nelle bovine lattifere richiede glucosio per la sintesi del principale zucchero presente nel latte, ovvero il lattosio. Tuttavia, per diminuire il calore metabolico che si viene a creare e per far fronte alla maggior richiesta di energia, il corpo degli animali tende ad utilizzare il glucosio con più intensità; per questo motivo la mammella potrebbe non ricevere sufficienti quantità di glucosio per la sintesi del lattosio, e di conseguenza ridurre il tenore in lattosio e la produzione quantitativa di latte.

Come già detto in precedenza, le alte temperature incidono anche sull'aspetto qualitativo del latte, andando ad alterare le percentuali dei costituenti principali. È stato dimostrato che il caldo interferisce con il metabolismo dell'azoto, causando la diminuzione del contenuto proteico del latte (Cowley et al., 2015). In particolare, è stata osservata una riduzione della sintesi di alfa e beta-caseina, ovvero le proteine coinvolte nella produzione di formaggio (Bernabucci et al., 2010). Allo stesso modo, anche la composizione lipidica viene alterata (Liu et al., 2017); il grasso è la componente del latte che svolge un ruolo fondamentale nella qualità della lavorazione casearia e nelle caratteristiche organolettiche dei prodotti derivati. La concentrazione

di grasso nel latte è influenzata principalmente dalla composizione della dieta, dallo stato fisiologico dell'animale e dalle caratteristiche genetiche di quest'ultimo (Palmquist e Harvatine, 2020).

### **4.3. Effetti legati alla riproduzione**

Durante il periodo estivo si verifica nelle bovine una riduzione della fertilità, strettamente associata a cambiamenti fisiologici dell'animale conseguenti all'esposizione prolungata al caldo estremo. Questi cambiamenti possono avere effetti negativi sulla riproduzione, sia in maniera immediata che duratura nei mesi successivi. Lo stress da calore influisce negativamente sul comportamento estrale naturale, andando a ridurre sia la durata dell'estro che l'intensità della manifestazione, ed è responsabile di una diminuzione del 20% dei tassi di concepimento (Santos et al., 2017).

La diminuzione del tasso di concepimento, correlato ad una diminuzione della fertilità, è da attribuire a diverse cause che riguardano diversi aspetti dell'animale:

- la presenza di fattori riproduttivi compromessi, ad esempio a carico di ovociti e spermatozoi, ma anche dell'utero che, a causa dell'ipertermia, può presentare delle alterazioni a livello delle corna uterine; questi fattori rendono quindi meno favorevole l'inizio di una gravidanza
- uno squilibrio del quadro ormonale, con concentrazioni anomale di alcuni ormoni che sono strettamente legati all'avvio e al prosieguo della gravidanza. Tra questi troviamo l'inibina e l'estradiolo che se in concentrazioni anomale comportano un'irregolare maturazione dei follicoli ovarici, andando ad interferire negativamente sulla durata dell'estro. Allo stesso modo anche una concentrazione elevata di FSH (ormone follicolo-stimolante) unita alla bassa concentrazione di LH (ormone luteinizzante), causano la formazione di un corpo luteo inadatto per il mantenimento della gravidanza. Anche il progesterone, se in concentrazioni troppo basse, determina una minor sopravvivenza dell'embrione (Roth., 2020).

Gli effetti dello stress da caldo sulla riproduzione possono anche perdurare nel periodo autunnale in quanto, nonostante le temperature ritornino nel range ottimale per gli animali, la loro fertilità continua ad essere compromessa. Questo accade principalmente perché sono necessari 40-50 giorni affinché si sviluppino nuovi

follicoli e vengano rilasciati nuovi ovuli (Roth et al., 2001). Le vacche che vengono inseminate quando ancora sono presenti ovociti che hanno subito l'effetto del calore eccessivo, saranno condizionate da una minor fertilità e avranno meno possibilità di sviluppare un embrione sano. Per questo motivo è fondamentale mitigare adeguatamente la temperatura degli animali durante il periodo di asciutta, in modo da ridurre gli effetti dannosi dello stress sui follicoli maturi contenenti ovociti e aumentare così il tasso di concepimento (Negrón-Pérez et al., 2019).

Inoltre, sono stati osservati effetti negativi a lungo termine anche negli animali concepiti durante i mesi estivi. Pinedo e De Vries (2017) hanno anche dimostrato che le vacche concepite d'estate hanno minori probabilità di sopravvivere ad un secondo parto; inoltre sono stati osservati anche intervalli parto-concepimento più lunghi e una riduzione della produzione di latte rispetto alle vacche concepite in stagioni più miti.

Da quanto è stato analizzato, si può quindi comprendere che gli effetti causati dallo stress da caldo sono molteplici e condizionano diversi aspetti dell'animale; per questo motivo possiamo dedurre che l'adozione di idonee strategie per ridurre gli effetti dello stress da caldo non sia facile da intraprendere, ma è necessario studiare a fondo i parametri degli animali e quelli ambientali, al fine di poter scegliere le migliori pratiche gestionali da adottare e introdurre nell'ambiente di produzione delle lattifere (Ferreira et al., 2021).

## **5. Strategie per ridurre gli effetti dello stress termico**

### **5.1. Soluzioni tecnico-costruttive per il controllo del microclima**

Un aspetto importante nella progettazione della struttura che ospita gli animali è il controllo dei parametri climatici che influenzano la produzione e il loro benessere. La struttura di stabulazione diventa quindi un vero e proprio fattore in grado di condizionare i risultati economici dell'allevamento. Il controllo climatico si attua attraverso l'adozione di soluzioni tecnico-costruttive che possono essere divise in:

- soluzioni di tipo passivo;
- soluzioni di tipo attivo.

Lo stato di benessere degli animali è fortemente condizionato dal microclima della stalla, più precisamente dall'azione della temperatura, dell'umidità e della velocità dell'aria. Gli effetti della velocità dell'aria sono legati alla temperatura dell'ambiente esterno; per questo motivo in inverno sono preferibili velocità dell'aria molto basse (0,25 m/s per bovini giovani e 0,5 m/s per bovini adulti) al fine di non provocare un aumento eccessivo della dispersione di calore da parte dell'animale. Contrariamente, in estate è richiesta una maggiore velocità dell'aria (4-5 m/s) perché contribuisce ad accelerare l'evaporazione e la dispersione del calore, favorendo l'allontanamento dell'aria calda e umida presente in stalla (Ferrari et al., 2006).

