



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

DOTTORATO DI RICERCA  
in  
**SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE  
TROPICALI E SUBTROPICALI**  
XXV CICLO

---

**Graziana Agosta**

**DEFINIZIONE DI UNA METODOLOGIA DI ANALISI DEL  
COMPORTAMENTO DI BOVINE DA LATTE  
ALLEVATE A STABULAZIONE LIBERA  
IN RELAZIONE AL MICROCLIMA**

Tesi per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca

Tutor: Ch.mo Prof. Giovanni Cascone

Coordinatore: Ch.mo Prof. Salvatore Luciano Cosentino

---

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA  
Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali  
Sezione Costruzioni e Territorio  
Catania, dicembre 2012

---



*A mio nonno, Nino*

## SOMMARIO

1.	Introduzione .....	9
1.1	Premessa .....	9
1.2	Obiettivi .....	12
1.3	Organizzazione del lavoro .....	13
2.	Stato dell'arte .....	15
2.1	La zona termo neutrale .....	15
2.2	Adattamento delle bovine da latte allo stress termico .....	16
2.3	Effetti dello stress da caldo sulla produzione .....	18
2.4	Effetti dello stress da caldo sulla fertilità .....	18
2.5	Gli indicatori di stress termico.....	19
2.6	Time Budget .....	20
2.6.1	Alimentazione alla mangiatoia - feeding .....	22
2.6.2	Decubito all'interno delle cuccette - Lying .....	24
2.6.3	Posizione di stazionamento in piedi e/o deambulazione-standing.....	26
3.	Materiali e metodi .....	27
3.1	Descrizione dell'edificio sede della sperimentazione .....	28
3.2	Gestione della mandria .....	28
3.3	Sistema di raffrescamento .....	29
3.4	Metodologie di campionamento del comportamento animale .....	32
3.5	Campionamento del comportamento delle bovine da latte .....	33
3.6	Osservazione del comportamento.....	33
3.7	Rilievo dei dati climatici interni ed esterni all'edificio .....	37
3.8	Indicatori di stress termico .....	40
3.9	Indicatori comportamentali.....	40
3.10	Metodologie adottate per l'analisi dei dati settimanali.....	42
3.10.1	L'analisi cluster.....	42
3.10.1.1	Tecniche per l'analisi gerarchica divisiva.....	43
3.10.1.2	Tecniche per l'analisi gerarchica aggregativa.....	44
3.11	Il test di Kruskal-Wallis.....	45
4.	Risultati e discussione.....	47
4.1	Analisi dei cluster .....	49
4.1.1	Cluster A .....	52

4.1.2 Cluster B .....	61
4.1.3 Cluster C .....	70
4.1.4 Cluster E .....	78
4.1.5 Cluster F.....	87
4.1.6 Cluster G.....	95
4.1.7 Cluster H.....	104
4.1.8 Cluster L .....	112
4.2 Influenza degli impianti di raffrescamento sul comportamento del gruppo di bovine osservato .....	121
4.2.1 Possibili soluzioni per il miglioramento della gestione della mandria e degli impianti di raffrescamento .....	123
5. Conclusioni .....	128
Bibliografia.....	132

### **Riassunto**

Lo studio ha riguardato l'analisi del comportamento di un gruppo di bovine da latte allevate a stabulazione libera in relazione alle condizioni climatiche interne all'edificio di allevamento. A tal fine è stata svolta una prova sperimentale nel periodo compreso tra l'1 agosto 2011 e il 31 luglio 2012 in una stalla ubicata in provincia di Ragusa dotata di zona di riposo a cuccette e di due differenti impianti di raffrescamento per la mitigazione degli effetti dello stress da caldo: un impianto di raffrescamento evaporativo dell'aria, costituito da erogatori d'acqua nebulizzata e ventilatori, localizzato nella zona di riposo a cuccette, e un impianto di bagnatura diretta del corpo delle bovine associato a ventilazione forzata installato nella corsia di alimentazione.

Il comportamento delle bovine è stato analizzato mediante indicatori comportamentali scelti fra quelli più comunemente adottati in letteratura. In particolare, nella ricerca sono stati calcolati il Cow Lying Index (CLI), il Cow Standing Index (CSI) e il Cow Feeding Index (CFI). I dati necessari per la valutazione di tali indici sono stati ottenuti mediante l'analisi di videoriprese realizzate all'interno della stalla.

Al fine di mettere in evidenza l'influenza delle condizioni microclimatiche interne all'edificio sul comportamento degli animali, gli indici comportamentali sono stati messi in relazione con indici di stress termico, anch'essi scelti fra quelli più frequentemente impiegati in letteratura per la valutazione del livello di stress da caldo delle bovine da latte. In particolare, sono stati calcolati il Temperature Humidity Index (THI) e il Black Globe Humidity Index (BGHI). I dati necessari per la valutazione di tali indici sono stati ottenuti installando una stazione microclimatica per la misurazione delle principali variabili climatiche esterne e microclimatiche all'interno della stalla.

Una prima analisi dei dati, condotta considerando dati medi settimanali, ha rivelato come il comportamento degli animali osservati sia stato coerente con quanto ampiamente riscontrato in letteratura. Tuttavia, tale analisi non ha consentito di mettere in evidenza l'influenza degli impianti di raffrescamento sul comportamento delle bovine. Pertanto, è stata svolta un'ulteriore analisi impiegando dati più puntuali ottenuti effettuando la media, per ogni giorno di ciascuna settimana analizzata nella ricerca, dei valori degli indici comportamentali e di stress termico calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione. In particolare, sono stati confrontati i dati relativi alle settimane autunnali/invernali/primaverili con quelle prettamente estive. Da tale analisi è emerso che l'impianto di raffrescamento evaporativo ha influenzato positivamente l'attività di decubito delle bovine nel periodo estivo, mentre l'impianto di bagnatura diretta del corpo degli animali non ha di fatto consentito di migliorare l'attività di alimentazione determinando, invece, un'interruzione dell'attività di decubito e un incremento dell'attività di stazionamento in piedi nella corsia di alimentazione. Considerando che in stalle confortevoli le bovine da latte trascorrono circa il 60% del giorno in posizione di decubito, le condizioni microclimatiche estive all'interno della stalla esaminata potrebbero determinare, a causa di una non appropriata gestione degli impianti di raffrescamento condizioni di

disagio per le bovine con possibili conseguenze negative sulla loro produzione di latte e sul loro stato di salute.

**Parole chiave:** benessere animale, stress da caldo, controllo microclimatico.

### **Summary**

The aim of this study was to analyze the behaviour of a group of dairy cows bred in a free stall barn in relation to the inside microclimatic conditions. To this end, an experimental trial was carried out in the period between 1 August 2011 and 31 July 2012 in a free-stall barn located in the province of Ragusa equipped with two different cooling systems for the mitigation of the heat stress effects: a fans and misting system placed above the cubicle area and a sprinkler and fan system for animal wetting installed along the feeding alley. Cow behaviour was analyzed by using behavioural indices chosen among those most commonly adopted in the literature. In particular, in the study the Lying Cow Index (CLI), the Cows Standing Index (CSI) and the Cow Feeding Index (CFI) were calculated. The data required for the evaluation of these indices were obtained through the analysis of video recordings provided by a multi-camera system. In order to highlight the influence of microclimatic conditions inside the building on animal behaviour, the behavioural indices were correlated with thermal stress indices also them chosen among those most frequently used in the literature for the evaluation of the level of heat stress of dairy cows. In particular, in the study the temperature Humidity Index (THI) and the Black Globe Humidity Index (BGHI) were computed. The data required for the evaluation of these indices were obtained by installing a microclimatic station for the measurement of the main external and internal climatic variables.

A first analysis of the data, carried out considering average weekly data, revealed how the cow behaviour was consistent with that widely reported in the literature. However, this analysis did not make it possible to put in evidence the influence of the two cooling systems on the cow behaviour. Therefore, a further analysis was carried out by using more punctual data obtained by averaging, for each day of each week analyzed in the search, the values of the behavioural indices and values of the thermal stress indices computed at 10-minutes intervals for the entire daily observation period. In particular, we compared the data for the week autumn / winter / spring with the purely summer. This analysis showed that the fan and misting system has positively influenced the cow lying behaviour during the summer, whereas the system based on the direct wetting of the bodies of the cows has not really improved the feeding activity, resulting instead in an interruption in cow decubitus and an increase of the standing activity in the feeding alley. Since in comfortable barns dairy cows should spend about 60% of the day in decubitus, this situation could lead to hardship for cows with potential negative consequences for the dairy production and cow's health status.

**Key words:** heat stress, animal welfare, microclimatic control.

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Premessa

Il conseguimento del “benessere degli animali da allevamento” rappresenta una nuova esigenza in tutti quei paesi dove la zootecnia ha raggiunto livelli tecnologici tali da costringere gli animali a una elevatissima produttività in condizioni ambientali, fisiologiche ed alimentari sempre più pressanti.

Il benessere animale non va più visto come un limite per la gestione dell'allevamento ma come un mezzo per ridurre i fattori di stress che causano la riduzione di produttività.

La prima normativa a livello europeo che ha affrontato l'argomento del benessere animale è stata la: “Convenzione europea sulla protezione degli animali da allevamento” adottata a Strasburgo il 10 marzo 1976 e approvata dall'Italia il 14 ottobre 1985 con la legge n. 623. Quest'ultima recita che: “ogni animale deve beneficiare di un ricovero, di un'alimentazione e di cure che – tenuto conto della specie, del suo grado di sviluppo, d'adattamento e di addomesticamento – siano appropriate ai suoi bisogni fisiologici ed etologici conformemente all'esperienza acquisita e alle conoscenze scientifiche”.

Successivamente, cominciarono a suscitare interesse le cosiddette “cinque libertà” che devono essere assicurate a ciascun animale allevato, definite in modo preciso dal *Farm Animal Welfare Council* britannico (FAWC, 1992), secondo cui ogni animale deve essere:

1. libero dalla fame e dalla sete, con libero accesso all'acqua e una dieta che lo mantenga in piena salute;
2. libero dal disagio e dalle condizioni climatiche avverse, con un ambiente adeguato alle sue esigenze e che includa un riparo e un'area di riposo confortevole;
3. libero dal dolore, dalle ferite e dalle malattie, attraverso la prevenzione e rapide diagnosi e trattamenti;
4. libero di esprimere un comportamento normale e naturale, mettendo a disposizione spazio a sufficienza, attrezzature appropriate e la compagnia di animali della stessa specie;
5. libero dalla paura, dall'angoscia e da stress eccessivo, assicurando condizioni e trattamenti che evitino la sofferenza mentale.

Il concetto di benessere animale è stato definito ufficialmente anche dalla *World Organization for Animal Health* (2008) che riprendendo il concetto delle “cinque libertà” afferma che: “l'animale si trova in uno stato di benessere se gode delle condizioni di buona salute e comfort, se è ben nutrito, sicuro, capace di esprimere i suoi innati comportamenti, e se non è sofferente a causa di dolore, di paura o di stress”.

Va precisato, però, che ogni specie si è evoluta, nel corso degli anni, in modo particolare e si è altrettanto adattata ad uno specifico ambiente; quindi la definizione di benessere deve prendere in considerazione l'ambiente, la fisiologia e il comportamento specifico di ogni razza animale. La definizione di benessere

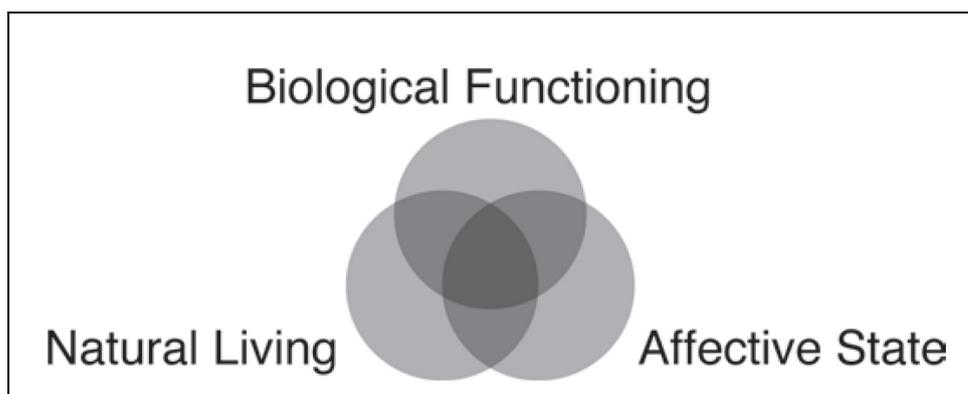
deve essere intesa come una condizione intrinseca all'animale stesso e non come un insieme di valori che vengono attribuiti dall'uomo all'animale.

Dallo studio della bibliografia esistente sull'argomento (Fraser et al., 1997, von Keyserlingk, et al., 2009; Fraser, 2008), si evince che il concetto di "benessere animale" è contraddistinto da tre aspetti peculiari:

- l'aspetto funzionale (*biological functioning*) in cui al benessere deve corrispondere un buon funzionamento dell'organismo animale. Vanno esaminati: lo stato di salute, il tasso di accrescimento dell'animale, la capacità riproduttiva, ecc.;
- l'aspetto delle sensazioni provate dall'animale (*affective state*) che comprende tutti quegli stati affettivi ed emozionali che l'animale è in grado di provare. Vanno esaminati lo stato di paura, di dolore, di fame, ecc.;
- l'aspetto del comportamento naturale (*natural living*), cioè la possibilità che l'animale possa esprimere il comportamento innato della specie a cui appartiene.

Queste tre tipologie di aspetti riguardanti il benessere animale possono e devono essere sovrapposti. Ad esempio, se in giornate calde la bovina da latte non è capace di cercare dell'ombra e quindi refrigerio (*natural living*), essa percepisce una sensazione di caldo non confortevole e potrebbe manifestare sintomi di ipertermia (*affective state*) che determinano un calo della produzione (*biological functioning*).

Un altro esempio di come questi tre aspetti si sovrappongono è rappresentato dalla presenza di zoppie. Un animale zoppo è dolorante (*affective state*), la sua produzione di latte e la sua riproduttività si abbassano (*biological functioning*) e anche la sua capacità di movimento si riduce (*natural behavior*).



**Figura 1** - Schema della sovrapposizione delle tre aree che definiscono lo stato di benessere animale. (ridisegnato da Fraser et al., 1997).

Con riferimento agli allevamenti intensivi di bovine da latte, le condizioni ambientali, la gestione della mandria e il rapporto uomo – animale possono influenzare il benessere degli animali allevati. In particolare, parecchi autori hanno enfatizzato come le condizioni ambientali che si creano all'interno degli edifici zootecnici possano significativamente influenzare il benessere degli

animali e la loro produttività (Armstrong, 1994; D'archivio e Zappavigna, 2007; Kadzere et al., 2002; West, 2003). La temperatura e l'umidità relativa dell'aria e la ventilazione contribuiscono a modificare le condizioni ambientali dell'edificio in cui sono stabulate le bovine e possono avere un effetto significativo sulla loro risposta fisiologica.

Secondo Kadzere et al. (2002), il miglioramento genetico finalizzato ad aumentare la produttività delle bovine da latte e ad aumentarne le riserve di nutrienti durante la prima fase di lattazione le ha rese molto più suscettibili allo stress determinato da innalzamenti eccessivi delle temperature dell'aria all'interno degli ambienti di allevamento. Tuttavia, scarsa attenzione è stata spesa per aumentarne la capacità di termoregolazione.

Il metabolismo degli animali è sempre in uno stato di equilibrio dinamico, in cui l'afflusso di nutrienti è bilanciato dalla produzione di energia nei processi anabolici e catabolici. Le bovine hanno bisogno di nutrienti, tra le altre cose, per il mantenimento dei processi biologici, per la riproduzione e per la lattazione (Kadzere et al., 2002).

Per misurare lo stato di benessere delle bovine da latte risulta indispensabile servirsi di indicatori che possono essere classificati in quattro categorie: comportamentali, fisiologici, patologici e di produttività (Smidt, 1983).

In particolare, il comportamento delle bovine da latte è sempre più usato come indicatore del comfort animale (Cook et al., 2005). In letteratura (Anderson; 2008; Bava et al., 2012; DeVries et al., 2003; Fregonesi et al., 2007; Overton et al., 2002; Provolo e Riva, 2009;) i comportamenti più frequentemente analizzati per la loro elevata relazione con lo stato di benessere sono:

- alimentazione alla mangiatoia (*feeding*), relativo allo stazionamento in piedi nella corsia di alimentazione con la testa attraverso la rastrelliera (Fig. 2a);
- stazionamento in piedi e deambulazione nelle corsie (*standing*), relativo allo stazionamento in piedi nelle corsie e alla deambulazione;
- decubito all'interno delle cuccette (*lying*), relativo a tutte le possibili posizioni di decubito della bovina nella cuccetta (Fig. 2b). Le normali posizioni di riposo sono quattro: posizione "lunga" in cui la bovina giace con la testa protesa in avanti; posizione "corta" in cui la bovina giace con la testa piegata lungo un lato del corpo; posizione "stretta" in cui la bovina giace sullo sterno con il collo leggermente piegato e gli arti posteriori vicino al corpo mentre gli arti anteriori possono essere distesi; posizione "larga" in cui la bovina giace su un fianco con gli arti posteriori distesi;
- *perching*, relativo al comportamento di quelle bovine che stanno alzate con gli arti posteriori sulla corsia di servizio e quelli anteriori appoggiati sul piano della cuccetta. Il *perching* può durare da qualche minuto fino a superare un'ora.

Tali comportamenti sono analizzati mediante il calcolo di indici quali il CLI (*cow lying index*), il CSI (*cow standing index*) e il CFI (*cow feeding index*).

## 1.2 Obiettivi

L'obiettivo della ricerca è stato quello di mettere a punto una metodologia per l'analisi del comportamento di bovine da latte allevate a stabulazione libera in relazione al microclima interno all'edificio di allevamento. A tal fine, sono stati impiegati indicatori comportamentali e indicatori di stress termico, fra quelli più frequentemente utilizzati nella letteratura specifica. In particolare, sono stati calcolati il Cow Lying Index (CLI), il Cow Standing Index (CSI) e il Cow Feeding Index (CFI). I dati necessari per la valutazione di tali indici sono stati ottenuti mediante l'analisi di videoriprese realizzate all'interno della stalla. Per quanto riguarda gli indicatori di stress termico, sono stati calcolati il Temperature Humidity Index (THI) e il Black Globe Humidity Index (BGHI). I dati necessari per la valutazione di tali indici sono stati ottenuti installando una stazione microclimatica per la misurazione delle principali variabili climatiche esterne e microclimatiche all'interno della stalla.

La metodologia è stata applicata in una stalla per bovine da latte ubicata nella provincia di Ragusa, territorio rappresentativo della zootecnia siciliana. La stalla a stabulazione libera è dotata di zona di riposo a cuccette e di impianti di raffrescamento per la mitigazione degli effetti dello stress da caldo nel periodo estivo.

La metodologia messa a punto consente di pervenire alla conoscenza dell'influenza delle condizioni microclimatiche sul comportamento delle bovine da latte, di valutare l'efficacia dei sistemi di raffrescamento installati nella stalla e di suggerire eventuali variazioni delle attività di gestione della mandria, con particolare riferimento a quelle attuate nell'intervallo di tempo intercorrente tra le due mungiture, cioè la distribuzione della razione alimentare e la pulizia della corsia di alimentazione.



(a)



(b)

**Figura 2 - Esempi di comportamento delle bovine: a) bovine nella corsia di alimentazione con la testa attraverso la rastrelliera – b) bovine in posizione di decubito nelle cuccette.**

### 1.3 Organizzazione del lavoro

La prima parte della tesi riporta una sintesi della ricerca bibliografica condotta al fine di pervenire alla conoscenza dell'influenza delle condizioni ambientali sul comportamento degli animali. In particolare, con riferimento alle bovine da latte, è stata posta l'attenzione: sui meccanismi attuati dal loro corpo al fine di adattarsi allo stress da caldo e sugli effetti dello stress da caldo sulla produzione e sulla fertilità. Inoltre, sono stati riportati i principali riferimenti bibliografici riguardanti gli indicatori per la valutazione dello stress da caldo nelle bovine da latte. Per quanto riguarda, invece, il comportamento delle bovine da latte, è stata svolta una disamina sui principali fattori che impongono una deviazione dell'ordinario Time Budget della mandria e sono stati descritti i comportamenti maggiormente oggetto di studio, quali il comportamento di *lying*, il comportamento di *standing* e il comportamento di *feeding*.

La seconda parte della tesi, invece, riguarda la metodologia attuata per l'analisi del comportamento delle bovine da latte osservate nello studio. In particolare, è stata descritta la stalla oggetto della sperimentazione, sia dal punto di vista tecnico-costruttivo sia dal punto di vista della dotazione di impianti di raffrescamento installati al fine di mitigare gli effetti dello stress da caldo nei periodi estivi. Inoltre, sono state descritte le principali attività attuate dall'allevatore connesse con la gestione della mandria. In questa parte della tesi è stata anche descritta la metodologia adottata per effettuare l'osservazione del comportamento degli animali, vengono elencati gli strumenti impiegati per il rilievo dei dati climatici, sono stati definiti gli indicatori comportamentali e di stress termico adottati nella ricerca e, infine, sono state riportate le principali nozioni relative all'analisi *cluster* e al test di Kruskal-Wallis adottati, rispettivamente, per la classificazione delle settimane dell'anno in gruppi omogenei per caratteristiche termo-igrometriche esterne e interne all'edificio e per l'individuazione di differenze significative nel comportamento degli animali nell'ambito di settimane appartenenti allo stesso *cluster*.

Nella terza parte della tesi vengono descritti e discussi i risultati conseguiti dall'applicazione della metodologia prima definita. In particolare, i primi risultati riguardano l'analisi dei dati rilevati condotta considerando dati medi mensili prima e medi settimanali dopo. Successivamente, vengono riferiti i risultati conseguiti dall'analisi *cluster*, ovvero i gruppi di settimane omogenee per caratteristiche termo-igrometriche esterne e interne all'edificio, e i risultati ottenuti dall'analisi delle singole settimane appartenenti a ciascun *cluster*. In questa parte della tesi, vengono inoltre descritti e discussi i risultati relativi all'influenza degli impianti di raffrescamento sul comportamento del gruppo di bovine osservato e vengono riferite possibili soluzioni per il miglioramento della gestione della mandria e degli impianti di raffrescamento.



## 2. STATO DELL'ARTE

### 2.1 *La zona termo neutrale*

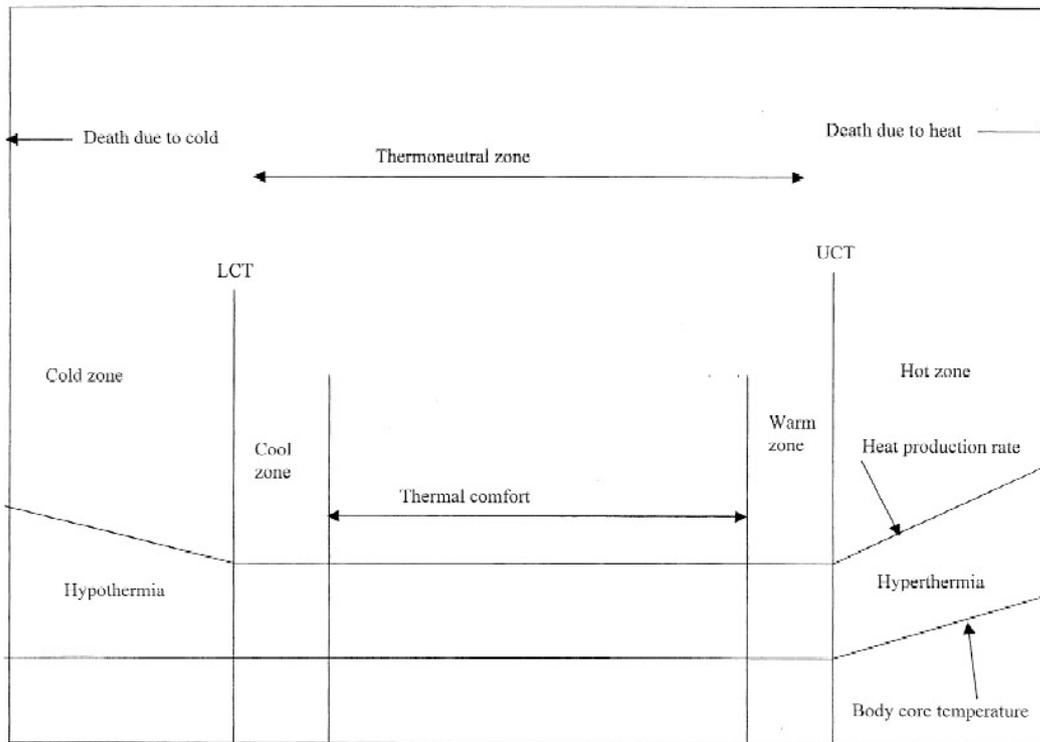
Le bovine da latte sono capaci di adattarsi a una larga varietà di condizioni ambientali, ma la massima produttività può essere ottenuta solo all'interno di un range di valori di temperatura e umidità relativa, la cosiddetta zona termo neutrale o di termoneutralità (TNZ).

La TNZ può essere intesa come la zona in cui la produzione di calore da parte dell'animale è minima, in condizioni di temperatura rettale normale. All'interno della TNZ è raggiunta la massima produttività ad un minimo costo fisiologico (Johnson, 1987). In altre parole, la zona di termoneutralità è quell'intervallo di temperature all'interno del quale è minima la produzione di calore da parte dell'animale ed è massima la quota di energia destinata alle produzioni zootecniche.

Generalmente, il range della TNZ varia dalla “Minima Temperatura Critica” (LCT) alla “Massima Temperatura Critica” (UCT) e dipende dall'età, dalla specie, dalla razza, dalla capacità di ingestione, dalla composizione della dieta, dalla produttività, dalle caratteristiche specifiche della stalla e del recinto, dai tessuti di isolamento (strato adiposo e pelle) e dal comportamento degli animali (Yousef, 1985). Quanto più la temperatura si allontana dalla zona di termoneutralità di un animale tanto più possono aversi conseguenze negative sui processi biologici dell'animale. McDowell et al. (1976) riportano che anche piccoli aumenti di temperatura dell'aria hanno profondi effetti sui tessuti degli animali e sulle funzioni endocrine, che a loro volta possono provocare una riduzione della fertilità, della crescita e della lattazione.

L'intervallo di valori che definiscono la TNZ è stato individuato da parecchi autori. Secondo Johnson (1987), la zona di termoneutralità per le bovine in asciutta varia da 0°C a 24°C e per le bovine in lattazione oscilla tra valori di -5°C e 21°C. Per Roenfeldt (1998), il range di valori di temperatura della TNZ oscilla da 5 a 25°C. Infine, Capdeville e Tillie (1995) hanno determinato che la TNZ per una bovina oltre i 12 mesi di età, varia da -5°C a 22°C.

Sembra opportuno sottolineare che le temperature estive nelle regioni mediterranee generalmente sono superiori alla temperatura critica superiore della TNZ, con conseguenti condizioni di stress da caldo per le bovine da latte.



**Figura 3 - Schema della relazione tra la temperatura corporea, la produzione di calore e la temperatura ambientale (adattato da Curtis, 1981).**

## **2.2 Adattamento delle bovine da latte allo stress termico**

Yousef (1985) definisce lo stress termico come la sinergia di tutte le forze esterne agenti sul corpo dell'animale che tendono ad allontanare quest'ultimo dallo stato di benessere termico. Lo sforzo che gli animali compiono per stabilizzare la loro temperatura corporea profonda all'interno di limiti abbastanza ridotti è essenziale per controllare le reazioni biochimiche e i processi fisiologici associati al normale metabolismo (Shearer e Beede, 1990). Per mantenere l'omeotermia, un animale deve essere in equilibrio termico con l'ambiente, che include la radiazione solare, la temperatura e l'umidità relativa dell'aria e i flussi d'aria.

L'abilità di regolare la temperatura corporea profonda è un adattamento evolutivo che permette agli animali omeotermi di mantenere le proprie funzionalità biologiche, malgrado le variazioni della temperatura ambientale (Bitman *et al.*, 1984); questa capacità innata delle bovine consente di sfruttare il rilevamento delle temperature come indicatore per controllare i processi fisiologici.

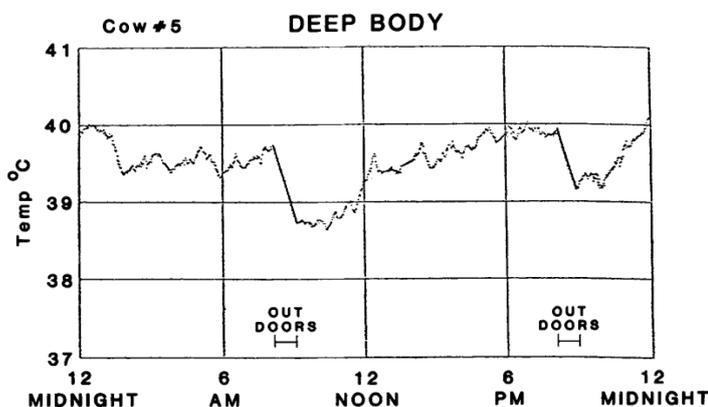
L'interazione tra le bovine da latte e l'ambiente è evidenziata da alcuni studi in cui bovine ad alto potenziale genetico, che registravano elevatissime produzioni di latte in contesti caratterizzati da climi temperati, allorché sono state trasferite in

ambienti tropicali non hanno manifestato le loro reali capacità produttive (Kadzere; 2002).

È interessante considerare quanto sostenuto da Akari *et al.*, (1987) i quali attraverso varie sperimentazioni hanno dimostrato che gli effetti negativi delle alte temperature diurne sulle bovine da latte allevate nelle moderne condizioni intensive risultano sensibilmente mitigati se durante la notte le temperature subiscono un sostanziale abbassamento. Tale fenomeno è avvalorato anche da Igono *et al.*, (1992) i quali hanno osservato che temperature ambientali fresche durante la notte minimizzano gli effetti negativi delle alte temperature diurne negli ambienti caldi.

Anche Richards (1985) nei suoi studi ha riscontrato che bovine da latte sottoposte a condizioni ambientali con temperature diurne pari a 30-35°C ma con temperature notturne inferiori a 25°C, non manifestano eccessivi decrementi di produzione della quantità di latte.

Bitman *et al.*, (1984) avvalorano questi risultati dimostrando che la temperatura corporea delle bovine da latte è caratterizzata da un ritmo “circadiano bifasico” articolato nel modo seguente: dalla mezzanotte alle prime ore del mattino si registrano alte temperature corporee che si abbassano progressivamente fino a raggiungere il primo valore minimo intorno a mezzogiorno. Nel pomeriggio si registra un ulteriore incremento della temperatura fino alle ore serali quando gradualmente la temperatura diminuisca fino a raggiungere un secondo valore minimo per poi crescere nuovamente fino a mezzanotte (Fig. 4). Bitman *et al.* (1984) non riesce però a spiegare le cause di questa variazione giornaliera della temperatura del corpo delle bovine.



**Figura 4 - Ritmo “circadiano bifasico” della temperatura corporea di una bovina da latte (adattato da Bitman *et al.*, 1984).**

Dalla bibliografia (Prosser e Brown, 1969) si evince che l’adattamento delle bovine da latte alle condizioni ambientali avviene grazie a una graduale acclimatazione. Gli animali ad alta produttività si acclimatano gradualmente all’innalzamento delle temperature dell’aria durante i mesi estivi, infatti se le condizioni climatiche estive sopravvengono bruscamente e per tempi prolungati,

come spesso accade nelle aree mediterranee e in alcune regioni degli Stati Uniti, è poco probabile che le bovine riescano ad acclimatarsi.

### **2.3 Effetti dello stress da caldo sulla produzione**

Negli allevamenti intensivi di bovine da latte, il protrarsi ininterrotto di temperature ambientali elevate per settimane o mesi, in concomitanza a elevati valori di umidità relativa dell'aria, comporta un peggioramento delle prestazioni produttive e riproduttive delle bovine con particolare riferimento agli animali ad alta produzione.

I fattori climatici come la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la radiazione solare, i flussi di aria e le loro interazioni, possono influenzare la produttività delle bovine da latte (Sharma et al., 1983). La quantificazione diretta degli effetti del clima sulla produzione di latte è difficile poiché essa è anche strettamente collegata ad altri fattori come, ad esempio, la gestione della razione alimentare (Fuquay, 1981). Comunque, alcuni autori (Johnson, 1976; Thatcher, 1974) hanno riportato una diminuzione della produzione di latte e una riduzione dello strato adiposo delle bovine, come diretta conseguenza delle alte temperature ambientali. Questo potrebbe essere stato causato dallo stress da caldo che ha conseguenze negative sulle funzioni secretorie della mammella (Silanikove, 1992). McDowell et al., (1976) hanno rilevato una riduzione del 15% della produzione di latte accompagnata da una riduzione del 35% nell'efficienza di energia utilizzata per scopi riproduttivi, quando le bovine di razza Frisona sono trasferite da un ambiente caratterizzato da temperature dell'aria di circa 18°C ad un altro in cui si raggiungono i 30°C.

In aggiunta, Bianca (1965) ha rilevato una riduzione del 35% della produzione di latte di bovine, appartenenti a razze diverse ed esposte continuamente a temperature ambientali pari a 35°C.

Lo stress da caldo influenza in maniera differente la produttività delle bovine in relazione alla fase produttiva in cui esse si trovano. In particolare, le bovine durante le prime fasi di lattazione sono meno capaci di contrastare gli effetti negativi dello stress da caldo determinando, pertanto, un calo della produzione. A tal proposito, Sharma et al., (1983) asseriscono che le condizioni climatiche hanno la massima influenza nei primi 60 giorni della lattazione. Durante questo primo periodo, infatti, bovine ad alta produttività si trovano in bilancio energetico negativo e devono compensare il deficit attraverso la mobilitazione delle riserve corporee.

Barash et al., (1996) inoltre, hanno dimostrato che negli ambienti mediterranei le bovine che entrano in lattazione in estate producono meno latte di quelle che vi entrano in inverno.

### **2.4 Effetti dello stress da caldo sulla fertilità**

Come già ribadito, lo stress da caldo è responsabile di importanti perdite di produzioni zootecniche. All'interno del range di temperature che caratterizzano la zona di termoneutralità, la bovina può mantenere l'omeostasi senza un eccessivo uso dell'energia per la termoregolazione; perciò l'energia è disponibile per

mantenere condizioni ottime di salute e di produttività (Yuosef, 1985). Quando il clima diventa più caldo, l'animale deve indirizzare le proprie energie per eliminare il calore in eccesso in modo da mantenere il bilancio termico interno. Conseguentemente, la temperatura corporea aumenta, influenzando le varie funzioni del corpo. Vari autori hanno studiato gli effetti dello stress da caldo sulla riproduzione (Wolfenson, 2000). Significative diminuzioni del tasso di concepimento sono state osservate in bovine con una temperatura corporea superiore alla norma al momento dell'inseminazione, in quanto la vitalità degli ovuli e degli spermatozoi è significativamente ridotta quando la temperatura corporea è più alta del normale (Fallon, 1962; Fuquay, 1981; Stott e Williams, 1969). Inoltre, si è osservato che lo stress da caldo potrebbe anche prevenire o ritardare l'ovulazione (Her et al., 1988; Wilson et al., 1998).

### **2.5 Gli indicatori di stress termico**

A temperature ambientali sopra i 26°C la bovina da latte raggiunge un punto in cui non riesce più a regolare la sua produzione di calore interna ed entra in stress da caldo (Bligh, 1973). Lo stress termico può essere valutato mediante la misurazione della temperatura corporea (Fuquay et al., 1979). La temperatura corporea delle bovine da latte è molto suscettibile alle condizioni di clima caldo (Akari et al., 1984), quindi essa è un indicatore sensibile dello stress termico. McDowell et al., (1976) suggeriscono che un buon indicatore delle condizioni termiche dell'animale è il THI (Temperature Humidity Index).

Il THI è un indice che rappresenta gli effetti combinati della temperatura dell'aria e dell'umidità associati con il livello di stress termico. Le differenti specie animali hanno sensibilità differenti alla temperatura ambientale e alla quantità di umidità nell'aria. Ad esempio, le bovine da latte possono tollerare più alte temperature a bassa umidità relativa rispetto ai maiali (Bohmanova et al., 2006).

Dallo studio della bibliografia (Buffington et al., 1981; Oliveira e Esmay, 1982) si evince che il THI è considerato come un indice poco accurato dello stress da caldo degli animali e, pertanto, viene suggerito l'utilizzo di un altro indice: il BGHI (Black Globe-Humidity Index). Il BGHI si ottiene sostituendo, nella formula del THI, il valore della temperatura a bulbo asciutto ( $T_{db}$ ) con il valore della temperatura al globo termometro ( $T_{bg}$ ). La  $T_{bg}$  integra in un solo valore la temperatura dell'aria al bulbo asciutto, l'umidità relativa dell'aria, la radiazione netta e la velocità dell'aria. Quindi il BGHI rappresenta un indicatore delle condizioni di stress da caldo più accurato del THI quando gli animali sono esposti agli effetti della ventilazione presente all'interno dell'ambiente di stabulazione e/o a fenomeni radiativi determinati da corpi radianti. In condizioni di bassa o moderata incidenza degli effetti convettivi e radiativi, gli indici BGHI e THI possono essere equiparati.

In bibliografia, i valori dell'indice termico THI vengono classificati in diverse categorie, che indicano il livello di stress da caldo percepito dagli animali. La definizione di questi livelli varia tra i diversi autori. Armstrong (1994) identifica i valori degli indici al di sotto di 71 come caratterizzanti della zona di

comfort, i valori tra 72 e 79 come peculiari della zona di stress lieve, mentre con valori tra 80 e 89 individua la zona di stress moderato e con valori superiori a 90 classifica condizioni di grave stress. Huhnke et al., (2001) dividono la scala dei valori degli indici THI e BGHI in due parti: l'intervallo con valori tra 79 e 83 viene definito come situazione dannosa e l'intervallo con valori degli indici maggiori di 84 viene definita come situazione di emergenza. Thom (1959) classifica i valori degli indici di stress termico in 3 intervalli: da 70 a 74 come zona non confortevole, da 75 a 79 come zona molto non confortevole e per valori maggiori di 80 come zona di severo discomfort. McDowell et al., (1976) considerano i valori di THI e BGHI inferiori a 70 come confortevoli, i valori compresi nell'intervallo tra 75 e 78 come stressanti e i valori maggiori di 78 come causa di estremo stress.

È ormai assodata la stretta relazione tra aumento del THI e diminuzione di produzione di latte. Lo standard ASABE (*American Society of Agricultural and Biological Engineers*) relativo alla progettazione dei sistemi di ventilazione per bovine da latte (ASABE, 2003) riporta come la produzione di latte diminuisca in relazione al THI quando questo supera il valore di 72 punti. Inoltre, il calo produttivo è diverso a seconda del livello produttivo dell'animale.

Va precisato, però, che le bovine più produttive sono anche quelle più sensibili al caldo. Periodi estivi con THI medi giornalieri che raggiungono valori di 76-78, classificati come stress moderato possono determinare per una bovina che produce 30 kg di latte al giorno una riduzione della produzione giornaliera di latte fino a 4,5 kg (Provolo e Riva, 2008).

Anche il comportamento delle bovine è risultato fortemente correlato con l'aumento dell'indice microclimatico THI. A tale proposito, è interessante osservare che le variazioni di comportamento delle bovine da latte si verificano anche per valori di THI non considerati critici in letteratura (Brown-Brandl et al., 2005; Mader et al., 2004). Benché, la soglia delle condizioni di stress da caldo è identificata con THI superiori a 72, alcuni Autori (Armstrong, 2004; Igono 1992; Provolo et al., 2007) hanno messo in evidenza che i comportamenti di *lying*, *standing* e *feeding* si modificano già a partire da valori di THI superiori a 60. In particolare, la correlazione tra THI e il comportamento di *standing* è confermata dall'aumento della percentuale di bovine in piedi quando il THI supera il valore di 66. Per valori di THI superiori a 78 la percentuale di bovine in piedi risulta mediamente raddoppiata rispetto ai periodi freschi.

## 2.6 Time Budget

Dagli studi di etologia emerge che un animale ha bisogno di estrinsecare, giornalmente, alcune attività comportamentali di base, dedicando a ciascuna di esse un numero di ore che sia conforme alle sue esigenze fisiologiche ed etologiche. La distribuzione delle attività comportamentali nell'arco delle 24 ore costituisce il bilancio del tempo, tecnicamente definito come Time Budget dell'animale (Speroni e Federici, 2006).

Nel caso delle bovine da latte, le caratteristiche funzionali e tecnico costruttive della stalla, la strategia alimentare adottata e le modalità di gestione dei

gruppi condizionano il comportamento degli animali che, entro certi limiti di variabilità, sono in grado di “ridistribuire” in maniera equilibrata le proprie attività.

Quando i fattori esterni impongono una deviazione dell’ordinario Time Budget della mandria oltre certi limiti, possono derivare conseguenze negative sul piano della salute, del benessere animale e della produttività della mandria.

Alcuni aspetti funzionali e strutturali dell’edificio zootecnico possono influire sul Time Budget delle bovine da latte che vi stabulano. Ad esempio se la stalla è sovraffollata rispetto alla disponibilità reale delle cuccette è probabile che il tempo di *lying* diminuirà (Henneberg et al., 1986). Una corsia di alimentazione troppo stretta o un fronte di mangiatoia troppo corto diminuirà il tempo che gli animali dedicano al *feeding* (Olofsson, 1999).

Oltre agli aspetti strutturali della stalla, anche alcune pratiche gestionali possono influenzare il Time Budget giornaliero delle bovine, come ad esempio il valore energetico della dieta, infatti una dieta poco concentrata induce gli animali a trascorrere più tempo in *feeding* e meno tempo in *lying* (Nielsen et al., 2000).

Infine, alcune caratteristiche fisiologiche dell’animale possono influire sul Time Budget, ad esempio le bovine nell’ultima fase di lattazione spendono meno tempo in *feeding* e più tempo in *lying* (Chaplin e Munksgaard, 2001; Nielsen et al., 2000).

Va precisato, però che cambiamenti nel Time Budget potrebbero riflettere un adattamento a uno specifico ambiente senza avere nessuna conseguenza negativa sul benessere animale. Se tuttavia la costrizione modifica in maniera significativa un importante comportamento, si potrebbero avere ripercussioni sullo stato di salute degli animali.

Per quanto riguarda il comportamento di *lying*, se il bilancio tra le ore giornaliere trascorse nella posizione di decubito e quelle ritenute necessarie diventa negativo, si possono avere ripercussioni negative sul livello di produzione. I vantaggi riconosciuti del tempo trascorso in *lying* sono:

- una più efficace ruminazione (il 95% delle ore dedicate a questa attività, si realizza quando la vacca è in *lying*);
- un risparmio del carico sugli arti (soprattutto quelli posteriori che devono sostenere il peso della mammella);
- un aumento del flusso di sangue alla ghiandola della mammella;
- un aumento dell’assunzione di alimenti.

Ciascuno di questi fattori contribuisce, seppure in maniera diversa, a un incremento della produzione giornaliera di latte.

Nella Tabella 1 è riportata la distribuzione del Time Budget tra le diverse attività svolte dalle bovine a stabulazione libera, secondo diversi autori.

**Tabella 1 - Distribuzione del Time Budget per le bovine da latte.**

Attività	Ore/giorno	Fonte
	3-5	Grant e Albright (2000)
<i>Feeding</i>	4,1-6,5	Metz (1974); citato da Albright e Arawe (1997)
	5,5	Matzke (2003)
	6,5	Albright (1993)
	12-14	Grant e Albright (2000)
	11,8-14,1	Matzke (2003)
<i>Lying</i>	8	Albright (1993)
	11,54	Dechamps et al., (1989)
	12	Ruckebusch(1974); Metz (1985); Kron e Munksgaard (1993)
	11,37-13,70	Cook et al.,(2005); Drissier et al., (2005)
	5,6-17,5	Fregonesi e Leaver (2001)
<i>Perching</i>	8-12	Anderson (2008)
	8-14	Carreira et al., (2009)
	0,10-1	Anderson (2008)
Ruminazione	7-10	Grant e Albright (2000)
	7,7-9,6	Metz (1974); citato da Albright e Arawe (1997)
	8	Albright (1993)
Interazioni sociali	2-3	Grant e Albright (2000)
Assunzione di acqua	0,30	Grant e Albright (2000)
Mungitura	2,5-3,5	Grant e Albright (2000)

### 2.6.1 Alimentazione alla mangiatoia - feeding

Tradizionalmente, le bovine da latte manifestano comportamenti alimentari diurni per cui esse sfruttano la maggior parte della capacità di ingestione tra l’alba e il tramonto (DeVries et al., 2003b; Hafez e Boissou, 1975).

Grant e Albright (2000) affermano che i fattori gestionali della stalla come i gruppi, il sistema di alimentazione e le attrezzature, la composizione e le caratteristiche fisiche dell’alimento, la gerarchia sociale e il livello di competizione per il cibo e l’acqua, sono tutti fattori che influenzano in modo significativo il comportamento di alimentazione alla mangiatoia (*feeding*) delle bovine.

In molte stalle, l’alimento fresco è distribuito mentre le bovine si trovano nell’area di mungitura. La presenza di alimento fresco quando le bovine rientrano dalla mungitura serve a stimolare le bovine a recarsi alla mangiatoia piuttosto che a sdraiarsi in *lying*. Ciò può ridurre il rischio potenziale di mastiti in quanto favorisce la possibilità che trascorra un tempo sufficiente affinché i canali della mammella si chiudano prima di venire a contatto con la superficie del pavimento della stalla (Johansson et al; 1999; Tyler et al; 1997).