Nelle strutture di stabulazione la ventilazione è quasi sempre di tipo naturale, eccetto nel periodo estivo in cui è diffuso il ricorso alla ventilazione artificiale di soccorso. Il vantaggio principale di questo sistema è il ridotto costo di installazione e di gestione, sebbene, di contro, tale sistema non assicuri un efficace controllo delle temperature che si verificano nel periodo estivo e non sempre una regolare distribuzione del ricambio d'aria all'interno della struttura. La ventilazione naturale si basa sulla forza ascensionale termica dell'aria e sui movimenti dell'aria causati dal vento o dalla brezza, parliamo quindi di:

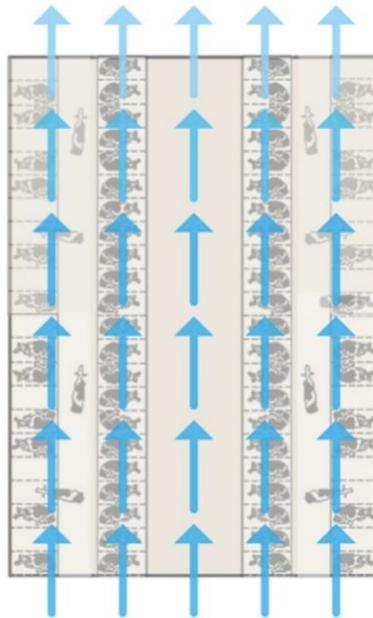
- Effetto camino: il processo in cui i gas vengono convogliati fuori per lo spostamento di masse d'aria di diversa densità; risulta particolarmente

efficiente in inverno quando la differenza di temperatura fra l'interno e l'esterno è maggiore (Sguerrini, 2016).

- Effetto vento: per sfruttare al meglio questo effetto è importante disporre l'asse longitudinale dell'edificio in posizione perpendicolare rispetto alla direzione del vento dominante estivo; quando la velocità del vento supera 1,5 m/s questa ventilazione domina su quella dovuta all'effetto camino.

I più comuni modelli di ventilazione, oltre a quella naturale, sono:

- Ventilazione a tunnel: è un sistema che sfrutta completamente l'utilizzo di ventilatori, per questo motivo consente l'utilizzo anche in strutture chiuse e con aperture non ottimali; questo sistema punta a ricreare la forma a tunnel e a mantenere la velocità dell'aria costante lungo lo stabile. L'aria si muove in modo perpendicolare rispetto alle cuccette e assume una maggior potenza lungo la corsia di alimentazione (Mondaca, 2019), dove vengono posizionati il maggior numero di ventilatori ad alta potenza (Figura 13).

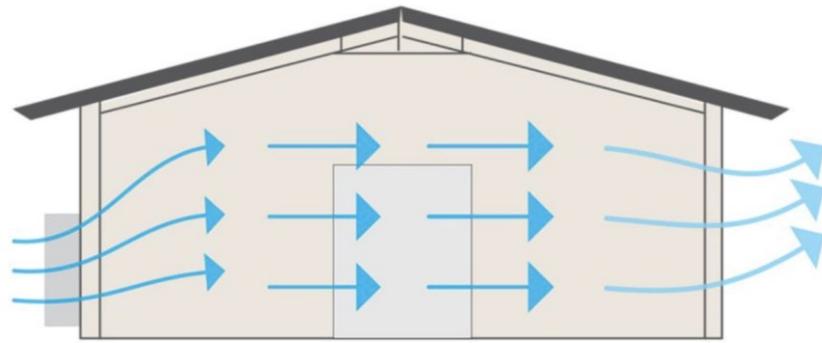


**Figura 13.** Ventilazione a tunnel o longitudinale (fonte: [www.rotaguido.it](http://www.rotaguido.it))

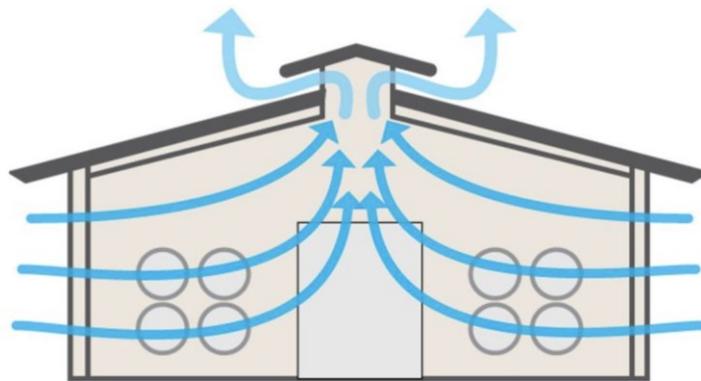
- Ventilazione trasversale: anche questo sistema sfrutta l'utilizzo di ventilatori, ma in questo caso l'aria corre in modo parallelo rispetto alle cuccette e anche nella corsia di alimentazione. Il flusso d'aria è sempre regolato da un impianto

composto da ventilatori di aspirazione e di scarico che sono posizionati nelle due pareti opposte (Figura 14).

- Ventilazione ibrida: questo sistema (Figura 15) sfrutta la ventilazione naturale integrata con i ventilatori collocati nelle pareti laterali, che così danno supporto nei periodi più caldi. Lungo i lati della struttura entra l'aria fresca che verrà poi convogliata verso il colmo della stalla, dove sono presenti aspiratori che espellono l'aria esausta (Mondaca, 2019).



**Figura 14.** Ventilazione trasversale (fonte: [www.rotaguido.it](http://www.rotaguido.it))



**Figura 15.** Ventilazione ibrida (fonte: [www.rotaguido.it](http://www.rotaguido.it))

### **5.1.1. Soluzioni di tipo passivo**

Tra gli interventi passivi ci sono quelli relativi ai materiali, alla conformazione e alla disposizione dell'involucro edilizio della stalla, quali:

- l'impiego di materiali dotati di alto potere riflettente per le parti esterne dell'edificio, quali lamiere zincate o lamiere di alluminio;
- l'ombreggiamento delle stalle e delle zone di esercizio esterno ricorrendo all'utilizzo di alberi, reti o pannelli (De Masi et al., 2021);
- la coibentazione delle coperture eventualmente dotate di controsoffittatura al fine di creare un'intercapedine ventilata (tetto ventilato), con il fine di limitare il surriscaldamento della parete interna del solaio (Vox et al., 2016);
- l'orientamento del ricovero per sfruttare la presenza di venti dominanti che portano aria fresca (Tomasello et al., 2019);
- la collocazione della sala di mungitura nel punto più fresco della stalla, preferibilmente lungo il lato nord o nord-est.

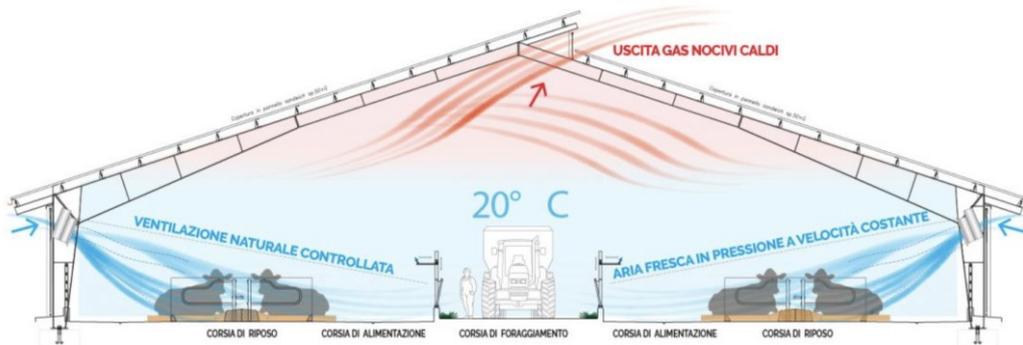
Il ricorso agli accorgimenti passivi sopra citati, pur essendo indispensabile per realizzare stalle termicamente confortevoli, non sempre consente di ottenere un ambiente microclimatico accettabile; i problemi maggiori in tal senso si manifestano quando la velocità del vento scende sotto 1 m/s e la temperatura dell'aria sale oltre i 24 °C. In queste condizioni è spesso necessario ricorrere ad interventi di tipo attivo.