DeVries e von Keyserlingk (2005) hanno condotto una prova in una stalla a stabulazione libera, somministrando l’alimento subito dopo il ritorno in stalla delle bovine dalla mungitura e hanno registrato un’affluenza alla mangiatoia del 50% delle bovine dopo la mungitura mattutina e una presenza alla mangiatoia del 60% dopo la mungitura pomeridiana. Successivamente, coinvolgendo i medesimi animali hanno avviato una seconda prova in cui hanno somministrato l’alimento 6 ore dopo ciascuna delle due mungiture. In questo caso hanno registrato una

presenza in mangiatoia subito dopo la mungitura di circa il 35% degli animali e una presenza subito dopo la somministrazione dell'alimento fresco dell'80%. I risultati di questo lavoro permettono di concludere che somministrando l'alimento in un momento diverso da quello immediatamente successivo alla mungitura si ottiene un aumento del tempo giornaliero speso per l'alimentazione e una redistribuzione del Time Budget giornaliero delle bovine. Ma questi risultati indicano, anche, che la distribuzione di alimento fresco stimola maggiormente le bovine ad alimentarsi piuttosto che il ritorno dalla mungitura. Pertanto, si può concludere affermando che il Time Budget delle bovine allevate in ambiente confinato è largamente influenzato dalla tempistica della distribuzione dell'alimento.

Va precisato che anche le caratteristiche costruttive dell'edificio zootecnico possono influenzare il comportamento di *feeding* e il Time Budget giornaliero delle bovine. Ad esempio, DeVries et al., (2004, 2006) e Huzzey et al., (2006) hanno studiato l'influenza delle dimensioni del fronte di mangiatoia sul Time Budget giornaliero e sulla competitività tra gli esemplari della stessa mandria.

In particolare, DeVries et al., (2004) hanno osservato che raddoppiando la larghezza del fronte di mangiatoia da 0,50 m/capo a 1,00 m/capo il tempo dedicato dalle bovine all'alimentazione si incrementa del 14%. In uno studio successivo, DeVries et al., (2006) hanno dimostrato che aumentando la larghezza del fronte di mangiatoia da 0,64 m/capo a 0,92 m/capo il tempo giornaliero dedicato al *feeding* aumenta del 4,6% e la competizione tra le bovine diminuisce sensibilmente. Tale risultato è confermato anche da Huzzey et al., (2006) i quali hanno riscontrato un aumento del tempo giornaliero speso in mangiatoia pari all'1,2% allorché il fronte di mangiatoia è stato allargato da 0,61 m/capo a 0,81m/capo.

Si può affermare, per concludere, che le bovine da latte ricavano benefici in termini di aumento del tempo giornaliero dedicato al comportamento di *feeding* quando aumenta lo spazio disponibile in mangiatoia.

L'attività di *feeding* è influenzata, anche, dalle condizioni microclimatiche interne alla stalla, in particolare quando si verifica l'innalzamento delle temperature e l'animale percepisce lo stress da caldo, si riduce il suo consumo di sostanza secca e diminuisce la frequenza di alimentazione durante le ore diurne. Tuttavia, durante le ore serali, la notte e le prime ore del mattino il tempo speso in mangiatoia aumenta (Schneider et al., 1988).

Cook et al., (2006) confermano che lo stress da caldo influenza negativamente il comportamento di *feeding* delle bovine da latte e affermano che la capacità d'ingestione di sostanza secca è ridotta. Sembra opportuno sottolineare che essi, però, nel loro studio non mettono in evidenza nessun cambiamento del tempo giornaliero dedicato al *feeding* all'aumentare dei valori di THI. Ciò può essere spigato considerando che nella stalla oggetto di sperimentazione era installato un sistema di raffrescamento sulla corsia di alimentazione. Questo sistema con la sua azione evitava l'innalzamento delle temperature dell'aria evitando possibili variazioni del tempo giornaliero speso in *feeding*.

### 2.6.2 Decubito all'interno delle cuccette - Lying

Il decubito delle bovine all'interno delle cuccette (*lying*) è un importante comportamento che occupa almeno il 50% del loro Time Budget giornaliero (Dechamps *et al.*, 1989; Krohn e Munksgaard, 1993; Metz, 1985; Ruckebusch, 1974). Per le bovine in lattazione, l'afflusso di sangue alla ghiandola mammaria è incrementato durante la posizione di *lying* (Metcalf *et al.*, 1992; Rulquin e Caudal, 1992) e quando gli animali sono privati del *lying*, la concentrazione plasmatica dell'ormone della crescita è ridotta e ciò influisce sulla produzione di latte (Munksgaard e Løvendahl, 1993).

Un *lying* disturbato può incrementare l'attività dell'ipotalamo-ipofisi (Ladewing e Smidt, 1989) e del sistema nervoso simpatico nelle bovine (Müller *et al.*, 1989). L'ipotalamo è una minuscola ma importantissima area dell'encefalo che controlla numerose funzioni organiche (temperatura corporea, frequenza cardiaca, bilancio idrico, respirazione, pressione sanguinea, ecc.) ed è strettamente collegato col funzionamento del sistema endocrino, a cui è anche connesso strutturalmente costituendo la neuroipofisi (sistema neuroendocrino) e immunitario. Il suo compito è la conservazione dell'omeostasi (o equilibrio funzionale). In presenza di un fattore di stress, l'ipotalamo interviene tentando di conservare lo stato di normalità dell'organismo, agendo direttamente sul sistema nervoso autonomo e sull'apparato endocrino. Quest'ultimo secernendo ormoni specifici stimola il sistema simpatico provocando numerose ulteriori reazioni organiche. L'effetto è un aumento del metabolismo: il cuore accelera i propri battiti, la pressione sanguinea s'innalza, la sudorazione aumenta, si ha un incremento della funzione respiratoria, le pupille si dilatano, la bocca s'inaridisce, i peli cutanei si rizzano. Il sangue confluisce dalle aree periferiche (vasocostrizione periferica accompagnata da facilitazione della coagulazione) e dagli organi secondari verso quelli più necessari e importanti (cuore, polmoni) per aumentarne al massimo l'efficienza. La funzione digestiva tende ad arrestarsi. Intanto, i muscoli scheletrici si contraggono provocando un aumento del tono muscolare. Infine, l'irrorazione sanguinea diminuisce anche in alcune aree del cervello. Aumenta quindi l'agitazione.

Quindi, al fine di assicurare il benessere e la produttività delle bovine da latte, è importante ottimizzare il tempo di *lying* (Haley *et al.*, 2001).

In stalle confortevoli, le bovine trascorrono circa il 60% del giorno in *lying* e raramente si trovano in *perching* o in *standing*.

Esperimenti condotti da Fregonesi e Leaver (2001) testimoniano che la durata del periodo di *lying* individuale oscilla da 5,6 ore alle 17,5 ore al giorno.

Nel caso specifico delle bovine da latte, il tempo speso in *lying*, la frequenza dei periodi di *lying* (il numero di intervalli tra lo *standing* e il *lying*) e la durata individuale dei periodi di *lying* sono stati utilizzati come misura sensibile del comfort della stalla (Haley *et al.*, 2000) e sono utili indicatori del benessere animale (Fregonesi and Leaver, 2001). Recenti studi sul tempo di *lying* di bovine ospitate in stalle a stabulazione libera a cuccette riportano un range di tempo medio di *lying* da 11,37 a 13,70 h/giorno (Cook *et al.*, 2005; Drissler *et al.*, 2005).

Il *lying* è considerato la più alta priorità rispetto al nutrirsi e al contatto sociale quando le opportunità di manifestare questi comportamenti sono limitate. Munksgaard *et al.* (2005) lo hanno dimostrato in uno studio che aveva come scopo l'individuazione delle priorità relative tra: *lying*, *feeding* e il contatto sociale di bovine in differenti stadi di lattazione. Tali comportamenti sono stati esaminati in esperimenti diversi nei quali, per un numero variabile di ore, gli animali venivano privati dell'alimentazione, del *lying* e del contatto con gli altri. Riducendo il tempo di libero accesso alle risorse si riduceva il tempo speso per tutte le attività comportamentali misurate, ma la durata del tempo speso in *lying* cresceva mentre il tempo speso in *feeding* e ad esplicitare altri comportamenti sociali rimaneva costante. La velocità del consumo di alimento cresceva quando diminuiva il tempo a disposizione per alimentarsi, in tal modo non veniva ridotta la quantità di alimento consumato. Lo stato di lattazione non influenzava le priorità relative tra i comportamenti esaminati. In conclusione, è stato riscontrato che il *lying* ha la più alta priorità, ma le bovine riuscivano a compensare in parte la riduzione del tempo dedicato all'alimentazione incrementando la velocità di ingestione. Così, il consumo di alimento veniva ridotto in misura minore rispetto alla riduzione del tempo dedicato all'alimentazione mentre poco tempo veniva dedicato al contatto sociale.

È opportuno affermare che il comportamento di *lying* nelle stalle a stabulazione libera a cuccette è influenzato da molteplici fattori quali: il progetto della stalla e i fattori gestionali, includendo la superficie della stalla e la qualità della lettiera (Drissler *et al.*, 2005; Fregonesi *et al.*, 2007b; Tucker *et al.*, 2003), le dimensioni delle cuccette e la loro configurazione (Tucker *et al.*, 2004, 2006), la densità di animali (Fregonesi *et al.*, 2007a), la localizzazione delle cuccette e la conformazione dei battifianchi (Wagner-Storch *et al.*, 2003), la pavimentazione dei recinti (Fregonesi *et al.*, 2004), la gestione delle mungiture e dell'alimentazione (Devries and Von Keyserlink, 2005; Overton *et al.*, 2002). Il tempo che le bovine trascorrono in *lying* cambia semplicemente cambiando la gestione delle cuccette (Mattachini *et al.* 2011): per esempio, il tempo trascorso in *lying* aumenta da 8,8 a 13,8 h/giorno quando la lettiera umida viene sostituita con la lettiera asciutta (Fregonesi *et al.*, 2007b), ma decresce di 1,7 h/giorno quando lo *stocking rate* (il numero di bovine per cuccetta) aumenta del 50% (Fregonesi *et al.*, 2007a). In aggiunta a questi fattori ambientali e gestionali, il tempo di *lying* delle bovine è influenzato dal loro stato sociale all'interno della mandria (Galindo and Broom, 2000), dalla loro produzione di latte e dal loro stato generale di salute (Fregonesi and Leaver, 2001; Walker *et al.*, 2008).

Il tempo di *lying* individuale è influenzato da un range di fattori genetici e ambientali (Wierenga and Hopster, 1990). La ricerca ha dimostrato l'importanza della variazione del tempo di *lying* tra gli animali all'interno della stessa mandria. Il sincronismo del *lying* all'interno di una mandria potrebbe essere l'indicatore di benessere più sensibile, tale che la quantità di tempo medio totale di *lying* è relazionata al disturbo sociale e alla mancanza di comfort (Nielsen *et al.*, 1997). La perdita di sincronismo può provocare frustrazione negli animali e conseguentemente una riduzione del benessere (Miller and Wood-Gush, 1991).

Lo stress da caldo e le zoppie influenzano il tempo in cui l'animale rimane in *standing* o in *lying* (Cook *et al.*, 2007; Provolo *et al.*, 2007; Zahner *et al.*, 2004). Tale influenza è stata osservata anche in uno studio condotto da Cook *et al.*, (2006). In particolare, essi hanno registrato una riduzione di circa 3 ore/giorno del tempo dedicato al *lying* quando i valori del THI ricadono nell'intervallo compreso tra 56,2 e 73,8. Tale riduzione del tempo di *lying* rappresenta uno dei fattori che favoriscono lo sviluppo di lesioni agli zoccoli (Leonard *et al.*, 1996) e potrebbe contribuire all'aumento della percentuale di capi con lesioni agli zoccoli durante i mesi estivi (Cook, 2004).

Overton *et al.*, (2002) hanno documentato l'esistenza di comportamenti abitudinari che le bovine svolgono nell'arco di una giornata e hanno notato una relazione inversa tra il tempo speso in *lying* e l'aumento della temperatura dell'aria.

### **2.6.3 Posizione di stazionamento in piedi e/o deambulazione - standing**

Cook *et al.*, (2006) affermano che vi sono quattro cause fondamentali, nei moderni allevamenti di bovine da latte, che provocano l'aumento del tempo giornaliero dedicato alla posizione di stazionamento in piedi e/o alla deambulazione (*standing*): le condizioni termo-igrometriche interne non ottimali, la non confortevole organizzazione degli spazi interni della stalla, il sovraffollamento della stalla e un tempo troppo prolungato per effettuare la mungitura.

Tra i fattori sopracitati, si è concentrata l'attenzione sugli effetti delle condizioni microclimatiche. Igono *et al.*, (1987) affermano nei loro studi che in condizioni climatiche di stress da caldo, le bovine trascorrono una considerevole parte del giorno in *standing* piuttosto che in *lying*. Shultz, (1984) specifica che la percentuale di bovine che rimane in *standing* aumenta linearmente con il crescere della temperatura dell'aria.

Zahner *et al.*, (2004) hanno condotto una ricerca in nord Europa sull'influenza delle condizioni climatiche sulle prestazioni produttive delle bovine e sul loro comportamento. I risultati di tale ricerca hanno evidenziato come l'incremento del THI influenza il comportamento delle bovine determinando un decremento del tempo speso in *lying* e un aumento del tempo speso in *standing*. Viceversa, il tempo speso in *lying* e in *standing* non sono relazionabili all'indice THI durante la notte.

I risultati della sperimentazione condotta da Provolo *et al.*, (2007), confermano quanto descritto in letteratura, infatti è stato evidenziato come all'aumentare del THI diminuisce la percentuale di bovine che riposano nelle cuccette.

### 3. MATERIALI E METODI

Come confermano le sperimentazioni svolte da Kadzere et al., (2002), la selezione genetica per l'aumento di produzione di latte è correlata a un aumento del calore prodotto dalle bovine, con conseguente maggiore predisposizione degli animali allo stress da caldo. Per questo motivo è molto importante il controllo delle condizioni termiche all'interno della stalla soprattutto nel periodo estivo, quando si rischia un aumento della temperatura ambientale fino a raggiungere valori che causano stress termico agli animali.

Poiché il comportamento degli animali rappresenta uno degli indicatori più frequentemente usati per la valutazione delle loro condizioni di benessere, la sperimentazione svolta ha riguardato l'analisi del comportamento di un gruppo di bovine da latte allevate in una stalla a stabulazione libera, in relazione alla gestione della mandria attuata dall'allevatore, alle condizioni microclimatiche dell'ambiente di stabulazione e al funzionamento di due differenti impianti di raffrescamento: un impianto di raffrescamento evaporativo dell'aria, costituito da erogatori d'acqua nebulizzata e ventilatori, localizzato nella zona di riposo a cuccette e un impianto di bagnatura diretta del corpo delle bovine associato a ventilazione forzata installato nella corsia di alimentazione. L'installazione di tali sistemi di raffrescamento è avvenuta precedentemente l'inizio della sperimentazione, ma l'analisi della letteratura specifica ha confermato che l'uso di nebulizzatori e di ventilatori rappresenta un valido strumento per contrastare lo stress da caldo (Armstrong, 1994).

In particolare, sistemi di raffrescamento basati sull'uso combinato di ventilatori e nebulizzatori hanno determinato un aumento della capacità di ingestione (+9,2%) e di produzione di latte (+15,9%) (Turner et al., 1992). Tali sistemi sono consigliati anche per compensare le perdite di acqua da parte dell'animale dovute all'attivazione dei meccanismi termoregolatori (Shalit et al., 1991).

Gottardo et al., (2005) hanno condotto una prova su 30 aziende localizzate nella provincia di Padova, nelle quali era installato un sistema di raffrescamento basato sull'uso combinato di ventilatori e nebulizzatori. I risultati di tali prove hanno permesso di affermare che le bovine manifestano un effettivo beneficio dall'attivazione del sistema di raffrescamento e che i risultati ottimali si ottengono quando il sistema di raffrescamento è automatizzato e si attiva dopo che i valori di THI raggiungono la soglia di 75, mentre le diverse dimensioni dei ventilatori non hanno influenza rilevante sui valori di THI né sui parametri fisiologici e produttivi.

Anche Frazzi et al., (2000) hanno condotto una ricerca in cui sono stati evidenziati, in condizioni di stress termico, gli effetti positivi della modificazione delle condizioni microclimatiche interne alla stalla. Tali Autori, inoltre, hanno osservato che quando all'interno dell'edificio zootecnico è installato un sistema di raffrescamento basato sull'uso combinato di ventilatori e nebulizzatori, il numero delle bovine che stanno in *standing* si riduce a vantaggio di quelle in *lying*.

Per quanto riguarda il sistema di bagnatura diretta del corpo degli animali, alcuni studi ne hanno dimostrato l'utilità per le bovine da latte, stabulate in ambienti caldo-temperati. Ad esempio Perrisnotto et al., (2006) nella loro sperimentazione hanno notato come le bovine spendevano molto tempo durante il giorno, nelle vicinanze degli erogatori d'acqua soprattutto se questi erano installati lungo la corsia di alimentazione. Anche Barbari et al., (2011) hanno condotto una sperimentazione in una stalla situata nella piana del fiume Po, dove era installato un sistema di bagnatura diretta del corpo degli animali solo in corrispondenza della corsia di alimentazione. I ventilatori e gli erogatori erano sincronizzati e si attivavano a intervalli variabili in funzione della temperatura interna alla stalla. In tale studio è stato osservato che in estate, durante le ore più calde della giornata, le bovine rimanevano per lunghi periodi nella corsia di alimentazione per beneficiare del sistema di bagnatura. Conseguentemente il tempo trascorso in *lying* veniva ridotto, provocando effetti negativi sul benessere sugli animali.

### **3.1 Descrizione dell'edificio sede della sperimentazione**

La sperimentazione ha avuto luogo presso una stalla per bovine da latte a stabulazione libera sita in c.da Pettineo/Pozzilli nel territorio del comune di Vittoria (RG), alla altitudine di 234 m s.l.m. L'edificio ha pianta di forma rettangolare, con lati di dimensioni 55,60 m e 20,75 m e con asse longitudinale orientato in direzione nord-est – sud-ovest. I lati rivolti a sud-est, a nord-est e a nord-ovest sono completamente aperti. Il lato rivolto a sud-ovest, invece, è completamente chiuso. L'edificio ha struttura portante mista, costituita in parte da pilastri e travi in calcestruzzo armato e in parte da pilastri e travi reticolari in profilati di acciaio. La copertura, a due falde simmetriche con apertura di colmo centrale, è costituita da lastre continue in fibrocemento sorrette da arcarecci e travi reticolari di acciaio. La zona di riposo è costituita da 64 cuccette, di dimensioni 1,20 m × 2,15 m, disposte su due file testa a testa, suddivise in 3 aree. Le cuccette sono delimitate a nord-est dalla corsia di servizio e a sud-ovest dalla corsia di alimentazione. Tali due corsie sono messe in comunicazione da 6 corridoi trasversali che separano le 3 aree di riposo.

All'interno della stalla è stata individuata un'area nella quale è stata svolta la sperimentazione oggetto del presente studio. Tale area, avente lunghezza di 15,40 m, nella direzione parallela all'asse longitudinale della stalla, e larghezza di 11,50 m, comprendeva una zona di riposo costituita da 16 cuccette con le relative corsie di servizio e di alimentazione collegate da due corridoi trasversali. Per l'intera durata della sperimentazione all'interno di tale area sono state stabulate 15 bovine di razza frisona.

### **3.2 Gestione della mandria**

Alcuni aspetti della gestione della mandria da parte dell'allevatore hanno influenza sul comportamento delle bovine e di conseguenza anche sul campionamento delle osservazioni.

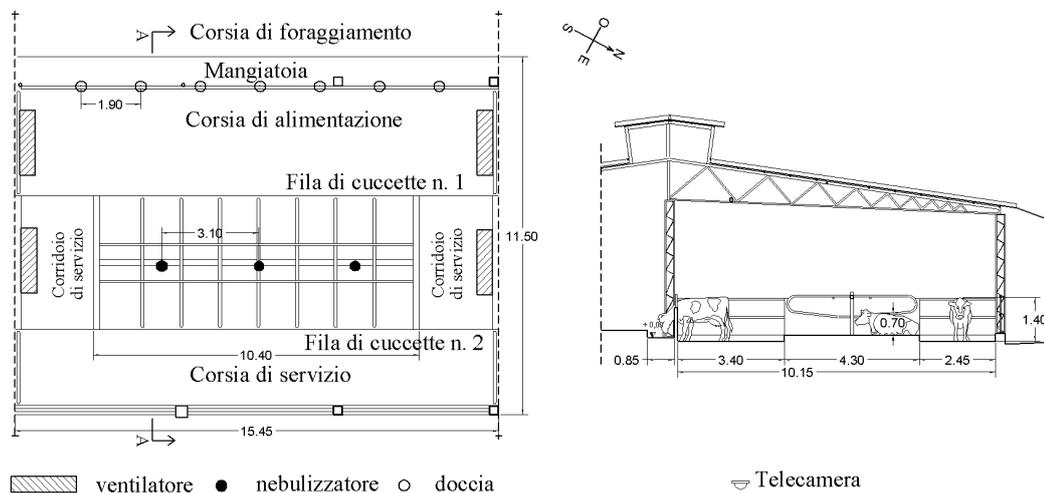
L'allevatore attua una routine delle operazioni giornaliere più o meno costante, che si differenzia, però, tra il periodo estivo e quello invernale.

Nel periodo estivo, l'allevatore svolge la prima mungitura nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 5:40 e le ore 6:20 circa e la seconda mungitura dalle ore 17:30 alle ore 18:00 circa; mentre nella stagione invernale, l'allevatore compie la prima mungitura dalle ore 6:20 alle ore 7:00 circa e la seconda nell'intervallo di tempo di tempo compreso dalle 16:20 alle ore 17:00, in tali fasce orarie il comportamento delle bovine non è stato analizzato poiché esse si trovavano all'esterno della stalla, nella zona di mungitura.

L'allevatore svolge dalle ore 8:00 alle ore 9:00 la pulizia della corsia di alimentazione e la distribuzione della sabbia pulita nelle cuccette. Anche in tale intervallo di tempo i comportamenti delle bovine non sono stati analizzati poiché infatti le bovine venivano confinate dall'allevatore all'interno di un unico box.

### 3.3 Sistema di raffrescamento

La stalla è dotata di due differenti impianti di raffrescamento. In particolare, in corrispondenza della zona di riposo a cuccette è installato un impianto di raffrescamento evaporativo composto da erogatori d'acqua nebulizzata e ventilatori (Figura 6) mentre in corrispondenza della corsia di alimentazione è installato un impianto a doccia per la bagnatura diretta del corpo degli animali accoppiato a ventilatori (Figura 7 – Attivazione del sistema di bagnatura diretta del corpo delle bovine). Nell'area scelta per la sperimentazione i due impianti sono composti come descritto nel seguito (Figura 5)



**Figura 5 - Pianta e sezione dell'area della stalla in cui è stata svolta la prova.**

L'impianto di raffrescamento evaporativo comprende 2 ventilatori assiali del tipo "box fan", di diametro 1400 mm, posizionati sopra le cuccette a una distanza di circa 14 m l'uno dall'altro, con l'asse di rotazione posto a un'altezza di circa 2,75 m dal pavimento delle cuccette e parallelo all'asse longitudinale della stalla. La portata di ciascun ventilatore è di 34600 m<sup>3</sup>/h. Completano l'impianto 3

erogatori d'acqua nebulizzata posizionati a un'altezza di circa 2,9 m dal pavimento delle cuccette con un interasse di 3,10 m (Figura 5 - Pianta e sezione dell'area della stalla in cui è stata svolta la prova.). La pressione di esercizio è pari a 2 bar e la portata dell'impianto è di 1,01 l/min. L'attivazione dei ventilatori e degli erogatori è indipendente.

Il sistema di bagnatura diretta è composto da 7 erogatori semicircolari a doccia posizionati al di sopra della rastrelliera a un'altezza di 2,0 m dal pavimento, con un interasse di 1,90 m e orientati verso l'interno della corsia di alimentazione (Figura 5). La pressione di esercizio è pari a 2 bar e la portata è di 2,57 l/min. L'impianto è completato da 2 ventilatori assiali di diametro 900 mm, posizionati sopra la corsia di alimentazione a una distanza di circa 14 m l'uno dall'altro, con l'asse di rotazione posto a un'altezza di circa 2,7 m dal pavimento e parallelo all'asse longitudinale della corsia. La portata di ciascun ventilatore è pari a 22250 m<sup>3</sup>/h. Anche in questo caso l'attivazione degli erogatori e dei ventilatori è indipendente.

Durante lo svolgimento della sperimentazione, l'attivazione e la disattivazione degli impianti sono state temporizzate (Tabella 2) in relazione alle consuetudini gestionali dell'allevatore, alle indicazioni da egli fornite relativamente ai comportamenti degli animali durante le ore diurne e notturne. Invece, per quanto riguarda il funzionamento di ciascun impianto le temperature di attivazione/disattivazione dei ventilatori e gli intervalli di erogazione dell'acqua sono stati determinati sulla base di prove sperimentali analoghe condotte in studi precedenti. In particolare, i ventilatori dell'impianto di raffrescamento evaporativo si accendevano per 5 minuti a intervalli di 20 minuti se la temperatura dell'aria era inferiore a 27°C, altrimenti rimanevano sempre accesi. Gli erogatori di acqua nebulizzata entravano in funzione a intervalli di 1,5 minuti quando la temperatura dell'aria era maggiore o uguale a 29°C e rimanevano attivi per 15 secondi.

Per quanto riguarda i ventilatori dell'impianto di bagnatura diretta, essi si accendevano per 5 minuti a intervalli di 20 minuti se la temperatura dell'aria all'interno della stalla era minore di 25°C, altrimenti rimanevano sempre accesi. Gli erogatori entravano in funzione a intervalli di 5 minuti quando la temperatura dell'aria era maggiore o uguale a 29°C e rimanevano attivi per 12 secondi. Durante la bagnatura i ventilatori si spegnevano automaticamente per evitare che l'acqua erogata dalle docce si disperdesse lontano dalla corsia di alimentazione.

Entrambi gli impianti di raffrescamento rimanevano inattivi durante le due mungiture e la pulizia della corsia di alimentazione.

**Tabella 2 - Intervalli di attivazione degli impianti tra fine giugno e fine agosto.**

Impianto	Zona	Intervallo di attivazione
Bagnatura diretta	Corsia di alimentazione	09:00 - 11:00
Raffrescamento evaporativo	Cuccette	11:00 - 14:30
Bagnatura diretta	Corsia di alimentazione	14:30 - 17:00
Raffrescamento evaporativo	Cuccette	17:00 - 17:30
Raffrescamento evaporativo	Cuccette	20:00 - 05:30



**Figura 6 – Attivazione del sistema di raffreddamento evaporativo**



**Figura 7 – Attivazione del sistema di bagnatura diretta del corpo delle bovine**

### 3.4 Metodologie di campionamento del comportamento animale

Il comportamento degli animali è molto variabile, animali appartenenti alla stessa specie si comportano in modo differente l'uno dall'altro anche quando si trovano in situazioni simili. Per tale motivo, per ottenere uno studio sperimentale valido e completo del comportamento animale è necessario definire, fin dall'inizio della sperimentazione, quanti e quali animali osservare e con quali modalità svolgere le osservazioni. In una situazione ideale, andrebbero osservati il maggior numero di animali con il massimo grado di precisione, ma nella pratica bisogna trovare una soluzione compatibile con le risorse umane ed economiche disponibili per realizzare l'indagine sperimentale (Albertini et al., 2008).

Per stabilire il numero di animali da osservare bisogna considerare anche il fine dell'analisi comportamentale, infatti se l'obiettivo è studiare la sincronia di comportamenti intra e interspecifici è necessario studiare tutti gli animali presenti nella mandria. Se, invece, il fine della ricerca è studiare un comportamento in particolare, potrebbe essere vantaggioso osservare un singolo animale, che viene definito "*focal animal*", nel caso in cui un determinato comportamento interessi più animali, vanno osservati più individui contemporaneamente che vengono definiti "*focal group sampling*" (Albertini et al., 2008; Martini e Bateson, 2007).

Successivamente, è necessario stabilire l'intervallo temporale delle osservazioni. Possono essere effettuate osservazioni "*ad libitum*", cioè osservazioni generali di tutti gli eventi senza nessun schema prestabilito, ma tale metodo è poco usato perché i dati raccolti sono molto disomogenei e difficili da codificare nella fase di elaborazione.

Più frequentemente utilizzata è l'osservazione continua di uno o più comportamenti, definita "*continuous recording*"; in questo metodo vengono raccolti una quantità cospicua di dati che risultano precisi e completi. Tale metodo ha il vantaggio di permettere il monitoraggio della successione temporale dei comportamenti; in più esso è l'unico metodo applicabile per i comportamenti che hanno una bassa frequenza o una breve durata. Viceversa ha lo svantaggio di risultare molto complicato se si è scelto un numero elevato di animali da osservare (Vasilatos e Wangsness, 1980).

Infine, un altro metodo è il "*time sampling*" cioè l'osservazione a tempo campionato, appropriato per osservare più animali contemporaneamente. Esso può essere attuato in modi diversi:

- *one/zero sampling* (1/0) consiste nell'accertare la presenza (1) o l'assenza (0) di un prestabilito comportamento in un dato intervallo di tempo (intervallo campione), alla fine dell'osservazione si sommano i valori rilevati e si ottiene un numero che indica tutti gli intervalli di tempo in cui il comportamento si è verificato (Albertini et al., 2008; Martini e Bateson, 2007);
- *instantaneous sampling* (IS) (campionamento istantaneo) o *scan sampling* (campionamento a scansione), consiste nel registrare il comportamento di un animale o più frequentemente di un gruppo di animali in un dato momento detto "punto campione" (Albertini et al., 2008; Martini e Bateson, 2007). Ha il vantaggio di consentire il monitoraggio contemporaneo di molti animali e di tanti comportamenti; è un metodo molto valido per lo studio della sincronia

comportamentale di gruppi numerosi di animali; anche questo metodo non fornisce né la durata né la frequenza dei comportamenti ma può fornire solo una ripartizione percentuale del tempo impiegato nelle diverse attività comportamentali.

Per entrambi i metodi sopracitati risulta importante definire un adeguato intervallo temporale tra i punti campione (Mitlohner, 2001). Essi devono essere abbastanza ravvicinati da permettere una stima realistica della percentuale di tempo dedicato alle varie attività, cercando di contenere l'impiego delle energie dedicate all'osservazione.

### **3.5 Campionamento del comportamento delle bovine da latte**

Nel presente studio, l'analisi del comportamento degli animali è stata svolta mediante il metodo dello *scan sampling*, che ha previsto di analizzare la registrazione di un'immagine panoramica della stalla, ripresa ad istanti successivi di 10 minuti, nell'intervallo del giorno compreso tra le 6:00 e le 19:50 nei mesi estivi e tra le 7:00 e le 16:30 nei mesi invernali. La scelta di tale tempo di campionamento ha comportato la selezione di 84 immagini panoramiche per ciascuna giornata esaminata nei mesi estivi e 58 immagini panoramiche per ciascuna giornata esaminata nei mesi invernali.

Come già menzionato, gli animali scelti come campione rappresentativo della mandria sono stati 15 e i comportamenti esaminati sono stati quattro: *lying*, *standing*, *feeding* e *perching*.

### **3.6 Osservazione del comportamento**

Il comportamento delle bovine è stato analizzato mediante l'osservazione diretta di videoriprese provenienti da un sistema costituito da 10 telecamere installate in modo da ottenere la vista planimetrica dell'area di riposo a cuccette, della corsia di alimentazione, della rastrelliera e della mangiatoia.

L'analisi visiva delle immagini panoramiche selezionate ha permesso di analizzare quattro comportamenti delle bovine fra quelli più frequentemente oggetto di studio (Bava *et al.*, 2012; DeVries *et al.*, 2003; Fregonesi *et al.*, 2007; Overton *et al.*, 2002; Provolo e Riva, 2009) per la loro elevata relazione con lo stato di benessere delle bovine da latte: *feeding*, *standing*, *lying* e *perching*.

Per ogni giorno di sperimentazione è stata compilata un'apposita scheda elettronica predisposta all'interno di un database, nella quale veniva riportato il numero di animali impegnato nelle diverse attività. Lo studio del comportamento delle bovine ha permesso di calcolare alcuni indici comportamentali per ciascuna delle attività considerate e di metterli in relazione con gli indici di stress termico THI (*Temperature Humidity Index*) e BGHI (*Black Globe Humidity Index*), frequentemente impiegati in letteratura per la valutazione del livello di stress da caldo delle bovine da latte.

La sperimentazione ha avuto inizio l'1 agosto 2011 e si è conclusa il 29 luglio 2012, per una durata complessiva di un anno. L'intero periodo della sperimentazione è stato suddiviso in settimane così come riportato in Tabella 3.

Alcune settimane sono state eliminate dall'analisi dei dati perché presentavano rilevazioni insufficienti, a causa di malfunzionamenti del sistema di videoriprese o dei sensori di rilevamento dei dati termo-igrometrici. In particolare le settimane eliminate sono state: la numero 2, 5, 9, 10, 11, 12, 22, 24, 29, 32, 33 e 50 (Tabella 3). Di conseguenza l'analisi dei dati ha riguardato un totale di 41 settimane nell'arco dell'anno di rilevazioni considerato.

Il comportamento degli animali è stato studiato con l'ausilio di un sistema di videocamere appositamente progettato e installato nella zona della stalla in cui è stata svolta la sperimentazione. Per la realizzazione del sistema di videoripresa sono state scelte telecamere *Vivotek FD7131* con risoluzione massima di 640×480 pixel e capacità di acquisizione massima di 30 fps, dotate di interfaccia HTTP e di LED (*light emitting diode*) per l'illuminazione notturna. Al fine di ottenere la vista planimetrica dell'ambiente di stabulazione oggetto della prova, sono state impiegate 10 telecamere, 6 per riprendere la corsia di alimentazione, la rastrelliera e la mangiatoia e 4 per riprendere la zona di riposo. La corsia di servizio adiacente alla fila di cuccette n. 2 (Figura 5) non è stata ripresa dalle telecamere. Le telecamere sono state montate su travi di acciaio mediante apposite staffe di fissaggio e sono state disposte a interasse regolare in modo da inquadrare la stalla dall'alto e ottenere immagini in pianta.

Un software appositamente sviluppato ha consentito l'acquisizione di *snapshots* con la frequenza di 1 fps per ciascuna telecamera, nell'intervallo orario diurno compreso tra le 6:00 e le 19:50. Il software, utilizzando anche librerie grafiche OPENCV, ha applicato a ciascuna serie di *snapshots* operazioni di sincronizzazione, raddrizzamento, ridimensionamento, rotazione e unione per produrre in output un'immagine panoramica di dimensioni 1044×1920 pixel contenente la vista planimetrica dell'area della stalla in cui è stata svolta la prova (Figura 8). Inoltre, il software ha consentito di ottenere per l'intera durata giornaliera dell'intervallo di acquisizione delle 10 telecamere una sequenza video con frequenza di una immagine panoramica ogni 2 secondi.

I dati necessari per il calcolo degli indici comportamentali sono stati ricavati mediante l'impiego di un foglio elettronico contenente i dati riportati in Tabella 4.



**Figura 8 – Immagine panoramica dell'area della stalla oggetto della prova sperimentale.**

**Tabella 3 – Elenco delle settimane considerate nello studio comprese tra l'1 agosto 2011 e il 29 luglio 2012. In grigio le settimane eliminate dall'analisi dei dati.**

Settimana	Date	Settimana	Date
1	dal 01 al 07 agosto 2011	27	dal 30 gennaio al 05 febbraio 2012
2	dal 08 al 14 agosto 2011	28	dal 06 al 12 febbraio 2012
3	dal 15 al 21 agosto 2011	29	dal 13 al 19 febbraio 2012
4	dal 22 al 28 agosto 2011	30	dal 20 al 26 febbraio 2012
5	dal 29 agosto al 04 settembre 2011	31	dal 27 febbraio al 04 marzo 2012
6	dal 05 al 11 settembre 2011	32	dal 05 al 11 marzo 2012
7	dal 12 al 19 settembre 2011	33	dal 12 al 18 marzo 2012
8	dal 19 al 25 settembre 2011	34	dal 19 al 25 marzo 2012
9	dal 26 settembre al 02 ottobre 2011	35	dal 26 marzo al 01 aprile 2012
10	dal 03 al 09 ottobre 2011	36	dal 02 al 08 aprile 2012
11	dal 10 al 16 ottobre 2011	37	dal 09 al 15 aprile 2012
12	dal 17 al 23 ottobre 2011	38	dal 16 al 22 aprile 2012
13	dal 24 al 30 ottobre 2011	39	dal 23 al 29 aprile 2012
14	dal 31 ottobre al 06 novembre 2011	40	dal 30 aprile al 06 maggio 2012
15	dal 07 al 13 novembre 2011	41	dal 07 al 13 maggio 2012
16	dal 14 al 20 novembre 2011	42	dal 14 al 20 maggio 2012
17	dal 21 al 27 novembre 2011	43	dal 21 al 27 maggio 2012
18	dal 28 novembre al 04 dicembre 2011	44	dal 28 maggio al 03 giugno 2012
19	dal 05 al 11 dicembre 2011	45	dal 04 al 10 giugno 2012
20	dal 12 al 18 dicembre 2011	46	dal 11 al 17 giugno 2012
21	dal 19 al 25 dicembre 2011	47	dal 18 al 24 giugno 2012
22	dal 26 dicembre al 01 gennaio 2012	48	dal 25 giugno al 01 luglio 2012
23	dal 02 al 08 gennaio 2012	49	dal 02 al 08 luglio 2012
24	dal 09 al 15 gennaio 2012	50	dal 09 al 15 luglio 2012
25	dal 16 al 22 gennaio 2012	51	dal 16 al 22 luglio 2012
26	dal 23 al 29 gennaio 2012	52	dal 23 al 29 luglio 2012

**Tabella 4 – Esempio di scheda impiegata per il rilievo dei dati.**

Frame	Data	Ora	Feeding	Lying	Standing	Frame	Ora	Feeding	Lying	Standing
1	21/07/12	06:00	-	-	-	43	13:00	0	11	4
2	21/07/12	06:10	4	0	11	44	13:10	1	12	2
3	21/07/12	06:20	6	1	8	45	13:20	0	12	3
4	21/07/12	06:30	11	1	3	46	13:30	0	11	4
5	21/07/12	06:40	8	2	5	47	13:40	0	9	6
6	21/07/12	06:50	8	3	4	48	13:50	0	10	5
7	21/07/12	07:00	8	4	3	49	14:00	2	12	1
8	21/07/12	07:10	10	4	1	50	14:10	1	9	5
9	21/07/12	07:20	11	3	1	51	14:20	2	9	4
10	21/07/12	07:30	9	2	4	52	14:30	3	9	3
11	21/07/12	07:40	15	0	0	53	14:40	7	7	1
12	21/07/12	07:50	15	0	0	54	14:50	7	7	1
13	21/07/12	08:00	14	1	0	55	15:00	6	5	4
14	21/07/12	08:10	14	1	0	56	15:10	5	3	7
15	21/07/12	08:20	13	1	1	57	15:20	10	3	2
16	21/07/12	08:30	-	-	-	58	15:30	10	3	2
17	21/07/12	08:40	-	-	-	59	15:40	7	3	5
18	21/07/12	08:50	-	-	-	60	15:50	6	4	5
19	21/07/12	09:00	-	-	-	61	16:00	9	5	1
20	21/07/12	09:10	-	-	-	62	16:10	7	5	3
21	21/07/12	09:20	1	2	12	63	16:20	7	3	5
22	21/07/12	09:30	11	2	2	64	16:30	8	4	3
23	21/07/12	09:40	8	2	5	65	16:40	6	4	5
24	21/07/12	09:50	10	3	2	66	16:50	6	4	5
25	21/07/12	10:00	8	3	4	67	17:00	9	3	3
26	21/07/12	10:10	8	6	1	68	17:10	10	2	3
27	21/07/12	10:20	5	7	3	69	17:20	-	-	-
28	21/07/12	10:30	5	8	2	70	17:30	-	-	-
29	21/07/12	10:40	1	10	4	71	17:40	-	-	-
30	21/07/12	10:50	1	8	6	72	17:50	7	0	8
31	21/07/12	11:00	3	6	6	73	18:00	6	3	6
32	21/07/12	11:10	4	7	4	74	18:10	6	5	4
33	21/07/12	11:20	1	10	4	75	18:20	3	5	7
34	21/07/12	11:30	2	10	3	76	18:30	6	6	3
35	21/07/12	11:40	1	10	4	77	18:40	5	6	4
36	21/07/12	11:50	2	10	3	78	18:50	4	6	5
37	21/07/12	12:00	2	8	5	79	19:00	6	7	2
38	21/07/12	12:10	2	10	3	80	19:10	6	7	2
39	21/07/12	12:20	0	11	4	81	19:20	8	6	1
40	21/07/12	12:30	1	11	3	82	19:30	6	6	3
41	21/07/12	12:40	0	11	4	83	19:40	7	5	3
42	21/07/12	12:50	0	13	2	84	19:50	7	5	3

### 3.7 Rilievo dei dati climatici interni ed esterni all'edificio

Nel corso della prova sono state misurate le principali variabili climatiche esterne e microclimatiche interne alla stalla. In particolare, all'esterno dell'edificio, in corrispondenza della linea di colmo della copertura, sono stati misurati la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la velocità e la direzione del vento e il flusso della radiazione solare globale (Figura 9). All'interno dell'edificio, in corrispondenza della zona di riposo e a un'altezza di circa 2,0 m dal pavimento delle cuccette, sono state misurate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la temperatura al globotermometro, la velocità e la direzione dell'aria (Figura 10 –). Tutti gli strumenti sono stati collegati a un data-logger per l'acquisizione dei dati ogni 5 secondi e la registrazione dei corrispondenti valori

**Tabella 5 – Caratteristiche dei sensori impiegati per il rilievo dei dati climatici esterni ed interni all'edificio oggetto della sperimentazione.**

<i>Variabile</i>	<i>Sensore</i>	<i>Specifiche</i>	
Flusso della radiazione solare globale	Piranometro	Intervallo di lunghezza d'onda:	0,3 ... 3 $\mu\text{m}$
		Dipendenza della sensibilità dalla temperatura:	1% (-20°C ... 40°C)
		Tempo di risposta:	2,5 s
		Precisione:	$\pm 1,5\%$
Temperatura e umidità relativa dell'aria	Sensore combinato costituito da una termoresistenza al platino e un trasduttore a polimeri igroscopici, protetto da uno schermo a dischi sovrapposti in policarbonato.	Termoresistenza al platino (Pt 100 ohm 0°C)	
		Intervallo di misura:	-40°C ... 60°C
		Precisione:	$\pm 0,2^\circ\text{C}$ (a 20°C)
		Igrometro	
Dipendenza della sensibilità dalla temperatura:	$\pm 0,04\% \text{RH}/^\circ\text{C}$		
Precisione:	$\pm 2\%$ (a 20°C)		
Temperatura al globotermometro	Globotermometro costituito da una termoresistenza al platino posta all'interno di una sfera in rame di diametro 15 cm ed emissività pari a 0,95	Termoresistenza al platino (Pt 100 ohm 0°C)	
		Intervallo di misura:	-5°C ... 95°C
Velocità e direzione del vento	Anemometro sonico bidimensionale	Velocità	
		Intervallo di misura:	0 ... 60 m/s
		Precisione:	$\pm 2\%$ (a 12 m/s)
		Risoluzione:	0,01 m/s
		Soglia:	0,01 m/s
		Direzione	
Intervallo di misura:	0 ... 359°		
Precisione:	$\pm 3\%$ (a 12 m/s)		
Risoluzione:	1°		

medi a intervalli di 5 minuti. La descrizione degli strumenti utilizzati e le corrispondenti specifiche tecniche sono riportate in Tabella 5.

In Tabella 6 sono stati riportati i dati climatici di temperatura dell'aria e umidità relativa misurati all'esterno dell'edificio e al suo interno. Tali dati sono stati mediati settimanalmente per tutte le settimane oggetto di indagine; ciò ha permesso di avere un unico dato per ciascuna delle quattro variabili, che caratterizzano ogni settimana.