### **5.1.2. Soluzioni di tipo attivo**

Tra le soluzioni di tipo attivo troviamo la ventilazione artificiale, detta anche dinamica, che all'interno di una stalla è attuata attraverso l'utilizzo di ventilatori di diametro variabile, mossi da motori elettrici. Il numero, la dimensione, le caratteristiche costruttive e la potenza dei motori sono legate alla portata di ventilazione minima e massima che viene calcolata in sede di progettazione; per il dimensionamento generale dell'impianto è consigliata una portata indicativa di 800 m<sup>3</sup>/ora per una vacca con un peso vivo pari a 635 kg (Bickert et al., 1997).

Esistono due tipologie di ventilazione artificiale per il ricambio forzato dell'aria:

- Ventilazione in pressione: consiste nella spinta di aria nuova all'interno dell'ambiente attraverso ventilatori e nella presenza di opportune aperture per la fuoriuscita dell'aria da eliminare (Figura 16);
- Ventilazione in estrazione o in depressione: utilizza ventilatori che estraggono l'aria viziata e adeguate aperture presenti nella struttura per consentire l'ingresso di aria nuova.



**Figura 16.** Ventilazione in pressione (fonte: [www.rotaguido.it](http://www.rotaguido.it))

Nelle stalle a stabulazione libera, l'area di attesa della mungitura e la zona di alimentazione sono i punti più critici in cui è importante e necessaria l'installazione di ventilatori, con il fine di limitare lo stress termico durante queste fasi (Figura 17).



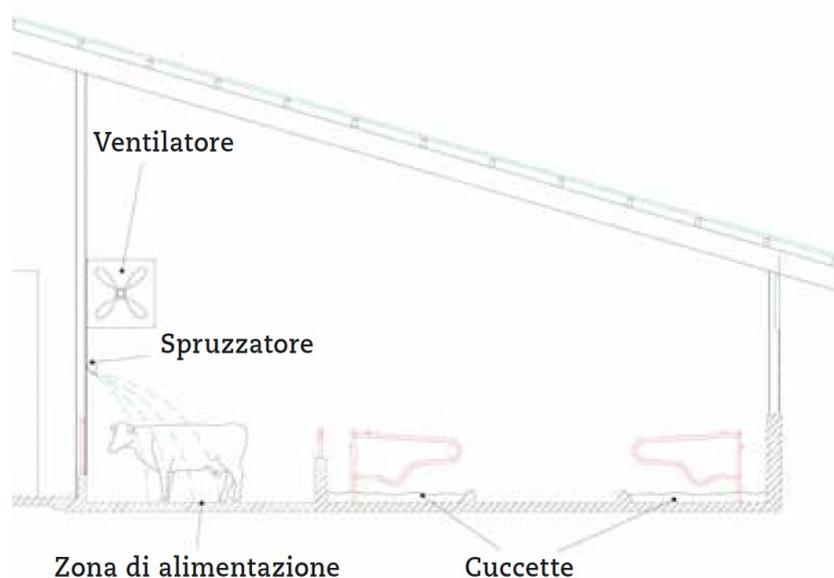
**Figura 17.** Ventilatore ad asse verticale con elica a dieci pale, situato sopra la zona di alimentazione (fonte: Ferrari et al., 2006)

La seconda soluzione attiva da poter progettare è un sistema di raffrescamento, che solitamente viene sempre abbinato alla ventilazione forzata. Questo sistema si può basare su due tecniche differenti:

- Nebulizzazione d'acqua in corrente d'aria;
- Aspersione diretta delle bovine.

L'impianto di nebulizzazione prevede la presenza di uno o più ugelli, nei pressi di ogni ventilatore, per permettere la nebulizzazione dell'acqua con il fine di provocare un abbassamento della temperatura dell'aria. Esistono nebulizzatori ad alta pressione che producono gocce d'acqua molto piccole, che permettono la riduzione della temperatura dell'ambiente. Questa tipologia di nebulizzatori è più adatta a climi caldi e asciutti perché in presenza di elevata umidità relativa, risultano meno efficienti. Gli impianti solitamente lavorano con una pressione compresa tra 7 e 15 bar, permettendo la produzione di gocce d'acqua sufficientemente fini da evaporare immediatamente. Esistono anche impianti di nebulizzazione a bassa pressione che però producono gocce di acqua più grandi con il fine di bagnare la cute dell'animale, acqua che a sua volta evapora grazie al calore prodotto dal corpo dell'animale. Questo sistema è più efficace nell'abbassare la temperatura corporea dell'animale ed è adatto anche in ambienti climatici caratterizzati da elevata umidità (Vans Os., 2019)

La tecnica dell'aspersione diretta si basa ugualmente sull'utilizzo di ugelli, ma che lavorano a bassa pressione (1,5-4 bar) e che vengono disposti ad una distanza precisa l'uno dall'altro, per permettere una nebulizzazione e dispersione uniforme delle gocce di acqua lungo l'intera zona di alimentazione (Figura 18).



**Figura 18.** Sistema di raffreddamento mediante ventilazione e aspersione in zona di alimentazione (fonte: Ferrari et al., 2006)

L'evaporazione dell'acqua provoca un abbassamento di temperatura sia della cute delle bovine sia della pavimentazione (Zappavigna e Liberati, 2002). L'aspersione di acqua, alternata al funzionamento dei ventilatori, viene solitamente attivata ad intervalli variabili di 5-15 minuti e con una durata di 0,5-1,5 minuti. Per evitare i rischi di scivolosità dovuti ai ristagni di acqua, è importante che le pavimentazioni, sia in zona di alimentazione che di riposo, siano delle superfici adeguatamente drenanti e antisdrucchiolo.

I sistemi di aspersione e quelli di nebulizzazione basano il loro funzionamento su un termostato che li aziona quando la temperatura interna della stalla supera una soglia stabilita. Un nuovo sistema di controllo, detto "Time Integrated Variable", aziona l'impianto in base alla temperatura media interna alla stalla nelle ultime 12 ore, tenendo così conto dello stress termico accumulato dalle vacche nel tempo, e permettendo, quando necessario, un prolungamento o una riduzione dell'intervallo di funzionamento, con il fine di consentire agli animali di disperdere in modo più efficace il calore (Gooch e Timmons, 2002).