**Tabella 6 – Medie settimanali dei parametri di stress termico misurati all'esterno e all'interno dell'edificio oggetto della sperimentazione.**

Settimana	T Esterna (°c)	RH Esterna (%)	T Interna (°c)	RH Interna (%)	Settimana	T Esterna (°c)	RH Esterna (%)	T Interna (°c)	RH Interna (%)
1	24,3	59,6	25,2	70,5	27	9,1	78,1	9,8	89,0
2	24,2	53,6	25,0	65,1	28	5,9	76,2	6,7	86,9
3	26,0	50,8	26,6	62,8	29	5,9	70,1	6,7	81,6
4	26,4	49,8	27,0	62,0	30	9,8	78,5	10,5	89,7
5	25,4	49,5	25,9	61,8	31	9,7	66,4	10,4	77,6
6	24,3	58,4	25,0	69,9	32	9,8	78,4	10,5	89,4
7	23,3	61,2	23,9	72,8	33	9,5	68,8	10,3	80,2
8	20,6	66,9	21,3	78,5	34	13,0	62,2	13,9	74,3
9	20,1	70,5	20,7	82,1	35	12,9	67,5	14,0	77,9
10	17,9	70,4	18,6	81,8	36	15,4	69,8	16,4	80,9
11	16,9	69,8	17,6	80,6	37	12,6	71,0	13,8	81,1
12	15,5	75,7	16,3	86,4	38	12,7	74,2	14,0	83,9
13	17,5	75,2	18,1	86,7	39	17,4	58,5	18,4	69,7
14	16,8	75,5	17,2	87,7	40	18,5	51,1	19,6	63,5
15	15,2	76,4	15,8	88,0	41	18,8	51,4	20,0	62,8
16	12,6	73,5	13,3	85,2	42	16,3	53,2	17,6	63,7
17	14,7	78,5	15,2	89,8	43	17,5	68,2	19,0	77,2
18	12,8	79,7	13,4	90,4	44	19,5	55,3	20,8	66,4
19	12,9	79,7	13,3	91,0	45	21,4	52,6	22,7	63,6
20	11,9	77,3	12,2	88,7	46	23,6	48,0	24,7	60,3
21	7,1	72,2	7,5	84,8	47	26,4	39,7	27,3	51,6
22	9,3	71,3	9,8	83,0	48	25,9	45,6	26,8	57,8
23	9,6	77,0	10,2	87,7	49	26,4	54,1	27,4	66,2
24	7,2	73,9	7,7	85,9	50	28,6	39,0	29,2	51,8
25	7,6	75,7	8,2	87,3	51	25,7	47,2	26,6	59,5
26	8,2	70,4	8,9	82,1	52	24,5	57,1	25,4	69,0



**Figura 9 – Sensori per la misurazione dei dati termo-igrometrici all'esterno dell'edificio zootecnico**



**Figura 10 – Sensori per la misurazione dei dati termo-igrometrici all'interno dell'edificio zootecnico**

### 3.8 Indicatori di stress termico

La valutazione delle condizioni di disagio termico delle bovine, oltre che con il rilievo di alcuni parametri fisiologici (temperatura rettale, atti respiratori, ecc.), può essere effettuata indirettamente mediante il calcolo di alcuni indici appositamente sviluppati, basati sui valori dei principali parametri microclimatici misurati all'interno della stalla. Tra i numerosi indici riportati in letteratura (Oliveira e Esmay, 1982), maggiore diffusione ha avuto il THI (*Temperature Humidity Stress*) originariamente sviluppato da Thom (1959) e in seguito modificato nella sua formulazione da altri autori per meglio adattarlo a differenti condizioni climatiche o a diverse specie animali (Bohmanova et al., 2007). Nel presente lavoro, l'indice THI è stato calcolato tramite la formula di Yousef (1985):

$$THI = T_{db} + 0,36 T_{dp} + 41,2 \quad (1)$$

in cui  $T_{db}$  [°C] è la temperatura dell'aria al bulbo asciutto e  $T_{dp}$  [°C] è la temperatura di rugiada.

L'indice THI, tuttavia, presenta il limite di non considerare il contributo del carico radiativo (solare e termico) e del movimento dell'aria. Pertanto, è stato definito l'indice BGHI (*Black Globe-Humidity Index*) sostituendo nella relazione (1) la temperatura al globotermometro al posto della temperatura dell'aria al bulbo asciutto (Buffington et al., 1981):

$$BGHI = T_{bg} + 0,36 T_{dp} + 41,2 \quad (2)$$

in cui  $T_{bg}$  [°C] è la temperatura al globotermometro e  $T_{dp}$  [°C] è la temperatura di rugiada.

I valori medi settimanali degli indici di stress termico sono riportati in Tabella 7.

### 3.9 Indicatori comportamentali

Per l'analisi del comportamento sono stati calcolati i seguenti indicatori:

CLI (*cow lying index*) definito come il rapporto tra il numero di bovine in posizione di decubito all'interno delle cuccette e il numero totale di bovine presenti in stalla:

$$CLI = \text{bovine in lying} / \text{tot. bovine}$$

CSI (*cow standing index*), definito come il rapporto tra il numero di bovine osservate in e il numero totale di bovine presenti in stalla:

$$CSI = \text{bovine in standing} / \text{tot. bovine}$$

CFI (*cow feeding index*), ottenuto come rapporto tra il numero di bovine che sono alla mangiatoia e il numero totale delle bovine presenti in stalla:

$$CFI = \text{bovine in feeding} / \text{tot. bovine}$$

I valori medi settimanali degli indici comportamentali sono riportati in Tabella 8.

**Tabella 7 – Medie settimanali degli indici di stress termico THI e BGHI, calcolati tra le ore 6:00 e le ore 19:50 nelle settimane estive e tra le ore 7:00 e le ore 16:30 nelle settimane invernali (in grigio).**

Settimana	THI	BGHI	Settimana	THI	BGHI	Settimana	THI	BGHI
<b>1</b>	77,0	79,3	<b>20</b>	58,7	60,5	<b>39</b>	66,9	69,7
<b>3</b>	77,4	79,0	<b>21</b>	53,4	55,2	<b>40</b>	68,8	71,4
<b>4</b>	78,1	79,7	<b>23</b>	56,9	58,8	<b>41</b>	69,0	71,5
<b>6</b>	76,5	78,1	<b>25</b>	54,6	56,7	<b>42</b>	64,6	66,8
<b>7</b>	74,2	75,8	<b>26</b>	53,7	55,5	<b>43</b>	67,6	70,1
<b>8</b>	70,8	72,2	<b>27</b>	55,6	57,3	<b>44</b>	69,9	72,2
<b>13</b>	66,8	68,5	<b>28</b>	51,1	52,9	<b>45</b>	68,3	70,7
<b>14</b>	64,8	66,5	<b>30</b>	57,3	59,6	<b>46</b>	74,5	76,4
<b>15</b>	64,4	66,2	<b>31</b>	56,2	58,5	<b>47</b>	77,7	79,3
<b>16</b>	60,4	62,2	<b>34</b>	61,0	63,4	<b>48</b>	78,4	80,2
<b>17</b>	64,2	66,2	<b>35</b>	61,4	64,0	<b>49</b>	78,7	80,4
<b>18</b>	62,2	64,2	<b>36</b>	64,8	67,1	<b>51</b>	77,2	78,9
<b>19</b>	61,7	63,6	<b>37</b>	60,1	62,3	<b>52</b>	75,8	77,7
			<b>38</b>	62,5	65,6			

**Tabella 8 – Medie settimanali degli indici comportamentali CLI, CSI e CFI calcolati tra le ore 6:00 e le ore 19:50 nelle settimane estive e tra le ore 7:00 e le ore 16:30 nelle settimane invernali (in grigio).**

Sett.na	CLI	CSI	CFI	Sett.na	CLI	CSI	CFI	Sett.na	CLI	CSI	CFI
<b>1</b>	0,34	0,30	0,30	<b>20</b>	0,50	0,12	0,34	<b>39</b>	0,43	0,15	0,37
<b>3</b>	0,29	0,29	0,34	<b>21</b>	0,53	0,12	0,30	<b>40</b>	0,44	0,18	0,32
<b>4</b>	0,32	0,29	0,33	<b>23</b>	0,49	0,09	0,38	<b>41</b>	0,40	0,20	0,35
<b>6</b>	0,41	0,19	0,34	<b>25</b>	0,50	0,09	0,36	<b>42</b>	0,43	0,16	0,37
<b>7</b>	0,41	0,23	0,31	<b>26</b>	0,49	0,11	0,36	<b>43</b>	0,41	0,16	0,40
<b>8</b>	0,42	0,24	0,28	<b>27</b>	0,50	0,10	0,37	<b>44</b>	0,37	0,19	0,40
<b>13</b>	0,45	0,18	0,30	<b>28</b>	0,45	0,15	0,35	<b>45</b>	0,39	0,19	0,37
<b>14</b>	0,49	0,15	0,31	<b>30</b>	0,48	0,11	0,37	<b>46</b>	0,40	0,23	0,32
<b>15</b>	0,45	0,19	0,31	<b>31</b>	0,46	0,12	0,37	<b>47</b>	0,36	0,26	0,33
<b>16</b>	0,50	0,13	0,32	<b>34</b>	0,46	0,13	0,36	<b>48</b>	0,37	0,29	0,29
<b>17</b>	0,50	0,10	0,34	<b>35</b>	0,51	0,09	0,36	<b>49</b>	0,34	0,28	0,32
<b>18</b>	0,50	0,09	0,35	<b>36</b>	0,45	0,14	0,37	<b>51</b>	0,40	0,22	0,33
<b>19</b>	0,50	0,10	0,36	<b>37</b>	0,45	0,16	0,35	<b>52</b>	0,42	0,25	0,26
				<b>38</b>	0,49	0,10	0,37				

### **3.10 Metodologie adottate per l'analisi dei dati settimanali**

L'analisi dei dati ha avuto come obiettivo l'individuazione, nell'ambito dell'intervallo temporale in cui è stata svolta la sperimentazione, di gruppi di settimane simili per condizioni termo-igrometriche esterne e interne all'edificio. Ciò al fine di evidenziare, a parità di condizioni di temperatura e umidità relativa dell'aria, eventuali differenze e/o similitudini nei comportamenti del gruppo di animali osservato. Pertanto, i dati di temperatura e di umidità relativa dell'aria, rilevati all'esterno dell'edificio e quelli rilevati all'interno di esso, sono stati oggetto di due differenti analisi *cluster*.

L'analisi *cluster* è una tecnica di analisi multivariata mediante la quale è possibile raggruppare le unità statistiche, in modo da minimizzare la “*lontananza logica*” interna a ciascun gruppo e di massimizzare quella tra i gruppi. La “*lontananza logica*” viene quantificata per mezzo di misure di similarità/dissimilarità definite tra le unità statistiche.

Nell'ambito della prova condotta in questo studio, l'analisi *cluster* ha consentito di raggruppare le settimane in più gruppi, o *cluster*, basandosi sulla similarità della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria.

In particolare, i dati impiegati nell'analisi sono stati ottenuti effettuando per ciascuna delle settimane della prova le medie settimanali dei dati di temperatura e umidità relativa.

Nel presente studio, l'analisi *cluster* è stata sviluppata utilizzando la “*distanza euclidea*”; la tecnica di *clustering* applicata è stata quella *gerarchica aggregativa* e il “*criterio*” di assegnazione delle unità ai *cluster* utilizzato è quello del “*legame singolo*”.

Il procedimento dell'analisi *cluster* è stato semplificato mediante l'utilizzo del software statistico Minitab®, entrambe le analisi *cluster* sono state, poi, rappresentate graficamente, in due dendogrammi. In seguito, i dendogrammi sono stati “*tagliati*” ad un livello di similarità pari a 95,20%, al fine di scegliere i *cluster* da considerare per le analisi successive.

Dopo avere individuato le settimane da analizzare mediante l'analisi *cluster*, al fine di evidenziare le possibili differenze di comportamento degli animali nell'ambito di intervalli temporali settimanali caratterizzati da condizioni microclimatiche esterne ed interne simili (95%), è stato eseguito il test di Kruskal-Wallis per ciascun *cluster* precedentemente individuato e per ciascun indice comportamentale (CLI, CSI, CFI). I dati impiegati nel test sono le medie giornaliere degli indici comportamentali per ciascuna settimana appartenente allo stesso *cluster*.

#### **3.10.1 L'analisi cluster**

L'analisi *cluster* è una tecnica di analisi multivariata che consente l'individuazione di una regola per di raggruppare le unità statistiche in gruppi, detti *cluster*. In particolare, i *cluster* sono ottenuti considerando che: gli elementi appartenenti allo stesso gruppo risultino molto simili tra loro, mentre quelli appartenenti a gruppi distinti siano tra loro molto diversi, ovvero il livello di

associazione sia stretto tra i componenti dello stesso *cluster* e molto debole tra gli elementi appartenenti ai *cluster* diversi.

In questo senso l'analisi *cluster* rappresenta uno strumento di analisi esplorativa, in quanto può mettere in evidenza associazioni e strutture nei dati non altrimenti rilevabili e che possono risultare utili una volta individuate.

La definizione di gruppi omogenei è utile in tutti quei casi in cui vi sia la necessità:

- di ridurre la complessità dei dati rispetto alle unità, identificando e descrivendo forti connessioni tra i casi (tipologie);
- di riunire i dati in maniera significativa e per mezzo di metodi quantitativi;
- di scoprire i legami esistenti tra i casi;
- di esplorare i dati in una forma che sia da un lato semplice, mettendo in evidenza le informazioni dei dati e dall'altro sintetica, rappresentando i risultati in poche dimensioni.

La classificazione può essere distinta in due tipologie:

- classificazione supervisionata: nella quale si suppone esista un supervisore che conosce già le classi a cui appartiene ogni unità. Le tecniche applicate, quindi, hanno l'obiettivo di ricostruire la funzione discriminante, cioè quella funzione che, a partire da un insieme di variabili esplicative, sia in grado di riprodurre la classificazione già nota;
- classificazione non supervisionata o *cluster analysis*: le classi non sono definite a priori ma vanno individuate sulla base dei dati rilevati. In particolare, le metodologie statistiche che rientrano in tale ambito hanno lo scopo di individuare i raggruppamenti più opportuni delle unità statistiche a disposizione.

La classificazione non supervisionata permette due tipi di approcci metodologici, il primo metodo è quello cosiddetto “gerarchico”, i gruppi sono individuati in fasi successive secondo livelli ordinati; alla fine di tale procedimento si ottiene una successione di raggruppamenti sempre meno differenziati ottenendo così una struttura di tipo piramidale; in pratica è possibile distinguere due diverse logiche gerarchiche:

- metodi *aggregativi*, nei quali a partire da  $n$  gruppi composti da una sola unità si giunge, attraverso successive aggregazioni delle unità o dei gruppi più simili tra loro, alla formazione di un unico gruppo formato da  $n$  unità (*aggregazione gerarchica ascendente*);
- metodi *divisivi*, nei quali a partire da un unico gruppo composto da  $n$  elementi, si arriva all'individuazione di  $n$  gruppi (*aggregazione gerarchica discendente*).

Il secondo metodo è quello definito “non gerarchico”, nel quale il numero dei gruppi è fissato a priori; ciò implica che le unità siano assegnate univocamente ad uno di essi.

### 3.10.1.1 Tecniche per l'analisi gerarchica divisiva

Le tecniche divisive, dette anche “*top-down*”, procedono considerando le  $n$  unità come un unico insieme; tale insieme viene progressivamente suddiviso in  $n$ -

$l$  passaggi giungendo, al termine del procedimento, alla situazione in cui ogni unità definisce un *cluster*.

La scissione può avvenire sulla base di:

- un attributo dicotomico alla volta (*segmentazione binaria*);
- tutto l'insieme degli attributi (*suddivisione politetica*).

Gli algoritmi che in genere vengono adottati, detti *scissori*, presentano particolari problemi applicativi in quanto, pur soddisfacendo le più rigorose proprietà statistiche – matematiche, possono essere applicati ad un numero limitato di unità.

### 3.10.1.2 Tecniche per l'analisi gerarchica aggregativa

Le tecniche aggregative, dette anche “*bottom-up*” sono le più utilizzate. Esse procedono partendo dalla situazione in cui ogni unità costituisce un gruppo a se stante; quindi si procede, con successive fusioni all'aggregazione delle  $n$  unità seguendo un criterio di minimizzazione delle distanze.

Il procedimento della *cluster analysis* prevede che: partendo da una matrice di dati  $X$  di dimensione  $n \times p$  la si trasforma in una matrice  $n \times n$  detta “*matrice di dissimilarità o delle distanze*” nella quale, per ogni coppia delle  $n$  unità è indicato il valore della loro distanza. Si sceglie, poi, un algoritmo che definisca le regole su come raggruppare le unità in sottogruppi, sulla base delle loro similarità.

Lo scopo è di identificare un minor numero di gruppi tali che gli elementi appartenenti ad un medesimo gruppo siano, in qualche senso, più simili tra di loro che non agli elementi appartenenti ad altri gruppi.

Il punto di partenza fondamentale è la definizione di una misura di similarità o di distanza tra gli oggetti; l'altro punto fondamentale è la regola in base alla quale si formano i gruppi.

A seconda del tipo di dati, si hanno misure diverse, per i dati quantitativi, si hanno misure di distanza; tra quest'ultime la “*distanza euclidea*” è quella più comunemente usata.

Il *clustering* gerarchico aggregativo, consta delle seguenti fasi:

- nella matrice di dati si individua la distanza più piccola e si aggregano tra loro le unità più vicine;
- si ricalcola la matrice delle distanze tenendo conto del gruppo ottenuto precedentemente, che sostituisce le unità aggregate;
- si costituisce un nuovo gruppo sulla base della distanza più piccola trovata nella nuova matrice.

Il procedimento iterativo termina dopo  $n-1$  passaggi quando si forma il gruppo che comprende tutte le unità. Al termine è possibile ricostruire l'intero procedimento rappresentandolo come un albero.

Il procedimento viene ripetuto  $n-1$  volte, considerando distanze tra unità, tra unità e gruppi e tra gruppi, fino al punto in cui tutte le unità saranno confluite in un unico gruppo.

Tutto il procedimento poggia sulla definizione del “*criterio*” di assegnazione delle unità ai *cluster*; esistono diversi possibili “*criteri*”.

È opportuno approfondire la spiegazione del criterio “*legame singolo*” utilizzato nella presente analisi. Secondo la tecnica del *legame singolo* la distanza tra due *cluster* è determinata sulla base della distanza tra due elementi, appartenenti a due *cluster* diversi, più vicini; in altre parole i *cluster* vengono aggregati solo sulla base delle informazioni di due singoli elementi che risultano molto vicini. Tale tipo di procedimento, che tende a favorire l’aggregazione di due gruppi con unità vicine, produce un concatenamento tra le entità.

In ogni passo del processo, quindi, si osserva sia un raggruppamento di unità sia la determinazione di un valore della distanza in corrispondenza della quale tale raggruppamento si manifesta; tutto il processo può, conseguentemente, essere rappresentato in maniera grafica considerando il “dendrogramma”, ossia un grafico dove su un asse è posta la distanza e sull’altro le etichette delle unità.

Nel dendrogramma, quindi, viene rappresentata l’unione sequenziale delle varie unità statistiche; sull’asse verticale è, infatti, riportata la distanza in corrispondenza della quale le coppie di unità (o i gruppi già formati) si uniscono. In esso gli oggetti sono rappresentati come nodi mentre la lunghezza del ramo indica la distanza tra i sottogruppi che vengono uniti.

Per la valutazione dell’adeguatezza della classificazione esistono alcuni indicatori statistici, volti a misurare la separazione tra i *cluster* e a guidare nella scelta del numero dei *cluster* da analizzare con ulteriori test statistici; ma anche l’osservazione del dendrogramma fornisce uno strumento sufficientemente utile per determinare una buona classificazione. In tal caso si esegue un “taglio” del dendrogramma effettuato dalla linea orizzontale, dato che si ha l’interesse ad avere il minor numero di gruppi con la massima omogeneità, si cerca di “tagliare alle radici” (cioè in basso) dell’insieme delle linee verticali più lunghe.

### **3.11 Il test di Kruskal-Wallis**

Il test di Kruskal-Wallis è stato eseguito per ciascun *cluster* individuato e per ciascun indice comportamentale considerato nella sperimentazione.

La scelta di tale test per l’individuazione di differenze significative nel comportamento degli animali nell’ambito di settimane omogenee per condizioni climatiche interne ed esterne all’edificio di stabulazione, è stata determinata dall’analisi della distribuzione dei valori assunti dagli indici comportamentali nell’ambito di ciascun giorno analizzato. Essi, infatti, non determinavano una distribuzione gaussiana e non godevano della proprietà di omoscedasticità, cioè di avere la stessa varianza. Tali condizioni hanno di fatto precluso l’uso di test parametrici come ad esempio il test ANOVA e hanno imposto l’impiego del test non parametrico di Kruskal-Wallis.

Il test di Kruskal-Wallis permette di verificare l’ipotesi nulla  $H_0$ , cioè se  $k$  gruppi indipendenti provengono dalla stessa popolazione e/o da popolazioni che abbiano la medesima mediana.

La metodologia del test di Kruskal-Wallis può essere schematizzata nel seguente modo:

1. per verificare l’ipotesi nulla, cioè che tutti i campioni hanno la stessa mediana, i dati dei  $k$  gruppi vengono riportati in colonne distinte di una stessa tabella;

2. tutti i valori vengono sostituiti dal loro rango, calcolato per tutte le osservazioni dei  $k$  gruppi a confronto;
3. si calcola la somma dei ranghi relativi a ciascun gruppo ( $R_i$ ) e quella totale ( $R$ ) relativa all'intera tabella;
4. si calcola la somma del numero di osservazioni di ogni gruppo ( $n_i$ ) e quello totale ( $N$ ) relativa all'intera tabella;
5. si calcola la media di ogni gruppo ( $r$ )

$$r = R/N$$

6. se i campioni provengono dalla stessa popolazione o da popolazioni con la stessa tendenza centrale (quindi l'ipotesi nulla è vera) queste medie aritmetiche dei ranghi di ogni gruppo dovrebbero essere statisticamente simili sia tra loro sia alla media generale;
7. si calcola l'indice  $H$  che dipende dalle differenze tra le medie dei gruppi e la media generale.

Per la sua applicazione corretta, il test di Kruskal-Wallis richiede che la misura utilizzata sia continua. Di conseguenza, non si dovrebbero avere valori identici; ma nella pratica sperimentale tale condizione può succedere. In questo caso, con valori identici che occupano lo stesso rango si deve correggere il valore di  $H$ . La correzione per misure ripetute (*ties*) aumenta il valore di  $H$  e incrementa la probabilità di trovare differenze significative tra le mediane dei gruppi a confronto. Tuttavia l'effetto della correzione è quasi sempre trascurabile quando le misure identiche sono meno di un quarto delle osservazioni e sono distribuite tra più ranghi.

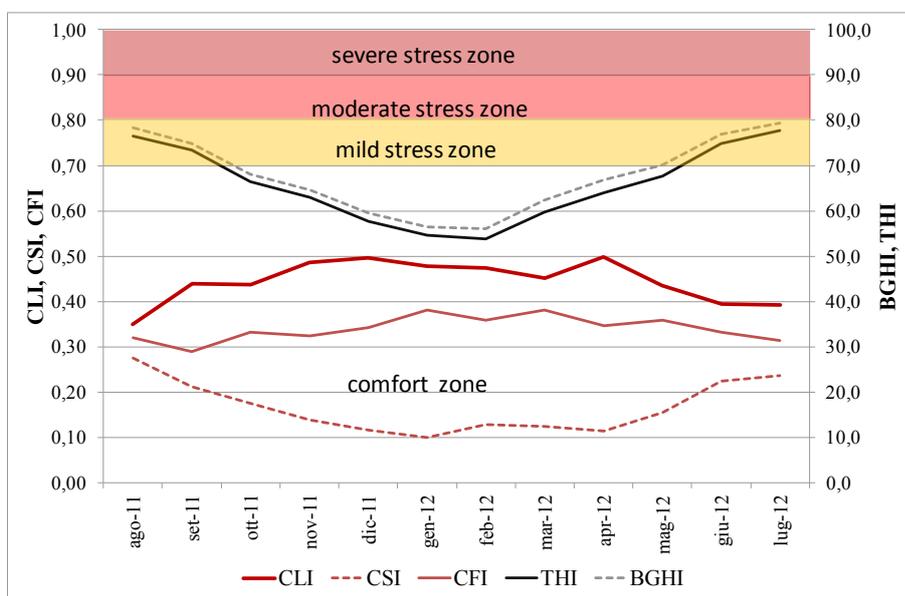
Dopo avere svolto il test di Kruskal-Wallis, per valutare la significatività delle mediane è stato utilizzato lo  $z$ -test. Esso ha permesso di individuare le settimane che hanno le mediane degli indici comportamentali significativamente differenti, grazie alla valutazione dei valori dell'indice  $z$  e del  $p$ -value; di conseguenza in tali settimane si possono osservare comportamenti diversi da quelli che caratterizzano il *cluster* stesso.

Per rifiutare l'ipotesi nulla  $H_0$  (non vi è differenza tra le mediane) i valori del  $p$ -value devono essere inferiori a 0,05 e i valori dell'indice  $z$  devono essere maggiori di +1,96 o minori di -1,96 .

## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Una prima analisi dei dati ha riguardato i valori medi mensili degli indici comportamentali CLI, CSI e CFI e degli indici di stress termico THI e BGHI. La Figura 11 mette in evidenza come nei mesi di agosto 2011, settembre 2011, giugno 2012 e luglio 2012, gli animali sono stati maggiormente esposti a stress da caldo, sebbene i valori medi mensili degli indici di stress termico relativi ai mesi di giugno 2012 e luglio 2012 indichino un modesto livello di stress da caldo. L'andamento dei valori assunti dall'indice CLI mette in evidenza che, al diminuire dei valori degli indici THI e BGHI gli animali preferiscono riposare nelle cuccette. Tale andamento risulta modificato nei mesi estivi (agosto-settembre 2011 e giugno-luglio 2012) in cui al crescere degli indici THI e BGHI non è stato registrato un decremento dei valori di CLI. Analogamente, anche l'indice CFI mostra un andamento simile a quello descritto per il CLI, sebbene con un andamento delle curva meno pronunciato. Infine, gli andamenti dei valori dell'indice CSI possono essere definiti complementari a quelli registrati per l'indice CLI. Anche in questo caso, tuttavia, è stata registrata una variazione dell'andamento nei periodi estivi, in cui al crescere degli indici THI e BGHI non è stato registrato un evidente incremento dell'indice CSI.

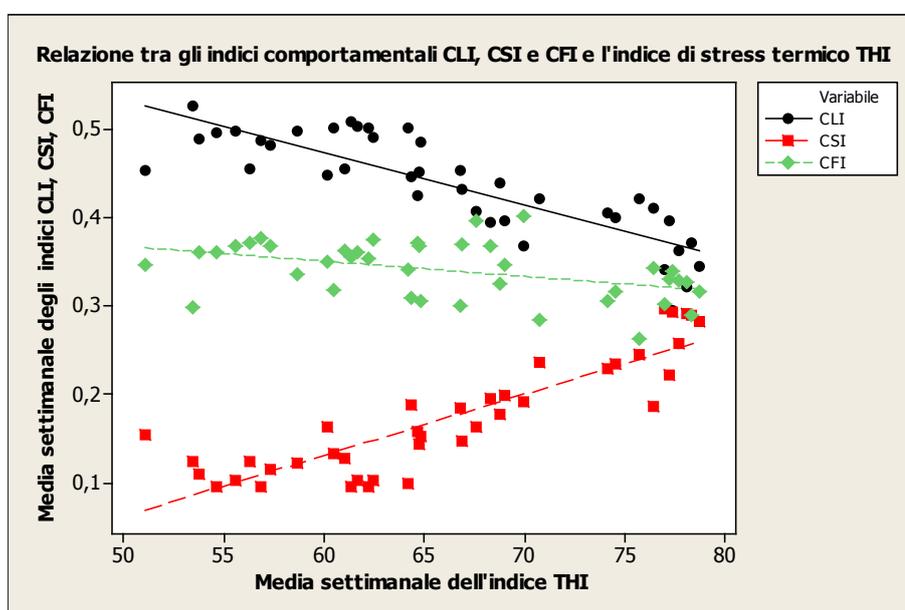
Poiché le variazioni registrate per gli indici CLI e CSI riguardano i mesi estivi durante i quali nella stalla erano attivi i sistemi di raffrescamento, le analisi di seguito riportate hanno l'obiettivo di valutare l'influenza di tali sistemi sul comportamento delle bovine.



**Figura 11 – Andamenti medi mensili degli indici comportamentali e degli indici di stress termico.**

A tal fine, un'analisi successiva è stata svolta considerando dati annuali mediati per ciascuna delle settimane elencate in Tabella 3. In particolare, sono

stati elaborati i diagrammi a dispersione riportati in Figura 12 e Figura 13, dalla cui osservazione si rileva che l'indice CLI decresce al crescere degli indici di stress termico. Tale tendenza è anche confermata dal valore del coefficiente di correlazione di Pearson che è risultato pari a  $-0,838$  ( $p < 0.01$ ) mettendo in correlazione l'indice CLI sia con l'indice THI sia con l'indice BGHI. L'indice CSI, invece, cresce al crescere degli indici di stress termico. In questo caso, i valori dei coefficienti di correlazione di Pearson ottenuti mettendo in correlazione l'indice CSI sia con l'indice THI sia con l'indice BGHI sono risultati, rispettivamente, pari a  $+0,875$  ( $p < 0.01$ ) e  $+0,867$  ( $p < 0.01$ ). Per quanto riguarda, infine, l'indice CFI, è possibile osservare che esso decresce al crescere dei valori degli indici di stress termico. I coefficienti di correlazione di Pearson in questo caso sono risultati pari a  $-0,437$  e  $-0,415$  considerando, rispettivamente le correlazioni con l'indice THI e l'indice BGHI.



**Figura 12 – Diagrammi a dispersione elaborati tra gli indici comportamentali CLI, CSI e CFI e l'indice di stress termico THI.**

I risultati ottenuti relativamente alle relazioni esistenti fra gli indici comportamentali CLI e CSI e l'indice microclimatico THI confermano quanto ottenuto in un'analogica sperimentazione condotta in Lombardia tra il 2004 e il 2005 finalizzata a valutare l'influenza delle condizioni climatiche sul comportamento di bovine da latte allevate in una stalla a stabulazione libera non dotata di impianti di raffrescamento (Provolo e Riva, 2009). In tale studio gli Autori hanno riscontrato un valore di correlazione pari a  $-0.882$  ( $p < 0.01$ ), tra l'indice CLI e l'indice THI, e una correlazione pari a  $+0.879$  ( $p < 0.01$ ) tra l'indice CSI e l'indice THI. L'elevata somiglianza di tali valori con quelli ottenuti nella sperimentazione condotta in questa tesi indurrebbe a ritenere che la presenza degli impianti di raffrescamento non abbia condizionato il comportamento degli animali. Tuttavia, è necessario evidenziare che gli impianti di raffrescamento sono

rimasti attivi per 10 settimane che costituiscono soltanto circa il 25% delle settimane analizzate. Il numero esiguo di settimane caratterizzate dall'attivazione del sistema di raffrescamento potrebbe non avere condizionato l'analisi di correlazione effettuata per tutte le settimane dell'anno. Pertanto, le analisi di seguito riportate, svolte allo scopo di mettere in evidenza eventuali differenze nel comportamento degli animali derivanti dall'attivazione degli impianti di raffrescamento, hanno riguardato nel dettaglio l'andamento giornaliero degli indici nell'ambito delle settimane individuate realizzando l'analisi *cluster*.

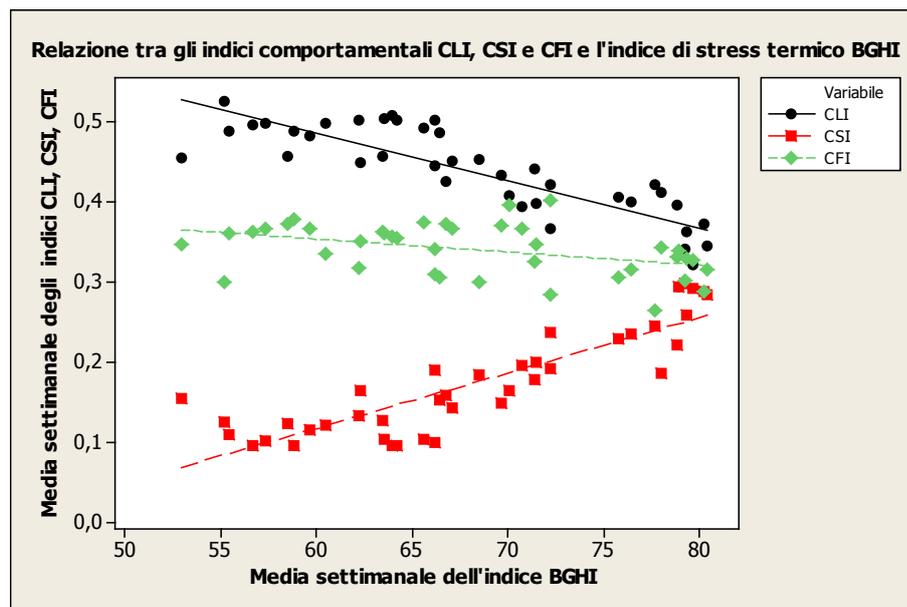


Figura 13 - Diagrammi a dispersione elaborati tra gli indici comportamentali CLI, CSI e CFI e l'indice di stress termico BGHI.

#### 4.1 Analisi dei cluster

Nel presente studio, sono state svolte due distinte analisi *cluster*, una ha riguardato i dati microclimatici esterni e l'altra ha preso in esame i dati microclimatici interni all'edificio zootecnico. L'analisi è stata sviluppata, impiegando i valori di temperatura e umidità relativa dell'aria medi settimanali riportati tabella Tabella 6. Le analisi *cluster* svolte, sono state rappresentate in due rispettivi dendrogrammi, che illustrano i raggruppamenti eseguiti.

Figura 14 viene riportato il dendrogramma relativo alle condizioni climatiche esterne e in Figura 15 è rappresentato il dendrogramma attinente alle condizioni climatiche interne all'edificio zootecnico.

Sull'asse delle ascisse sono riportate le quarantuno settimane studiate, individuate dal numero loro assegnato in Tabella 3; mentre sull'asse delle ordinate è stata posta la scala di similarità tra i valori termoigrometrici delle settimane considerate. L'appartenenza allo stesso *cluster* viene indicata, oltre che dalla vicinanza delle settimane sull'asse delle ascisse, anche dallo stesso colore utilizzato per individuare i "rami" del dendrogramma.

Si è stabilito di considerare, per le analisi statistiche successive, tutti i *cluster* in cui è stato riscontrato un livello di similarità pari almeno al 95,20%. Pertanto, tutti i *cluster* che si sviluppano al disotto della linea di taglio effettuata in corrispondenza dell'ordinata relativa al valore suddetto di similarità, sono stati impiegati nelle successive analisi.

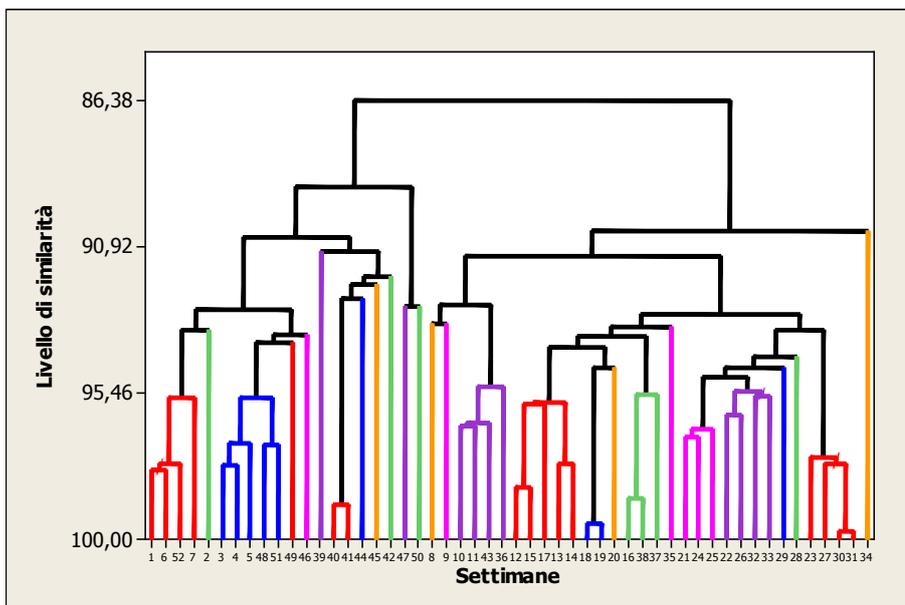


Figura 14 - Dendrogramma ottenuto impiegando come variabili di raggruppamento le condizioni climatiche esterne.

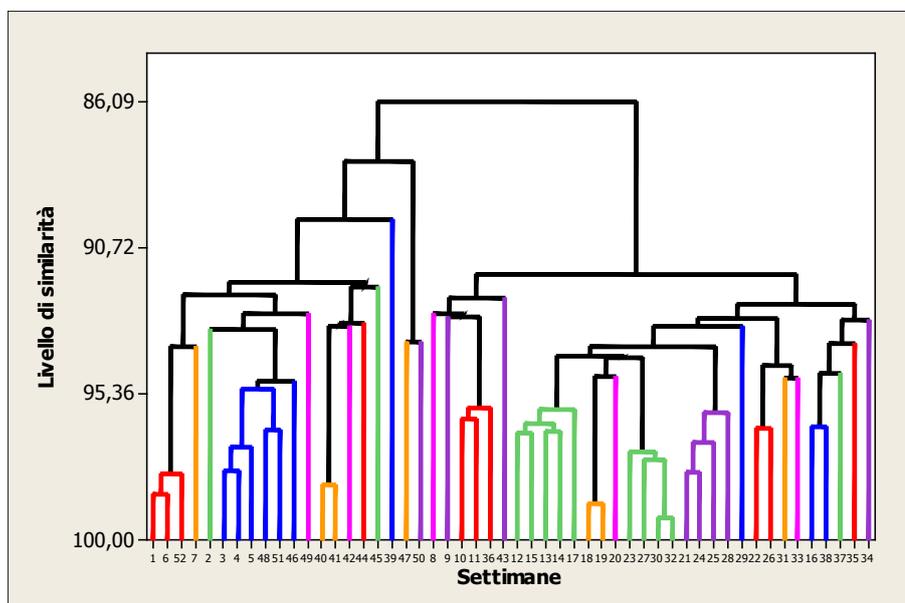


Figura 15 - Dendrogramma ottenuto impiegando come variabili di raggruppamento le condizioni climatiche interne all'edificio.

Ad ogni *cluster* individuato, è stata assegnata una lettera dell’alfabeto per distinguerlo dagli altri. In Tabella 9 vengono individuati i *cluster* e, in particolare, nella prima colonna è riportata la lettera identificativa di ciascun *cluster* considerato; nella seconda colonna sono specificate le settimane che, con riferimento alle condizioni microclimatiche interne, hanno un livello di similarità almeno pari alla soglia del 95,20% fissata nell’analisi *cluster*; nella seconda colonna sono indicate le settimane che, con riferimento alle condizioni climatiche esterne, hanno un livello di similarità almeno pari alla soglia fissata nell’analisi *cluster*. Nell’ultima colonna, per ogni *cluster* sono state individuate le settimane comuni ai due gruppi elencati rispettivamente nella seconda e terza colonna. Tali settimane sono state l’oggetto dell’analisi dei dati riportata nel successivo capitolo 4. Va precisato che due dei dieci *cluster* individuati sono stati esclusi dalle successive analisi, perché costituiti da una sola settimana. In particolare i *cluster* eliminati sono: il *cluster* D e il *cluster* I.

**Tabella 9 – Elenco dei *cluster* individuati per le successive analisi dei dati. In grigio i *cluster* esclusi.**

<i>Cluster</i>	Settimane omogenee per condizioni climatiche interne	Settimane omogenee per condizioni climatiche esterne	Settimane omogenee sia per condizioni climatiche esterne sia per condizioni climatiche interne
A	1, 6, 52	1, 6, 52, 7	1, 6, 52
B	3, 4, 5, 48, 51	3, 4, 5, 48, 51	3, 4, 48, 51
C	40, 41	40, 41	40, 41
D	10, 11, 36	10, 11, 36, 43	36
E	12, 13, 14, 15, 17	12, 13, 14, 15, 17	13, 14, 15, 17,
F	18, 19	18, 19	18, 19
G	23, 27, 30, 32	23, 27, 30, 31	23, 27, 30
H	21, 24, 25, 28	21, 24, 25	21, 25
I	22, 26	22, 26, 31, 33	26
L	16, 38	16, 38, 37	16, 38

#### 4.1.1 Cluster A

Il *cluster A* include le settimane nn.1, 6, e 52 ricadenti nella stagione estiva considerata nella presente sperimentazione, in tali settimane erano attivi i sistemi di raffrescamento installati all'interno della stalla. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 24,3°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 16°C e di 36,9°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria, essa è stata mediamente del 58,3% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 14,5% e di 90,1%.

Le settimane del *cluster A* sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio a pari a 97,89 e pari a 95,62.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 10.

Il grafico riportato in Figura 16 mostra, per ciascuna settimana, l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno delle settimane appartenenti al *cluster* ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 19:00.

Durante le tre settimane appartenenti al *cluster*, nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 11:00 e le ore 16:30, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche che hanno determinato valori medi degli indici di stress termico THI e BGHI maggiori di 77. Secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al.,2001; McDowell et al.,1976Thom; 1959) tali valori degli indici THI e BGHI hanno come conseguenza un moderato stress termico per le bovine. In particolare, i valori massimi sono stati riscontrati durante la settimana n. 1.

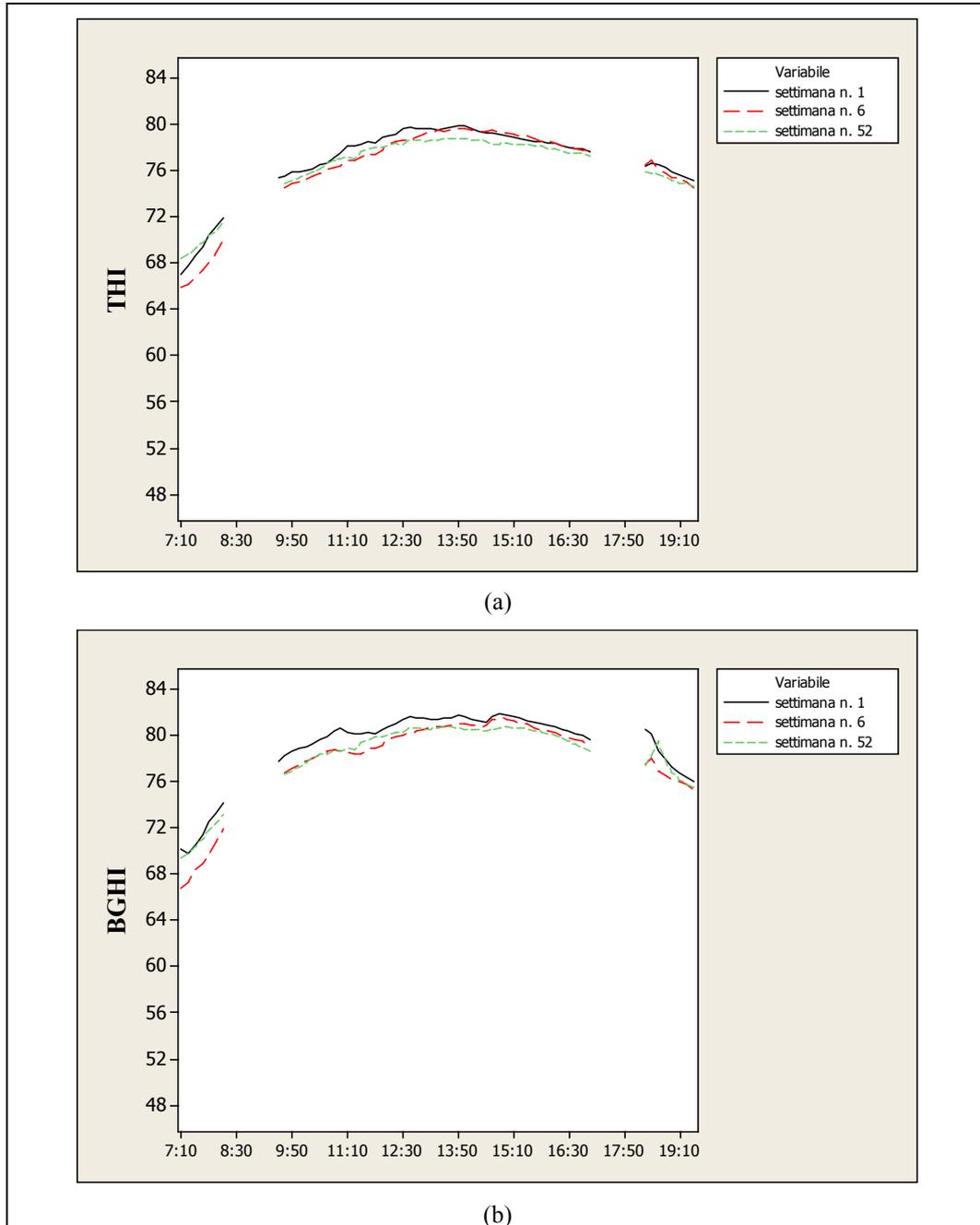
**Tabella 10 – Valori minimi, medi e massimi dei parametri microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster A*.**

	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	16,5	22,5	65,8	66,8
Medio	25,2	68,8	76,7	78,6
Massimo	37,5	98,8	79,9	81,8

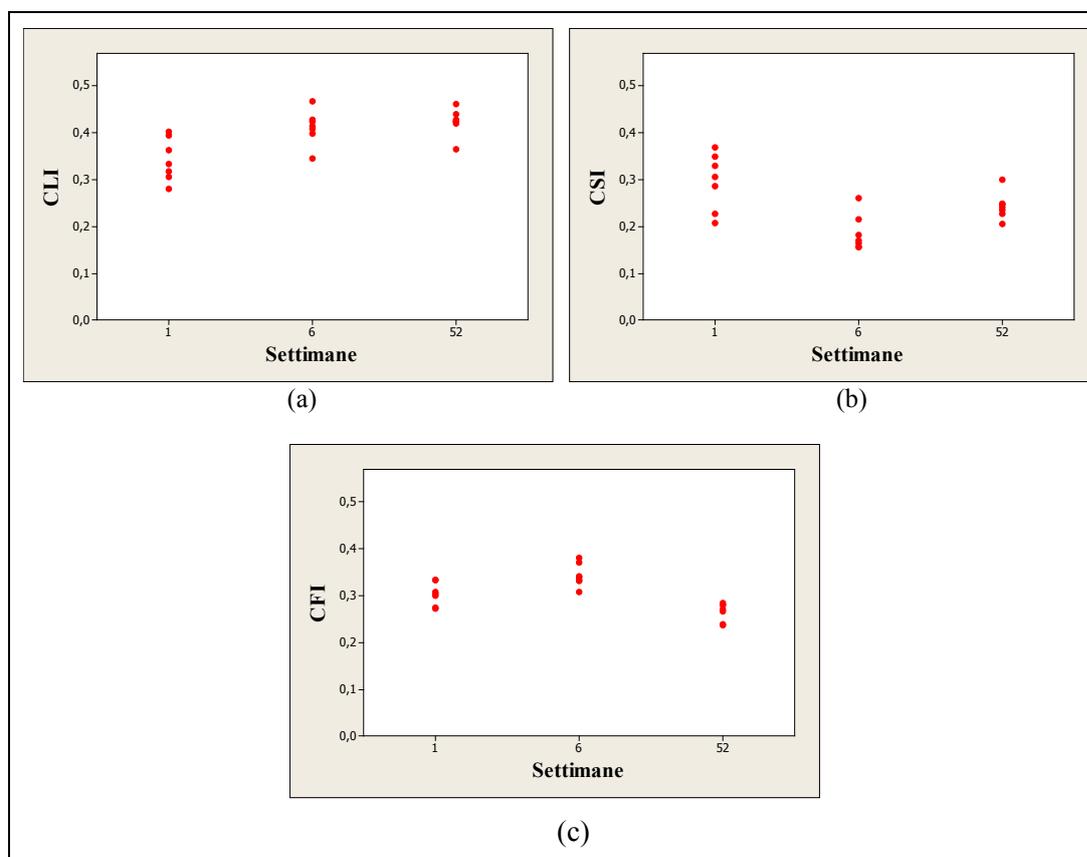
Nella Figura 17 sono diagrammati i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per le settimane appartenenti al *cluster* analizzato.