Sono state condotte delle prove sperimentali, in climi caldo-umidi, che hanno evidenziato una maggior efficacia degli impianti ad aspersione rispetto a quelli di

nebulizzazione (Frazzi et al., 2001). Altre prove hanno evidenziato una netta differenza nei consumi d'acqua, decisamente inferiori per i sistemi di nebulizzazione. I sistemi di aspersione risultano invece consumare una quantità d'acqua compresa tra 50-300 l/giorno, a confronto con i 10-20 l/giorno consumati dai sistemi di nebulizzazione ad alta pressione (Lin et al., 1998).

## **5.2. Alimentazione e stress da caldo**

Durante lo stress estivo, l'elevato carico di calore nel corpo delle bovine lattifere ad alta produzione va a condizionare il comportamento alimentare, la digeribilità della razione e la salute dell'intestino. L'animale per adattarsi alle condizioni termiche compie delle attività fisiche di adattamento tra cui ansimare e aumentare la sudorazione per dissipare il calore interno (Fuquay, 1981); questo, di conseguenza, fa aumentare anche il fabbisogno di mantenimento delle bovine da latte. Le vacche stressate dal caldo consumano meno razione e di conseguenza ruminano meno; quindi, i prodotti finali della scissione ruminale della cellulosa, rappresentati dagli acidi grassi volatili (AGV), vengono assorbiti in modo meno efficiente, con conseguente aumento del loro contenuto totale all'interno del rumine, con conseguente ulteriore abbassamento del pH ruminale. L'ipertermia cronica, che causa un'inappetenza grave o prolungata, può anche portare ad un'acidosi subclinica e acuta del rumine (Kadzere, 2002).

Le strategie di mitigazione nutrizionale per superare gli effetti negativi dell'Heat Stress sulla produzione di latte prevedono diete ricche di energie e integrazioni che migliorano il metabolismo energetico. Nel momento in cui il THI supera la soglia di 78 è consigliabile andare in deroga ai fabbisogni nutritivi standard, o meglio alla nutrizione di base, modificando i piani alimentari in funzione delle conoscenze nella nutrizione clinica (Fantini, 2015).

Per ridurre la produzione endogena di calore, le bovine tendono a mangiare di meno durante lo stress da caldo; pertanto, è consigliabile somministrare la razione la sera oppure distribuirla più volte al giorno. Non tutta l'energia della razione è utilizzabile dall'animale per le funzioni vitali, ma una parte considerevole (circa il 25%) viene dispersa sotto forma di calore; questo è il motivo per cui l'animale d'estate ingerisce un quantitativo minore di razione, con il fine di produrre meno calore endogeno.

Inoltre, non tutti gli alimenti sono considerati uguali sotto il profilo metabolico digestivo, ad esempio i foraggi più giovani sono più digeribili e determinano una minore produzione di calore endogeno da parte dell'animale, come anche alcuni concentrati. Durante il periodo estivo sono quindi da preferire insalati di mais rispetto a quelli a base di cereali autunno-vernini, poiché considerati molto più digeribili (Fantini, 2015).

Quando si parla di energia necessaria ai processi vitali, si intende quella chimica (ossia l'ATP), che viene prodotta dalle cellule a partire da molecole di glucosio, acidi grassi e amminoacidi. Durante il periodo caldo l'animale modifica il suo metabolismo, preferendo come precursori dell'energia chimica il glucosio e gli amminoacidi e cercando di utilizzare il meno possibile gli acidi grassi. La bovina nonostante il calo d'ingestione deve comunque produrre energia chimica, utilizzando gli amminoacidi delle scorte muscolari; da ciò si deduce che in estate è importante anche aumentare il titolo proteico della razione, in particolare adottando proteine a bassa degradabilità ruminale. Un altro modo per aumentare l'apporto proteico alla razione è stimolare le fermentazioni ruminali utilizzando foraggi molto digeribili, concentrati fibrosi come la polpa di barbabietola e le bucce della soia (Fantini, 2015).

Durante lo stress, con la nutrizione clinica, è fondamentale anche modificare gli apporti di macrominerali, come calcio, fosforo, magnesio, cloro e potassio. Questa modifica è importante per sopperire alle attività fisiologiche in aumento, come ad esempio l'attività respiratoria, che causa l'eliminazione di molta anidride carbonica, andando di conseguenza a ridurre la concentrazione degli ioni bicarbonato nel sangue, e quindi alla conseguente riduzione del potere tampone della saliva.

Le vitamine e gli oligoelementi ad azione antiossidante sono nutrienti molto importanti nella dieta e durante il periodo di forte caldo è necessario sovradosarli, sia per le vacche in lattazione che per quelle in gravidanza. In queste circostanze è importante integrare vitamina A ed E, oltre a rame, manganese, zinco e selenio. In situazioni di allevamento particolarmente a rischio, ad esempio in caso di sovraffollamento, è importante adottare l'uso di oligoelementi in forma organica, di cui si è più certi dell'effettivo assorbimento intestinale (Fantini, 2015).

### **5.3. Strategie di selezione genetica per contrastare gli effetti del caldo**

Il cambiamento climatico influisce in modi diversi sulle condizioni fisiologiche del bestiame in tutto il mondo, al punto che la necessità di adattamento potrebbe portare a maggiori differenze negli obiettivi di selezione genetica tra le varie regioni. Ad esempio, sebbene si preveda che le regioni artiche settentrionali e le latitudini più elevate subiranno un aumento medio delle temperature maggiore rispetto alle latitudini più basse, queste ultime sono destinate a soffrire di ondate di calore estreme, che invece sono improbabili nelle regioni settentrionali (IPCC, 2021). Questi fenomeni climatici rendono le differenze tra gli ambienti più marcate rispetto al passato.

Per limitare lo stress da caldo si può ricorrere anche ad approcci diversi, tra cui quello della selezione genetica per migliorare la termotolleranza e di conseguenza lo stato di salute dell'animale. I geni responsabili conferiscono all'animale la resilienza al calore, ovvero la capacità di mantenere la normotermia anche in condizioni critiche, sia in termini di umidità che di temperature, aumentando così il benessere e la salute dell'animale rispetto agli altri. La selezione per questi geni è una pratica ancora poco diffusa, ma che potrebbe diventare un'efficiente soluzione in quanto si tratterebbe di una resistenza propria e intrinseca all'animale, quindi indipendente dalla struttura dell'edificio e dagli altri fattori analizzati precedentemente. Inoltre, è stato scoperto che la tolleranza al calore è un carattere ereditabile e poligenico, quindi, con il susseguirsi delle generazioni questa resistenza potrebbe portare ad un miglioramento nelle popolazioni bovine sempre più marcato per mezzo dell'effetto cumulativo (Pryce et al., 2022).