Per quanto riguarda l'indice comportamentale CLI, si osserva che esso assume valori più omogenei nel corso della settimana n. 52 e presenta una maggiore variabilità durante la settimana n. 1.

Analizzando il grafico dell'indice comportamentale CSI, si nota come esso presenta maggiore variabilità dei valori durante la settimana n. 1 e valori molto omogenei nella settimana n. 52.



**Figura 16 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al cluster A, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 19:00.**



**Figura 17 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le tre settimane del cluster A: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.**

Infine, nel grafico che rappresenta i valori dell'indice comportamentale CFI, i dati più variabili si riscontrano durante la settimana n. 6 e quelli più omogenei nella settimana n. 52.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori medi giornalieri assunti da ciascun indice comportamentale è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito delle settimane del cluster A che sono caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.

In Tabella 11 sono riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI.

**Tabella 11 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle tre settimane del cluster A.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
1	7	0,3321	4,9	-3,21
6	7	0,4128	12,0	0,52
52	7	0,4450	16,1	2,69
Overall	21		11,0	

H = 11,85 DF = 2 P = 0,003

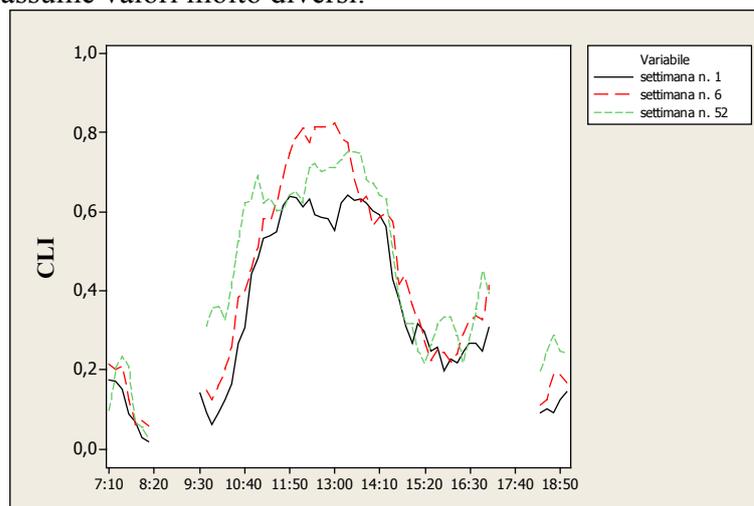
Dalla tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,003. Tale risultato, essendo inferiore al valore di riferimento pari a 0,05, porta a scartare l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non vi siano differenze significative tra le mediane.

L'esistenza di differenze significative tra le mediane è avvalorata anche dai risultati dello  $z$ -test che per la settimana n. 1 e per la settimana n. 52 risultano nelle due regioni di rifiuto del test, cioè  $z < -1,96$  e  $z > +1,96$ .

La differenza tra la settimana n. 1 e la n. 52 si nota anche in Figura 18 dove sono stati riportati i grafici che mostrano i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster*. Nel corso della settimana n. 52 il grafico dell'indice CLI assume un andamento molto diverso da quello della settimana n. 1, in particolare intorno alle ore 10:00 si nota un andamento opposto dei due grafici: la curva della settimana n. 1 subisce un decremento fino a sfiorare valori prossimi allo zero mentre la curva della settimana n. 52 manifesta un incremento con valori che raggiungono circa 0,4. Tra le ore 11:00 e le ore 14:30 il diagramma della settimana n. 52 assume valori compresi tra 0,6 e 0,7; nello stesso intervallo quello della settimana n. 1 assume valori più bassi compresi tra 0,6 e 0,5.

L'intervallo di tempo successivo, tra le ore 14:30 e le ore 15:00, è l'unico in cui le due curve presentano un andamento sovrapponibile; successivamente esse avranno sempre un andamento diverso, a volte quasi opposto. Sembra opportuno precisare, che la settimana n. 1 e la settimana n. 52 sono rispettivamente la prima e l'ultima settimana oggetto di sperimentazione, quindi appartengono a due anni diversi. Pertanto, le differenze riscontrate potrebbero essere state determinate dalle diversa composizione del gruppo di animali in osservazione.

La curva dell'indice CLI relativa alla settimana n. 6 assume un andamento intermedio tra le due curve sopracitate; solo nell'intervallo tra le ore 11:30 e le ore 13:00 essa assume valori molto diversi.



**Figura 18** – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster A*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

In Tabella 12 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuata per l'indice CSI.

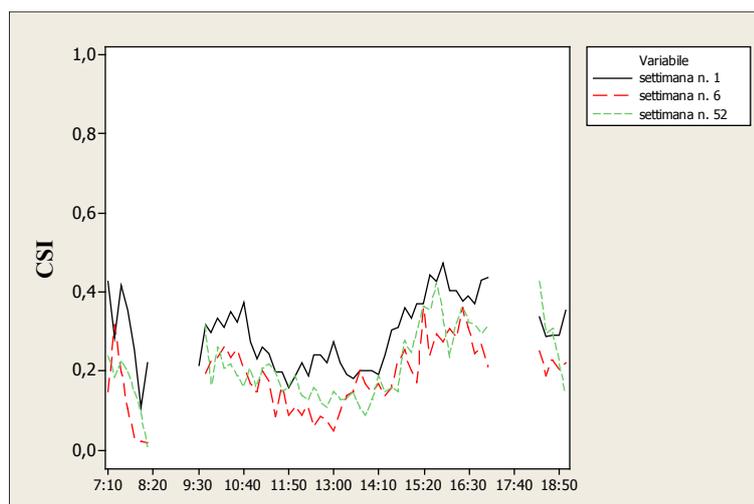
Dai risultati riportati nella tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,007 e, quindi, inferiore al valore di riferimento pari a 0,05. Pertanto, l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane viene scartata, come per l'indice CLI. L'esistenza di una differenza significativa tra le mediane è avvalorata anche dai risultati dello z-test, che per le settimane n. 1 e n. 6 risultano nelle due regioni di rifiuto del test, cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

La diversità delle due settimane si nota anche osservando la Figura 19 dove sono riportati i grafici dei valori medi dell'indice comportamentale CSI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le tre settimane appartenenti al *cluster* A. In particolare, la curva dell'indice CSI relativa alla settimana n. 1 evidenzia valori sempre maggiori rispetto alle altre due settimane. Poiché le condizioni microclimatiche interne all'edificio, nonché i valori degli indici di stress termico sono risultati molto omogenei fra di loro con un livello di similitudine almeno pari a 98,57% non è possibile associare tale differenza del comportamento alle condizioni di stress da caldo.

**Tabella 12 – Risultati del test di Kruskal-Wallis dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle tre settimane del *cluster* A.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
1	7	0,3048	16,6	2,91
6	7	0,1685	6,3	-2,46
52	7	0,2068	10,1	-0,45
Overall	21		11,0	

H = 9,82 DF = 2 P = 0,007



**Figura 19 – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* A, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice**

**CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

In Tabella 13 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello *z*-test per l'indice comportamentale CFI. Da tali risultati si evince che il *p*-value è pari a 0,001 e, quindi, inferiore al valore di riferimento pari a 0,05. Pertanto, l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane, viene scartata anche in questo caso. In tale analisi le settimane significativamente differenti per l'indice CFI risultano la settimana n. 6 e la settimana n. 52, poiché lo *z*-test risulta pari rispettivamente a 3,21 e -3,06.

La significativa differenza tra la settimana n. 6 e la settimana n. 52 si nota anche dal grafico illustrato in Figura 20 che evidenzia un diverso andamento delle due curve. Nella prima parte del grafico, nell'arco di tempo che va dalle ore 7:10 alle ore 8:20, le tre curve non differiscono molto tra di loro e si attestano su valori abbastanza elevati, poiché le bovine appena tornate dalla sala di mungitura si recano alla mangiatoia dove nel frattempo è stato distribuito l'alimento fresco. Nell'intervallo di tempo tra le ore 9:30 e le ore 11:30, la differenza tra la settimana n. 6 e la n. 52 risulta evidente. In particolare, la curva della settimana n. 52 ha un andamento complessivamente simile a quello della settimana n. 6 ma assume valori più bassi. Nell'intervallo di tempo tra le ore 11:50 e le ore 14:10 le tre curve non sono molto diverse tra loro e sono molto prossime allo zero; infatti in tale intervallo l'attività principale svolta delle bovine, come rilevato dalle analisi precedenti, è quella di riposo nelle cuccette.

**Tabella 13 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello *z*-test effettuati per l'indice CFI nelle tre settimane del *cluster* A.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	<i>z</i> -test
1	7	0,3024	10,7	-0,15
6	7	0,3393	17,1	3,21
52	7	0,2792	5,1	-3,06
Overall	21		11,0	

H = 13,15 DF = 2 P = 0,001

Nell'intervallo successivo sino alle ore 17:00, orario in cui viene svolta la seconda mungitura, le curve assumono ognuna un andamento differente.

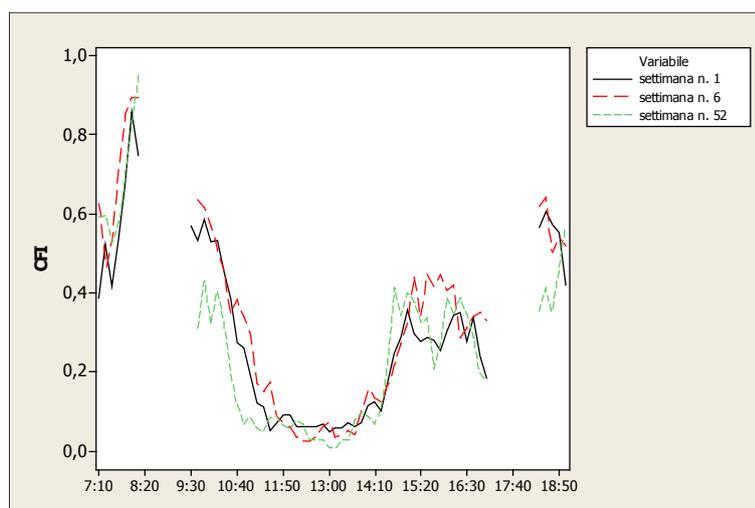
Dalle ore 17:30 alle ore 19:00 si hanno incrementi dei valori dell'indice CFI dovuti al fatto che gran parte degli animali ritornando in stalla dalla mungitura si recano alla mangiatoia.

Nelle Figura 21, Figura 22 e Figura 23 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster* A.

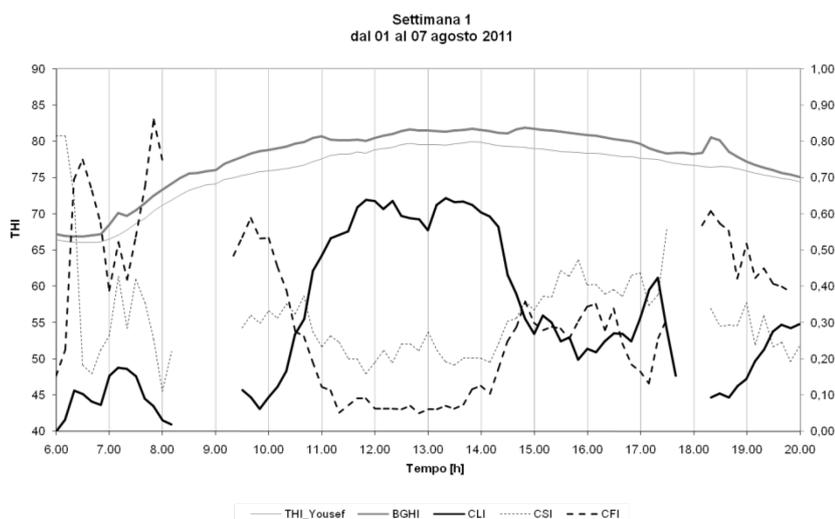
Ogni diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 6:00 e le ore 20:00. Le curve vengono interrotte durante la mattina, nella fascia oraria che va

dalle ore 8:30 alle ore 9:30, e nel pomeriggio, dalle ore 17:30 e alle ore 18:00, poiché in tali intervalli il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore.

In particolare, tra le ore 8:30 e le ore 9:30 gli animali vengono confinati nell'area della stalla compresa tra la zona di riposo e la corsia di servizio al fine di consentire le operazioni di pulizia della corsia di alimentazione. Tra le ore 17:30 e le ore 18:00, invece, le bovine venivano accompagnate in sala di attesa per effettuare la 2<sup>a</sup> mungitura.



**Figura 20** - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster A*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

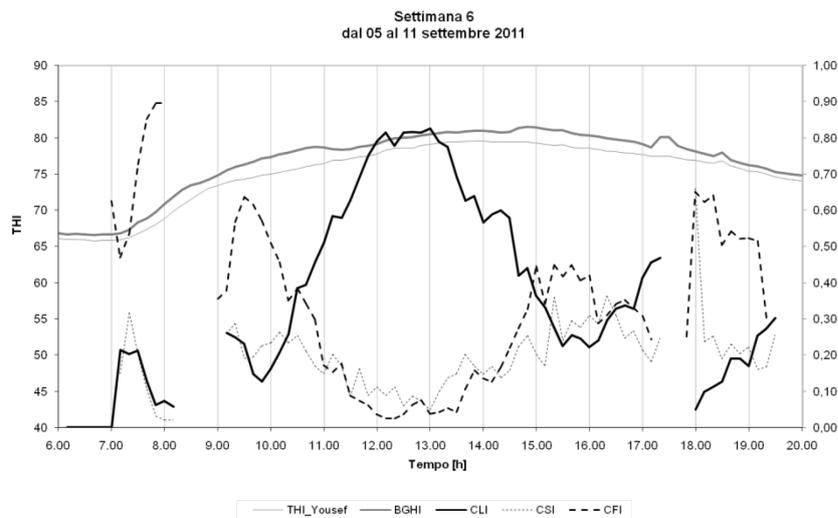


**Figura 21** - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni

**compresi tra l'1 e il 7 agosto 2011 (settimana 1).**

Dopo le ore 6:00, completata la prima mungitura, la maggior parte delle bovine rientrando nella stalla accedevano alla rastrelliera per l'alimentazione. Alcune di loro, però, preferivano sdraiarsi nelle cuccette o rimanevano a stazionare nella corsia di alimentazione.

Tra le ore 9:30 e le ore 11:00, il comportamento degli animali è risultato fortemente influenzato dalla precedente attività di pulizia della corsia di alimentazione; i grafici mostrano intorno alle ore 9:30 un ulteriore valore di picco dell'indice CFI determinato dal rientro degli animali nella corsia di alimentazione. Infatti, un numero cospicuo di bovine non avendo ancora completato di alimentarsi prima delle operazioni di pulizia, ritornavano alla mangiatoia. Questo andamento della curva del CFI è più evidente nella settimana n. 1 e nella n. 6 in modo mentre nella settimana n. 52 risulta meno accentuato. Tale variazione potrebbe essere stata determinata dal cambiamento di alcune operazioni relative alla gestione della mandria. Probabilmente, l'allevatore ha anticipato l'orario di distribuzione dell'alimento consentendo così agli animali di completare l'alimentazione prima di essere confinati per consentire la pulizia della corsia di alimentazione.

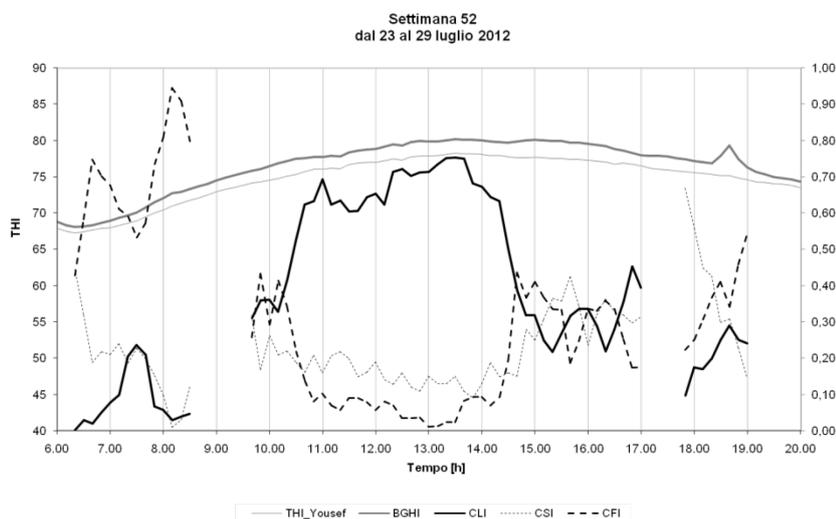


**Figura 22 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 5 e l'11 settembre 2011 (settimana 6).**

Successivamente, in tutte tre le settimane del *cluster A*, a partire dalle ore 11:00 si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI perché le bovine, completata l'alimentazione, si spostavano dalla mangiatoia verso le cuccette.

Tra le ore 11:00 e le ore 14:30 circa, la curva dell'indice CLI assume i valori massimi, mentre la curva dell'indice CFI presenta i valori minimi e la curva dell'indice CSI si mantiene sui valori medi; tale intervallo è caratterizzato dai valori più elevati della temperatura dell'aria all'interno della stalla e, pertanto,

dall'attivazione completa (ventilatori ed erogatori) del sistema di raffrescamento evaporativo.



**Figura 23 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 23 e il 29 luglio 2012 (settimana 52).**

Nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 14:30 e le ore 17:00, quando il sistema di raffrescamento evaporativo non era attivo, viene registrato un decremento dei valori dell'indice CLI e un innalzamento dei valori del CSI. Infatti, gli animali, a causa dell'assenza di raffrescamento nell'area di riposo, interrompevano il decubito nelle cuccette per stazionare nella corsia di alimentazione dove, nel frattempo, era attivato il sistema di raffrescamento per bagnatura diretta del loro corpo.

Alle ore 17:00 circa gli animali si spostavano nella zona di mungitura.

Nell'ultima parte dei grafici, tra le ore 18:30 e le ore 20:00, si riscontra un incremento della curva dell'indice CFI subito dopo la mungitura, poiché gli animali rientrando in stalla si recavano alla mangiatoia per alimentarsi.

In definitiva, dalle analisi effettuate emerge che le settimane incluse nel *cluster A* sono risultate disomogenee dal punto di vista dei comportamenti delle bovine da latte.

#### 4.1.2 Cluster B

Il *cluster* B include le settimane n. 3, 4, 48 e 51 anch'esse ricadenti nella stagione estiva. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 25,9°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 16,6°C e di 35,2°C. L'umidità relativa dell'aria, è stata mediamente del 48,3% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 15,6% e di 89,5%.

Le settimane del *cluster* B sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio a pari a 95,20 e pari a 95,62.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 14. Pertanto, anche nel corso di tali settimane erano attivi i sistemi di raffrescamento.

**Tabella 14 - Valori minimi, medi e massimi dei parametrici microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster* B.**

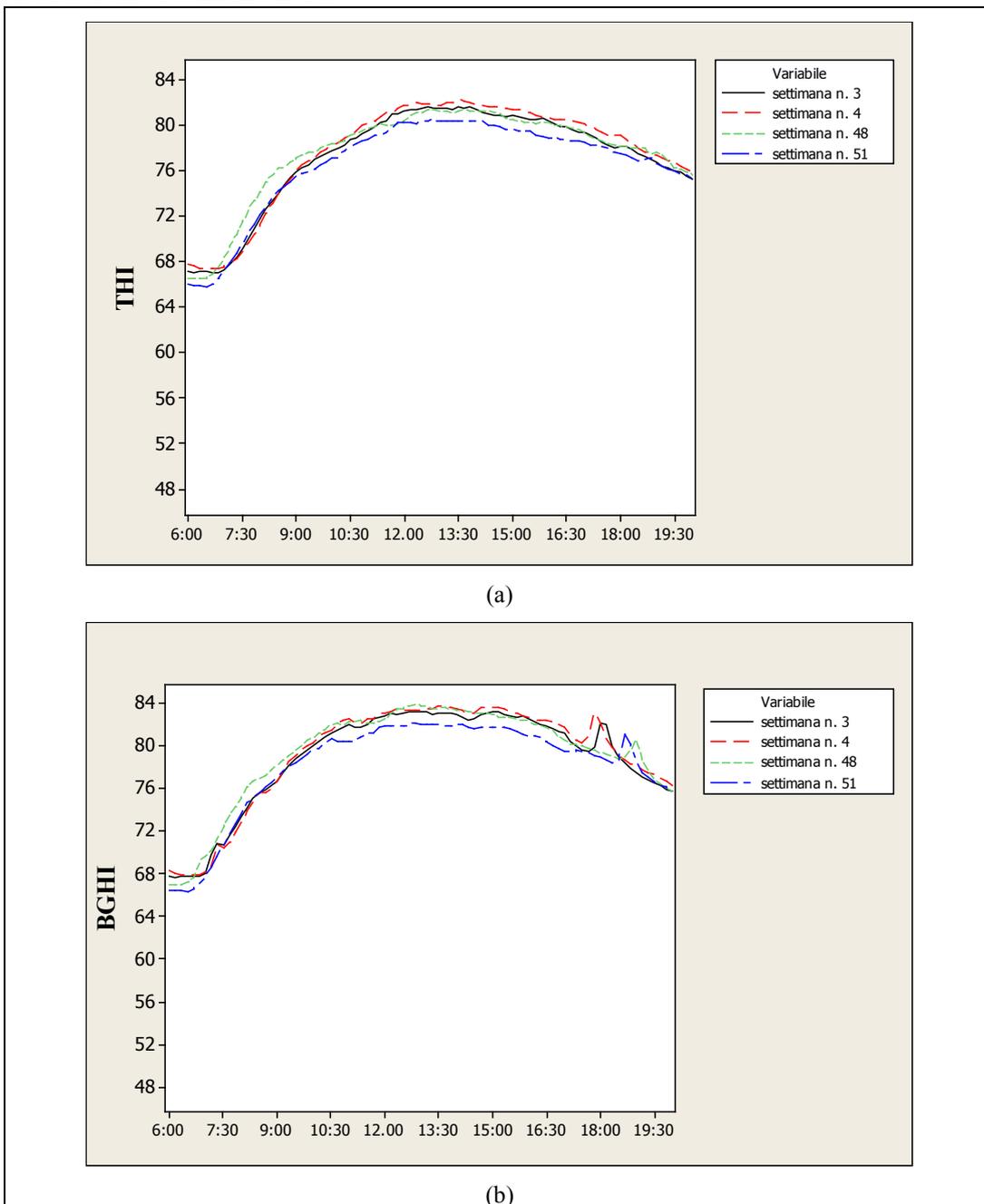
	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	17,3	25,4	65,8	66,3
Medio	26,7	60,5	77,3	78,9
Massimo	36,5	97,7	82,2	83,8

I grafici riportati nella Figura 24 mostrano per ciascuna settimana, l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno delle settimane appartenenti al *cluster*, a intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 6:00 e le ore 20:00.

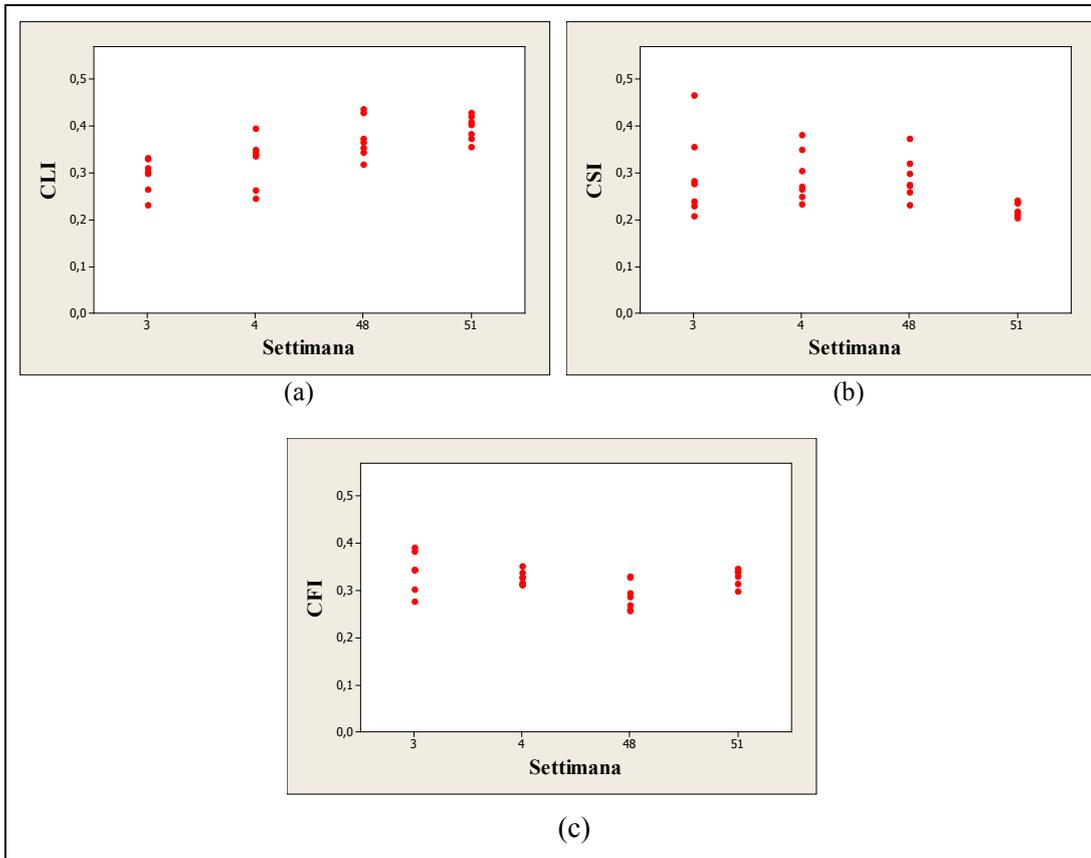
Nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 11:00 e le ore 16:30 durante, le quattro settimane appartenenti al *cluster* i valori dei parametri termo-igrometrici all'interno della stalla sono stati tali da determinare valori medi degli indici di stress termico THI e BGHI maggiori di 80 che, secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al., 2001; McDowell et al., 1976; Thom, 1959), provocano stress da caldo per le bovine. In particolare, i valori massimi degli indici THI e BGHI sono stati riscontrati durante la settimana n. 4, mentre i valori minimi sono stati riscontrati nel corso della settimana n. 51.

I grafici riportati in Figura 25 descrivono l'andamento dei i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per le quattro settimane appartenenti al *cluster*. Per quanto riguarda l'indice comportamentale CLI (Figura 25a), si rileva che esso assume valori più omogenei nel corso della settimana n. 51 e presenta una maggiore variabilità durante la settimana n. 4.

Analizzando il grafico dell'indice comportamentale CSI (Figura 25b), si maggiore variabilità dei valori calcolati durante la settimana n. 3 rispetto a quelli relativi alla settimana n. 51.



**Figura 24 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al cluster B, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 6:00 e le ore 20:00.**



**Figura 25 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le quattro settimane del cluster B: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.**

Infine, nel grafico descritto in Figura 25c, che rappresenta i valori dell'indice comportamentale CFI, i dati più variabili si riscontrano durante la settimana n. 3 e quelli più omogenei nella settimana n. 4.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori assunti da ciascun indice comportamentale, è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito delle settimane incluse nel cluster e caratterizzate da livelli di similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.

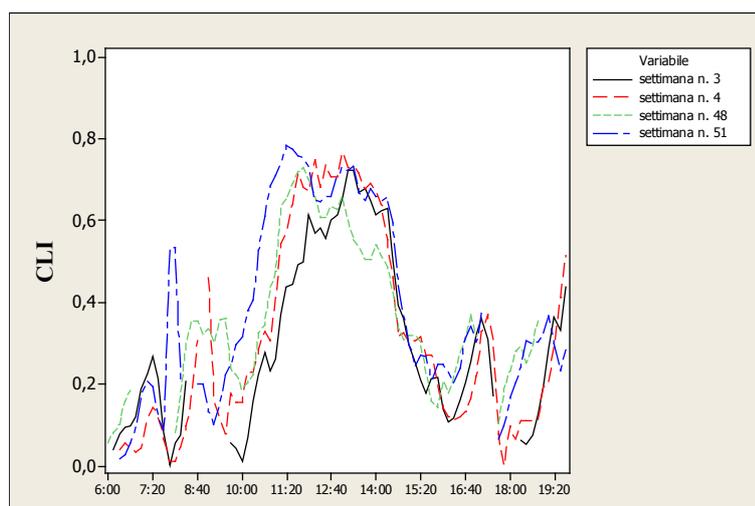
**Tabella 15 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle quattro settimane del cluster B.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
3	7	0,3015	6,0	-3,16
4	7	0,3383	11,3	-1,19
48	7	0,3649	18,4	1,46
51	7	0,4019	22,3	2,89
Overall	28		14,5	

H = 16,41 DF = 3 P = 0,001

In Tabella 15 sono riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle quattro settimane del *cluster* considerato. Dalla tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,001 e quindi, inferiore al valore di riferimento pari a 0,05. Pertanto, l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane, viene scartata. L'esistenza di una differenza significativa tra le mediane è avvalorata anche dai risultati dello *z*-test che per la settimana n. 3 e per la settimana n. 51 risultano nelle due regioni di rifiuto del test, cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

In Figura 26 è stato riportato il grafico che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane considerate. Nel corso della settimana n. 51, tra le ore 7:30 e le ore 8:00 e poi tra le ore 10:30 e le ore 12:00, l'indice CLI assume valori molto più alti rispetto alle altre settimane. La curva che descrive l'andamento dei valori medi dell'indice CLI per la settimana n. 3 appare differente, soprattutto nell'intervallo di tempo compreso tra le 9:00 e le 12:00 in cui la curva presenta il valore minimo pari a 0,00 intorno alle ore 10:00. Valori minimi più elevati si riscontrano dagli andamenti dei grafici relativi alle altre settimane del *cluster*. Questa diversità è stata determinata da una variazione della gestione della stalla. In particolare, durante la settimana n. 3 le operazioni di pulizia della corsia di alimentazione e di distribuzione della sabbia pulita, nelle cuccette sono state svolte dall'allevatore in ritardo e per un tempo più prolungato rispetto alle altre settimane a causa dell'assenza dell'operaio addetto. Tale ritardo nelle operazioni di pulizia ha determinato l'interruzione dell'alimentazione alla mangiatoia degli animali e, conseguentemente, il proseguimento di tale attività subito dopo il loro ingresso nella corsia di alimentazione a conclusione della pulizia stessa. La curva dell'indice CLI per la settimana n. 3, infatti, risulta traslata in avanti rispetto alle altre poiché gli animali si sono recati in ritardo nelle cuccette.



**Figura 26 - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* B, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 6:00 e le ore 20:00, dei valori dell'indice**

**CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

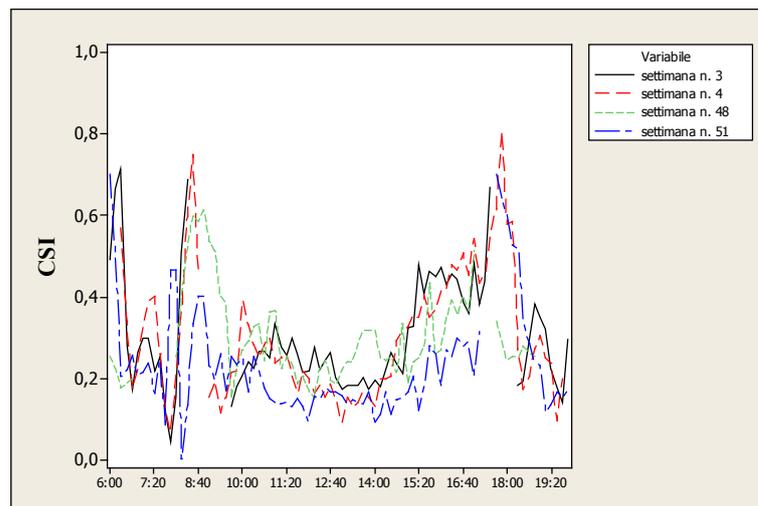
In Tabella 16 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI. In tale tabella si evince che il  $p$ -value è risultato pari a 0,022. Tale valore, essendo inferiore al valore di riferimento pari a 0,05, porta a scartare l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esistano differenze significative tra le mediane. In tale analisi la settimana n. 51 risulta significativamente differente dalle altre per l'indice di CSI poiché lo z-test rileva un valore di  $z$  pari -3,05.

La differenza significativa della settimana n. 51 rispetto alle altre appartenenti al *cluster* si nota anche osservando la Figura 27 in cui è riportato il grafico relativo all'andamento della curva CSI. In particolare, nell'intervallo di tempo tra le ore 10:00 e le ore 11:30 la curva assume valori inferiori rispetto alle altre settimane, andamento che si ripete anche dalle 14:30 alle 16:00. I valori più bassi registrati per l'indice CSI nella settimana n. 51 potrebbero essere in parte determinati dai valori più contenuti degli indici di stress termico (Figura 24).

**Tabella 16 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle quattro settimane del *cluster* B.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
3	7	0,2755	15,9	0,50
4	7	0,2703	17,9	1,25
48	7	0,2737	18,0	1,30
51	7	0,2162	6,3	-3,05
Overall	28		14,5	

H = 9,60 DF = 3 P = 0,022



**Figura 27 - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* B, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 6:00 e le ore 20:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

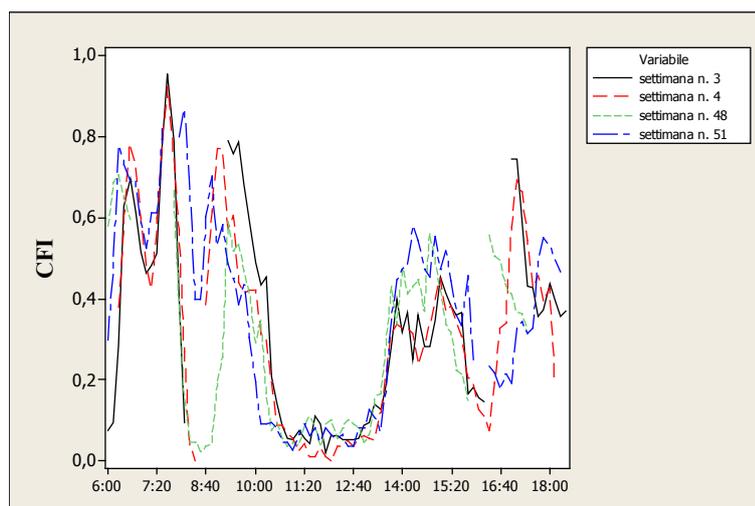
**Tabella 17 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CFI nelle quattro settimane del cluster B.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
3	7	0,3420	15,9	1,67
4	7	0,3269	17,9	0,13
48	7	0,2845	18,0	-2,94
51	7	0,3379	6,3	1,14
Overall	28		14,5	

H = 9,59 DF = 3 P = 0,022

In Tabella 17 si riscontrano i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI.

Dai dati riportati in tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,022. Tale valore, essendo inferiore al valore di riferimento pari a 0,05, comporta il rifiuto dell'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esistano differenze significative tra le mediane. In tale analisi la settimana significativamente differente dalle altre per l'indice CFI risulta la settimana n. 48 poiché il suo z-test risulta pari a -2,94.

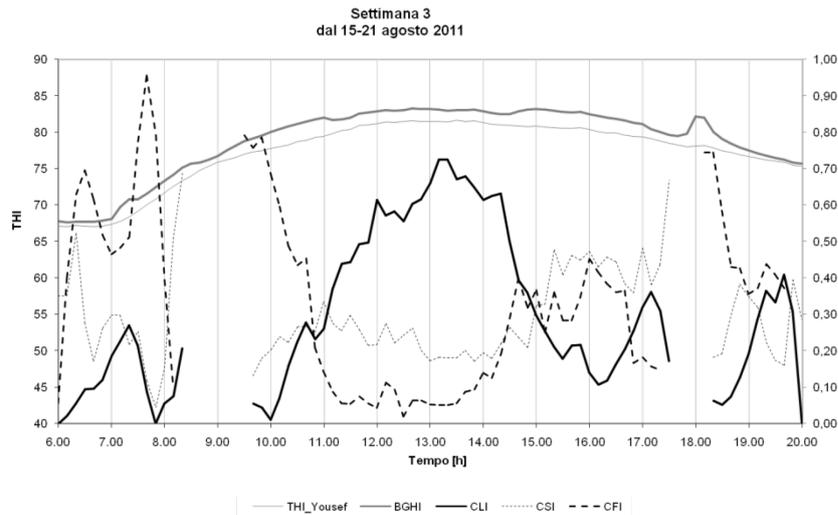


**Figura 28 - Per tutte le settimane appartenenti al cluster B, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 6:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

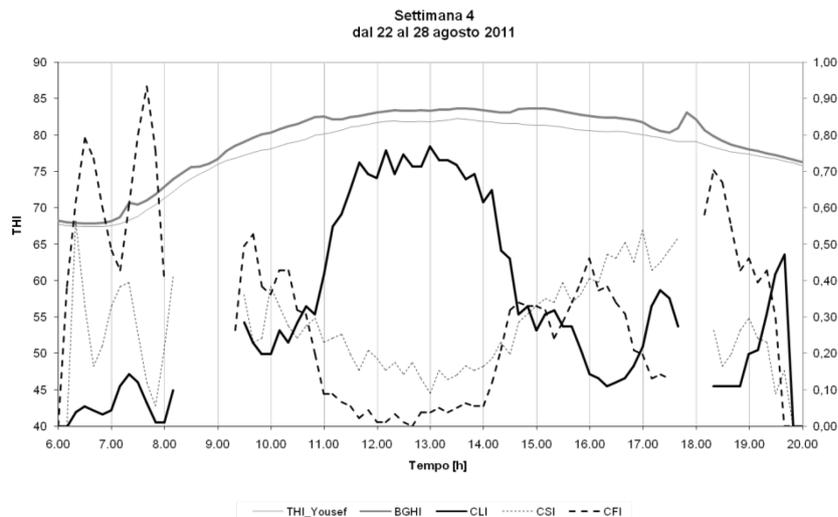
La significativa differenza della 48 settimana rispetto alle altre appartenenti al cluster, si nota anche dal grafico riportato in Figura 28 dove si osserva un diverso andamento della curva. In particolare, nell'intervallo di tempo tra le ore 8:00 e le ore 9:30 la curva assume valori molto più bassi rispetto alle altre settimane. In particolare tra le ore 8:00 e le ore 8:40 la curva assume valori nulli. Tale differenza potrebbe essere stata determinata da una variazione della gestione del gruppo durante le operazioni di pulizia.

Nelle Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti

mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster* B. Come già detto per il *cluster* A, le curve vengono interrotte durante la mattina, nella fascia oraria che va dalle ore 8:30 alle ore 9:30, e nel pomeriggio, dalle ore 17:40 e alle ore 18:10, poiché in tali intervalli il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore. Dalle ore 6:00 alle ore 8:30 e dalle ore 9:30 alle ore 11:00 i comportamenti osservati sono del tutto analoghi a quelli già descritti nel *cluster* A.



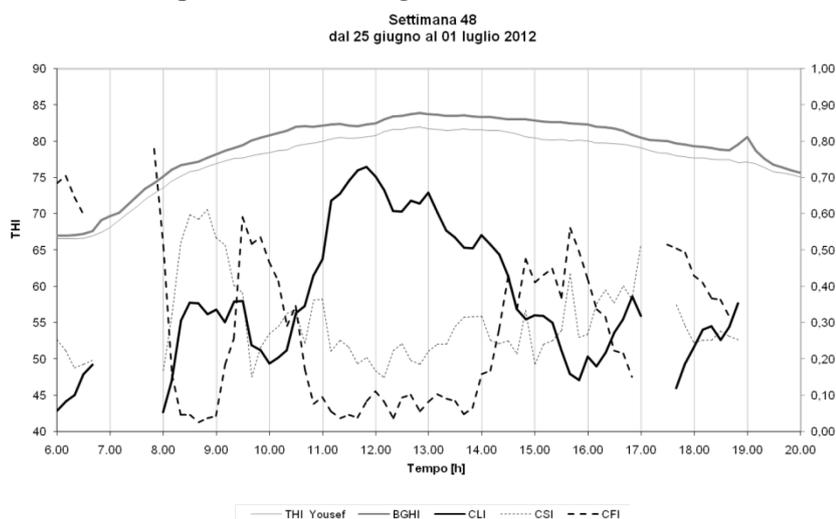
**Figura 29 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 15 e il 21 agosto 2011 (settimana 3).**



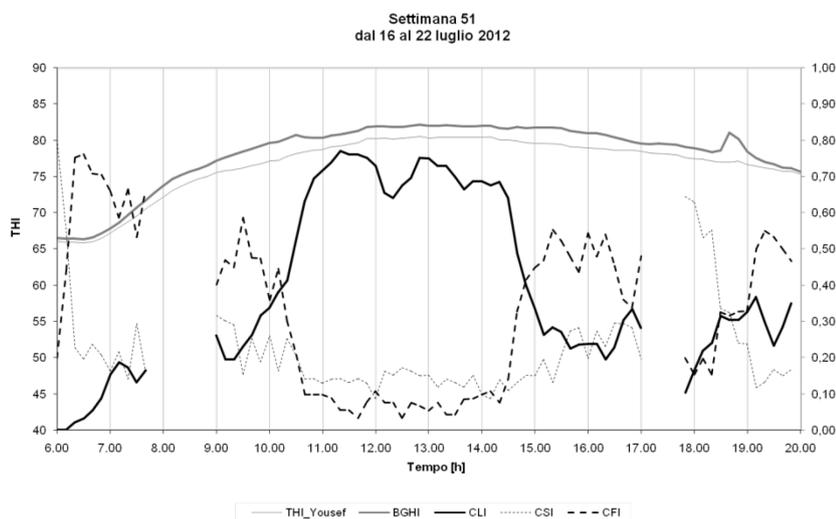
**Figura 30 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie acquisite a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette**

giorni compresi tra il 22 e il 28 agosto 2011 (settimana 4).

Una lieve differenza, tuttavia, è stata rilevata nella settimana n. 48. Durante tale settimana, infatti si nota un abbassamento della curva dell'indice CFI e un contemporaneo innalzamento della curva dell'indice CSI, fino a raggiungere il picco massimo giornaliero. Con i dati in possesso, non è possibile dare una spiegazione certa del perché ciò avvenga.



**Figura 31 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 25 giugno e il 01 luglio 2012 (settimana 48).**



**Figura 32 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 16 e il 22 luglio 2012 (settimana 51).**

Tuttavia, poiché in tale intervallo di tempo le condizioni microclimatiche interne non hanno subito variazioni significative rispetto alle altre settimane del *cluster*, è possibile ipotizzare che il comportamento delle bovine sia stato

influenzato da una variazione della conduzione dell'attività da parte dell'allevatore, come ad esempio una diversa gestione della distribuzione dell'alimento o della pulizia della corsia di alimentazione.

Dalle ore 11:00 alle ore 17:30 e dalle ore 18:30 alle ore 20:00 il comportamento degli animali è risultato analogo a quello evidenziato per le settimane del *cluster* A.

In definitiva, dalle analisi effettuate emerge che le settimane incluse nel *cluster* B sono risultate disomogenee dal punto di vista dei comportamenti delle bovine da latte, oltre che per le condizioni climatiche esterne ed interne all'edificio, come per il *cluster* A.

### 4.1.3 Cluster C

Il *cluster C* include la settimana n. 40 e la settimana n. 41 ricadenti nella stagione primaverile considerata nella presente sperimentazione. In tali settimane non erano attivi i sistemi di raffrescamento installati nella stalla. La temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 18,6°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 9,7°C e di 27,2°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria, essa è stata mediamente del 51,2% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 15,3% e di 88,3%.

Le settimane del *cluster C* sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni interne ed esterne all'edificio pari rispettivamente a 98,25 e pari a 98,90.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 18.