Pertanto, esistono opportunità per invertire la tendenza e accelerare l'adattamento al riscaldamento climatico dei bovini da latte attraverso la selezione di animali robusti o resistenti al calore e l'inclusione di indicatori di resilienza negli obiettivi di selezione genetica. Varianti causali candidate, ossia i polimorfismi del singolo nucleotide (SNPs), legate al sistema nervoso e alle funzioni metaboliche, sono rilevanti per la tolleranza al calore e rappresentano quindi elementi chiave per migliorare la resilienza dei bovini da latte. Ciò potrebbe includere l'inserimento di queste varianti nei pannelli SNP utilizzati nei centri genetici per le valutazioni genomiche di routine. In alcuni

studi condotti in Australia è stato infatti incoraggiante osservare che l'inserimento di varianti funzionalmente rilevanti ad un pannello SNP 50k (ossia il pannello utilizzato per le valutazioni genomiche in Australia) ha aumentato l'accuratezza delle previsioni sulla tolleranza al calore fino al 10% (Cheruiyot et al., 2020; Cheruiyot et al., 2021; Cheruiyot et al., 2022). Questo incremento di accuratezza è cruciale poiché il miglioramento genetico ha una relazione lineare con l'accuratezza delle previsioni. In generale, sebbene questo studio utilizzi principalmente dati provenienti dall'Australia, i risultati potrebbero essere utili anche in altri Paesi che mirano a sviluppare valori genetici per la tolleranza al calore, considerando che il riscaldamento climatico sta diventando un tema di rilevanza globale.

Diverse metodologie genomiche e bioinformatiche offrono quindi strumenti utili per identificare variazioni genomiche associate all'adattamento e ad altri caratteri importanti in termini di resilienza e sostenibilità (Passamonti et al., 2021). La selezione genetica all'interno di una razza adattata per aumentarne la produttività, o all'interno di una razza ad alta produttività per migliorarne l'adattamento, può essere un processo lento. I geni che consentono l'adattamento a condizioni ambientali locali possono essere presenti in razze locali, ma assenti in razze ad alta produttività (Hoffmann, 2013). Pertanto, un cambiamento genetico rapido potrebbe essere ottenuto attraverso l'incrocio tra una razza adattata con una razza ad alta produttività (Hayes et al., 2013). Hayes e collaboratori (2013) hanno previsto che l'introggressione di geni desiderabili da una razza all'altra potrebbe essere realizzata in modo efficiente utilizzando la selezione genomica (GS) e tecnologie riproduttive avanzate. L'introggressione tradizionale presuppone che una popolazione donatrice possieda uno o più alleli in geni di interesse, che invece mancano nella popolazione ricevente. Tuttavia, la maggior parte dei tratti rilevanti per la selezione genetica dei bovini da latte ha solo poche posizioni geniche note che potrebbero essere utilizzate nell'introggressione tradizionale. Un'alternativa è rappresentata dall'uso della GS nell'introggressione, nota come introggressione genomica, in cui non è necessario conoscere la posizione specifica dei geni importanti ai fini dell'adattamento (Strandén et al., 2019). L'introggressione genomica per i bovini da latte è stata studiata attraverso simulazioni bioinformatiche. Strandén e collaboratori (2019) hanno esaminato diverse strategie di selezione genetica in uno studio di simulazione tra due fenotipi caratterizzati da una bassa

correlazione genetica negativa. L'obiettivo era quello di ottenere una popolazione di bovini ben adattata e ad alta produzione di latte. Nello studio, l'introggressione genomica si è dimostrata superiore rispetto alla selezione genetica all'interno della stessa razza, permettendo di ottenere una popolazione meglio adattata e più produttiva nel periodo di simulazione. Tuttavia, l'approccio dell'introggressione genomica richiede l'esistenza e il mantenimento di una popolazione altamente adattata. Tale popolazione tende ad avere una capacità produttiva ridotta, caratteristica tipica delle razze locali autoctone (Hoffmann, 2013; Kantanen et al., 2015). Il mantenimento a lungo termine di una razza locale potrebbe risultare troppo costoso, con il rischio di perdere diversità genetica poiché queste razze native diventerebbero rare o addirittura estinte. Ciò evidenzia la necessità di un'attenzione particolare nell'applicazione della GS. Ad esempio, il lavoro di selezione genetica degli ultimi 50 anni ha portato al predominio della razza Holstein nel settore da latte e alla riduzione del numero di molte razze locali precedentemente diffuse in Europa.

Un'altra strategia genetica per mitigare gli effetti dello stress da calore nelle lattifere può essere quella di incrociare razze appartenenti al genere *Bos indicus* e *Bos taurus*, questo perché le prime sono originarie di zone tropicali, e quindi naturalmente più resistenti agli stress termici, rispetto alle seconde (Habeeb et al., 2018). Inoltre, nel genoma delle razze di *Bos indicus* sono stati identificati geni associati alla resistenza al calore, dimostrando che queste razze presentano una maggiore capacità di dissipazione e di controllo del calore (Taye et al., 2017). D'altro canto, sono anche emerse delle problematiche nell'utilizzo dell'incrocio con il *Bos indicus* perché è stato dimostrato che tali animali possiedono caratteri associati ad una minore produzione di latte (Osei-Amponsah et al., 2019).

Una delle ultime soluzioni che sono state prese in considerazione, consiste nell'inserire specifici geni o mutazioni che vanno a conferire una maggiore resistenza al calore, provocando diverse mutazioni correlate. Tra questi troviamo l'allele SLICK, che provoca mutazioni nel mantello delle vacche, più precisamente peli più corti e densità follicolare ridotta (Davis et al., 2017). È stato osservato come le vacche che nel loro genoma contengono l'allele SLICK, siano maggiormente predisposte a resistere all'ipertermia, a regolare la temperatura corporea e a mantenere costante la produzione di latte (Hansen., 2020). Possiamo quindi concludere che introdurre questa mutazione

nel *Bos taurus* potrebbe risultare apparentemente una buona strategia contro lo stress, ma tuttavia è possibile che aumenti il rischio di stress da freddo; quindi, è importante specificare che questa strategia non è adatta per quelle regioni del mondo con climi fortemente variabili (Osei-Amponsah et al., 2019).

## 6. Conclusioni

La prevenzione degli effetti negativi causati dallo stress da caldo è fondamentale durante tutte le fasi del ciclo produttivo dei bovini, con il fine di ottimizzare la salute, il benessere e la produttività. Inoltre, è importante riconoscere le condizioni di stress negli animali il prima possibile; per fare questo possiamo avvalerci di diverse tecnologie e sensori, che ci permettono di monitorare continuamente le condizioni dell'animale (temperatura corporea, frequenza respiratoria e movimento) e le condizioni ambientali (temperatura, umidità, movimento dell'aria), con il fine di raccogliere una serie di dati che poi ci permetteranno di stimare, tramite gli indici bioclimatici, lo stress di ogni singolo soggetto. Quando la soglia critica, individuata tramite tali indici, viene superata, diventa essenziale attuare delle strategie di mitigazione, ad esempio: utilizzare ventilatori per permettere il ricambio d'aria all'interno della struttura di stabulazione, utilizzare la tecnica della nebulizzazione o dell'aspersione per abbassare la temperatura corporea del bovino e dell'ambiente ad esso circostante, garantire l'accesso idrico a tutti gli animali, attuare strategie genetiche, gestionali e alimentari. In questo lavoro di tesi sono state approfondite tutte queste strategie di mitigazione, ma la maggior parte degli studi scientifici analizzati concorda sul fatto che investire sulla ventilazione e sul raffrescamento delle vacche da latte risulta la strategia più conveniente anche in climi temperati. Infatti, l'uso combinato di ventilatori e nebulizzatori è considerato il metodo economicamente più vantaggioso, mentre attuare strategie genetiche, riproduttive o alimentari, porta quasi sempre a costi molto elevati.

Interventi sul regime alimentare come l'integrazione di integratori mineral-vitaminici all'interno della dieta degli animali, se utilizzata come unica strategia di mitigazione, risulta poco efficace in termini di benefici; allo stesso modo anche strategie basate sui metodi riproduttivi, come ad esempio il trasferimento di embrioni o la fecondazione in vitro, risultano ancora oggi molto costosi.

Le strategie genetiche, come l'incrocio di razze resistenti al calore, la selezione di geni o mutazioni, che vanno a modificare determinati caratteri con il fine di aumentare la

resistenza al calore dell'animale, sono procedimenti lunghi e attualmente ancora poco conosciuti, oltre che costosi.

Sebbene gli approcci per migliorare gli effetti dannosi dell'“Heat Stress” siano molteplici, nessuno di questi -ad oggi- è riuscito a riportare le prestazioni produttive e riproduttive ai livelli raggiunti in condizioni ambientali termoneutrali. Tra queste soluzioni, la più promettente è una strategia che combini più modalità di mitigazione; inoltre, l'efficacia dipende anche dalla tipologia di azienda presa in esame, per questo è importante prestare attenzione alle circostanze in cui si opera, per garantire una corretta pianificazione della strategia più idonea.

Alla fine di queste considerazioni è quindi importante dire che i cambiamenti climatici, che fino a pochi anni fa erano decisamente meno critici, ad oggi sono un fenomeno sempre più percepito e problematico. L'inusuale aumento delle temperature provoca effetti avversi nel bestiame allevato, per questo motivo è opportuno sostenere una ricerca continuativa nell'ambito ingegneristico e genetico, per garantire lo stato fisiologico e di benessere ottimale degli animali, e consentire a quest'ultimi di far fronte, in uno futuro imminente, a condizioni climatiche sempre più avverse.

## 7. Bibliografia

- Ammer, S., Lambertz, C., Von Soosten, D., Zimmer, K., Meyer, U., Dänicke, S., Gauly, M. (2018). Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 103-113.
- Ammer, S.; Lambertz, C.; Gauly, M. (2016). Is reticular temperature a useful indicator of heat stress in dairy cattle? *Journal of Dairy Science* . 99, 10067–10076.
- Armstrong, D. V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of dairy science*, 77(7), 2044-2050.
- Bar, D., Kaim, M., Flamenbaum, I., Hanochi, B., Toaff-Rosenstein, R. L. (2019). Accelerometer-based recording of heavy breathing in lactating and dry cows as an automated measure of heat load. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3480-3486.
- Bauman, D. E., Vernon, R. G. (1993). Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation.
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Anim. Front.* 2017, 7, 6–11.
- Bergen, R. D., Kennedy, A. D. (2000). Relationship between vaginal and tympanic membrane temperature in beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 80(3), 515-518.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 4(7), 1167-1183.
- Berry I. L., Shanklin M. D., Johnson H. D. (1964). Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Transactions of the ASAE*. 7, 329-331.
- Bickert W.G., Bodman G.R., Holmes B.J., Kammel D.W., Zulovich J.M., Stowell R.R. (1997). Dairy freestall housing and equipment. Mwps-7, sixth edition. Midwest plan service, Ames, Iowa, Usa.

- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J. B. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*. 90, 1947–1956.
- Bray D.R., Beede D.K., De Lorenzo M.A., Wolfenson D., Giesy R.G., Bucklin R.A., Means S. (1990). Environmental modification update. Proc. 27th Ann. FL dairy production conference. Gainesville, Florida, Usa.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators, *Biosystems Engineering*. 90, 451-462.
- Cantor, M. C., Costa, J. H., Bewley, J. M. (2018). Impact of observed and controlled water intake on reticulorumen temperature in lactating dairy cattle. *Animals*, 8(11), 194.
- Cheruiyot, E. K., Haile-Mariam, M., Cocks, B. G., MacLeod, I. M., Mrode, R., & Pryce, J. E. (2022). Functionally prioritised whole-genome sequence variants improve the accuracy of genomic prediction for heat tolerance. *Genetics Selection Evolution*, 54(1), 17.
- Cheruiyot, E. K., Haile-Mariam, M., Cocks, B. G., MacLeod, I. M., Xiang, R., Pryce, J. E. (2021). New loci and neuronal pathways for resilience to heat stress in cattle. *Scientific reports*, 11(1), 16619.
- Cheruiyot, E. K., Haile-Mariam, M., Cocks, B. G., MacLeod, I. M., Mrode, R., Pryce, J. E. (2022). Functionally prioritised whole-genome sequence variants improve the accuracy of genomic prediction for heat tolerance. *Genetics Selection Evolution*, 54(1), 17.
- Cheruiyot, E. K., Nguyen, T. T. T., Haile-Mariam, M., Cocks, B. G., Abdelsayed, M., Pryce, J. E. (2020). Genotype-by-environment (temperature-humidity) interaction of milk production traits in Australian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 103(3), 2460-2476.
- Chung, H., Li, J., Kim, Y., Van Os, J. M., Brounts, S. H., Choi, C. Y. (2020). Using implantable biosensors and wearable scanners to monitor dairy cattle's core body temperature in real-time. *Computers and electronics in agriculture*, 174, 105453.

- Cook, N. B., Bennett, T. B., Nordlund, K. V. (2005). Monitoring indices of cow comfort in freestall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88, 3876-3885.
- Coppock, C. E., Grant, P. A., Portzer, S. J., Charles, D. A., Escobosa, A. (1982). Lactating dairy cow responses to dietary sodium, chloride, and bicarbonate during hot weather. *Journal of Dairy Science*, 65(4), 566-576.
- Cowley, F. C., Barber, D. G., Houlihan, A. V., Poppi, D. P. (2015). Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *Journal of Dairy Science*. 98(4), 2356-2368.
- Daltro, D. D. S., Fischer, V., Alfonzo, E. P. M., Dalcin, V. C., Stumpf, M. T., Kolling, G. J., Barbosa da Silva, M. V. G., McManus, C. (2017). Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 374-383.
- 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.
- Davis, S. R., Spelman, R. J., Littlejohn, M. D. (2017). BREEDING AND GENETICS SYMPOSIUM: Breeding heat tolerant dairy cattle: the case for introgression of the “slick” prolactin receptor variant into *Bos taurus* dairy breeds. *Journal of Animal Science*, 95(4), 1788-1800.
- 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.
- De Palo, P., Tateo, A., Zezza, F., Corrente, M., Centoducati, P. (2006). Influence of free-stall flooring on comfort and hygiene of dairy cows during warm climatic conditions. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4583-4595.