**Tabella 18 - Valori minimi, medi e massimi dei parametrici microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster C*.**

	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	10,7	24,4	72,9	57,9
Medio	19,8	63,1	68,9	71,4
Massimo	29,3	96,4	72,9	75,9

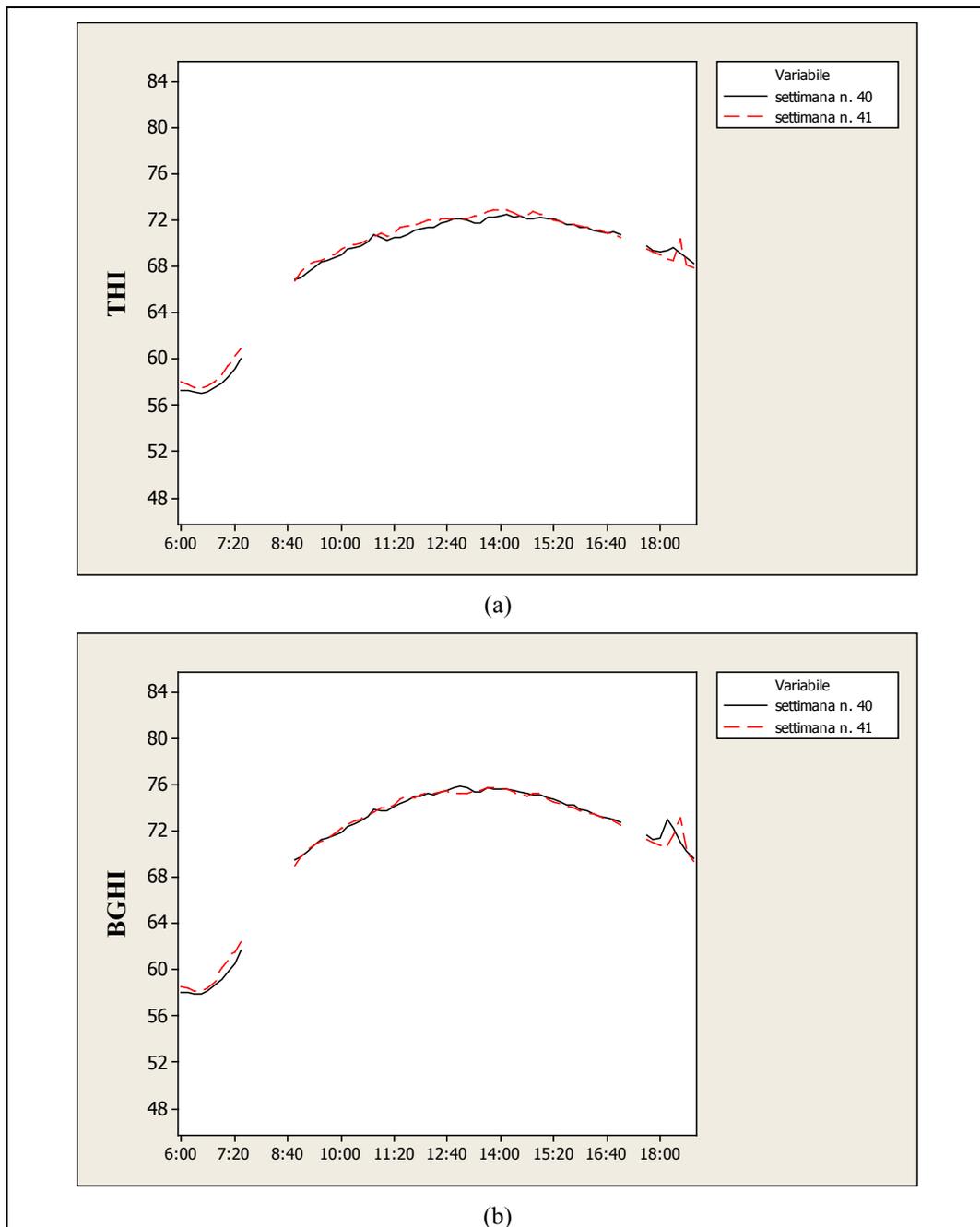
Il grafico riportato in Figura 33 mostra l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno delle settimane appartenenti al *cluster C*, ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 6:00 e le ore 19:00.

Durante le due settimane appartenenti al *cluster*, nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 11:00 e le ore 16:30, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche che hanno determinato valori medi più elevati degli indici di stress termico THI e BGHI compresi tra 72 e 76. Secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al.,2001; McDowell et al.,1976; Thom, 1959) tali valori degli indici THI e BGHI hanno come conseguenza un lieve stress termico per le bovine.

I grafici riportati nella Figura 34, rappresentano i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per le 2 settimane considerate.

La settimana n. 40 è stata caratterizzata da valori più omogenei degli indici comportamentali CLI, CSI e CFI, rispetto alla settimana n. 41.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori assunti da ciascun indice comportamentale, è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito di settimane caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.



**Figura 33 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al *cluster C*, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 6:00 e le ore 20:00.**

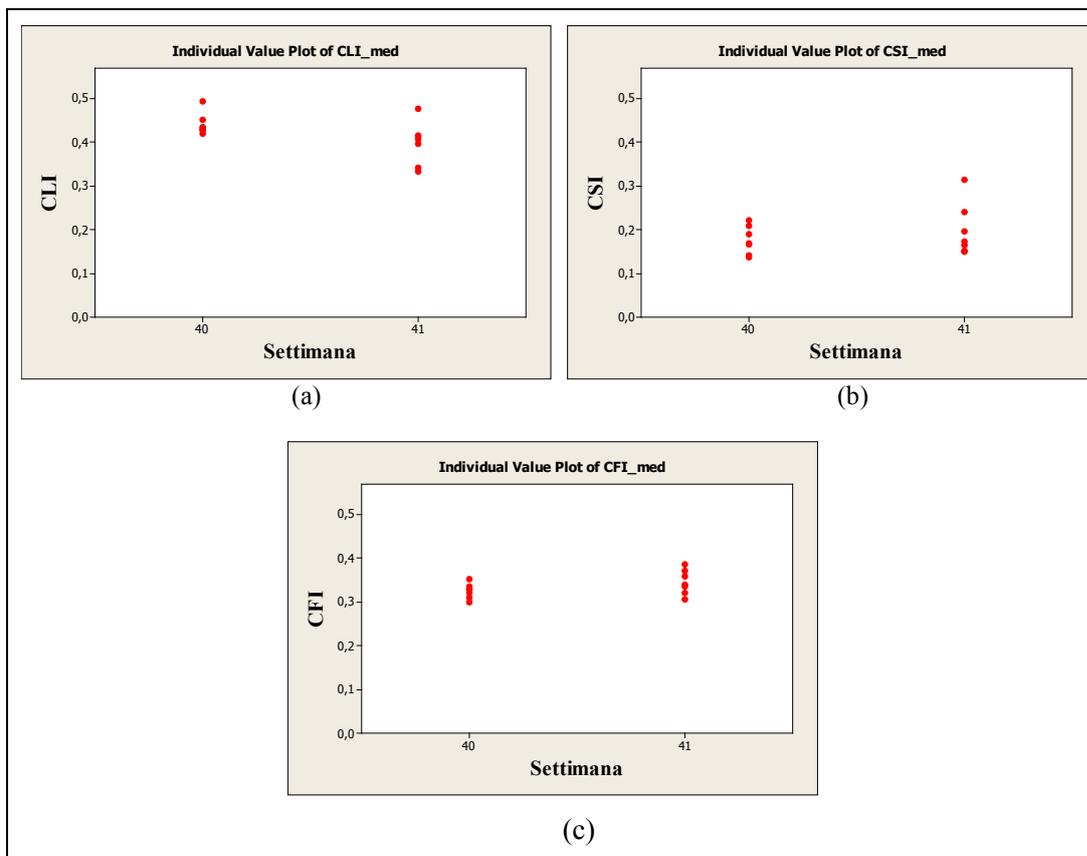


Figura 34 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le due settimane del *cluster C*: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.

Tabella 19 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle due settimane del *cluster C*.

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
40	7	0,4329	10,1	2,36
41	7	0,4072	4,9	-2,36
Overall	14		7,5	

H = 5,59 DF = 1 P = 0,018

In Tabella 19 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle due settimane del *cluster C*. Sono riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle due settimane del *cluster* considerato. Dalla tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,018 quindi essendo inferiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esista una differenza significativa, tra le mediane viene scartata. Tra queste due settimane esiste di una differenza significativa tra le due mediane, infatti in entrambe le settimane i risultati dello z-test riportano valori che appartengono alle due regioni di rifiuto, cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

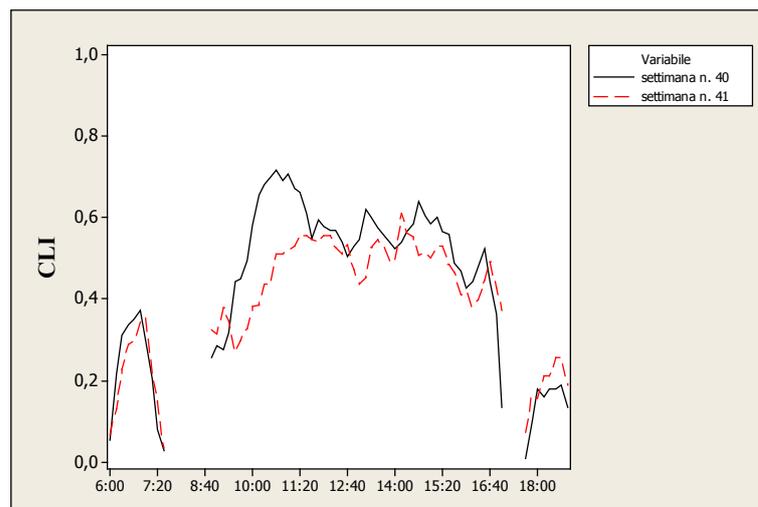
La differenza tra le due settimane si nota anche in Figura 35 è stato riportato il grafico che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni di ogni settimana. Gli andamenti delle due curve dell'indice comportamentale CLI risultano essere molto diversi tra di loro, in particolare nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 9:00 e le ore 12:00 si manifesta una notevole diversità tra le due curve, nello specifico nella 40 settimana si riscontrano valori molto più alti.

In Tabella 20 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuato per l'indice CSI.

In questa tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,565 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane viene accettata.

La similarità delle due settimane si nota anche nella Figura 36 in cui è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CSI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le due settimane appartenenti al *cluster C*. I diagrammi dell'indice CSI appartenenti alle due settimane considerate hanno un andamento nel complesso abbastanza simile.

In Tabella 21 si riscontrano i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI.



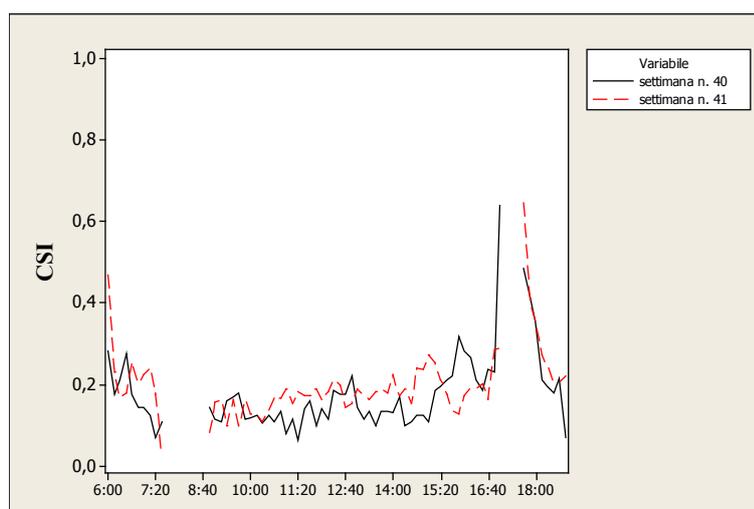
**Figura 35 - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster C*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 6:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

**Tabella 20 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle due settimane del *cluster C*.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
40	7	0,1684	6,9	-0,57
41	7	0,1736	8,1	0,57

Overall	14	7,5
H = 0,33 DF = 1 P = 0,565		

In questa tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,110 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  che non esista una differenza significativa tra le mediane viene accettata. Da tali analisi le due settimane non risultano essere significativamente differenti per l'indice di CFI; i valori dello  $z$ -test ricadono nella zona di accettazione della  $z$ .



**Figura 36** – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster C*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 6:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

**Tabella 21** - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello  $z$ -test effettuati per l'indice CFI nelle due settimane del *cluster C*.

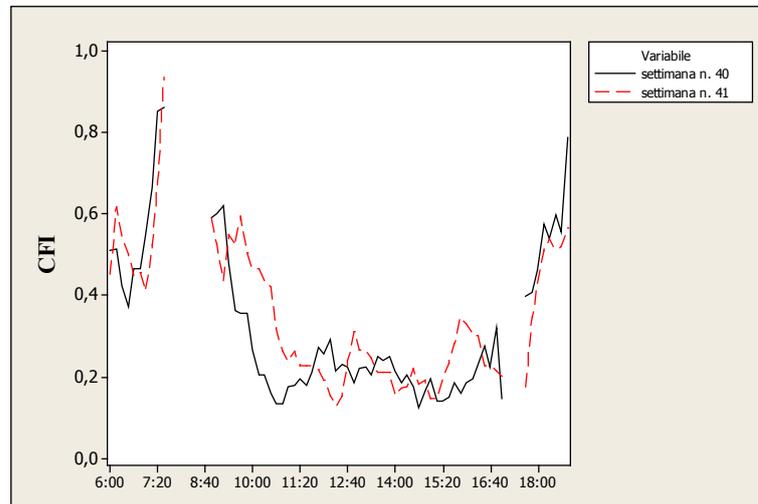
Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	$z$ -test
40	7	0,3278	5,7	-1,60
41	7	0,3390	9,3	1,60
Overall	14		7,5	

H = 2,55 DF = 1 P = 0,110

Nella Figura 37 è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CFI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le settimane appartenenti al *cluster C*.

L'andamento delle due curve in alcune parti è simile in altre no, come ad esempio nell'intervallo tra le ore 9:40 e le ore 15:00 quando si nota la più ampia differenza tra di esse.

Nella Figura 38 e nella Figura 39 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster C*.



**Figura 37** – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster C*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 6:00 e le ore 19:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

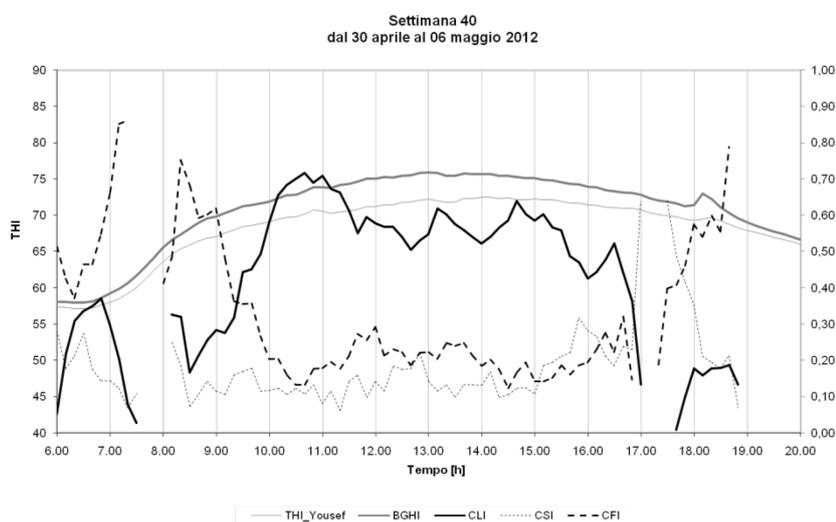
In particolare, ogni diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 6:00 e le ore 19:00. Le curve vengono interrotte durante la mattina, nella 40 settimana nella fascia oraria che va dalle ore 7:30 alle ore 8:10 e nella 41 settimana nell'intervallo compreso tra le ore 7:50 alle ore 8:50 poiché in tali intervalli il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore. Un'ulteriore interruzione si riscontra nel pomeriggio dalle ore 17:00 e alle ore 17:30 in entrambe le settimane, dovuta all'operazione di mungitura.

Dopo le ore 6:00, completata la mungitura, la maggior parte delle bovine rientrando nella stalla accedevano alla rastrelliera per l'alimentazione. Alcune di loro, però, preferivano sdraiarsi nelle cuccette o rimanevano a stazionare nella corsia di alimentazione.

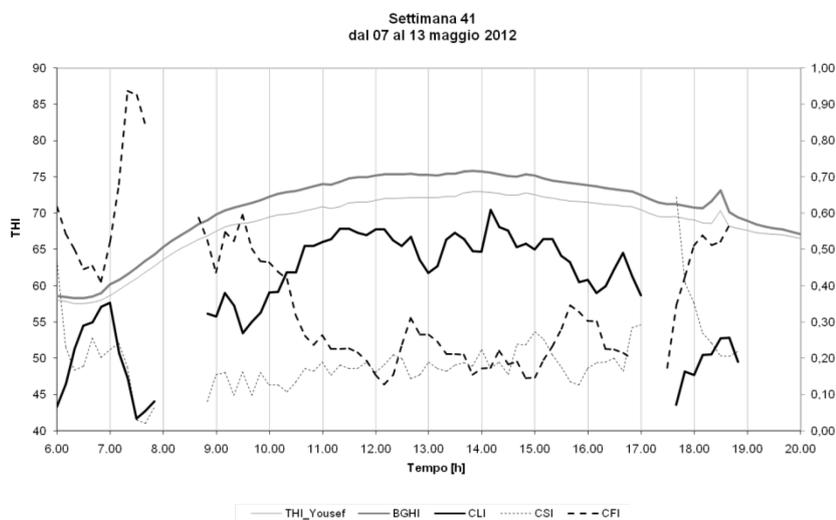
Nella settimana n. 40 nell'intervallo orario compreso tra le ore 8:10 e le ore 9:30 e nella settimana n. 41 tra le ore 8:50 e le ore 10:00, il comportamento degli animali è risultato fortemente influenzato dalla precedente attività di pulizia della corsia di alimentazione. Infatti, i grafici mostrano in questi intervalli un ulteriore valore di picco dell'indice CFI determinato dal rientro degli animali nella corsia di alimentazione. In tali orari un numero cospicuo di bovine non avendo completato di alimentarsi, ritornavano in mangiatoia dopo essere state confinate

dall'allevatore nell'area della stalla comprendente la zona di riposo e la corsia di servizio, al fine di effettuare le operazioni di pulizia.

Successivamente, in entrambe le settimane del *cluster C*, intorno alle ore 11:00 si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI; perché le bovine, completata l'alimentazione, si spostavano dalla mangiatoia verso le cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI mostrano la permanenza di alcuni animali nella corsia di alimentazione. Da questo momento in avanti, fin quando alle ore 17:00 verrà svolta la seconda mungitura, la curva dell'indice CLI aumenta e si mantiene su valori medio - alti facendo registrare una presenza costante di bovine in *lying* dentro le cuccette.



**Figura 38 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 30 aprile e il 06 maggio 2012 (settimana 40).**



**Figura 39 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 07 e il 13 maggio 2012 (settimana 41).**

Dalle ore 17:00 alle ore 17:30 circa gli animali vengono accompagnati alla mungitura.

Nell'ultima parte dei grafici, tra le ore 17:30 e le 19:00 si riscontra un incremento della curva dell'indice CFI subito dopo la mungitura, poiché buona parte degli animali rientrando in stalla si recavano alla mangiatoia per alimentarsi.

In definitiva, le due settimane appartenenti al *cluster C* sono risultate omogenee per quanto riguarda il comportamento di *standing*, e solo parzialmente per il *feeding*. Una variazione più marcata è stata invece, registrata per l'attività di decubito all'interno delle cuccette. Questa diversità è stata determinata da una diversa gestione della mandria, infatti le operazioni di pulizia della corsia di alimentazione e di distribuzione della paglia fresca, nella settimana n. 41 vengono svolte più tardi rispetto alla settimana n. 40. Di conseguenza, la curva della settimana n. 41 risulta traslata in avanti rispetto a quella relativa alla settimana n. 40, poiché gli animali si recano in ritardo in mangiatoia.

#### 4.1.4 Cluster E

Il *cluster C* include la settimana n. 13, la n. 14, la n. 15 e la n. 17 ricadenti nella stagione autunnale considerata nella presente sperimentazione. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 16°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 7,8°C e di 23,6°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa, essa è stata mediamente del 76,4% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 43,9% e di 93%.

Le settimane del *cluster E* sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni interne ed esterne all'edificio pari rispettivamente a 95,86 e pari a 95,75.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 22.

**Tabella 22 - Valori minimi, medi e massimi dei parametri microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster E*.**

	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	8,4	57,01	58,50	59,48
Medio	16,5	88,07	64,91	66,62
Massimo	24,4	100,60	69,01	70,90

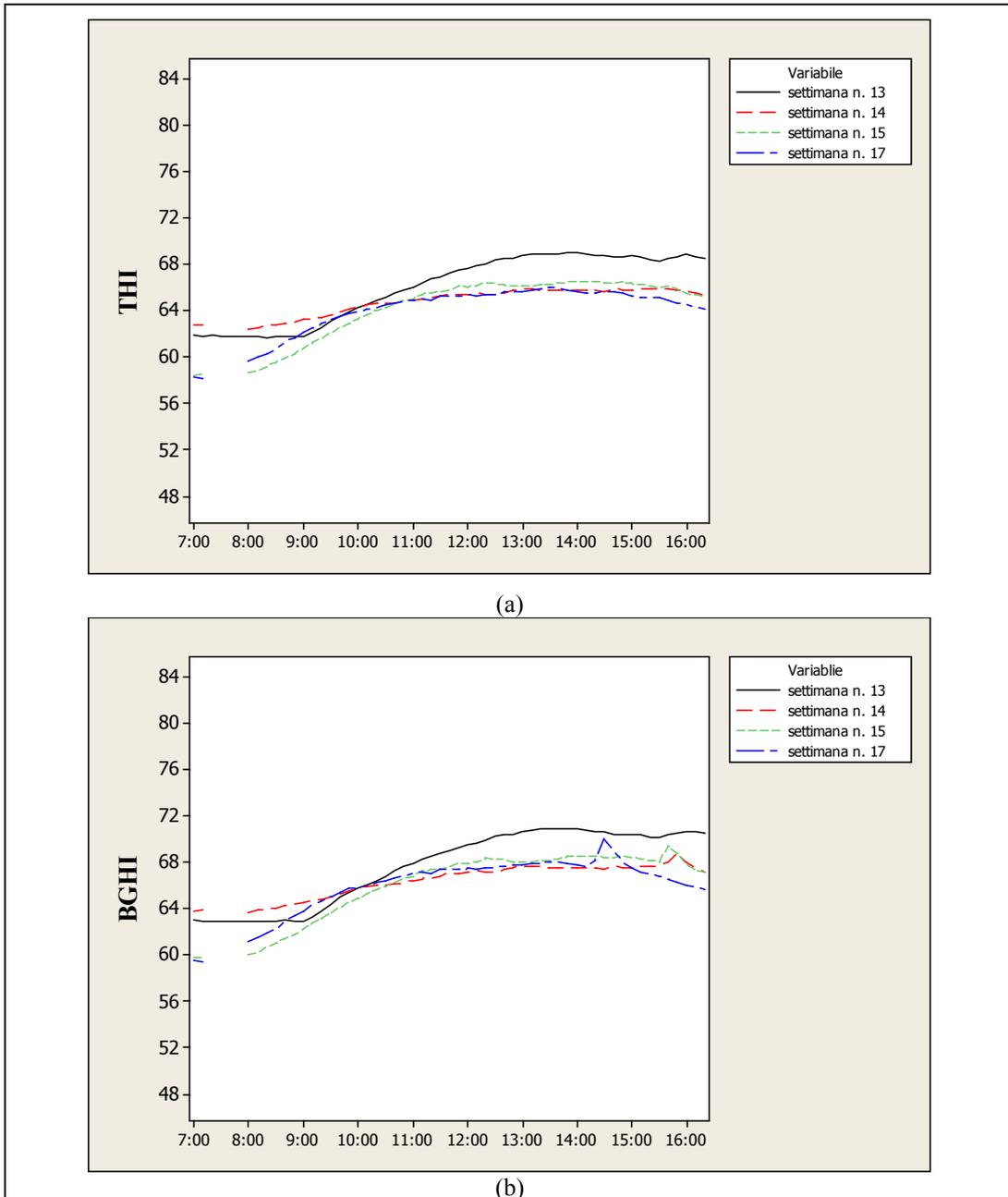
Il grafico riportato in Figura 40 mostra per ciascuna settimana, l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno della settimana ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 16:30.

Durante le settimane appartenenti al *cluster*, nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 11:00 e le ore 16:30, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche che hanno determinato valori medi degli indici di stress termico THI e BGHI non superiori a 70. Secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al., 2001; McDowell et al., 1976; Thom, 1959) tali valori appartengono alla classe di comfort termico.

Dal grafico in questione, si osserva che l'andamento delle curve del THI e del BGHI appartenenti alla 13 settimana assumono andamenti diversi, con valori più elevati rispetto alle altre settimane appartenenti al *cluster*. Infatti, in tale settimana è stata registrata una temperatura media interna più alta rispetto alla media del *cluster* pari a 18,10°C e un elevato tasso di umidità media pari a 86,75%.

I grafici riportati nella Figura 41, rappresentano i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per le settimane incluse nel *cluster* considerato.

Per quanto riguarda l'indice comportamentale CLI, esso assume valori più omogenei nel corso della 13 settimana e presenta una maggiore variabilità durante la settimana n. 15. Per tale settimana infatti, si è registrata una variabilità più marcata degli indici comportamentali CSI e CFI.



**Figura 40 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al *cluster* E, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.**

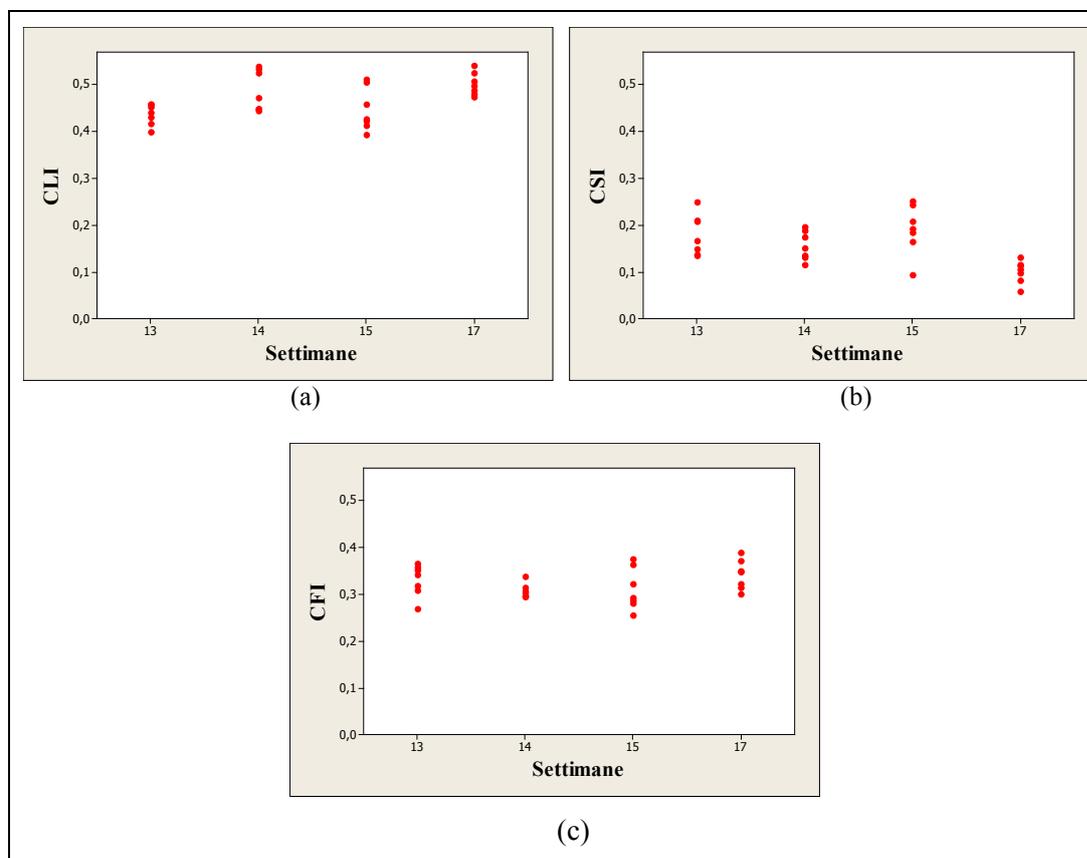


Figura 41 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le quattro settimane del *cluster E*: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.

Tabella 23 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle quattro settimane del *cluster E*.

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
13	7	0,4396	8,6	-2,20
14	7	0,4708	17,6	1,14
15	7	0,4256	10,6	-1,46
17	7	0,4969	21,3	2,52
Overall	28		14,5	Overall

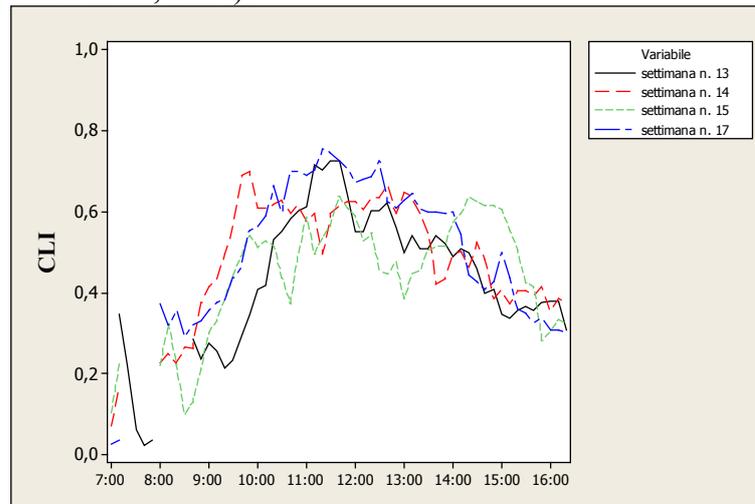
H = 10,97 DF = 3 P = 0,012

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori medi giornalieri assunti da ciascun indice comportamentale nell'ambito delle settimane analizzate, è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito di settimane caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.

In Tabella 23 sono stati riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle quattro settimane del *cluster* considerato. Dalla tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,012. Tale risultato, essendo inferiore al valore di riferimento pari a 0,05, porta a scartare l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non vi siano differenze significative tra le mediane. L'esistenza di una differenza significativa tra le mediane è avvalorata anche dai risultati dello *z*-test che per la settimana n. 13 e per la settimana n.17 risultano nelle due regioni di rifiuto del test, cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

La differenza della 13 e della 17 settimana si nota anche in Figura 42 in cui è stato riportato il grafico che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane considerate. Nel corso della 17 settimana, l'indice CLI assume valori molto più alti rispetto alla 13 settimana. L'unico intervallo di tempo, in cui le due curve quasi si sovrappongono, va dalle ore 10:40 alle ore 11:40.

Tale andamento della curva appartenente alla 13 settimana, probabilmente è derivato dal fatto che i valori della temperatura media interna, come sopraccitati risultano più elevati rispetto alle temperature medie del *cluster*. Infatti, con temperature più elevate le bovine tendono a rimanere per meno tempo in lying, come riferisce la bibliografia esistente in materia (Cook *et al.*, 2007; Provolo *et al.*, 2007; Zahner *et al.*, 2004).



**Figura 42** – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* E, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

**Tabella 24** - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello *z*-test effettuati per l'indice CLI nelle quattro settimane del *cluster* E.

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	<i>z</i> -test
13	7	0,1654	18,9	1,62
14	7	0,1501	14,9	0,13

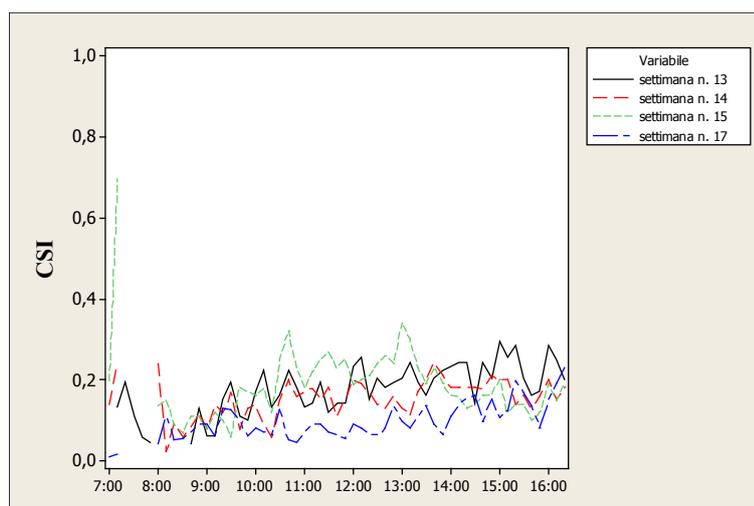
15	7	0,1911	19,4	1,83
17	7	0,1047	4,9	-3,58
Overall	28		14,5	Overall

H = 14,11 DF = 3 P = 0,003

In Tabella 24 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuato per l'indice CSI.

Dai risultati riportati nella tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,003, quindi inferiore al valore di riferimento pari a 0,05. Pertanto, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane viene scartata, come per l'indice CLI. In tale analisi, la settimana n. 17 risulta significativamente differente dalle altre per l'indice di CSI poiché lo z-test rileva un valore di  $z$  pari -3,58.

La differenza significativa della 17 settimana rispetto alle altre appartenenti al *cluster*, si nota anche nella Figura 43 in cui si riporta il grafico relativo all'andamento della curva CSI. La curva appartenete alla 17 settimana presenta i valori sempre inferiori rispetto a quelli delle altre settimane, spesso sfiorando il valore zero.



**Figura 43 – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* E, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

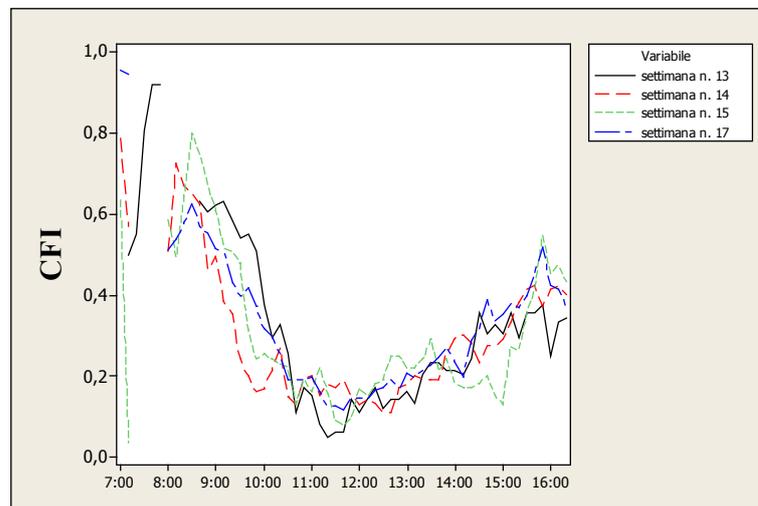
**Tabella 25 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle quattro settimane del *cluster* E.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
13	7	0,3407	16,9	0,88
14	7	0,3006	10,4	-1,51
15	7	0,2911	11,6	-1,09
17	7	0,3467	19,1	1,72

Overall	28	14,5
H = 5,41 DF = 3 P = 0,144		

In Tabella 25 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI. Dai dati della tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,144, questo valore essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, avvalorata l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane.

La similarità tra le settimane del *cluster E*, viene riscontrata, anche, nella Figura 44 dove è riportato il grafico dei valori medi dell'indice CFI calcolati ad intervalli di 10 minuti. L'andamento delle curve appare nel complesso molto simile.



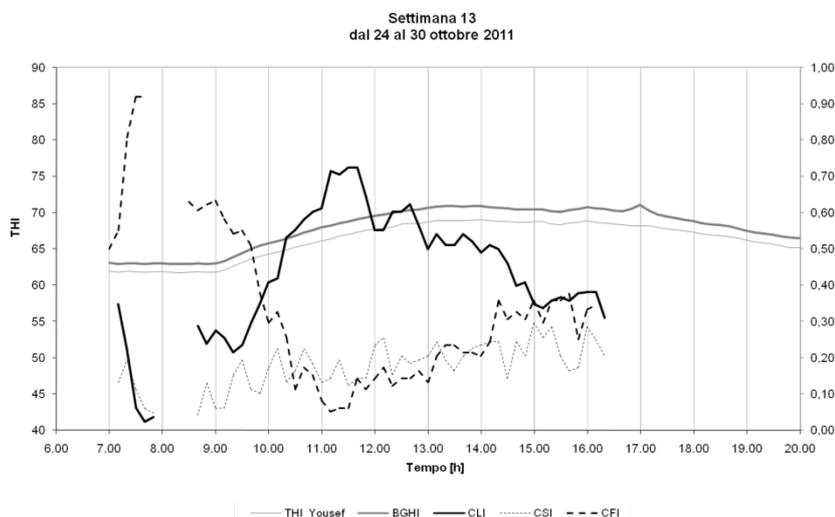
**Figura 44** – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster E*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

Nelle Figura 45, Figura 46, Figura 47 e Figura 48 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster E*.

In particolare, ogni diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 7:00 e le ore 16:30. Le curve vengono interrotte durante la mattina, nella ore 7:20 alle ore 8:00, per le settimane n. 14, per la n. 15 e per la n. 17. L'interruzione avviene dalle ore 8:00 alle ore 9:00, per la settimana n:13 poiché in tale intervallo il comportamento delle bovine subiva l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore.

Il grafico della settimana n. 13 rappresentato in Figura 45, in particolare, illustra andamenti diversi degli indici comportamentali rispetto alle altre tre settimane del *cluster*. In tale settimana, le operazioni di pulizia vengono svolte in ritardo dalle ore 7:50 alle ore 8:40; ciò potrebbe essere dovuto al fatto che in tale settimana, essendo ancora in vigore l'ora legale l'allevatore ha svolto le operazioni secondo le consuetudini che segue in estate.

Passando ad analizzare gli andamenti delle curve si nota come quella appartenente all'indice CLI assuma un tendenza molto diversa durante l'arco della giornata rispetto alle altre settimane, in particolare dalle ore 13:00 si nota un decremento dei valori del CLI e un aumento dei valori del CFI, questo fenomeno potrebbe essere dovuto al fatto che l'allevatore in tale settimana ha introdotto parecchi nuovi animali nel gruppo e ne ha scartato altri, alterando l'equilibrio gerarchico interno.



**Figura 45 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie acquisite a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 24 e il 30 ottobre (settimana 13).**

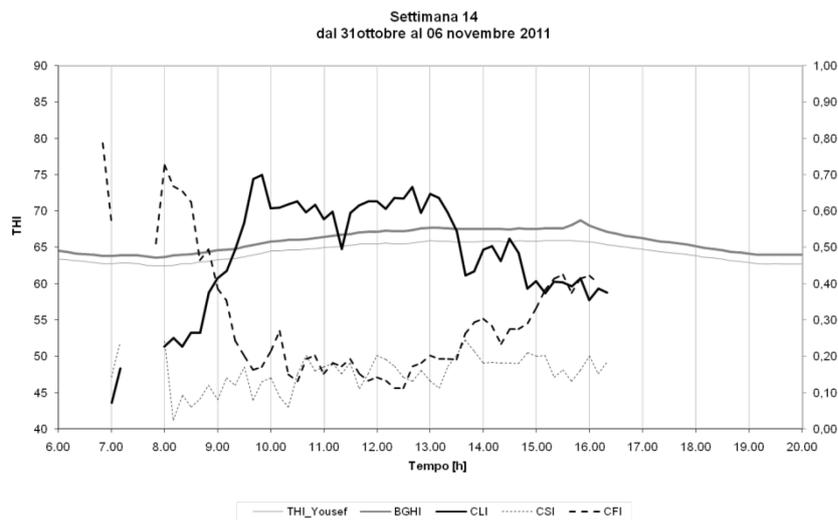
Le Figura 46 Figura 47 e Figura 48 che riportano i grafici delle altre settimane appartenenti al *cluster*, mostrano andamenti abbastanza simili tra di essi. Tra le ore 8:00 e le ore 9:00, il comportamento degli animali è risultato fortemente influenzato dalla precedente attività di pulizia della corsia di alimentazione; i grafici mostrano intorno alle 8:30 un valore di picco dell'indice CFI determinato dal rientro degli animali nella corsia di alimentazione. Infatti, in tali orari un numero cospicuo di bovine non avendo completato di alimentarsi, prima di essere state confinate dall'allevatore, ritornavano in mangiatoia. Anche se alcune di loro, preferivano sdraiarsi nelle cuccette.

Successivamente, intorno alle ore 9:30, si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI; perché le bovine, completata l'alimentazione, sentivano il bisogno di sdraiarsi nelle cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI mostrano la permanenza di

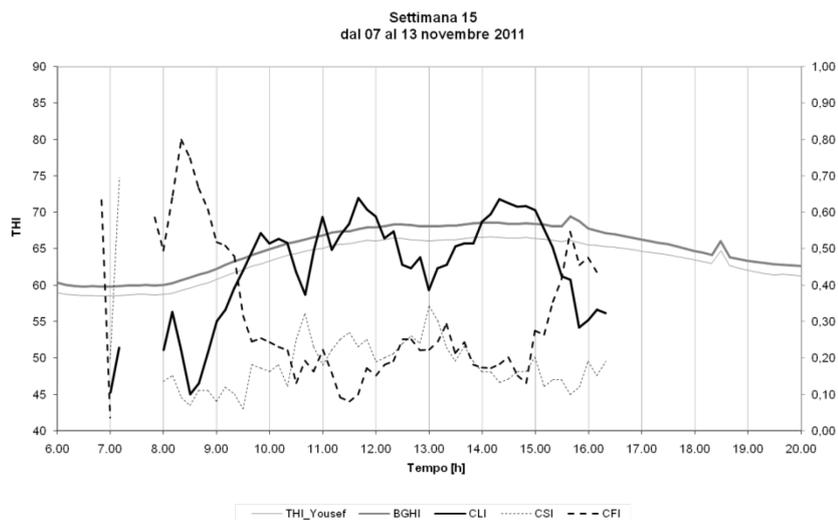
pochissimi animali nella corsia di alimentazione. Fino alle ore 15:00 la curva del CLI si manterrà costantemente su valori di circa 0,6, per tutte tre le settimane, rivelando una presenza cospicua e costante delle bovine in posizione di decubito nelle cuccette.

Dalle ore 15:00 alle ore 16:30, orario in cui terminano le riprese a causa della scarsa illuminazione, si nota un decremento dell'indice CLI e un incremento dell'indice CFI poiché le bovine cominciano a recarsi alla mangiatoia; per quanto riguarda la curva dell'indice CSI essa si mantiene pressappoco costante su valori compresi tra lo 0,1 e 0,2.

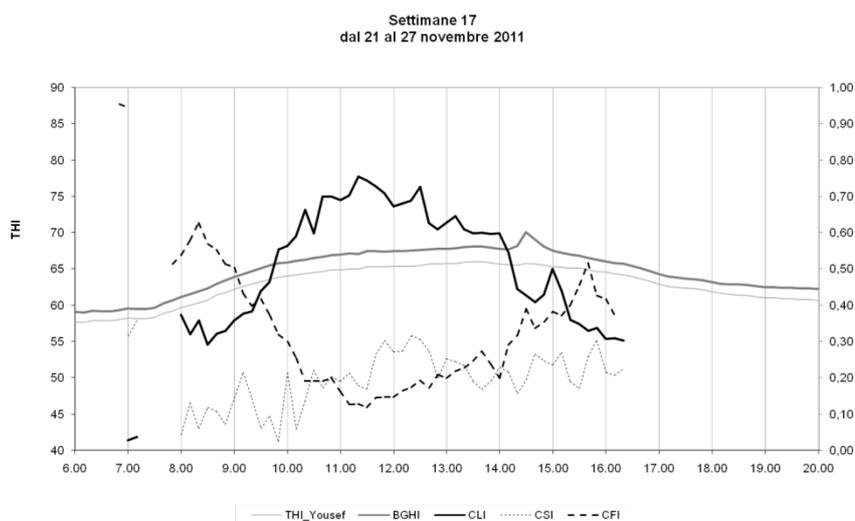
Dall'analisi effettuata per le settimane appartenenti al *cluster* E è emerso che solo nelle settimane nn. 13 e 14 i comportamenti degli animali sono risultati omogenei.



**Figura 46 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 31 ottobre e il 06 novembre (settimana 14).**



**Figura 47 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 07 e il 13 novembre (settimana 15).**



**Figura 48 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 21 e il 27 novembre (settimana 17).**

#### 4.1.5 Cluster F

Il *cluster* F include la settimana n. 18 e la settimana n. 19 ricadenti nella stagione autunnale considerata nella presente sperimentazione. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 12,8°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 6,3°C e di 18,4°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria, essa è stata mediamente del 79,7% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 49,6% e di 93,3%.

Le settimane del *cluster* F sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni interne ed esterne all'edificio pari rispettivamente a e 98,83 pari a 99,50.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 26.

**Tabella 26 - Valori minimi, medi e massimi dei parametrici microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster* F.**

	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	6,9	61,5	54,9	56,2
Medio	13,3	90,7	61,9	64,2
Massimo	18,8	100	64,2	68,9

Il grafico riportato in Figura 49 mostra per le due settimane l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno della settimana ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.

Durante le due settimane appartenenti al *cluster*, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche che hanno determinato valori medi degli indici di stress termico THI e BGHI compresi sempre al di sotto di 70. Secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al., 2001; McDowell et al., 1976; Thom, 1959) tali valori degli indici THI e BGHI vengono classificati all'interno della zona di comfort termico.

Nel grafico della Figura 49(b) è osservato un andamento particolare delle curve del BGHI, infatti nell'intervallo di tempo tra le ore 14:00 e le ore 15:00, si nota un picco abbastanza pronunciato, ciò è dovuto alla particolare posizione che i raggi solari assumono nei mesi autunnali a quell'ora, e che penetrando attraverso l'apertura di colmo dell'edificio investono il globo termometro e lo riscaldano. Infatti il picco è assente nelle curve che descrivono il THI poiché nel suo calcolo non viene considerata la temperatura del globo termometro.

I grafici riportati nella Figura 50, rappresenta i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per le settimane del *cluster*.

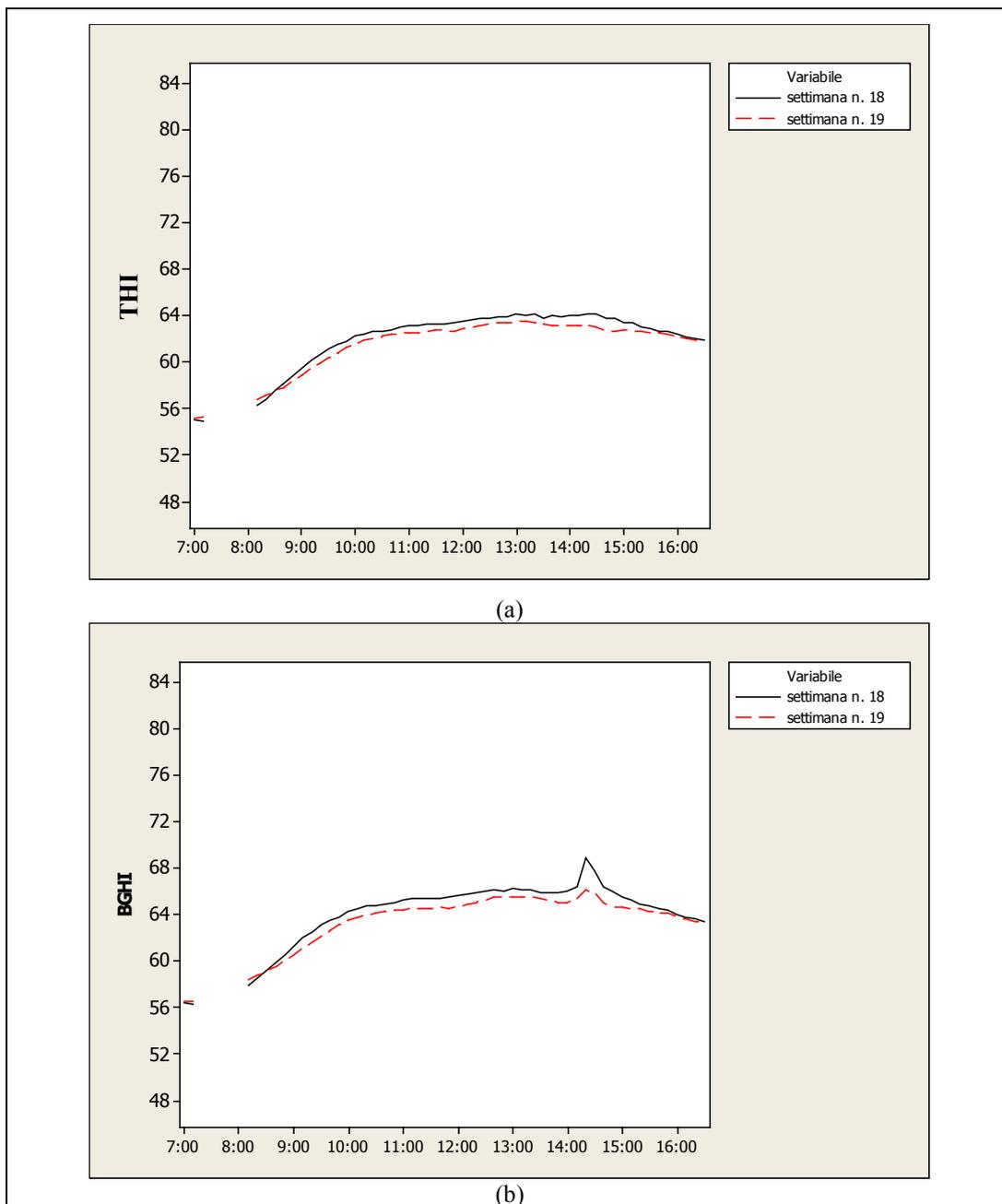
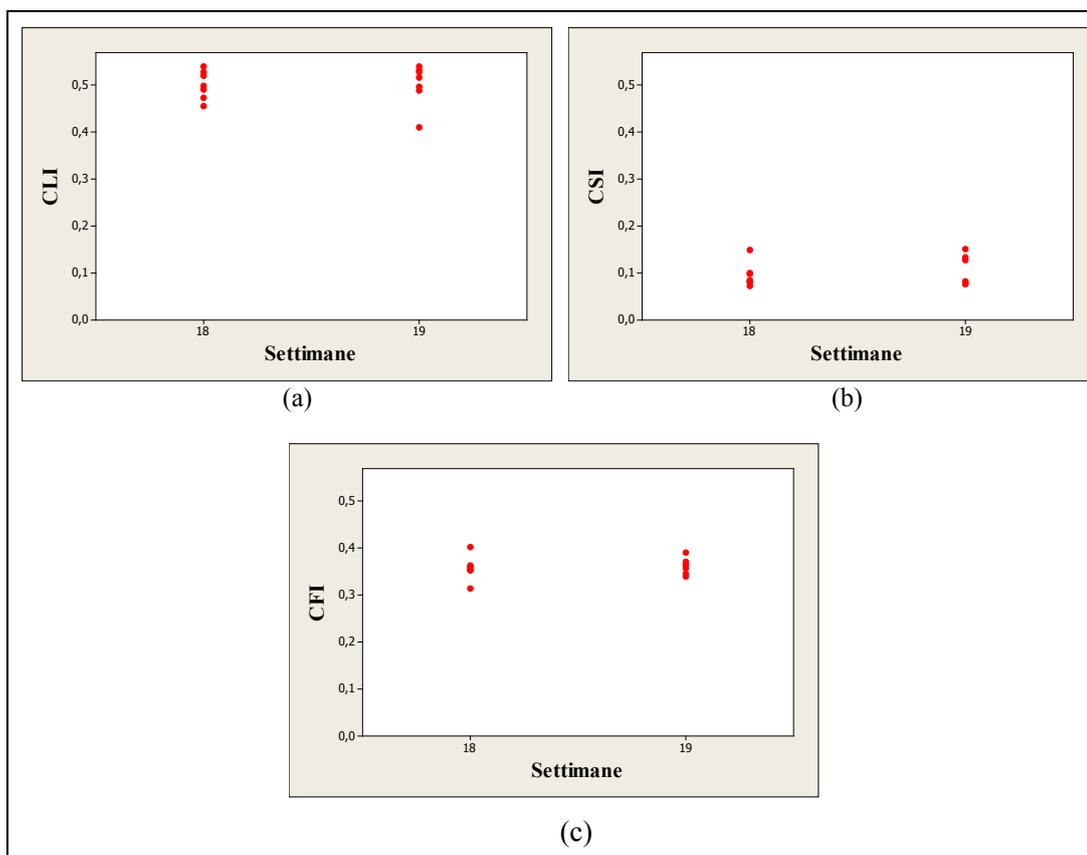


Figura 49 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al *cluster* F, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.



**Figura 50 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le due settimane del cluster F: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.**

Per quanto riguarda l'indice comportamentale CLI, esso assume valori più omogenei nel corso della settimana n. 18 e presenti dati molto più variabili durante la settimana n. 19. Analizzando il grafico dell'indice comportamentale CSI, si nota come per entrambe le settimane esso presenti pressappoco la stessa variabilità dei valori.

Infine, nel grafico che rappresenta i valori dell'indice comportamentale CFI, i dati più variabili si riscontrano durante la settimana n. 18 e quelli più omogenei nella settimana n. 19.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori medie giornalieri assunti da ciascun indice comportamentale nell'ambito delle settimane analizzate, è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito di settimane caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.

In Tabella 27 - sono riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle due settimane del cluster considerato. Dalla tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,655 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, tale valore porta a confermare l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane. Infatti in entrambe le settimane i risultati dello  $z$ -test

riportano valori che appartengono alla regione di accettazione, cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

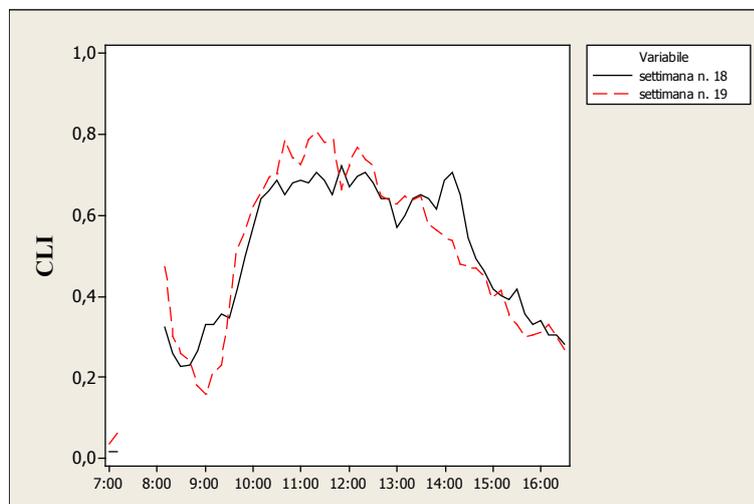
La similitudine tra le due settimane si nota anche in Figura 51 in cui è stato riportato il grafico che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni di ogni settimana. Gli andamenti dei due diagrammi dell'indice comportamentale CLI risultano essere abbastanza simili tra di loro, tranne che per gli intervalli compresi tra le ore 8:40 e le ore 9:30, tra le ore 10:30 e le ore 12:00 e tra le ore 14:00 e le ore 15:00 in cui si evidenziano valori lievemente più elevati dell'indice CLI nella settimana n. 18. Per gli intervalli di tempo compresi tra le ore 8:40 e le ore 9:30, tra le ore 10:30 e le ore 12:00 e tra le ore 12:00 e le ore 14:00 si manifestano valori più elevati nella settimana n. 18.

In Tabella 28 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuato per l'indice CSI.

**Tabella 27 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle due settimane del cluster F.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
18	7	0,4988	7,0	-0,45
19	7	0,5153	8,0	0,45
Overall	14		7,5	

H = 0,20 DF = 1 P = 0,655



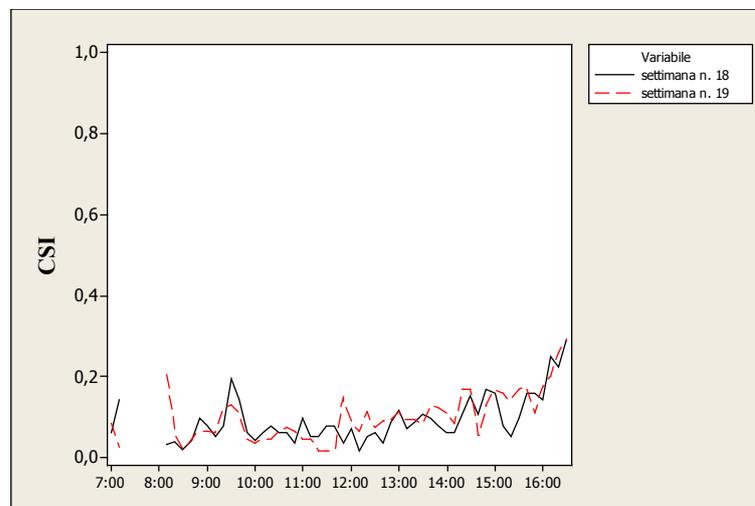
**Figura 51 – Per tutte le settimane appartenenti al cluster F, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

**Tabella 28 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle due settimane del cluster F.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
18	7	0,08306	7,5	0,00
19	7	0,08137	7,5	0,00
Overall	14		7,5	

H = 0,00 DF = 1 P = 1,00

Dai risultati riportati nella tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 1,00 e, quindi, essendo molto superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane è confermata, come per l'indice CLI. La similarità riscontrata per i valori termo-igrometrici interni ed esterni all'edificio, viene avvalorata anche dalla similarità dell'indice CSI; dai risultati dello z-test si evince che entrambe le settimane rientrano nella regione di accettazione dello z-test e addirittura presentato lo stesso valore di  $z$  pari a 0,00. La similarità delle due settimane si nota anche nella Figura 52 in cui è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CSI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le due settimane appartenenti al cluster F. Le curve dell'indice CSI appartenenti alle due settimane considerate hanno un andamento nel complesso simile e differiscono in brevi intervalli.



**Figura 52 – Per tutte le settimane appartenenti al cluster F, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

In Tabella 29 si riscontrano i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI.

In tale tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,565 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista

una differenza significativa tra le mediane viene accettata, anche in tale caso. Le analisi delle due settimane non risultano essere significativamente differenti per l'indice di CFI; i valori dello z-test ricadono nella zona di accettazione della z.

Nella Figura 53 è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CFI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le settimane appartenenti al *cluster* F.

L'andamento delle due curve in alcune parti è simile in altre meno, come ad esempio nell'intervallo tra le ore 8:30 e le ore 9:30 quando si osserva il picco più alto della curva relativa alla settimana n. 19, la differenza è data dal fatto che durante la settimana n. 19 le bovine rimangono in *feeding* per un lasso di tempo maggiore rispetto alla settimana precedente. Un altro intervallo che manifesta una differenza notevole è quello che inizia alle ore 13:30 e termina alle ore 15:00, anche in tal caso la curva della settimana n. 19 risulta avere valori più alti rispetto alla settimana n. 18.

Complessivamente gli animali si sono alimentati di più nella settimana n. 19 rispetto alla n. 18. Non è possibile associare questo incremento dell'indice CFI ad una variazione degli indici THI e BGHI poiché in queste settimane risultano molto simili.

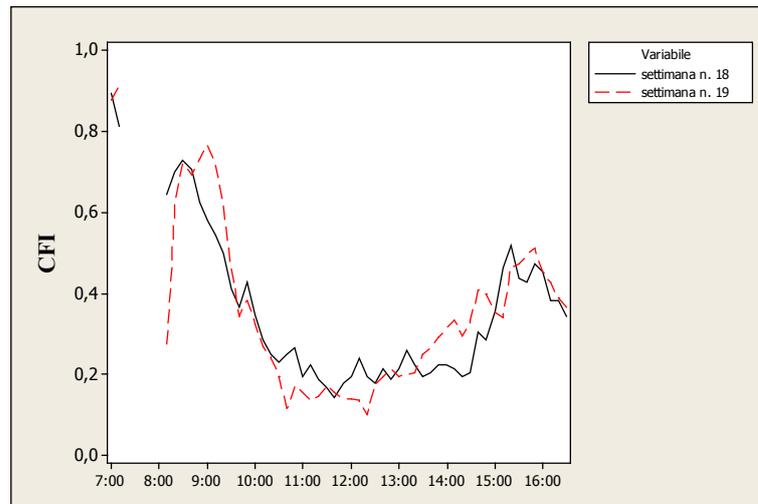
Nelle Figura 54 e Figura 55 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster* F.

In particolare, ogni diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00. Le curve presentano un'interruzione nell'arco di tempo che va dalle ore 7:10 alle ore 8:00 poiché in tale intervallo il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore.

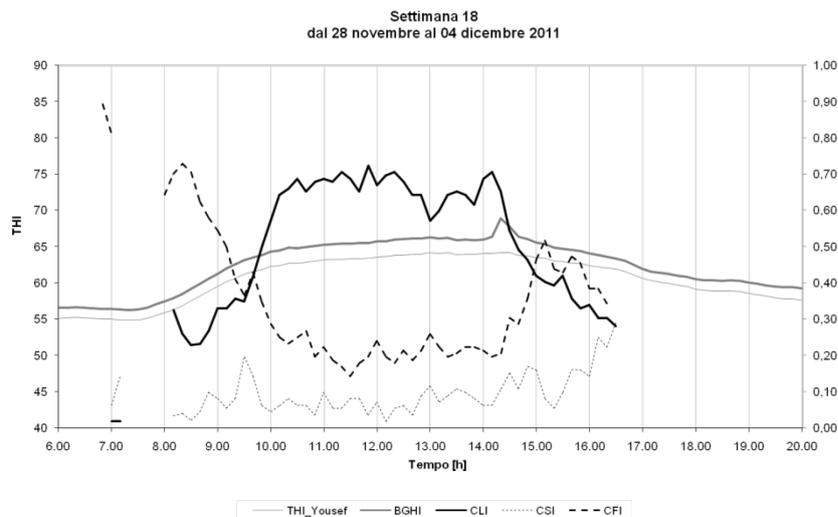
**Tabella 29 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CFI nelle due settimane del *cluster* F.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
18	7	0,3531	6,9	-0,57
19	7	0,3620	8,1	0,57
Overall	14		7,5	

H = 0,33 DF = 1 P = 0,565



**Figura 53** – Per tutte le settimane appartenenti al *cluster F*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.



**Figura 54** – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 28 novembre e il 04 dicembre (settimana 18).

La mungitura avviene dalle ore 6:00 alle ore 6:20, subito dopo le bovine rientrano in stalla ma essendo in condizioni di scarsa illuminazione, le immagini riprese dalle telecamere sono risultate buie e quindi non è stato possibile condurre l'analisi visiva delle immagini registrate.

Dopo le ore 8:00, la maggior parte delle bovine rientrando nella stalla dopo essere state allontanate per le operazioni di pulizia da parte dell'allevatore, accedevano numerose alla rastrelliera per l'alimentazione. Anche se alcune di

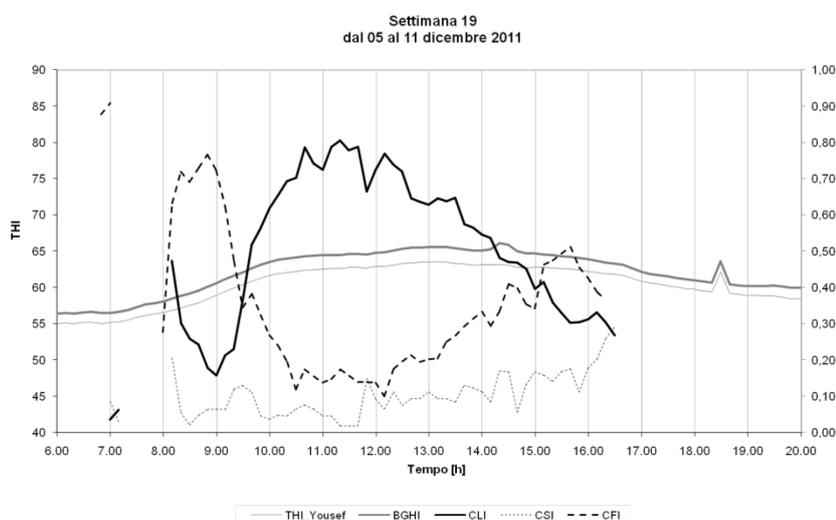
loro, preferivano sdraiarsi nelle cuccette o rimane a stazionare nella corsia di alimentazione.

Successivamente, in entrambe le settimane del *cluster* F intorno alle ore 9:30 si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI perché le bovine, completata l'alimentazione, sentivano il bisogno di sdraiarsi nelle cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI mostrano la permanenza di pochissimi animali nella corsia di alimentazione.

Successivamente, per l'intervallo di tempo compreso tra le 10:00 e le 15:00 la curva del CLI si manterrà costantemente su valori di circa 0,7, rivelando una presenza cospicua e costante delle bovine in *lying*.

Dalle ore 15:00 alle ore 17:00, momento in cui terminano le riprese per il sopraggiungere del buio, si nota un graduale decremento dell'indice CLI e un'altrettanto graduale incremento degli indici CSI e CFI poiché le bovine cominciano ad agitarsi percependo lo stimolo di farsi mungere.

In definitiva, dalle analisi effettuate emerge che le settimane appartenenti al *cluster* F, che presentano una estrema similarità per le condizioni termigrometriche registrate all'interno e all'esterno dell'edificio di stabulazione, sono risultate molto omogenee anche dal punto di vista dei comportamenti delle bovine.



**Figura 55 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 05 e l'11 dicembre (settimana 19).**

#### 4.1.6 Cluster G

Il *cluster* G include la settimana n. 23 e la settimana n. 27 e la settimana n. 30 ricadenti nella stagione invernali considerata nella presente sperimentazione. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 9,4°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 0,3°C e di 16,6°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa, essa è stata mediamente del 77,9% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 39,4% e di 94,7%.

Le settimane del *cluster* G sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni interne ed esterne all'edificio pari rispettivamente a 97,47 e pari a 97,69.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 30.

**Tabella 30 - Valori minimi, medi e massimi dei parametrici microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster* G.**

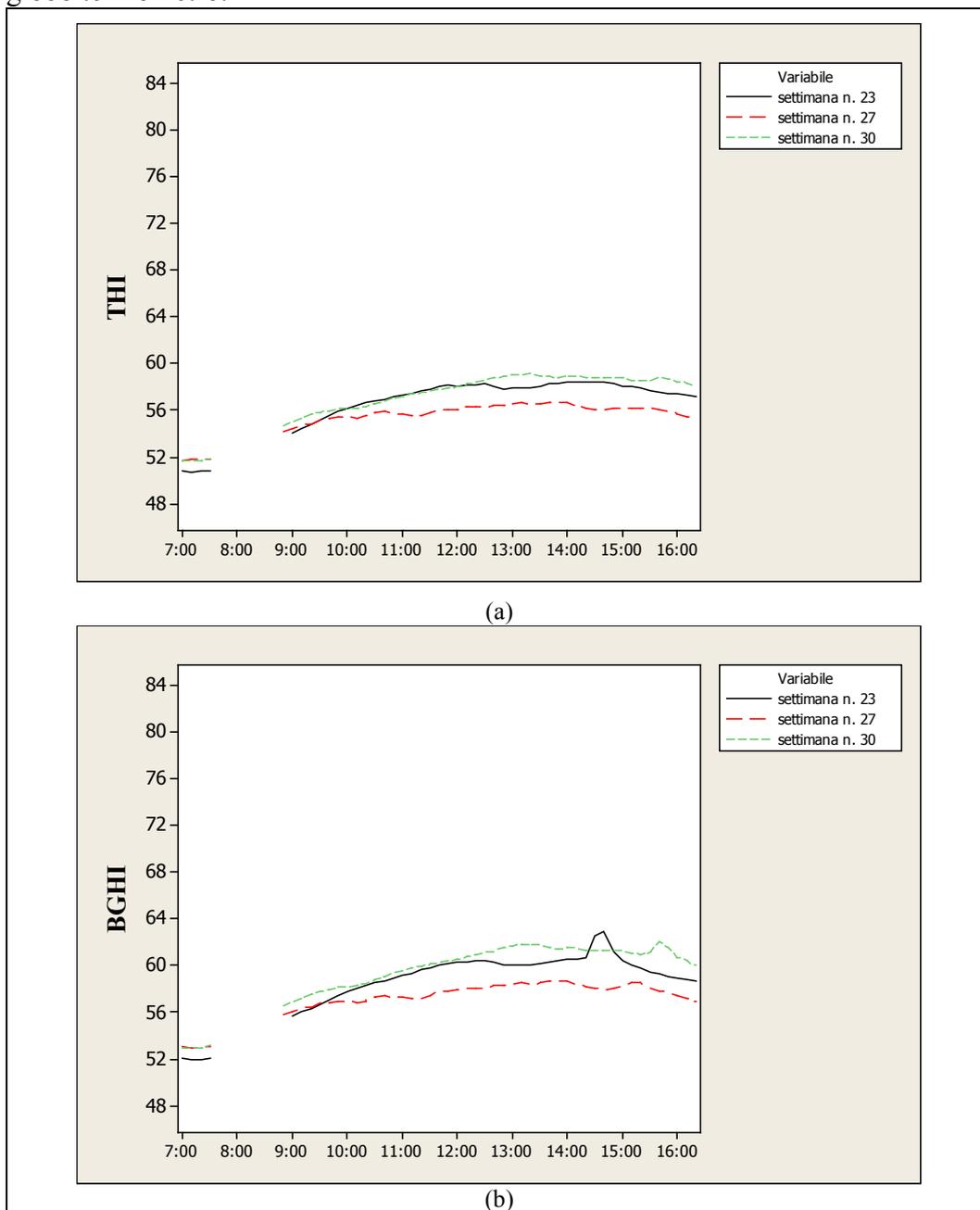
	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	0,6	51,9	50,7	51,9
Medio	10,1	88,8	56,5	58,5
Massimo	17,1	101,6	59,1	62,9

La Figura 56, mostra per le settimane considerate, l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno della settimana ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.

Nelle tre settimane appartenenti al *cluster*, i valori dei parametri termigrometrici all'interno della stalla sono stati tali da determinare valori medi degli indici THI e BGHI sempre al di sotto di 65. Tali valori di THI e BGHI in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al., 2001; McDowell et al., 1976; Thom, 1959) vengono classificati all'interno della zona di comfort termico.

Nel grafico riportato in Figura 56(b) si osserva un andamento particolare delle curve del BGHI, nella settimana n. 23 si nota nell'intervallo di tempo tra le ore 14:00 e le ore 15:00 un picco abbastanza pronunciato della curve dovuto alla particolare posizione che i raggi solari assumono nei mesi invernali a questa determinata ora, che penetrando attraverso l'apertura di colmo dell'edificio investono il globo termometro e lo riscaldano. Un andamento simile, ma meno evidente si nota anche nella settimana n. 30, durante l'intervallo di tempo che va dalle ore 15:30 alle ore 16:00, poiché con il passare delle settimane i raggi solari assumono una diversa angolazione e penetrano all'interno dell'edificio a un diverso orario. Sembra opportuno precisare che, il picco è assente nelle curve che

descrivono il THI poiché nel suo calcolo non viene considerata la temperatura del globo termometro.



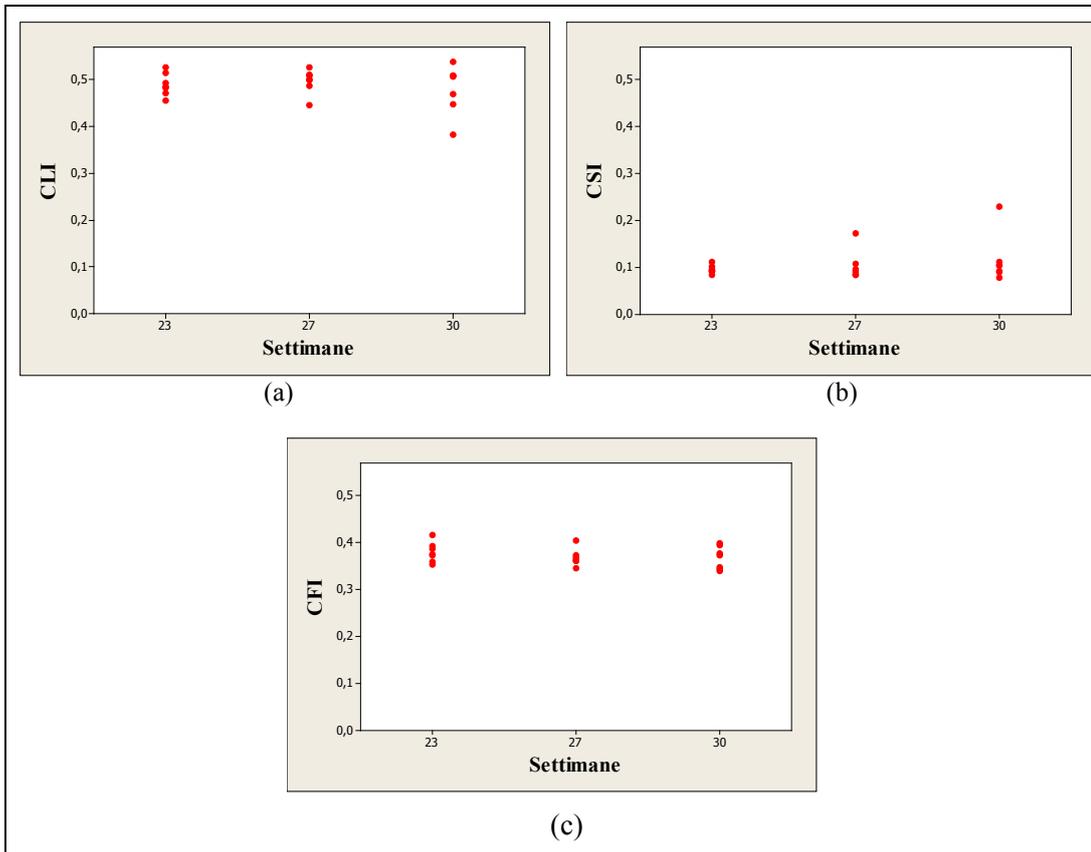
**Figura 56 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al *cluster* G, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.**

Un andamento molto diverso assume la curva che descrive l'indice BGHI durante la settimana n. 27, esso assume valori più bassi rispetto alle altre settimane e non presenta nessun picco, dovuto probabilmente al fatto che durante la settimana in questione si sono verificate parecchie precipitazioni.

I grafici riportati in Figura 57, rappresentano i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per la settimana n. 23, per la settimana n. 27 e per la settimana n. 30.

Per quanto riguarda gli indici comportamentali CLI, CSI e CFI, da come si nota dai grafici di Figura 57 la settimana n. 23 assume valori più omogenei rispetto alle settimane del *cluster G*, mentre i valori che presentano maggiore variabilità sono riscontrati durante la settimana n. 30.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori assunti da ciascun indice comportamentale, è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito di settimane caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.



**Figura 57 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le tre settimane del *cluster G*: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.**

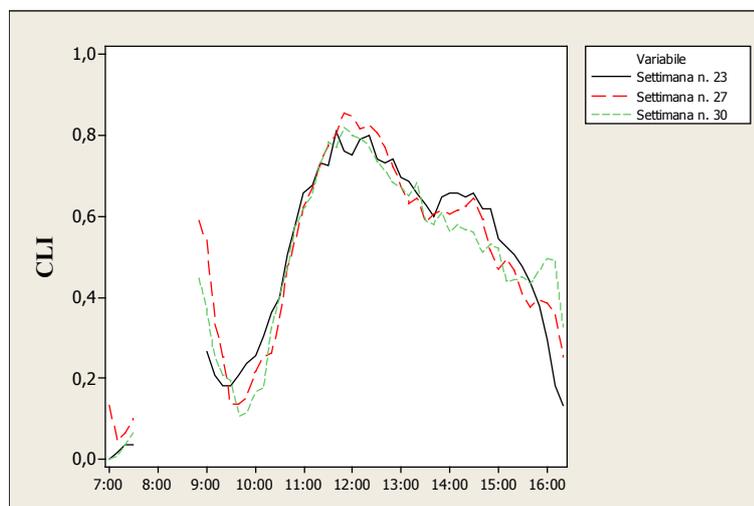
**Tabella 31 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle tre settimane del cluster G.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
23	7	0,4844	10,4	-0,30
27	7	0,4991	12,1	0,56
30	7	0,5062	10,5	-0,26
Overall	21		11	

H = 0,31 DF = 2 P = 0,855

In Tabella 31 sono riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle settimane del cluster considerato. Dalla tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,855. Tale valore, essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, induce a confermare l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non vi siano differenze significative tra le mediane. Tra queste tre settimane esiste una similarità tra le mediane dei valori dell'indice CLI, infatti i risultati dello z-test riportano valori che appartengono alla regione di accettazione del valore  $z$ , cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

L'omogeneità riscontrata tra le mediane dell'indice CLI è confermata anche dal grafico riportato in Figura 58 che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni di ogni settimana. Gli andamenti delle tre curve dell'indice comportamentale CLI risultano essere molto simili.



**Figura 58 – Per tutte le settimane appartenenti al cluster G, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

In Tabella 32 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI. In questa tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,708 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$

cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane viene accettata, come per l'indice CLI.

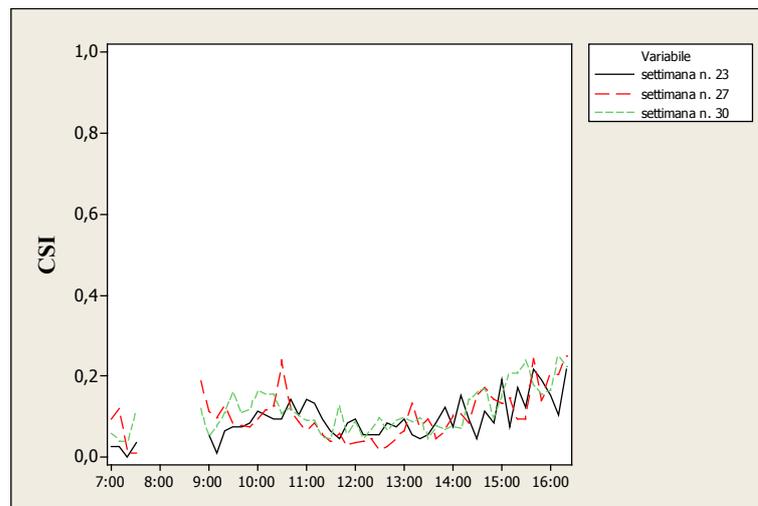
La similarità delle settimane n. 23, 27 e 30 si nota anche nella Figura 59 in cui è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CSI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le settimane considerate. I diagrammi dell'indice CSI appartenenti alle due settimane considerate hanno un andamento nel complesso simile e differiscono in brevissimi intervalli.

In Tabella 33 si riscontrano i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI.

**Tabella 32 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle tre settimane del cluster G.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
23	7	0,08980	10,4	-0,30
27	7	0,091151	10,0	-0,52
30	7	0,10286	12,6	0,82
Overall	21		11	

H = 0,69 DF = 2 P = 0,708



**Figura 59 – Per tutte le settimane appartenenti al cluster G, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

**Tabella 33 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CFI nelle tre settimane del cluster G.**

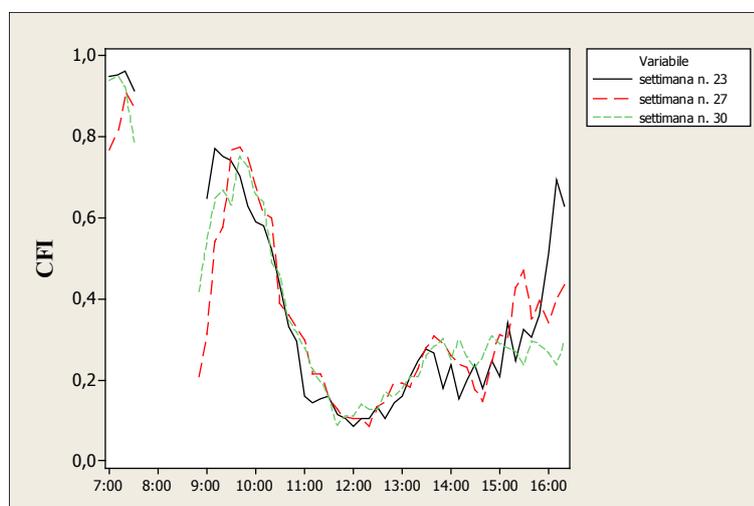
Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
23	7	0,3741	12,9	0,97
27	7	0,3641	10,0	-0,52
30	7	0,3716	10,1	-0,45
Overall	21		11,0	

H = 0,94 DF = 2 P = 0,624

In questa tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,624 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane viene accettata, anche in questo caso. Ciò è confermato dai risultati dello z-test, per l'indice comportamentale CFI delle settimane appartenenti al cluster G, poiché essi ricadono nella zona di accettazione del valore z.

Nella Figura 60 è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CFI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le settimane appartenenti al cluster H.

Anche in questo caso, l'andamento delle curve dell'indice comportamentale CFI è simile in tutte le settimane del cluster.



**Figura 60 – Per tutte le settimane appartenenti al cluster G, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

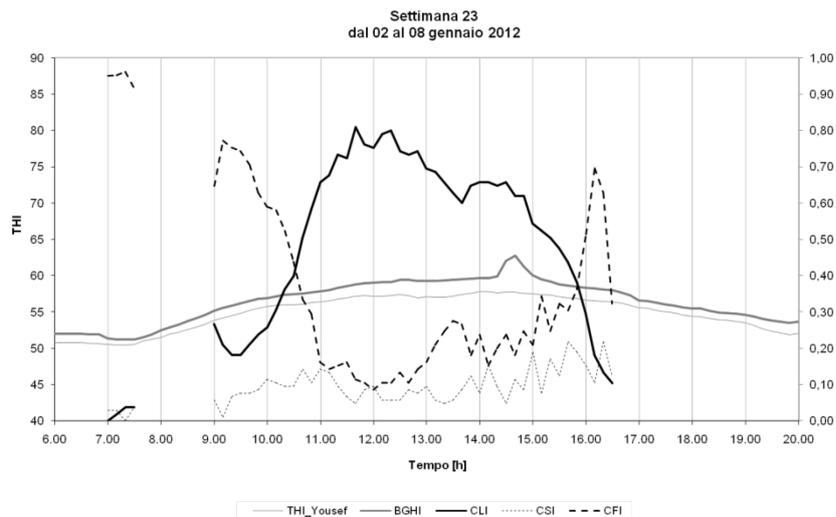
Nelle Figura 61, Figura 62 e Figura 63 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al cluster G.

In particolare, ogni diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 7:00 e le ore 16:30. Le curve presentano un'interruzione nell'arco di tempo che va dalle ore 7:30 alle ore 8:30, in tali intervalli di tempo il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore.

Durante le settimane considerate, il sistema di raffrescamento presente all'interno della edificio zootecnico non era attivo, poiché le condizioni microclimatiche erano prettamente invernali.

La correlazione tra gli indici comportamentali e l'indice di stress termico BGHI è valutata tramite il calcolo del coefficiente di *Person* ( $r$ ).

In particolare, nella settimana n. 23 il valore di  $r$  tra il BGHI e l'indice CLI è risultato pari a 0,834 ( $p=0,000$ ), nella settimana n. 27 il valore di  $r$  è pari a 0,674 ( $p=0,000$ ) e nella settimana n. 30  $r$  assume valore pari a 0,776 ( $p=0,000$ ); per capire se esiste una correlazione statisticamente significativa tra l'indice BGHI e l'indice CLI si mette a confronto il coefficiente calcolato  $r$  con il valore di  $r$  "critico" tabulato nelle tavole statistiche. Il valore di  $r$  "critico", per un grado di libertà pari a 47, è uguale a 0,27; poiché i valori delle  $r$  calcolati nei tre casi sono maggiori del



**Figura 61 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 02 e l'08 gennaio (settimana 23).**

La mungitura avveniva dalle ore 6:30 alle ore 7:00, subito dopo le bovine rientravano in stalla e si recavano in mangiatoia per alimentarsi; ma vi rimanevano per poco tempo poiché, venivano allontanate dall'allevatore per svolgere le operazioni di manutenzione della stalla.

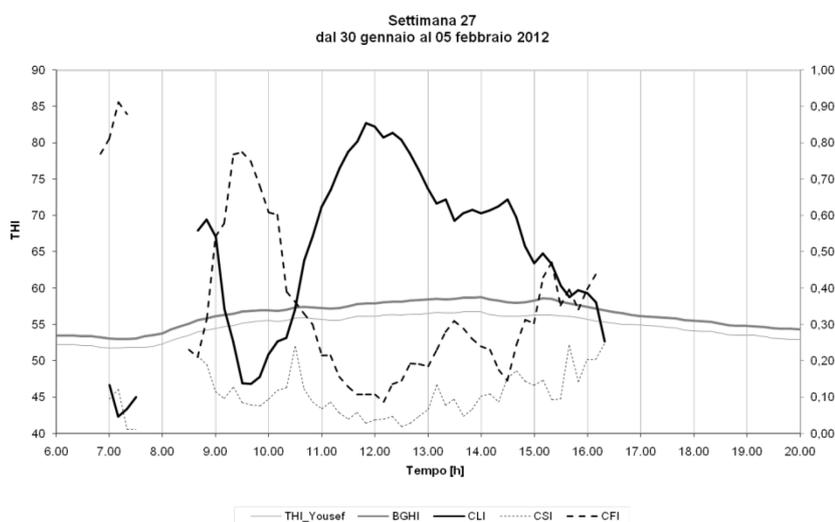
Dopo le ore 8:30 per la settimana n. 27 e dopo le ore 9:00 per la settimana n. 23 e la settimana n. 30, la maggior parte delle bovine rientrando nella stalla si recano numerose alla rastrelliera per l'alimentazione. Anche se alcune di loro,

preferivano sdraiarsi nelle cuccette o rimane a stazionare nella corsia di alimentazione. Le bovine rimanevano in mangiatoia fino alle ore 10:30.

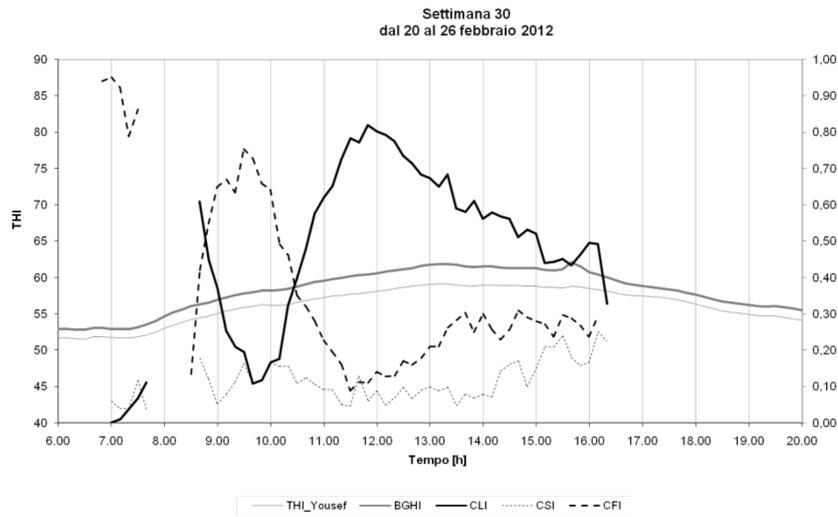
Dalle ore 10:30 in avanti, si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI; perché le bovine, completata l'alimentazione, sentivano la necessità di recarsi nelle cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI mostrano la permanenza di pochissimi animali che stazionano nella corsia di alimentazione. Fino alle ore 15:00 la curva del CLI manterrà un andamento pressappoco costante su livelli compresi tra 0,7 e 0,5 facendo registrare una presenza cospicua e costante delle bovine in *lying* dentro le cuccette.

Dalle ore 15:00 alle ore 16:30, momento in cui avviene la seconda mungitura giornaliera, si noterà un rapido decremento dell'indice CLI e un incremento dell'indice CSI poiché le bovine cominciano ad agitarsi e ad avvertire il bisogno di farsi mungere. In tale intervallo, una tendenza diversa assumono le curve della settimana n. 30, poiché un decremento molto lento dell'indice CLI e di conseguenza una stasi dei valori dell'indice CFI su livelli pari a 0,3; l'indice CSI subisce un lieve incremento.

Per concludere, sembra opportuno evidenziare che la similarità riscontrata nelle settimane n. 23, n. 27 e n. 30 per le condizioni termo-igrometriche all'esterno e all'interno dell'edificio zootecnico, è stata riscontrata anche nel comportamento delle bovine.



**Figura 62 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 30 gennaio e li 05 febbraio (settimana 27).**



**Figura 63 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 20 e il 26 febbraio (settimana 30).**

#### 4.1.7 Cluster H

Il *cluster* H include la settimana n. 21 e la settimana n. 25 ricadenti nella stagione invernale considerata nella presente sperimentazione. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 7,3°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di -0,2°C e di 15,2°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria, essa è stata mediamente del 73,9% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 32,9% e di 93 %.

Le settimane del *cluster* H sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni interne ed esterne all'edificio pari rispettivamente a 96,92 e pari a 96,56.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 34.

**Tabella 34- Valori minimi, medi e massimi dei parametrici microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster* H.**

	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	0,2	47,7	46,2	47,6
Medio	7,8	86	54	55,9
Massimo	15,7	100	56,1	61,1

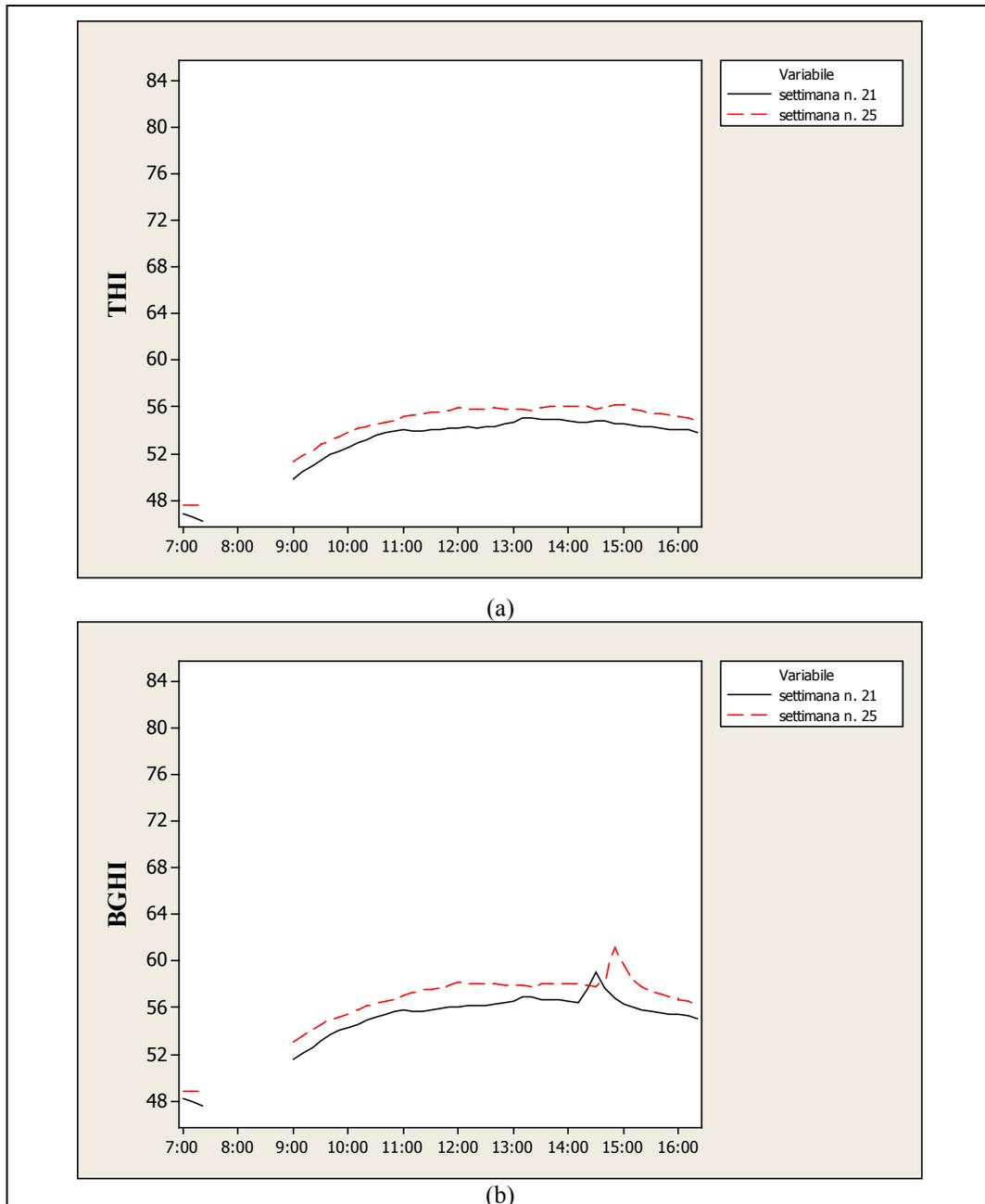
Il grafico riportato in Figura 64 mostra per le due settimane, l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno della settimana ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.