- Dos Santos, M. M., Souza-Junior, J. B. F., Dantas, M. R. T., de Macedo Costa, L. L. (2021). An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 30471-30485.
- Fantini, A. (2015). Stress da caldo con la ventilazione naturale. *INFORMATORE AGRARIO*.
- Farooq, U., Samad, H. A., Shehzad, F., Qayyum, A. (2010). Physiological responses of cattle to heat stress. *World Applied Sciences Journal* 8, 38-43.
- Ferreira, F.C., Marcondes, M.I., Santos, J.E.P., De Vries, A. (2021). Economic analysis of the use of in-vitro produced embryos transferred during heat stress under dairy herd constraints. *Animal*. 15, 100117.
- Frazzi E., Calamari L., Calegari F. (2001). Animal welfare indicator and behaviour of dairy cows exposed to different climatization system during summer season. *Proceedings of the sixth international symposium Livestock environment VI. Luisville, Kentucky, Usa. Asae: 22-28.*
- Frazzi E., Calamari L., Calegari F. (2003). Assessment of a thermal comfort index to estimate the reduction of milk production caused by heat stress in dairy cow herds. *Proceedings of the 5th Dairy Housing Conference, ASAE 1, 269-276.*
- Fuquay, J. W. (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of animal science*, 52(1), 164-174.
- Garverick, H. A., Harris, M. N., Vogel-Bluel, R., Sampson, J. D., Bader, J., Lamberson, W. R., Spain, J. N., Lucy, M. C., Youngquist, R. S. (2013). Concentrations of nonesterified fatty acids and glucose in blood of periparturient dairy cows are indicative of pregnancy success at first insemination. *Journal of Dairy Science*, 96(1), 181-188.
- Gooch C.A., Timmons M.B. (2002). Technology takes heat stress into account. *Pro-Dairy*, June.
- Habeeb, A. A., Gad, A. E., Atta, M. A. (2018). Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production

and reproduction of farm animals. *International Journal of Biotechnology and Recent Advances*, 1(1), 35-50.

- Hansen, P. J. (2020). Prospects for gene introgression or gene editing as a strategy for reduction of the impact of heat stress on production and reproduction in cattle. *Theriogenology*, 154, 190-202.
- Hayes, B. J., Lewin, H. A., Goddard, M. E. (2013). The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends in genetics*, 29(4), 206-214.
- Hill, T. M., Bateman II, H. G., Suarez-Mena, F. X., Dennis, T. S., Schlotterbeck, R. L. (2016). Changes in body temperature of calves up to 2 months of age as affected by time of day, age, and ambient temperature. *Journal of Dairy Science*, 99(11), 8867-8870.
- Hoffmann, I. (2013). Adaptation to climate change—exploring the potential of locally adapted breeds. *Animal*. 7(s2), 346-362.
- Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., Phillips, C. J. (2021). Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, 11(1), 71.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. Climate change 2021: the physical science basis. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>.
- Jara, I. E., Keim, J. P., Arias, R. A. (2016). Respuesta fisiológica, de comportamiento y producción de vacas lecheras durante el periodo estival en el sur de Chile. *Archivos de medicina veterinaria*, 48(1), 113-118.
- Ji, B., Banhazi, T., Perano, K., Ghahramani, A., Bowtell, L., Wang, C., Li, B. (2020). A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosystems Engineering*, 199, 4-26.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science*, 77(1), 59-91.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science*, 77(1), 59-91.
- Kantanen, J., Løvendahl, P., Strandberg, E., Eythorsdottir, E., Li, M. H., Kettunen-Präbel, A., Berg, P., Meuwissen, T. (2015). Utilization of farm

animal genetic resources in a changing agro-ecological environment in the Nordic countries. *Frontiers in Genetics*, 6, 52.

- Kelly, C. F., Bond, T.E. (1971). Bioclimatic factors and their measurements. Page 7 in *A guide to environmental research in animals*. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- 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.
- Koltes, J. E., Koltes, D. A., Mote, B. E., Tucker, J., Hubbell III, D. S. (2018). Automated collection of heat stress data in livestock: new technologies and opportunities. *Translational Animal Science*, 2(3), 319-323.
- Lin J.C., Moss B.R., Koon J.L., Flood C.A., Smith III R.C., Cummins K.A., Coleman D.A. (1998). Comparison of various fan, sprinkler and mister systems in reducing heat stress in dairy cows. *Applied engineering in agriculture*. *Asae*, vol. 14 (2): 177-182.
- Liu, Z., Ezernieks, V., Wang, J., Arachchillage, N. W., Garner, J. B., Wales, W. J., Cocks, B. G., Rochfort, S. (2017). Heat stress in dairy cattle alters lipid composition of milk. *Scientific reports*, 7(1), 961.
- NOAA. (1976). *Livestock hot weather stress*. Kansas City, MO: Proc. US Dept. Commerce, Natl. Weather Serv. Central Reg. Operations Manual Lett. Natl. Oceanic Atmospheric Admin, C31-76.
- Osei-Amponsah, R., Chauhan, S. S., Leury, B. J., Cheng, L., Cullen, B., Clarke, I. J., Dunshea, F. R. (2019). Genetic selection for thermotolerance in ruminants. *Animals*. 9(11), 948.
- Palmquist, D. L., Harvatine, K. J. (2020). Origin of fatty acids and influence of nutritional factors on milk fat. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*, 33-66.
- Passamonti, M. M., Somenzi, E., Barbato, M., Chillemi, G., Colli, L., Joost, S., Milanese, M., Negrini, R., Santini, M., Vajana, E., Williams, J. L., Ajmone-

Marsan, P. (2021). The quest for genes involved in adaptation to climate change in ruminant livestock. *Animals*. 11(10), 2833.