Durante le due settimane appartenenti al *cluster*, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche che hanno determinato valori degli indici di stress termico THI e BGHI sempre al di sotto di 62. Secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al.,2001, Thom, 1959; McDowell et al.,1976) tali valori ricadono nella zona di comfort termico per le bovine.

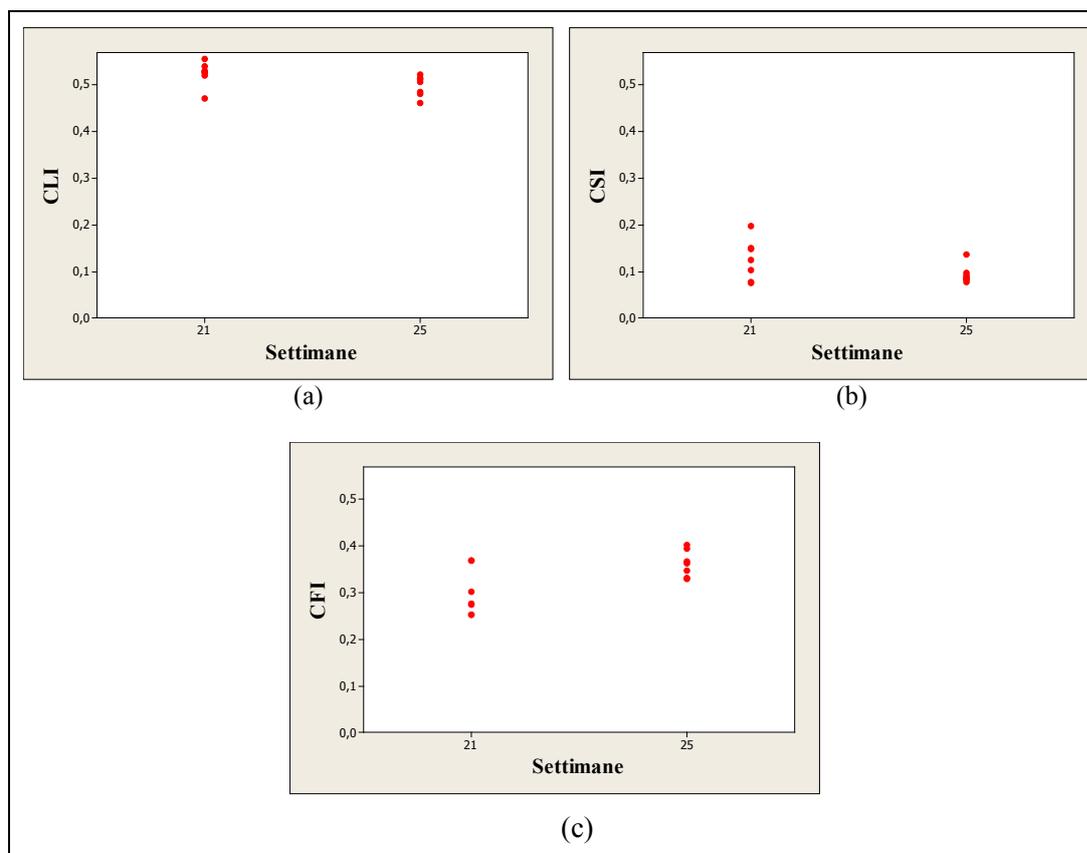
Nella Figura 65, sono diagrammati i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per la settimana n. 21 e per la settimana n. 25.

Per quanto riguarda gli indici comportamentali CLI, CSI e CFI, da come si nota dai grafici soprastanti, per tutti e tre gli indici la settimana n. 25 assume valori più omogenei rispetto alla settimana n. 21, che di contro presenta dati più variabili.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori assunti da ciascun indice comportamentale, è stato possibile individuare eventuali differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito di settimane caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.



**Figura 64 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al *cluster* H, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 7:00 e le ore 17:00.**



**Figura 65 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le due settimane del *cluster* G: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.**

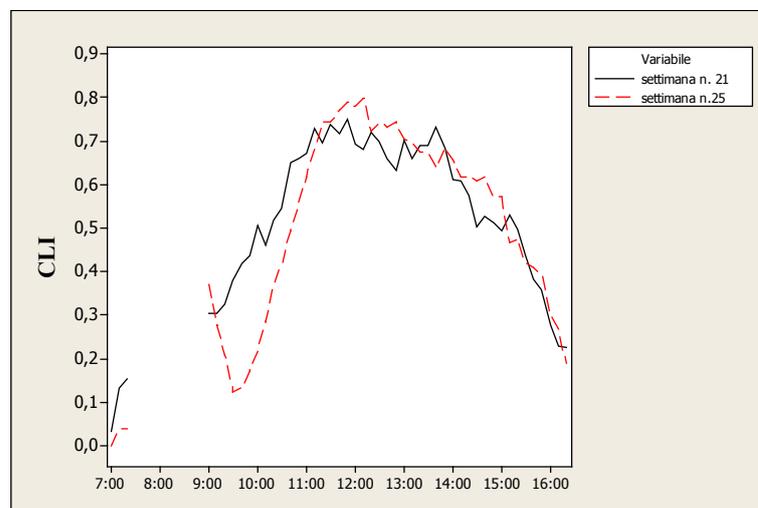
In Tabella 35 sono stati riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle due settimane del *cluster* considerato. Dalla tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,025 e, quindi, essendo inferiore al valore di riferimento pari a 0,05, viene scartata l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane. Tra queste settimane esiste una differenza significativa tra le due mediane, infatti in entrambe le settimane i risultati dello *z*-test riportano valori che appartengono alle due regioni di rifiuto, cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ .

**Tabella 35 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello *z*-test effettuati per l'indice CLI nelle due settimane del *cluster* H.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	<i>z</i> -test
21	7	0,5282	10,0	2,24
25	7	0,5056	5,0	-2,24
Overall	14		7,5	

H = 5,00 DF = 1 P = 0,025

La diversità tra le due settimane si nota anche in Figura 66 in cui è stato riportato il grafico che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni di ogni settimana. Gli andamenti dei due diagrammi dell'indice comportamentale CLI risultano essere diversi tra di loro, in particolare nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 9:00 e le ore 11:00 quando la curva della settimana n. 21 presenta dei valori più alti dell'indice CLI. Anche, nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 11:30 e le ore 13:30 le due curve differiscono, stavolta, però, ad avere valori più elevati dell'indice CLI è la settimana n. 25. Infine, nell'intervallo compreso tra le ore 14:00 e le ore 15:00 la curva della settimana n. 25 presenta valori più alti, in tale lasso di tempo si registra un numero maggiore di bovine sdraiate in *lying* nelle cuccette.



**Figura 66** - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster H*, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.

**Tabella 36** - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello *z*-test effettuati per l'indice CSI nelle due settimane del *cluster H*.

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	<i>z</i> -test
21	7	0,12374	8,7	1,09
25	7	0,08611	6,3	-1,09
Overall	14		7,5	

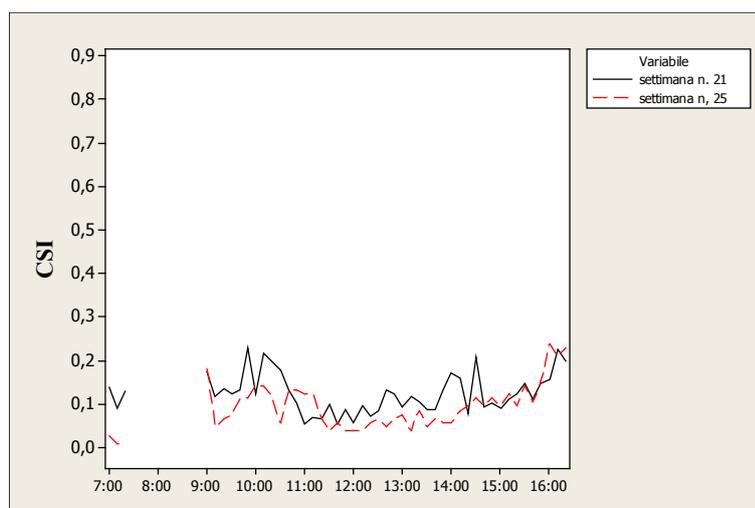
H = 1,18 DF = 1 P = 0,277

In Tabella 36 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello *z*-test effettuati per l'indice CSI.

In questa tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,277 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane è confermata. La similarità riscontrata

per i valori termo-igrometrici interni ed esterni all'edificio, viene avvalorata anche dalla similarità dell'indice CSI; dai risultati dello z-test si evince che entrambe le settimane rientrano nella regione di accettazione dello z-test.

La similarità delle due settimane si nota anche nella Figura 67 in cui è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CSI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le due settimane appartenenti al *cluster* H. La curve dell'indice CSI appartenenti alle due settimane considerate hanno un andamento nel complesso simile e differiscono in brevi intervalli.



**Figura 67 - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* H, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

**Tabella 37 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CFI nelle due settimane del *cluster* H.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
21	7	0,2757	5,4	-1,85
25	7	0,3625	9,6	1,85
Overall	14		7,5	

H = 3,44 DF = 1 P = 0,064

In Tabella 37 si riscontrano i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI.

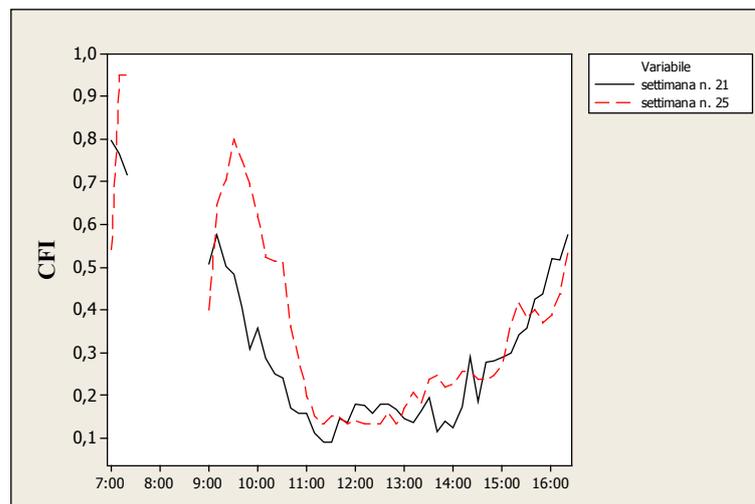
In questa tabella si evince che il *p*-value è pari a 0,565 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane viene accettata, come nel caso dell'indice CSI. Le analisi delle due settimane non risultano essere significativamente differenti per l'indice di CFI; i valori dello z-test ricadono nella zona di accettazione della z.

Nel grafico di Figura 68 sono riportati gli andamenti dei valori medi dell'indice comportamentale CFI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le settimane appartenenti al *cluster* H.

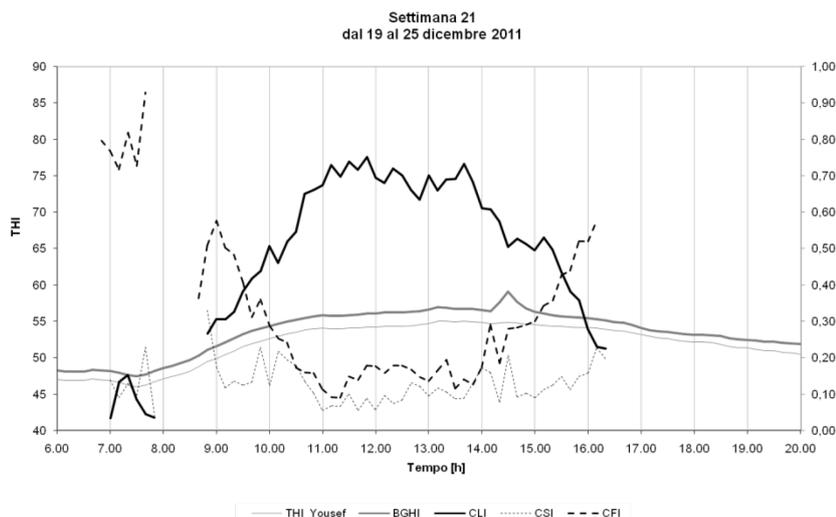
L'andamento delle due curve in alcune parti è simile in altre no, in particolare nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 9:00 e le ore 11:00 la curva della settimana n. 25 risulta avere valori molto più alti rispetto alla settimana n. 21. Questa diversità è stata determinata da una variazione nella gestione della mandria, infatti durante la settimana n. 25 le operazioni di pulizia e distribuzione della paglia fresca, sono state svolte in anticipo e per un tempo più prolungato rispetto alla settimana n. 21. Questo anticipo nelle operazioni di pulizia ha determinato l'interruzione dell'alimentazione delle bovine appena tornate dalla mungitura e, conseguentemente, il proseguimento dell'attività di *feeding* alle ore 9:00, subito dopo aver fatto ingresso nella corsia di alimentazione a conclusione delle attività di pulizia. La curva della settimana n. 25, infatti risulta traslata in avanti.

Nelle Figura 69 e Figura 70 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al *cluster* H.

In particolare, ogni diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 7:00 e le ore 16:30. Le curve presentano un'interruzione nell'arco di tempo che va dalle ore 7:50 alle ore 8:50 per la settimana n. 21 e dalle ore 7:20 alle ore 9:00, in tali intervalli di tempo il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore.



**Figura 68** - Per tutte le settimane appartenenti al *cluster* H, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 7:00 e le ore 17:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.



**Figura 69 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 19 e li 25 dicembre (settimana 21).**

Durante la 21 e la 25 settimane, essendo in presenza di condizioni climatiche prettamente invernali il sistema di raffrescamento presente all'interno della edificio zootecnico non era attivo.

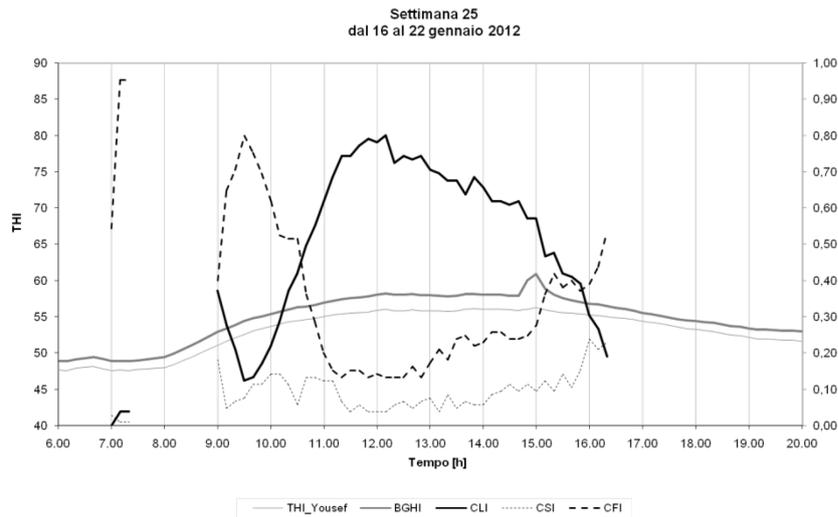
La mungitura avveniva dalle ore 6:30 alle ore 7:00, subito dopo le bovine rientravano in stalla e si recavano in mangiatoia per alimentarsi; ma vi rimanevano per poco tempo poiché, come già detto, venivano allontanate dall'allevatore per svolgere le operazione di manutenzione della stalla.

Dopo le ore 9:00, la maggior parte delle bovine rientrando nella stalla dopo, accedevano numerose alla rastrelliera per l'alimentazione. Anche se alcune di loro, preferivano sdraiarsi nelle cuccette o rimane a stazionare nella corsia di alimentazione. In particolare, nella settimana n. 25, gli animali rimanevano in mangiatoia fino alle ore 11:30 ciò è stato dovuto al prolungamento delle operazioni di pulizia della corsia di alimentazione.

Successivamente, intorno alle ore 9:30 per la settimana n. 21 e alle 10:30 per la settimana n. 25, si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI; perché le bovine, completata l'alimentazione, sentivano il bisogno di sdraiarsi nelle cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI mostrano la permanenza di pochissimi animali nella corsia di alimentazione. Fino alle ore 15:30 la curva del CLI si manterrà costantemente su valori di circa 0,7, per entrambe le settimane, rivelando una presenza cospicua e costante delle bovine in *lying*.

Dalle ore 15:30 alle ore 17:00, momento in cui terminano le riprese la scarsità di illuminazione, si noterà un rapido decremento dell'indice CLI e un incremento dell'indice CSI poiché le bovine cominciano a sentire lo stimolo della fame; per quanto riguarda la curva dell'indice CSI essa si mantiene pressappoco costante su valori compresi tra lo 0,1 e 0,2.

In definitiva, le due settimane appartenenti al *cluster* H sono risultate omogenee per quanto riguarda il comportamento di *standing*, e solo parzialmente per il *feeding*. Una variazione più marcata è stata, invece, registrata per l'attività di decubito all'interno delle cuccette, ma dai dati in possesso non è stato possibile spiegare la variazione nel comportamento che si è stata registrata.



**Figura 70 – Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 16 e il 22 gennaio (settimana 25).**

#### 4.1.8 Cluster L

Il *cluster* L include la settimana n. 16, ricadente nella stagione primaverile e la settimana n. 38 ricadente nella stagione autunnale considerate nella presente sperimentazione. Nonostante queste due settimane appartengano a stagioni differenti effettuando l'analisi *cluster* esse sono state raggruppate insieme, poiché manifestano condizioni di temperatura dell'aria e umidità relativa simili. In tali settimane la temperatura dell'aria all'esterno dell'edificio è stata mediamente di 12,6°C, raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 4,8°C e di 21,1°C. Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria, essa è stata mediamente del 73,8% raggiungendo valori minimi e massimi rispettivamente di 31,46% e di 93%.

Le settimane del *cluster* L sono caratterizzate da elevati livelli di similitudine delle condizioni interne ed esterne all'edificio pari rispettivamente a 96,42 e pari a 98,75.

Le condizioni microclimatiche interne all'edificio hanno determinato i valori minimi, medi e massimi degli indici di stress termico, THI e BGHI riportati in Tabella 38 - .

**Tabella 38 - Valori minimi, medi e massimi dei parametrici microclimatici all'interno dell'edificio e degli indici di stress termico calcolati per le settimane incluse nel *cluster* L.**

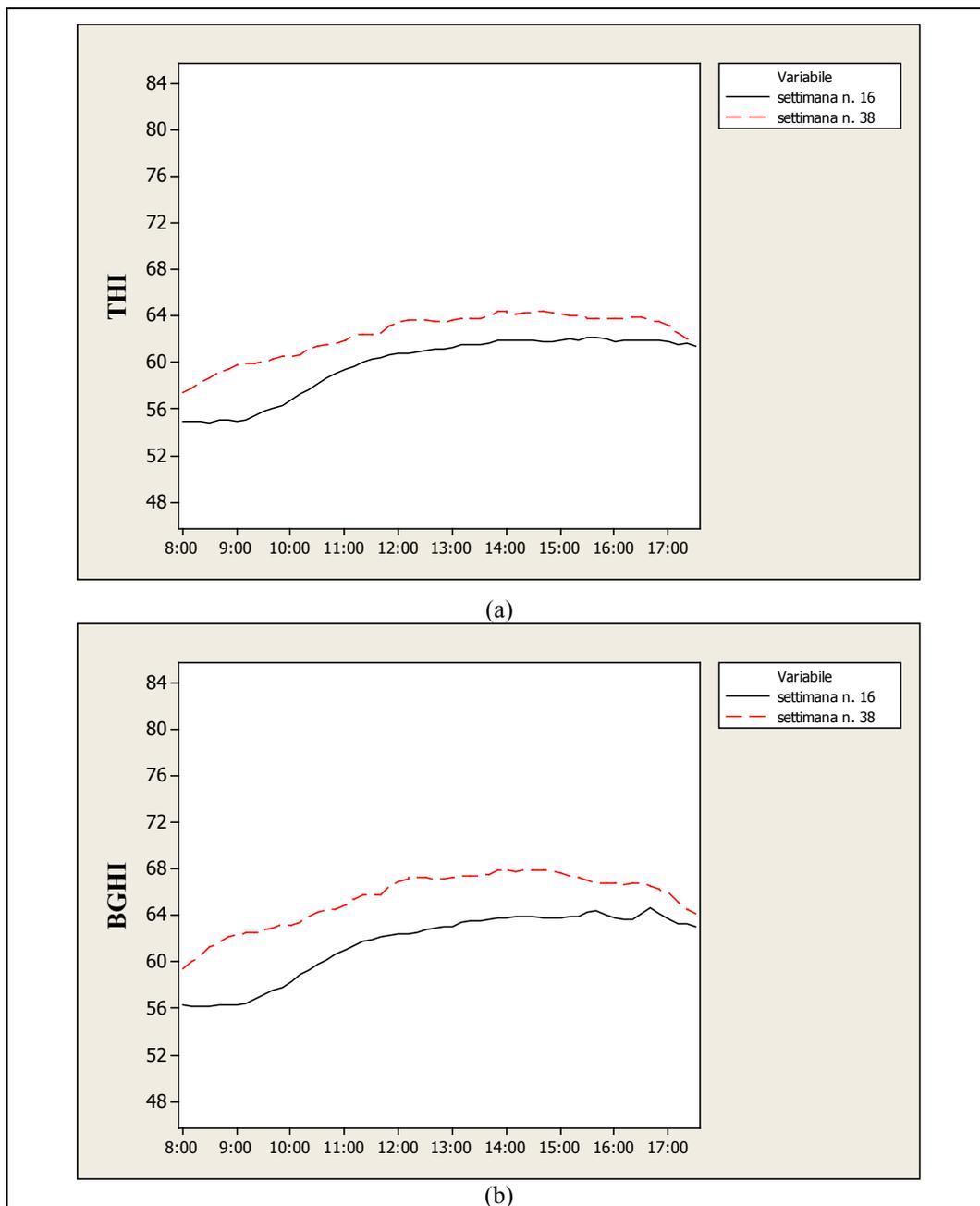
	INTERNO			
	T [°C]	RH% [%]	THI	BGHI
Minimo	6,1	40,6	54,8	56,1
Medio	13,6	84,5	61,1	63,5
Massimo	22,6	100	64,4	67,9

Il grafico riportato in Figura 71 mostra per le due settimane, l'andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI e BGHI, ottenuti mediando i rispettivi valori calcolati per ciascun giorno della settimana ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 8:00 e le ore 17:30.

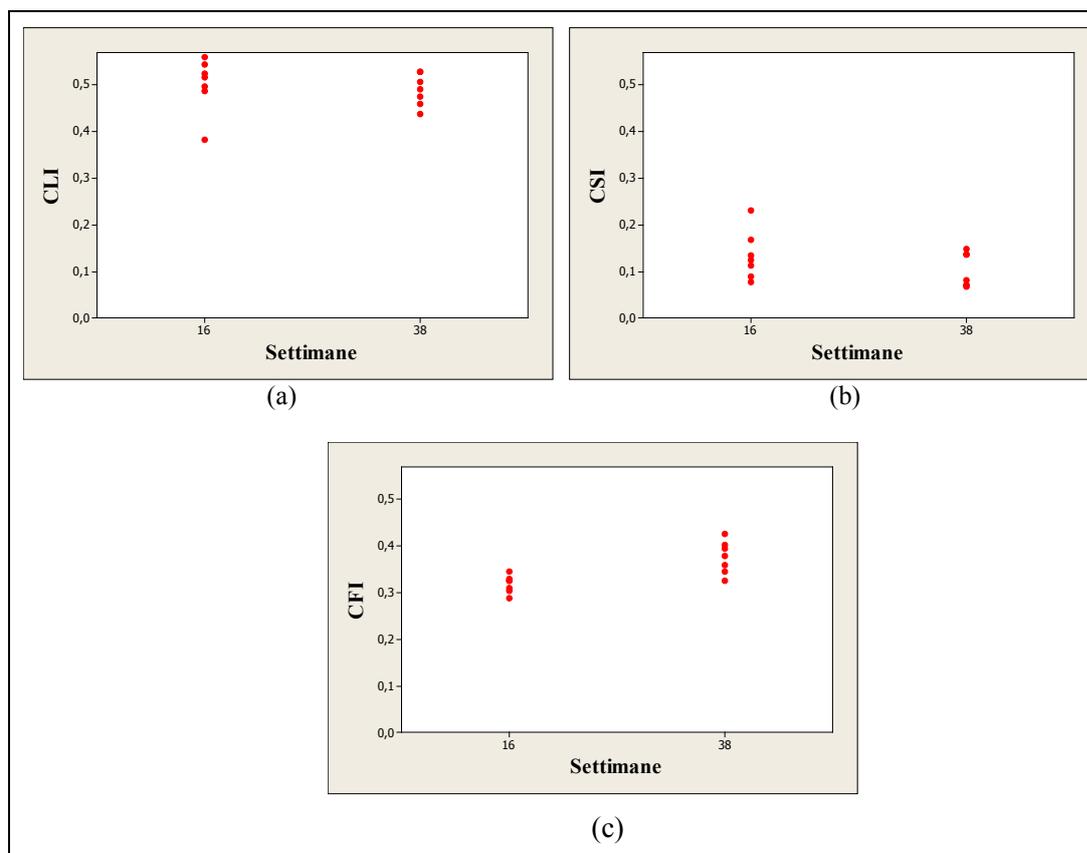
Durante le due settimane appartenenti al *cluster*, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche che hanno determinato valori medi più elevati degli indici di stress termico THI e BGHI compresi tra inferiori a 68. Secondo quanto riportato in bibliografia (Armstrong, 1994; Huhnke et al., 2001; McDowell et al., 1976; Thom, 1959) tali valori degli indici THI e BGHI vengono classificati all'interno della zona di comfort termico.

I grafici riportati in Figura 72, rappresentano i valori medi giornalieri degli indici CLI, CSI e CFI calcolati per le due settimane considerate.

Per quanto riguarda l'indice comportamentale CLI, esso assume valori più omogenei nel corso della settimana n. 38 e presenta una maggiore variabilità durante la settimana n. 16.



**Figura 71 - Andamento dei valori medi degli indici di stress termico, THI (a) e BGHI (b), ottenuti mediando, per ogni giorno di ciascuna delle settimane appartenenti al *cluster* L, i valori calcolati ad intervalli di 10 minuti per l'intero periodo di osservazione compreso tra le ore 8:00 e le ore 18:00.**



**Figura 72 - Valori medi giornalieri degli indici comportamentali calcolati per le due settimane del cluster G: a) indice CLI; b) indice CSI; c) indice CFI.**

Analizzando il grafico dell'indice comportamentale CSI, si nota come durante la settimana n. 38 i valori presentino maggiore omogeneità rispetto a quelli registrati durante la settimana n. 16.

Infine, nel grafico che rappresenta i valori dell'indice comportamentale CFI, i dati più omogenei si riscontrano durante la settimana n. 16.

Applicando il test di Kruskal-Wallis ai valori assunti da ciascun indice comportamentale, è stato possibile individuare differenze significative nei comportamenti degli animali nell'ambito di settimane caratterizzate da una elevata similitudine delle condizioni climatiche interne ed esterne all'edificio.

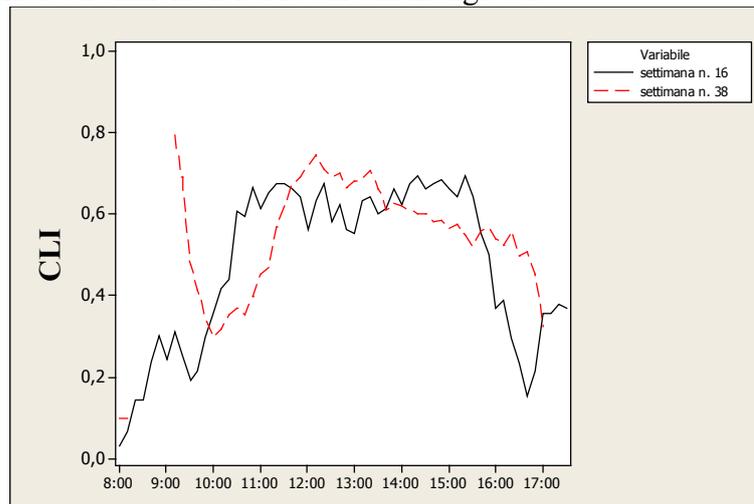
In Tabella 39 sono stati riportati i risultati del test effettuato per l'indice CLI nelle due settimane del cluster considerato. Dalla tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,142. Tali valore, essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05, porta a confermare l'ipotesi nulla  $H_0$ , cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane. In entrambe le settimane i risultati dello  $z$ -test riportano valori che appartengono alla regione di accettazione del valore  $z$ , cioè  $z < -1,96$  o  $z > +1,96$ ; ciò conferma che tra le mediane delle suddette settimane non c'è una significativa differenza.

**Tabella 39 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CLI nelle due settimane del cluster L.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
16	7	0,5018	5,9	-1,47
38	7	0,5357	9,1	1,47
Overall	14		7,5	

H = 2,16 DF = 1 P = 0,142

La similitudine riscontrata nei risultati del test di Kruskal-Wallis, non è confermata dal grafico riportato in Figura 73 che mostra i valori medi dell'indice CLI calcolati ad intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni di ogni settimana. Gli andamenti delle due curve dell'indice comportamentale CLI risultano essere abbastanza diversi tra di loro, nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 10:00 e le ore 11:00 si registrano dei valori più alti della curva della settimana n. 16; nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 11:30 e le ore 12:30 la curva della settimana n. 38 assume valori più alti di quella della settimana n. 16 ma nell'arco di tempo subito dopo avviene esattamente il contrario, l'andamento della curva della settimana n. 38 decresce e quello della settimana n. 16 cresce; infine una diversità relativamente più accentuata si nota tra le ore 15:50 e le ore 17:00 quando la curva appartenente alla settimana n. 38 registra un numero maggiore di bovine sdraiate in *lying* in cuccette. Tali differenze sono riconducibili alle variazioni dell'orario relativo alla pulizia della corsia di alimentazione che nella settimana n. 16 avviene prima delle ore 8:00 e nella settimana n. 38 avviene tra le ore 8:00 e le ore 9:00, tale variazione di orario determina nella settimana n. 38 una buona diminuzione del CLI in corrispondenza del rientro delle bovine nella corsia di alimentazione poiché esse non avendo ancora ultimato di alimentarsi si recano in mangiatoia.



**Figura 73 - Per tutte le settimane appartenenti al cluster L, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CLI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 8:00 e le ore 18:00, dei valori dell'indice CLI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

**Tabella 40 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CSI nelle due settimane del cluster L.**

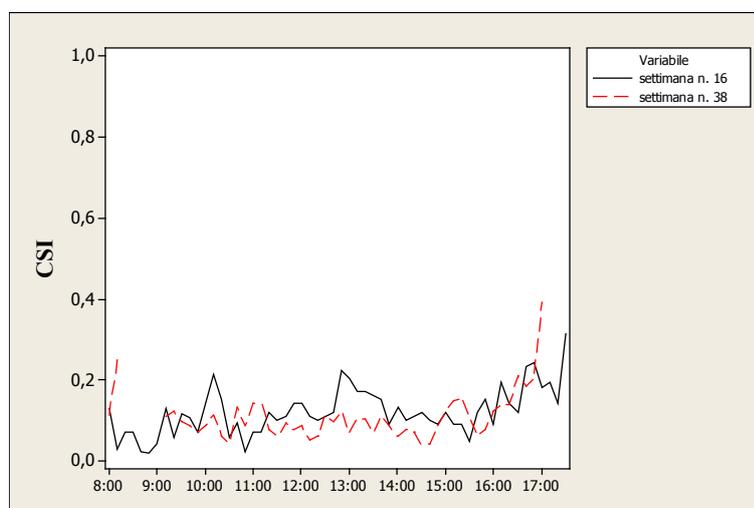
Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
16	7	0,12194	7,6	0,06
38	7	0,09632	7,4	-0,06
Overall	14		7,5	

H = 0,00 DF = 1 P = 0,949

In Tabella 40 sono riportati i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuato per l'indice CSI.

In questa tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,949 quindi essendo molto superiore al valore di riferimento pari a 0,05, l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane è confermata.

La similarità delle due settimane per l'indice comportamentale CSI si nota anche nella Figura 74 in cui è riportato il grafico dei valori medi calcolati ad intervalli di 10 minuti per le due settimane appartenenti al cluster L. Le curve dell'indice CSI appartenenti alle due settimane considerate hanno un andamento nel complesso simile e differiscono in brevi intervalli.



**Figura 74 – Per tutte le settimane appartenenti al cluster L, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CSI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 8:00 e le ore 18:00, dei valori dell'indice CSI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

**Tabella 41 - Risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test effettuati per l'indice CFI nelle due settimane del cluster L.**

Settimana	N° Osservazioni	Mediana	Media rango	z-test
16	7	0,3418	10,0	2,24
38	7	0,3034	5,0	-2,24
Overall	14		7,5	

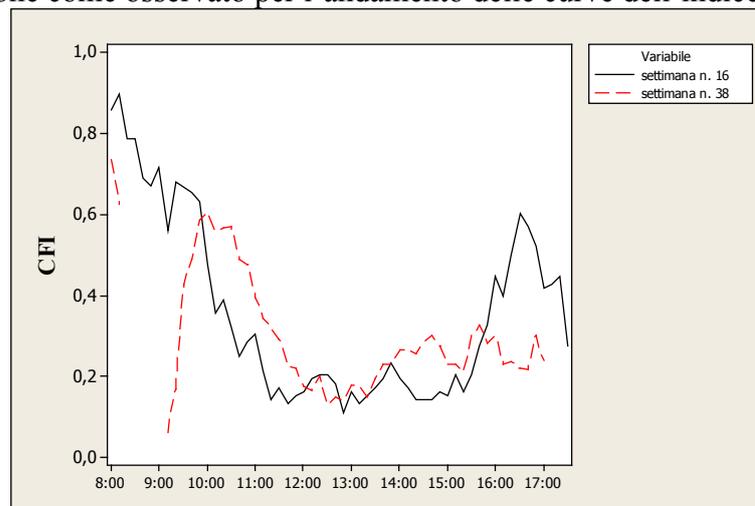
H = 5,00 DF = 1 P = 0,025

In Tabella 41 si riscontrano i risultati del test di Kruskal-Wallis e dello z-test per l'indice comportamentale CFI.

In questa tabella si evince che il  $p$ -value è pari a 0,025 quindi essendo superiore al valore di riferimento pari a 0,05. Tale risultato, induce a scartare l'ipotesi nulla  $H_0$  cioè che non esista una differenza significativa tra le mediane.

Nella Figura 75 è riportato il grafico dei valori medi dell'indice comportamentale CFI calcolati ad intervalli di 10 minuti per le settimane appartenenti al cluster.

L'andamento dei grafici dell'indice CFI per le due settimane appartenenti al cluster è differente, a causa della differente gestione della pulizia della corsia di alimentazione come osservato per l'andamento delle curve dell'indice CLI.

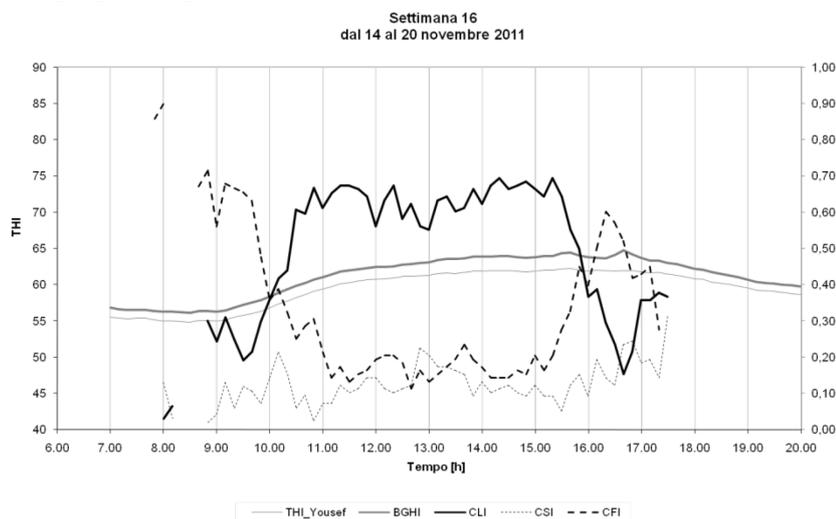


**Figura 75 - Per tutte le settimane appartenenti al cluster L, il grafico mostra gli andamenti dei valori dell'indice comportamentale CFI, ottenuti effettuando le medie, ad intervalli di 10 minuti tra le ore 8:00 e le ore 18:00, dei valori dell'indice CFI calcolati per ciascun giorno di ciascuna settimana.**

Nelle Figura 76 e Figura 77 sono rappresentati gli andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni delle settimane appartenenti al cluster L.

In particolare, in Figura 76 è rappresentato il diagramma dell'andamento dei valori medi della settimana n. 16 degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 8:30 e le ore 17:30; mentre in Figura 77 è riprodotto il diagramma dell'andamento dei valori medi della settimana n. 38

nell'arco di tempo compreso tra le ore 6:30 e le ore 19:00. La durata delle rilevazioni della settimana n. 38 è maggiore perché trattandosi del mese di aprile, la maggiore lunghezza del giorno ha permesso di registrare le immagini per un lasso di tempo più ampio.



**Figura 76 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 14 e il 20 novembre (settimana 16).**

Le curve di entrambe le settimane, presentano un'interruzione nell'arco di tempo che va dalle ore 8:10 alle ore 9:00 circa poiché in tale intervallo il comportamento delle bovine subisce l'influenza delle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore.

Durante la 18 e la 19 settimane, essendo le condizioni climatiche autunno – primaverili il sistema di raffrescamento presente all'interno della edificio zootecnico non era attivo.

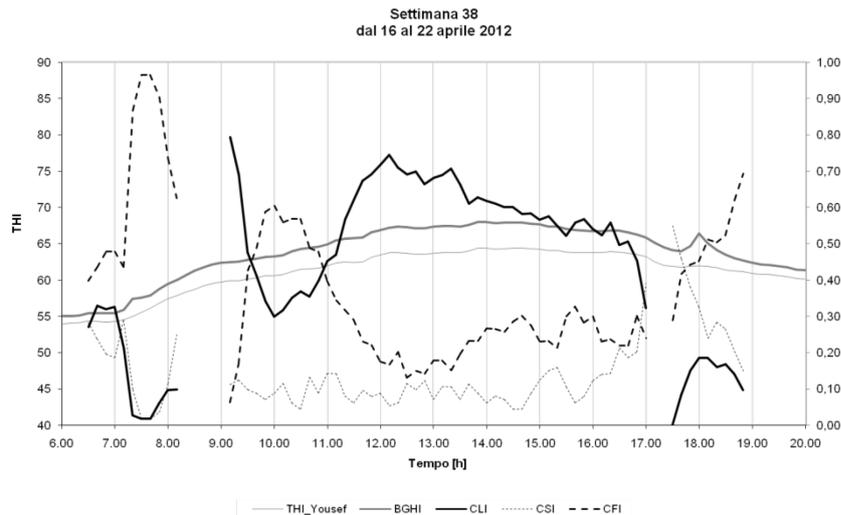
La mungitura avviene dalle ore 6:00 alle ore 6:30, subito dopo le bovine rientrano in stalla. Va precisato che nella settimana n. 16 essendo in presenza di condizioni di scarsa illuminazione, le immagini riprese dalle telecamere non sono state utilizzate per l'analisi visiva; durante la settimana n. 38 le bovine dalle ore 7:00 alle ore 8:00 si nota il picco più alto della curva del CFI, dovuto al fatto che quasi tutte le bovine tornando in stalla dopo la mungitura si recano in mangiatoia ad alimentarsi.

Dopo le ore 9:00, la maggior parte delle bovine rientrando nella stalla dopo essere state allontanate per le operazioni di pulizia da parte dell'allevatore, ritornavano numerose alla rastrelliera per l'alimentazione. Anche se alcune di loro, preferivano sdraiarsi nelle cuccette o rimane a stazionare nella corsia di alimentazione.

Successivamente, in entrambe le settimane del *cluster*, intorno alle ore 10:30 si osserva un incremento della curva del CLI e un contemporaneo decremento della curva del CFI; perché le bovine, completata l'alimentazione,

sentivano il bisogno di sdraiarsi nelle cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI mostrano la permanenza di pochissimi animali nella corsia di alimentazione.

Successivamente, per l'intervallo di tempo compreso tra le 11:00 e le 16:00 la curva del CLI si manterrà costantemente su valori di circa 0,7, rivelando una presenza cospicua e costante delle bovine in *lying*.



**Figura 77 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti effettuando le medie a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 16 e il 22 aprile (settimana 38).**

Nel grafico riportato in Figura 76 che rappresenta le curve della settimana n. 16, dopo le ore 16:00 si nota un decremento della curva del CLI e un aumento della curva del CFI, ciò è dovuto al fatto che le bovine intorno a quell'ora si agitavano e si alzavano o si recavano in mangiatoia, cominciando a sentire lo stimolo di essere munte. Alle ore 17:30 viene svolta la mungitura e successivamente le riprese terminano per il sopraggiungere del buio.

Nella Figura 77 raffigurante le curve della settimana n. 38, si nota che le bovine rimangono in *lying* quasi fino alle ore 17:00, momento in cui avviene la mungitura. Dalle ore 17:30 fino alle ore 19:00, la maggior parte delle bovine subito dopo essere state munte si recano in mangiatoia o rimangono a stazionare nella corsia di alimentazione.

In definitiva, le due settimane appartenenti al *cluster* L sono risultate omogenee per quanto riguarda il comportamento di *standing* e parzialmente anche per il comportamento di *lying*. Una variazione più marcata è stata invece, registrata per l'attività di *feeding*. Questa diversità è stata determinata da una diversa gestione della mandria, infatti le operazioni di pulizia della corsia di alimentazione e di distribuzione della paglia fresca, nella settimana n. 16 avvengono prima delle ore 8:00 e nella settimana n. 38 avvengono tra le ore 8:00 e le ore 9:00. Tale variazione di orario determina nella settimana n. 38 una diminuzione del valore dell'indice CLI in corrispondenza del rientro delle bovine

nella corsia di alimentazione poiché esse non avendo ancora ultimato di alimentarsi si recano alla mangiatoia.

## **4.2 Influenza degli impianti di raffrescamento sul comportamento del gruppo di bovine osservato**

Dalle analisi svolte è emerso che nonostante le condizioni climatiche esterne e interne all'edificio siano simili nell'ambito di ciascun *cluster* individuato, i comportamenti delle bovine non sono risultati altrettanto omogenei tra loro. In alcuni casi è stato possibile imputare le differenze riscontrate alle operazioni di gestione della stalla attuate dall'allevatore poiché esse sono state chiaramente individuate mediante l'osservazione della stalla con le telecamere. Negli altri casi, invece, è stato soltanto possibile supporre che altre attività svolte dall'allevatore, come ad esempio la variazione della razione alimentare, possano avere influenzato il comportamento degli animali.

Al fine di mettere in evidenza eventuali differenze nel comportamento degli animali derivanti dall'attivazione dei sistemi di raffrescamento, è stata svolta l'analisi di correlazione tra gli indici comportamentali e quelli di stress termico, prendendo in esame i dati registrati negli intervalli orari di attivazione degli impianti di raffrescamento.

Le settimane oggetto dell'analisi di correlazione sono state quelle per le quali l'analisi dei singoli *cluster* ha dimostrato un'omogeneità dei tre comportamenti considerati (Tabella 42 e Tabella 43). In particolare, le settimane nn. 14 e 15, afferenti al *cluster* E, appartengono alla stagione autunnale, le settimane nn. 18, 19, afferenti al *cluster* F, appartengono alla stagione autunnale, le settimane nn. 23, 27 e 30, afferenti al *cluster* G, appartengono alla stagione invernale ed infine quanto riguarda le settimane estive, non è stata riscontrata un'elevata omogeneità dei comportamenti. Pertanto, nelle Tabella 42 e Tabella 43 sono state inserite la settimana n. 1 relativa al *cluster* A e la settimana n. 4 relativa al *cluster* B in cui le condizioni sono risultate più severe dal punto di vista delle condizioni termo-igrometriche. Ciò è stato determinato dal fatto che le settimane estive appartengono a due anni differenti, nelle settimane dei mesi di giugno e luglio 2011, la gestione della mandria e la temporizzazione degli impianti ha subito lievi modifiche che hanno inciso sul comportamento delle bovine. Al fine di impiegare un ugual numero di osservazioni per tutte le settimane analizzate, è stato necessario individuare intervalli orari di uguale ampiezza. Ciò ha determinato una riduzione di circa 12 osservazioni per le settimane estive considerate, corrispondenti all'intervallo compreso tra le ore 16:10 e 17:30, che coincide con l'intervallo in cui durante la stagione invernale non sono state effettuate registrazioni video a causa della scarsa illuminazione all'interno della stalla.