- Peng, D., Chen, S., Li, G., Chen, J., Wang, J., Gu, X. (2019). Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *International journal of biometeorology*, 63, 327-336.
- Piccione, G., Caola, G., Refinetti, R. (2003). Daily and estrous rhythmicity of body temperature in domestic cattle. *BMC physiology*, 3, 1-8.
- Pilatti, J.A., Vieira, F.M.C., Rankrape, F., Vismara, E.S. (2019). Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. *Animal*. 13, 399–406.
- Pinedo, P. J., De Vries, A. (2017). Season of conception is associated with future survival, fertility, and milk yield of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6631-6639.
- Pryce, J. E., Nguyen, T. T. T., Cheruiyot, E. K., Marett, L., Garner, J. B., 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.
- Ravagnolo O., Mistzal I., Hoogenboom G. (2000). Genetic component of heat stress in cattle, development of a heat index function. *J. Dairy Sci.* 83, 2120-2125.
- Roenfeldt, S. (1998). You can't afford to ignore heat stress. *Dairy Herd Management*, 35, 6-12.
- Roth, Z. (2022). Cooling is the predominant strategy to alleviate the effects of heat stress on dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 57, 16-22.
- Rovelli, G., Ceccobelli, S., Perini, F., Demir, E., Mastrangelo, S., Conte, G., ... & Lasagna, E. (2020). The genetics of phenotypic plasticity in livestock in the era of climate change: a review. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 997-1014.
- Sammad, A., Wang, Y. J., Umer, S., Lirong, H., Khan, I., Khan, A., Ahmad, B., Wang, Y. (2020). Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under

the influence of heat stress: Consequences and opportunities. *Animals*. 10(5), 793.

- Santos, V. G., Carvalho, P. D., Maia, C., Carneiro, B., Valenza, A., Fricke, P. M. (2017). Fertility of lactating Holstein cows submitted to a Double-Ovsynch protocol and timed artificial insemination versus artificial insemination after synchronization of estrus at a similar day in milk range. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 8507-8517.
- Sguerrini, R. (2016). Stress da caldo con la ventilazione naturale. *INFORMATORE ZOOTECNICO*, (0), 20–28.
- Strandén, I., Kantanen, J., Russo, I. R. M., Orozco-terWengel, P., Bruford, M. W., & Clingen Consortium. (2019). Genomic selection strategies for breeding adaptation and production in dairy cattle under climate change. *Heredity*, 123(3), 307-317.
- Strandén, I., Kantanen, J., Russo, I. R. M., Orozco-terWengel, P., Bruford, M. W., Clingen Consortium. (2019). Genomic selection strategies for breeding adaptation and production in dairy cattle under climate change. *Heredity*. 123(3), 307-317.
- Strutzke, S., Fiske, D., Hoffmann, G., Ammon, C., Heuwieser, W., Amon, T. (2019). Development of a noninvasive respiration rate sensor for cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 690-695.
- Tade, B., Melesse, A. (2024). A review on the application of genomic selection in the improvement of dairy cattle productivity. *Ecological Genetics and Genomics*, 100257.
- Taye, M., Lee, W., Caetano-Anolles, K., Dessie, T., Hanotte, O., Mwai, O. A., Kemp, S., Cho, S., Oh, S. J., Lee, H.-K., Kim, H. (2017). Whole genome detection of signature of positive selection in African cattle reveals selection for thermotolerance. *Animal Science Journal*, 88(12), 1889-1901.
- 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).

- Tresoldi, G., Schütz, K. E., & Tucker, C. B. (2020). Sampling strategy and measurement device affect vaginal temperature outcomes in lactating dairy cattle. *Journal of dairy science*, 103(6), 5414-5421.
- 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.
- Wang, J. P., Bu, D. P., Wang, J. Q., Huo, X. K., Guo, T. J., Wei, H. Y., Zhou, L. Y., Rastani, R. R., Baumgard, L. H., Li, F. D. (2010). Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4121-4127.
- Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Sanders, S. R., Baumgard, L. H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of dairy science*, 93(2), 644-655.
- Zappavigna P., Liberati P. (2002). Thermal behaviour of animal houses in hot climate: experimental approaches to the theoretical approach. *Asae*, paper n. 024110.

## 8. Sitografia

- [www.reterurale.it](http://www.reterurale.it)
- [www.agraria.org](http://www.agraria.org)
- [www.anafi.it](http://www.anafi.it)
- [www.anafi.it/media/latteco2/articoli/2022/14-BN-Set-Ott-2022.pdf](http://www.anafi.it/media/latteco2/articoli/2022/14-BN-Set-Ott-2022.pdf)
- [www.anapri.eu](http://www.anapri.eu)
- [www.anarb.it](http://www.anarb.it)
- [www.anarb.it/portfolio/assemblea-generale-anarb-2024/](http://www.anarb.it/portfolio/assemblea-generale-anarb-2024/)
- [www.costruzionirurali.unimi.it](http://www.costruzionirurali.unimi.it)
- [www.docenti.unina.it](http://www.docenti.unina.it)
- [www.editors.enea.it](http://www.editors.enea.it)
- [www.editors.enea.it/it/seguici/events/ordinegiornalisti/Presentazione\\_sannino.pdf](http://www.editors.enea.it/it/seguici/events/ordinegiornalisti/Presentazione_sannino.pdf)
- [www.rotaguido.it](http://www.rotaguido.it)
- [www.ruminantia.it/quale-soglia-di-thi-ingenera-stress-da-caldo-nella-bruna-italiana-e-come-rispondono-le-brune-dal-punto-di-vista-produttivo-a-tale-condizione/](http://www.ruminantia.it/quale-soglia-di-thi-ingenera-stress-da-caldo-nella-bruna-italiana-e-come-rispondono-le-brune-dal-punto-di-vista-produttivo-a-tale-condizione/)
- [www.vetinfo.it/j6\\_statistiche/#/](http://www.vetinfo.it/j6_statistiche/#/)

# Ringraziamenti

Arrivata alla fine di questo percorso vorrei ringraziare tutte le persone che, in un modo o nell'altro mi hanno aiutato a raggiungere questo traguardo.

Ringrazio il Dott. Simone Ceccobelli e la Prof. Marina Pasquini per avermi permesso di intraprendere e approfondire questo tema che fin da subito mi ha incuriosito, ma soprattutto per la disponibilità, i consigli e la fiducia dimostrata durante tutta l'elaborazione della tesi.

Un doveroso ringraziamento va ai miei genitori per avermi sempre supportato in questo percorso di studi, sia dal punto di vista umano che dal punto di vista economico, permettendomi di arrivare fin qui. Ringrazio mio fratello per essermi stato vicino e avermi sempre dimostrato il suo amore nei miei confronti.

Un grazie speciale va a Tommaso e Gabriele, compagni di corso, e soprattutto amici. Grazie per avermi supportato e per aver condiviso tanti momenti di studio, di divertimento e di disperazione insieme a me.

Ringrazio Elisa, che da tre anni a questa parte è stata, ed è, un punto di riferimento fondamentale nella mia vita; la ringrazio per i consigli, per la pazienza, per avermi insegnato il significato di costanza e impegno e per tutti i momenti belli trascorsi insieme.

Ringrazio Alessio per essermi stato vicino in questi mesi, per aver portato pazienza e soprattutto per aver sempre creduto in me.

Infine, ringrazio tutti gli amici, sia quelli che ci sono da una vita che quelli conosciuti in questi ultimi anni, per essermi stati vicini e per aver condiviso con me i migliori, ma anche i peggiori, momenti di questi ultimi anni.