In particolare, al fine di evidenziare l'eventuale permanenza degli animali in posizione di decubito all'interno delle cuccette negli orari più caldi della giornata, correlata all'attivazione dell'impianto di raffrescamento evaporativo, sono state effettuate le analisi di correlazione tra l'indice comportamentale CLI e i due indici di stress termico THI e BGHI nell'intervallo orario compreso tra le ore 11:00 e le ore 14:30. Invece, al fine di mostrare la permanenza degli animali nella corsia di alimentazione per effetto dell'attivazione del sistema di bagnatura diretta del loro corpo, sono state calcolate le correlazioni tra gli indici comportamentali CSI e CFI

**Tabella 42 - Correlazione fra gli indici comportamentali CLI, CSI, CFI e l'indice di stress termico THI.**

Settimane		1	4	14	15	18	19	23	27	30
CLI	<i>r</i>	0,389	0,695	-0,214	-0,015	-0,603	-0,510	-0,117	-0,330	-0,474
	<i>p</i>	0,009	0,000	0,339	0,946	0,003	0,010	0,604	0,134	0,026
CSI	<i>r</i>	0,493	0,798	0,570	0,273	0,138	0,308	0,654	0,349	0,632
	<i>p</i>	0,004	0,000	0,007	0,232	0,551	0,175	0,001	0,121	0,002
CFI	<i>r</i>	-0,815	-0,821	0,185	-0,509	-0,582	-0,647	-0,924	-0,497	-0,879
	<i>p</i>	0,000	0,000	0,421	0,018	0,006	0,002	0,000	0,022	0,000

**Tabella 43 - Correlazione fra gli indici comportamentali CLI, CSI, CFI e l'indice di stress termico BGHI.**

Settimane		1	4	14	15	18	19	23	27	30
CLI	<i>r</i>	0,184	0,561	-0,181	-0,050	-0,460	-0,760	-0,136	-0,407	-0,453
	<i>p</i>	0,413	0,007	0,420	0,826	0,031	0,000	0,547	0,060	0,034
CSI	<i>r</i>	0,453	0,804	0,553	0,195	0,108	0,244	0,511	0,295	0,626
	<i>p</i>	0,008	0,000	0,009	0,396	0,643	0,287	0,018	0,195	0,002
CFI	<i>r</i>	-0,860	-0,797	0,278	-0,396	-0,653	-0,676	-0,903	-0,567	-0,881
	<i>p</i>	0,000	0,000	0,223	0,076	0,001	0,001	0,000	0,007	0,000

e i due indici di stress termico THI e BGHI negli intervalli orari compresi tra le ore 9:00 e le ore 10:50 e tra le ore 14:40 e le ore 16:00.

In Tabella 42 e Tabella 43 sono riportati i coefficienti di correlazione di Pearson (*r*) e i relativi valori di *p*-value, per ciascuna delle settimane considerate.

Nella settimana n. 1 e nella settimana n. 4 i valori di *r* calcolati tra l'indice CLI e l'indice THI sono risultati pari rispettivamente a +0,389 ( $p < 0.01$ ) e +0,695 ( $p < 0.01$ ), analogamente i valori di *r* tra l'indice CLI e l'indice BGHI sono stati rispettivamente pari a +0,184 ( $p > 0,05$ ) e +0,561 ( $p < 0.01$ ). Essi evidenziano l'esistenza di una correlazione positiva statisticamente significativa ( $p < 0.01$ ) che non viene riscontrata in altre settimane riportate in tabella, caratterizzate da condizioni climatiche autunnali (settimane nn. 18 e 19,  $p < 0.01$ ) e invernali (settimane nn. 30,  $p < 0.05$ ).

Ciò dimostra che l'influenza dell'impianto di raffrescamento evaporativo sul microclima della zona di riposo condiziona il comportamento delle bovine inducendole a permanere nelle cuccette. D'altra parte una correlazione positiva in assenza dell'attivazione dell'impianto risulterebbe in antitesi con la bibliografia esistente (Zähner et al., 2004) in cui si afferma che al crescere dei valori di THI e BGHI si ha la diminuzione dell'attività di decubito.

Ancora con riferimento alla settimana n. 1 e alla settimana n. 4, i valori di *r* calcolati tra l'indice CSI e gli indici THI sono risultati rispettivamente pari a +0,493 ( $p < 0.01$ ) e +0,798 ( $p < 0.01$ ), conformemente i valori di *r* calcolati tra l'indice CSI e gli indici BGHI sono stati rispettivamente pari a +0,453 ( $p < 0.01$ ) e +0,804 ( $p < 0.01$ ). Essi evidenziano l'esistenza di una correlazione positiva

statisticamente significativa ( $p < 0.01$ ) superiore a quella riscontrata in altre settimane riportate in tabella, caratterizzate da clima autunnale (settimane n. 14,  $p < 0.01$ ) e invernale (settimane nn. 23 e 30,  $p < 0.01$ ). Ciò dimostra che l'impianto di raffrescamento per bagnatura diretta ha indotto le bovine a stazionare nella corsia di alimentazione durante gli intervalli di attivazione. Tuttavia, la permanenza degli animali nella corsia di alimentazione non ha determinato un incremento dell'attività di *feeding*. Infatti, i valori di  $r$  calcolati tra l'indice CFI e gli indici THI e BGHI, sono risultati pari rispettivamente a  $-0,815$  ( $p < 0.01$ ) e  $-0,860$  ( $p < 0.01$ ) per la settimana n. 1 e pari  $-0.821$  ( $p < 0.01$ ) e  $-0.797$  ( $p < 0.01$ ) per la settimana n. 4. Tali valori di  $r$  non risultano sostanzialmente differenti da quelli calcolati per le altre settimane (settimane nn. 15, 18, 19, 23 e 30,  $p < 0.01$ ) in cui gli animali nell'intervallo orario considerato non si recano abitualmente alla mangiatoia.

#### **4.2.1 Possibili soluzioni per il miglioramento della gestione della mandria e degli impianti di raffrescamento**

Dallo studio sperimentale svolto e alla luce dell'analisi della bibliografia è possibile suggerire all'allevatore degli accorgimenti per il miglioramento della gestione della mandria e degli impianti di raffrescamento considerato che egli, a tutt'oggi, continua a svolgere le stesse attività che hanno influenzato il comportamento delle bovine osservate nel corso della sperimentazione oggetto della presente tesi.

Per quanto attiene l'attività di somministrazione della razione alimentare alle bovine, una prima considerazione riguarda l'interferenza riscontrata con le operazioni di pulizia della stalla. L'allevatore effettua un'unica somministrazione di alimento subito dopo la mungitura mattutina sia in estate che in inverno, cioè intorno alle ore 7:15-7:30. Dalle ore 8:00 alle ore 9:00 circa, egli effettua le operazioni di pulizia della corsia di alimentazione impiegando un trattore con lama raschiante. Al fine di consentire il passaggio del mezzo meccanico, l'allevatore confina tutte le bovine nell'area della stalla compresa tra la corsia di riposo e la corsia di servizio ad essa adiacente. È stato osservato che tale attività interrompe l'alimentazione delle bovine, le quali rientrando in stalla dopo le operazioni di pulizia si recano nuovamente alla mangiatoia per completare l'alimentazione. È possibile ritenere che la successione delle operazioni attuate dall'allevatore possa influenzare negativamente lo stato di benessere delle bovine, poiché la brusca interruzione dell'attività di alimentazione potrebbe determinare negli animali uno stato di frustrazione e di ansia. Sarebbe, pertanto, opportuno ritardare la pulizia della corsia di alimentazione in modo da consentire alle bovine di completare l'assunzione della razione.

Una seconda considerazione riguarda il numero di somministrazioni di razione alimentare. Dall'analisi della letteratura (Tyler et al., 1997; Johansson et al., 1999) si evince che la presenza di alimento fresco, quando le bovine ritornano in stalla dalla sala di mungitura le stimola ad andare alla mangiatoia piuttosto che a sdraiarsi sulla lettiera o nelle cuccette, riducendo così il rischio di mastiti. Considerando tale comportamento delle bovine, si può dedurre che la gestione

della somministrazione dell'alimento attuata dall'allevatore è corretta solo in parte. Egli, infatti, somministra la razione alimentare una sola volta al giorno subito dopo la prima mungitura, successivamente, durante il corso della giornata, opera solo un avvicinamento alla mangiatoia dei residui di alimento non alla portata della bocca delle bovine, senza aggiungere una parte di alimento fresco. Tale gestione determina un'affluenza maggiore delle bovine alla mangiatoia (circa il 75%) subito dopo la prima mungitura e una più contenuta affluenza dopo la seconda mungitura (circa il 65%).

L'affluenza alla mangiatoia da parte delle bovine è stata calcolata soltanto nel periodo estivo/primaverile poiché le registrazioni effettuate con le telecamere nel periodo invernale/autunnale nell'intervallo diurno non hanno consentito di osservare il comportamento degli animali al rientro in stalla dopo la seconda mungitura. Secondo quanto riscontrato in letteratura sarebbe buona norma effettuare due somministrazioni giornaliere (DeVries e von Keyserlingk, 2005), una subito dopo la prima mungitura, come già avviene, e una subito dopo la seconda mungitura, in modo da stimolare di più gli animali ad andare ad alimentarsi. In particolare, per quanto riguarda la seconda mungitura e limitatamente al periodo estivo, sarebbe opportuno effettuare le relative operazioni durante le ore serali allorché gli animali sviluppano un appetito maggiore per l'effetto del miglioramento delle condizioni di stress da caldo per gli animali. Tuttavia, la posticipazione della seconda mungitura determinerebbe il conseguente ritardo della prima mungitura al fine di mantenere lo stesso intervallo di tempo intercorrente tra le due mungiture. Le operazioni di pulizia della corsia, invece, dovrebbero anticipare le operazioni relative alla prima mungitura e quindi quelle di somministrazione della razione alimentare.

Tale possibile gestione alternativa della mandria è anche avallata dai valori di correlazione calcolati tra l'indice comportamentale CFI e l'indice microclimatico BGHI nell'intervallo diurno estivo. Essa, infatti, è risultata sempre negativa e mediamente pari al 65% (Tabella 44). Dal punto di vista matematico, il fatto che la correlazione sia negativa evidenzia l'andamento opposto delle due variabili analizzate. Infatti, nelle ore diurne considerate, il BGHI è minimo nelle prime ore del giorno quando viene somministrata la razione alimentare e quindi il CFI in tali orari è massimo. Successivamente, nelle ore centrali della giornata il CFI si attesta su valori minimi poiché gli animali non si recano alla mangiatoia quando il BGHI cresce per effetto dell'incremento della temperatura ambientale. In definitiva, i valori della correlazione riscontrati per il periodo estivo dimostrano che all'aumentare del valore delle temperature ambientali e quindi dell'indice BGHI, diminuisce l'attività di feeding, così come evidenziato da altri studi (Schneider *et al.*, 1988; Cook *et al.*, 2006).

Per quanto riguarda la gestione degli impianti di raffrescamento alcune considerazioni scaturiscono dall'analisi esaminando i valori di correlazione degli indici CLI e CSI con gli indici di stress termico THI e BGHI. In particolare, i valori di correlazione ottenuti tra l'indice CLI e l'indice BGHI, calcolati per tutto l'intervallo di osservazione compreso tra le ore 6:00 e le ore 20:00, evidenziano che nel periodo estivo gli animali tendono a permanere in posizione di decubito

nelle cuccette, nonostante le condizioni microclimatiche registrate all'interno della stalla possono essere classificate come predisponenti a moderato (*cluster A*) o elevato (*cluster B*) stress termico, soprattutto nelle ore di massima insolazione della copertura della stalla alla radiazione solare. Poiché i valori di tali correlazioni possono essere classificati come moderatamente forti, è possibile affermare che l'attivazione degli impianti abbiano influenzato positivamente l'attività di decubito delle bovine nelle cuccette.

**Tabella 44 - Correlazione fra gli indici comportamentali CLI, CSI, CFI e l'indice di stress termico BGHI nelle settimane appartenenti al *cluster A* e al *cluster B*.**

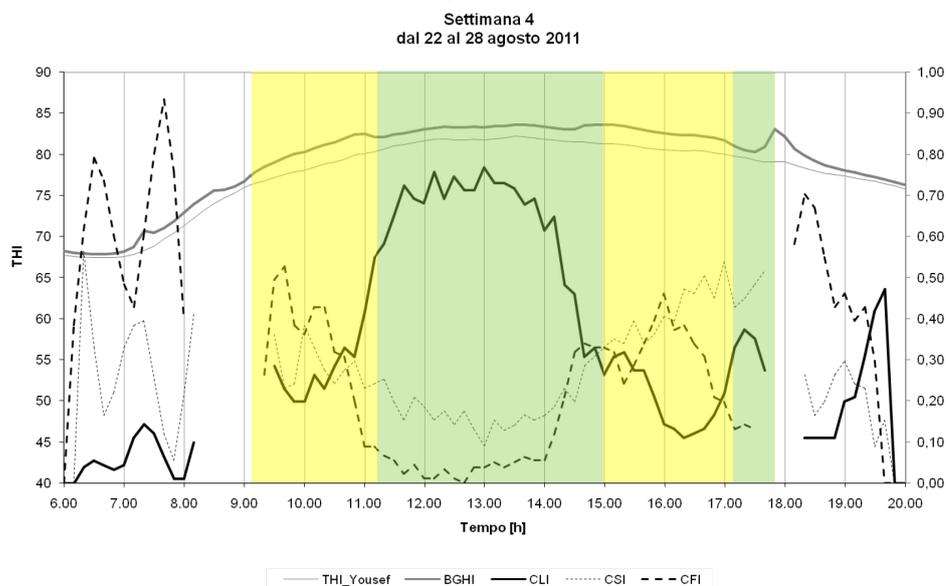
Coefficiente di correlazione ( <i>r</i> )				
<i>Cluster</i>	Settimana	CLI/BGHI	CSI/BGHI	CFI/BGHI
A	1	0,57	-0,09	-0,63
	6	0,53	0,18	-0,67
	52	0,60	0,10	-0,73
B	3	0,54	-0,15	-0,44
	4	0,58	-0,05	-0,63
	48	0,58	-0,06	-0,53
	51	0,59	-0,30	-0,63

L'influenza positiva dell'impianti sull'attività di decubito è dimostrata sia dalla lieve riduzione, pari a circa l'8%, del *Time Budget* diurno che le bovine hanno dedicato nel periodo estivo (tra agosto e settembre 2011 e tra giugno e luglio 2012) alla posizione di decubito nelle cuccette rispetto ai valori registrati nel periodo autunnale/invernale/primaverile (tra settembre 2011 e maggio 2012) sia al lieve incremento di circa l'11% rispetto ai valori registrati nel periodo autunnale/invernale/primaverile.

Per quanto riguarda i valori di correlazione tra CSI/BGHI (Tabella 44) essi rilevano che le bovine stazionano nella corsia di alimentazione indipendentemente dai valori assunti dagli indici THI e BGHI. L'assenza di una correlazione negativa tra CSI/BGHI evidenzia la tendenza degli animali a rimanere in *lying* nelle cuccette.

Poiché nell'intervallo di attivazione dell'impianto di raffrescamento evaporativo è stata dimostrata la sua efficacia nell'indurre le bovine a stare in posizione di decubito, è ragionevole ritenere che una gestione più appropriata dei due sistemi di raffrescamento possa consentire un prolungamento dell'attività di decubito. In particolare, dall'osservazione complessiva dei diagrammi riportati in Figura 78 emerge che lo spegnimento dell'impianto di raffrescamento evaporativo e l'attivazione dell'impianto di bagnatura diretta comporta l'interruzione del

riposo delle bovine nelle cuccette con conseguente possibile riduzione del tempo complessivamente dedicato al decubito nelle ore diurne. Nello specifico, nella Figura 78 sono state colorate in giallo le aree del grafico relative agli intervalli di tempo in cui è attivo il sistema di bagnatura diretta del corpo degli animali e in verde il sistema di raffreddamento evaporativo.



**Figura 78 - Andamenti degli indici comportamentali e degli indici di stress termico ottenuti mediando i dati acquisiti a intervalli di 10 minuti per ciascuno dei sette giorni compresi tra il 22 e il 28 agosto 2011 (settimana 4). In verde sono stati riportati gli intervalli orari di attivazione del sistema di raffreddamento evaporativo e in giallo quelli di attivazione del sistema di bagnatura diretta del corpo degli animali.**

Come si nota nel grafico, dalle ore 9:00 alle ore 11:00 quando è attivo il sistema di bagnatura diretta nella corsia di alimentazione più del 50% delle bovine si trovano alla mangiatoia, dalle ore 11:00 fino alle 14:30 quando viene disattivato il sistema di bagnatura diretta, e viene contemporaneamente attivato il sistema di raffreddamento evaporativo, le bovine si spostano nelle cuccette e il valore dell'indice CLI, in tale intervallo, raggiunge percentuali pari all'80%. Alle ore 14:30 il sistema di bagnatura diretta viene riattivato e gradualmente gli animali interrompono l'attività di decubito. L'obiettivo dell'allevatore di favorire l'alimentazione, risulta di fatto non perseguito poiché mediamente solo il 35% di bovine si reca effettivamente alla mangiatoia, il rimanente 65% si divide nel modo seguente: il 50% rimane a stazionare nella corsia di alimentazione per usufruire del benessere determinato dalla bagnatura diretta del loro corpo e il 15% rimane ancora in posizione di decubito nelle cuccette. Dall'osservazione del grafico, pertanto, è possibile ritenere che il prolungamento dell'intervallo di attivazione del sistema evaporativo consentirebbe di incrementare le ore di decubito delle bovine. D'altra parte, l'attivazione del sistema di bagnatura diretta del corpo degli animali nell'intervallo temporale successivo alla seconda mungitura (dopo le ore

20:00), consentirebbe un maggiore afflusso delle bovine alla mangiatoia rispetto allo stato attuale che, invece, prevede il funzionamento del il sistema di raffrescamento evaporativo. Tale variazione si renderebbe ancora più opportuna qualora le esigenze gestionali non consentissero di posticipare la seconda mungitura nelle ore serali come precedentemente suggerito.

## 5. CONCLUSIONI

La ricerca svolta si colloca nell'ambito delle tematiche connesse con lo studio delle condizioni ambientali che possono influenzare il benessere delle bovine da latte allevate a stabulazione libera. In tale contesto, la temperatura, l'umidità relativa dell'aria e la ventilazione rappresentano i principali parametri che caratterizzano il microclima dell'edificio di stabulazione e, pertanto, possono avere un effetto significativo sulla risposta fisiologica degli animali.

Dall'analisi della letteratura è emerso che il miglioramento genetico attuato sulle bovine da latte al fine di aumentarne la produttività e le riserve di nutrienti durante la prima fase di lattazione ha reso tali animali molto più suscettibili allo stress da caldo determinato dalle condizioni microclimatiche all'interno degli ambienti di allevamento.

La metodologia proposta in questa ricerca è stata definita al fine di valutare l'influenza delle condizioni microclimatiche sul comportamento degli animali. Il comportamento delle bovine da latte, infatti, rappresenta un utile indicatore per valutarne lo stato di benessere. Sebbene applicate a un caso di studio, le fasi metodologiche della presente tesi possono essere utilmente ripercorse per effettuare valutazioni analoghe. La metodologia, infatti, si avvale di indicatori comportamentali e di stress termico scelti fra quelli più comunemente adottati nella letteratura specifica relativa al comportamento delle bovine da latte. In particolare, gli indicatori comportamentali considerati sono stati il *Cow Lying Index* (CLI), il *Cow Standing Index* (CSI) e il *Cow Feeding Index* (CFI), invece, gli indicatori di stress termico sono stati il *Temperature Humidity Index* (THI) e il *Black Globe Humidity Index* (BGHI).

Altro fattore che caratterizza la ripetibilità della prova in altri contesti è il metodo adottato per l'osservazione del comportamento delle bovine. In letteratura, l'analisi visiva di immagini provenienti da videocamere, sebbene onerosa dal punto di vista delle ore di lavoro impiegate, risulta ampiamente applicata nell'ambito di studi analoghi a quello descritto in questa tesi. In questo studio, in particolare, un sistema di videoripresa a multicamera, che ha consentito di ottenere un'immagine panoramica contenente la vista planimetrica dell'area in cui è stata svolta la prova, ha efficacemente agevolato le operazioni di riconoscimento dei comportamenti delle bovine nell'ambito delle immagini riprese. Anche l'intervallo di campionamento delle immagini adottato nello studio è stato scelto sulla base di un'attenta ricerca bibliografica e, pertanto, risultando adeguato allo scopo, può essere adottato in altri contesti.

Per quanto riguarda l'ottenimento dei dati necessari per la valutazione degli indici di stress termico, essi sono stati ottenuti installando una stazione per la misurazione delle principali variabili climatiche esterne e microclimatiche all'interno della stalla. Anche tale pratica è ampiamente diffusa nelle ricerche che si occupano dell'analisi del microclima interno agli edifici per la produzione agricola e zootecnica. Nella ricerca, i dati misurati ogni 5 secondi e mediati ogni 5 minuti automaticamente dal *data-logger*, sono stati impiegati nelle diverse elaborazioni statistiche svolte.

A tal riguardo, un aspetto originale dello studio è rappresentato dall'impiego dell'analisi *cluster* e del test di Kruskal-Wallis al fine di evidenziare comportamenti differenti nell'ambito di settimane dell'anno omogenee sotto il profilo delle condizioni climatiche e microclimatiche interne all'edificio. In particolare, l'analisi dei *cluster*, metodo afferente all'analisi statistica multivariata, ha consentito di classificare le settimane considerate nello studio in relazione ai valori di temperatura e di umidità relativa dell'aria misurati sia all'esterno che all'interno dell'edificio oggetto della prova. Successivamente, il test di Kruskal-Wallis, analogo al test ANOVA, ma impiegato in questo studio per l'analisi non parametrica dei dati rilevati, ha consentito di evidenziare, nell'ambito delle settimane individuate con l'analisi *cluster*, eventuali differenze nel comportamento degli animali.

Anche la metodologia adottata per l'analisi dei dati può essere utilmente ripercorsa allorché sia necessario elaborare un'ingente mole di dati, come quella analizzata nel presente studio.

Una prima analisi piuttosto generale dei dati rilevati, condotta considerando dati medi mensili prima e medi settimanali dopo, ha rivelato che durante il corso dell'anno in cui è stata svolta la prova, il comportamento attuato dagli animali è risultato piuttosto conforme a quanto ampiamente riscontrato in letteratura. Tuttavia, questa prima analisi, proprio perché svolta senza effettuare una classificazione delle settimane per omogeneità delle caratteristiche termometriche esterne ed interne all'edificio, non ha consentito di mettere in evidenza l'eventuale influenza degli impianti di raffrescamento sul comportamento delle bovine. Mediante l'introduzione di una soglia di similarità delle condizioni termometriche, l'analisi *cluster* ha consentito di ridurre il numero di settimane da analizzare. Pertanto, è stato possibile mettere in evidenza l'eventuale influenza degli impianti di raffrescamento sul comportamento delle bovine svolgendo un'analisi più dettagliata su un numero più ristretto di settimane.

Confrontando i dati provenienti dalle settimane individuate dall'analisi *cluster* e relative a mesi autunnali/invernali/primaverili con quelli derivanti dalle settimane prettamente estive, è emerso che l'impianto di raffrescamento evaporativo ha influenzato positivamente l'attività di decubito delle bovine, mentre l'impianto di bagnatura diretta del loro corpo non ha di fatto consentito di migliorare l'attività di alimentazione determinando, invece, un'interruzione dell'attività di decubito e un incremento dell'attività di stazionamento in piedi nella corsia di alimentazione. Considerando che in stalle confortevoli le bovine da latte trascorrono circa il 60% del giorno in posizione di decubito, tale situazione potrebbe determinare condizioni di disagio per le bovine con possibili conseguenze negative sulla loro produzione di latte e sul loro stato di salute.

Poiché nella ricerca è stata dimostrata l'efficacia dell'impianto di raffrescamento evaporativo nell'indurre le bovine a stare in posizione di decubito, è ragionevole ritenere che una gestione più appropriata dei due sistemi di raffrescamento possa consentire un prolungamento dell'attività di decubito.

Infine, i risultati della ricerca hanno consentito di indicare alcune possibili variazioni nella gestione della stalla, soprattutto con riferimento alla successione delle operazioni intercorrenti tra le due mungiture e cioè la distribuzione dell'alimento fresco e la pulizia della corsia di alimentazione. Tali risultati, benché non strettamente connessi con l'obiettivo principale della ricerca, scaturiscono in gran parte dall'analisi delle settimane incluse nei singoli *cluster*. Infatti, in alcuni casi quando all'interno di un *cluster* non è stata riscontrata un'omogeneità del comportamento degli animali, è stato possibile ricondurre le differenze comportamentali delle bovine alle pratiche gestionali attuate dall'allevatore.



## BIBLIOGRAFIA

- Akari, C. T., Nakamura, R.M., Kam, L.W.G., (1987). "Diurnal temperature sensitivity of dairy cattle in a naturally cycling environment." J. Therm. Biol. **12 (1)**: 23-26.
- Akari, C. T., Nakamura, R.M., Kam, L.W.G., Clarke N., (1984). "The effect of level of lactation diurnal temperature patterns of dairy cattle in hot environments." Journal Dairy Science **67**: 1752-1760.
- Albertini, M., Canali, E., Cannas, S., Ferrante, V., Mattiello, S., Panzera, M., Verga, M., (2008). Etologia applicata e benessere animale.
- Albright, J. L. (1993). "Feeding Behavior of Dairy Cattle." Journal of Dairy Science **76(2)**: 485-498.
- Albright, J. L., Arave, C.W., (1997). The behaviour of cattle. Wallingford, Oxon, Regno Unito, Cabi Publishing.
- Anderson, N. (2008). Cow behaviour to judge free-stall and tie-stall barns. Dairy cow comfort: 1-10.
- Armstrong, D. V. (1994). "Heat Stress Interaction with Shade and Cooling." Journal of Dairy Science **77(7)**: 2044-2050.
- ASABE, (2006) Design of Ventilation Systems for Poultry and Livestock Shelters, ASAE EP270.5 FEB03. Standards 2006 53rd Edition, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan (USA), 652-670.
- Barbari, M., Leso, L., Rossi, G., Scaramelli A., Simonini, S., (2011). "Influence of Cooling Systems on the Behaviour of Dairy Cows Housed in Cubicle Barn." Journal of Agricultural Science and Technology A1: 40-49.
- Bava, L., A. Tamburini, et al. (2012). "Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems." Italian Journal of Animal Science **11(e42)**: 230-235.
- Bitman, J. A., Lefcourt, D.L., Stroud, B., (1984). "Circadian and Ultradian Temperature Rhythms of Lactating Dairy Cows." Journal Dairy Science **67 (5)**: 1014 - 1023.
- Bligh, J. (1973). "temperature regulation in mammals and other vertebrates." North Holland, Amsterdam: 351-354.
- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J. B. (2006). "Temperature-Humidity Indices as indicators of milk production losses due to heat stress." J. Dairy Sci. **90**: 1947-1956.
- 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 (4)**: 451-462.

- Buffington, D. E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., Collier, R.J. (1981). "Black Globe-Humidity Index (BGHI) as comfort equation for dairy cows." Transactions of the ASAE **81**: 711-714.
- Cangar, O., T. Leroy, et al. (2008). "Automatic real-time monitoring of locomotion and posture behaviour of pregnant cows prior to calving using online image analysis." Computers and Electronics in Agriculture **64**(1): 53-60.
- Capdeville, J., Tillie, M., (1995). "Le point sur l'ambiance dans les bâtiments d'élevage bovin, ovin, caprin et équin. ." Institut de l'élevage: 64pp.
- Carreira, X. C., M. E. Fernández, et al. (2009). "Indices for estimation of dairy free-stall occupancy." Applied Animal Behaviour Science **119**(1-2): 23-31.
- Chaplin, S., Munksgaard, L., (2001). "Evaluation of a simple method for assessment of rising behaviour in tethered dairy cows." Anim. Sci. **72**: 191-197.
- Cook, N. B., T. B. Bennett, et al. (2004). "Effect of Free Stall Surface on Daily Activity Patterns in Dairy Cows with Relevance to Lameness Prevalence." Journal of Dairy Science **87**: 2912-2922.
- Cook, N. B., T. B. Bennett, et al. (2005). "Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds." Journal of Dairy Science **88**(11): 3876-3885.
- Cook, N. B., Mentink, R. L., Bennett, T. B., Burgi, K. (2006). "The Effect of Heat Stress and Lameness on Time Budgets of Lactating Dairy Cows." J. Dairy Sci. **90**: 1674-1682.
- D'archivio s., Z. P. (2007). "Come la temperatura può influenzare la mandria." L'informatore zootecnico **13**: 28-40.
- Dechamps, P., Nicks, B., Canart, B., Gielen, M., Istasse L., (1989). "A note on resting behaviour of cows before and after calving in two different housing systems." Applied Animal Behaviour Science **23**, 1-2: 99-105.
- DeVries, T. J. and M. A. G. Von Keyserlingk (2005). "Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows." Journal of Dairy Science **88**(2): 625-631.
- DeVries, T. J. and M. A. G. Von Keyserlingk (2006). "Feed stalls affect the social and feeding behavior of lactating dairy cows." Journal of Dairy Science **89**(9): 3522-3531.
- DeVries, T. J., M. A. G. Von Keyserlingk, et al. (2004). "Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows." Journal of Dairy Science **87**(5): 1432-1438.

- DeVries, T. J., M. A. G. Von Keyserlingk, et al. (2003a). "Technical note: Validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows." Journal of Dairy Science **86**(11): 3571-3574.
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., Beauchemin, K.A. (2003b). "Short Communication: Diurnal Feeding Pattern of Lactating Dairy Cows." J. Dairy Sci. **86**: 4079-4082.
- Drissler, T. J., Gaworski, M., Tucker, C.B., Weary, D.M., (2005). "Freestall maintenance: effects on lying behavior on dairy cattle." J. Dairy Sci. **88**: 2381-2387.
- Endres, M. I., T. J. DeVries, et al. (2005). "Short communication: Effect of feed barrier design on the behavior of loose-housed lactating dairy cows." Journal of Dairy Science **88**(7): 2377-2380.
- Fallon, G. R. (1962). "Body temperature and fertilization in cow." J. Reprod. Fertil. **3**: 116.
- Fraser, D. (2008). Understanding animal welfare: the science in Its Cultural Context..
- Fraser, D., Weary D.M., Pajor E.A., Milligan B.N. (1997). "A scientific conception of animal welfare that reflect ethical concerns." Anim. Welf **6**: 185-205.
- Frazzi, E., Calamari, L., Calegari, F., Stefanini, L. (2000). "Behavior dairy cows in response to different barn cooling systems." Transactions of the ASAE **43** (2): 387-394.
- Fregonesi, J. A. and J. D. Leaver (2001). "Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems." Livestock Production Science **68**(2-3): 205-216.
- Fregonesi, J. A., C. B. Tucker, et al. (2004). "Effect of rubber flooring in front of the feed bunk on the time budgets of dairy cattle." Journal of Dairy Science **87**(5): 1203-1207.
- Fregonesi, J. A., Tucker, C.B., Weary, D.M., (2007a). "Ovverstocking reduces lying time in dairy cows." J. Dairy Sci. **90**: 3349-3354.
- Fregonesi, J. A., D. M. Veira, et al. (2007b). "Effects of bedding quality on lying behavior of dairy cows." Journal of Dairy Science **90**(12): 5468-5472.
- Fuquay J.W. (1981). "Heat stress as it affects animal production." J. Anim. Sci. **32**: 164-174.
- Fuquay, J. W., Zook, A.B., Daniel, J.W., Poe, W. E. (1979). "Modifications in free stall housing for dairy cows during summer." Journal Dairy Science **62**: 566-577.
- Galindo, F., Broom, D. M. (2000). "The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds." Res. Vet. Sci. **69**: 75-79.

- Gottardo, F., Dorigo, M., Paparella, P., Ossensi, C., Cozzi, G., (2005). "Effectiveness of different strategies to prevent from heat stress in a group of dairy farms located in the Province of Padova." Ital. J. Anim. Sci. **4 Suppl. 3**: 132-135.
- Grant, R. J., Albright, J.L., (2000). Feeding behaviour. Farm animal metabolism and nutrition. C. p. J.P.F. D'Mello. Wallingford, Oxon, Regno Unito: 365-382.
- Hafez, E. S. E., Bouissou, M.F., (1975). The behaviour of cattle. The behaviour of domestic animals. E. B. Tindall. London, UK.
- Haley, D. B., de Passilé, A.M., Rushen, J., (2001). "Assessing cow comfort: effects of two floor types and two tie stall designs on the behaviour of lactating dairy cows." Applied Animal Behaviour Science **71**: 105-117.
- Haley, D. B., Rushen, J., de Passilé, A.M., (2000). "Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing." Can. J. Anim. Sci. **80**: 257-263.
- Henneberg, U., Munksgaard, L., Kristensen, E.S., Konggaard, S.P., Ostergaard, V., (1986). "Behaviour and production of the dairy cow at different stocking rates in cubicle houses." Report 613. Danish Institute of Agricultural Sciences(61 pp.).
- Her, E., Wolfenson, D., Flamenbaum, I., Folman, Y., Kaim, M., Berman, A., (1988). "Thermal, productive, and reproductive responses of high yielding cows exposed to short-term cooling in summer." J. Dairy Sci. **71**: 1085-1092.
- Huhnke, R. L., McCowan, L.C., Meraz L.C., Harp, S.L., Payton, M.E., (2001). Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. ASAE Annu. Int. Mtg., Sacramento, CA. Am. Soc. Agric. Biol. Eng., St. Joseph, MI.
- Igono, M. O., Bjoetvedt, G., sanford-Crane, H.T., (1992). "Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate." Int. J. Biometeorol. **36**(77-87).
- Igono, M. O., Johnson, H.D., Steevens, B.J., Krause, G.F., Shanklin, M.D., (1987). "Physiologic, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan systems versus shade for Holstein cows during summer heat." J. Dairy Sci. **70**: 1069-1079.
- Johansson, B., Redbo, I., Svennersten-Sjaunja, K. (1999). "Effect of feeding before, during and after milking on dairy cow behaviour and the hormone cortisol." Anim. Sci. **68**: 597-604.
- Johnson, H. D. (1976). "World climate and milk production." Biometeorology **6**: 171-175.
- Johnson, H. D. (1987). "Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production." Bioclimatology and the adaptation of livestock. Elsevier, Amsterdam(35-57).

- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, et al. (2002). "Heat stress in lactating dairy cows: a review." Livestock Production Science **77**(1): 59-91.
- Krohn, C. C., Munksgaard, L., (1993). "Behaviour of dairy cows kept in intensive (loose housing/pasture) or intensive (tie stall) environments. II. Lying and lying-down behaviour." Applied Animal Behaviour Science **37**: 1-16.
- Ladewing, J., Smidt, D., (1989). "Behavior, episodic secretion of cortisol, and adrenocortical reactivity in bulls subjected to tethering." Horm. Behav. **23**: 344-360.
- M.K., Y. (1985). Basic principles. Stress physiology in livestock.
- Mader, T. L., Davis, S., Gaughan, J.B., Brown-Brandl, T.M., (2004). Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. 16th Biometeorology and aerobiology. Vancouver, BC, USA.
- Martin, P., Bateson, P., (2007). Measuring behaviour: an introductory guide. Cambridge, U.K., Cambridge University Press.
- Mattachini, G., E. Riva, et al. (2011). "The lying and standing activity indices of dairy cows in free-stall housing." Applied Animal Behaviour Science **129**(1): 18-27.
- Matzke, W. C. (2003). Behavior of large groups of lactating dairy cattle housed in a free stall barn. M.S. thesis. Lincoln, Usa, University of Nebraska.
- McArthur, A. J. and J. A. Clark (1988). "Body temperature of homeotherms and the conservation of energy and water." Journal of Thermal Biology **13**(1): 9-13.
- McDowell, R. E., N. W. Hooven, et al. (1976). "Effect of Climate on Performance of Holsteins in First Lactation." Journal of Dairy Science **59**(5): 965-971.
- Metcalf, J. A., Roberts, S.J., Sutton, J.D. (1992). "Variations in blood flow to and from the bovine mammary gland measured using transit time ultrasound and dye dilution." Res. Vet. Sci. **53**: 59-63.
- Metz, J. H. M. (1974). Time patterns of feeding and rumination on domestic cattle. PhD dissertation. Wageningen, Olanda.
- Metz, J. H. M. (1985). "The reaction of cows to a short-term deprivation of lying." Applied Animal Behaviour Science **13**: 301-307.
- Miller, K., Wood-Gush, D.G.M., (1991). "Some effects of housing on the social behaviour of dairy cows." Anim. Prod. **53**: 271-278.
- Mitlöhner, F. M., Morrow-Tesch, J.L., Wilson, S.C., Dailey, J.W., McGlone, J.J., (2001). "Behavioral sampling techniques for feedlot cattle." J. Anim. Sci. **79**: 1189-1193.

- Müller, C., Ladewing, J., Thielscher, H.H., Schmidt, D., (1989). "Behavior and heart rate of heifers housed in tether stanchions without straw." Physiology and Behavior **46**: 751-754.
- Munksgaard, L., M. B. Jensen, et al. (2005). "Quantifying behavioural priorities - Effects of time constraints on behaviour of dairy cows, *Bos taurus*." Applied Animal Behaviour Science **92**(1-2): 3-14.
- Munksgaard, L., Løvendahl, P., (1993). "Effects of social and physical stressors on growth hormone levels in dairy cows." Can. J. Anim. Sci. **73**: 847-853.
- Nielsen, B. L., Veerkamp, R.F., Lawrence, A.B., (2000). "Effects of genotype, feed type and lactational stage on time budget of dairy cows." Acta Agric. Scand. Sec. A Aim. Sci. **74**: 272-278.
- Nielsen, L. H., Mogensen, L., Krohn, C., Hindehede, J., Sorensen, J.T., (1997). "Resting and social behaviour of dairy heifers housed in slatted floor pens with different sized bedded lying areas." Appl. Anim. Behav. Sci. **54**: 307-316.
- Oliveira, J. L., Esmay, M.L., (1982). "System model analysis of hot housing for livestock." Transactions of the ASAE **82**: 1355-1359.
- Olofsson, J. (1999). "Competition for total mixed diets fed for ad libitum intake using one or four cows per feeding station." J. Dairy Sci. **82** (1): 69-79.
- Overton, M. W., W. M. Sischo, et al. (2002). "Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn." Journal of Dairy Science **85**(9): 2407-2413.
- Overton, M. W., Sischo, W. M., Temple, G. D., Moore, D. A. (2002). "Using Time-Lapse Video Photography to Assess Dairy Cattle Lying Behavior in a Free-Stall Barn." J. Dairy Sci. **85**: 2407-2413.
- Perrisinotto, M., Moura, D., Matarazzo, S., Mendes, A., Naas, I. (2006). Behavior of dairy cows housed in environmentally controller freestall. Manuscript BC. 05 016,.
- Prosser, C. L., Brown, F.A., (1969). comparative animal physiology.
- Provolo, G. and E. Riva (2009). "One year study of lying and standing behaviour of dairy cows in a free-stall barn in Italy." Journal of Agricultural Engineering(2): 22-33.
- Provolo, G., Riva, E., (2008). "Se lo stress da caldo dipende dalla stalla." Informatore Zootecnico **9**: 34-41.
- Provolo, G., Rossi, E., Riva, E.; (2007). Elettronica e informatica a supporto della ricerca sulle condizioni microclimatiche nelle strutture di stabulazione per bovino da latte. Convegno AIIA: L'e- nell'ingegneria agraria, forestale e dell'industria agro-alimentare Firenze.
-

- Richards, J. I. (1985). "Milk production of Friesian cows subjected to high daytime temperatures when allowed food either ad lib or at nighttime only." Trop. Anim. Health Prod. **17**: 141-152.
- Roenfeldt, S. (1998). "You can't afford to ignore heat stress." Dairy Manage **35 (5)**: 6-12.
- Ruckelbusch, Y. (1974). "Sleep deprivation in cattle." Brain Res. **78**: 495-499.
- Rulquin, H., Caudal, J.P., (1992). "Effects of lying or standing on mammary blood flow and heart rate in dairy cows." Ann. Zootech. **41**: 101.
- Schneider, P. L., Beede, D.K., Wilcox, C.J. (1988). "Nycterohemeral patterns of acid-base status, mineral concentrations and digestive function of lactating cows in natural or chamber heat stress environments." J. Anim. Sci. **66**: 112-125.
- Shalit, U., Maltz, E., Silanikove, N., Berman, A., (1991). "Water, sodium, potassium and chlorine metabolism of dairy cows at the onset of lactation in hot weather." J. Dairy Sci. **74**: 1874-1883.
- Shao, B. and H. Xin (2008). "A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs." Computers and Electronics in Agriculture **62(1)**: 15-21.
- Shao, J., H. Xin, et al. (1998). "Comparison of image feature extraction for classification of swine thermal comfort behavior." Computers and Electronics in Agriculture **19(3)**: 223-232.
- Sharma, A. K., Rodriguez, L.A., Mekonnen, G., Wilcox, C.J., Bachman, K.C., Collier, R.J., (1983). "Climatological and genetic effects on milk composition and yield." J. Dairy Sci. **66**(119-126).
- Shearer, J. K., Beed, D.K., (1990). "Termoregulation and physiological responses of dairy cattle in hot weather." Agri-practice **11**: 5-17.
- Shultz, T. A. (1984). "Weather and shade effects on cow corral activities." J. Dairy Sci. **67**: 868-873.
- Silanikove, N. (1992). "Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review." livestock Production Science **30**: 175-194.
- Smidt, D. (1983). "Advantages and problems of using integrated system of indicators as compared to single traits." Martinus Nijhoff, The Hague, The Netherlands: 201-207.
- Speroni, M., Federici, C., (2006). "Misurare i tempi alle vacche per aumentare le produzione." L'informatore agrario **39**: 23-25.
- Stott, G. H. W. R. J. (1969). "Causes of low breeding efficiency in dairy cattle associated with seasonal high temperatures,." Journal Dairy Science **45**: 1369.

- Thatcher, W. W. (1974). "Effects of season, climate and temperature on reproduction and lactation." J. Dairy Sci. **57**: 360-368.
- Thom, E. C. (1959). "The discomfort index." Weatherwise **12**: 57-60.
- Tucker, C. B., Weary, D.M., Fraser, D., (2003). "Effects of three types of freestall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows." J. Dairy Sci. **86**: 521-529.
- Tucker, C. B., Weary, D.M., Fraser, D., (2004). "Free-stall dimensions:effects on preference and stall usage." J. Dairy Sci. **87**: 1208-1216.
- Tucker, C. B., Zdanowicz, G., Weary, D.M., (2006). "Brisket boards reduce freestall use." J. Dairy Sci. **89**: 2603-2607.
- Turner, L. W., Chastain, J.P., Hemken, R.W., Gates, R.S., Crist, W.L., (1992). "Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling." App. Eng. Agric. **8**: 251-256.
- Tyler, J. W., Fox, L.K., Parish, S.M., Swain, J., Johnson, D.L., Grasseschi, H.A., Gant, R., (1997). "Effects of feed availability on post-milking standing time in dairy cows." J. Dairy Res. **64**: 617-620.
- Vasilatos, R., Wangsness, P.J., (1980). "Feeding patterns and performance of cows in controlled cow traffic in automatic milking system." J. Dairy Sci. **63**: 412-416.
- von Keyserlingk, M. A. G., J. Rushen, et al. (2009). "Invited review: The welfare of dairy cattle—Key concepts and the role of science." Journal of Dairy Science **92**(9): 4101-4111.
- Wagner-Storch, A. M., Palmer, R. W., Kammel, D. W. (2003). "Factors Affecting Stall Use for Different Freestall Bases." J. Dairy Sci. **86**: 2253-2266.
- Walker, S. L., Smith, R. F., Routly, J. E., Jones, D. N., Morris, M. J., Dobson, H. (2008). "Lameness, Activity Time-Budgets, and Estrus Expression in Dairy Cattle." J. Dairy Sci. **91**: 4552-4559.
- West, J. W. (2003). "Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle." Journal of Dairy Science **86**(6): 2131-2144.
- Wierenga, H. K., Hopster, H., (1990). "The significance of cubicles for the behaviour of dairy cows." Appl. Anim. Behav. Sci. **26**: 309-327.
- Wilson, S. J., Marion, R.S., Spain, J.N., Spiers, D.E., Keisler, D.H., Lucy, M.C., (1998). "Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 1. lactating cows." J. Dairy Sci. **81**: 2124-2131.
- Wolfenson, D., Roth, Z., Meidan, R., (2000). "Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects." Animal reproduction science **60-61**: 535 - 547.

Yousef, M. K. (1985). Stress physiology in livestock. Boca Raton, FL, CRC Press.

Zähner, M., Schrader, L., Hauser, R., Keck, M., Langhans, W., Wechsler, B. (2004). "The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables." Anim. Sci. **78**: 139-147.

## **Ringraziamenti**

...alla fine di questo lavoro, desidero ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di questo lavoro: chi con una collaborazione costante, chi con un supporto morale o materiale, chi con consigli e suggerimenti o solo con parole di incoraggiamento.

Desidero innanzitutto ringraziare il mio relatore Prof. Ing. Giovanni Cascone, esempio di grande professionalità, per i suoi pazienti insegnamenti e per l'aiuto fattivo durante tutta la sperimentazione.

Ringrazio sentitamente la Dott.ssa Ing. Simona M.C. Porto per l'instancabile impegno con cui mi ha aiutato nella stesura del lavoro, per i numerosi consigli che mi dato durante la ricerca e per essere stata innanzitutto un'amica fidata.

Inoltre, vorrei esprimere la mia sincera gratitudine all'Ing. Umberto Anguzza per la gentilezza e la disponibilità che mi ha sempre mostrato.

Un dovuto ringraziamento va all'azienda agricola Alpa Ss sede della sperimentazione, in particolare al Sig. Pavone per la disponibilità con cui ha accolto i dubbi e i consigli che gli sono stati posti.

Un caloroso ringraziamento alla Dott.ssa Valeria Conte , che con i suoi preziosi consigli rappresenta un punto fermo della mia vita.

Un grazie speciale, va al mio fidanzato Gianluca che mi ha sempre sostenuto e incoraggiato condividendo con me le gioie e le fatiche di questa esperienza.

Infine, ho desiderio di ringraziare con affetto i miei genitori e mio fratello per il sostegno ed il grande aiuto che mi hanno dato e soprattutto per essermi stati vicini in ogni momento difficile.